



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Rize mikro havzasında erozyon duyarlılığının ICONA modeli ve coğrafi bilgi sistemi entegrasyonu ile mekânsal analizi

Enver ŞEKER¹, Sena PACCİ KIZILDAĞ¹, Orhan DENGİZ^{2*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enst. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Samsun

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

Öz

Toprak erozyonu, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini tehdit eden en önemli arazi bozunumu süreçlerinden biridir. Bu çalışmada, Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikro havzada erozyon riskinin mekânsal dağılımının belirlenmesi amacıyla ICONA erozyon risk modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, arazi örtüsü, arazi kullanımı-arazi örtüsü, jeoloji ve eğim gibi erozyon süreçlerini etkileyen temel çevresel faktörler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında analiz edilmiştir. Öncelikle arazi örtüsü ve arazi kullanım haritaları birleştirilerek toprak koruma haritası oluşturulmuş, ardından jeoloji ve eğim katmanlarının entegrasyonu ile potansiyel erozyon risk haritası elde edilmiştir. Son aşamada ise bu iki katmanın çakıştırılmasıyla ICONA erozyon risk haritası hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, çalışma alanının önemli bir bölümünde düşük ve orta düzeyde erozyon riskinin hâkim olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, özellikle havzanın güney kesimlerinde eğim değerlerinin yüksek olması, litolojik yapının ayrışmaya daha duyarlı özellikler göstermesi ve bitki örtüsünün görece zayıf olması nedeniyle yüksek ve çok yüksek erozyon riskine sahip alanların yoğunlaştığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, erozyon riskinin havza ölçeğinde mekânsal olarak belirlenmesinde ICONA modelinin etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca elde edilen bulguların, erozyon kontrolü ve arazi yönetimi planlamalarında öncelikli alanların belirlenmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erozyon riski, ICONA modeli, CBS, toprak koruma.

Spatial analysis of erosion susceptibility in the Rize micro-watershed using the integration of the ICONA model and geographic information systems

Abstract

Soil erosion is one of the most significant land degradation processes threatening the sustainable management of natural resources. In this study, the ICONA erosion risk model was applied to determine the spatial distribution of erosion risk within a micro-watershed located in Rize province, Türkiye. In this concept, major environmental factors influencing erosion processes, including land use-land cover, land use, geology, and slope were analyzed using Geographic Information Systems (GIS). First, a soil protection map was generated by combining land cover and land use maps. Subsequently, a potential erosion map was produced through the integration of geological and slope layers. In the final stage, the ICONA erosion risk map was created by overlaying these two layers. The results indicated that low and moderate erosion risk classes dominate a large portion of the study area. However, areas with high and very high erosion risk were mainly concentrated in the southern parts of the watershed due to higher slope values, lithological units more susceptible to weathering, and relatively sparse vegetation cover. The findings demonstrate that the ICONA model is an effective tool for identifying the spatial distribution of erosion risk at the watershed scale. Furthermore, the results may contribute to determining priority areas for erosion control and sustainable land management planning.

Keywords: Erosion risk, ICONA model, GIS, soil protection.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Toprak, tarımsal üretimin devamlılığı ve ekosistemlerin işleyişi açısından temel bir doğal kaynak olup, sürdürülebilir çevre yönetiminin en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Doran ve Parkin, 1994). Ancak hem doğal süreçler hem de insan faaliyetleri sonucunda meydana gelen toprak kayıpları, ekosistem dengesini tehdit eden önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir. Dünya genelinde hızla

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (505) 438 3353
E-posta : odengiz@omu.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 10 Mart 2026 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 12 Mayıs 2026 DOI : 10.33409/tbbbd.1905061

artan nüfus baskısı, yanlış ve yoğun arazi kullanımı ile aşırı toprak işleme gibi antropojenik faktörler toprak bozunumunu hızlandırmaktadır. Buna ek olarak, ormansızlaşma ve iklim değişikliğine bağlı olarak artan ekstrem iklim olayları da bu süreci tetikleyen başlıca etmenler arasında yer almaktadır (FAO ve ITPS, 2015; Bünemann ve ark., 2018).

Toprak kaybı yalnızca yüzey toprağının fiziksel olarak uzaklaşması anlamına gelmemekte; aynı zamanda toprağın üretkenliğini belirleyen organik madde içeriği, besin elementleri ve mikrobiyal aktivite gibi temel özelliklerin de azalmasına neden olmaktadır (Pimentel ve ark., 1995). Bu süreç, zamanla toprak verimliliğinin düşmesine ve bitkisel üretimin azalmasına yol açarak tarımsal sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir (Lal, 2001; Pimentel ve Burgess, 2013). Ayrıca toprak bozunumu, karbon, su ve besin döngüsü gibi temel ekosistem süreçlerini etkileyerek ekosistem hizmetlerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Toprak bozunumunu hızlandıran en temel süreçlerden biri olan erozyon, toprak yüzeyinin su, rüzgâr veya insan faaliyetlerinin etkisiyle aşınarak taşınması olarak tanımlanmaktadır (Morgan, 2005). Erozyonun en belirgin sonuçlarından biri, verimli üst toprağın kaybına bağlı olarak tarımsal üretimin azalmasıdır (Lal, 1998). Erozyonun etkileri yalnızca üretim kaybı ile sınırlı olmayıp; aynı zamanda ekosistem fonksiyonlarının bozulmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin zayıflamasına da neden olmaktadır (Panagos ve ark., 2021). Su erozyonu ile taşınan ince toprak parçacıkları su kaynaklarına karışarak suyun bulanıklığını artırmakta ve su kalitesini düşürmektedir. Bu durum, hem sulama hem de içme suyu temini açısından sorunlara yol açarken sucül ekosistemler üzerinde de olumsuz etkiler oluşturmaktadır (IERE, 2025). Üst toprağın kaybı, organik madde ve bitki besin elementlerinin azalmasına neden olarak bitki kök gelişimini sınırlandırmakta ve uzun vadede tarımsal verimliliği düşürmektedir. Ayrıca toprak yapısının bozulması, suyun infiltrasyon kapasitesini azaltarak yüzey akışının ve sedimentasyonun artmasına yol açmaktadır. Bu durum sel riskinin artmasına ve altyapı üzerinde çeşitli hasarların meydana gelmesine neden olabilmektedir (Lal, 1998; Pimentel ve ark., 1995). Erozyon aynı zamanda doğal habitatların parçalanmasına ve biyoçeşitliliğin azalmasına da neden olmaktadır; çünkü bitki örtüsü ve toprak organizmaları için gerekli yaşam ortamları önemli ölçüde bozulmaktadır (IERE, 2025). Bu çok yönlü etkiler, erozyonun hem çevresel hem de ekonomik maliyetlerini artırmakta ve sürdürülebilir toprak yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Erozyonun kontrol altına alınması büyük ölçüde uygun arazi kullanımı ve etkin yönetim planlamasına bağlıdır. Erozyon; iklim, toprak özellikleri, topoğrafya ve bitki örtüsü arasındaki etkileşimler sonucunda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirebilmektedir (Pla, 1997). Ayrıca erozyon sonucu oluşan sediment birikimleri, su kalitesi ve sucül habitatlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Akay, 2005; Akay ve ark., 2008). Türkiye’de erozyonla mücadele kapsamında çeşitli ulusal eylem planları uygulanmaktadır. Erozyonla Mücadele Eylem Planı kapsamında yaklaşık 335 bin hektarlık alanda toprak muhafaza tesis çalışmaları gerçekleştirilmiş; ayrıca Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planı doğrultusunda 200 sel havzasında uygulamalar yürütülmüştür. Bunun yanında Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Eylem Planı kapsamında 486 baraj ve gölet havzasında ağaçlandırma faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda erozyonla taşınan sediment miktarında önemli bir azalma sağlanmış ve 2018 yılı itibarıyla yıllık sediment taşınımı yaklaşık 154 milyon tona düşmüştür (ÇMUSEP, 2019).

Türkiye’nin topoğrafik özellikleri, erozyon süreçlerinin yaygınlaşmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Ülkenin ortalama yükseltisinin yaklaşık 1250 m olması ve yüzölçümünün önemli bir bölümünün yüksek eğim değerlerine sahip bulunması, yüzey akışını artırarak toprak kaybını hızlandırmaktadır. Nitekim Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %46’sı %40’tan fazla, %62,5’ten fazlası ise %15’in üzerinde eğime sahiptir. Bu topoğrafik yapı; iklim koşulları, toprak özellikleri ve arazi kullanım biçimleri ile birlikte değerlendirildiğinde, orman, mera ve tarım alanlarında erozyon riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye topraklarının yaklaşık %80’inin farklı şiddetlerde erozyon tehdidi altında olduğu belirtilmektedir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Erozyon sonucunda her yıl yaklaşık 345 milyon ton sedimentin nehirler, göller, barajlar ve denizlere taşındığı ifade edilmekte olup, bu durum özellikle baraj rezervuarlarının kapasitesini ve ekonomik ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, Ankara Çubuk-I Barajı 54 yıl içerisinde depolama kapasitesinin %70’ini kaybederken, Seyhan ve Kartalkaya barajlarında bu oran sırasıyla %40 ve %30 olarak belirlenmiştir. Mevcut sedimentasyon hızının devam etmesi durumunda bazı barajların yaklaşık 25 yıl içerisinde kapasitelerinin yarısını kaybedebileceği öngörülmektedir (DSİ, 2010). Benzer şekilde, Avrupa Birliği ülkelerinde tarım arazilerinin yaklaşık %20’sinin yüksek veya çok yüksek düzeyde su erozyonu riski taşıdığı bildirilmektedir (ICONA, 1991). Bu nedenle, özellikle Türkiye’deki su havzalarında sediment taşınımı ve yüzey akışı süreçlerinin doğru şekilde belirlenmesi, etkili toprak koruma uygulamalarının planlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Yüksel ve ark., 2007).

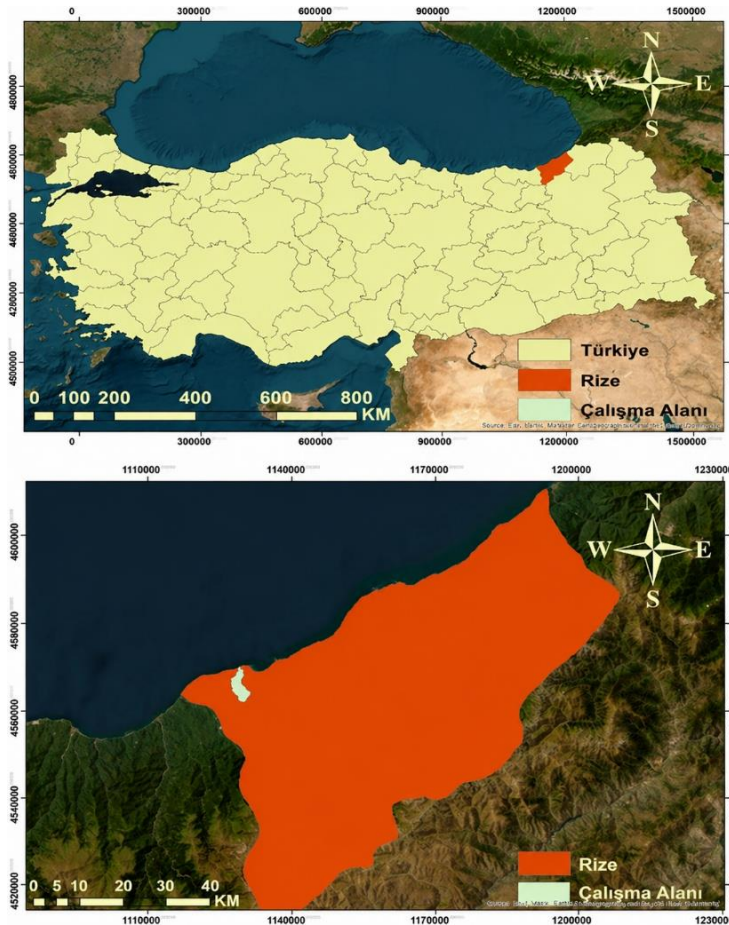
Toprak kaybı, yüzey akışı ve erozyon riskinin belirlenmesine yönelik olarak farklı kalitatif ve kantitatif birçok modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir (Kantar ve Dengiz, 2015). LEAM, CORINE, USLE ve ICONA modelleri bu amaçla yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır (Morgan, 2005). Bu modeller arasında ICONA erozyon modeli, özellikle geniş alanlarda su erozyonu riskinin belirlenmesi için geliştirilmiş nitel ağırlıklı bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. ICONA modeli; eğim, toprak özellikleri, litolojik yapı, arazi örtüsü ve arazi kullanım durumu gibi çevresel faktörleri birlikte değerlendirerek potansiyel erozyon riskini sınıflandırmaktadır (ICONA, 1988). Modelin temel amacı erozyon miktarını doğrudan hesaplamak değil, erozyona duyarlı alanların mekânsal dağılımını belirlemektir. USLE ve CORINE gibi modeller yağış enerjisi, toprak aşınabilirliği ve topografik faktörleri kullanarak nicel toprak kaybı tahminleri üretirken, ICONA modeli daha sınırlı veri gereksinimi ile hızlı ve uygulanabilir risk haritaları oluşturabilmektedir. Bu durum özellikle uzun dönemli ölçüm verilerinin bulunmadığı veya veri kalitesinin sınırlı olduğu havzalarda, modelin önemli bir avantaj sağlamasına neden olmaktadır (Borrelli ve ark., 2020; Panagos ve ark., 2018).

ICONA modelinin bir diğer önemli yönü ise erozyon kontrolü ve toprak koruma uygulamalarında öncelikli alanların belirlenmesine katkı sağlamasıdır. Bu nedenle model, havza ölçeğinde gerçekleştirilen planlama çalışmalarında karar destek aracı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Bayramin ve ark., 2003; Arabameri ve ark., 2019). Modelin yapısı gereği, sediment verimi hesaplamaları veya rezervuar ömrü tahminleri gibi sayısal değerlendirmelerde tek başına yeterli olmayabileceği; bu tür analizlerde daha kapsamlı sonuçlar elde edebilmek için sayısal erozyon modelleriyle birlikte kullanılmasının gerekli olduğu belirtilmektedir (ICONA, 1991; Morgan, 2005; Yüksel ve ark., 2007). Bu çalışmada, Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikro havzasında erozyona duyarlı alanların belirlenmesi amacıyla ICONA modelinin uygulanması ve elde edilen veriler doğrultusunda erozyon risk haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

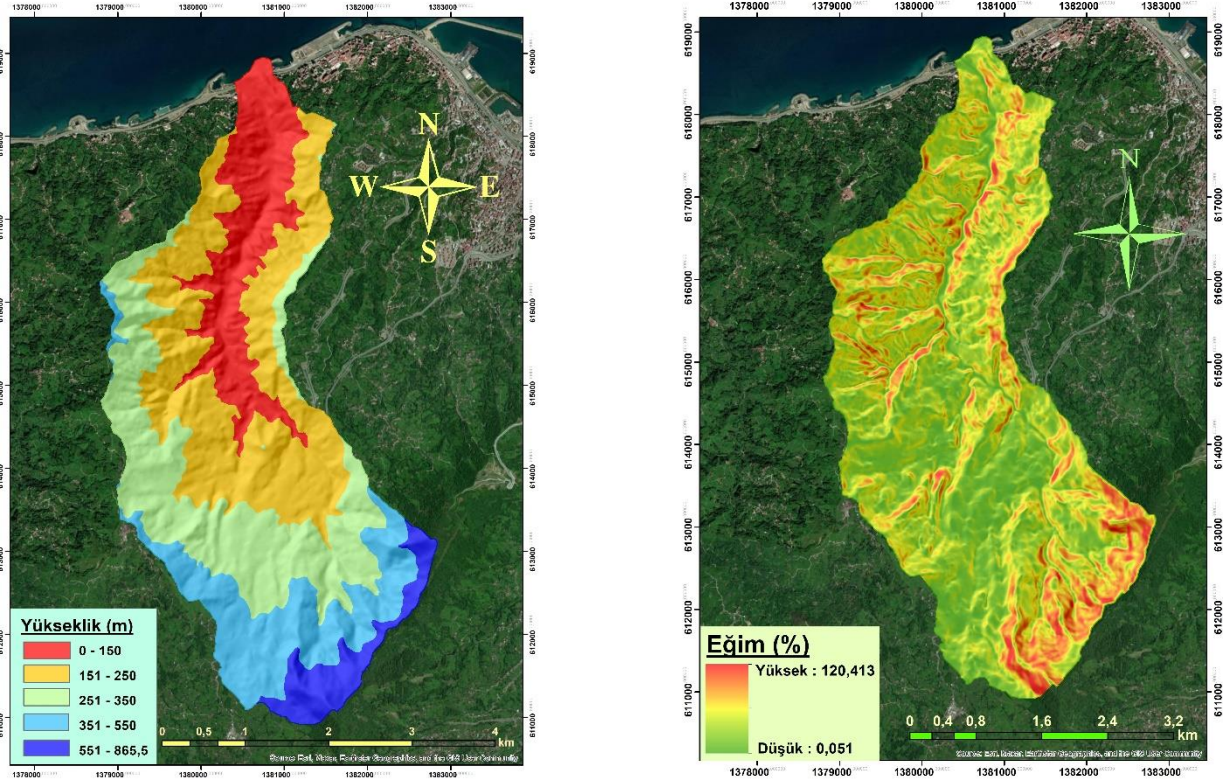
Çalışma alanının genel özellikleri

Çalışma alanı, Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikro havza olup WGS-84 datumuna göre UTM Zone 37 koordinat sisteminde yaklaşık olarak 622.000–626.000 doğu ile 4.536.000–4.543.000 kuzey koordinatları arasında konumlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı haritası

Çalışma alanı yaklaşık 16.720 ha büyüklüğünde olup deniz seviyesinden yüksekliği 0 ile 862 m arasında değişmektedir (Şekil 2). Havzanın topoğrafik yapısı genel olarak oldukça engebeli ve dağlık karakterdedir. Bu nedenle alanın büyük bir bölümünde eğim değerleri yüksek ve arazi morfolojisi belirgin şekilde parçalanmış bir yapı göstermektedir. Litolojik açıdan değerlendirildiğinde havza, çoğunlukla kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı gibi sedimanter kökenli kayalardan oluşmaktadır. Bölgedeki baskın toprak tipi kırmızı-sarı podzolik topraklar olup FAO-WRB (2014) sınıflandırma sistemine göre bu topraklar ağırlıklı olarak Alisol ve Acrisol grupları içerisinde yer almaktadır.



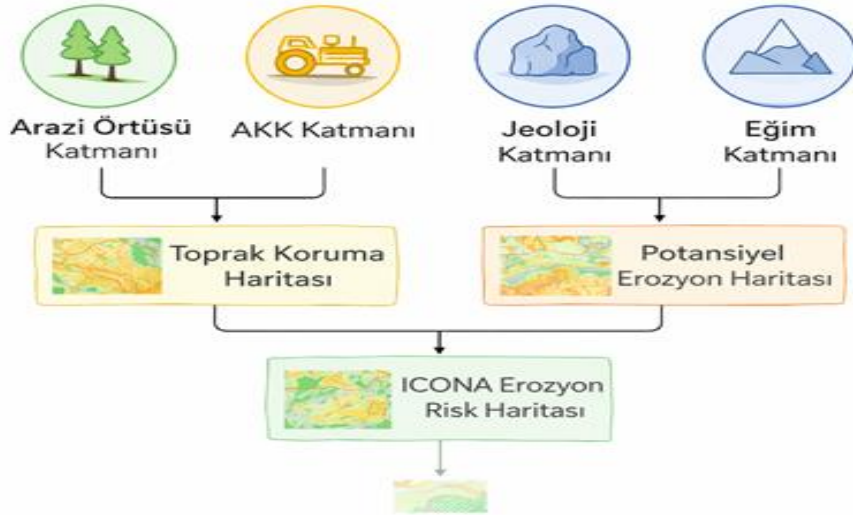
Şekil 2. Çalışma alanına ait sayısal yükselti modeli ve eğim haritaları

Arazi kullanım özellikleri incelendiğinde mikro havzanın önemli bir bölümünün çay tarımı amacıyla değerlendirildiği görülmektedir. Bununla birlikte bazı kesimlerde, doğal orman alanları ile mera alanları da bulunmaktadır. Bölge iklimi, serin yazlar ve ılıman kışlarla karakterize edilen Karadeniz ikliminin etkisi altındadır ve yıl boyunca düzenli yağış almaktadır. Yağışların özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında arttığı Rize ili, Türkiye’de yıllık yağış miktarının en yüksek olduğu bölgelerden biridir. Bu nedenle bölgedeki bağıl nem oranı yılın büyük bölümünde %75’in üzerinde seyretmektedir. Newhall simülasyon modeline göre yapılan değerlendirmelerde (Van Wambeke, 2000), çalışma alanındaki toprakların sıcaklık rejiminin mesic, nem rejiminin ise perudic olduğu belirlenmiştir (Saygın ve ark., 2023; Pacci ve ark., 2024).

Yöntem

Erozyon tahmin modelleri, çalışma alanına ait farklı tematik katmanların bütünleştirilmesiyle oluşturulan mekânsal analiz yaklaşımlarına dayanmaktadır. Bu kapsamda, erozyon süreçlerini kontrol eden temel faktörler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında sayısallaştırılarak analiz edilmektedir. CBS tabanlı modelleme, farklı veri türlerinin aynı koordinat sisteminde bir araya getirilmesine olanak sağlayarak, erozyon riskinin mekânsal dağılımının belirlenmesinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Eastman, 2012; Malczewski, 2004). Bu tür yaklaşımlar, özellikle veri kısıtlı bölgelerde hızlı ve uygulanabilir sonuçlar üretmesi açısından yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, erozyon riskinin belirlenmesi amacıyla ArcMap 10.5 yazılımı kullanılmış ve ICONA erozyon risk modeli uygulanmıştır. ICONA modeli, erozyon riskinin belirlenmesinde çok kriterli bir yaklaşım sunmakta olup, sınırlı veri gereksinimi ile geniş alanlarda uygulanabilirliği nedeniyle öne çıkmaktadır (ICONA, 1991; Yüksel ve ark., 2007). Model, temel olarak dört ana bileşene dayanmaktadır: (I) arazi örtüsü, (II) arazi kullanımı, (III) jeoloji ve (IV) eğim. Bu bileşenler, erozyon süreçleri üzerindeki etkilerine göre analiz edilmekte ve belirli aşamalar doğrultusunda birleştirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. ICONA erozyon modelinin adımları

ICONA erozyon risk modelinde erozyon duyarlılığının belirlenmesi amacıyla farklı tematik katmanlar bir araya getirilerek analizler gerçekleştirilmektedir. ICONA erozyon risk modeline başlamadan önce ilk aşamasında çalışma alanına ait arazi örtüsü-arazi kullanımı haritası oluşturulmuştur. Arazi örtüsü sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 1) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Arazi örtüsü sınıfları

Sınıflar	Bitki örtüsü yoğunluğu
1.	%25'ten az
2.	%25-50
3.	%50-75
4.	%75'ten fazla

İkinci aşamada çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası oluşturulmuştur. Arazi kullanımı sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 2) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Arazi kullanım sınıfları

Sınıflar	Arazi kullanım sınıflandırması
1.	Sulama ihtiyacı olmayan tarım alanları
2.	Meyvelik alanlar
3.	Sulu tarım alanları
4.	Orman alanları
5.	Makilik alanlar
6.	Mera, seyrek çalılık alanlar

Üçüncü aşamada arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıfı haritaları birleştirilerek toprak koruma haritası oluşturulmuştur. Toprak koruma haritasının oluşturulmasında kullanılan matriks Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıfı kullanılarak oluşturulan toprak kullanımı haritası matriksi.

Arazi kullanımı	Arazi örtüsü			
	1	2	3	4
1	5 (ÇD)	5 (ÇD)	4 (D)	4 (D)
2	5 (ÇD)	5 (ÇD)	4 (D)	3 (O)
3	3 (O)	2 (Y)	1 (ÇY)	1 (ÇY)
4	4 (D)	3 (O)	2 (Y)	1 (ÇY)
5	5 (ÇD)	4 (D)	3 (O)	2 (Y)
6	5 (ÇD)	4 (D)	3 (O)	2 (Y)

ÇY: Çok yüksek (1), Y: Yüksek (2), O: Orta (3), D: Düşük (4), ÇD: Çok düşük (5)

Dördüncü aşamada çalışma alanına jeoloji haritası oluşturulmuştur. Jeoloji sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 4) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Jeoloji sınıfları

Jeoloji sınıfları	Jeolojik yapı
(A)	Aşınmamış kompakt kaya, kuvvetli çimentolaşmamış konglomeralar veya topraklar, kabuklar, sert tavalar
(B)	Çatlak veya orta derecede aşınmış kohezyonlu kayalar veya topraklar
(C)	Hafif ila orta sıkıştırılmış tortul kayalar veya topraklar
(D)	Yumuşak/düşük dirençli veya şiddetli/derin aşınmış kayalar veya topraklar
(E)	Gevşek, yapışkan olmayan tortular, topraklar veya detritik malzemeler.

Beşinci aşamada çalışma alanına ait eğim haritası oluşturulmuştur. Eğim sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 5) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5. Eğim sınıfları

Sınıflar	Eğim sınıfı
1.	Düz ile hafif eğimli (0-3%)
2.	Orta (3-12%)
3.	Dik (12-20%)
4.	Çok dik (20-35%)
5.	Aşırı (> 35%)

Altıncı aşamada jeoloji ve eğim haritaları birleştirilerek potansiyel erozyon haritası oluşturulmuştur. Potansiyel erozyon haritasının oluşturulmasında kullanılan matriks Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Jeoloji ve eğim kullanılarak oluşturulan potansiyel erozyon haritası matriksi.

Eğim sınıfı	Jeoloji sınıfı				
	A	B	C	D	E
1	1 (ÇD)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)
2	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	3 (O)
3	2 (D)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	4 (Y)
4	3 (O)	3 (O)	4 (Y)	5 (ÇY)	5 (ÇY)
5	4 (Y)	4 (Y)	5 (ÇY)	5 (ÇY)	5 (ÇY)

ÇY: Çok yüksek (5), Y: Yüksek (4), O: Orta (3), D: Düşük (2), ÇD: Çok düşük (1)

Yedinci ve son aşamada ise toprak kullanımı ve potansiyel erozyon haritaları birleştirilerek ICONA erozyon risk haritası oluşturulmuştur. Haritanın oluşturulmasında kullanılan matriks Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Toprak kullanımı ve potansiyel erozyon haritaları kullanılarak oluşturulan ICONA erozyon risk haritası matriksi.

ICONA Erozyon Risk Haritası					
Toprak koruma	Potansiyel erozyon				
	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	5 (ÇY)
1 (ÇY)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)	2 (D)
2 (Y)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)
3 (O)	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	4 (Y)
4 (D)	2 (D)	3 (O)	3 (O)	5 (ÇY)	5 (ÇY)
5 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	5 (ÇY)	5 (ÇY)

ÇY: Çok yüksek, Y: Yüksek, O: Orta, D: Düşük, ÇD: Çok düşük

Bulgular ve Tartışma

Model Parametrelerinin Mekansal Değerlendirilmesi

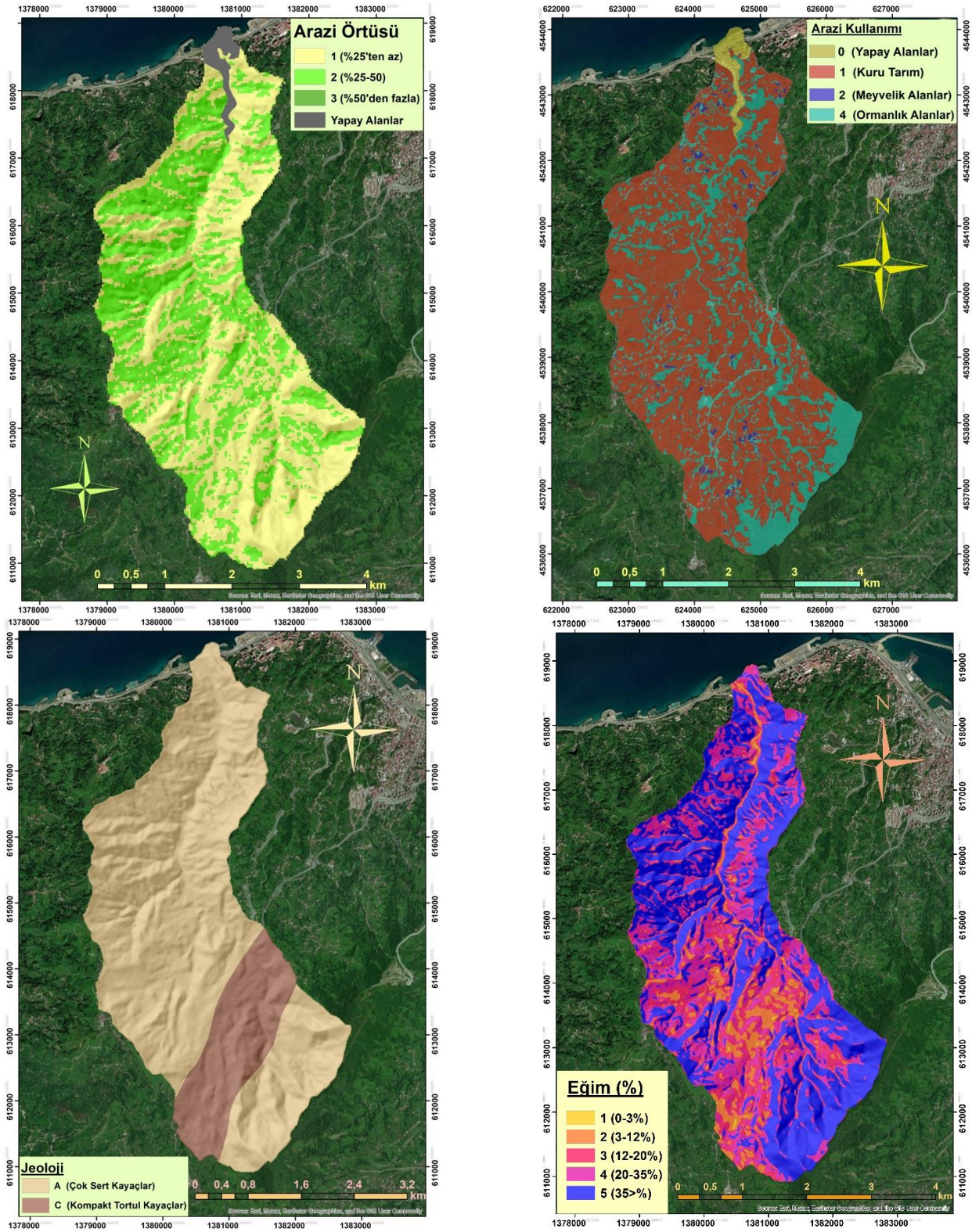
ICONA erozyon risk haritasının oluşturulmasında ilk aşama olarak, çalışma alanına ait arazi örtüsü ve arazi kullanım haritaları çakıştırılarak toprak koruma haritası elde edilmiştir (Şekil 4). Bu aşamada bitki örtüsünün yoğunluğu ile arazi kullanım biçimi birlikte değerlendirilerek yüzeyin erozyona karşı korunma düzeyi belirlenmektedir. Bitki örtüsünün yeterli düzeyde olması ve uygun arazi kullanım uygulamaları, yağışın doğrudan toprak yüzeyine etkisini azaltarak yüzey akışını sınırlandırmakta ve böylece erozyon süreçlerinin şiddetini önemli ölçüde düşürmektedir (Dengiz ve ark., 2014). Çalışma alanına ait bitki örtüsü yoğunluğu haritası genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde bitki örtüsü yoğunluğunun %25–50 aralığında olduğu ve bu alanlarda orta düzeyde bir vejetasyon örtüsünün yaygın olduğu anlaşılmaktadır. Bitki örtüsü yoğunluğunun %50'nin üzerinde olduğu alanlar çalışma alanının genellikle kuzey kesimlerinde ve bazı eğimli yamaç bölgelerinde sınırlı bir dağılım göstermektedir. Buna karşılık, bitki örtüsü yoğunluğunun %25'in altında olduğu alanlar ağırlıklı olarak güney kesimlerde ve daha açık topoğrafik

özelliklere sahip bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda yüzey akışının sınırlandığı ve buna bağlı olarak toprak kaybının azalmasının beklendiği bilinmektedir. Buna karşın, vejetasyon örtüsünün zayıf veya seyrek olduğu alanlarda toprak yüzeyi dış etkenlere daha açık hale gelmekte ve bu durum erozyon riskini artırmaktadır. Bu nedenle çalışma alanındaki bitki örtüsü dağılımı, erozyon riskinin mekânsal değişimini ortaya koymada dikkate alınması gereken temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Ayrıca Şekil 4' de çalışma alanına ait arazi kullanım haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde, çalışma alanında arazi kullanımının büyük ölçüde sulama ihtiyacı bulunmayan tarım alanlarından oluştuğu dikkat çekmektedir. Sulama ihtiyacı bulunmayan tarım alanları havzanın geniş bir bölümüne yayılmış olup özellikle orta ve güney kesimlerde yoğunlaşmaktadır. Meyvelik alanlar ise daha sınırlı alanlarda bulunmakta ve parçalı bir dağılım göstermektedir. Ormanlık alanların çalışma alanının belirli kesimlerinde yer aldığı ve daha çok eğimin yüksek olduğu, doğal bitki örtüsünün nispeten korunabildiği bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık yapay alanların çalışma alanı içerisinde oldukça sınırlı bir yer kapladığı anlaşılmakta olup bu alanlar haritada "0 - sıfır" olarak ifade edilmiştir. Arazi kullanım tiplerinin bu şekilde dağılım göstermesi, özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda toprak yüzeyinin daha fazla müdahaleye maruz kalmasına neden olabilmektedir. Bu durum, toprak yapısının bozulmasına ve yüzey akışının artmasına bağlı olarak erozyon riskinin mekânsal dağılımı üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle arazi kullanım özellikleri, erozyon duyarlılığının değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Modelin ikinci aşamasında ise jeoloji ve eğim haritaları bir araya getirilerek potansiyel erozyon haritası oluşturulmuştur. Bu aşamada litolojik özellikler ile topoğrafik eğim değerleri birlikte değerlendirilerek alanın doğal erozyon duyarlılığı ortaya konulmaktadır (Karakoca ve ark., 2023). Şekil 4' de çalışma alanına ait jeoloji haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde çalışma alanında iki farklı jeolojik birimin yer aldığı görülmektedir. Alanın büyük bölümünün çok sert kayalardan (A) oluştuğu, kompakt tortul kayaların (C) ise daha çok havzanın orta ve güney kesimlerinde sınırlı alanlarda dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Çok sert kayaların hâkim olduğu bölgelerde kayaç direncinin yüksek olması nedeniyle yüzey aşınımının nispeten daha düşük düzeyde gerçekleşmesi beklenmektedir. Buna karşılık kompakt tortul kayaların bulunduğu alanlarda ayrışma ve parçalanma süreçlerinin daha hızlı gerçekleşebilmesi, bu bölgelerin erozyona karşı daha duyarlı olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle jeolojik yapı, çalışma alanında erozyon riskinin mekânsal dağılımını etkileyen önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Jeolojik özellikler, erozyon süreçlerini doğrudan etkileyen temel faktörler arasında yer almakta olup kayaçların litolojik özellikleri; ayrışma hızı, geçirgenlik ve yüzey akışı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle daha zayıf yapıli tortul kayaçlar, fiziksel ve kimyasal ayrışmaya karşı daha hassas olduklarından erozyon süreçlerinin daha hızlı ilerlemesine neden olabilmektedir. Buna karşılık daha dayanıklı ve sert kayaçların bulunduğu alanlarda ayrışma ve parçalanma süreçleri genellikle daha yavaş gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak yüzey aşınımı daha sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle ICONA erozyon risk modelinde jeolojik yapı, erozyon duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biri olarak ele alınmakta ve havza ölçeğinde erozyon riskinin mekânsal dağılımının ortaya konulmasında dikkate alınmaktadır (ICONA, 1991; Morgan, 2005).

Eğim, yüzey akışının hızını ve taşıma kapasitesini doğrudan etkileyen temel topoğrafik faktörlerden biri olarak kabul edilirken, kayaçların litolojik özellikleri ise ayrışma direnci ve toprak oluşum süreçleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Panagos ve ark., 2015). Şekil 4' de çalışma alanına ait eğim haritası sunulmaktadır. Harita genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde yüksek eğim değerlerinin hâkim olduğu görülmektedir. Özellikle %20-35 ve %35'in üzerindeki eğim sınıflarının havzanın geniş bir kısmında yayılım göstermesi, bölgenin genel topoğrafyasının engebeli ve dağlık bir karaktere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Orta eğimli alanlar (%12-20) daha çok yamaç bölgelerinde yer alırken, düşük eğimli alanlar (%0-3 ve %3-12) ise sınırlı alanlarda bulunmakta ve çoğunlukla havza tabanı gibi daha düz topoğrafik kesimlerde görülmektedir. Eğim, yüzey akışının hızını ve buna bağlı olarak toprak taşınımını doğrudan etkileyen önemli topoğrafik faktörlerden biridir. Eğim değerlerinin artması, yüzey akışının hızını artırarak toprağın taşınma potansiyelini yükseltebilmekte ve bu durum erozyon riskinin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle yüksek eğime sahip alanların erozyon açısından daha hassas olduğu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda eğim faktörü, ICONA erozyon risk modelinde erozyon duyarlılığının belirlenmesinde dikkate alınan temel parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanına ait arazi örtüsü, arazi kullanımı, jeoloji ve eğim haritaları

Potansiyel Risk Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan tematik katmanların, CBS ortamında bir araya getirilmesi sonucunda ICONA erozyon risk modeline ait toprak koruma, potansiyel toprak erozyonu ve nihai ICONA erozyon risk haritaları oluşturulmuştur. Arazi örtüsü, arazi kullanımı, topoğrafya ve jeolojik yapı gibi çevresel faktörler; yüzey akışı ve toprak taşınımını etkileyen başlıca parametreler arasında yer almakta olup, havza ölçeğinde erozyon süreçlerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Poesen, 2018; Bünemann ve ark., 2018). Bu

kapsamda ilk olarak arazi örtüsü ve arazi kullanım haritalarının birleştirilmesiyle elde edilen toprak koruma haritası değerlendirilmiştir. Şekil 5’de arazi örtüsü ve arazi kullanım haritalarının karşılaştırılmasıyla elde edilen toprak koruma haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde toprak koruma düzeyinin orta ve düşük sınıflarda yoğunlaştığı görülmektedir. Orta düzeyde koruma sağlayan alanlar havzanın geniş kesimlerine yayılmış durumdayken, düşük koruma kapasitesine sahip alanlar özellikle yamaç bölgelerinde ve tarımsal faaliyetlerin daha yoğun olduğu kesimlerde belirginleşmektedir. Buna karşılık çok yüksek koruma kapasitesine sahip alanların çalışma alanı içerisinde daha sınırlı bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.

Bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanım biçimi, erozyon süreçlerini doğrudan etkileyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Bitki örtüsü, yağış damlalarının kinetik enerjisini azaltarak toprak parçacıklarının yüzeyden kopmasını sınırlandırmakta ve yüzey akış hızını düşürerek sediment taşınımını azaltmaktadır (Gyssels ve ark., 2005). Buna karşılık bitki örtüsünün zayıf olduğu veya tarımsal kullanımın yoğun olduğu alanlarda toprak yüzeyi daha açık hale gelmekte ve bu durum erozyon riskinin artmasına neden olabilmektedir (Zuazo & Pleguezuelo, 2008). Bu nedenle toprak koruma kapasitesinin mekânsal dağılımı, çalışma alanında erozyona duyarlı bölgelerin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Jeolojik yapı ve topoğrafik özellikler ise bir alanın doğal erozyon duyarlılığını belirleyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle ICONA modelinde potansiyel erozyonun belirlenmesi amacıyla jeoloji ve eğim katmanları birlikte değerlendirilerek toprak aşınımı haritası oluşturulmaktadır (Montgomery, 2007). Bu yaklaşım, litolojik özellikler ile topoğrafik eğimin yüzey akışı ve sediment taşınımı üzerindeki etkilerinin birlikte analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (García-Ruiz ve ark., 2015).

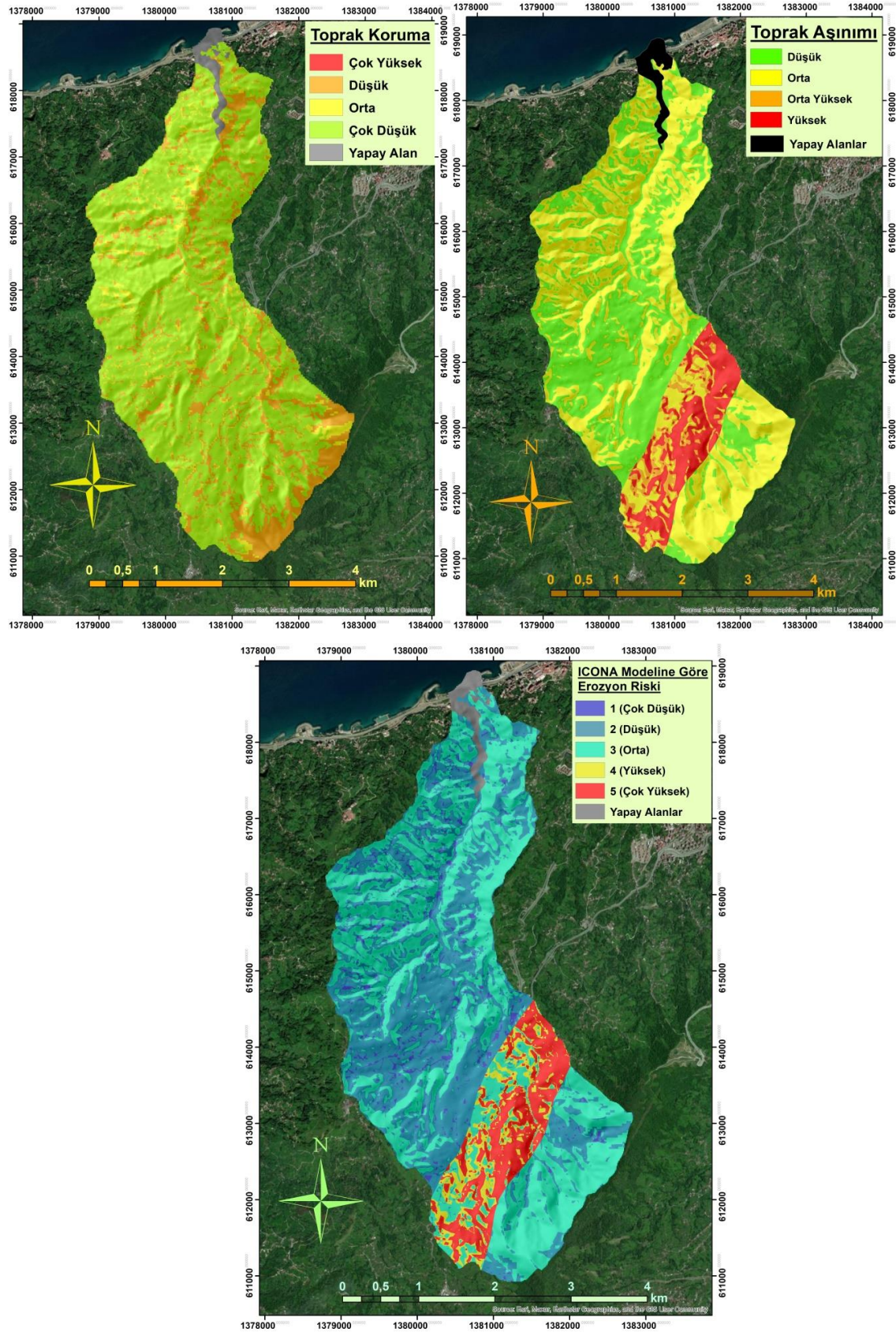
Ayrıca, Şekil 5’de jeoloji ve eğim haritalarının karşılaştırılmasıyla elde edilen toprak aşınımı (potansiyel erozyon) haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde düşük ve orta düzeyde potansiyel erozyon sınıflarının hâkim olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle havzanın güney kesimlerinde yüksek ve orta-yüksek erozyon duyarlılığına sahip alanların daha yoğun bir şekilde dağıldığı dikkat çekmektedir. Bu durumun, söz konusu bölgelerde eğim değerlerinin yüksek olması ve litolojik özelliklerin ayrışmaya daha duyarlı yapıda bulunmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Eğim, yüzey akışının hızını ve akışın taşıma kapasitesini doğrudan etkileyen temel topoğrafik faktörlerden biridir. Eğim değerlerinin artmasıyla birlikte yüzey akışı hızlanmakta ve bu durum toprak parçacıklarının taşınmasını kolaylaştırmaktadır (Toy ve ark., 2002). Benzer şekilde ayrışmaya daha duyarlı litolojik birimlerin bulunduğu alanlarda toprak oluşum süreçleri daha hızlı gerçekleşebilmekte ve bu durum erozyona karşı hassasiyeti artırabilmektedir. Bu nedenle yüksek eğim değerleri ile ayrışmaya yatkın litolojik özelliklerin birlikte bulunduğu alanların potansiyel erozyon açısından daha riskli bölgeleri temsil ettiği değerlendirilmektedir (García-Ruiz ve ark., 2015).

ICONA modelinin son aşamasında ise arazi örtüsü ve arazi kullanım katmanlarının birleştirilmesiyle elde edilen toprak koruma haritası ile jeoloji ve eğim katmanlarının entegrasyonu sonucu oluşturulan toprak aşınımı haritası CBS ortamında karşılaştırılarak nihai erozyon risk haritası elde edilmiştir. Bu işlem sayesinde çalışma alanında erozyon riskinin mekânsal dağılımı ortaya konulabilmektedir. ICONA modelinde kullanılan bu yaklaşım, erozyon süreçlerini etkileyen doğal ve insan kaynaklı faktörlerin birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır (Verstraeten ve ark., 2009).

ICONA modelinin son aşamasında ise elde edilen toprak koruma haritası ile potansiyel erozyon haritası karşılaştırılarak çalışma alanına ait nihai ICONA erozyon risk haritası oluşturulmuştur. Bu işlem sonucunda bitki örtüsü, arazi kullanımı, jeolojik yapı ve topoğrafya gibi temel çevresel faktörler birlikte değerlendirilmiş ve havza ölçeğinde erozyon riskinin mekânsal dağılımı ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım, özellikle veri eksikliğinin bulunduğu alanlarda hızlı ve güvenilir erozyon risk değerlendirmesi yapılmasına olanak tanıyan pratik bir yöntem olarak literatürde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Bayramin ve ark., 2003).

Son olarak Şekil 5’de ICONA modeline göre oluşturulan erozyon risk haritası verilmiştir. Harita incelendiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde düşük ve orta düzeyde erozyon riskinin hâkim olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle havzanın güney kesimlerinde yüksek ve çok yüksek erozyon riskine sahip alanların daha yoğun olarak dağıldığı dikkat çekmektedir. Bu durumun, söz konusu bölgelerde eğim değerlerinin yüksek olması, litolojik birimlerin ayrışmaya daha duyarlı özellikler göstermesi ve toprak koruma kapasitesinin görece düşük olması ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Erozyon riskinin mekânsal dağılımı incelendiğinde, yüksek ve çok yüksek risk sınıflarının özellikle eğimli yamaç alanlarında ve bitki örtüsünün daha seyrek olduğu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık düşük eğime sahip ve

bitki örtüsü yoğunluğunun daha yüksek olduğu alanlarda erozyon riskinin nispeten daha düşük düzeylerde kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, topoğrafya ile arazi örtüsünün erozyon süreçleri üzerindeki belirleyici etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Benzer şekilde gerçekleştirilen çalışmalar da eğim, litoloji ve arazi kullanım özelliklerinin birlikte değerlendirilmesinin havza ölçeğinde erozyon riskinin belirlenmesinde daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir (Toy ve ark., 2002).



Şekil 5. Çalışma alanına ait toprak koruma, toprak aşınım ve erozyon risk haritaları

SONUÇ

Bu çalışmada Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikrohavzada erozyon riskinin mekânsal dağılımı ICONA modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Arazi örtüsü, arazi kullanımı, jeolojik yapı ve topoğrafik eğim gibi erozyon süreçlerini doğrudan etkileyen çevresel faktörler CBS ortamında analiz edilerek tematik katmanlar oluşturulmuş ve model kapsamında entegre edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, çalışma alanında düşük ve orta düzeyde erozyon riskinin geniş alanlarda yayılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte havzanın özellikle güney kesimlerinde eğim değerlerinin yüksek olması, litolojik birimlerin ayrışmaya daha duyarlı özellikler göstermesi ve bitki örtüsü yoğunluğunun görece düşük olması nedeniyle yüksek ve çok yüksek erozyon risk sınıflarının yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu durum, topoğrafya, jeolojik yapı ve arazi örtüsü gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesinin erozyon süreçlerinin anlaşılmasında önemli olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan ICONA modeli, özellikle veri eksikliğinin bulunduğu alanlarda erozyon riskinin hızlı ve pratik bir şekilde belirlenmesine olanak sağlaması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Modelin sunduğu mekânsal değerlendirme yaklaşımı sayesinde havza içerisinde erozyona karşı daha hassas bölgeler belirlenebilmekte ve bu alanlar için uygun arazi yönetimi stratejileri geliştirilebilmektedir.

Sonuç olarak elde edilen erozyon risk haritası, çalışma alanında uygulanabilecek toprak ve su koruma önlemlerinin planlanması açısından önemli bir karar destek aracı niteliğindedir. Özellikle yüksek risk sınıfında yer alan yamaç alanlarında bitki örtüsünün artırılması, uygun arazi kullanım planlamasının yapılması ve toprak koruma uygulamalarının geliştirilmesi erozyonun azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca benzer çalışmaların farklı havzalarda uygulanması, bölgesel ölçekte erozyon riskinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

- Akay AE. 2005. The effects of forest roads on sediment production and erosion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(2), 99–105.
- Akay AE, Erdaş O, Reis M, Yüksel A. 2008. Estimating sediment yield from forest road surfaces in the eastern Black Sea region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 95–103.
- Arabameri A, Rezaei K, Cerda A, Lombardo L, Rodrigo-Comino J. 2019. GIS-based soil erosion susceptibility mapping using statistical and machine learning models in a semi-arid environment. *Science of the Total Environment*, 655, 1299–1312.
- Bayramin İ, Dengiz O, Başkan O, Parlak M. 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model: Case study Beypazarı area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 105–116.
- Borrelli P, Robinson DA, Fleischer LR, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schütt B, Ferro V, Bagarello V, Van Oost K, Montanarella L, Panagos P. 2020. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 11, 6145.
- Bünemann EK, Bongiorno G, Bai Z, Creamer RE, De Deyn, G, De Goede R, Flesskens L, Geissen V, Kuyper TW, Mäder P, Pulleman M, Sukkel W, Van Groenigen JW, Brussaard L. 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125.
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 2023. On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028). Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
- ÇMUSEP. 2019. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı. Çölleşme ve erozyonla mücadele ulusal stratejisi ve eylem planı (2019-2030). Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü.
- Dengiz O, İmamoğlu A, Saygın F. 2014. Assessment of soil erosion risk using the ICONA model: A case study from the Black Sea region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 6501–6518.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek B A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (pp. 3–21). Soil Science Society of America.
- DSİ. 2010. Türkiye’de barajlarda sedimantasyon ve rezervuar kapasite kayıpları. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Manual*. Clark Labs-Clark University, Worcester, 45.
- FAO. 2014. World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO ve ITPS. 2015. Status of the world’s soil resources (SWSR) – Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- García-Ruiz JM, Beguería S, Lana-Renault N, Nadal-Romero E, Cerdà A. 2015. Ongoing and emerging questions in water erosion studies. *Land Degradation & Development*, 26, 5–21.
- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in Physical Geography*, 29(2), 189–217.
- ICONA 1988, Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal e pérdidas de suelo, Servicio de publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Ariel, S.A, Barcelona, Madrid, pp. 292.
- ICONA. 1991. Agresividad de la lluvia y erosión potencial en España. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, Spain.
- IERE. 2025. Institute for Environmental Research and Education. How does soil erosion affect water quality?
- Kanar E, Dengiz O. 2015. Madendere Havzasında Potansiyel Erozyon Risk Durumunun İki Farklı Parametrik Model Kullanarak Belirlenmesi ve Risk Haritalarının Oluşturulması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*. 2: 123-134
- Karakoca E, Dengiz O, Özcan H. 2023. Assessment of soil erosion sensitivity using GIS-based models in watershed scale. *Environmental Earth Sciences*, 82, 412.
- Kasap M. 2024. Using the ICONA model to assess the current erosion risk of the Hopa Stream catchment (Artvin, Türkiye). *Forestist / Forestry related journal*.
- Lal R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(4), 319–464.
- Lal R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268–13272.
- Morgan RPC. 2005. *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Pacci S, Dengiz O, Alaboz P, Saygın F. 2024. Artificial neural networks in soil quality prediction: Significance for sustainable tea cultivation. *Science of the Total Environment*, 947, 174447.
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Alewell C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 54, 438–447.
- Panagos P, Borrelli P, Meusburger K. 2018. A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences*, 8(9), 1–17.
- Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić MP, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J, Lakatos M, Rymaszewicz A, Dumitrescu A, Beguería, S, Alewell C. 2021. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 769, 145252.
- Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123.
- Pimentel D, Burgess M. 2013. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3(3), 443–463.
- Pla I. 1997. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. *Soil Technology*, 11(1), 17–30.
- Poesen J. 2018. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43, 64–84.
- Saygın F, Şavşatlı Y, Dengiz O, Namlı A, Karataş A, Şenol ND, Demirkaya S. 2023. Soil quality assessment based on hybrid computational approach with spatial multi-criteria analysis and geographical information system for sustainable tea cultivation. *The Journal of Agricultural Science*, 161(2), 187–204.
- Toy TJ, Foster GR, Renard KG. 2002. *Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control*. John Wiley & Sons.
- Van Wambeke, A. 2000. The Newhall simulation model for estimating soil moisture and temperature regimes. Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences, Ithaca, NY.
- Verstraeten G, Poesen J, Demarée G, Salles C. 2009. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research*, 111, F04006.
- Yüksel A, Akay, A. E., Reis M. 2007. Estimating sediment yield from forest road surfaces in the eastern Black Sea region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 127, 347–356.
- Zuazo VHD, Pleguezuelo CRR. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 65–86.