

Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238



Araştırma Makalesi / Research Article

CBS VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE ICONA MODELİ KULLANILARAK KATRANCI ÇAYI HAVZASI'NDA (HAYMANA, ANKARA) TOPRAK EROZYONU DUYARLILIğININ DEğERLENDİRİLMESİ

Assessment of Soil Erosion Susceptibility in the Katrancı Stream Basin (Haymana, Ankara) Using the ICONA Model with GIS and Remote Sensing Techniques

Ebubekir KARAKOCA

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakóltesi, Coğrafya Bölümü, Bilecik, Türkiye
 ebubekir.karakoca@bilecik.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-6454-2082>

Makale Tarihçesi

Geliş 8 Mart 2025

Kabul 18 Mart 2025

Article History

Received 8 March 2025

Accepted 18 March 2025

Anahtar Kelimeler

ICONA Modeli, Toprak Erozyonu,
 Erozyon Duyarlılık Haritası,
 Haymana, Sakarya Nehri Havzası

Keywords

ICONA Model, Soil Erosion, Erosion
 Susceptibility Map, Haymana,
 Sakarya River Basin

Atıf Bilgisi / Citation Info

Karakoca, E. (2025) CBS ve Uzaktan
 Algılama Teknikleri ile Icona Modeli
 Kullanılarak Katrancı Çayı
 Havzası'nda (Haymana, Ankara)
 Toprak Erozyonu Duyarlılığının
 Değerlendirilmesi / Assessment of
 Soil Erosion Susceptibility in the
 Katrancı Stream Basin (Haymana,
 Ankara) Using the ICONA Model
 with GIS and Remote Sensing
 Techniques, Jeomorfolojik
 Araştırmalar Dergisi / Journal of
 Geomorphological Researches,
 2025 (14): 126-145.

doi: 10.46453/jader.1653839

ÖZET

Günümüzde, insan faaliyetlerinin artması ve yaygınlaşmasıyla birlikte toprak erozyonu, küresel ölçekte önemli bir tehdit haline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, ICONA modeli ile Coğrafî Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama teknikleri kullanılarak Türkiye'nin en büyük nehir sistemlerinden birisi olan Sakarya Nehri'nin yukarı çıkırındaki bir kolu olan Katrancı Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılığının belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. ICONA modelinde temel bileşenler eğim, litoloji, arazi kullanımı ve bitki örtüsüdür. Bu bileşenler arasında, eğim ve litoloji katmanlarının birleştirilmesiyle toprak aşınabilirlik verisi, arazi kullanımı ve arazi örtüsü entegrasyonu ile toprak koruma verisi oluşturulmuştur. Bu katmanların bir araya getirilmesiyle havzanın toprak erozyonu duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Toprak erozyonu duyarlılık haritası, arazi çalışmaları ile desteklenmiştir.

ICONA modeli erozyon duyarlılık haritasının sonuçlarına göre, çalışma alanında orta düzeyde erozyon duyarlılığı, en geniş alanı kapsamakta olup, toplam havza yüzeyinin %40,39'unu oluşturmaktadır. Çok düşük ve düşük erozyon duyarlılığı sınıfına giren alanlar havzanın %27,54'ünü kapsamaktadır. Buna karşılık, eğimin yüksek olduğu ve toprak koruma kapasitesinin yetersiz kaldığı bölgelerde erozyon duyarlılığı belirgin şekilde artmaktadır. Havzanın yaklaşık %20,97'si yüksek, %11,1'i ise çok yüksek seviyede erozyon duyarlılık sınıfında yer almakta olup, bu alanlar çoğunlukla tarım arazilerinde yoğunlaşmaktadır.

Sonuç olarak, yanlış arazi kullanımı, uygunsuz tarım uygulamaları ve aşırı otlatma, havzanın erozyona karşı hassasiyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Erozyona duyarlı alanlarda arazi kullanımının sürdürülebilir şekilde planlanması, eğimli arazilerde uygun tarım tekniklerinin benimsenmesi, mera alanlarında aşırı otlatmanın kontrol altına alınması ve toprak koruma stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanması, toprak erozyonunun kontrol altına alınması ve önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

ABSTRACT

Soil erosion has become a significant global threat with the increase and expansion of human activities. The aim of this study is to determine and assess the erosion susceptibility of the Katrancı Stream Basin, located in the upper catchment of the Sakarya River Basin, one of Türkiye's largest river basins, using the ICONA model combined with Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques. The key components of the ICONA model include slope, lithology, land use, and vegetation cover. Among these, the combination of the slope and lithology layers was used to generate the soil erodibility data, while the integration of land use and vegetation cover provided the soil protection data. By combining these datasets, a soil erosion susceptibility map for the basin was produced and subsequently validated through field observations.

According to the results of the ICONA model erosion susceptibility map, moderate erosion susceptibility covers the largest area within the study region, accounting for 40.39% of the total basin area. Areas classified under very low and low erosion susceptibility constitute 27.54% of the basin. In contrast, regions with steep slopes and insufficient soil protection capacity exhibit a

significant increase in erosion susceptibility. Approximately 20.97% of the basin falls within the high erosion susceptibility category, while 11.1% is classified as very high erosion susceptibility, with these areas predominantly concentrated in agricultural lands.

In conclusion, improper land use, unsustainable agricultural practices, and overgrazing significantly increase the basin's susceptibility to erosion. The sustainable planning of land use in erosion-prone areas, the adoption of appropriate agricultural techniques on sloping terrains, the regulation of overgrazing in pasturelands, and the implementation of effective soil conservation strategies are essential for the mitigation and prevention of soil erosion.

© 2025 Jeomorfoloji Derneği / Turkish Society for Geomorphology
Tüm hakları saklıdır / All rights reserved.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Soil erosion is a natural geological process that occurs when various factors, such as water and wind, erode the soil and transport it to another location (Ganasri & Ramesh, 2016; Gholami et al., 2021). This process is shaped by biophysical factors, including climatic conditions, lithological and geomorphological characteristics, vegetation cover, and the interactions among these elements (Ganasri & Ramesh, 2016). However, with the increasing prevalence of human activities, factors such as land-use changes, natural resource degradation, overgrazing, and excessive fertilization accelerate erosion processes. In particular, the conversion of forested areas into agricultural land leads to various environmental problems within watersheds (Tağıl, 2009; Dutal & Reis, 2020; Esmaeili Gholzom et al., 2020; İkiel et al., 2020; Esmaeili Gholzom et al., 2022; Alevkayalı & Abi, 2023). The estimation, assessment, and mapping of soil erosion losses are of great significance. To identify areas susceptible to soil erosion and predict erosion rates, various methods have been developed. Today, with advancements in technology, modeling techniques have become widely preferred for assessing erosion susceptibility. Erosion modeling encompasses mathematical and computer-based methods used to estimate soil loss and understand erosion processes. These models help evaluate the effects of natural and anthropogenic factors on soil erosion, determine erosion susceptibility, and develop sustainable land management strategies. Since soil erosion is a dynamic

process that exhibits spatial and temporal variability, these models serve as essential tools for predicting soil displacement and simulating different scenarios (Batista et al., 2019). In recent years, numerous models have been developed for erosion prediction and soil conservation planning (Table 1). Empirical-based erosion models include approaches such as USLE, RUSLE, and ICONA, while physically based models such as LISEM, WEPP, and EUROSEM have also been established (Cürebali & Ekinici, 2006; Bouaziz et al., 2011; Mutlu et al., 2021; Esmaeili Gholzom et al., 2022) (Table 1). Among these models, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), updated by Renard et al. (1997), is one of the most widely used approaches due to its simple data requirements and broad applicability (Merritt et al., 2003; Bayramin et al., 2008).

This study aims to evaluate erosion susceptibility in the Katrancı Stream Basin, located in the southeastern part of the Haymana Basin, using the ICONA model. In this context, Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques were utilized to analyze factors influencing erosion and to generate an erosion susceptibility map. To assess the reliability of the results obtained from the ICONA model, fieldwork was conducted within the study area.

Material and Method

In line with the objectives of this study, topographic data, a geological map, and the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Digital Elevation Model (DEM) with a 12,5 m

resolution obtained from the ALOS PALSAR platform were utilized. Land use and land cover data were derived from CORINE data (2018) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data extracted from Landsat-8 imagery (2023). Precipitation data were obtained from the Turkish State Meteorological Service, while soil data were retrieved from the open-access platform SoilGrids. The datasets and sources used in this study are presented in Table 2. To assess soil erosion susceptibility in the study area, the GIS-based ICONA model was employed. As illustrated in Figure 2, the ICONA model consists of seven stages. First, soil erosion susceptibility data were generated using slope and geological data in ArcMap 10.7. Subsequently, land use and land cover data were integrated to produce soil protection data. Finally, the soil susceptibility and soil protection datasets were overlaid to generate the final soil erosion susceptibility map for the study area (Figure 2).

Findings

According to the soil erosion susceptibility map results for the study area, the moderate erosion susceptibility class constitutes the largest proportion of the basin, covering approximately 21,124 ha and accounting for 40.39% of the total area. On the other hand, about 27.54% of the basin falls within the very low and low erosion susceptibility classes, while the remaining portion (32.07%) is classified under high and very high erosion susceptibility categories (Table 10, Figure 5). Therefore, a significant portion of the basin area is classified within the moderate and high erosion susceptibility categories. The findings obtained from field studies confirm the erosion susceptibility map results. In particular, moderate to severe erosion activities have been observed in and around the settlements of Karahoca, Kızılkoyunlu, Yamak, İncirli, Demirözü, and İler. Agricultural activities conducted on steep and very steep slopes without any conservation measures significantly intensify erosion over time. Moreover, the low organic matter content of the basin's soils (0.88%–2.86%) limits soil porosity and cohesion, negatively affecting water infiltration. Reduced infiltration leads to an increase in surface runoff, which in turn

accelerates erosion. In the study area, where herbaceous species are predominant, the absence of natural barriers to counteract surface runoff generated by rainfall and snowmelt allows water to flow directly over the surface. This condition further intensifies erosion processes (Figure 7).

Conclusion

According to the results of the ICONA model soil erosion susceptibility map, the moderate erosion susceptibility class covers the largest area within the study region, accounting for 40.39% (21,124 ha) of the total basin surface. Areas classified under the very low and low erosion susceptibility classes constitute 27.54% of the basin. Conversely, erosion susceptibility increases significantly in regions with steep slopes and insufficient soil conservation capacity. Approximately 20.97% of the basin falls within the high erosion susceptibility class, while 11.1% is categorized as very high erosion susceptibility, with these areas predominantly concentrated in agricultural lands. Improper land use, unsuitable agricultural practices, and overgrazing significantly increase the basin's susceptibility to erosion. To mitigate soil erosion, it is crucial to ensure the sustainable planning of land use in erosion-prone areas, adopt appropriate agricultural techniques on sloped terrains, control overgrazing in pasturelands, and implement effective soil conservation strategies.

In conclusion, this study demonstrates that the erosion susceptibility map generated using the ICONA model, in combination with GIS and Remote Sensing techniques, provides a reliable assessment for the Katrancı Basin. The ICONA model can be considered a reliable, rapid, cost-effective, and time-efficient method for identifying potential erosion-prone areas and conducting soil erosion susceptibility assessments in the context of sustainable watershed management.

1. GİRİŞ

Toprak erozyonu, su ve rüzgâr gibi dış etkenlerin toprağı aşındırarak başka bir alana taşınmasıyla meydana gelen doğal bir jeolojik ve jeomorfolojik bir süreçtir (Ganasri & Ramesh, 2016; Gholami vd., 2021). Bu süreç, iklim koşulları, litolojik ve jeomorfolojik özellikler (eğim, yükseklik, bakı), toprak ile bitki örtüsü gibi biyofiziksel unsurlar tarafından şekillendirilmektedir (Ganasri & Ramesh, 2016). Ancak günümüzde, insan faaliyetlerinin artmasıyla birlikte arazi kullanımındaki değişiklikler, doğal kaynakların tahribi, aşırı otlatma, yoğun gübreleme ve orman alanlarının tarıma açılması gibi faktörler erozyon süreçlerini hızlandırarak çeşitli çevresel sorunlara neden olmaktadır (Tağıl, 2009; Sunkar & Avcı, 2015; Dutal & Reis, 2020; Esmaeil Gholzom vd., 2020; İkiel vd., 2020; Esmaeil Gholzom vd., 2022; Alevkayalı & Abi, 2023). Toprak erozyonu, özellikle tarımsal üretim, hidrolojik sistemler ve su kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle ciddi bir çevresel sorun olarak değerlendirilmektedir (Lal, 2001; Alizadeh vd., 2022; Yıldız & Kahveci, 2024). Hızlı toprak kaybına yol açarak doğal ekosistemleri tahrip eden bu süreç, uzun vadede doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını ve tarım arazilerinin verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, insan kaynaklı müdahaleler biyolojik dengenin bozulmasına neden olarak ekosistemlerin işleyişini tehdit etmektedir (Esmaeil Gholzom vd., 2022). Küresel ölçekte, kişi başına düşen tarım arazisi miktarı giderek azalmakta ve bu süreçte toprak erozyonu önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Boardman, 2006). Dünya genelinde her yıl yaklaşık 6 milyon hektar (ha) tarım arazisi erozyona uğramakta ve insan kaynaklı toprak bozulmasının toplamda yaklaşık 2 milyar hektarlık bir alanı etkilediğı tahmin edilmektedir (Lal, 2001; Ganasri & Ramesh, 2016; Erpul vd., 2020). Türkiye’de ise yıllık ortalama 642 milyon ton toprağın erozyon nedeniyle taşındığı belirtilmektedir (Erpul vd., 2020). Arazi kullanımı açısından değerlendirildiğinde, erozyona maruz kalan alanların %39’unun tarım, %4’ünün orman ve %54’ünün mera alanlarından oluştuğı belirlenmiştir (Babalık vd., 2021; ÇEM, 2021). Bu

durum, tarım arazilerinin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle, toprak erozyonuna bağılı toprak bozulması Türkiye’de en önemli çevresel sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Zeybek, 2001; Dutal & Reis, 2020). Dolayısıyla, toprak erozyonu kaynaklı kayıplarının tahmin edilmesi, değerlendirilmesi ve haritalanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması açısından uygun arazi yönetimi ve toprak koruma önlemlerinin belirlenmesi kritik bir gerekliliktir (Baskan vd., 2010).

Toprak erozyonuna duyarlı alanların belirlenmesi ve erozyonun tahmin edilmesi amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzde, teknolojik ilerlemelerin de etkisiyle, erozyon duyarlılığının değerlendirilmesinde modelleme yöntemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu modeller genel olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır: (a) deneysel (ampirik) modeller, (b) fiziksel modeller ve (c) kavramsal modeller (Wheater vd., 1993; Fıstıkoğlu & Harmancıoğlu, 2002; Dutta vd., 2016). Ampirik modeller, saha ölçümlerinden elde edilen verilerin istatistiksel analiziyle geliştirilen ve özellikle sediment kaynaklarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerdir (Merritt vd., 2003; Özşahin, 2023). Bölgesel düzeyde genellenebilir sonuçlar sunmaları nedeniyle havza ölçeğinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, daha az girdi verisi içermeleri nedeniyle, havzalardaki sediment erozyonu ve birikim süreçlerini detaylı şekilde analiz etmede yetersiz kalabilmektedir (Dutta, 2016). Fiziksel modeller, yüzey akışı ve sediment verimini tanımlamak için matematiksel denklemler üzerine kuruludur. Topoğrafya, toprak yapısı, eğim, bitki örtüsü, yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi birçok faktörün etkisini değerlendirmede oldukça kullanışlıdır. Bununla birlikte, büyük miktarda veri gereksinimi nedeniyle uygulanabilirlik açısından bazı zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Kavramsal modeller ise havza içerisindeki erozyonal süreçleri hem niceliksel hem de niteliksel olarak analiz edebilme yetenekleri sayesinde önemli bir yere sahiptir (Dutta, 2016). Son yıllarda, makine öğrenmesi ve yapay zekâ tekniklerindeki ilerlemelerle birlikte erozyon tahmini ve erozyon duyarlılık analizi

alışmalarında bu yeni teknolojilerle entegre modellerin kullanımı giderek artmaktadır (Alevkayalı & Abi, 2023).

Toprak erozyonu problemlerinin boyut ve etkilerini doğru bir şekilde değerlendirebilmek için nicel analizler gereklidir. Sahada yapılan ölçümlerle desteklenen bu analizler, bölgesel ölçekli sağlıklı arazi yönetim stratejileri geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Ganasri & Ramesh, 2016; Güney & Turoğlu, 2018). Erozyon süreçlerini nicel olarak ifade edebilmenin en etkili yollarından biri, erozyon modelleme çalışmalarına dayanmaktadır (Boardman, 2006). Erozyon modellemesi, toprak kaybını tahmin etmek ve süreçlerini anlamak amacıyla geliştirilen matematiksel ve bilgisayar tabanlı yöntemleri kapsamaktadır. Bu modeller, doğal ve beşer faktörlerin toprak erozyonu üzerindeki etkilerini değerlendirerek, erozyon duyarlılığını belirlemeye ve sürdürülebilir arazi yönetimi stratejileri geliştirmeye yardımcı olmaktadır. Toprak erozyonu, mekânsal-zamansal olarak değişkenlik gösteren durağan olmayan bir süreç olduğu için, bu modeller toprağın nasıl yer değiştirdiğini tahmin etmek ve farklı senaryoları simüle etmek açısından önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır (Batista vd., 2019). Toprak erozyonu ile ilgili ilk ölçümler 1915 yılında ABD’de başlamış olup, 1965 yılında Wischmeier ve Smith tarafından geliştirilen “Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE)” ile erozyon tahminine yönelik bütüncül bir yaklaşım ortaya konulmuştur (Wischmeier & Smith, 1978). Bu denklem; yağış, bitki örtüsü, toprak ve topoğrafya gibi faktörleri dikkate alarak toprak kaybı miktarını belirlemeyi amaçlamaktadır (Laflen & Flanagan, 2013). 1980’lerden itibaren ise havza ve alt havza ölçeklerinde daha kapsamlı erozyon modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (Fıstıkoğlu & Harmancıoğlu, 2002). Son yıllarda ise erozyon tahmini ve toprak koruma planlaması yapmak için birçok model geliştirilmiştir (Tablo 1). Sıklıkla tercih edilen ampirik temelli erozyon modelleri arasında USLE, RUSLE ve ICONA ne çıkarken; fiziksel tabanlı modeller arasında LISEM, WEPP ve EUROSEM gibi yaklaşımlar bulunmaktadır (Cürebal & Ekinci, 2006; Avcıoğlu vd., 2020; Bouaziz vd., 2011; Mutlu vd., 2021; Ustaoglu vd., 2021; Aykır & Fıçıcı, 2022; Esmaeili Gholzom vd., 2022) (Tablo 1). Bu

modeller arasında, Renard vd. (1997) tarafından revize edilen RUSLE (Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi), basit veri gereksinimi ve geniş uygulama alanı sayesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Merritt vd., 2003; Bayramın vd., 2008).

Teknolojik gelişmeler, Uzaktan Algılama (UA), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Küresel Konumlandırma Sistemleri (GPS) gibi mekânsal bilgi teknolojileri ile entegre edilebilen bilimsel uygulamaların kullanımını yaygınlaştırmıştır (Erpul vd., 2020). CBS ve UA teknikleri, mekânsal veri analizini daha hızlı ve sistematik hale getirerek, farklı veri kaynaklarının bütünleştirilmesini ve yönetilmesini sağlamaktadır (Reis vd., 2017; Esmaeili Gholzom vd., 2020). Özellikle CBS ve UA tekniklerindeki ilerlemeler, erozyon modellemeleri üzerinde de önemli bir etkiye sahip olmuş ve bu yöntemlerin doğal kaynak yönetimi ile toprak kaybının mekânsal dağılımını belirlemede kritik bir rol üstlenmesini sağlamıştır (Dutta, 2016; Batista vd., 2019). Bu gelişmeler, belirli bir bölge veya havza ölçeğinde niteliksel ve niceliksel olarak toprak kaybının belirlenmesini, yorumlanmasını ve haritalanmasını mnkn kılmıştır.

Erozyon duyarlılığını belirlemeye yönelik yalnızca nicel değil, nitel değerlendirme yöntemleri de bulunmaktadır. Nitel değerlendirme modelleri, erozyona yatkınlık ve risk oluşturan faktörleri analiz ederek öncelikli bölgelerin belirlenmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır (Esmaeili Gholzom vd., 2022). Her ne kadar nitel değerlendirme yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olsa da (Li vd., 2017), bu yaklaşımlar toprak koruma önceliklerinin belirlenmesi ve bölgeye özgü etkili faktörlerin analiz edilmesi açısından faydalı görülmektedir (Esmaeili Gholzom vd., 2022).

Bu kapsamda, İspanyol Doğa Koruma Derneği tarafından geliştirilen ICONA modeli (Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza), erozyon duyarlılığını değerlendiren ampirik ve niteliksel yöntemlerden biridir (ICONA, 1997; Esmaeili Gholzom vd., 2020; Esmaeili Gholzom vd., 2022). CBS ve UA teknikleriyle entegre edilen model, eğim,

litoloji, arazi kullanımı ve arazi örtüsü gibi dört temel girdinin hiyerarşik organizasyonunu kullanarak erozyon duyarlılık haritalarının oluşturulmasını sağlar. ICONA modeli, özellikle ulusal ve bölgesel ölçekli erozyon duyarlılık haritalarının üretilmesinde güvenilir sonuçlar vermesi ve geniş alanlarda uygulanabilirliği ile ön plana çıkmaktadır (Esmaili Gholzom vd., 2022). CBS ve UA destekli analizler, ICONA modelinin uygulanmasını kolaylaştırarak mekânsal veri yönetimini hızlandırmakta ve büyük ölçekli erozyon değerlendirmelerini daha sistematik hale getirmektedir (Reis vd., 2017). Modelin basit ve esnek bir yapıya sahip olması, başta Avrupa ve Akdeniz ülkeleri olmak üzere

farklı coğrafi bölgelerde yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Bayramin vd., 2008; Dengiz vd., 2014). Bölgesel koşullara uyarlanabilirliği sayesinde, karar verme süreçlerinde etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir. Nitekim, Türkiye’de erozyona duyarlı alanların belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla hem bölgesel hem de havza ölçeğinde ICONA modeli birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Bayramin vd., 2003; Dengiz vd., 2014; Hatipoğlu & Hatipoğlu, 2020; Hatipoğlu & Uzun, 2020; Ediş vd., 2021; Özvan vd., 2022; Yıldız & Kahveci, 2024; Bilgiç & Er, 2025).

Tablo 1: Toprak erozyonu modellemesinde kullanılan bazı yöntemlerin kısaltmaları, model isimleri ve referansları (Batista vd. 2019 ve Borrelli vd. 2021 tarafından değiştirilmiştir) / **Table 1:** Abbreviations, model names, and references of some methods used in soil erosion modeling (modified by Batista et al., 2019 and Borrelli et al., 2021).

Model Adı	Kısaltma	Referans
AGricultural Non-Point Source Pollution Model	AGNPS	Young vd. (1989)
COoRdination of INformation on the Environment	CORİNE	Avrupa Komisyonu (1985)
EUROpean Soil Erosion Model	EUROSEM	Morgan vd. (1998)
Institute for CONservation of the NATure	ICONA	ICONA (1997)
LImburg Soil Erosion Model	LISEM	De Roo vd. (1996)
Morgan-Morgan-Finey Model	MMF	Morgan vd. (1984)
Pan European Soil Erosion Risk Assessment	PESERA	Govers vd. (2003)
Revised Universal Soil Loss Equation	RUSLE	Renard vd. (1997)
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management	STREAM	Cerdan vd. (2002)
Soil and Water Assessment Tool	SWAT	Arnold vd. (1998)
Universal Soil Loss Equation	USLE	Wischmeier & Smith (1978)
Modified Universal Soil Loss Equation	MUSLE	Williams & Berndt (1977)
Water and Tillage Erosion Model and SEDiment DELivery Model	WaTEM/SEDEM	Van Oost vd. (2000)
Water Erosion Prediction Project	WEPP/GeoWEPP	Flanagan & Livingston (1995)

Bu çalışmada, ICONA modeli kullanılarak Haymana Havzası’nın güneydoğusunda yer alan Katrancı Çayı Havzası’ndaki toprak erozyonu duyarlılığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Katrancı Çayı havzasındaki toprak erozyonuna ilişkin literatürde önemli bir boşluk bulunmaktadır. Özellikle toprak erozyonunu etkileyen faktörlerin rolü tam olarak açıklığa kavuşturulmamıştır. Bu kapsamda, CBS ve UA teknikleri kullanılarak erozyonu etkileyen faktörler analiz edilmiş ve erozyon duyarlılık haritası oluşturulmuştur. ICONA modelinden elde edilen sonuçların güvenilirliğini

değerlendirmek amacıyla, çalışma sahasında 2024 yılı yaz döneminde arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Erozyon modelleme çalışmalarının saha verileriyle desteklenmesi oldukça önemlidir, çünkü modelin, gerçek arazi koşullarını ne kadar doğru temsil ettiğini değerlendirebilmek için arazi gözlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, çalışmada geleneksel arazi gözlemleri gerçekleştirilmiş ve erozyon duyarlılığı yüksek bölgelerde fotoğraflar çekilerek erozyonun etkileri tespit edilmiştir.

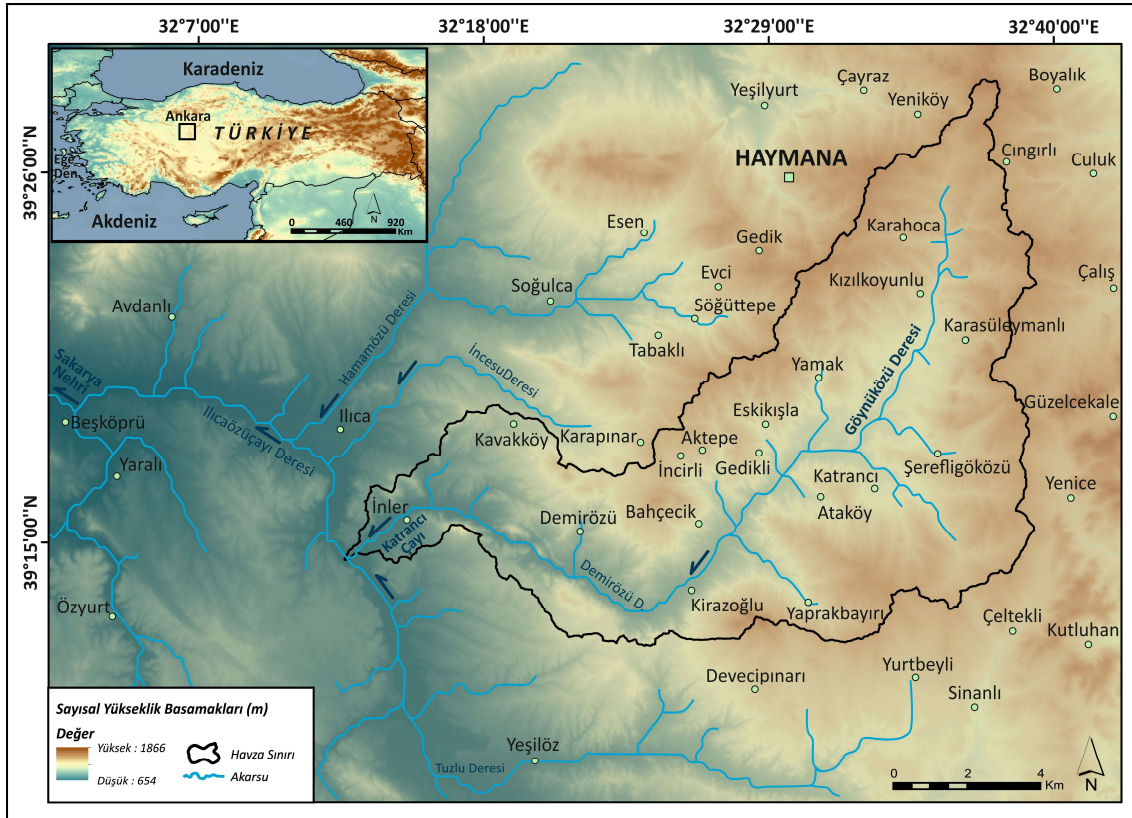
Çalışma sahası, Türkiye'nin en büyük nehir havzalarından birisi olan Sakarya Nehri Havzası içerisinde yer almaktadır. Coğrafi olarak 39° 12' 00" ile 39° 29' 00" kuzey enlemleri ve 32° 10' 00" ile 32° 40' 00" doğu boylamları arasında bulunmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı yaklaşık 524 km²'lik bir alanı kaplamakta olup, yükseltisi 797 m ile 1439 m arasında değişmektedir. Yarı kurak bir iklim bölgesinde yer alan araştırma alanında yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 451.6 mm iken yıllık sıcaklık ortalaması ise 10,5 °C'dir.

Çalışma sahasının bitki örtüsü ağırlıklı olarak step formasyonu şeklindedir. Çalışma sahasında yaygın olarak kserofit (kurakçıl) ve yer yer halofit (tuzcul) bitkiler görülmektedir. Doğal bitki örtüsünün karakteristik türleri arasında geven (*Astragalus*), üzerlik (*Peganum*), sığır kuyruğu (*Verbascum*) ve devedikenini (*Carlina marianum*) bulunmaktadır. Ormanlık alanlarda ise baskın ağaç türleri ardıç (*Juniperus*) ve meşe (*Quercus*) türleridir. Arazi örtüsü bakımından çalışma sahasında tarım alanları, meralar ve çayırılar öne çıkmaktadır. En geniş yayılıma sahip arazi türü %61'lik bir oranla (yaklaşık 324,14 hektar) tarım arazileridir. Bu alanların %54'ünde (286,63 hektar) nadaslı kuru tarım,

%7'sinde (37,51 hektar) ise nadassız kuru tarım yapılmaktadır. Meralar, %37'lik bir oranla (195,6 hektar) ikinci en geniş arazi kullanım türünü oluşturmaktadır. Toprak sınıflandırması açısından bakıldığında, çalışma sahasında en yaygın toprak grubu kahverengi topraklardır. Bu toprakların profili genellikle kireçli olup yaz aylarında uzun süre kuru kalmaktadır. Bu nedenle kimyasal ve biyolojik süreçler bu dönemlerde yavaş ilerlemektedir. Ayrıca çalışma alanında alüvyal ve kolüvyal topraklarla birlikte sınırlı ölçüde kırmızımsı kahverengi topraklar da bulunmaktadır. Arazi kullanım kabiliyeti açısından değerlendirildiğinde, çalışma sahası V. ve VIII. sınıf hariç diğer sınıflara ait kullanım özelliklerine sahiptir. Bu topraklar genellikle orta, hafif, düz ve dik eğimli olup, orta derin, sıg ve çok sıg profilli özellikler göstermektedir (Ankara İli Arazi Varlığı, 1992).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın amacı doğrultusunda, Harita Genel Müdürlüğü'nden 1/100.000 ölçekli topografya, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası, NASA'ya bağlı Alaska Uydu Tesisi (ASF/Alaska Satellite Facility) tarafından sunulan ALOS PALSAR



Şekil 1: Çalışma sahasının yeri ve sınırları / Figure 1: Location and boundaries of the study area.

(Advanced Land Observing Satellite) platformundan 12,5 m çözünürlüğe sahip SRTM Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) temin edilmiştir. Bu veriler, ArcMap 10.7 programı kullanılarak işlenmiş ve elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli verisi, ilk olarak havza alanının belirlenmesi, eğim özelliklerinin ortaya konulması ve mekânsal analizlerin yapılmasında altlık veri olarak kullanılmıştır. Arazi kullanımı verisi 2018 yılına ait %85 tematik doğruluk değerine sahip CORINE

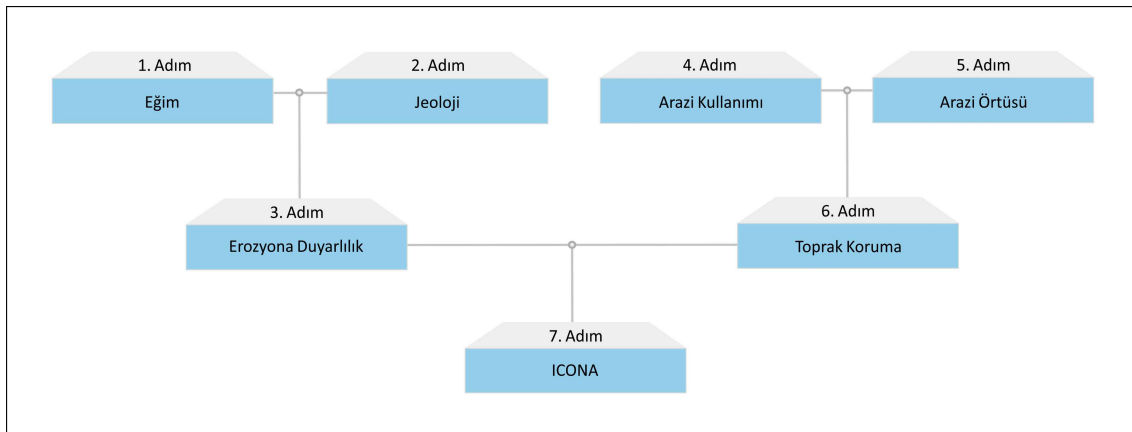
(CORINE Land Cover/ CLC-Çevre Hakkında Bilgi Koordinasyonu) ve arazi örtüsü verisi ise 2023 yılına ait Landsat-8 görüntülerinden sağlanan NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) verileriyle hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilirken, toprak verileri ise açık kaynak olarak sunulan <https://soilgrids.org/> web adresinden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler ve kaynaklar Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan veri özellikleri ve kaynakları / **Table 2:** Data characteristics and sources used in the study.

Veri	Veri Özellikleri	Veri Kaynakları
Topografya	Ölçek 1/100000	Harita Genel Müdürlüğü
Jeoloji	Ölçek 1/25000	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Eğim/DEM	ALOS PALSAR (2023) Çözünürlük-12.5 m	https://search.asf.alaska.edu/#/
Yağış	Yıllık Yağış Miktarı (1964-2012)	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (4092-Haymana İstasyonu, 1125 m)
Arazi Kullanımı	CORINE (2018) Çözünürlük 100 m	https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?product=130299ac96e54c30a12edd575eff80f7
Arazi Örtüsü	Landsat-8 Çözünürlük 10 m	https://earthexplorer.usgs.gov/
Toprak	Ölçek 1/250000	https://soilgrids.org/

Araştırma sahasındaki toprak erozyonu duyarlılığının değerlendirilmesi amacıyla CBS tabanlı ICONA modeli kullanılmıştır. ICONA modeli, toprak erozyonu duyarlılığını değerlendirmek ve haritalamak için kullanılan en basit ve esnek nitel yöntemlerden birisidir (Esmaeili Gholzom vd., 2020). Çalışmada uygulanan ICONA modeli, Şekil 2'de gösterildiği üzere yedi aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, ArcMap 10.7 yazılımında eğim ve jeoloji verileri kullanarak toprak erozyonu duyarlılık

(aşınabilirlik) haritası oluşturulmuştur. Daha sonra, bu verilere arazi kullanımı ve arazi örtüsü verileri entegre edilerek toprak koruma haritası üretilmiştir. Son aşamada ise toprak duyarlılık ve toprak koruma haritaları üst üste örtüştürülerek çalışma sahasının nihai toprak erozyonu duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 2). Bu harita, toprak erozyonuna karşı hassas bölgeleri belirleyerek arazi yönetimi ve koruma planlaması çalışmalarına önemli bir katkı sağlamaktadır.



Şekil 2: ICONA modelinin metodolojik yapısı / **Figure 2:** Methodological structure of the ICONA model.

2.1.1. Eğim

Çalışma havzasının sayısal yükseklik modeli (DEM) hazırlandıktan sonra ArcMap 10.7 programı aracılığıyla eğim haritası üretilmiştir. Daha sonra çalışma sahasının eğim katmanı altı sınıfta oluşturulmuştur: Düzlükler (%0-2), hafif eğim (%2,01-6), orta eğim (%6,01-12), yüksek eğim (%12,01-20), çok yüksek eğim (%20,01-30) ve aşırı yüksek eğim (> %30).

2.1.2. Jeoloji

Çalışma sahasının litoloji haritasını hazırlamak için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 1:25000 ölçekli jeoloji haritası kullanılmıştır. Çalışma sahasındaki litolojik birimler genel olarak ayrışmaya karşı fiziksel ve kimyasal dirençlerine göre sınıflandırılmıştır (ICONA, 1997). Bu birimler Kuvaterner yaşlı depozitler, yumuşak formasyonlar, az konsolide olmuş kayalar, kompakt olmuş silisli kayalar, iyi pekişmiş kalkerli kayalar ve çok sert kayalar olmak üzere altı gruba ayrılmıştır.

2.1.3. Erozyon Aşınabilirlik (Duyarlılık) Haritası

Erozyona duyarlılık katmanı, eğim ve litoloji katmanlarının bir araya gelmesiyle hazırlanmıştır. Duyarlılık haritası, havzadaki erozyon duyarlılığını ve/veya potansiyelini göstermektedir. Genel olarak, eğim ve jeolojik haritalarının birleştirilmesi, her bir haritanın sınıf özelliklerine göre 5×5 boyutunda bir matris oluşturmaktadır (Esmaili Gholzom vd., 2020). Buna göre, toprak erozyonu duyarlılık katmanı beş sınıfta oluşturulmuştur: çok az aşınabilir, az aşınabilir, orta aşınabilir, şiddetli aşınabilir ve çok şiddetli aşınabilir (Tablo 3).

2.1.4. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü

Toprak erozyonu duyarlılığı üzerinde etkili olan arazi kullanımı, suyun yüzeysel akışını ve suların birikme durumunu etkilemesi açısından önemli bir parametredir. Bu doğrultuda, çalışma sahası içerisindeki arazi kullanım türleri, kesikli şehir yapısı, bitki değişim alanları, sklerofil bitki örtüsü, karışık tarım alanları, sürekli sulanan alanlar, doğal bitkisi örtüsü ile bulunan tarım alanları, doğal çayırliklar, sulanmayan ekilebilir alanlar, seyrek bitki alanları, meralar ve çıplak kayalıklar olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar arasında, sulanmayan ekilebilir alanlar (%38), seyrek bitki alanları (%24) ve sürekli sulanan alanlar (%20) en yaygın arazi kullanım türleridir (Tablo 3). Sulanmayan ekilebilir alanların ve

seyrek bitki alanlarının varlığı, suyun yüzeysel akışa geçme durumunu etkileyerek erozyon miktarını artırmaktadır.

Arazi kullanımında olduğu gibi, arazi örtüsü verileri de 2018 yılına ait CORİNE ve Landsat-8 uydu görüntüsünden temin edilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) verileriyle hazırlanmıştır. Özellikle uydu görüntülerinden elde edilen NDVI sayesinde, bitki örtüsünün mekânsal ve zamansal dağılımı hakkında bilgi sağlanabilir ve farklı bölgelerdeki toprak bozulmasının boyutu belirlenebilir (Esmaili Gholzom vd., 2022). Dolayısıyla, arazi örtüsünü sınıflandırmak için NDVI değerleri şu şekilde dört sınıfta analiz edilmiştir: (1) düşük (<%25), (2) orta (%25- %50), (3) yüksek (%50- %75) ve (4) çok yüksek (%75'ten fazla) (ICONA, 1997).

2.1.5. Toprak Koruma Haritası

Toprak koruma katmanı, arazi kullanımı ve arazi örtüsü katmanlarının birleştirilmesiyle hazırlanmıştır. Böylece, arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritalarının kombinasyonu sayesinde her bir haritanın sınıf özelliklerine göre 5×5 boyutunda bir matris elde edilmiştir (Esmaili Gholzom vd., 2020). Buna göre, toprak koruma haritası beş farklı grupta gösterilmektedir: çok düşük koruma (0), düşük koruma (0,5), orta koruma (0,5), yüksek koruma (0,9) ve çok yüksek koruma (1) (Tablo 3).

2.1.6. Erozyon Duyarlılık Haritası

ICONA modelinin son aşamasında, CBS ortamında elde edilen toprak aşınabilirlik ve toprak koruma verileri birleştirilmiştir. Bu süreç sonucunda, çalışma sahası beş farklı kategoride (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) sınıflandırılarak bir erozyon duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Tablo 3).

Sonuç olarak, eğim, litoloji, arazi kullanımı, arazi kullanımı/örtüsü, toprak duyarlılığı ve toprak koruma haritaları gibi faktörler, çalışma sahasının erozyon duyarlılık durumunu belirlemek amacıyla yeniden sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucunda her bir faktör, modelde erozyona etkisi göz önünde bulundurularak ağırlık oranlarına göre yeniden değerlendirilmiştir. Sonuçta, bu değerlendirme sonucunda çalışma sahasına ait nihai toprak erozyonu duyarlılık haritası üretilmiştir.

Tablo 3: Harita örtüşmesi için karar kuralı matrisleri / **Table 3:** Decision rule matrices for map overlay.

I					
(A) Yeniden Sınıflandırılmış Jeolojik Yapı	(B) Eğim Sınıfı (%)				
	Düz ile Hafif (0-6)	Orta (6-12)	Dik (12-20)	Çok Dik (20-30)	Sarp (30<)
a	1	1	1	1	1
b	2	3	3	4	5
c	2	3	3	4	5
d	2	3	4	5	5
e	2	3	4	5	5
f	2	3	4	5	5
II					
(A) Arazi Kullanımı/Örtüsü					
a	1	1	1	1	1
b	0.9	0.5	0.5	0.5	0.0
c	0.9	0.5	0.5	0.5	0.0
d	0.9	0.5	0.5	0.5	0.0
e	0.9	0.5	0.5	0.5	0.0
f	1	1	1	1	0.3
g	1	1	1	1	0.3
h	1	1	1	1	0.3
i	0.9	0.5	0.5	0.5	0.0
j	0.9	0.5	0.5	0.5	0.0
III					
(A) Toprak Aşınabilirliği	(B) Toprak Koruma				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Çok şiddetli	1	1	1	2	2
Şiddetli	1	1	2	3	3
Orta	3	3	3	5	5
Az	3	3	3	5	5
Çok az	2	3	4	5	5

I A: (a) masif kayalar/çok sert kayalar; (b) iyi pekişmiş kalkerli kayalar; (c) kompakt olmuş silisli kayalar; (d) az konsolide olmuş kayalar; (e) yumuşak formasyonlar; (f) kuvaterner yaşlı depozitler. I B: (1) çok az aşınabilir; (2) az aşınabilir; (3) orta aşınabilir; (4) şiddetli aşınabilir; (5) çok şiddetli aşınabilir kayalar. II A: (a) sık ağaç örtüsü (>%70); (b) sulanmayan ekilebilir alanlar; (c) bitki değişim alanları; (d) bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar; (e) sürekli sulanan alanlar; (f) doğal bitki örtüsü ile karışık tarım alanları; (g) karışık tarım alanları; (h) meyve bahçeleri; (i) meralar, doğal çayırliklar; (j) çıplak kayaliklar/alanlar. II B: (1) çok yüksek; (0.9-0.8) yüksek; (0.7-0.6) orta; (0.5-0.3) düşük; (0.2-0.0) çok düşük koruma derecesi. III: çok düşük (1); yüksek (2); orta (3); düşük (4); çok düşük (5).

3. BULGULAR

3.1. Modelleme Adımları

ICONA modeli kullanılarak elde edilen bulgular aşağıda açıklanmaktadır.

3.1.1. Eğim Haritası

Çalışma sahasının büyük bir kısmı (%35,03) orta derece eğime (%6-12) sahiptir. Yüksek (dik) eğim sınıfı (%6-12) %26,28 ile ikinci sırada yer almaktadır. Bununla birlikte çok dik (%10,92) ve dik (4,23) eğime sahip alanlar ise göz ardı

edilemeyecek kadar yüzey alanı içerisinde yer kapsamaktadır. Buna karşılık, havzanın yüzey alanının sınırlı bir kısmı ise düşük eğimli (%0-2) ve düzdür (%4,17) (Tablo 4, Şekil 3a).

3.1.2. Litofasiyes (Jeoloji) Haritası

Çalışma sahasında yer alan litolojik birimler ve kayalar türleri, ayrışmaya karşı farklı direnç seviyeleri sergilemektedir. Litofasiyes

özelliklerine göre, havza alanının büyük bir bölümü (%63,98) kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı ardalanmasından oluşan, az konsolide olmuş kayaçlardan meydana gelmektedir. Yüzey alanı bakımından ikinci sırada ise, iyi pekişmemiş

kalkerli kayaçlar grubuna dahil edilen kumtaşı ve şeyl bulunmaktadır. Bu litolojik birimler, orta ile zayıf derecede ayrışma özellikleri göstermekte ve genellikle nispeten düşük geçirgenlik göstermektedir (Tablo 5, Şekil 3b).

Tablo 4: Çalışma sahasındaki eğim sınıflarının alansal yüzdeleri / **Table 4:** Areal percentages of slope classes in the study area.

Eğim Sınıfı	Eğim (%)	Alan (ha)	Alan (%)
Düzlükler	0-2	2.183,35	4,17
Hafif Eğimli	2-6	10.129,30	19,36
Orta Eğimli	6-12	18.334,07	35,03
Dik Eğimli	12-20	13.755,92	26,28
Çok Dik Eğimli	20-30	5.716,68	10,92
Sarp Araziler	30<	2.214,43	4,23

Tablo 5: Çalışma sahasındaki litofasiyes sınıflarının alansal yüzdeleri / **Table 5:** Areal percentages of lithofacies classes in the study area.

Sınıfı	Litofasiyes	Yaş	Alan (ha)	Alan (%)
(a) Masif kayaçlar/çok sert kayaçlar	Metakumtaşı-metaçakıtaşı-metapelit	Orta-Üst Triyas	284,08	0,54
(b) İyi pekişmiş kalkerli kayaçlar	Kumtaşı-şeyl	Paleosen-Alt Eosen	10.564,25	20,16
(c) Kompakt olmuş silisli kayaçlar	Andezit, piroklastik kaya, bazalt	Geç Kretase	415,63	0,79
(d) Az konsolide olmuş kayaçlar	Kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı	Paleosen	33.518,82	63,98
(e) Yumuşak formasyonlar	Çakıtaşı-kumtaşı-çamurtaşı	Üst Paleosen	1.489,27	2,84
(f) Kuvaterner yaşlı depozitler	Alüvyon	Kuvaterner	6.119,46	11,68

3.1.3. Aşınabilirlik Haritası

Çalışma sahasının toprak aşınabilirlik haritası, havzanın yaklaşık %35'inin şiddetli ve çok şiddetli derecede alınabilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, havzanın yaklaşık %42'si orta derecede aşınabilirlik sınıfında yer alırken, sadece %24'lük bir kısmı çok az ve az aşınabilirlik değerine sahiptir (Tablo 6, Şekil 3c).

3.1.4. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü Haritası

Çalışma sahasındaki arazi kullanımı haritası, havzadaki farklı arazi kullanım türlerinin mekânsal dağılımını ortaya koymaktadır. En yaygın arazi kullanım türü, %38,02 ile sulanmayan ekilebilir alanlardır. Bunu %23,32 ile bitki örtüsünün seyrek veya hiç olmadığı alanlar ve %20,48 ile sürekli sulanan alanlar takip etmektedir (Tablo 7, Şekil 4a).

UA teknikleri ve uydu görüntüleri kullanılarak çalışma alanının NDVI haritası oluşturulmuştur. Arazi örtüsünün kapallılık oranı açısından değerlendirildiğinde, %25'in altında kapallılığa sahip alanlar yaklaşık %94'lük bir oranla en geniş yüzeyi kapsamaktadır (Tablo 8, Şekil 4b).

3.1.5. Toprak Koruma Haritası

Çalışma alanının toprak koruma haritası, havzanın yaklaşık %65'inin orta düzeyde koruma koşullarına sahip olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, alanın %22,35'i yüksek, %8,45'i ise çok yüksek koruma sınıfında yer almaktadır. Buna karşılık, yalnızca %4'lük bir kesim düşük ve/veya çok düşük koruma koşullarına sahiptir (Tablo 9, Şekil 4c). Bu veriler, havzanın büyük bir bölümünün iyi koruma koşullarına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 6: Çalışma sahasındaki toprak aşınabilirlik sınıflarının alansal yüzdeleri / **Table 6:** Areal percentages of soil erodibility classes in the study area.

Sınıfı	Aşınabilirlik	Alan (ha)	Alan (%)
1	Çok az aşınabilir	284,08	0,54
2	Az aşınabilir	12.242,92	23,41
3	Orta aşınabilir	21.791,31	41,66
4	Şiddetli Aşınabilir	11.728,65	22,42
5	Çok şiddetli aşınabilir	6.257,87	11,96

Tablo 7: Çalışma sahasındaki arazi kullanımı sınıflarının alansal yüzdeleri / **Table 7:** Areal percentages of land use classes in the study area.

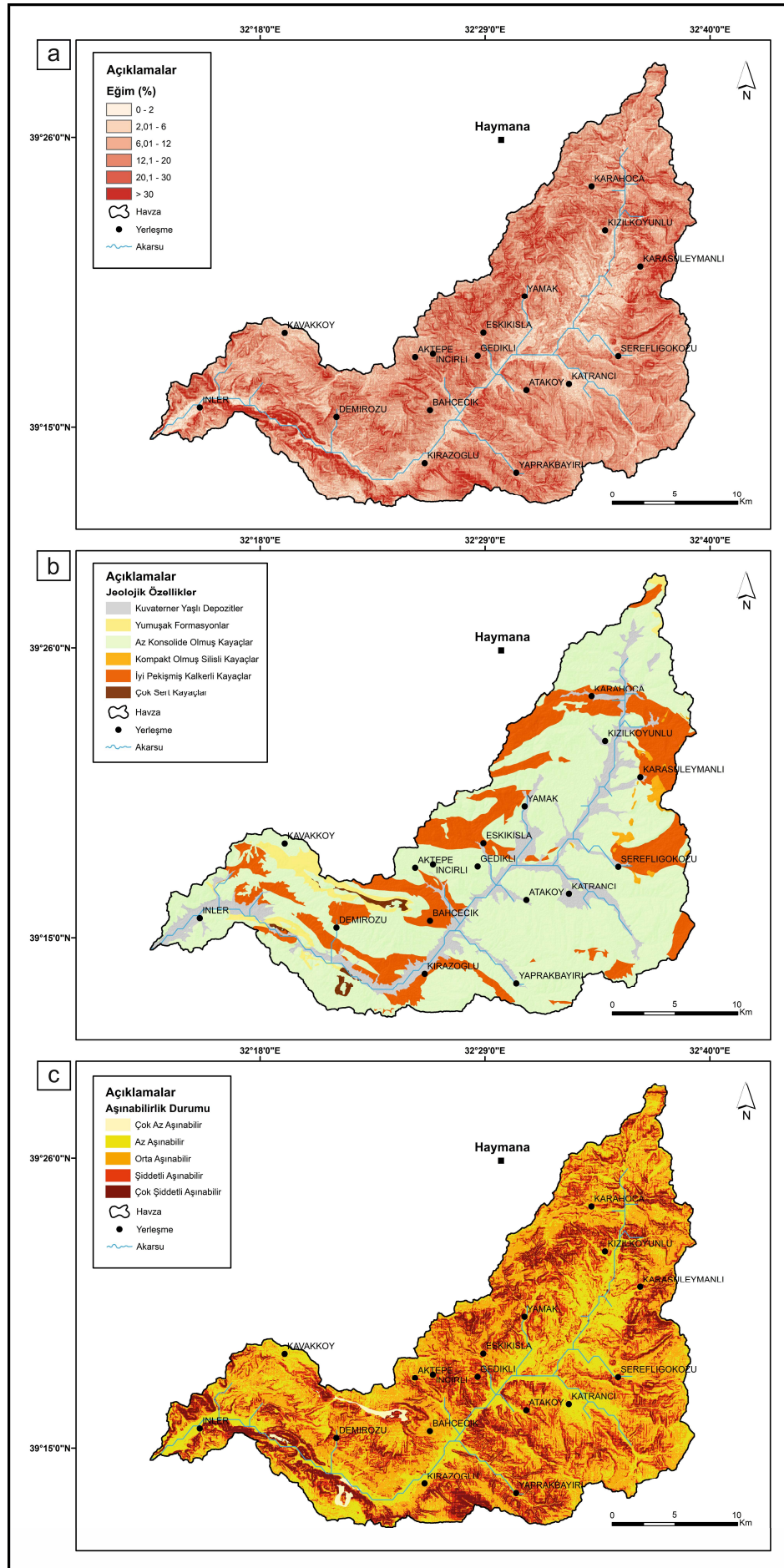
Sınıfı (CORİNE)	Alan (ha)	Alan (%)
(a) Sık ağaç örtüsü (>70)	0,4	0,1
(b) Sulanmayan ekilebilir alanlar (kuru tarım)	19.917,87	38,02
(c) Bitki değişim alanları	41,42	0,08
(d) Bitki örtüsü az (seyrek) ya da olmayan alanlar	12.216,68	23,32
(e) Sürekli sulanan alanlar (sulu tarım)	10.732,21	20,48
(f) Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	4.157,10	7,93
(g) Karışık tarım alanları	374,11	0,71
(h) Kesikli şehir yapısı	591,12	1,2
(i) Meralar, Doğal çayırliklar	3.595,93	7,94
(j) Çıplak kayaliklar	175,16	0,33

Tablo 8: Çalışma sahasındaki arazi örtüsü sınıflarının alansal yüzdeleri / **Table 8:** Areal percentages of land cover classes in the study area.

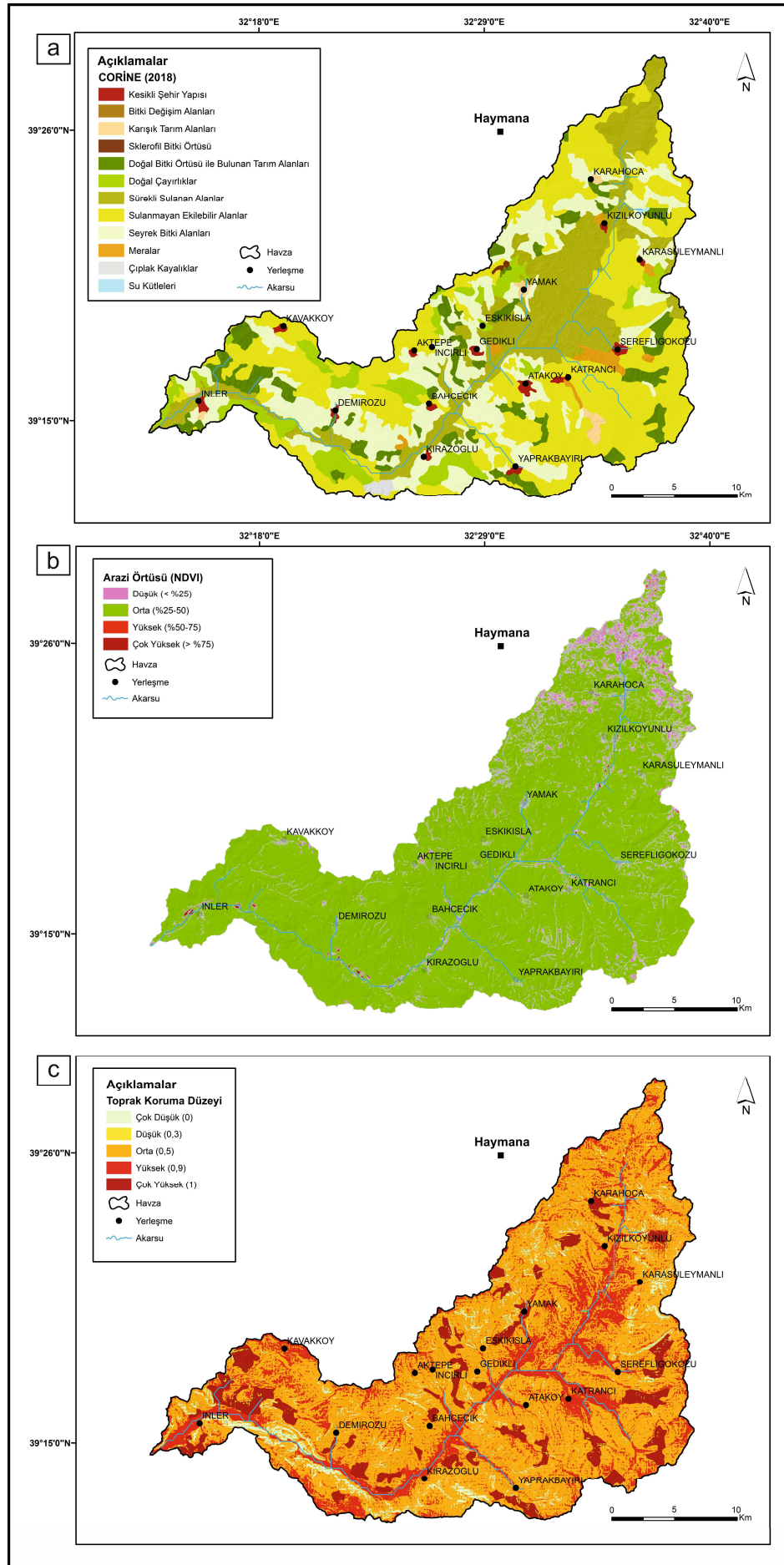
Sınıfı (NDVI)	Alan (ha)	Alan (%)
Düşük (Açık alanlar <%25)	49.188,45	93,75
Orta (Az kapalı alanlar %25-50)	2.695,81	5,14
Yüksek (Orta kapalı alanlar %50-75)	432,20	0,82
Çok yüksek (Yoğun kapalı alanlar >75)	153,79	0,29

Tablo 9: Çalışma sahasındaki toprak koruma sınıflarının alansal yüzdeleri / **Table 9:** Areal percentages of soil conservation classes in the study area.

Sınıfı	Toprak Koruma	Alan (ha)	Alan (%)
0	Çok düşük	2.056,57	3,93
0,3	Düşük	146,6	0,28
0,5	Orta	33.989,63	64,98
0,9	Yüksek	11.692,03	22,35
1	Çok yüksek	4.419,98	8,45



Şekil 3: Çalışma sahasının eğim (a), jeolojik özellikleri (b) ve aşınabilirlik durum haritası (c) / **Figure 3:** Slope (a), geological characteristics (b), and erodibility status map (c) of the study area.



Şekil 4: Çalışma sahasının arazi kullanımı (a), arazi örtüsü (b) ve toprak koruma haritası (c) / **Figure 4:** Land use (a), land cover (b), and soil conservation map (c) of the study area.

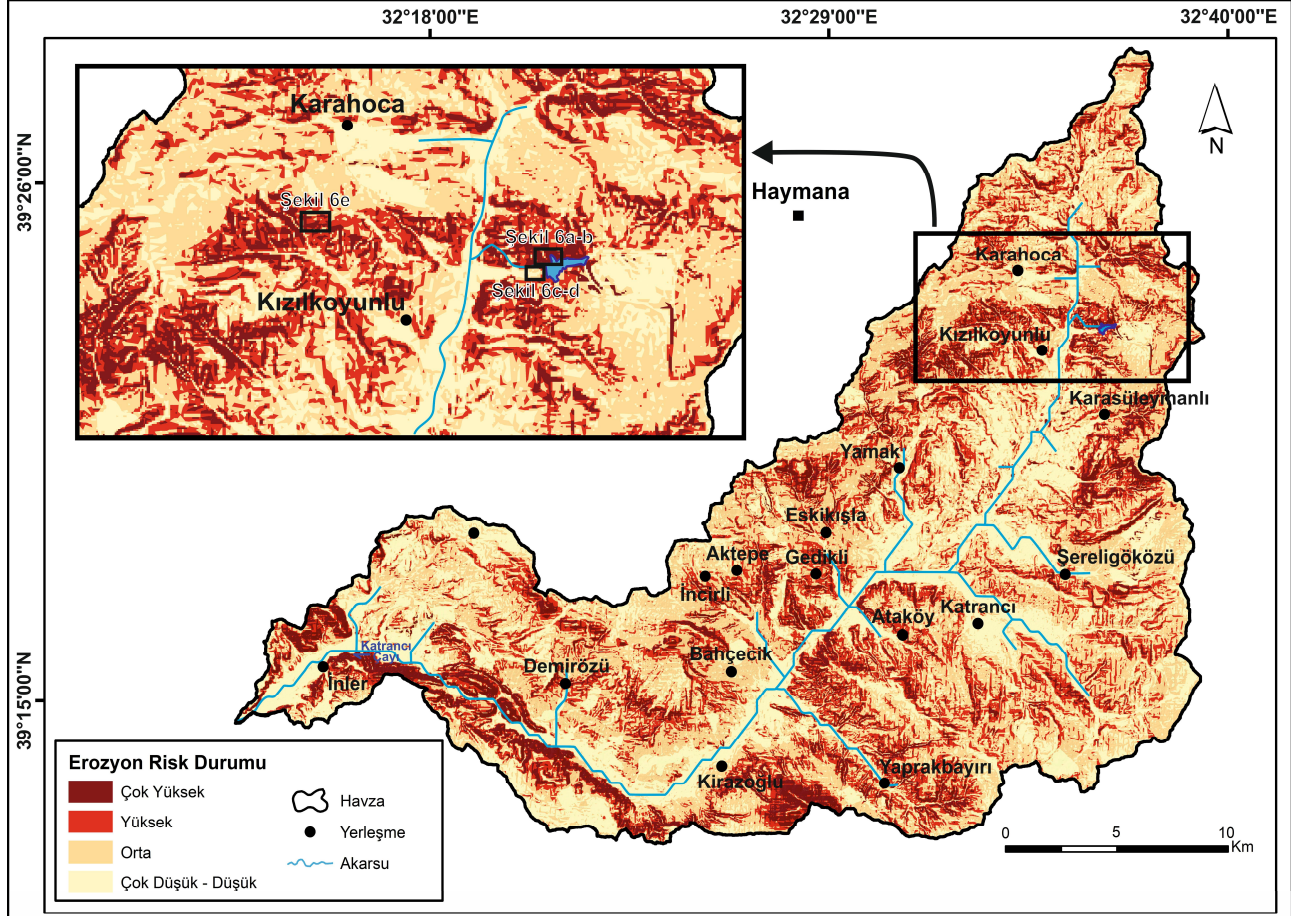
3.1.6. Erozyon Duyarlılık Haritası

Çalışma sahasında elde edilen toprak erozyonu duyarlılık haritası sonuçlarına göre, orta erozyon duyarlılık sınıfı yaklaşık 21.124 hektarlık bir alanı kaplamakta ve bu değer havzanın %40,39'unu oluşturmaktadır. Bununla birlikte, havzanın %27,54'ü çok düşük ve düşük erozyon duyarlılık sınıflarında yer alırken, geri kalan %32,07'lik bölümü ise yüksek ve çok yüksek erozyon duyarlılığına sahiptir (Tablo 10, Şekil 5). Bu bulgular, havza alanının büyük bir kısmının orta ve yüksek erozyon duyarlılığına sahip olduğunu göstermektedir. Nitekim, Erpul vd. (2020) tarafından hazırlanan Ankara ili su erozyonu haritasına göre, Kızılçay Havzası yüksek erozyon potansiyeli taşıyan sahalar arasında yer almaktadır.

Arazi çalışmaları sırasında elde edilen bulgular, erozyon duyarlılık haritası sonuçlarını desteklemektedir. Orta ve yüksek derecede erozyona maruz kalan alanlar, hafif eğimli yüzeylerden başlayarak çok dik eğimli yamaçlara kadar geniş bir yayılım göstermektedir. Özellikle doğal bitki örtüsünün büyük ölçüde tahrip edildiği, aşırı otlatmaya maruz kalmış mera alanları ile yoğun şekilde kuru tarım yapılan sahalarda erozyon süreci belirgin şekilde şiddetlenmektedir. Nitekim Erpul vd. (2020) tarafından hazırlanan su erozyonu il istatistikleri raporunda, Ankara ilinde arazi kullanımı açısından erozyonun en fazla tarım alanlarında (%48,84) ve mera sahasında (%44,19) meydana geldiği ortaya konulmuştur.

Tablo 10: Çalışma sahasındaki toprak erozyon sınıflarının alansal yüzdesi / **Table 10:** Areal percentage of soil erosion classes in the study area.

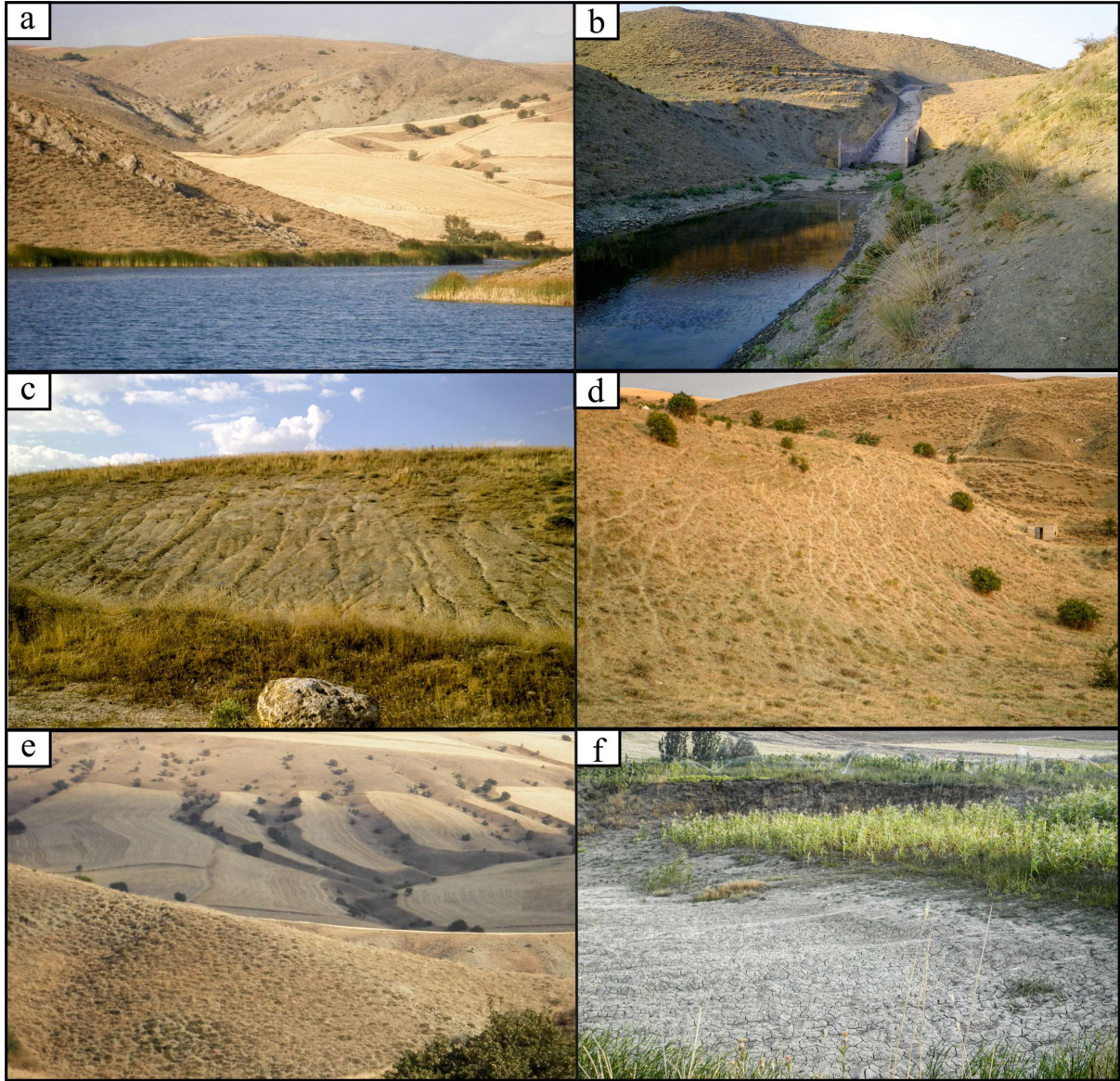
Sınıfı	Erozyon Durumu	Alan (ha)	Alan (%)
1-2	Çok düşük/Düşük	14.409,46	27,54
3	Orta	21.124,64	40,39
4	Yüksek	10.966,54	20,97
5	Çok yüksek	5.804,18	11,1



Şekil 5: Çalışma sahasının erozyon duyarlılık haritası / **Figure 5:** Erosion susceptibility map of the study area.

Karahoca, Kızılköy, Yamak, İncirli, Demiröz ve İler yerleşmeleri ile çevresinde orta ve yüksek şiddetli erozyon faaliyetleri gözlemlenmektedir (şekil 5). Özellikle dik ve çok dik eğimli arazilerde herhangi bir koruma önlemi alınmaksızın gerçekteşirilen tarımsal faaliyetler, erozyonun şiddetini giderek artırmaktadır (şekil 6). Buna ek olarak, çalışma sahasında bulunan toprakların organik madde içeriğinin düşük olması (%0,88-2,86), toprak gözenekliliğini (porozite) ve kohezyonunu

sınırlandırarak su sızmasını olumsuz etkilemektedir. Sızmanın azalması, yüzeysel akışa geçen su miktarını artırarak erozyon sürecini daha da hızlandırmaktadır. Özellikle otsu bitki örtüsünün yaygın olduğu alanlarda, yağış ve kar erimesiyle oluşan yüzeysel akışa karşı herhangi bir engelin bulunmaması, suyun doğrudan akışa geçmesine neden olmaktadır. Bu durum, erozyon süreçlerinin daha etkin hale gelmesine katkı sağlamaktadır (şekil 6).



şekil 6: Çalışma alanında DSİ tarafından inşa edilen sulama göleti (a) ve sulamalı tarımda kullanılmak üzere yapılan kanal, erozyon sonucu taşınan materyaller (b-d) ile dolmaktadır. Havzanın kuzeyinde yer alan Karahoca ve Kızılköy köyleri çevresinde, özellikle yanlış tarım teknikleriyle sürdürölen kuru tarım alanlarında (c-e) ciddi erozyon etkileri gözlenmektedir. Benzer şekilde, sulama göleti çevresindeki sulama tarım alanlarında da (f) erozyonun önemli bir sorun olduğu belirlenmiştir / **Figure 6:** The irrigation reservoir constructed by the State Hydraulic Works (DSİ) in the study area (a) and the channels constructed for irrigated agriculture are filled with materials transported by erosion (b-d). Significant erosion effects are observed around the villages of Karahoca and Kızılköy, located in the northern part of the basin, particularly in dry farming areas managed with improper agricultural techniques (c-e). Similarly, erosion has been identified as a significant issue in the irrigated agricultural areas surrounding the irrigation reservoir (f).

4. SONUÇ

Katrancı Havzası, Sakarya Nehri'nin yukarı havzasında yer almaktadır. Havza; tarım alanları, yerleşim yerleri, meralar ve kayaç yüzeylerinden oluşmaktadır. CBS ve UA teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen ICONA modeli analizine göre, çalışma sahasının yaklaşık %41,43'ü yüksek eğim oranına sahiptir. Bu durum havzanın erozyona karşı hassasiyetini artırmaktadır.

Havzanın en eski jeolojik birimleri masif kayaçlarından oluşurken, en yeni birimleri akarsular tarafından taşınan alüvyonlardan meydana gelmektedir. Litofasiyes özelliklerine açısından, havza alanının büyük bir bölümü az konsolide olmuş kayaçlar (kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı) (%63,98) oluşmakta, bunu iyi pekişmemiş kumtaşı-şeyl (%20,16) takip etmektedir. Bu birimler, çalışma alanının yaklaşık %84'ünden fazlasını kapsamaktadır. Havzanın geniş yüzey alanına sahip olması ve yüksek eğimli alanlar içermesi, ayrışmaya karşı hassasiyeti artırmaktadır.

Havzanın aşınabilirlik haritası, havzanın önemli bir kısmının şiddetli (%22,42) ve çok şiddetli (%11,96) erozyon potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Arazi kullanımı açısından, havzanın büyük bir bölümü nadasa bırakılan sulanmayan tarım alanları (%38,02) ve seyrek bitki örtüsüne sahip alanlardan (23,32) oluşmaktadır. Bu durum, erozyonunun etkisini artırmaktadır. Özellikle tarımsal faaliyetlerin uygun olmadığı ve bitki örtüsünün yetersiz olduğu alanlar, erozyona karşı oldukça hassas olup toprak kaybının daha fazla yaşanmasına neden olmaktadır.

ICONA modeli duyarlılık haritasının sonuçlarına göre, çalışma alanında orta düzeyde erozyon duyarlılığına sahip araziler, en geniş alanı kapsamakta olup, toplam havza yüzeyinin %40,39'unu (21.124 ha) oluşturmaktadır. Çok düşük ve düşük erozyon duyarlılığı sınıfına giren alanlar havzanın %27,54'ünü kapsamaktadır. Buna karşılık, eğimin yüksek olduğu ve toprak koruma kapasitesinin yetersiz kaldığı bölgelerde erozyon duyarlılığı belirgin şekilde artmaktadır. Havzanın yaklaşık %20,97'si yüksek, %11,1'i ise çok yüksek seviyede erozyon duyarlılığı sınıfında yer almakta olup, bu alanlar ağırlıklı tarım arazileri ile örtüşmektedir.

Özellikle, yanlış arazi kullanımı, uygunsuz tarım uygulamaları ve aşırı otlatma, havzanın erozyona karşı hassasiyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Erozyona duyarlı alanlarda arazi kullanımının sürdürülebilir şekilde planlanması, eğimli arazilerde uygun tarım tekniklerinin benimsenmesi, mera alanlarında aşırı otlatmanın kontrol altına alınması ve toprak koruma stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanması, toprak erozyonunun kontrol altına alınması ve önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak bu çalışma, CBS ve UA teknikleri kullanılarak ICONA modeli ile oluşturulan erozyon duyarlılık haritasının, Katrancı Havzası için yeterli doğrulukta olduğunu göstermektedir. ICONA modeli, sürdürülebilir havza yönetimi açısından potansiyel erozyona duyarlı alanların belirlenmesinde ve erozyon duyarlılığı çalışmalarında güvenilir, hızlı, düşük maliyetli ve zaman tasarrufu sağlayan bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Çalışma sürecinde sağladıkları değerli katkılar için editör ve hakemlere teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- Alevkayalı, Ç. & Abi, B. (2023). Mekân Tabanlı Toprak Erozyonu Tahmin Modelleri: Bildiklerimiz Değişiyor Mu? Coğrafi Bilimler Dergisi / Turkish Journal of Geographical Sciences, 21 (2), 696-725. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1265625>
- Alizadeh, M., Zabihi, H., Wolf, I.D., Langat, P.K., Pour, A.B. & Ahmad, A. (2022). Remote Sensing Technique and ICONA Based-GIS Mapping for Assessing the Risk of Soil Erosion: A Case of the Rudbar Basin, Iran. Environmental Earth Science, 81, 512. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10634-z>
- Ankara İli Arazi Varlığı. (1992). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl Rapor No: 06, Ankara.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. & Williams, J.R. (1998). Large Area Hydrologic Modeling and Assessment- Part 1: Model Development. Journal of American Water Resources Association, 34, 73-89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>

- Avcioglu, A., Bayrakdar, C., Sari, E. & Arslan Kaya, T. N. (2020). TanDEM-X12m Sayısal Yükselti Verisine Dayalı Toprak Erozyonu Tespiti (RUSLE). *Cografya Dergisi*, 41, 93-107. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2020-0047>
- Aykır, D. & Fıçıcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (9), 38-49. <https://doi.org/10.46453/jader.1144699>
- Babalık, A. A., Dursun, İ. & Yazıcı, N. (2021). Türkiye’de Erozyon Sorunu ve Erozyon Tahmininde Kullanılan Modeller. *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler– I* (Ed: Cengizler, İ. & Duman, S.), Gece Kitaplığı, ISBN. 978-625-8075-39-7.
- Baskan, O., Cebel, H., Akgul, S. & Erpul, G. (2010). Conditional Simulation of USLE/RUSLE Soil Erodibility Factor by Geostatistics in a Mediterranean Catchment, Turkey. *Environmental Earth Science*, 60, 1179–1187. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0259-2>
- Batista, P.V.G., Davies, J., Silva, M.L.N. & Quinton, J.N. (2019). On the Evaluation of Soil Erosion Models: Are We Doing Enough?. *Earth-Science Reviews*, 197, 102898. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>
- 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(2), 106-116. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol27/iss2/7>
- Bayramin, İ., Basaran, M., Erpul, G. & Canga, M.R. (2008). Assessing the Effects of Land Use Changes on Soil Sensitivity to Erosion in a Highland Ecosystem of Semi-arid Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 140, 249–265. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9864-2>
- Bilgiç, S. & Er, S. (2025). Malatya İlinde ICONA Yöntemi ile CBS ve Uzaktan Algılama Tabanlı Erozyon Risk Analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 350-359. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1587977>
- Boardman, J. (2006). Soil Erosion Science: Reflections on the Limitations of Current Approaches. *CATENA*, 68 (2–3), 73-86. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.03.007>
- Borelli, P., Alewell, C., Alvarez, P... & Panagos, P. (2021). Soil Erosion Modelling: A global Review and Statistical Analysis. *Science of the Total Environment*, 780, 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>
- Bouaziz, M., Leidig, M. & Gloaguen, R. (2011). Optimal Parameter Selection for Qualitative Regional Erosion Risk Monitoring: A Remote Sensing Study of SE Ethiopia. *Geoscience Frontiers*, 2(2), 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.03.004>
- Cerdan, O., Souchère, V., Lecomte, V., Couturier, A. & Le Bissonnais, Y. (2002). Incorporating Soil Surface Crusting Processes in an Expert-based Runoff Model: Sealing and Transfer by Runoff and Erosion Related to Agricultural Management. *CATENA*, 46(2-3), 189–205. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00166-7](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00166-7)
- Cürebal, İ. & Ekinci, D. (2014). Kızılkeçili Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (47), 115-129. <https://doi.org/10.17211/tcd.56896>
- ÇEM. (2021). Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Faaliyetleri. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Dengiz, O., İmamoğlu, A., Saygin, F., Göl, C., Ediş, S. & Dogan, A. (2014). İnebolu Havzası’nın ICONA Modeli ile Toprak Erozyon Risk Değerlendirmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 136-142. <https://doi.org/10.7161/anajas.2014.29.2.136-142>
- De Roo, A.P.J., Offermans, R.J.E. & Cremers, N.H.D.T. (1996). LISEM: A Single-Event, Physically Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. II: Sensitivity Analysis. Validation and Application, *Hydrological Processes*, 10(8), 1119–1126. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199608\)10:8%3C1119::AID-HYP416%3E3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199608)10:8%3C1119::AID-HYP416%3E3.0.CO;2-V)
- Dutal, H., & Reis, M. (2020). Determining the Effects of Land Use on Soil Erodibility in the Mediterranean Highland Regions of Turkey: A Case Study of the Korsulu Stream Watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8155-z>
- Dutta, S. (2016). Soil Erosion, Sediment Yield and Sedimentation of Reservoir: A Review. *Modeling Earth Systems Environment*, 2(123). <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0182-y>
- Ediş, S., Aytaş, İ. & Özcan, A.U. (2021). ICONA Modeli Kullanarak Toprak Erozyon Riskinin Değerlendirilmesi: Meşeli (Çubuk/Ankara) Havzası Örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları*

- Dergisi, 7(1), 15-22.
<https://doi.org/10.53516/ajfr.948519>
- Erpul, G., İnce, K., Demirhan, A., Küçümen, A., Akdağ, M.A., Demirtaş, İ., Sarıhan B., Çetin, E. & Şahin, S. (2020). Su Erozyonu İl İstatistikleri- Toprak Erozyonu Kontrol Stratejileri (Sürdürülebilir Arazi/Toprak Yönetimi Uygulama ve Yaklaşımları). Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- Esmaili Gholzom, H., Ahmadi, H., Moeini, A. & Motamedvaziri, B. (2022). Soil Erosion Risk Assessment in the Natural and Planted Forests Using ICONA Model and GIS Technique. International Journal Environmental Science and Technology, 19, 3947–3962.
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03536-3>
- Esmaili Gholzom, H., Ahmadi, H., Moeini, A. & Motamed Vaziri, B. (2020). Erosion Risk Assessment and Identification of Susceptibility Lands Using the ICONA Model and RS and GIS Techniques. Natural Hazards Earth Syst. Sci. Discuss. [preprint].
<https://doi.org/10.5194/nhess-2020-85>
- Fıstıkoğlu, O. & Harmancıoğlu, N.B. (2002). Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. Water Resources Management, 16, 447–467.
<https://doi.org/10.1023/A:1022282125760>
- Flanagan, D.C. & Livingston, S.J. (1995). WEPP User Summary (USDA-Water Erosion Prediction Project). National Soil Erosion Research Laboratory, Report No:11, USA.
- Ganasri, B.P. & Ramesh, H. (2016). Assessment of Soil Erosion by RUSLE Model Using Remote Sensing and GIS- A Case Study of Nethravathi Basin. Geoscience Frontiers, 7(6), 953-961.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
- Gholami, V., Sahour, H. & Amri, M.H.A. (2021). Soil Erosion Modeling Using Erosion Pins and Artificial Neural Networks. CATENA, 196, 104902.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104902>
- Govers, G., Gobin, A., Cerdan, O., van Rompaey, A., Kirkby, M., Irvine, B., Le Bissonais, Y., Daroussin, J., King, D. & Jones, R.J.A. (2003). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment for Europe: The PESERA Map. JRC, Ispra, Italy.
- 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.
https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000193
- Hatipoğlu, İ. K. & Hatipoğlu, Ş. C. (2020). Harşit Çayı Havzası'nda ICONA ve Alternatif Olarak Geliştirilen MICONA Modellerinin Karşılaştırılması. Journal of Social Sciences and Humanities, 4(2), 108-135.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1477395>
- Hatipoğlu, İ. K. & Uzun, A. (2020). Melet Irmağı Havzası'nda Erozyon Riskinin MICONA Modeli ile Değerlendirilmesi. Türk Coğrafya Dergisi, (74), 17-31. <https://doi.org/10.17211/tcd.644135>
- ICONA. (1997). Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas. Priority Action Programme Regional Activity Centre, ISBN:953- 6429-08-X. Split, Croatia.
- İkiel, C., Ustaoglu, B. & Koç, D. E. (2020). Trakya'nın Erozyon Duyarlılık Analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, (4), 1-14.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1034813>
- Laflen, J.M. & Flanagan, D.C. (2013). The Development of U. S. Soil Erosion Prediction and Modeling. International Soil and Water Conservation Research, 1(2), 1-11.
[https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30034-4](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30034-4)
- Lal, R. (2001). Soil Degradation by Erosion. Land Degradation & Development, 12, 519-539.
<https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Li, P., Mu, X., Holden, J., Wu, Y., Irvine, B., Wang, F., Gao, P., Zhao, G. & Sun, W. (2017). Comparison of Soil Erosion Models Used to Study Chinese Loess Plateau. Earth-Science Reviews, 170, 17-30.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.05.005>
- Merritt, W.S., Letcher, R.A. & Jakeman, A.J. (2003). A Review of Erosion and Sediment Transport Models. Environmental Modelling & Software, 18(8–9), 761-799.
[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1)
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. & Iverson, L.R. (1996). Modelling Topographic Potential for Erosion and Deposition Using GIS. Int. J. Geogr. Inf. Syst., 10, 629–641.
<https://doi.org/10.1080/02693799608902101>
- Morgan, R.P.C., Morgan, D.D.V. & Finney, H.J. (1984). A Predictive Model for the Assessment of Soil Erosion Risk. Journal Agricultural Engineering Research, 30, 245–253.
[https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(84\)80025-6](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(84)80025-6)
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D.

- & Styczen, M.E. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A Process-Based Approach for Predicting Soil Loss from Fields and Small Catchments. *Earth Surf. Process, Landforms*, 23, 527–544. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837)
- Mutlu, Y. E., Soykan, A. & Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (6), 98-111. <https://doi.org/10.46453/jader.866903>
- Nearing, M.A., Wei, H., Stone, J.J., Pierson, F.B., Spaeth, K.E., Weltz, M.A., Flanagan, D.C. & Hernandez, M. (2011). A Rangeland Hydrology and Erosion Model. *Trans. ASABE* 54, 901–908. DOI: 10.13031/2013.37115
- Özşahin, E. (2023). Farklı Erozyon Tahmin Modellerine Göre Akarsu Sedimentasyon Miktarının Belirlenmesine Bir Örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (10), 1-19. <https://doi.org/10.46453/jader.1203890>
- Özvan, H., Arık, B., Şatır, O. & Bostan, P. (2022). Bendimahı Alt Havzası Potansiyel Erozyon Riskinin CORINE ve ICONA Modelleri Kullanılarak Haritalanması. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(3): 389-404. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1128828>
- Reis, M., Duta, H., Bolat, N. & Savacı, G. (2017). Soil Erosion Risk Assessment Using GIS and ICONA: A Case Study in Kahramanmaraş, Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(1), 64-75. <https://doi.org/10.13002/jafag4208>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. & Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government Printing Office, Washington, USA.
- Sunkar, M. & Avcı, V. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (BS) ve Uzaktan Algılama (UA) ile Hasret Dağı ve Çevresinin (Elazığ) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(1), 17-40. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000161
- Tağıl, Ş. (2009). Çakırdere ve Yahu Dere Havzalarında (Balıkesir) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkileyen Faktörler. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12 (22), 23-39. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/857184>
- Ustaoglu, B., & İkiel, C., Dutucu, A. A. & Koç, D.E. (2021). Erosion Susceptibility Analysis in Datça and Bozburun Peninsulas, Turkey. *Iran J Sci Technol Trans Sci*, 45, 557 – 570. <https://doi.org/10.1007/s40995-020-01053-5>
- Van Oost, K., Govers, G. & Desmet, P. (2000). Evaluating the Effects of Changes in Landscape Structure on Soil Erosion by Water and Tillage. *Landsc. Ecol.*, 15, 577–589. <https://doi.org/10.1023/A:1008198215674>
- Wheater, H.S., Jakeman, A.J. & Beven, K.J. (1993). Progress and Directions in Rainfall-Runoff Modelling. In *Modelling Change in Environmental Systems* (ed. Jakeman, A. J. Beck, M. B. & McAleer, M. J.), Chichester, UK: Wiley.
- Williams, J.R. & Berndt, H.D. (1977). Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology. *Transactions of the ASAE*, 20(6), 1100-1104.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D. (1978). Predicting Rainfall-Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning. In: *Agriculture Handbook*, No. 537, U.S. Dept. of Agric., Washington DC 58 pp.
- Yıldız, N.E. & Kahveci, B. (2024). ICONA Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Riskinin Tahmin Edilmesi: Ankara İli Örneği. *Journal of Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 9(4), 822-831. <https://doi.org/10.35229/jaes.1591959>
- Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. & Anderson, W.P. (1989). AGNPS: A Nonpoint-Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds. *J. Soil Water Conserv.*, 44, 121–13.
- Zeybek, H.İ. (2011). Turhal Ovası ve Çevresinde Toprak Erozyonu. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 8, 99-130. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/26620>