



Oltu Çayı Havzası'nda (Erzurum – Artvin) Toprak Erozyon Riskinin ICONA Modeli, CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleriyle Analizi ve Değerlendirilmesi

Emrah Atar^{*1} , İbrahim Kopar²

¹ Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Erzurum – Türkiye, emrah.atar@ogr.atauni.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Erzurum – Türkiye, ikopar@atauni.edu.tr

Kaynak Göster: Atar, E., ve Kopar, İ. (2026). Oltu Çayı Havzası'nda (Erzurum – Artvin) toprak erozyon riskinin ICONA modeli, CBS ve Uzaktan Algılama teknikleriyle analizi ve değerlendirilmesi. Geomatik, 11 (1), 70-87.

DOI: 10.29128/geomatik.1746355

Anahtar Kelimeler

ICONA Modeli
Toprak Erozyonu
Erozyon Risk Analizi
Oltu Çayı Havzası
Erzurum

Araştırma Makalesi

Geliş:19.07.2025
1.Revize:05.08.2025
2. Revize:10.08.2025
Kabul:22.08.2025
Online:17.09.2025
Yayınlanma:01.04.2026



Öz

Bu çalışma, Türkiye'nin yüksek toprak kaybı yaşanan havzalarından biri olan Çoruh Havzası'nın alt havzalarından Oltu Çayı Havzası'nda, ICONA modeli ile erozyon duyarlılık düzeylerinin tespitini ve incelenmesini hedeflemektedir. Bu amaçla, ICONA modelinin dört temel parametresi olan litoloji, eğim, arazi kullanım durumu ve bitki örtüsü yoğunluğu verileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Üretilen bu veriler, modelin çıkartırma kriterlerine göre birleştirilmiş ve toprak aşınabilirlik ve toprak koruma verileri elde edilmiştir. Bu iki veri bir matris ile birleştirilerek Oltu Çayı Havzası'nın erozyon risk durumu tespit edilmiştir. Oltu Çayı Havzası'nda erozyon riski mekânsal olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Havzanın yaklaşık yarısı (%46,05), düşük ve çok düşük risk sınıflarında yer almakta; bu alanlar, düşük eğim, dirençli kayaç yapısı ve yoğun bitki örtüsüyle karakterizedir. Buna karşılık, yüksek (%24,42) ve çok yüksek (%18,96) riskli bölgeler, özellikle eğimin fazla ve vejetasyonun seyrek olduğu yamaçlarda yoğunlaşmaktadır. Orta riskli alanlar (%10,57) sınırlı bir yer kaplasa da dikkatle izlenmelidir. Bu dağılım, havzada risk temelli farklı planlama ve müdahale stratejilerine ihtiyaç duyulduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Analysis and Evaluation of soil erosion risk in the Oltu River Basin (Erzurum – Artvin, Turkey) using the ICONA model, GIS, and Remote Sensing techniques

Keywords

ICONA Modeli
Soil Erosion
Erosion Risk Analysis
Oltu Stream Basin
Erzurum

Research Article

Received: 19.07.2025
1.Revised: 05.08.2025
2.Revised: 05.08.2025
Accepted: 22.08.2025
Online:17.09.2025
Published: 01.04.2026

Abstract

This study aims to determine and analyze erosion susceptibility levels in the Oltu Stream Basin, a sub-basin of the Çoruh Basin, which is among the regions in Turkey experiencing severe soil loss. For this purpose, data for the four fundamental parameters of the ICONA model—lithology, slope, land use, and vegetation cover density—were generated using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques. These datasets were overlaid based on the model's integration criteria to produce soil erodibility and soil protection layers. Subsequently, these two layers were combined through a matrix to assess the erosion risk status of the Oltu Stream Basin. Erosion risk in the Oltu Stream Basin exhibits significant spatial variation. Approximately half of the basin (46.05%) falls into the low and very low risk categories, characterized by gentle slopes, resistant lithological structures, and dense vegetation cover. In contrast, high (24.42%) and very high (18.96%) risk areas are predominantly concentrated on steep slopes with sparse vegetation. Although moderate-risk zones (10.57%) cover a relatively small portion, they require close monitoring. This distribution clearly highlights the need for risk-based, site-specific planning and management strategies within the basin.

1. Giriş

Canlı yaşamının sürdürülebilirliği açısından temel kaynaklardan biri olan toprak [1] hem ekosistemlerin işleyişinde hem de insan faaliyetlerinde merkezi bir role sahiptir. Ancak, doğal ve beşerî kökenli çeşitli etkenler nedeniyle bu önemli kaynak erozyona maruz bırakılmaktadır. Toprak için en önemli on tehditte biri olarak kabul edilen erozyon [2], su, rüzgâr ve buzul gibi güçlerin etkisiyle toprağın üst katmanının yerinden ayrılması, taşınması ve taşıyıcı gücün zayıfladığı alanlarda birikmesi şeklinde tanımlanmaktadır [3–4]. Bu etkenlerin erozyonu gerçekleştirme hızı, doğal koşullar altındazamana yayılarak gerçekleşmekteyken; günümüzde, beşerî faaliyetlerle erozyon, çok daha kısa sürede, daha büyük boyutlara ulaşmaktadır. Kentleşme, ormansızlaşma, yanlış tarımsal uygulamalar ve büyük ölçekli yapısal projeler gibi insan kaynaklı müdahaleler, doğal erozyon süreçlerini hızlandırarak “hızlandırılmış erozyon” olgusunu ortaya çıkarmıştır [5].

Doğal ve hızlandırılmış erozyon ciddi çevresel bozulmalara yol açmaktadır [6]. Doğal veya hızlandırılmış erozyonla taşınan materyaller, göl ve baraj gibi su rezervuarlarına taşınmakta; burada depolanarak yoğun sedimantasyon süreçlerine neden olmaktadır. Sedimantasyon barajların su tutma kapasitesi göz önüne alındığında ölü hacim (dead space) olgusunu tetiklemekte [7] ve hidrolojik işleyiş üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Erozyonun yanı sıra yanlış arazi kullanımı [8], plansız kentleşme ve toprağın doğal döngüsünü gözetmeyen tarımsal uygulamalar; tarım arazilerinde daralmaya yol açmaktadır [5]. Bu durum artan nüfus baskısı altında verimliliği sürdürebilmek amacıyla agrokimyasal kullanımının yaygınlaşmasına neden olmaktadır [6]. Bu tür müdahaleler, zamanla hem toprağın yapısını hem de su kaynaklarının kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, doğal sistemler üzerindeki baskıyı daha da artırmaktadır. Tüm bu süreçler birlikte ele alındığında, erozyonun yalnızca bir jeomorfolojik değişim süreci değil, aynı zamanda çok boyutlu çevresel krizleri tetikleyen bir dinamik olduğu açıkça görülmektedir.

Dünya genelindeki toprak erozyonu ve bunun ekonomik etkileri, bu sorunun büyüklüğünü ve önemini ortaya koymaktadır. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yayımlanan Küresel Toprak Ortaklığı raporlarına göre, dünya genelinde her yıl 75 milyar ton toprak erozyona uğramaktadır ve yaklaşık 400 milyar dolar değerinde tarımsal üretim kaybı yaşanmaktadır [9]. Ülkemizde ise her yıl yaklaşık 642 milyon ton toprak erozyonu meydana gelmektedir. Yıllık ortalama toprak kaybı ise 8,24 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Bu miktar, ülke yüzölçümünün %28’inde çok hafif, %13’ünde hafif, %7,93’ünde orta, %5,97’sinde şiddetli ve %6,7’sinde ise çok şiddetli seviyelerde dağılım gösterdiği tespit edilmiştir [10]. 2013-2017 dönemi için hazırlanan Erozyonla Mücadele Eylem Planı raporlarına göre, söz konusu beş yıllık süreçte erozyon kontrolü amacıyla toplamda 400 milyon TL’lik bir harcama gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ağaçlandırma, rehabilitasyon ve mera ıslahı çalışmalarını içeren bu faaliyetlerin toplam maliyeti ise 1,89 milyar TL olarak belirlenmiştir [11].

Erozyonun küresel ölçekte yarattığı çevresel ve ekonomik etkiler, bu olgunun disiplinlerarası bir yaklaşımla ve bilimsel temelde çok boyutlu olarak incelenmesini gerekli kılmıştır. Bu gereklilik yalnızca erozyon için değil, taşkın, heyelan, deprem gibi diğer doğal afetler için de büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, farklı coğrafyalarda doğal afetlerin incelenmesi ve risk potansiyelinin doğru şekilde belirlenmesi, önleyici tedbirlerin geliştirilmesi açısından kritik bir role sahiptir. Bu tedbirlerin geliştirilmesi ise ancak doğru analiz tekniklerinin kullanımıyla mümkündür. Bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri öne çıkmaktadır. CBS ve UA teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, doğal afet risk analizleri ve arazi kullanımı planlamalarında daha kapsamlı, hassas ve güvenilir çalışmaların gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Nitekim, CBS ve UA’nın entegrasyonu sayesinde son yıllarda birçok doğal afet risk analiz çalışması gerçekleştirilmiştir [12–28].

CBS ve UA teknolojilerinin sunduğu mekânsal analiz olanakları, erozyon gibi karmaşık süreçlerin daha doğru ve güvenilir biçimde modellenmesini mümkün kılmıştır. Doğal afetler arasında hem yaygınlığı hem de arazi bozunumu üzerindeki etkileri bakımından öne çıkan erozyon, risk analizlerinde çok sayıda yöntemsel yaklaşımın geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Erozyon riskinin belirlenmesinde en yaygın şekilde başvurulmuş yöntem ve modellerin başında, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [29–32] ile Institute for Conservation of Nature (ICONA) [33–34] gelmektedir. Söz konusu iki yöntem dışında, literatürde tercih edilen modeller arasında; Land Erodibility Assesment Model - LEAM [35], Coordination of Information on the Environment – CORINE [36], Pan-European Soil Erosion Risk Assesment – PESERA [37], Water Erosion Prediction Project – WEPP [38], Areal Non – Point Source Watershed Environmental Responce Simulation – ANSWER [39–40], Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems – CREAMS [41] yer almaktadır.

ICONA modeli, Avrupa ve Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak kullanıldığı gibi, Türkiye’de de erozyon riskinin belirlenmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır [34,42]. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin entegrasyonu, ICONA gibi modellerin mekânsal doğruluğunu artırarak daha kapsamlı ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır [34,43]. Bu çalışmada; yanlış arazi kullanımı, yoğun orman tahribatı ve aşırı otlatma [44–45] gibi insan kaynaklı baskıların yanı sıra, rölöf özelliklerinden kaynaklanan yüksek eğim değerleriyle dikkat çeken Oltu Çayı Havzası’nda, ICONA modeli aracılığıyla erozyon riskinin mekânsal dağılımının somut şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir. Nitekim önceki çalışmalarda da vurgulandığı gibi Türkiye’nin en fazla erozyona uğrayan ikinci havzası konumunda olan Çoruh Havzası’nda [46] önemli bir alana sahip olan Oltu Çayı Havzası’nda erozyon, geçmişte olduğu gibi günümüzde önemli bir problemdir. Tedbir alınmadığı takdirde havzadaki verimli toprakların kaybedilmesi sürecektir.

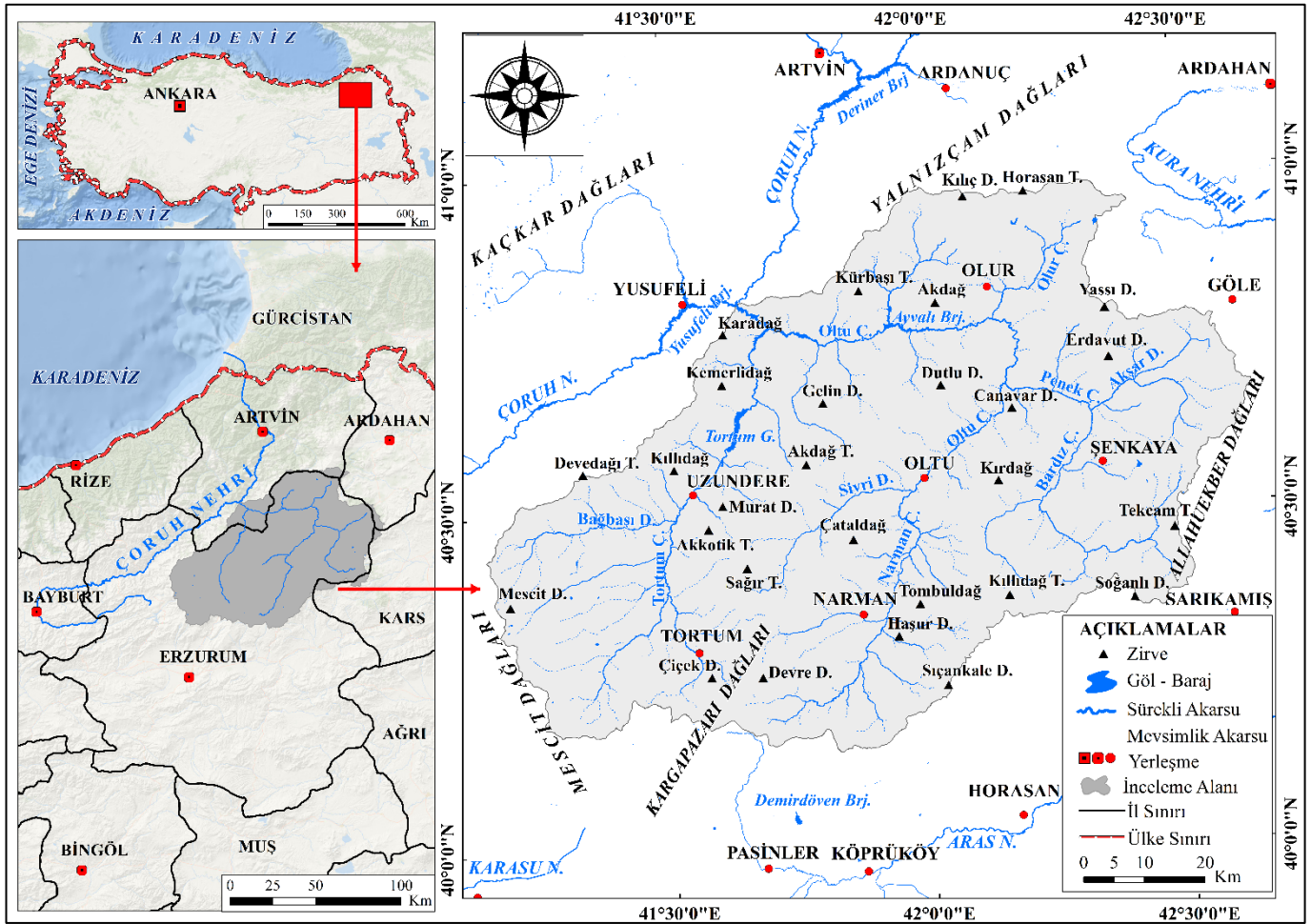
1.1. Araştırma Sahasının Genel Coğrafi Özellikleri

Çalışma sahasını; 40°08'32,00" ile 40°58'50,00" kuzey enlemleri ve 41°10'00,19" ile 42°38'31,80" doğu boylamları arasında konumlanan ve arazisinin büyük bölümü Erzurum ve kısmen Artvin il idari sınırları içerisinde kalan, çok küçük bir bölümüyle Kars ve Ardahan il sınırlarına temas eden Oltu Çayı Havzası (7045,5 km²) oluşturmaktadır. Güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda uzanan havza sınırları içerisinde Tortum, Uzundere, Narman, Oltu, Olur ve Şenkaya ilçe merkezleri yer almaktadır (Şekil 1).

Alp Orojenik Kuşağı içerisinde yer alan Oltu Çayı Havzası, Paleozoyik'ten günümüze uzanan jeolojik süreçler boyunca gelişmiş, farklı renk, yapı ve fasiyes özellikleri taşıyan çok sayıda formasyonun bir arada bulunduğu, karmaşık ve zengin bir jeolojik mozaik niteliği taşımaktadır [47–49]. Bu mozaik yapı içerisinde Senozoyik birimler yaklaşık 4250 km², Mesozoyik birimler 2700 km² ve Paleozoyik birimler ortalama 95 km²'lik alanda yüzeylenmektedir.

Oltu Çayı Havzası'nın günümüzdeki topoğrafik yapısı, uzun jeolojik süreçler boyunca etkili olan epirojenik, orojenik ve yer yer volkanik hareketlerle

şekillenen karmaşık tektonik etken ve süreçlerle dış etken ve süreçlerden özellikle akarsular ve glasiyasyon etkisi öne çıkmaktadır. Nitekim havza çok sayıda derin yarılmış vadilerle kat edilmektedir. Görülüyor ki; günümüzdeki engebeli görünümünün temel nedeni arasında güçlü aşındırma ve erozyonla bağlantılı gelişmelerin rolü vardır. Sahanın en yüksek noktası 3267 metreyle Mescit Dağı'dır. Sahada Devedağı (3202 m), Akdağ Tepesi (3047 m), Kılıç Dağı (2951 m), Devre Dağı (2916 m), Kılıdağ Tepesi (2914 m) ve Gelin Dağı (2892 m) gibi diğer önemli zirveler dikkat çekmektedir. Havzanın en alçak yerini 522 m yükselti değeri ile Oltu Çayı'nın Çoruh Nehri'ne bağlandığı Su Kavuşumu Mevkisi oluşturmaktadır. Hipsometrik açıdan havzanın en yüksek yeri ile en alçak yeri arasında 2750 metreyi bulan irtifa farkı bulunmaktadır. Yükselti farkının fazla oluşu da sahanın engebeli bir rölöfeye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu topoğrafik yapı, özellikle yüksek eğim değerlerine sahip yüzeylerle öne çıkmakta ve bu durum ICONA modelinde değerlendirilen önemli bir parametre olarak, sahadaki erozyon riskinin mekânsal dağılımı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.



Şekil 1. Oltu Çayı Havzası'nın yeri ve sınırları.

İnceleme alanındaki meteoroloji istasyonlarından Tortum'da yıllık ortalama sıcaklık 8,1 °C ve yağış 311,51 mm; Uzundere'de 12,2 °C ve 258,11 mm; Narman'da 9,4 °C ve 355,73 mm; Oltu'da 10,0 °C ve 272,51 mm; Olur'da 10,9 °C ve 395,82 mm; Şenkaya'da ise 7,6 °C ve 465,56

mm olarak kaydedilmiştir. Havzanın özellikle güney kesimlerindeki yüksek rakımlı alanlarda sert iklim koşulları hakimken, yükseltinin minimuma indiği aşağı çığırda yerel mikroklima şartları görülmektedir

Havzanın hidrolojik ağı, çok sayıda yan kolun ana akarsuya katılımıyla şekillenmektedir. Yukarı çığırda, Narman Çayı (Narman Suyu) ile Sivri Çayı'nın Oltu ilçe merkezinin güneyinde birleşmesiyle Oltu Çayı'nın yukarı havza drenaj şebekesi oluşmakta ve akış kuzey-kuzeydoğu yönünde sürmektedir. Akarsu, bu doğrultuda ilerlerken havzanın kuzeydoğusunda yer alan Dümbüllü Deresi, Bardız Çayı ve Akşar Deresi'nin birleşimiyle oluşan Penek Çayı'nı almaktadır. Akış yönünü kuzeye çeviren Oltu Çayı, açmış olduğu boğaz vadi boyunca ilerledikten sonra kuzeyden gelen Olur Deresi ile birleşmektedir. Ardından batı yönünde akışını sürdüren Oltu Çayı, Su Kavuşumu mevkinde Tortum Çayı'nı alarak Çoruh Nehri'ne bağlanmaktadır. Havza, hidrolojik açıdan çok kollu bir yapıya sahip olup, ana akarsuya katılan yan dereler aynı zamanda bağımsız alt havzalar oluşturmaktadır. Bu çerçevede, Oltu Çayı Havzası; Tortum, Narman, Sivri, Penek ve Olur Çayı Havzaları olmak üzere beş alt havzadan meydana gelmektedir. Havzanın önemli su kütlelerini Tortum Heyelan Seti Gölü, Yusufeli Barajı ve Ayvalı Barajı oluşturmak olup Yedigöller, Mescit Dağı glasiyasyon çanağı içerisinde bulunan sirk gölleri ve çok sayıda irili ufaklı göl ve göletler oluşturmaktadır. Havzadaki akarsu ağı ise çok kollu ve düzensiz kolların ana akarsuya doğal bir şekilde birleşmesiyle şekillenen dendritik drenaj tipi özelliğindedir.

2. Yöntem

Çalışmada kullanılan ham veriler, çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarından ve Tablo 1'de yer alan web sitelerinden temin edilmiştir. Verilerin, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı analizlere uygun hâle getirilmesi için, ArcGIS programında WGS 84 UTM Zone 37N koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Koordinatlandırma işlemi, mekânsal doğruluğun sağlanması ve farklı veri katmanlarının birbirleriyle uyumlu hâle getirilmesi amacıyla titizlikle gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, verilerin homojen bir yapıda birleşmesini ve analiz aşamasına sorunsuz geçişini sağlamıştır. Elde edilen veri setlerinin çözünürlükleri değişiklik göstermekle birlikte, analiz ICONA modeline dayanarak vektör formatında yürütülmüştür. Tüm veri katmanları CBS ortamında mekânsal olarak örtüştürülmüş, sınıflandırılmış ve risk çakıştırması bu sınıflandırılmış değerler üzerinden yapılmıştır. Bu nedenle ham veri çözünürlük farkları doğrudan model çıktısını etkilememiş; risk belirleme sürecinde esas olan parametrik sınıflandırma ve katmanlar arası çakıştırma mantığıdır. Bu yaklaşım, farklı ölçekli mekânsal verilerin birlikte kullanıldığı çok kriterli CBS tabanlı analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan veriler ve özellikleri.

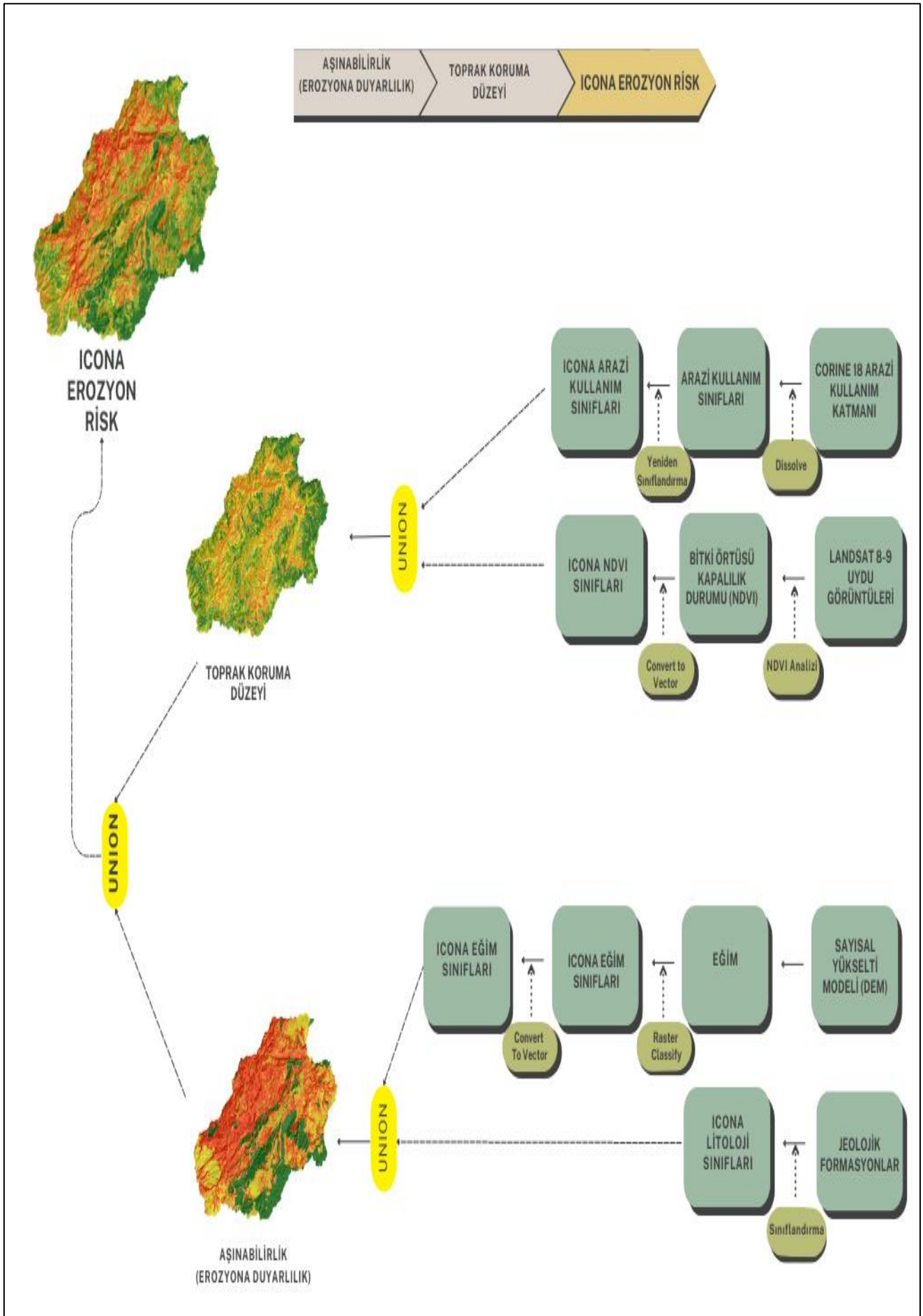
Veri Seti	Kaynak	Veri Detayı
Digital Elevation Model (DEM)	NASA EarthData ASF Data Search Vertex (URL 1).	Veri Tipi: Raster – Boyut: 12,5 * 12,5 m
Arazi Kullanım Durumu (CORINE 2018)	Copernicus Land Monitoring Service (URL 2).	Veri Tipi: Vektör – Ölçek: 1/100,000
Jeolojik Formasyonlar	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden temin edilen veriler sayısallaştırılmıştır.	Veri Tipi: Raster – Ölçek: 1/100,000
Havza sınırı, akarsu, göl, zirve vb. katmanlar	Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen verilerden faydalanılarak üretilmiştir.	Veri Tipi: Raster – Ölçek: 1/100,000
Bitki Örtüsü Kapalılık Durumu (NDVI)	USGS Earth Explorer Landsat 8-9 OLI/TIRS (URL 3).	Veri Tipi: GeoTiff Boyut: 30 * 30 m

ICONA modeli, özellikle geniş alanlarda uygulanabilirliği nedeniyle toprak erozyonu risk değerlendirmelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Erozyon riskini etkileyen dört temel parametre (kayaç direnç sınıfı, eğim grubu, arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğu) kullanılarak, önce toprak aşınabilirlik ve toprak koruma düzeyi haritaları üretilmiş; ardından bu iki ara çıktının entegrasyonu ile nihai erozyon risk haritası oluşturulmuştur. Söz konusu altı parametre arasındaki etkileşim, üç aşamalı çakıştırma yaklaşımıyla sayısallaştırılmıştır (Şekil 2).

İlk aşamada, Tablo 2-I'deki karar kuralı matrisi kullanılarak kayaç direnç sınıfları ile eğim grupları çakıştırılmış ve bölgenin toprak aşınabilirlik düzeyleri (1: çok az aşınabilir'den 5: çok şiddetli aşınabilir'e) belirlenmiştir. İkinci aşamada, Tablo 2-II'deki kural setine göre arazi kullanım tipleri ile dört sınıflı NDVI verisi eşleştirilerek toprak koruma düzeyleri (1: çok

yüksek'ten 5: çok düşük'e) haritalanmıştır. Son aşamada, her iki ara çıktı Tablo 2-III'teki toprak aşınabilirlik-koruma matrisiyle entegre edilerek nihai erozyon risk sınıfları (1: çok düşük'ten 5: çok yüksek'e) oluşturulmuştur.

Her bir hücredeki sayısal değer, ilgili parametre kombinasyonunun erozyon sürecine katkı derecesini göstermekte olup haritalama aşamasında renk skalasıyla görselleştirilmiştir. Bu karar kuralı matrisi temelli yaklaşım, model girdilerinin mekânsal doğruluğunu artırmakta ve parametreler arası etkileşimi daha şeffaf hale getirerek, analiz sürecinin Şekil 2 üzerinden adım adım izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemsel çerçeve, CBS ve uzaktan algılama entegrasyonu ile ICONA Modeli'nin erozyon risk değerlendirmesinde nasıl uygulandığını hem şematik hem de sayısal olarak göstermektedir.



Şekil 2. ICONA Modeli erozyon risk akış şeması.

Tablo 2. ICONA Modeli kapsamında erozyon risk bileşenlerine ait karar kuralı matrisleri. [50-51]

I					
Kayaç Direnç Sınıfları	Eğim Aralığı (%)				
	0-7	7-14	14-20	20-35	35>
Dirençli kayaçlar	1	1	1	1	1
İyi pekişmiş kayaçlar	2	3	3	4	5
Kompakt kayaçlar	2	3	3	4	5
Az konsolide kayaçlar	2	3	4	5	5
Az dirençli formasyonlar	2	3	4	5	5
Kuvaterner yaşlı depozitler	2	3	4	5	5

II					
Arazi Kullanımı	Bitki Örtüsü Kapalılık Durumu (NDVI)				
	1 (<25)	2 (25-50)	3 (51-75)	4 (>75)	
1 Tarım Alanı	5	5	4	4	
2 Orman Alanı	3	2	1	1	
3 Tarım Dışı	4	3	2	1	

III					
Toprak Koruma Düzeyi	Aşınabilirlik (Duyarlılık)				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	2	2
2	1	1	2	3	4
3	1	2	3	4	4
4	2	3	3	5	5
5	2	3	4	5	5

3. Bulgular

3.1. Model uygulama süreci

Erozyon riskinin belirlenebilmesi amacıyla, dört temel parametre kullanılmıştır: kayaç direnç grupları (litoloji) ve eğim grupları toprak aşınabilirliğini belirlerken; arazi kullanım türleri ile NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Yoğunluk İndeksi) değerleri ise toprak koruma düzeylerini ortaya koymuştur. Bu kapsamda, kayaçların fiziksel dayanıklılığı ve eğim değerleri, arazinin aşınma karşı ne denli hassas olduğunu belirleyen ana etmenler olurken; bitki örtüsünün yoğunluğu ve arazi kullanım biçimleri de toprak yüzeyinin korunma kapasitesini şekillendirmiştir.

3.1.1. Litoloji

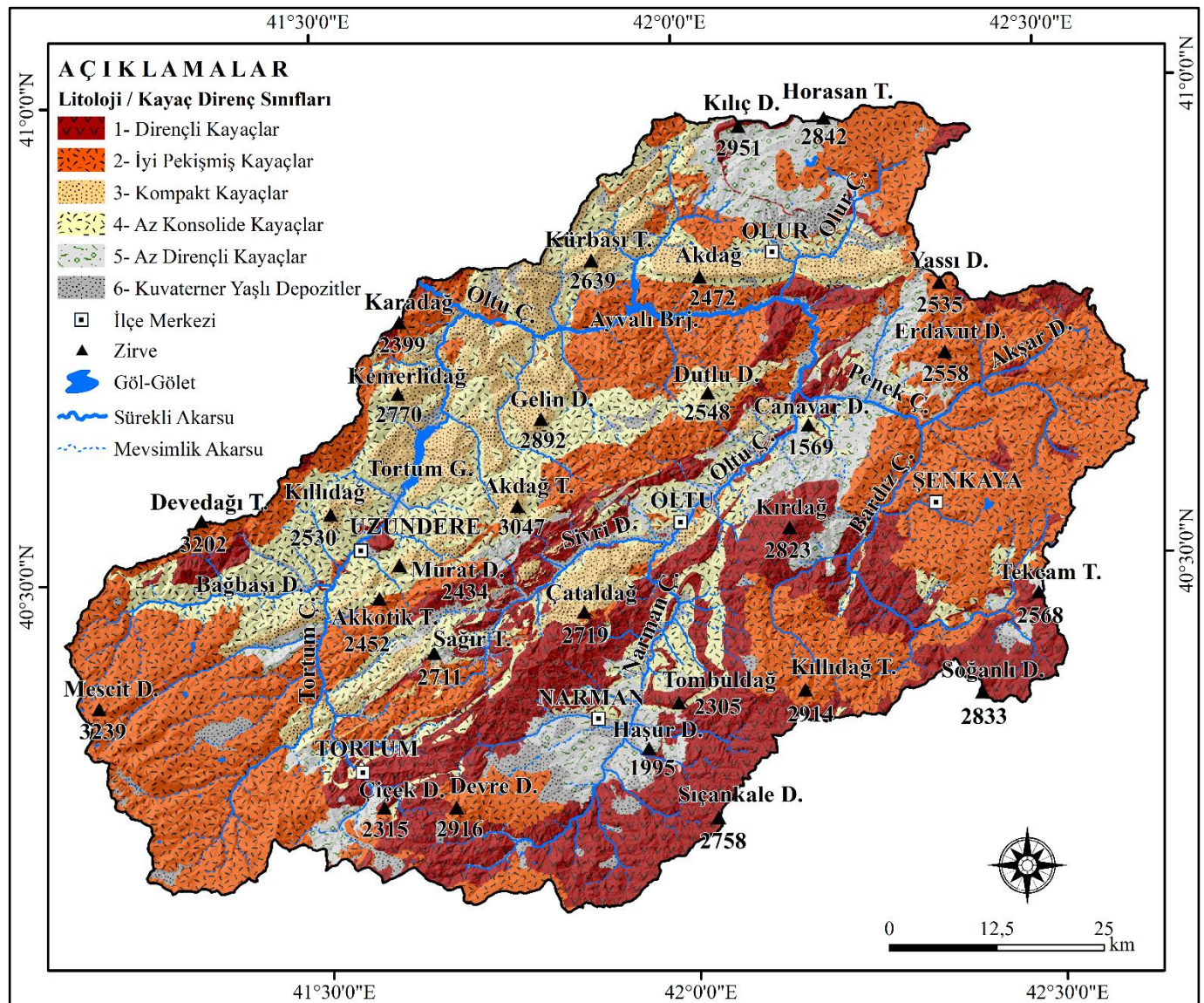
İlk aşamada Maden tetkik Arama Genel Müdürlüğünden (MTA) temin edilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları [52-59] ArcGIS 10.8 programının ArcMap arayüzünde koordinat sistemiyle uyumlu hale getirilmiş ve ardından jeolojik formasyonlar

sayısallaştırılmıştır. Bir sonraki aşamada, ICONA erozyon risk değerlendirme modeli çerçevesinde formasyonlara ait özellikler ve literatürde yer alan sınıflandırmalar dikkate alınarak, kayaçların aşınma karşı direnç sınıfları oluşturulmuştur. (Şekil 3). 7045,5 km² yüzölçümüne sahip araştırma sahasında, kayaç türlerinin mekânsal dağılımı çeşitlilik göstermektedir. Bu alanın %22,12'sini dirençli kayaçlar, %38,81'ini iyi pekişmiş volkanik ve metamorfik kayaçlar, %9,13'ünü kompakt ve kısmen pekişmiş kayaçlar, %15,81'ini az konsolide, gevşek dokulu tuf içerikli formasyonlar, %7,77'sini az dirençli ve yüksek ayrışma potansiyelli formasyonlar, %6,36'sını ise Kuvaterner'e tarihlenmiş çimentolaşmamış genç alüvyal depozitler oluşturmaktadır. Bu dağılım içerisinde en geniş yer kaplayan kayaç grubu, %38,81 oranıyla iyi pekişmiş kayaçlardır (Tablo 3). Bu durum, bölgedeki kayaçların büyük ölçüde sıkı yapılı, dayanıklı ve erozyona karşı görece daha dirençli özellikler taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, az dirençli ve gevşek yapılı kayaç birimlerinin de önemli bir oran oluşturması, yerel düzeyde toprağın aşınma potansiyelini artıracak bir etkiye sahiptir.

Tablo 3. Jeolojik birimlerin direnç sınıflandırması ve alansal – oransal dağılımı.

Kod	Kayaç Direnç Sınıfları	Tanım	Alan (km ²)	Oran (%)
1	Dirençli (Masif) kayaçlar	Andezit, bazalt, gabro vb. volkanik kayaçlar	1558,24	22,12
2	İyi pekişmiş kayaçlar	Volkanik ve metamorfik kökenli, sıkı yapılı, yoğun ve yüksek dayanımlı kayaçlar	2734,17	38,81
3	Kompakt olmuş kayaçlar	Kırıntılı ve karbonatlı yapıda, orta derecede dayanıklı, kısmen pekişmiş kayaçlar	643,37	9,13
4	Az konsolide kayaçlar	Gevşek dokulu, zayıf çimentolaşmış, gevşek yapılı, kırıntılı ve tuf içerikli kayaçlar	1114,14	15,81
5	Az dirençli Kayaçlar	Yumuşak dokulu, yüksek ayrışma potansiyelli ve suya duyarlı kayaçlar	547,23	7,77
6	Kuvaterner yaşlı depozitler	Alüvyon, kum, silt gibi erozyona son derece açık genç dönem yüzey çökelleri	448,35	6,36

Not: Kayaç direnç sınıflarının oluşturulmasında [51]'den, tanım ve sınıflandırmalar için [33-34,50,60]'dan yararlanılmıştır.



Şekil 3. Litoloji haritası.

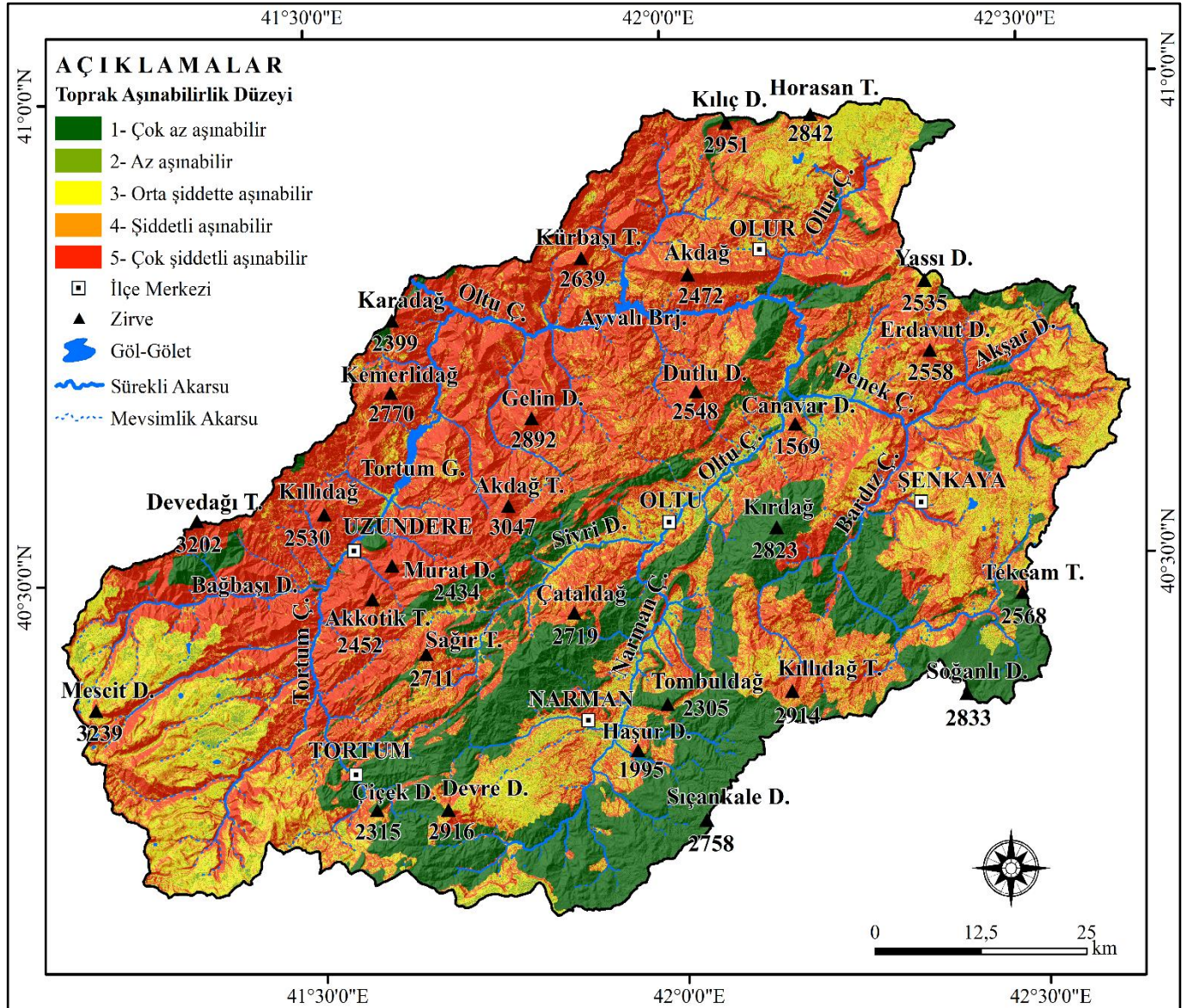
3.1.3. Toprak aşınabilirlik düzeyi

Kayaç direnç sınıfları ve yeniden sınıflandırılmış eğim grupları bir matrisle karşılaştırılmış (Tablo 2 – I) ve modelin ilk aşaması olan toprak aşınabilirlik düzeyi belirlenmiştir (Şekil 5). Bu analiz sonucunda, çalışma alanındaki yüzeylerin erozyona karşı duyarlılığı 5 sınıfa ayrılmıştır. Her bir sınıfın yüzölçümü belirlenerek, toplam alan içerisindeki yüzdesel dağılımları hesaplanmıştır. Çalışma alanının toplam yüzölçümü 7045,5 km² olup, en büyük payı %43,86 oranıyla “çok şiddetli aşınabilir” sınıfı

oluşturmaktadır. Aşınmaya karşı direnci düşük olan Kuvaterner çökeller ile zayıf konsolidasyona sahip, düşük dirençli kayaç gruplarının sarp eğimli alanlarla kesiştiği bölgeler, çok şiddetli aşınabilirlik sınıflarının oluşmasında belirleyicidir. Bu durum, sahanın önemli bir kısmının litolojik ve topoğrafik özellikler nedeniyle erozyona son derece açık olduğunu göstermektedir. İkinci büyük sınıf ise %22,11 ile “çok az aşınabilir” alanlardır. Söz konusu alanlar, dirençli jeolojik yapıları ve düşük eğim değerleri ile erozyona karşı daha dirençlidir. (Tablo 5).

Tablo 5. Oltu Çayı Havzası'nda toprak aşınabilirlik sınıflarının alansal ve oransal dağılımı.

Kod	Tanım	Alan (km ²)	Oran (%)
1	Çok az aşınabilir	1558,1	22,11
2	Az aşınabilir	272,1	3,86
3	Orta şiddette aşınabilir	1069,4	15,18
4	Şiddetli aşınabilir	1056	14,99
5	Çok şiddetli aşınabilir	3089,9	43,86



Şekil 5. Toprak aşınabilirlik düzeyi haritası.

3.1.4. Bitki örtüsü yoğunluğu

ICONA yönteminde, bitki örtüsü yoğunluğu değişkeni, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) olarak bilinen Normalleştirilmiş Bitki Farklılık İndeksi aracılığıyla belirlenmektedir. Bitki örtüsünün spektral özellikleri, yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (R) bantlardaki yansıma değerleriyle doğrudan ilişkilidir. Kırmızı banttan yansıyan ışığın önemli bir kısmı bitki bünyesindeki klorofil tarafından emilirken, yakın kızılötesi banttan gelen ışık mezofil dokuları tarafından güçlü bir şekilde yansıtılmaktadır. Bu durum, NIR/R oranının sağlıklı bitkilerde yüksek, sağlıklı veya seyrek bitki örtüsünde ise düşük olmasına yol açmaktadır. Böylece farklı bitki örtüsü durumlarının ayırt edilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu özelliklerinden dolayı NDVI, ormancılık, tarım ve jeoloji gibi pek çok araştırma alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [61].

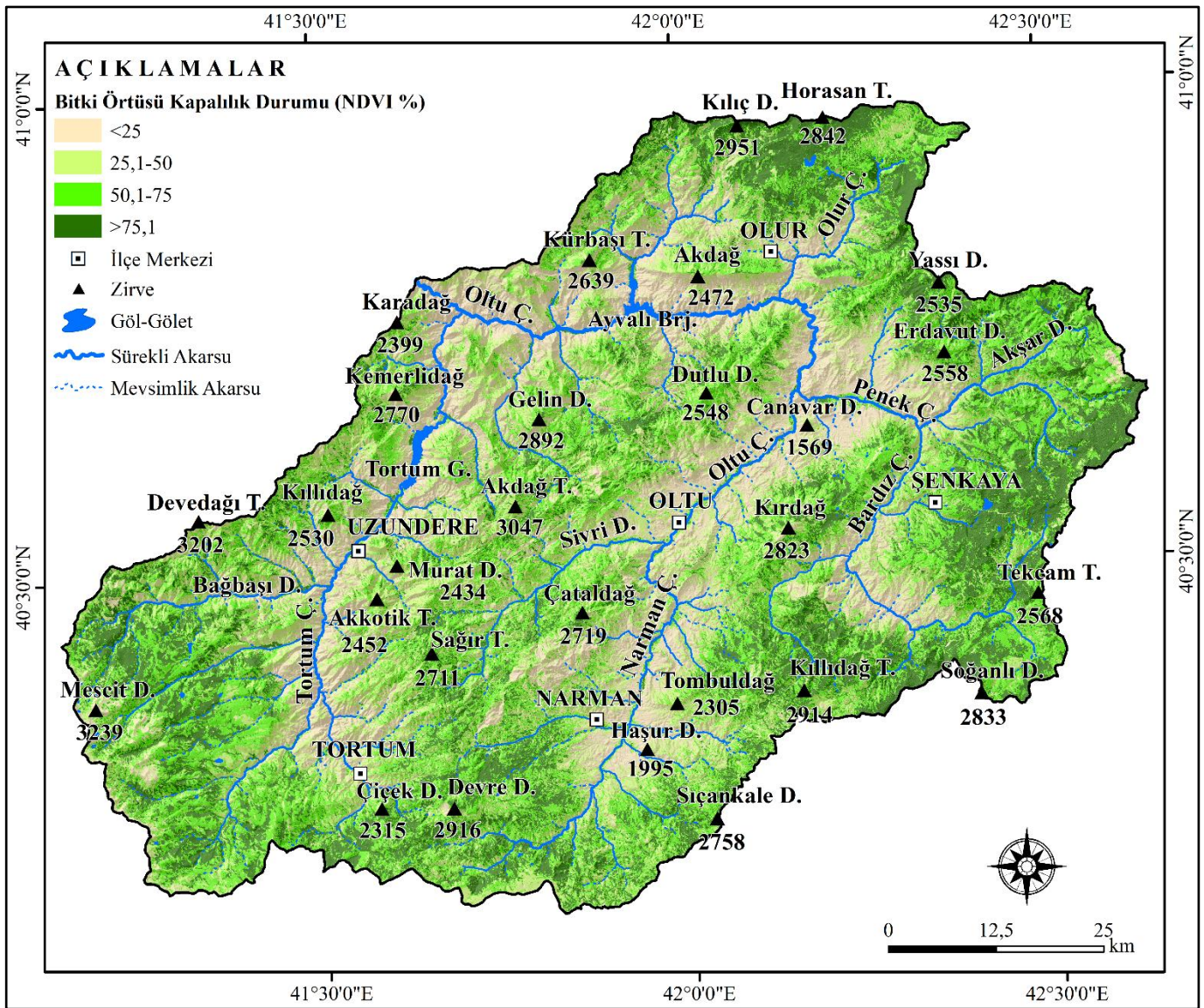
ICONA yöntemiyle gerçekleştirilen erozyon risk analizinde, dört temel parametreden biri olan NDVI verisinin üretimi için, 21.08.2024 ve 15.09.2024 tarihli Landsat 8-9 OLI/TIRS uydu görüntüleri USGS Earth Explorer platformundan temin edilmiştir. Elde edilen uydu görüntüleri, Arcgis 10.8 programının Spatial Analyst Tools sekmesindeki Raster Calculator aracı ile eşitlik [1] formülü kullanılarak işlenmiş ve bu işlem sonucunda NDVI verisi elde edilmiştir.

$$[1] \text{ NDVI} = \frac{\text{Yakın Kızılötesi} - \text{Kırmızı Band}}{\text{Yakın Kızılötesi} + \text{Kırmızı Band}}$$

Elde edilen NDVI verileri, ICONA modeli doğrultusunda, Tablo 6'da sunulan sınıflama kriterlerine uygun olarak dört bitki örtüsü kapallığı sınıfına ayrılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarına göre, Oltu Çayı Havzasında bitki örtüsü yoğunluğu <%25 olan alanlar 1432,24 km² (%20,33) ile havzanın beşte birini oluşturmaktadır. Bu alanlar bitki örtüsünün son derece seyrek olduğu ve dolayısıyla erozyon riskinin yüksek olabileceği bölgeleri temsil etmektedir. %25-50 aralığındaki kapallılık düzeyine sahip alanlar 1953,11 km² (%27,72) ile daha geniş bir yayılımı sahiptir ve örtü yoğunluğu sınırlı olan bu alanlar da erozyona karşı nispeten savunmasızdır. %51-75 kapallılığa sahip alanlar 2213,56 km² (%31,42) ile en geniş alanı kaplamakta olup, orta yoğunlukta bitki örtüsünün havzada yaygın olduğunu göstermektedir. >%75 kapallılığa sahip alanlar ise 1446,59 km² (%20,53) ile havzanın beşte birinden fazlasını oluşturmaktadır ve yoğun bitki örtüsü sayesinde erozyona karşı en dirençli bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Bu dağılım, havzada bitki örtüsü kapallığı açısından dengeli ancak farklılık gösteren bir yapının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle <%50 kapallılığa sahip alanların toplamda %48'i aşması, erozyon açısından dikkat edilmesi gereken alanların varlığını işaret ederken; %51 ve üzeri kapallılığa sahip alanların %51,95 gibi önemli oran oluşturması, doğal koruma kapasitesinin belirli ölçüde güçlü olduğunu göstermektedir.

Tablo 6. ICONA Modeli'ne göre yeniden sınıflandırılmış NDVI verisi.

Kod	Bitki Örtüsü Kapallılığı	Alan (km ²)	Oran (%)
1	<25	1432,24	20,33
2	25-50	1953,11	27,72
3	51-75	2213,56	31,42
4	>75	1446,59	20,53



Şekil 6. Bitki örtüsü kapalılık durumu (NDVI) haritası.

3.1.5. Arazi kullanım durumu

Toprak koruma düzeylerinin güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için, model kapsamında değerlendirilen parametreler arasında arazi kullanım durumu verisi de yer almaktadır. Bu bağlamda Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından sağlanan CORINE Land Cover 2018 verisi, Copernicus Land Monitoring Service platformu üzerinden temin edilmiştir. Çalışmada CORINE 2018 verisinin tercih edilmesinin temel sebeplerinden biri, bu veri setinin Avrupa genelinde ortak bir standart çerçevesinde uygulanıyor ve kabul ediliyor olmasıdır [62]. Bu durum, analizlerin bilimsel geçerliliğini ve uluslararası güvenilirliğini artırmıştır. Farklı arazi kullanım sınıflarının toprak erozyonu üzerindeki etkileri literatür verileriyle desteklenmiş ve böylece analizde kullanılacak veri setinin bilimsel geçerliliği güçlendirilmiştir.

Elde edilen veri seti, ICONA modelinin kavramsal çerçevesine uygun olacak şekilde basitleştirilmiş bir sınıflama yaklaşımıyla yeniden düzenlenmiş; çalışma alanının özelliklerine uygun biçimde tarım alanları,

orman alanları, tarım dışı alanlar (yerleşmeler, kayalıklar, sarplıklar gibi) ise mera alanları olmak üzere üç ana kategori altında gruplandırılmıştır. Çalışma alanının büyük bir kısmının (%75,92) tarım dışı alanlarından oluştuğu görülmektedir. Orman alanının saha genelindeki payı %12,54'tür. Tarıma ayrılmış alanın yüzölçümü ise %11,53 oran ile en küçük paya sahiptir. Bu dağılım sahadaki toprak koruma düzeylerinin ortaya konulmasında arazi kullanımının önemine dikkat çekmektedir. Yoğun bitki örtüsü, toprak yüzeyini yağış ve su akışının etkilerine karşı koruyarak erozyonu önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak, tarım alanlarının bitki örtüsü bakımından yetersiz olması, erozyon süreçlerini hızlandıran bir faktör olduğu bilinmektedir. Nitekim, çalışmalar [63-64] göstermektedir ki tarım alanlarının doğal bitki örtüsü altındaki ekosistemlere kıyasla çok daha yüksek erozyon hızlarına sahip olduğu ve bunun toprak verimliliğini olumsuz etkilediği vurgulanmıştır. Analizlerden çıkan bulgular da bu savı desteklemekte ve erozyon risk analizinde arazi kullanım türlerinin erozyonun ivmesi noktasında dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 7: ICONA Modeli'ne göre yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım durumu verisi.

Kod	Tanım	ALAN (km ²)	Oran (%)
1	Tarım Alanı	812,64	11,53
2	Orman Alanı	883,67	12,54
3	Tarım Dışı ve Mera Alanı	5349,19	75,92

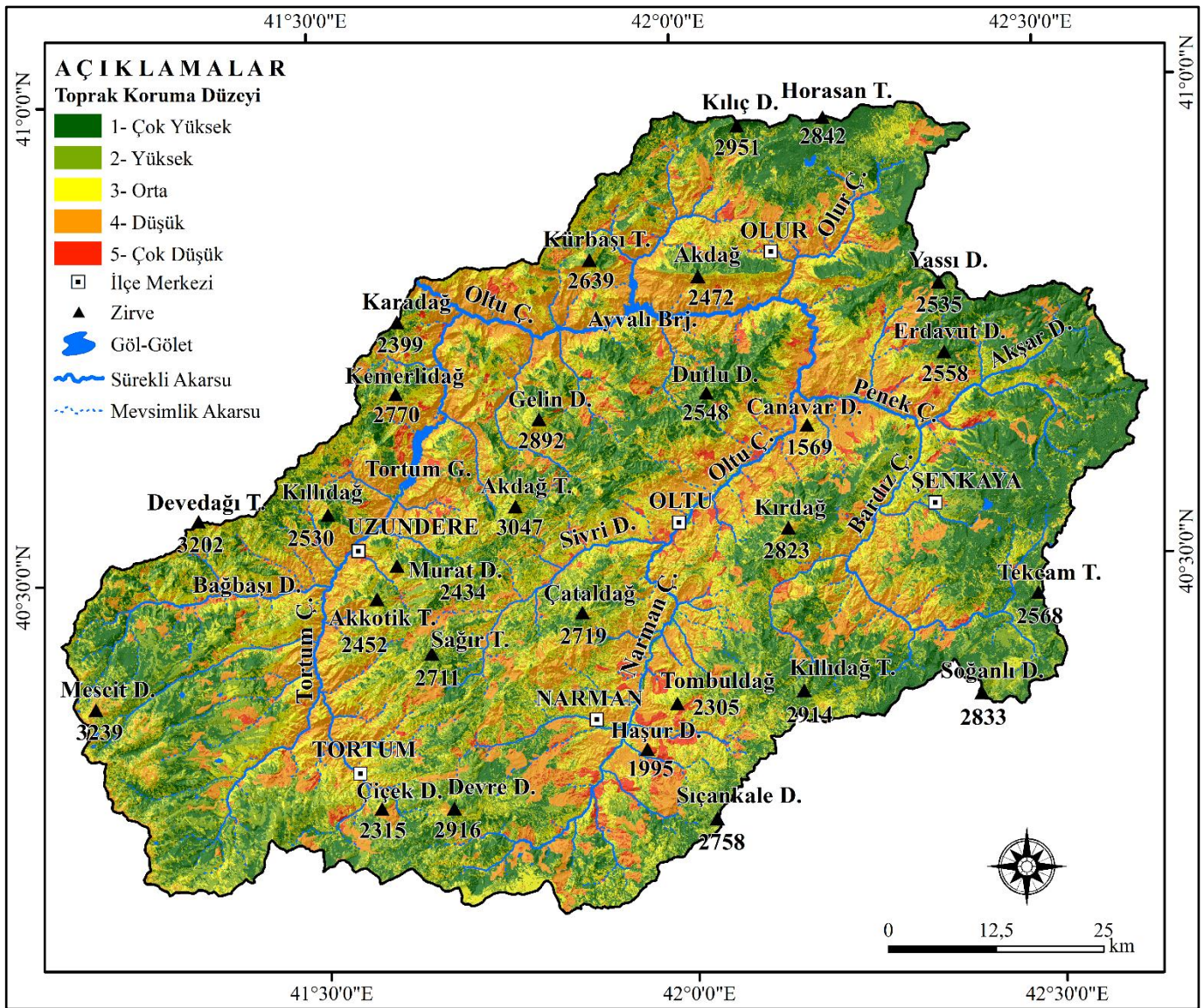
**Şekil 7.** Arazi kullanım durumu haritası.

3.1.6. Toprak koruma düzeyi

Bitki örtüsü yoğunluğu ve yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım türleri Tablo 2-II'de sunulan matrise göre karşılaştırılmış ve ICONA modelinin ikinci aşaması olan toprak koruma düzeyi belirlenmiştir. Belirlenen veri seti beş toprak koruma düzeyine göre sınıflandırılmıştır: "Çok Yüksek" koruma 1 677,07 km² (%23,80), "Yüksek" koruma 1,652,42 km² (%23,45), Orta koruma 1,569,62 km² (%22,28), "Düşük" koruma 1,874,77 km² (%26,61) ve "Çok Düşük" koruma 271,62 km² (%3,86) alana karşılık gelmektedir. Bu dağılımda "Düşük" sınıfı en geniş payı (%26,61) kaplarken, "Çok Düşük" sınıfı en küçük (%3,86) olarak öne çıkmaktadır.

Kümülatif dağılım analizinde "Çok Yüksek" ve "Yüksek" sınıfları toplam %47,25 ile çalışma alanının

yaklaşık yarısını oluştururken, "Düşük" ve "Çok Düşük" sınıflarının birleşimi %30,47 oranındadır. %50'lik eşik geçtiği medyan nokta "Orta" koruma düzeyi (%22,28) içinde yer almakta; dolayısıyla sahanın yarısından fazlası en az "Orta" seviyede koruma sağlamaktadır. Orta, Düşük ve Çok Düşük sınıflarının alan toplamı 3,716 km²'ye (yaklaşık %52,75) ulaşmakta, bu da çalışma alanının yarıdan fazlasının orta ve altı koruma düzeylerinde yer aldığını göstermektedir. Nicel bulgular, bölgedeki toprak koruma kapasitesinin mekansal dağılımını belirgin biçimde gözler önüne sermekte ve hangi alan gruplarının öncelikle değerlendirmeye alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Toprak koruma düzeyi haritası.

Tablo 8. Oltu Çayı Havzası'nda toprak koruma düzeylerinin alansal ve oransal dağılımı.

Kod	Tanım	Alan (km ²)	Oran (%)
1	Çok Yüksek	1677,07	23,80
2	Yüksek	1652,42	23,45
3	Orta	1569,62	22,28
4	Düşük	1874,77	26,61
5	Çok Düşük	271,62	3,86

3.1.7. ICONA erozyon riski

Çalışmada erozyon riskinin kapsamlı şekilde analizi; ICONA kriterleri kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin ilk aşamasında toprak aşınabilirlik düzeyleri belirlenmiş, bu maksatla Tablo 2-İ’de yer alan karar kuralı matrisi kullanılmıştır. Bunun için eğim ve kayaç direnç sınıfları çakıştırılmış, bulgular ışığında da toprak aşınabilirlik haritası oluşturulmuştur.

İkinci aşamada ise; toprak koruma düzeyleri belirlenmiştir. Tablo 2-II'deki kriterlerin kullanıldığı analizlerde bitki örtüsünün yoğunluğu ve arazi kullanım türleri çakıştırılmış ve böylece toprak koruma

potansiyeli belirlenmiştir. Son olarak, ICONA erozyon risk modeli için Tablo 2-III'deki kriterler kullanılarak, toprak aşınabilirlik ve toprak koruma düzeylerinin entegrasyonu yapılmış ve erozyon risk analizi tamamlanmıştır (Şekil 9). Bu entegrasyon, yalnızca mevcut erozyon riskinin ortaya konulmasına yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda bu riskin azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Elde edilen sonuçlar, erozyon riskinin doğru şekilde yönetilmesi için alınması gereken önlemleri belirlerken, sürdürülebilir toprak kullanımı ve

4. Sonuç

Oltu Çayı Havzası'nda ICONA Modeli ile yapılan erozyon risk analizi, havzanın jeolojik yapısı, topoğrafik özelliği, bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanım türlerinin birbiriyle nasıl iç içe geçtiğini açıkça göstermektedir. Jeolojik formasyonların büyük bölümünü meydana getiren dirençli ve iyi pekişmiş kayalar, genellikle düşük aşınma gösterirken; Kuvaterner yaşlı birikintiler ve zayıf çimentolu kayalar, sarp yamaçlarla buluştukları alanlarda yüksek aşınabilirlik sergilemektedir. %35 ve üzeri eğim derecesine sahip alanlar (havzanın %46,22'si), suyun yüzeyde daha hızlı bir akışa geçmesine ve özellikle gevşek dokulu toprakların korunmasız kalmasına yol açmaktadır.

Bitki örtüsü analizleri, havzanın yaklaşık yarısında sık ve sağlıklı bir örtü bulunduğunu; geriye kalan alanlarda ise koruma kapasitesinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Tarım ve mera arazilerinin yoğun olarak bulunduğu yerlerde, bitki örtüsünün seyrilmesiyle birlikte erozyonu engelleyen biyotik etmenler devre dışı kalmakta; bu durum, yüzey akışının toprağı daha kolay aşındırmasına zemin hazırlamaktadır. Arazi kullanım modelleri, ormanlık alanların doğal bir koruyucu işlev üstlendiğini, buna karşılık tarım dışı ve mera alanlarının erozyon açısından kritik eşikler oluşturduğunu göstermektedir.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre, şiddetli ve çok şiddetli toprak aşınabilirlik sınıfları havzanın %58,9'unu, düşük ve çok düşük koruma sınıfları ise %30,5'ini kaplamaktadır. Bu durum, erozyon riskini oluşturan etkenlerin geniş alanlara yayıldığını ve acil önlemler gerektirdiğini göstermektedir. Toprak koruma potansiyelinin düşük olduğu bu alanlarda hem doğal örtü kaybı hem de arazi kullanım baskısı öne çıkmakta, bu da havzanın sürdürülebilir arazi yönetimi açısından kritik zayıflıkları ortaya koymaktadır.

Modelin final entegrasyonu sonucunda elde edilen haritada yüksek ve çok yüksek risk sınıflarının havzanın %43,38'ini kapsadığı görülmektedir. Bu oran, Oltu Çayı Havzası'nda toprak kaybının oldukça yaygın ve şiddetli olduğunu göstermektedir. Bu durum saha ile ilgili geçmiş dönem çalışmalarından elde edilen verilerle de desteklenmektedir. Nitekim, Atalay'ın 1980 yılında havzanın yalnızca sınırlı bir kesimini kapsayan çalışmasında [45], yüksek erozyon riski (%40) taşıyan alanların önemli bir yer tuttuğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, aynı havza üzerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada, RUSLE modeli kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda yüksek, çok yüksek ve aşırı yüksek riskli sınıfların toplamı %36,71 olarak hesaplanmıştır [65]. Bu çalışmada ise ICONA modeli aracılığıyla yapılan analizde söz konusu oran %43,38 olarak belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle elde edilen bu iki sonucun birbirine yakın değerler üretmesi dikkat çekicidir. Özellikle ICONA ve RUSLE modelleri ile elde edilen sonuçların Atalay'ın [45] belirlediği orana oldukça yakın çıkması, her iki güncel modelin de havzadaki erozyon risk dağılımını genel anlamda tutarlı biçimde yansıttığını göstermektedir. Ayrıca, ICONA ve RUSLE modelleri ile oluşturulan erozyon risk haritalarının karşılaştırmalı incelenmesi sonucunda,

yüksek risk sınıflarının mekânsal dağılımında belirgin bir uyum gözlemlenmiştir. Bu durum, kullanılan modellerin farklı parametre yapılarına rağmen, bölgedeki erozyon dinamiklerini benzer eğilimlerle ortaya koyduğunu ve çalışmanın bilimsel güvenilirliğini pekiştirdiği düşünülmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi: Erozyon İzleme Taslak Nihai Raporu'na göre; Tortum Kuzey, Oltu ve Olur alt havzalarında yüzey ve kanal-oyuntu erozyonuna bağlı yılda ortalama toprak kaybı 41.348 ton, toplam erozyonun ise 1.910.884 ton olarak tespit edilmiştir [66]. Bu değerler, mekânsal modelleme sonuçlarından bağımsız olarak, inceleme alanında erozyonun ciddi boyutlara ulaştığını göstermesi açısından dikkat çekicidir.

Oltu Çayı Havzası'nda ICONA modeliyle belirlenen yüksek erozyon riskli alanlar, yalnızca toprak kaybına neden olmakla kalmayıp, bu alanlardan Tortum Çayı aracılığıyla taşınan materyalin, aşağı çığırda yer alan heyelan kökenli bir set gölü olan Tortum Gölü'nde [67–69] biriktirilmesi ciddi düzeyde sedimantasyon sürecini tetiklemektedir. Nitekim, Tortum Çayı'nın yıllık ortalama 3,7 milyon m³ süspanse sediman taşıdığı belirtilmektedir [70] ve bu birikim, gölde ciddi bir siltasyon baskısı oluşturmaktadır. 1947-2010 yılları arasında göl kıyı çizgisinde 941,9 metrelik bir ilerleme ve toplamda 718 m²'lik bir silt egemen delta alanı oluşturduğu tespit edilmiştir [7]. Bulgular, havzadaki erozyonun ciddi bir boyutta olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, ICONA modeliyle elde edilen erozyon risk haritası, Oltu Çayı Havzası'nın topoğrafik ve biyotik özelliklerini bütüncül bir çerçevede değerlendirmeye imkân tanıyarak, toprak kaybının coğrafi dağılımını yüksek doğrulukla göstermiştir. Modelin işaret ettiği yüksek riskli sahalarda, ağaçlandırma ve teraslama uygulamaları ile mera otlatma düzenlemelerinin sıklaştırılması, yüzey akış hızını azaltıp, biyolojik koruma kapasitesini güçlendirerek erozyon sürecini önemli ölçüde yavaşlatacaktır. Bu önlemlere ek olarak akarsu yataklarına inşa edilen akış düzenleyici ve tortu tutucu tersip bentleri (biriktirme barajları) ile yüksek eğimli yamaçlara uygulanan gabion (sepet, tel örgü, taş dolgu kafes) duvarlar, erozyonun kontrol altına alınmasında etkili ve tamamlayıcı çözümler sunmaktadır. Elde edilen bulgular, yalnızca mevcut arazi yönetim süreçlerini yönlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda uygulayıcılara yerinde ve etkili müdahaleler için somut bir yol haritası sunmaktadır. Bu çalışmanın ortaya koyduğu bulguların, hem bölgesel ölçekli erozyon analizlerine dair mevcut literatürü zenginleştirilmesi hem de sahada yürütülecek benzer araştırmalara yön verici bir nitelik taşıması beklenmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından SDK-2022-11684 numaralı proje kapsamında desteklenen, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırlamakta olduğu "Oltu Çayı Havzası'nın (Erzurum –

Artvin) Uygulamalı Jeomorfolojisi” başlıklı doktora tezinin bir bölümü esas alınarak hazırlanmıştır.

Araştırmacıların katkı oranı

Emrah Atar: Literatür taraması, Modelleme, Makale yazımı ve Düzenleme; **İbrahim Kopar:** Danışman, İnceleme ve Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

1. FAO & ITPS. (2015). *Status of the world's soil resources (SWSR) – Main report*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Erişim adresi: <https://www.fao.org>
2. FAO. (2025). *Global symposium on soil erosion*. Roma, İtalya: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Erişim adresi: <https://www.fao.org>
3. Balcı, N. (1976). Toprak erozyonu ve kirlenme sorunları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 26(2), 68-77. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iffiu/issue/18862/199126>
4. Ypsilantis, B. (2011). *upland soil erosion monitoring and assessment: an overview*. Washington, DC: Bureau of Land Management. Erişim adresi: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/259284#page/3/mode/1up>
5. Çepel, N., Bahtiyar, M., Işık, K., Altın, M., Geray, U., Neyişçi, T., & Sarı, M. (2003). *Erozyonla mücadele (TEMA eğitim semineri notları)*. İstanbul: Tema Vakfı Yayınları No:26. Erişim adresi: <https://www.tema.org.tr/>
6. Mutlu, Y. E., Soykan, A., & Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı Havzası'nda (Balıkesir) erozyon risk analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 6, 98-111. Doi: <https://doi.org/10.46453/jader.866903>
7. Kopar, İ., & Sevindi, C. (2013). Tortum Gölü'nün (Uzundere-Erzurum) güneybatısında aktüel sedimantasyon ve siltasyona bağlı alan-kıyı çizgisi değişimleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 60, 49-66. Doi: <https://doi.org/10.17211/tcd.90790>
8. 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. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunsobed/issue/50240/648074>
9. GSP. (2025). *Global soil partnership endorses guidelines on sustainable soil management*. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Erişim adresi: <https://www.fao.org>
10. DEMİS. (2025). *Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS)*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Erişim adresi: <https://cem.csb.gov.tr/>
11. OSİB. (2017). *Erozyonla Mücadele Eylem Planı 2013-2017*. Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/>
12. Berber, S. (2025). Tortum-Narman (Erzurum) bölgesinin kanıt ağırlığı yaklaşımı kullanılarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi. *Geomatik*, 10 (2), 144-156. Doi: <https://doi.org/10.29128/geomatik.1589807>
13. Coşkun, M., & Toprak, F. (2023) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. *Geomatik*, 8(3), 250-263. Doi: <https://doi.org/10.29128/geomatik.1192219>
14. Özşahin, E. (2013). Arnavutluk'ta taşkın risk analizi, *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi* 4 (12), 91-109. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijoess/issue/8530/105929>
15. Özşahin, E. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla heyelan duyarlılık analizi: Ganos Dağı örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7(1), 47-63. Doi: <https://doi.org/10.15659/hartek.15.04.68>
16. Ergül, T., & Aydın, O. (2025). Küçük Melen İğneler Havzası'ndaki taşkınların hidrolojik modelleme yöntemiyle (HEC-HMS) belirlenmesi. *Geomatik*, 10 (1), 1-14. Doi: <https://doi.org/10.29128/geomatik.1492923>
17. Eminoğlu, Y. & Tarhan, Ç. (2025). Decadal evolution of GIS in disaster management and risk assessment. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(2), 173-196. Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1544048>
18. Güngör, S., & Köylü, Ü. (2025). Akarsu taşkın riskinin mikro ölçekte incelenmesi. *Geomatik*, 10(2), 241-250. Doi: <https://doi.org/10.29128/geomatik.1585482>
19. Shit, P.K., Bhunia, G.S., & Maiti, R. (2016), Potential landslide susceptibility mapping using weighted overlay model (WOM). *Model. Earth Syst. Environ.* 2(21), 1-10. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40808016-0078-x>
20. Karakoca, E., & Ünver, A. (2025). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Eşen Çay Havzası'nda taşkın riski değerlendirmesi ve haritalandırılması. *Geomatik*, 10 (1), 127-143. Doi: <https://doi.org/10.29128/geomatik.1542251>
21. Bahadır, M., Ocak, F., & Şen, H. (2024). Determination of the development of settlements above earthquake susceptibility classes in Atakum district (Samsun/Türkiye). *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9 (3), 390-405. Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1465072>
22. Ocak, F., & Bahadır, M. (2020) Örnek taşkın risk modeli oluşturulması ve Ünye şehrindeki derelere ait taşkın risk analizleri. *Jass Studies-The Journal of Academic Social Science Studies*, 80, 21-37. Doi: <https://doi.org/10.29228/JASSS.43017>

23. Oğuz, E., Oğuz, K., & Öztürk K. (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220-234.
Doi: <https://doi.org/10.29128/geomatik.972343>
24. Boutallaka, M., Miloud, T., El Mazi, M., Hmamouchi, M., et al. (2025). Assessment of current and future land sensitivity to degradation under climate change in the upstream Ouergha watershed (Morocco) using GIS and AHP method. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(1), 46-58.
Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1521350>
25. Kadi, F., & Yılmaz, O. S. (2024). Determination of alternative forest road routes using produced landslide susceptibility maps: A case study of Tonya (Trabzon), Türkiye. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(2), 147-164.
Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1355615>
26. Çolak, E., Bediroğlu, G., & Memişoğlu Baykal, T. (2024). GIS-based determination of potential snow avalanche areas: A case study of Rize Province of Türkiye. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(2), 199-210.
Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1367334>
27. Sundara Pandian, R., U, S., K, P. B., R, L. N. (2023). Identification of groundwater potential for urban development using multi-criteria decision-making method of analytical hierarchy process. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(3), 318-328.
Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1190998>
28. Partigöç, N. S., & Dinçer, C. (2024). The Multi-Disaster risk assessment: A-GIS based approach for İzmir City. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(1), 61-76.
Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1295657>
29. Ekinci, D. (2005). CBS tabanlı uyarlanmış RUSLE yöntemi ile kozlu deresi havzası'nda erozyon analizi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13, 109-119. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucogrfya/issue/25062/264586>
30. Cürebal, İ., & Ekinci, D. (2006). Kızılkeçili Deresi Havzası'nda CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemiyle erozyon analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 47, 115-130. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/383154084>
31. Patil, M., Saha, A., Pingale, SM, Rathore, DS & diğerleri (2023). Identification of potential zones on the estimation of direct Runoff and soil erosion for an ungauged watershed based on remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(3), 224-238.
Doi: <https://doi.org/10.26833/ijeg.1115608>
32. Ege, İ. (2019). Kula (Kula/Manisa) Peribacaları'nın jeomorfolojik özellikleri ve oluşumlarında erozyon etkisinin RUSLE Yöntemi ile belirlenmesi. *International Journal of Social Science*, 74, 455-479.
Doi: <https://doi.org/10.9761/IASSS7961>
33. Jordán, A., & Zavala, L. M. (2000). Assessment of erosion risk in Humid Mediterranean Areas. *Workshop on Technologies for and Management of erosion and desertification control in the Mediterranean Region* (s. 1-13). Malta: Mediterranean Action Plan, Priority Action Programme. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/230683120>
34. 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), 105-116. Erişim adresi: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol27/is2/7/>
35. Kanar, E., & Dengiz, O. (2015). Madendere Havzasında potansiyel erozyon risk durumunun iki farklı parametrik model kullanarak belirlenmesi ve risk haritalarının oluşturulması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2, 123-134.
Doi: <https://doi.org/10.19159/tutad.45374>
36. Bayramin, İ., Erpul, G., & Erdoğan, H. E. (2006). Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazarı-Ankara, Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry*, 30, 81-100. Erişim adresi: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol30/is2/1/>
37. Çilek, A., Berberoğlu, S., Erdoğan, M. A., & Dönmez, C. (2014). PESERA ve RUSLE erozyon modellerinin Akdeniz ve Ege havzalarındaki sonuçlarının karşılaştırılması. *UZAL-CBS 2014. 14-17 Kasım 2014. İstanbul*. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/292894324>
38. Flanagan, D. C., & Gilley, J. E. (2007). Water Erosion Prediction Project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements. *ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 1603-1612.
Doi: <https://doi.org/10.13031/2013.23968>
39. Beasley, D. B., & Hugins, L. F. (1982). *ANSWERS: Areal Non-point Source Watershed Environmental Response Simulation: User's manual*. Chicago, IL: USEPA Rep. 905/9-82-001. USEPA. Erişim adresi: <https://nepis.epa.gov>
40. Ahmadi, S. H., Amin, S., Keshavarzi, A. R., & Mirzamostafa, N. (2006). Simulating watershed outlet sediment concentration using the answers model by applying two sediment transport capacity equations. *Biosystems Engineering* 94(4), 615-626.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.04.015>
41. Knisel, W. G. (1980). *CREAMS: a field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*. Washington: Conservation Research Report No. 26, USDA-Science and Education Administration. Erişim adresi: <https://archive.org/details/creamsfieldscale26unit>
42. Yılmaz, H. M., Yakar, M., Mutluoglu, O., Kavurmaci, M. M., & Yurt, K. (2012). Monitoring of soil erosion

- in Cappadocia region (Selime-Aksaray-Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66(1), 75-81.
43. Hakyemez, H. Y. (2009). *1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Tortum G47 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi.
44. Sümengen, M. (2009a). *1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Kars H48 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi.
45. Sümengen, M. (2009b). *1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Kars H49 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi.
46. Sümengen, M. (2011). *1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Tortum H46 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi.
47. Karabalık, N. N. (2013). *1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Kars G49 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi.
48. Yıldız, N. E., & Kahveci, B. (2024). ICONA Modeli kullanılarak toprak erozyonu riskinin tahmin edilmesi: Ankara İli örneği. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 9(4), 822-831.
Doi: <https://doi.org/10.35229/jaes.1591959>
49. Çetin, M., Baz, İ., Kavzoğlu, T., & Geymen, A. (2003). çok zamanlı uydu görüntüleri ile açık maden ocaklarındaki yeryüzü değişiminin incelenmesi. 9. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, (s. 231-241). Ankara. Erişim adresi: <https://www.haritabtk.org/>
50. Özdemir Durak, M. (2022). *Artvin merkez ilçe ve yakın çevresinde peyzaj karakter değerlendirmesi ile peyzaj planlama rehberlerinin geliştirilmesi* (Yayımlanmamış Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi/Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp>
51. Morgan, R. P. (2005). *Soil erosion and conservation, 3rd edition*. Oxford: Blackwell Publishing, ISBN 1-4051-1781-8. Erişim adresi: <https://www.academia.edu/29203389/>
52. Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
53. Gezici, K., Şengül, S., & Kesgin, E. (2025). Assessment of soil erosion risk in the mountainous region of northeastern Türkiye based on the RUSLE model and CMIP6 climate projections. *Environmental Earth Sciences*, 84(167), 1-21. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12184-6>
54. Tüfekçioğlu, M., Yavuz, M., Duman, A., Dinç, M., Vatandaşlar, C., Açıkgöz, C., ... Ergen, S. (2018), *Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi: Erozyon İzleme Taslak Nihai Raporu (1 Ekim 2012 – 31 Aralık 2018) Kanal ve Oyuntu Erozyonu Ölçümü, Islah Tesislerinin Değerlendirilmesi*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü.
55. Lahn, E. (1944). Tortum Gölü ve Şelalesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 3-4, 137-142. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21248/227972>
56. Atalay, İ. (1979-1980). Geomorphology of the Lake Tortum and its immediate surroundings (NE Turkey). *Review of the Geographical Institute of the University of İstanbul, International Edition*, 17, 49-65. Erişim adresi: <https://edebiyat.karabuk.edu.tr/icerikGoster.aspx?K=S&id=4881&BA=cografya-en>
57. Atalay, İ. (1988). The Geography of Tortum District (North-Eastern Anatolia). *Ege Coğrafya Dergisi*, 4(1), 19-40. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ecd/issue/4890/67084>
58. Güresinli, Y. Z. (1978). Tortum Gölü Su Toplama Havzasında sedimantasyon ve kontrolü üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2-3), 1-14. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunizfd/issue/2983/41320>

- URL 1: <https://search.asf.alaska.edu/#/>, Erişim Tarihi: 12. 03. 2024.
- URL 2: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>, Erişim Tarihi: 03. 06. 2024.
- URL 3: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Erişim Tarihi: 17. 03. 2024.

