

Ağaçlandırma Senaryolarının Erozyon Riski Üzerindeki Etkisinin ICONA Modeli ile Mekânsal Değerlendirilmesi: Terme Çayı Havzası Örneği

Spatial Assessment of the Effects of Afforestation Scenarios on Erosion Risk Using the ICONA Model: A Case Study from the Terme Stream Watershed

Osman Can YÜCESOY^{*1}, Semih EDİŞ²

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankırı

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Havza Yönetimi Anabilim Dalı, Çankırı

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1752340

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Osman Can YÜCESOY

e-mail: osmancanyucesoy@gmail.com

Geliş tarihi / Received

28.07.2025

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

09.09.2025

Kabul tarihi / Accepted

11.09.2025

Elektronik erişim / Online available

15.10.2025

Anahtar kelimeler:

Toprak koruma

Erozyon

Yarı-kurak

CBS

Çankırı

Keywords:

Soil conservation

Erosion

Semi-arid

GIS

Çankırı

Özet

Bu çalışmada, Çankırı ili sınırlarında yer alan Terme Çayı Havzası'nda erozyon riskinin mekânsal dağılımı ICONA modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerde havzanın mevcut arazi örtüsü, eğim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü kapallılığı parametreleri kullanılmış ve dört farklı ağaçlandırma senaryosu (%10, %20, %30 ve %50 artış) oluşturularak erozyon riskindeki olası değişimler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, mevcut durumda havzanın %67.8'inin yüksek ve çok yüksek erozyon riski altında olduğunu ortaya koymuştur. Senaryo analizleri, ağaçlandırma oranı arttıkça erozyon riskinde belirgin azalmalar olduğunu göstermiş; özellikle %30 oranındaki hedefli ağaçlandırma uygulamasının maliyet-yarar dengesi açısından en verimli seçenek olduğu belirlenmiştir. Çalışma, ICONA modelinin Türkiye koşullarında uygulanabilirliğini ortaya koymakta ve havza bazlı sürdürülebilir arazi yönetimi ile erozyon kontrol stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel katkı sunmaktadır.

Abstract

This study evaluates the spatial distribution of erosion risk in the Terme Stream Catchment, located in Çankırı Province, using the ICONA model. The analysis incorporates parameters such as existing land cover, slope, geological structure, and vegetation canopy density. Four afforestation scenarios (10%, 20%, 30%, and 50% increase) were developed to examine potential changes in erosion risk. Results indicate that 67.8% of the catchment is currently under high and very high erosion risk. Scenario analyses revealed significant reductions in erosion risk with increasing afforestation rates, with the 30% targeted afforestation scenario providing the most cost-effective solution. The study demonstrates the applicability of the ICONA model under Turkish conditions and contributes scientifically to the development of sustainable land management and erosion control strategies at the watershed scale.

GİRİŞ

Toprak bozulması, toprak fonksiyonlarının azalması veya kaybı olarak tanımlanmakta ve günümüzde kara ekosistemleri için giderek daha ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Oldeman 1997, Jie ve ark. 2002). Bu bozulmaların başlıca nedenlerinden biri ise toprak erozyonudur (Issaka ve Ashraf 2017). Borrelli ve ark. (2017) tarafından yapılan küresel ölçekteki bir çalışmada, 2001–2012 yılları arasında arazi kullanımındaki değişikliklerin potansiyel toprak kayıplarını %2.5 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Türkiye özelinde, her yıl yaklaşık 642 milyon ton toprak erozyon yoluyla kaybedilmekte ve bu da hektar başına yıllık 8.24 tonluk bir kayba karşılık

gelmektedir (Erpul ve ark. 2020). Bu oran, dünya ortalamasının altında olmasına rağmen, Avrupa Birliği ortalamasının (2.46 t ha⁻¹ y⁻¹) oldukça üzerindedir (Panagos ve ark. 2015). Ayrıca, Türkiye topraklarının %86'sı farklı şiddetlerde erozyona maruz kalmakta ve %20.6'sı orta ile çok yüksek risk grubunda yer almaktadır (Erpul ve ark. 2020). Türkiye'nin topoğrafyası, iklim özellikleri ve yanlış arazi kullanımı gibi faktörler erozyon sorununu daha da derinleştirmektedir (Kılıç 2022). Özellikle havza ölçeğinde toprak kaybı, tarımsal üretimi tehdit etmekte, su kalitesini düşürmekte ve hidrolojik dengeyi bozmaktadır. Bu bağlamda, Terme Çayı Havzası gibi yoğun kullanım altında olan bölgelerde arazi

örtüsündeki bozulma ve ormansızlaşma erozyon riskini artırmaktadır. Bu gibi alanlarda uygulanacak ağaçlandırma faaliyetleri, yüzey akışını azaltarak toprak stabilizasyonu sağlamak ve su rejimini iyileştirmektedir (İmal ve ark. 2007, Ediş ve ark. 2023). Toprak erozyonunun çevresel, ekonomik ve altyapısal etkileri göz önüne alındığında, etkili koruma stratejilerinin oluşturulmasında en temel adım, riskli alanların doğru ve ayrıntılı biçimde belirlenmesidir. Bu doğrultuda, dünyada ve Türkiye’de farklı modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE), Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) ve GeoWEPP gibi fiziksel ve ampirik modeller özellikle arazi bazlı analizlerde tercih edilmekte; örneğin Manavgat Havzası’nda yangın sonrası yapılan analizlerde RUSLE ile potansiyel erozyon artışı değerlendirilmiştir (Demir ve Dursun 2024). Burdur Gölü Havzası’nda ise hem morfometrik analizler hem de GeoWEPP ile entegre edilmiş fiziksel uygulamalar kullanılmıştır (Dursun 2025). Bununla birlikte, son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (RS) teknolojilerinin yaygınlaşması ile ICONA modeli gibi yarı-niteliksel ve mekânsal analiz gücü yüksek modeller ön plana çıkmaktadır. ICONA modeli, İspanya Doğa Koruma Enstitüsü tarafından geliştirilmiş olup; jeoloji, eğim, arazi kullanımı ve arazi örtüsü kapallığı gibi dört temel faktöre dayanan çok kriterli karar matrisine sahiptir (MAPA/ICONA 1983, Bayramin ve ark. 2003). Bu yapı, modeli hem veri kısıtlılığı olan bölgelerde hem de karmaşık çevresel dinamiklere sahip peyzajlarda uygulanabilir kılmaktadır (Esmaili Gholzom ve ark. 2021). Özellikle orman ekosistemlerinin erozyon önleme işlevinin ekonomik analizi, bu tür modellerin politika yapıcılar nezdinde maliyet-fayda dengesini ortaya koyması açısından önemlidir (Demirci ve Yıldırım 2024). Benzer şekilde, havza ölçeğinde sediment dinamiği ve hidrolojik parametrelerin modellenmesi (Yıldırım ve Özalp 2024), erozyon risk haritalarının doğruluğunu artırmak için ICONA gibi yarı-niteliksel modellerle entegre edilebilecek fiziksel temelli yaklaşımlara işaret etmektedir. CBS ve UA entegrasyonu, modelin arazi örtüsündeki değişimlere daha hızlı uyum sağlamasını ve erozyon risklerini daha güncel ve mekânsal olarak hassas şekilde değerlendirmesini sağlamaktadır (Esmaili Gholzom ve ark. 2021, Dursun 2025). Aynı zamanda ICONA, yerel koşullara uyarlanabilirliği sayesinde farklı

bitki örtüsü yapıları ve arazi kullanım tiplerine uygun senaryo analizleri yapılmasına olanak tanır. Örneğin, Şili’de Alfisol topraklarında ICONA formüllerinin, Arnoldus yaklaşımlarına göre daha doğru tahminler sunduğu belirtilmiştir (Olivares ve ark. 2011). Türkiye’de ICONA modeline dayalı erozyon çalışmaları sınırlı olmakla birlikte Beypazarı (Bayramin ve ark. 2003), Malatya (Bilgiç ve Er 2025), İnebolu (Dengiz ve ark. 2014), Kahramanmaraş (Reis ve ark. 2017), Burdur (Dursun 2025) gibi bölgelerde başarılı uygulamalar mevcuttur. Ayrıca, Türkiye bağlamında ICONA modelinin toprak koruma, ekolojik risk değerlendirme ve peyzaj planlama uygulamalarına entegre edilme potansiyeli yüksektir (Terzi ve ark. 2020, Uzun ve Gültekin 2011).

ICONA modeli, düşük veri gereksinimi ve CBS/UA entegrasyonu sayesinde Türkiye’de son yıllarda farklı coğrafyalarda yaygın olarak uygulanmıştır. Örneğin, yangın sonrası senaryolar (Dutal 2022), kırsal havzalarda erozyon riski (Everest ve ark. 2025, Bilgiç ve Er 2025), kentsel alanlardaki risk dağılımları (Yıldız ve Kahveci 2024), kapalı havzalar (Özvan ve ark. 2022) ve İç Anadolu’daki alt havzalar (Karakoca 2025) ICONA’nın farklı ölçek ve koşullarda güvenle kullanılabildiğini göstermektedir. Ayrıca, Salda Gölü Havzası’nda yapılan araştırma (Dursun 2025), ICONA’nın PCA ve WSA gibi çok kriterli karar verme yöntemleri ile entegre edilerek havza önceliklendirmede kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Uluslararası ölçekte de ICONA, İran’daki doğal ve plantasyon ormanlarının karşılaştırılmasında (Esmaili Gholzom ve ark. 2022) ve Kasilian havzası gibi dağlık alanlarda (Esmaili Gholzom ve ark. 2021) başarıyla uygulanmıştır. Bununla birlikte, ekosistem hizmetleri bağlamında İstanbul’daki ulaşım projeleri nedeniyle artan erozyon riskleri (Satır ve ark. 2023) ICONA temelli risk değerlendirmelerinin arazi kullanım planlamasında kritik rol oynayabileceğini göstermektedir.

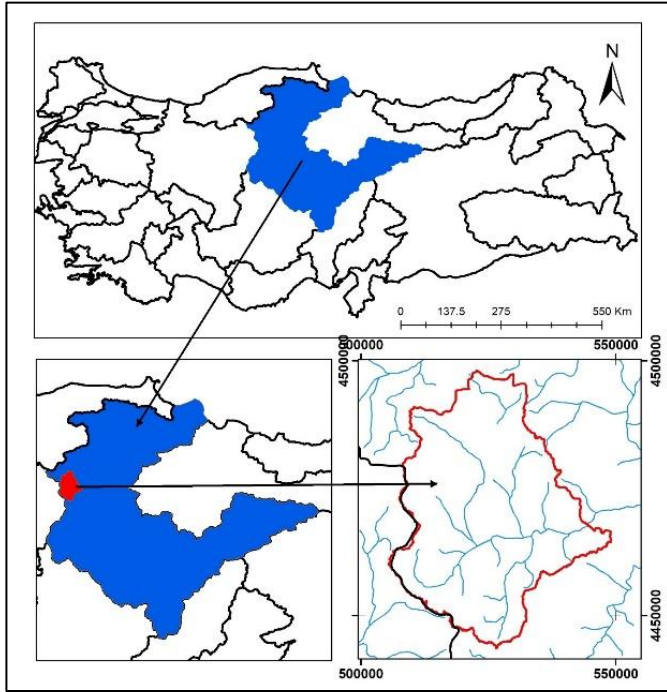
Bu çalışmada, Çankırı ili sınırlarında yer alan Terme Çayı Havzası’nda ICONA modeli kullanılarak erozyon duyarlılığı değerlendirilmiş; farklı ağaçlandırma senaryoları (mevcut arazi örtüsü, %10–50 arasında dört farklı senaryoya ait bitki örtüsü artışı, yukarı havza odaklı planlama) ile bu duyarlılığın mekânsal değişimi analiz edilmiştir. Amaç, erozyon riski yüksek alanların belirlenmesi ve bilimsel

temellere dayalı müdahale stratejilerinin geliştirilmesidir. Böylece hem ICONA modelinin Türkiye'ye özgü doğal ve kültürel peyzajlara uyarlanabilirliği test edilmiş, hem de havza bazlı ağaçlandırma politikalarına katkı sunulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışma alanı olarak, İç Anadolu Bölgesi'nde Kızılırmak Havzası'nın alt havzalarından biri olan ve Çankırı ili sınırlarında yer alan 129.370 hektarlık Terme Çayı Havzası seçilmiştir (Şekil 1). Söz konusu alt havza, Kızılırmak Havzası'nın batısında bulunmakta olup Çankırı ve Ankara illerinin sınırları içerisinde yer almaktadır. Havzanın çıkış noktasında ise tarımsal sulama amacıyla inşa edilmiş Koyunbaba Barajı bulunmaktadır.



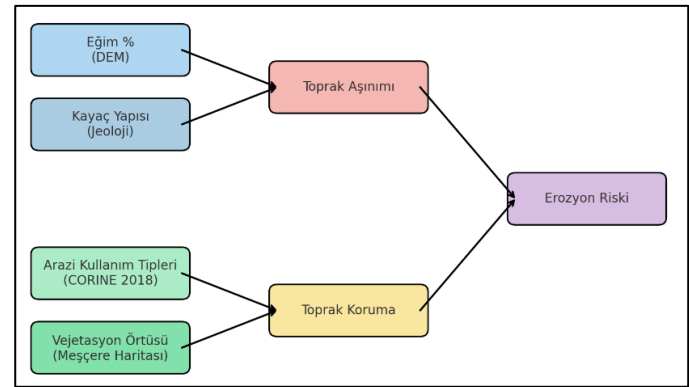
Şekil 1. Çalışma alanının konumu

Jeolojik yapısı, arazi kullanımı ve karasal-yarı kurak iklim koşulları nedeniyle yüksek erozyon duyarlılığına sahip olan havza, özellikle eğimli arazilerde yüzeyel akışla taşınan sediment miktarının artmasına neden olmaktadır (Fenta ve ark. 2016). Bu özellikleriyle araştırma havzası, erozyon riskinin modellenmesi, bitki örtüsü senaryolarının karşılaştırılması ve ağaçlandırma planlamalarının etkilerinin incelenmesi için uygun bir örnek alan niteliğindedir.

Yöntem

ICONA Modelinin oluşturulması

ICONA modeli analiz süreci yedi aşamadan oluşmuştur (Şekil 2). İlk olarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak eğim analizi yapılmış ve sonuçlar ICONA sınıflamasına göre %0–3, %3–12, %12–20, %20–35 ve >%35 olmak üzere beş gruba ayrılmıştır. İkinci aşamada, jeolojik formasyonlar toprak aşınım potansiyellerine göre sınıflandırılmıştır (Bayramin ve ark. 2003, Tombuş ve ark. 2012).



Şekil 2. ICONA modeli akış diyagramı ve çalışmanın aşamaları

Üçüncü aşamada, eğim ve jeoloji katmanları ICONA karar matrisi kullanılarak üst üste bindirilmiş ve toprak aşınım potansiyeli haritası oluşturulmuştur. Dördüncü aşamada, meşçere haritaları ve CORINE arazi örtüsü verileri kullanılarak arazi kullanım tipleri belirlenmiş ve altı sınıfa ayrılmıştır. Beşinci aşamada, bitki örtüsü kapallılığı meşçere haritalarından elde edilen kapallılık oranları ile belirlenmiş ve dört sınıfa dönüştürülmüştür (Carlson ve Ripley 1997). Altıncı aşamada, eğim, jeoloji, arazi kullanımı ve bitki örtüsü kapallılığı katmanları ICONA'ya özgü ağırlıklandırma kriterleriyle puanlanıp eşit ağırlıklı olarak birleştirilmiştir. Son aşamada, tüm verilerden beş sınıflı erozyon risk haritası üretilmiş ve CBS ortamında mevcut durum ile senaryo bazlı karşılaştırmalar yapılmıştır.

Ağaçlandırma Senaryolarının Oluşturulması

Mevcut erozyon risk haritası temel alınarak, toprak koruma stratejilerini değerlendirmek amacıyla dört grup ağaçlandırma senaryosu geliştirilmiştir. İlk olarak, %10, %20, %30 ve %50 bitki örtüsü artışı temsil eden

senaryolar oluşturulmuş (Harliando ve ark. 2023, Al Balasmeh ve ark. 2023) ve raster veriler üzerinden mekânsal olarak modellenmiştir. İkinci olarak, Prasetyo ve ark. (2021) yaklaşımıyla yalnızca yukarı havzaya yönelik ağaçlandırma senaryosu tasarlanmıştır; bu bölgeler eğim durumu ve derenin akış yönü dikkate alınarak yukarı havzadan aşağı havzaya doğru belirlenmiştir. Üçüncü olarak, Chowdary ve ark. (2013) yaklaşımına benzer şekilde, eğimi %20'den fazla ve bitki örtüsü kapallığı %30'un altında olan alanlar öncelikli ağaçlandırma bölgeleri olarak tanımlanmıştır. Tüm senaryolar ICONA modeline entegre edilerek yeniden analiz edilmiş ve her müdahalenin erozyon risk sınıflarındaki değişime etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

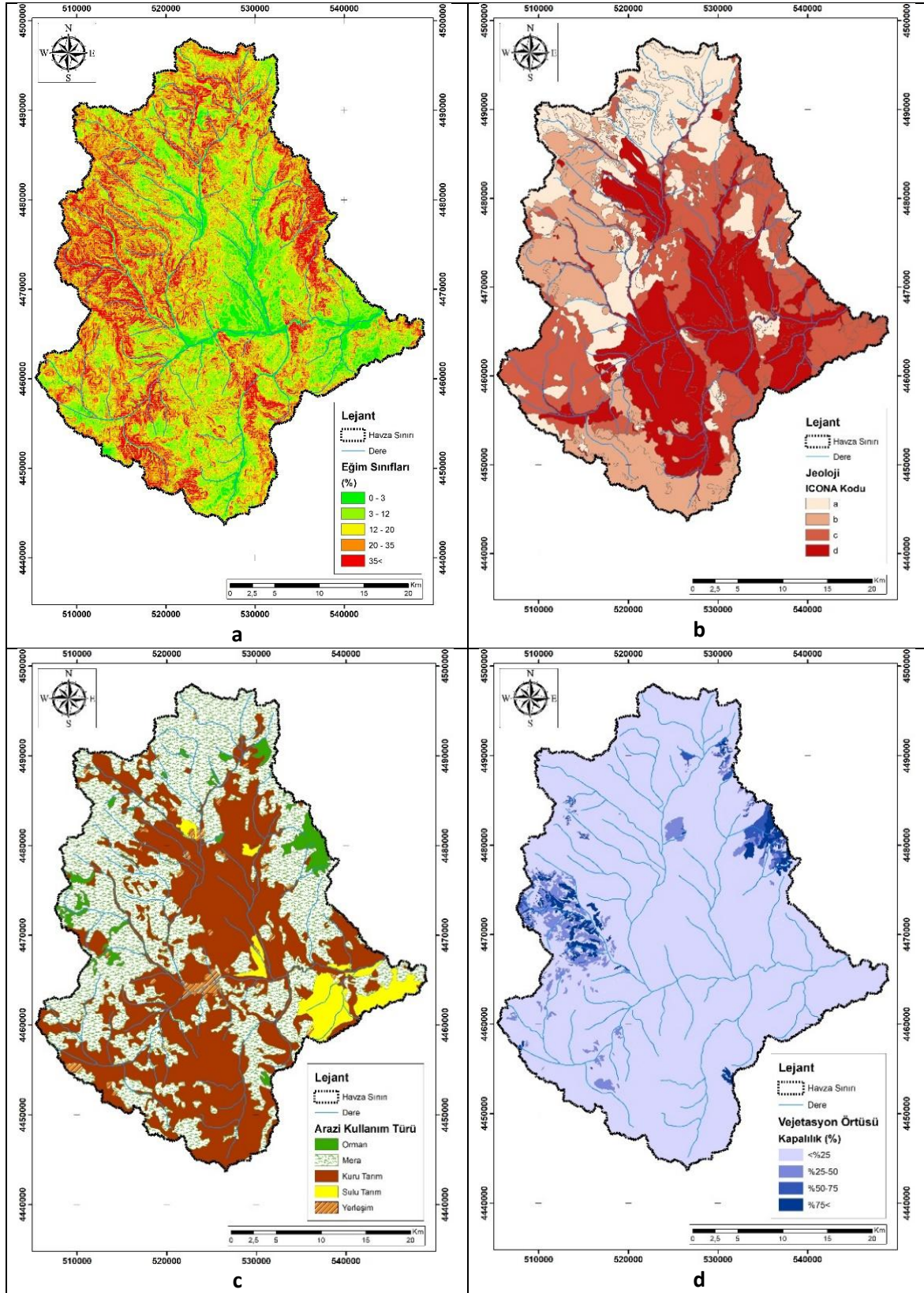
BULGULAR VE TARTIŞMA

ICONA modeli kapsamında çalışma alanına ait erozyon duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Bu bağlamda, SYM kullanılarak MAPA/ICONA (1983) eğim sınıflarına göre eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 3a). Havzanın eğim sınıflarının dağılımı incelendiğinde, yüksek eğimli kısımlar yukarı havzayı oluştururken aşağı havza ve anadere çevresi düz ve düze yakın alanları oluşturmaktadır. Terme Çayı Havzasında, Triyas'tan Kuvaterner'e kadar çeşitli litolojik özelliklere sahip anakaya birimleri bulunmaktadır (Şengüler 2007). Litolojik olarak çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, aglomera, tüf, andezit, bazalt ve metaolistostrom tipleri görülmektedir. Jeolojik yapı temel alınarak, model algoritmasında beş formasyondan dördü gruplandırılmış; "a" sınıfı Masif kayalar, "d" sınıfı ise Gevşek yapılı az dayanıklı kayalar ve yumuşak formasyonlar olarak tanımlanmıştır (Şekil 3b). Havzaya ait

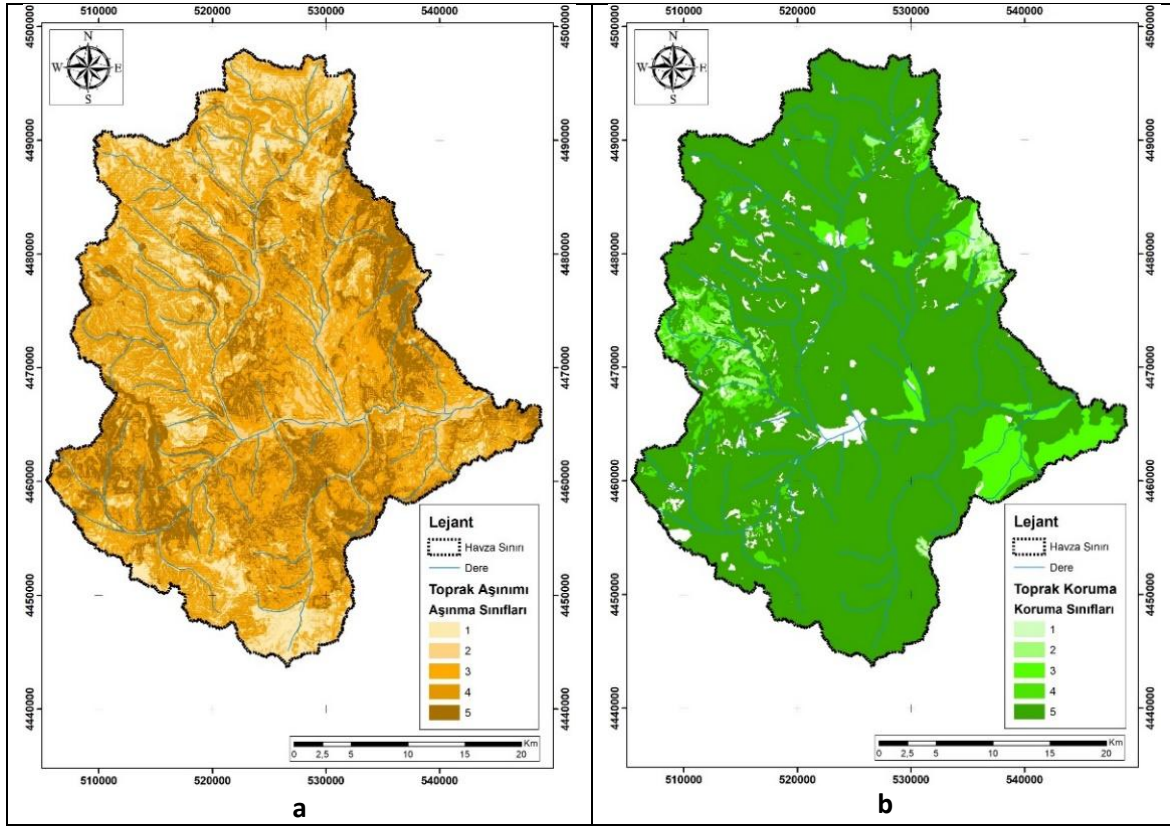
sayısal meşcere haritası ve CORINE 2018 veri katmanı kullanılarak (Dilek ve ark. 2008), ICONA modeline göre beş farklı arazi kullanım türü tanımlanmış ve detaylı bir şekilde haritalandırılmıştır (Şekil 3c). Çalışma alanında arazi kullanımı ağırlıklı olarak orman, mera ve kuru tarım alanlarından oluşmaktadır. Çalışma alanında büyük oranda I. düzey kapallık (%25–50) hâkim olup, ormanlık kesimlerde II, III ve IV düzey kapallık alanları bulunmaktadır. Bu kapallık düzeyleri, toprak koruma kapasitesini ve erozyon hassasiyetini doğrudan etkilemektedir (Şekil 3d). Nitekim Ediş ve ark. (2023) bitki örtüsü restorasyonu ile mühendislik uygulamalarının entegre edilmesinin potansiyel toprak kaybını azalttığını belirtmişlerdir.

Arazinin eğimi ve kayaç yapılarının katmanlarının çarpımı ile elde edilen toprak aşınım sınıflarına göre havza incelendiğinde havzanın yukarı bölümlerinde gevşek yapılı kayaçlar ve yumuşak formasyonlar üzerinde aşınmanın daha şiddetli olduğu görülmektedir. Havzadaki beş farklı toprak aşınım sınıfının her biri, alansal olarak benzer büyüklükte bir dağılıma sahiptir.

Aşınım riski taşıyan bölgeler genellikle bitki örtüsünden yoksun, orta ve yüksek eğime sahip alanlar olarak öne çıkmaktadır (Şekil 4a). Havzada bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanım tipine göre oluşturulan toprak koruma tabakası incelendiğinde, bitki örtüsünün yetersiz olması ve mevcut orman yapısının bozuk olduğu görülmektedir. Bu nedenle yetersiz kapallık, toprak koruma fonksiyonunun da zayıf kalmasına yol açmaktadır (Şekil 4b).



Şekil 3. Terme Çayı Havzası eğim (%) grupları haritası (a), jeolojik ICONA aşınım kodları (b), arazi kullanım türü (c), vejetasyon örtüsü (d)



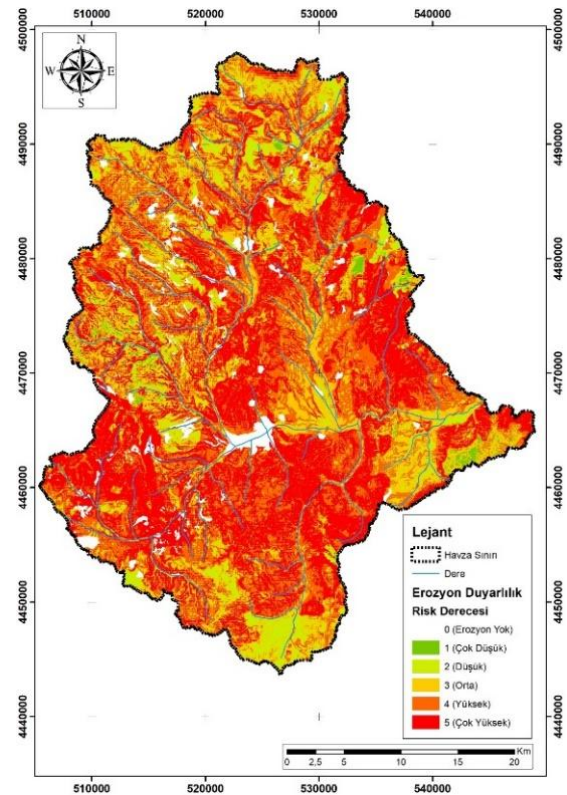
Şekil 4. Terme Çayı Havzası toprak aşınım sınıfları (a), toprak koruma sınıfları (b)

ICONA Modeli sonuçlarına göre Terme Çayı Havzası'nın yalnızca %3.1'i erozyon riski taşımamaktadır. Yüksek (%32.2) ve çok yüksek (%35.6) risk gruplarının toplamda %67.8'lik alanı kaplaması, bölgenin büyük bölümünde toprak kaybı tehdidinin kritik düzeyde olduğunu göstermektedir. Orta risk %17.2, düşük risk ise %11.0 oranında olup, "çok düşük" riskli alanlar (%0.9) son derece sınırlıdır (Çizelge 1).

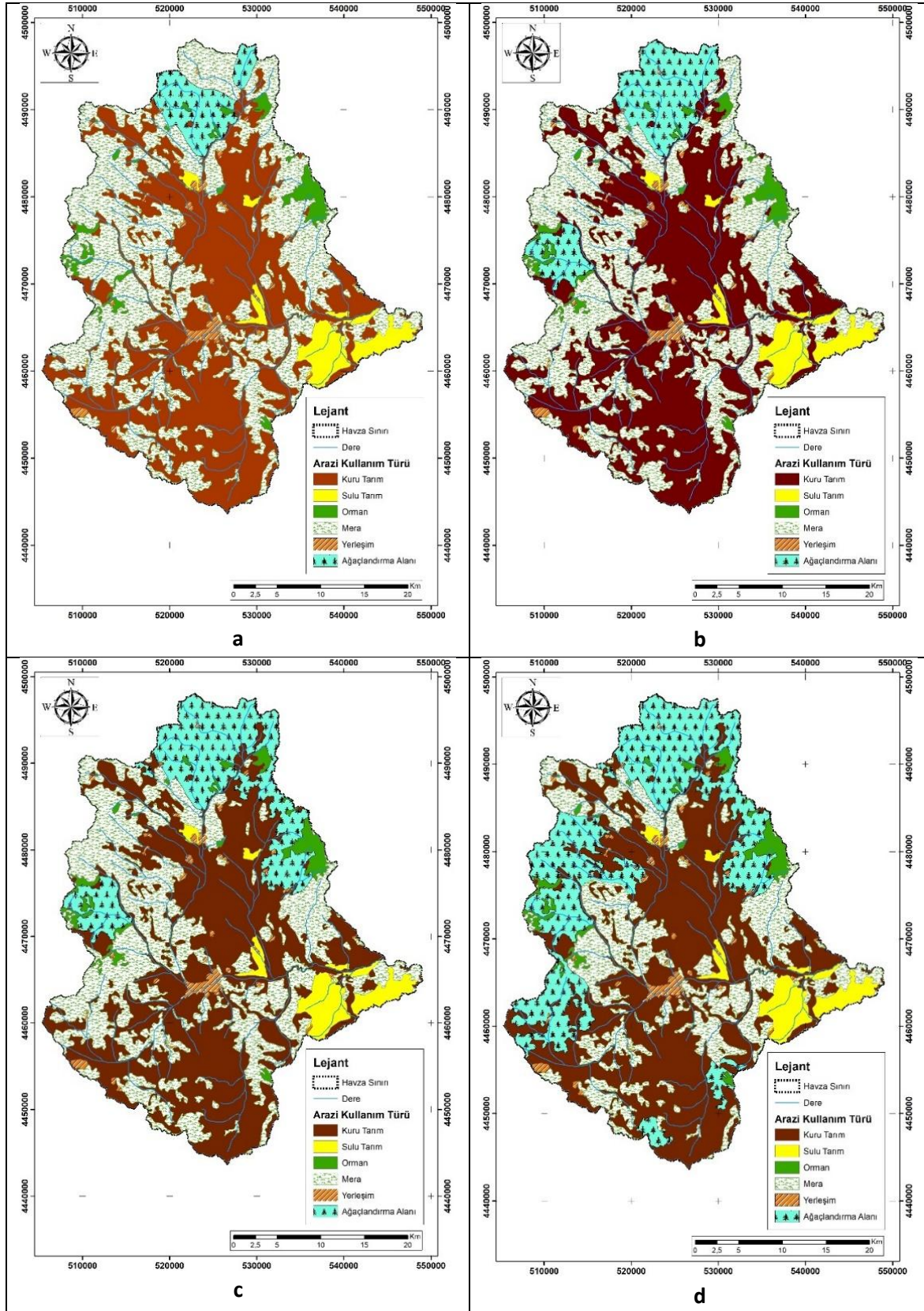
Çizelge 1. Araştırma havzasının mevcut erozyon risk durumunun alansal dağılımı

Erozyon Risk Durumu	Alan (ha)	Alan (%)
Erozyon Yok	3981.9	3.1
Çok Düşük	1167.2	0.9
Düşük	14247.8	11.0
Orta	22282.7	17.2
Yüksek	41697.9	32.2
Çok Yüksek	45992.5	35.6

Bu durum, özellikle yüksek riskli bölgelerde acil erozyon kontrolü, ağaçlandırma ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının öncelikli gerekliliğine işaret etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Terme Çayı Havzasının ICONA modeline göre erozyon risklerinin haritası



Şekil 6. Ağaçlandırma çalışmaları için oluşturulan senaryolar (a:%10, b:%20, c:%30, d:%50)

Modelde, erozyon riskini azaltmak amacıyla orman toprağı sınıfında yer alan ve ağaçlandırmaya uygun alanlar, eğim ve bitki örtüsü açıklıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Yukarı havzadan başlayarak %10, %20, %30 ve %50 ağaçlandırma oranlarını içeren senaryolar oluşturulmuş ve müdahale, su kaynakları ve erozyona en duyarlı memba bölgelerine odaklanmıştır. Her senaryoda, ağaçlandırma sonrası erozyon riski yeniden değerlendirilerek ağaçlandırmanın etkinliği analiz edilmiştir.

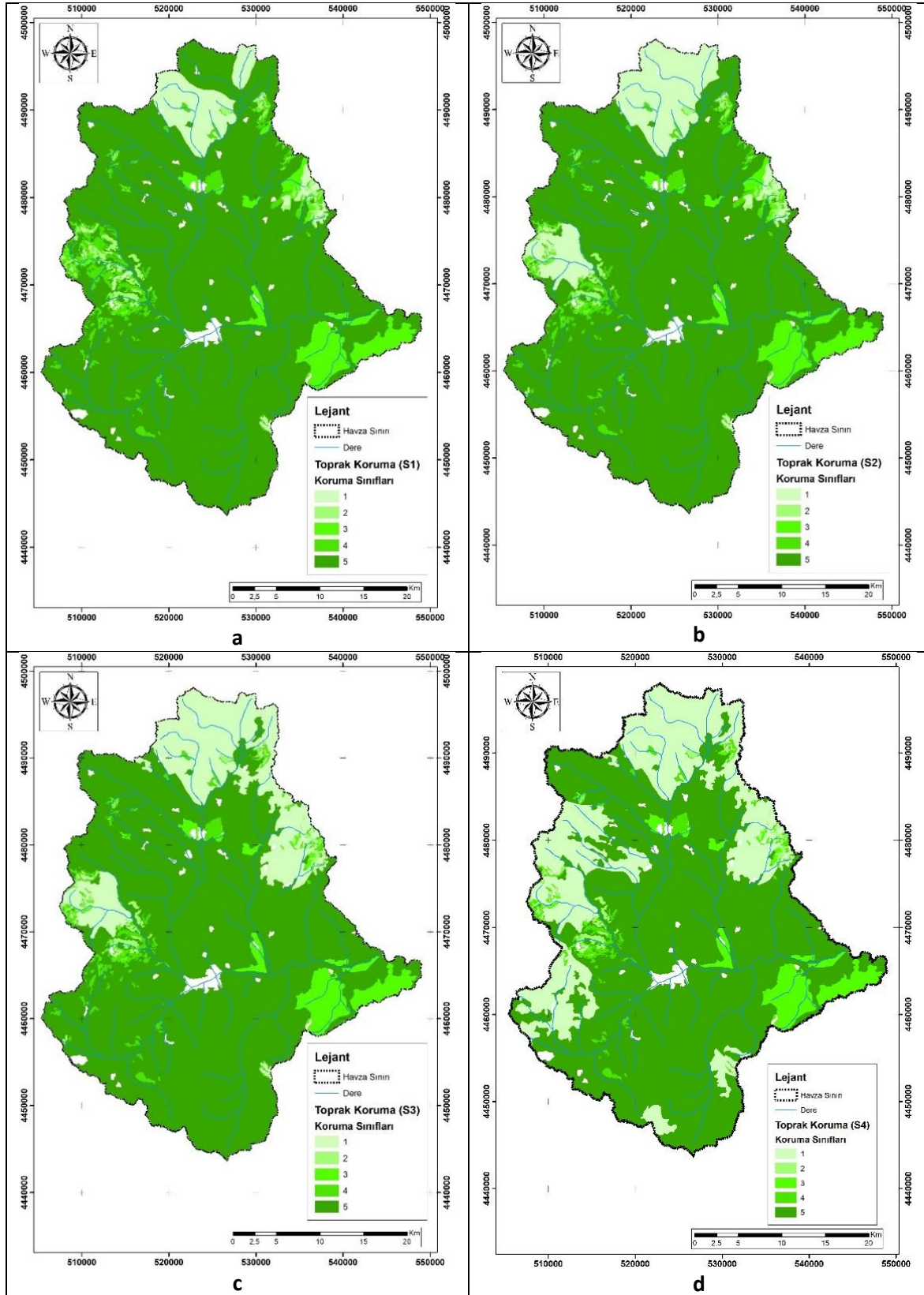
Terme Çayı Havzası'nda geliştirilen ağaçlandırma senaryoları, toprak erozyonunun azaltılmasını hedeflemiştir. %10 ağaçlandırma senaryosunda müdahale, su havzalarının korunması açısından kritik öneme sahip üst havza bölgelerine yönlendirilmiştir. Ağaçlandırma oranının %20, %30 ve %50'ye çıkarıldığı senaryolarda ise uygulama alanı genişletilmiş, yüksek erozyon riskine sahip bölgeler önceliklendirilmiştir. Ağaçlandırma oranlardaki artışa paralel olarak erozyon riskinde kademeli azalma öngörülmektedir. Benzer şekilde, Zhao ve ark. (2020), bitki örtüsü restorasyonunun erozyona uğramış alan oranını %41.8'den %26.7'ye düşürdüğünü ve artan kapalılığın toprak koruma işlevini güçlendirdiğini ortaya koymuştur. Senaryo sonuçları, özellikle yüksek erozyon riski taşıyan yukarı havzalarda riskin azaldığını ve toprak koruma işlevinin güçlendiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, bölgenin doğal dengesinin korunması ve sürdürülebilir arazi yönetimi hedeflerine ulaşılması açısından önemli katkılar sağlamaktadır (Şekil 6).

Ağaçlandırma uygulamalarının etkisiyle, bu bölgelerde bitki örtüsü yoğunluğunun artması, toprak erozyonunu önleyici mekanizmaların güçlenmesine katkıda bulunmuştur. Böylece, yukarı havzalardaki toprak koruma fonksiyonunun etkinliğinde önemli bir iyileşme sağlanmıştır (Şekil 7a, b, c, d).

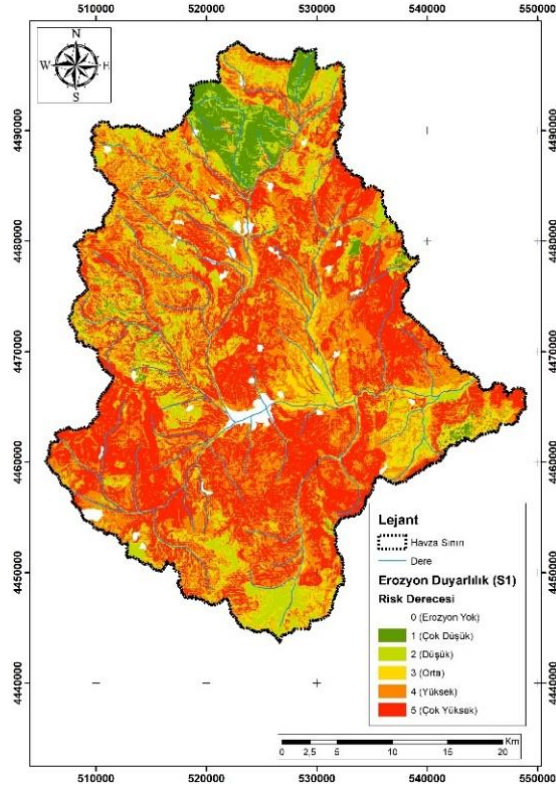
ICONA modeli analizleri, potansiyel sahaların %10'unun ağaçlandırılması senaryosunda "Erozyon Yok" ve "Çok Düşük" kategorilerinin toplam oranının yalnızca %7.2 olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 2). Buna karşılık, "Çok Yüksek" risk kategorisinin %82.2 gibi baskın bir oranda devam etmesi, mevcut ağaçlandırma düzeyinin toprak koruma kapasitesini artırmada ve erozyon riskini azaltmada yetersiz kaldığını göstermektedir (Şekil 8).

Ricci ve ark. (2020), İtalya'daki Carapelle Havzası'nda farklı koruma stratejilerini modelleyerek, yeniden ormanlaştırmının erozyon riskini azalttığını, ancak düşük yoğunluklu uygulamaların sınırlı fayda sağladığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Ishaq ve ark. (2025) Portekiz'in yarı kurak bölgelerinde, özellikle Leptosol gibi hassas topraklarda, %10'luk ağaçlandırma uygulamasının kayda değer bir iyileşme sağlamadığını ortaya koymuştur. Terme Çayı Havzası'nda Senaryo 1 kapsamında elde edilen düşük etkinlik bu bulgularla paralellik göstermektedir. Chirino ve ark. (2006), uzun vadeli ormanlaştırmının yüzey akışı ve toprak kaybını önemli ölçüde azaltabileceğini; ancak kısa vadeli ve düşük kapsamlı uygulamaların sınırlı etkiler sunduğunu vurgulamıştır. Liu ve ark. (2020) ise bitki örtüsü oranı %60'ın üzerine çıktığında erozyonun anlamlı ölçüde azaldığını, düşük yoğunluklu örtünün ise yetersiz koruma sağladığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, ICONA modelinin çıktılarıyla uyumlu olarak, yalnızca sınırlı alanlarda yapılan ağaçlandırmanın erozyon riskini azaltmada yetersiz olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, erozyon kontrolü için ağaçlandırma faaliyetlerinin daha geniş alanları kapsayacak şekilde planlanması ve toprak işlememe, kontur tarımı, örtü bitkileri ve teraslama gibi bütünsel arazi yönetimi yöntemleriyle desteklenmesi gerekmektedir (İmal ve Öner 2008, Bai ve ark. 2020).

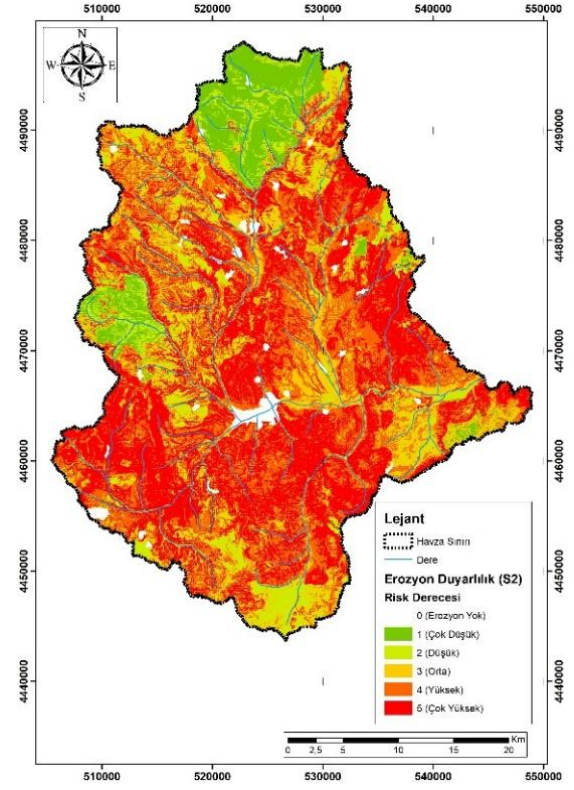
İkinci senaryoda, %20 ağaçlandırma senaryosunda, "Erozyon Yok" ve "Çok Düşük" kategorilerinin toplam oranı %7.2'den %9.4'e yükselmiş, bu da erozyon riskinin azaltılmasında kısmi bir iyileşme sağlamıştır (Şekil 9).



Şekil 7. Ağaçlandırma senaryoları sonrası yeniden oluşturulan toprak koruma haritaları (a:%10, b:%20, c:%30, d:%50)



Şekil 8. Senaryo 1'e göre oluşturulan erozyon risk haritası



Şekil 9. Senaryo 2'ye göre oluşturulan erozyon risk haritası

Çizelge 2. Potansiyel alanların %10'nun ağaçlandırılması sonrası erozyon risk alanlarının dağılımı

Erozyon Risk Durumu	Alan (ha)	Alan (%)
Erozyon Yok	2046.1	1.6
Çok Düşük	7212.6	5.6
Düşük	2075.9	1.6
Orta	7152.6	5.5
Yüksek	4495.7	3.5
Çok Yüksek	106386.9	82.2

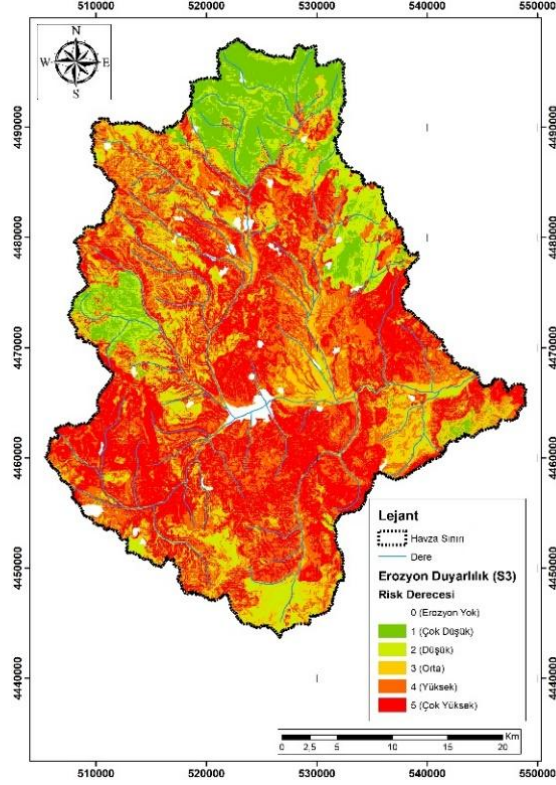
“Düşük” (%11.8) ve “Orta” (%15.0) risk kategorilerindeki artış, ağaçlandırmanın toprak koruma işlevine olumlu katkısını göstermektedir (Çizelge 3). Ancak, “Yüksek” (%29.8) ve “Çok Yüksek” (%34.1) risk oranlarının devam etmesi, erozyonun hâlen bölge için ciddi bir tehdit oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 3. Potansiyel alanların %20'sinin ağaçlandırılması sonrası erozyon risk alanlarının dağılımı

Erozyon Risk Durumu	Alan (ha)	Alan (%)
Erozyon Yok	2046.1	1.6
Çok Düşük	10109.4	7.8
Düşük	15232.4	11.8
Orta	19358.4	15.0
Yüksek	38539.8	29.8
Çok Yüksek	44083.8	34.1

Liu ve ark. (2020), yarı kurak bölgelerde %20–25 eğim aralığındaki arazilerde %60 bitki örtüsü yoğunluğunun toprak erozyonunu etkin biçimde kontrol ettiğini ortaya koymuştur. Porto ve ark. (2009) ise orman örtüsünün sürekliliği ve yoğunluğunun erozyon kontrolünde belirleyici olduğunu, %20 gibi düşük oranlı ağaçlandırmanın bu süreklilik sağlanmadığında sınırlı başarı göstereceğini belirtmiştir. Terme Çayı Havzası'nda Senaryo 2 kapsamında uygulanan %20 ağaçlandırma, erozyon riskinde kısmi bir azalma sağlamış olsa da yüksek riskli alanların oranı hâlen yüksektir. Literatür, %60'ın üzerinde bitki örtüsüyle erozyonun daha etkili kontrol altına alınabileceğini göstermekte olup, bu bağlamda daha yüksek oranlı ağaçlandırma senaryoları ve orman örtüsü sürekliliğini sağlayacak stratejiler önerilmektedir.

Üçüncü senaryoda, %30 ağaçlandırma sonrası, “Erozyon Yok” ve “Çok Düşük” kategorilerinin toplam oranı %11.5’e ulaşarak önceki senaryolara kıyasla belirgin bir iyileşme (Şekil 10) sağlamıştır (Senaryo 1: %7.2; Senaryo 2: %9.4).



Şekil 10. Senaryo 3'e göre oluşturulan erozyon risk haritası

“Düşük” (%13.8) ve “Orta” (%14.3) risk kategorilerindeki oranların azalması, ağaçlandırmanın toprak koruma işlevini güçlendirdiğini göstermektedir (Çizelge 4). Ancak, “Yüksek” (%28.4) ve “Çok Yüksek” (%31.9) risk oranlarının devam etmesi, erozyonun hâlen ciddi bir sorun olduğunu ve mevcut stratejilerin bu alanlarda yeterli iyileşme sağlamadığını ortaya koymaktadır.

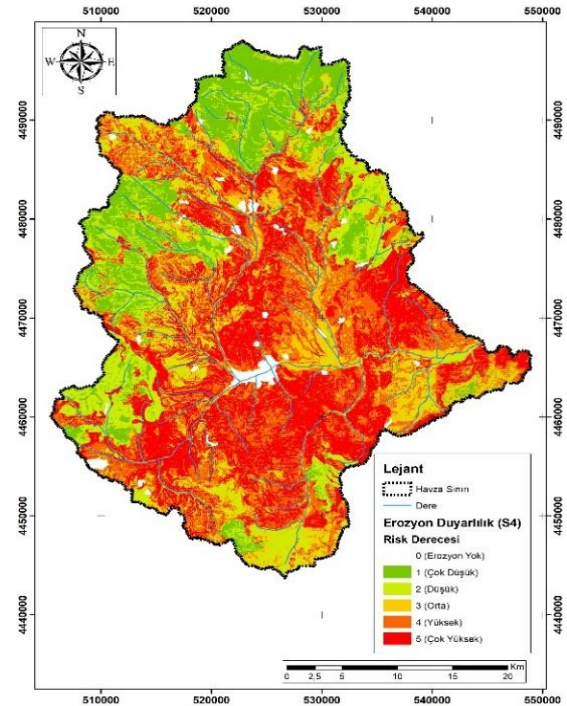
Çizelge 4. Potansiyel alanların %30'sının ağaçlandırılması sonrası erozyon risk alanlarının dağılımı

Erozyon Risk Durumu	Alan (ha)	Alan (%)
Erozyon Yok	2046.1	1.6
Çok Düşük	12834.2	9.9
Düşük	17881.6	13.8
Orta	18549.6	14.3
Yüksek	36741.3	28.4
Çok Yüksek	41317.1	31.9

ICONA modeli temelli araştırmalar, doğal ve planlı bitki örtüsünün yarı kurak bölgelerde erozyon riskini azaltmada kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Esmaili Gholzom ve ark. (2021), doğal ormanların

%19.3'ünün ve plantasyon ormanlarının %2.73'ünün “çok düşük” erozyon riskine sahip olduğunu; özellikle %70–80 kapalılığa sahip yapraklı türlerin (meşe, gürgen) etkili koruma sağladığını bildirmiştir. Kasilian Havzası üzerine yapılan başka bir çalışmada (Esmaili Gholzom ve ark. 2022), yüksek eğim ve düşük bitki örtüsünün erozyon riskini artırdığı, ancak geniş doğal orman örtüsünün bu etkiyi dengelediği belirlenmiştir. Bu bulgularla uyumlu olarak, Terme Çayı Havzası'nda %30 oranındaki hedefli ağaçlandırma (Senaryo 3), özellikle eğimli ve yüksek riskli alanlarda doğal tampon görevi görerek toprak stabilitesini artırmış, bazı bölgelerde erozyon duyarlılık sınıfını düşürmüştür. Böylece Senaryo 3, hem literatürle uyumlu sonuçlar üretmiş hem de düşük maliyetli, uygulanabilir bir koruma stratejisi olarak öne çıkmıştır.

Dördüncü senaryo ile %50 ağaçlandırma çalışmalarının ardından (Şekil 11), “Erozyon Yok” ve “Çok Düşük” kategorilerinin toplam oranı %16,0'a ulaşarak önceki senaryolara göre belirgin bir iyileşme sağlamıştır (Senaryo 1: %7.2; Senaryo 2: %9.4; Senaryo 3: %11.5).



Şekil 11. Senaryo 4'e göre oluşturulan erozyon risk haritası

“Düşük” (%18.0) ve “Orta” (%13.2) risk kategorilerindeki artış, toprak koruma işlevinin güçlendiğini göstermektedir. “Yüksek” risk oranı %25.6'ya düşerken, “Çok Yüksek” risk oranı %27.2 ile sınırlı bir azalma

göstermiştir (Çizelge 5). Bu bulgular, yüksek oranlı ağaçlandırmanın erozyon riskini azaltmada etkili olduğunu ancak yüksek riskli bölgelerde ek önlemlere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5. Potansiyel alanların %50'sinin ağaçlandırılması sonrası erozyon risk alanlarının dağılımı

Erozyon Risk Durumu	Alan (ha)	Alan (%)
Erozyon Yok	2046.1	1.6
Çok Düşük	18653.8	14.4
Düşük	23244.7	18.0
Orta	17125.6	13.2
Yüksek	33119.1	25.6
Çok Yüksek	35180.5	27.2

Terme Çayı Havzası'nda %50 ağaçlandırma oranına sahip Senaryo 4, çok yüksek risk sınıfındaki birçok alanı "orta" veya "düşük" risk kategorisine taşımış ve böylece erozyon riskinde belirgin bir azalma sağlamıştır. ICONA modeli mekânsal analizleriyle desteklenen bu senaryo, literatürde raporlanan bulgularla uyumlu olup, kapsamlı arazi yönetimi ve sürdürülebilir çevresel planlama açısından uygulanabilir bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Son dönemde gerçekleştirilen çalışmalar, GIS tabanlı erozyon modelleri (RUSLE, ICONA benzeri yaklaşımlar, UA-CBS entegrasyonu) kullanarak ağaçlandırma oranı ve kapalılık düzeyinin yarı kurak ve eğimli havzalarda erozyon riskine etkisini ortaya koymuştur. Bulgular, %40–60 kapalılık aralığının yağışın kesilmesi, yüzey akış hızının azalması ve toprak yapısının iyileşmesi yoluyla erozyon riskinde önemli düşüşler sağladığını göstermektedir (Chirino ve ark. 2006, Xin ve ark. 2019). Kokila ve ark. (2024), geniş yapraklı türlerin toprak nemini artırarak yüzey erozyonunu azalttığını; Soboka ve Mohammed (2024) ise Etiyopya'daki ortalama eğimi yüksek havzalarda $\geq$ %50 kapalılık düzeyinin risk sınıflarını 1–2 kademe düşürdüğünü bildirmiştir. Gammoudi ve ark. (2025) de Tunus'un güneyinde bitki örtüsü yoğunluğunun, yüksek–çok yüksek erozyon tehlikesine sahip alanların oranını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Entegre yaklaşımlar, ağaçlandırmanın etkisini artıran tamamlayıcı önlemler olarak öne çıkmaktadır (Liu ve ark. 2020). Huang ve ark. (2024), Çin'in Loess Platosu'nda *Pinus tabulaeformis* Carr. plantasyonlarını zigzag teraslama ile birleştirerek toprak kaybını %67.75 oranında azaltmıştır. Kuzucu ve Gül (2024) ise geniş yaprak yoğunluğu oluşturan ağaç türlerinin kök–toprak bağı

güçlendirdiğini, yağışın doğrudan toprağa çarpmasını engelleyerek erozyonun önüne geçtiğini vurgulamışlardır.

Bu kapsamda, Senaryo 4'teki %50 ağaçlandırma oranı, literatürde önerilen %40–60 kapalılık eşğine yaklaşmakta ve yüksek riskli alanlarda belirgin iyileşme sağlamaktadır. Bununla birlikte, kalıcı ve daha etkili bir erozyon kontrolü için, ağaçlandırmanın teraslama, kontur tarımı ve örtü bitkileri gibi bütünleşik arazi yönetimi teknikleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Terme Çayı Havzası özelinde ICONA modeli kullanılarak erozyon riski haritalarının oluşturulması ve farklı kapalılık oranlarında ağaçlandırma senaryolarının bu risk üzerindeki etkilerinin mekânsal olarak değerlendirilmesini amaçlamıştır. Analiz sonuçları, mevcut durumda havzanın %67.8'inin yüksek ve çok yüksek erozyon riski altında olduğunu ortaya koymuştur. Bu oran, havzanın doğal yapısı, topoğrafyası ve mevcut arazi kullanım biçimlerinin erozyona olan duyarlılığını net bir biçimde göstermektedir. Çalışmanın en önemli çıktısı, hedefli ve kademeli ağaçlandırma stratejilerinin, özellikle yukarı havza gibi eğimli ve bitki örtüsünden yoksun alanlarda erozyon riskini anlamlı şekilde azaltabileceğini göstermesidir. %30 oranında yapılan ve yüksek riskli bölgelere yönlendirilmiş ağaçlandırma (Senaryo 3), "çok yüksek" ve "yüksek" erozyon sınıflarında dikkate değer azalma sağlamış ve maliyet-yarar dengesi açısından en verimli senaryo olarak öne çıkmıştır. Uygulayıcı kurumlar açısından ise, mekânsal karar destek sistemleriyle entegre bir erozyon yönetim yaklaşımının nasıl geliştirilebileceğini göstermesi bakımından önemli bir kılavuz sunmaktadır. Arazi kullanım planlaması, ormanlaştırma politikaları ve sürdürülebilir havza yönetimi açısından somut senaryo temelli veri sağlamaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle bitki türü seçimi, kök yapısı gibi biyolojik faktörlerin modelde dikkate alınmaması, ağaçlandırmanın uzun vadeli dinamik etkilerini gözlemlemeyi kısıtlamaktadır. Ayrıca iklim parametrelerinin modelleme sürecine entegre edilmemiş olması da çalışmanın önemli bir diğer sınırlılığı olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede gelecekteki araştırmalarda; bitki türlerinin morfolojik ve ekolojik özelliklerini içeren

parametrik modellemelere yer verilmesi, farklı erozyon modelleriyle (USLE, RUSLE, InVEST) karşılaştırmalı analizlerin yapılması önerilmektedir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında yürütülen “Potansiyel Ağaçlandırma Alanlarının Toprak Erozyon Riski Üzerindeki Etkilerinin ICONA Modeli Kullanılarak Belirlenmesi: Terme Çayı Havzası Örneği” başlıklı proje doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Al Balasmeh O, Karmaker T, Babbar R (2023) Experimental investigation and modelling of rainfall-induced erosion of semi-arid region soil under various vegetative land covers. *Journal of Hydroinformatics*, 25(3):1029-1053, <https://doi.org/10.2166/hydro.2023.213>
- Bai L, Wang N, Jiao J, Chen Y, Tang B, Wang H, Wang Z (2020) Soil erosion and sediment interception by check dams in a watershed for an extreme rainstorm on the Loess Plateau, China. *International Journal of Sediment Research*, 35:408-416. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.03.005>
- Bayramin İ, Dengiz O, Başkan O, Parlak M (2003) Soil erosion risk assessment with ICONA model; case study: Bey pazarı area. *Türk J Agric For*, 27:105-116.
- Bilgiç S, Er S (2025) Malatya ilinde 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>
- Borrelli P, Robinson DA, Fleischer LR, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schütt B, Ferro V, Bagarello V, Van Oost K, Montanarella L, Panagos P (2017) An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8: 2013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Carlson TN, Ripley DA (1997) On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, 62(3):241-251. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Chirino E, Bonet A, Bellot J, Sánchez JR (2006) Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in South Eastern Spain. *Catena*, 65(1):19-29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.09.003>
- Chowdary VM, Chakraborty D, Jeyaram A, Murthy YVN, Sharma JR, Dadhwal VK (2013) Multi-Criteria decision making approach for watershed prioritization using analytic hierarchy process technique and GIS. *Water Resources Management*, 27:3555-3571. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0364-6>
- Demir S, Dursun İ (2024) Assessment of pre- and post-fire erosion using the RUSLE equation in a watershed affected by the forest fire on Google Earth Engine: the study of Manavgat River Basin. *Natural Hazards*, 120(3):2499-2527. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06291-5>
- Demirci U, Yıldırım S (2024) Economic Analysis Approaches for the Erosion Prevention Function of Forests. In P.D.L. ARIN (Ed.), Orman Mühendisliği Alanında Akademik Analizler. YAZ Yayınları. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10868234>

- Dengiz O, İmamoğlu A, Saygın F, Göl C, Ediş S, Doğan A (2014) İnebolu Havzası'nın ICONA modeli ile toprak erozyon risk değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 29 (2):136-142. <https://doi.org/10.7161/anajas.2014.29.2.136-142>
- Dilek EF, Şahin Ş, Yilmazer İ (2008) Afforestation areas defined by GIS in Gölbaşı specially protected area, Ankara/Turkey. *Environ Monit Assess*, 144 (1):251-259. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9985-7>
- Dursun İ (2025) An integrated analytical approach to sub-watershed prioritization and erosion risk assessment in the Salda Lake Basin, Türkiye. *Environ Earth Sci*, 84:428. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12434-7>
- Dutal H (2022) Determination of the impact of forest fires on soil erosion risk by using the ICONA model: a case study of Ayvalı Dam watershed. *Turkish Journal of Forest Science*. 6(2):510-538. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1167356>
- Ediş S, Timur ÖB, Tuttu G, Aytas İ, Göl C, Özcan AU (2023) Assessing the impact of engineering measures and vegetation restoration on soil erosion: a case study in Osmaniye, Türkiye. *Sustainability*, 15(15):12001. <https://doi.org/10.3390/su151512001>
- Erpul G, İnce K, Demirhan A, Küçümen A, Akdağ MA, Demirtaş İ, Şahin S (2020) Su Erozyonu İl İstatistikleri-Toprak Erozyonu Kontrol Stratejileri. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- Esmaili Gholzom H, Ahmadi H, Moeini A, Motamed Vaziri B (2021) Water erosion risk assessment in the Kasilian watershed with ICONA model and GIS/RS techniques. *Res Earth Sci*, 12(3):144-163. <https://doi.org/10.48308/esrj.2021.100753>
- Esmaili Gholzom H, Moeini A, Ahmadi H, Motamed Vaziri B (2022) Soil erosion risk assessment in the natural and planted forests using ICONA model and GIS technique. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 19:3947-3962. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03536-3>
- Everest T, Sungur A, Özcan H (2025) ICONA modeli ile Biga Yarımadası güneybatı bölümünün erozyon risk değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 13(1):59-69. <https://doi.org/10.33202/comuagri.1645843>
- Fenta AA, Yasuda H, Shimizu K, Haregeweyn N, Negussie A (2016) Dynamics of soil erosion as influenced by watershed management practices: a case study of the Agula Watershed in the semi-arid highlands of Northern Ethiopia. *Environ. Management*, 58(5):889-905. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0757-4>
- Gammoudi A, Guesmi H, Tebini A, Attia R, Sahli Chahed T, Trabelsi H (2025) Soil degradation risk prediction in an arid region (Northern Tataouine, Tunisia): using an empirical model coupling with remote sensing and GIS. *Environ Res Commun*. 7(1):015019. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ada879>
- Harliando DP, Setyawan C, Mawandha HG (2023) Spatial modeling of vegetation cover for soil erosion control based on Arc GIS and the RUSLE models. *Journal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*. 12(1):14-27. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v12i1.14-27>
- Huang Y, Wei W, Chen S (2024) Effect of terraces and rainfall on water and soil loss in *Pinus tabulaeformis* plantations in the semiarid Loess hilly region of China. *Ecohydrology*. 17(8): e2720. <https://doi.org/10.1002/eco.2720>
- Ishaq HK, Grilli E, D'Ascoli R, Mastrocicco M, Rutigliano AF, Marzaioli R (2025) Soil quality under rotational and conventional grazing in Mediterranean areas at desertification risk. *Journal of Environmental Management*, 373:123822. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123822>
- Issaka S, Ashraf MA (2017) Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geol Ecol and Landscapes*, 1:1-11. <https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>

- İmal B, Yılmaz S, Sağlıcak Y, Kondur Y, Şimşek Z, Öner N (2007) Çankırı (Tümçam)'da yarı kurak ağaçlandırma çalışmalarının değerlendirilmesi. Türkiye'de Yarı kurak Bölgelerde Yapılan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Uygulamalarının Değerlendirilmesi Çalıştay Bildirileri, 1:66–71, Nevşehir.
- İmal B, Öner N (2008) Yarı Kurak Bir Alan Özelliği Gösteren Çankırı İlinde Uygulanabilecek Ağaçlandırma Teknikleri. IV. Çankırı Kültürü Bilgi Şöleni Bildirileri, 231–245, Çankırı.
- Jie C, Jing-zhang C, Man-zhi T, Zi-tong G (2002) Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences*, 12:243–252. <https://doi.org/10.1007/BF02837480>
- Karakoca E (2025) CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile ICONA modeli kullanılarak Katrancı Çayı Havzası'nda (Haymana, Ankara) toprak erozyonu duyarlılığının değerlendirilmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 14:126–145. <https://doi.org/10.46453/jader.1653839>
- Kılıç OM (2022) Evaluation of future sediment yield and sediment retention capacity with InVEST model under climate change scenarios in Yeşilirmak Basin. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 10(7):1318–1328. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i7.1318-1328.5302>
- Kokila A, Nagarajaiah C, Hanumanthappa DC, Shivanna BK, Sathish K, Mahadevamurthy M (2024) Effect of tree canopy cover on soil moisture dynamics in different agroforestry systems under semi-arid condition. *Int J Environ Clim Change*, 14(9):485-495. <https://doi.org/10.9734/ijec/2024/v14i94432>
- Kuzucu M, Gül İ (2024) Erosion Control in Pastures [in Turkish]. In Strategies for Reforestation and Sustainable Fruit Farming. 45-72. Nobel Yayınları.
- Liu YF, Liu Y, Shi ZH, Lopez-Vicente M, Wu GL (2020) Effectiveness of re-vegetated forest and grassland on soil erosion control in the semi-arid Loess Plateau. *Catena*, 195:104787. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104787>
- MAPA/ICONA (1983) *Paisajes erosivos en el sureste español: Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación*. Ministerio de Agricultura de España.
- Oldeman LR (1997) Soil degradation: a threat to food security?. In International Conference on Time Ecology: "Time for Soil Culture-Temporal Perspectives on Sustainable Use of Soil", April 6-9, 1997, Tutzing (p. 15). ISRIC
- Olivares B, Verbist K, Lobo D, Vargas R, Silva O (2011) Evaluation of the USLE model to estimate water erosion in an Alfisol. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11(2):72–85. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162011000200007>
- Özvan H, Arik B, Satır 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>
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Montanarella L, Alewell C (2015) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ Sci Policy*, 54:438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Porto P, Walling DE, Callegari G (2009) Investigating the effects of afforestation on soil erosion and sediment mobilisation in two small catchments in southern Italy. *Catena*, 79(3):181–188. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.01.007>
- Prasetyo A, Setyawan C, Tirtalistyani R (2021) Vegetation Cover Modelling for Soil Erosion Control in Agricultural Watershed. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 653, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
- Reis M, Dutal H, Bolat N, Savacı G (2017) Soil erosion risk assessment using GIS and ICONA: a case study in Kahramanmaraş, Turkey. *J Agric Fac Gaziosmanpaşa University*, 34(1):64-75. <https://doi.org/10.13002/jafag4208>
- Ricci GF, Jeong J, de Girolamo AM, Gentile F (2020) Effectiveness and feasibility of different management practices to reduce soil erosion in an agricultural watershed. *Land Use Policy*, 90:104306. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104306>
- Satır O, Yeler ST, Dönmez C, Paul C (2023) Evaluating ecosystem service changes in a frame of transportation development in Istanbul. *Environ Monit Assess*, 195:801. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11404-5>
- Soboka DM, Mohammed M (2024) Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS in Dhumuga Watershed, Ambo, Ethiopia. *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 8(4):100-106. <https://doi.org/10.11648/j.ajese.20240804.12>
- Şengüler İ (2007) Orta-Şabanözü (Çankırı) yöresinin jeolojisi ve kömür potansiyeli. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1):15-24.
- Terzi F, Tezer A, Türkay Z, Uzun O, Köylü P, Karacor E, Okay N, Kaya M (2020) An ecosystem services-based approach for decision-making in urban planning. *J Environ Plann Manage*, 63(3):433-452. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1591355>
- Tombuş FE, Yüksel M, Coşar M, Ozulu İM (2012) Researching the Effects of Temporal NDVI in ICONA Erosion Risk. In: IV. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, Zonguldak.
- Uzun O, Gültekin P (2011) Process analysis in landscape planning, the example of Sakarya/Kocaali. *Sci Res Essays*, 6(2):313-331. <https://doi.org/10.5897/SRE10.716>
- Xin W, Deng X, Zhang F (2019) Scale effects of vegetation restoration on soil and water conservation in a semi-arid region in China: Resources conservation and sustainable management. *Resour Conserv Recycl*, 151:104474. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104474>
- Yıldırım S, Özalp M (2024) Evaluation of hydrological parameters and sediment dynamics in the borçka dam watershed using the SWAT model. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1):111-127. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1426951>
- Yıldız NE, Kahveci B (2024) ICONA modeli kullanılarak toprak erozyonu riskinin tahmin edilmesi: Ankara ili örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(4):822-831. <https://doi.org/10.35229/jaes.1591959>
- Zhao J, Feng X, Deng L, Yang Y, Zhao Z, Zhao P, Fu B (2020) Quantifying the effects of vegetation restorations on the soil erosion export and nutrient loss on the Loess Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 11: 573126. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.573126>