

Antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığı ilişkisinin alt havza kapsamında analizi: Uluabat Gölü Havzası örneği

S. Murat Uzun^{1*} 

¹Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

Antropojenik Baskı
Erozyon Duyarlılığı
RUSLE Yöntemi
AHS
Uluabat Gölü Havzası

Araştırma Makalesi

Geliş: 08.05.2025
Kabul: 15.06.2025
Yayınlanma: 29.06.2025



Özet

Doğal ortam koşullarındaki antropojenik baskı yoğunluğu ve etkisinin artması dinamik süreçlerde farklı boyutlu değişimlere yol açabilmektedir. Jeomorfolojik, klimatolojik, hidrografik ve floristik unsurların çeşitli etkileşimi ile meydana gelen erozyonda da insan faaliyetlerinin doğrudan ve dolaylı etkileri olmaktadır. Bu etkiler bütüncül yaklaşımlarla incelenen ve sürdürülebilir planlaması yapılan üst ve alt ölçekli havzalarda analizlerle incelenmesi gereken ilk unsurların başında gelmektedir. Bu çalışmada da Uluabat Gölü drenaj havzası kapsamında antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığı ortaya konmuş, iki verinin etkileşim analizi 233 alt havza kapsamında değerlendirilmiştir. Araştırmada ilk olarak havzanın 10 farklı ana kriteri ve 58 alt kriteri ele alınarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile antropojenik baskı yoğunluğu verisi üretilmiştir. Daha sonra RUSLE yöntemi kullanılarak havzanın toprak kaybı ve erozyon duyarlılığı ortaya konmuştur. Elde edilen verilerin ortalaması alt havza kapsamında analiz edilmiş, doğal kırılım yöntemi ile her bir veri 5 kategorik sınıfa ayrılmıştır. Son olarak alt havzaların antropojenik baskı yoğunluğu ve erozyon duyarlılığı verileri korelasyona tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgulara göre havzanın %3'ünde yüksek düzeyde antropojenik baskı yoğunluğu saptanmıştır. Havzanın ortalama toprak kaybı miktarı 4,7 t/ha⁻¹/yıl⁻¹'dir. Alt havza tabanlı olarak antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığının 54 havzada yüksek-çok yüksek düzeyde korelasyon olduğu saptanmıştır. Her iki verinin yüksek düzeyde ilişkili olduğu alt havza miktarı toplam havzaların %23'ünü oluşturmaktadır. Özellikle Orhaneli batısı, Tavşancıl kuzeyi ve Dursunbey çevresindeki madencilik ve tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu alt havzalarda, bu antropojenik faaliyetlerin erozyonu arttırdığı tespit edilmiştir.

Analysis of the relationship between anthropogenic pressure intensity and erosion susceptibility in sub-basin scope: Uluabat Lake Basin example

Keywords

Anthropogenic Pressure
Erosion Susceptibility,
RUSLE
AHP
Uluabat Lake Basin

Research Article

Received: 08.05.2025
Accepted: 15.06.2025
Published: 29.06.2025

Abstract

The increase in the intensity and impact of anthropogenic pressure in natural environmental conditions can lead to different dimensional changes in dynamic processes. Human activities have direct and indirect effects on erosion, which occurs with various interactions of geomorphological, climatological, hydrographic and floristic elements. These effects are among the first factors that should be analysed in upper and lower scale basins that are examined with holistic approaches and sustainable planning. In this study, anthropogenic pressure intensity and erosion susceptibility were revealed within the scope of Uluabat Lake drainage basin, and the interaction analysis of the two data was evaluated within the scope of 233 sub-basins. In the study, firstly, 10 different main criteria and 58 sub-criteria of the basin were considered and anthropogenic pressure intensity data were generated by Analytical Hierarchy Process (AHP). Then, the soil loss and erosion sensitivity of the basin was revealed by using the RUSLE method. The average of the obtained data was analysed within the scope of the sub-basin and each data was divided into 5 categorical classes by natural breaks method. Finally, the anthropogenic pressure intensity and erosion susceptibility data of the sub-basins were correlated. According to the findings, a high level of anthropogenic pressure intensity was found in 3% of the basin. The average soil loss of the basin is 4.7 t/ha⁻¹/year⁻¹. On a sub-basin basis, it was found that anthropogenic pressure intensity and erosion susceptibility were highly to very highly correlated in 54 basins. The amount of sub-basins where both data are highly correlated constitutes 23% of the total basins. Especially in the sub-basins west of Orhaneli, north of Tavşancıl and around Dursunbey where mining and agricultural activities are intensive, these anthropogenic activities are found to increase erosion.

1. Giriş

Doğal ortam koşulları farklı kökenli etmenler neticesinde benzerlik gösterdiği alanlara ayrılabilir. Bu bölgesel alanlar içerisinde dinamik süreç döngüleri birbirini tetikleyen ya da etkileyen işleyiş yapılarına sahiptir. Bu tür dinamik süreçlerin meydana geldiği ve bütüncül olarak ortak etkinin görüldüğü temel bölge alanların başında havzalar gelmektedir. Havza, terim olarak farklı kullanımlara sahiptir. Ancak temel olarak havzalar, fiziki coğrafya özellikle de jeomorfolojik ve hidrografik koşulların sınırlarını belirlediği, kendi içerisinde benzerlikler ve etkileşim bütünü barındıran alanlardır (Garipağaoğlu & Uzun, 2019). Jeomorfolojik olarak çevresini yüksek kütlelerin oluşturduğu, bu noktadan kaynaklan birçok drenaj ağını barındıran ve daha alçak sahalara akış gösteren alanlar havza olarak sınıflandırılmaktadır (De Filippi & Sappa, 2024). Bu tür hidrografik havzalar temel olarak eksoreik, androreik ve areik havzalar olarak nitelendirilmektedir (Selçuk Biricik, 2009). Havzalar, fiziki ve beşeri coğrafya koşulların yoğun etkileşim gösterdiği ve sonucunda farklı kökenli hadiselerin meydana geldiği sahalardır. Dolayısıyla jeomorfolojik süreç ve hidrografik koşulların baş aktör olduğu havzalarda diğer ortam koşulları ve antropojenik süreçlerin etkileşim ve ilişki boyutu da oldukça önemsenmektedir (Montgomery vd., 1995; Bremer vd., 2020). Bu bakımdan dünyada havza yönetim ve planlama çalışmaları bütüncül yaklaşımlarla değerlendirilmekte (AB su çerçeve direktifi vb.) ve fiziki-beşeri etkileşim boyutu ele alınmaktadır (Prodanovic & Simonovic, 2010; Garipağaoğlu & Uzun, 2021). Bu sayede havzadaki sürdürülebilir kullanım potansiyeli analiz edilmekte, risk ve tehlike boyutları için önlem modelleri oluşturulabilmektedir (Katusiime & Schütt, 2020).

Son 100 yıllık dönem içerisinde artan dünya nüfusu, kentleşme ve sanayileşmedeki artış, buna bağlı olarak talep ve ihtiyaçların artması özellikle doğal ortam koşullarındaki antropojenik baskı ile etkisinin çoğalmasına sebebiyet vermektedir (Szabó vd., 2010; Head vd., 2022). Bu durum küresel iklim değişikliği, çevresel sorunların artması, şehir ısı adası, habitat tahribatı ve parçalanması, edafik ve diğer koşullardaki inorganik madde miktarı yoğunluğu, hidrografik kuraklıkların çoğalması, afetlerdeki sıklığın yoğunlaşması gibi hadiselerle tezahür göstermektedir (De Montis vd., 2017; Bruno vd., 2024; Romanillos vd., 2024; Luengo vd., 2025). Bu nedenle bilim dünyasında jeolojik açıdan artık Antroposen döneminde olmamız gerektiği belirtilmektedir (Crutzen & Stoermer, 2000; Steffen vd., 2011). Bu dönem temel olarak artık bütün doğal dinamik süreçlerde insanın müdahale boyutunun olduğunu ve sonucunda meydana gelen koşullardaki değişimleri içermektedir (Ertek, 2023). Dolayısıyla artık yapılacak bütün analiz ve modellemelerde insanın doğal koşullardaki etkisinin önemli olduğu ele alınmaktadır (Ellis, 2017).

Günümüz dünyasında bütüncül bakış açısı ile incelenen havzalarda, herhangi bir alanda meydana getirilen antropojenik değişim ya da etkinin bütün havzayı etkileyebileceği varsayımı temel alınmaktadır (Grigg, 1999). Bu durum, fiziki ve beşeri coğrafya koşulları açısından benzer özellikleri barındıran havzalarda, alt havza ya da belli boyutlardaki kümelerde çeşitli etkileşim ve yoğunlaşmaların boyutlarını da belirlemektedir (Koontz & Newig, 2014). Belirtilen kapsam dahilinde havzaların yönetilmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin etkin kullanımı sonucu detaylı analizler hem havzanın

tamamı hem de alt havza kapsamında yapılabilmektedir (He, 2003; Wang vd., 2006; Vojtek & Vojtekova, 2016; Vulević & Dragović, 2017; Asgari, 2021). Analizler sonucu havzadaki temel unsurların ya da alt havzaların arasındaki korelasyon ya da kantitatif analiz sonuçları, sorunların azaltılması ve havzanın geleceğe dönük sürdürülebilir yönetiminde kullanılabilir. Dünyada ve Türkiye havza ya da alt havza tabanlı çalışmalarının birçoğu jeomorfolojik, hidrografik ya da sadece insan odaklı olmuştur. Son yıllarda bazı çalışmaların doğal ve beşeri ortam koşullarındaki dengeyi temel aldığı, ekolojik değişimlere odaklandığı görülmüştür (Uzun & Garipağaoğlu, 2022).

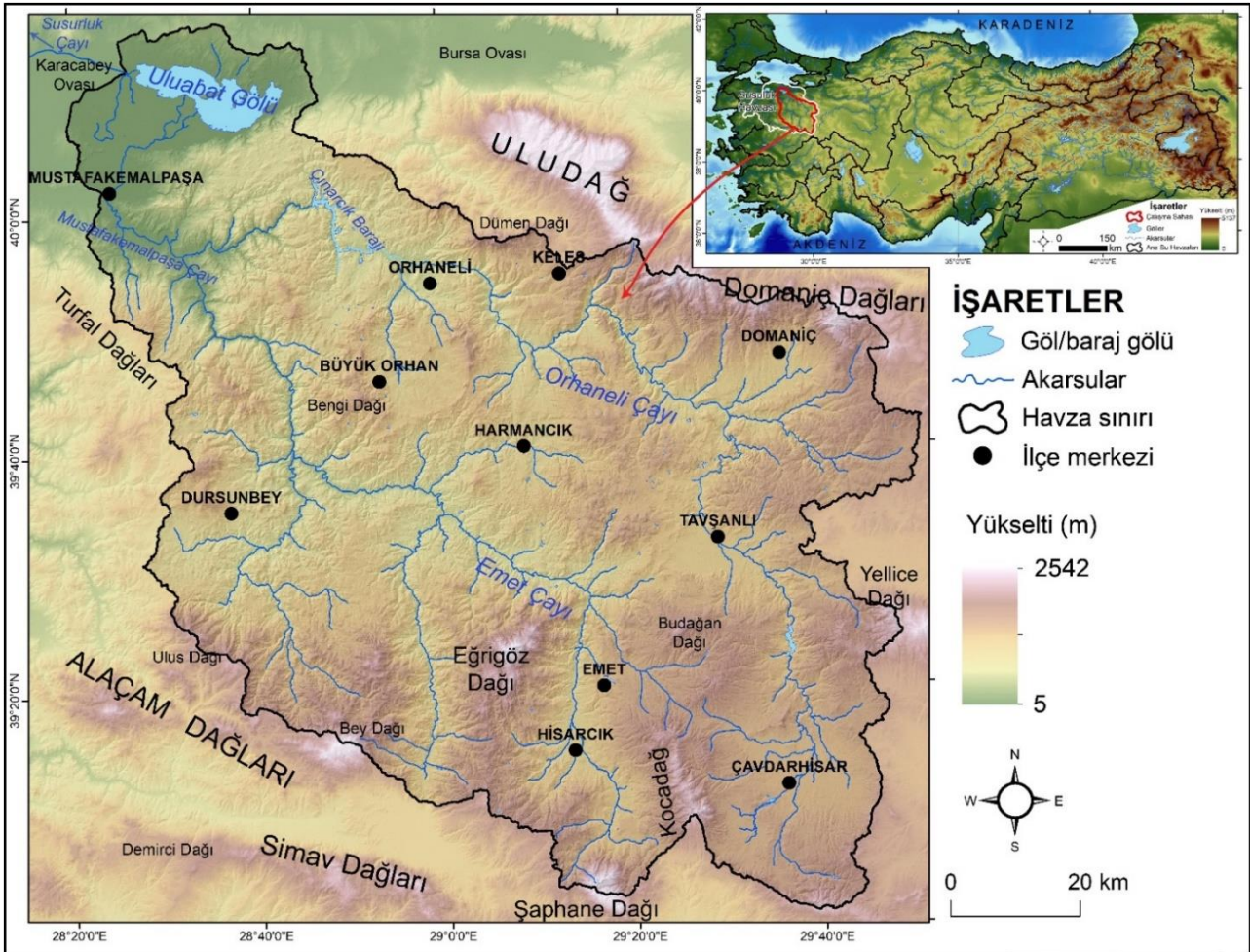
Havzalardaki antropojenik baskı yoğunluğu, havzaya meydana gelen insan faaliyetlerinin bütün havzayı etkileme derecesi olarak ifade edilir (Pande, 2020). Çok çeşitli parametreler ile doğal-antropojenik etkileşim durumu meydana gelen baskının derecesini belirlemektedir. Ayrıca meydana gelen baskıdaki zamansal değişim ve artış havzalardaki ekosistemsel etkileyişi ve dinamik yapıyı da değiştirebilmektedir (Amanambu & Mossa, 2024). Özellikle hassas alanlara sahip havzalardaki antropojenik baskı yoğunluğunun artması, yüzey ve yer altı drenaj ağı ile dinamik döngüde bütün süreçleri etkileyerek bütün havzaya farklı reaksiyonlar gösterebilmektedir (Swain vd., 2020; Mudliar, & Koontz, 2021). Bu nedenle geniş alanlı havzalardaki alt havza tabanlı yapılacak antropojenik baskı yoğunluğu analizleri çevresel politikaların geliştirilmesi, koruma-kullanma ve geleceğe taşıma döngüsünün doğru planlanması ile doğal kaynak yönetiminde kararların sürdürülebilir şekilde alınması açısından oldukça önemlidir (Darghouth vd., 2008).

Erozyon ya da erozif faaliyetler, özellikle litolojik birimlerin üst katmanını oluşturan ve çeşitlilik gösteren edafik koşulların dış dinamik süreçler tarafından aşındırılması ve başka bir alanı taşınma sürecidir (Arnolds, 1977). Jeolojik, jeomorfolojik süreçlerle meydana gelen erozyon farklı morfojenetik bölgelerde çeşitli dış dinamik süreçlerle de oluşmaktadır (Sharma vd., 2025). Erozyonu etkileyen ve şiddetini belirleyen temel unsurlar litolojik birimler, jeomorfolojik unsurlar ve koşullar, klimatolojik özellikler, toprak ile bitki örtüsüdür (Danacıoğlu & Tağıl, 2017). Ancak insanoğlunun özellikle Neolitik Çağ ile birlikte tarımsal faaliyetlerinin sonucu olarak erozyona etki kapsamında başlayan ilk antropojenik etken süreçleri, günümüzde yoğun ve bilinçsiz arazi kullanımı, yanlış tarım yöntemleri, orman alanlarının tahribi ve madencilik faaliyetleri gibi süreçlerle çok ileri boyutları taşınmıştır (Tağıl, 2007). Bu tür insan faaliyetleri özellikle ekolojik dengeyi değiştirmekte, ekosistemsel dengesizlik oluşturmakta ve doğal dinamik süreçlerle meydana gelen erozyonun hızını artırarak farklı boyutlarda sorunların ortaya çıkmasını tetiklemektedir (Mallick vd., 2025). Yapılan çalışmalar dünyada erozyon nedeniyle meydana gelen toprak kaybının artık %60'ından fazlasının doğrudan ve dolaylı olarak antropojenik etkenlerle meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Gibbs & Salmon, 2015). Dünyanın dinamik döngüleri ile yüzeyel mikro süreçleri, tarımsal verimi, miktarı ve en önemlisi kullanılabilir suyun miktarı ile kalitesini etkileyen toprak erozyonu, belirtilen nedenlerden dolayı sürdürülebilir şekilde yönetilmesi gereken sorunların başında gelmektedir. Doğadaki tahribatın ve ortaya çıkan çevresel sorunların dışında, biyolojik yaşam ile insan faaliyetlerine doğrudan etkisi olan erozyon şiddetinin ve

duyarlılığının tespit edilmesi ve dağılışın saptanması amacıyla birçok yöntem ortaya atılmıştır. Gelişen teknoloji, CBS ve UA tekniklerinin kullanılması ile erozyon duyarlılık analizleri yapılabilmekte, sonuçlar yönetim ve planlama çalışmalarında kullanılabilir (Karabulut & Küçükönder, 2008; Chen vd., 2010; Özşahin, 2014; Güney & Turoğlu, 2018; Demirağ Turan vd., 2020; Sud vd., 2024; Marouf vd., 2025). Özellikle havza tabanlı yapılan erozyon duyarlılık çalışmaları birçok faktörle ilişkilendirilerek sürdürülebilir yönetim ve planlama alanlarında önemli girdiler sağlamaktadır.

Ülkemizde artan nüfus neticesinde talep ve ihtiyaçların çoğalması doğal unsurlar ve süreçlerdeki antropojenik baskıyı arttırmıştır. Bu durum özellikle geniş alanlı havzalarda doğal-beşeri unsur etkileşimin farklı boyutlara gelmesine, sorunların, geleceğe dönük tehditlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Havza tabanlı yönetim stratejilerinin temeli olan bütüncül ve sürdürülebilir yaklaşımlar ise havzalarda en küçük sorunun havzanın kendine has özellikleri çerçevesinde çözülmesini ele almaktadır (Daeghouth vd., 2008). Bu kapsamda yapılacak çalışmalar ise alt havza tabanlı analizlerle olabilmektedir. Belirtilen bütün kapsamlar ele alındığında bu çalışmada, doğal ve beşerî çeşitliliğin fazla olduğu aynı zamanda etkileşim ve sorun potansiyelini barındıran Uluabat Gölü drenaj havzasında (Mustafakemalpaşa Çayı, Emet Çayı ve Orhaneli Çayı havzaları) farklı kriterlerle antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığının saptanması ve bu iki sürecin etkileşim boyutunun alt havza (233 alt havza) analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Araştırma sahası, Marmara Denizi akaçlama havzasının en geniş sahasını oluşturan Susurluk Havzası'nın batı kesimini oluşturmaktadır. İnceleme sahası, Uluabat Gölü'nü besleyen gölün kuzeyindeki akarsular ile güneyden gelen Orhaneli Çayı, Emet Çayı ile bu iki akarsuyun birleşmesiyle oluşan Mustafakemalpaşa Çayı'nın havzalarından oluşturmaktadır (Şekil 1). Kuzeybatıdaki göl gideğini olan Uluabat Çayı'nda inceleme sahası kapsamında yer alır. Havzanın kuzey sınırını Karacabey-Bursa ovası eşiği, kuzeydoğusunu Uludağ, doğusunu Domanıç Dağları ve Yellice Dağı, güneyini Murat Dağı kuzeyindeki tepelik sahalara, Şaphane Dağı ve Simav oluğu, güneybatısını Alaçam Dağları, batısını Turfal Dağları oluşturmaktadır. Havza coğrafi koordinat sistemine göre 28°20'-29°45' doğu boylamları ile 39°05'-40°15' kuzey enlemleri arasında yer alır. Havzanın Uluabat Gölü dahil toplam alanı 10623,2 km²'dir. Uzun yıllar ve mevsimlik değişkenlik gösteren Uluabat Gölü'nün son yıllardaki ortalama yüzey alanı ise 110,8 km²'dir (Uzun, 2024). Havzayı drene eden, takribi GD-KB yönünde akış gösteren iki temel akarsu ağı bulunmaktadır. Kuzey kesimde Orhaneli Çayı, güneyde ise Emet Çayı birleşerek Mustafakemalpaşa Çayı oluşturmaktadır ve bu akarsu ağı Uluabat Gölü'ne dökülmektedir. Havzanın belirtilen kısmı andoreik özelliktedir. Ancak Uluabat Gölü'nün çıkış olan Uluabat Çayı'nın Susurluk Havzası'na bağlanması ve bu havzanın Kocasu ile Marmara Denizi'ne dökülmesi geniş çerçevede eksoreik havza özelliğinin olduğunu göstermektedir. DSİ'nin yaptığı (2012) Türkiye'nin ana su havzaları sınıflandırmasında araştırma sahası Susurluk Çayı Havzası içerisinde yer almaktadır.



Şekil 1. Uluabat Gölü drenaj havzasının konumu, sınırları, Sayısal Yükselti Modeli (SYM)

Havzanın kuzey kesimindeki Karacabey Ovası'nda jeolojik açıdan daha genç birimler güney kesimde ve özellikle yüksek kütlelerde daha yaşlı litolojik birimler gözlemlenmektedir. Havzanın en yüksek yeri Uludağ'ın güneydoğu kesiminde 2400 m iken kuzeyde Uluabat Gölü'nün bulunduğu Karacabey depresyonunda yükselti 5 m'dir. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre havzanın kuzey kesimi, Emet Çayı, Orhaneli Çayı vadi yakınlarında Csa (Kışla ılıman yazları kurak Akdeniz iklimi), Mustafakemalpaşa'dan itibaren havzanın yukarı çıkışının tamamında Csb ve muhtelif yükseltilerde Dsb iklim türleri görülmektedir (Taşoğlu vd., 2024). Havzanın ortalama yükseltisi 850 m olup ortalama eğim değeri 12,2°'dir. Havzanın % 36'sı ormanlarla kaplıdır. Havzada 3 farklı il (Bursa, Balıkesir ve Kütahya) içerisinde yer alan toplam 11 ilçe yerleşim merkezi bulunmaktadır. Havza sınırları içerisinde linyit, bor ve diğer madenler olmak üzere Orhaneli, Tavşanlı, Emet, Hisarcık çevrelerindeki birçok alanda açık madencilik faaliyetleri yapılmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada materyal olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan 1:25.000 ölçekli topografya paftaları, MTA'dan alınan 1:500.000 ölçekli jeoloji haritası, Bursa ve Balıkesir ili hidrojeoloji haritaları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden havza sınırları içerisindeki 11 istasyona ait rasat verileri, Toprak Reformu Genel Müdürlüğü'nden büyük toprak grupları verisi, açık kaynak verisi sunan OpenStreetMap (OSM) üzerinden yol ağı verisi ve Copernicus'dan 02.07.2024 tarihli Sentinel 2 MSI multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Araştırmada doğal ve beşeri ortam koşullarının etkileşimini içeren antropojenik baskı yoğunluğu ve havzanın erozyon duyarlılığı analizleri için iki alt basamakta farklı sistemler ortaya konmuştur (Şekil 2). İlk olarak ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak topografya paftalarından çalışma sahasının SYM'si oluşturulmuş, hidrolojik analiz ile havzanın drenaj ağı ve kesin sınırları belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra birçok ana ve alt kriter kullanılarak antropojenik baskı yoğunluğu verisi üretilmiştir. Çok fazla kriterin olması ve aralarındaki ilişki düzeyinin saptanabilmesi için çalışmada AHS yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra ise dünyada birçok çalışmada kullanılan RUSLE yöntemi ile havzanın erozyon duyarlılık verisi oluşturulmuştur. Bu çalışmada farklı arazi kullanımının olmasından dolayı daha verimli sonuçlar veren RUSLE yöntemi tercih edilmiştir.

Çalışmada havza yönetim ve planlamasına yönelik bulgular ortaya koymak için Uluabat Gölü drenaj havzası 233 alt havzaya ayrılmıştır. Daha sonra jeo-istatistiksel analizler kullanılarak her alt havzanın ortalama antropojenik baskı yoğunluğu ve erozyon duyarlılığı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu değerler her alt havzanın antropojenik baskı yoğunluğu ve erozyon duyarlılığı ana değerini ifade eder. Daha sonra doğal kırılım (natural breaks) yöntemi ile her iki bulgu verisi 5 kategorik sınıfa ayrılmıştır (Jenks, 1967; Ke vd., 2023). Son olarak ise edilen her iki veri aralarındaki etkileşim açısından korelasyona tabi tutulmuş ve alt havza kapsamında incelenmiştir. Böylece antropojenik baskı yoğunluğunun erozyon duyarlılığına nasıl etki ettiği alt havza kapsamında kantitatif olarak ortaya konmuş, elde edilen bu veriler havza planlaması için değerlendirilmiştir.

2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Antropojenik Baskı Yoğunluğu Analizi

Çalışmada doğal ve beşeri faktörlerin karşılıklı etkileşimde, insan faktörünün dinamik süreç ve morfolojiyi değiştirme etkisinin yaptığı baskı yoğunluğu analiz edilmiştir. Bunun için Dünyadaki birçok çalışma temel alınmış ve havzanın göreceli özelliklerine göre 10 ana kriter belirlenmiştir (Sofia vd., 2016; Tarolli % Sofia, 2016; Tarolli vd., 2019; Zhang vd., 2023; Romanillos vd., 2024; Uzun, 2024; Luengo vd., 2025). Bu kriterlerin 5'i doğal, 5'i beşeri faktörleri temsil etmektedir. Doğal faktörlerden eğim verisi havzanın SYM'si üzerinden üretilmiştir. Akarsuya mesafe verisi ana akarsu ağının oluşturulması ve tampon (buffer) özelliği ile üretilmiştir. Göl, gölet ve baraj gölü mesafe verileri ise Sentinel uydu görüntüsü üzerinden polygon olarak çizilen su kaynaklarına tampon tekniğinin uygulanması ile oluşturulmuştur. Geçirimsizlik verisi, MTA'dan alınan jeoloji, Bursa ve Balıkesir illeri hidrojeoloji haritalarından üretilmiştir. Havzanın Normalleştirilmiş Bitki Fark İndisi (NDVI) verisi Sentinel uydu görüntüsü bantlarına uygulanan $NDVI = (PNIR - Pgreen) / (PNIR + Pgreen)$ formülü üzerinden oluşturulmuştur (Myneni vd., 1995). Antropojenik etki derecesi verisi Sentinel uydu görüntüsünün elektromanyetik spektrum değerinin düşük ve yüksek olmasına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre yüksek enerjili renkler (yeşil, mavi vb.) düşük baskıyı, düşük enerjili renkler (kırmızı, kahverengi vb.) yüksek baskıyı ifade etmektedir. Elde edilen 10 ana kriter kategorik sınıflara ayrılarak 58 alt parametre üretilmiştir. Ana ve alt kriterlere göre antropojenik baskı yoğunluğunun dağılımını saptamak için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) içerisinde yer alan Analitik Hiyerarşi Süreci-Prosesi (AHS-AHP) kullanılmıştır (Saaty, 1980). AHS, birbiri ile ilişkili nitel ve nicel kriterler ile bunların alt kriterlerinin istatistiksel algoritmalar üzerinden yapılan analizlerin ve sezgisel olarak yorumlanan bütün kriterler arasındaki korelasyon derecesini, mesafesini ve ilişki düzeyini ortaya koyan, karar alma mekanizmalarında kullanılan ve sonuç olarak dağılım verisi üretilen oldukça kullanışlı bir yöntemdir. (Saaty, 2004; Saaty & Vargas, 2012).

AHS'de işlem basamağının ilk sırasında kriterler arasında karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır. AHS matrisi, çalışmada kullanılan ana ve alt (alternatif) kriterlerin ilişki derecesini ortaya koyar. Karşılaştırmalarda, her bir kriterin etkileşim verisine çalışmanın hedefi doğrultusunda önem derecesi açısından kantitatif değerler verilir (Saaty, 1990). Karşılaştırma matrisinde n sayıdaki eleman n (n-1)/2 formülü ile hesaplanmaktadır. Daha sonra Bi verisi, aynı satırdaki tüm sayısal değerlerin toplanarak her bir elemanın sayısının n eleman sayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Yapılan bu matematiksel işlemler ile kriter ağırlıklarının belirlendiği C matrisi elde edilir.

$$B_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n}$$

Formüllerdeki C matrisinin normalleştirilmiş sayısal değerleri kriter ağırlığı ile hesaplanır. Kriter ağırlıkları yukarıda belirtilen W_i formülüne göre bulunmaktadır. AHS'de daha sonra C matrisinde bulunan verilerin toplam değerler sütunu ile çarpımı sonucu ağırlıklı toplam değeri (D_i) ortaya konur. Bütün işlemler sonucu, ana ve alt kriterlerin ağırlık değerleri, toplam ağırlık değerleri tespit edilmiş ve etki sıralaması bulunmuştur. AHS formüllerle

elde edilen etki değerlerinin yapılan analizlerin amacına uygunluğu ve kullanılabilirliği durumu, tutarlık indeksi (CI), tutarlık oranı (CR) ve rastgele indeksi (RI) ile açıklanmaktadır (Saaty, 2004). Tutarlık indeksinin (CI) hesaplanması için E_i değerinin bilinmesi gereklidir. E_i değeri, her kriterin ağırlıklı toplam değerlerinin (D_i) aynı verideki kriter ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan değerlerin ortalaması λ_{max} değerini verir. Ortaya konan değer tutarlılık indeksinde (CI) n değerleri ile hesaplanarak sonuç değeri bulunmaktadır. Rastgele indeksi ise Saaty (1980) tarafından ortaya konan kriter sayısına göre belirlenmektedir (Saaty, 1980).

$$E_i = \frac{D_i}{W_i} \quad (i, 1, 2, \dots, n) \quad \lambda = \sum_{i=1}^n E_i / n$$

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad CR = CI / RI$$

Tutarlık oranı (CR), tutarlılık indeksi (CI) sonucunun rastgele indeksi (RI) değerine bölünmesi ile tespit edilmektedir. Hesaplanan sonuç değeri 0,10'dan büyük ise karşılaştırmanın hatalı (tutarsız) olduğunu ve verinin kullanılmayacağını, eğer hesaplanan değer 0,10'dan küçük ise kriterler arasındaki karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu ve değerlerin amaca uygun şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir. Çalışmada antropojenik baskı yoğunluğu için 10 ana kriter arasında karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra 10 ana kriter ve 58 alt kriterin CR, CI ve RI değerleri hesaplanarak ArcGIS raster calculator aracı ile dağılış haritası üretilmiştir.

2.2. RUSLE Yöntemi ile Erozyon Duyarlılık Analizi

Günümüzde erozyon duyarlılığının modellenmesi ve dağılış verilerinin üretilmesinde CBS ve UA teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak birçok yöntem kullanılmaktadır (İmamoğlu vd., 2014; Haidara vd., 2019; Karakoca, 2025). İlk modellerden biri olan Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (Universal Soil Loss Equation-USLE) genel olarak tarımsal arazilerde birçok faktörü ele alarak bütüncül yaklaşımla erozyon duyarlılığını tahmin etmektedir (Sharma vd., 2025). Daha sonra bu yöntem Renard ve ark., (1994) tarafından geliştirilmiş ve revizyonların uygulanmasıyla RUSLE ismini almıştır (Renard vd., 1994). RUSLE modelinin avantajlı yanı sadece tarım alanı değil aynı zamanda diğer antropojenik faaliyetlerin olduğu sahalar ile orman ve çalılık alanlarda da erozyon duyarlılığını hesaplayabilmesidir (Danacıoğlu & Tağıl, 2017). Bu çalışmada da antropojenik baskı yoğunluğu erozyon ilişkisi temel alındığı için erozyon duyarlılığı analizinde RUSLE yöntemi kullanılmıştır. Yöntem, uzun dönemsel periyot kapsamında su etkisi ile oluşan yüzeysel erozyon sonucundaki toprak kaybını ton/hektar/yıl cinsinden hesaplamakta ve duyarlılık dağılışını ortaya koymaktadır (Renard vd., 2011). RUSLE yönteminde 6 temel faktör verileri ile analiz yapılmaktadır. RUSLE yöntemi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Renard vd., 1994).

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Yukarıdaki formülde, A, ortalama yıllık toprak kaybını ton/hektar/yıl cinsinden ifade eder, R, yağış aşındırma faktörünü, K, toprak erozyon duyarlılığı faktörü, LS, eğim uzunluğu ve dikliği faktörü, C, arazi örtüsü/arazi kullanım etki faktörü ve P, erozyon kontrol faktörüdür.

RUSLE modelinde kullanılan R faktörü, erozyonu etkileyen diğer etmenlerin sabit olduğu kabul edilerek,

toprak kayıplarının yağış verisi ile orantılı olduğu varsayımı ele alınmaktadır (Tağıl, 2007). K faktörü (yağış) erozyon indeksi ile hesaplanır. Bu hesaplamada yağışının toplam kinetik enerjisi ve maksimum yağış yoğunluğu ele alınarak gerekli işlemler yapılmaktadır. Ancak bu hesaplamada mutlaka incelenen alana ait yağış yoğunluğu ve yağış süresi biliniyorsa analiz gerçekleştirilebilir. Dünyada birçok ülkede yağış yoğunluğu verisi olmadığı için K faktörünü hesaplayabilmek amacıyla Arnolds (1977) tarafından geliştirilen ve özellikle CBS yazılımları ile uygulanabilen formül aşağıdaki kullanılmaktadır (Arnolds, 1977).

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735x10^{1.5Logpi2/p-0.8188}$$

Formülde R, Yağış aşındırma faktörü, P_i : Aylık ortalama yağış miktarı, P: Yıllık ortalama yağış miktarını ifade etmektedir.

Modeldeki K faktörü toprak türünün erozyon karşısındaki hassasiyet derecesini ifade etmektedir. K faktöründe toprağın yapısal özellikleri ve erozyon duyarlılık potansiyeli ele alınır. Çalışmada büyük toprak grupları verisi üzerinden Wischmeir ve Smith'in (1978) oluşturduğu standart grafikteki katsayı değerleri ele alınarak K faktörü hesaplanmıştır (Wischmeir & Smith, 1978).

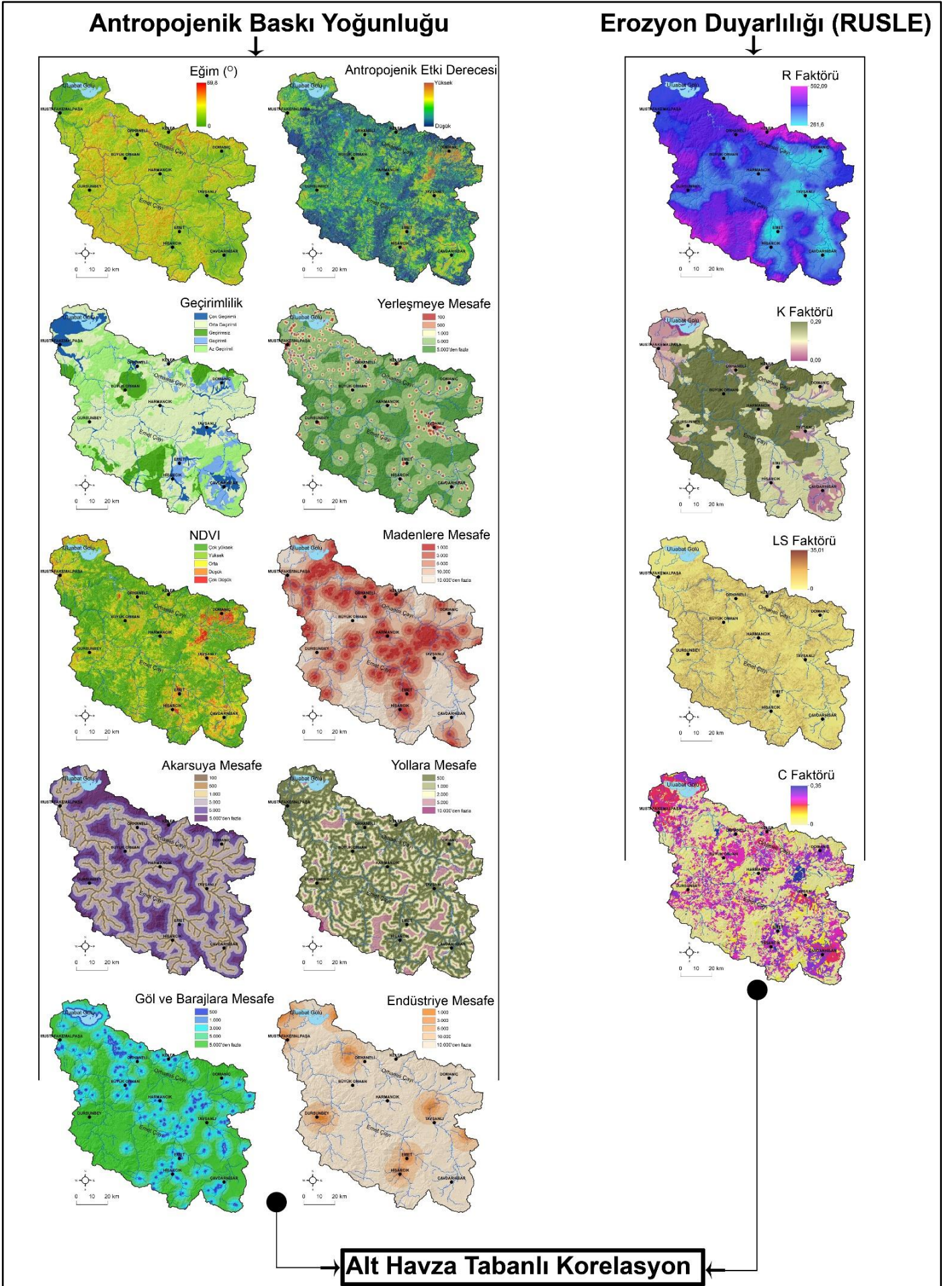
RUSLE modelinde LS faktörü eğim uzunluğu ve eğim dikliğini ifade etmektedir. Genel olarak eğim uzunluğu, eğim değerinin değişmediği bölgelerde eğim yöneliminin maksimum mesafesini, eğim dikliği ise eğimin erozyon üzerindeki potansiyel etki derecesini ortaya koymaktadır (Lu vd., 2004). Bu çalışmada, araştırma sahasının Sayısal Yükselti Modeli (SYM) verisi üzerinden ArcGIS 10.5 yazılımındaki raster calculator aracı kullanılarak aşağıdaki LS formülünün uygulanması ile hesaplamalar yapılmıştır.

$$LS = Power("Fac" * R/22,1,0.4) * Power(Sin("E" * 0.1745)/0.9,1.4) * 1.4$$

Formülde LS, eğim uzunluğu ve dikliğini, Fac, akım birikimini, R, SYM'nin çözünürlüğünü ve E, eğim şeklini ifade etmektedir (Moore & Burch, 1986).

Modeldeki C faktörü, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişkenlerinin erozyona karşı duyarlılık derecesini ifade etmektedir. Çalışmada C faktörü değerlerinin ortaya konması için ilk olarak 02.07.2024 tarihli Sentinel 2 MSI uydu görüntüsünün radyometrik çözünürlükleri ayarlanmış, daha sonra kontrollü sınıflandırma yöntemi ve maksimum olabilirlik ilişkisi sistematığı kullanılarak 9 farklı sınıf kapsamında arazi kullanımı/arazi örtüsü verisi üretilmiştir. Daha önce yapılan çalışmaların incelenmesi ile arazi kullanımı/arazi örtüsü sınıflarına katsayı değerleri girilmiştir (Danacıoğlu & Tağıl, 2017). Bu bakımdan yüzeyde mutlak suretle vejetasyonun bulunduğu, toprak nemin fazla olmasına neden olan örtülerin erozyonu en az indirdiği, yüzeydeki bitki örtüsünün kaldırıldığı çıplak arazilerde ise erozyon duyarlılığının arttığı varsayımı ele alınmıştır (Choi vd., 2013; Panagos vd., 2015).

RUSLE modelindeki P faktörü, erozyon kontrolünü etkileyen ve göreceli olarak değişkenlik gösteren parametreleri ifade etmektedir. Bu tür verilerde toprak korumaya yönelik uygulamaların eksikliğinin olması gibi sebeplerle hesaplanamayan P değeri için 1 sabit değeri kullanılmaktadır (Renard vd., 1994). Bu çalışmada da P faktörü değerinin belirlenme güçlüğünden dolayı 1 değeri kullanılmıştır.



Şekil 2. Antropojenik baskı yoğunluğu ve RUSLE yöntemi erozyon duyarlılık dağılımında kullanılan ana kriterler

3. Bulgular

3.1. Uluabat Gölü Drenaj Havzasının Antropojenik Baskı Yoğunluğu ve Erozyon Duyarlılığı Analizleri

Araştırmada ilk olarak Uluabat Gölü drenaj havzasının antropojenik baskı yoğunluğunun modellenmesi için 10 ana kriter ve 58 alt parametrenin AHS yöntemindeki katsayı değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1). AHS analizine göre

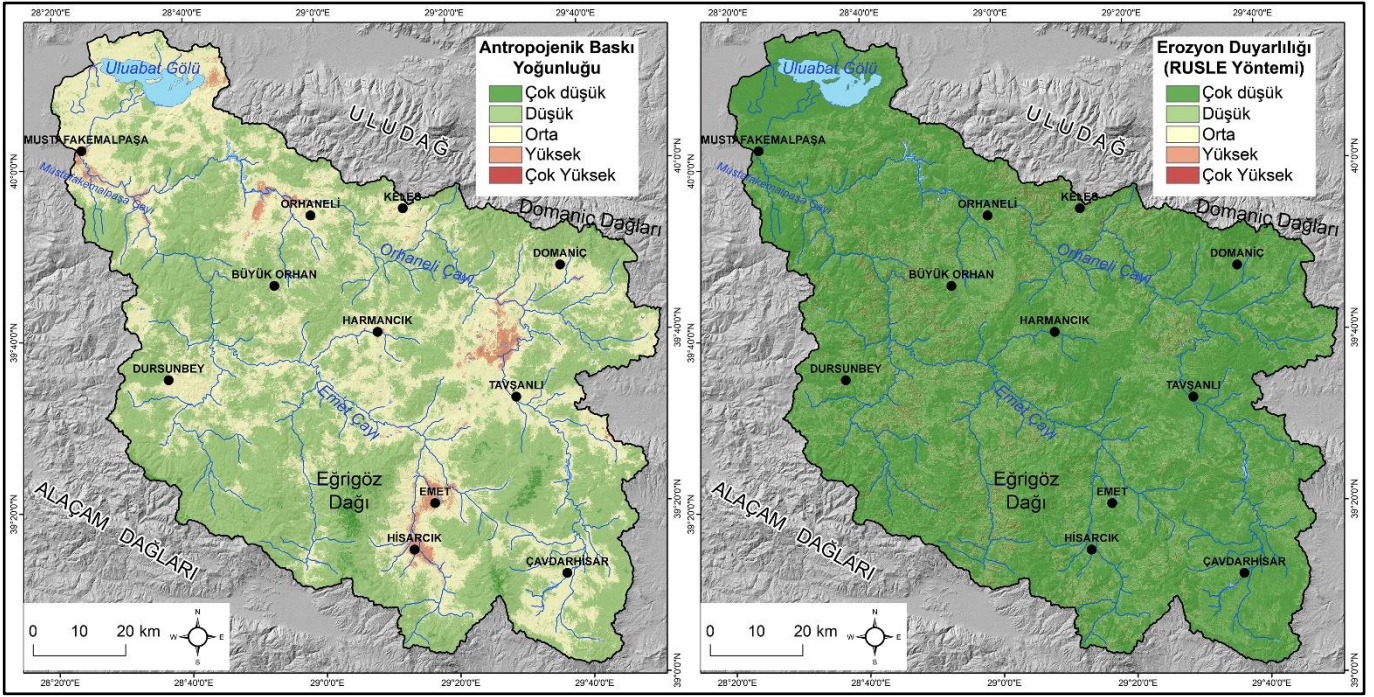
tutarlılık indeksi (CI) 0,056, tutarlılık oranı (CR) 0,038, rastgele indeksi (RI) 1,49 olarak hesaplanmış ve verilerin kullanılabilir olduğu ortaya konmuştur. Daha sonra ise RUSLE yöntemi ana kriter değerleri belirlenmiş ve havzanın piksel tabanlı olarak erozyon duyarlılık dağılışı ortaya konmuştur (Şekil 3).

Tablo 1. Antropojenik baskı yoğunluğu AHS yöntemindeki sayısal değerler

Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Ağırlığı	Ana ve Alt Kriterler	Kriter Ağırlığı	Toplam Kriter Ağırlığı
1) Eğim (°)	0,112	1,191	6) Antropojenik Etki Derecesi	0,307	3,34
0-2	0,024	0,19	1	0,024	0,19
2-5	0,034	0,27	2	0,034	0,27
5-10	0,049	0,402	3	0,049	0,402
10-15	0,073	0,604	4	0,073	0,604
15-20	0,107	0,89	5	0,107	0,89
20-30	0,156	1,32	6	0,156	1,32
30-40	0,227	1,94	7	0,227	1,94
40-69	0,326	2,77	8	0,326	2,77
CI:0,041 - CR: 0,029 - RI: 1,41			CI:0,041 - CR: 0,029 - RI: 1,41		
2) Geçirimsizlik	0,015	0,158	7) Yerleşmeye Mesafe (m)	0,082	0,858
Çok geçirimli	0,416	2,12	100	0,416	2,12
Geçirimli	0,261	1,33	500	0,261	1,33
Orta Geçirimli	0,161	0,814	1000	0,161	0,814
Az geçirimli	0,098	0,495	5000	0,098	0,495
Geçirimsiz	0,062	0,314	5000'den fazla	0,062	0,314
CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12			CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12		
3) NDVI	0,121	1,31	8) Madenlere Mesafe (m)	0,205	2,251
Çok yüksek	0,062	0,314	1000	0,416	2,12
Yüksek	0,098	0,495	3000	0,261	1,33
Orta	0,161	0,814	5000	0,161	0,814
Düşük	0,261	1,33	10000	0,098	0,495
Çok Düşük	0,416	2,12	10000'den fazla	0,062	0,314
CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12			CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12		
4) Akarsuya Mesafe (m)	0,41	0,420	9) Yollara Mesafe (m)	0,058	0,592
100	0,379	2,35	500	0,416	2,12
500	0,248	1,54	1000	0,261	1,33
1000	0,16	0,98	2000	0,161	0,814
3000	0,10	0,62	5000	0,098	0,495
5000	0,06	0,39	5000'den fazla	0,062	0,314
5000'den fazla	0,04	0,26	CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12		
CI:0,024 - CR: 0,019 - RI: 1,24					
5) Göle/Baraja Mesafe (m)	0,20	0,209	10) Endüstriye Mesafe (m)	0,29	0,293
500	0,416	2,12	1000	0,416	2,12
1000	0,261	1,33	3000	0,261	1,33
3000	0,161	0,814	5000	0,161	0,814
5000	0,098	0,495	10000	0,098	0,495
5000'den fazla	0,062	0,314	10000'den fazla	0,062	0,314
CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12			CI:0,017 - CR: 0,015 - RI: 1,12		

Uluabat Gölü akaçlama havzasında antropojenik baskı yoğunluğunun düşük olduğu sahalar havza toplam alanının %55'ini, orta düzeyde olduğu sahalar %42'sini ve yüksek düzeyde olduğu alanlar ise %3'ünü meydana getirmektedir. Araştırma sahasında antropojenik baskı yoğunluğu dağılışı bulguları değerlendirildiğinde, özellikle çok yüksek yoğunluğun olduğu sahaların Emet, Hisarcık ve Tavşanlı yakınlarındaki maden alanlarında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3). Yüksek yoğunluklar ise Uluabat Gölü'nün doğu kesimi, Mustafakemalpaşa, Çınarcık barajının güneydoğusu, Orhaneli, Tavşanlı'nın kuzeybatısındaki maden sahası, Emet ve Hisarcık yerleşmeleri yakınlarındaki maden sahalarında olduğu tespit edilmiştir.

Uluabat Gölü akaçlama havzasının RUSLE yöntemi ile yıllık toprak kaybı modellenmiştir. Bu modele göre havzada toprak kaybı miktarı 0 – 132,47 t/ha⁻¹/yıl⁻¹ arasında değişmektedir. Havzanın ortalama toprak kaybı miktarı 4,7 t/ha⁻¹/yıl⁻¹'dir. Havzada toprak kaybı miktarı ile erozyona duyarlı sahaların yüksek olduğu alanlar özellikle bitki örtüsünden yoksun ya da zayıf olduğu alanları ile eğimin daha dik yapıya sahip olduğu alanlardan oluşmaktadır (Şekil 3). Bu sahaların dışında madencilik faaliyetleri ya da farklı süreçlerle çıplak yüzeye dönüştürülmüş sahalarda erozyon duyarlılığın yüksek olduğu ya da toprak kaybı miktarının fazla olduğu diğer sahaları meydana getirmektedir.



Şekil 3. Uluabat Gölü havzasının antropojenik baskı yoğunluğu ve erozyon duyarlılık dağılışı.

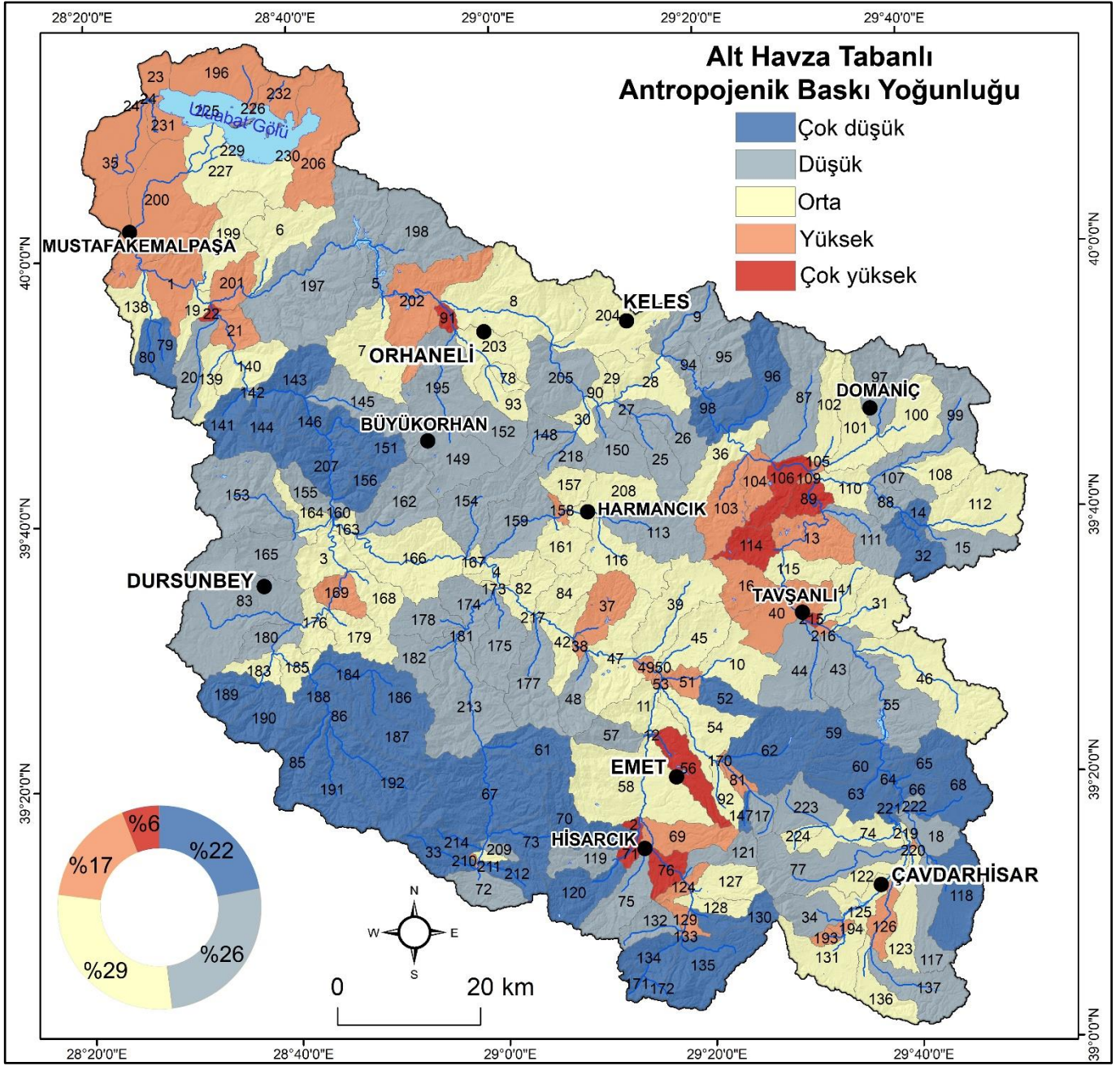
3.2. Alt Havza Tabanlı Analizler ve Korelasyon Durumu

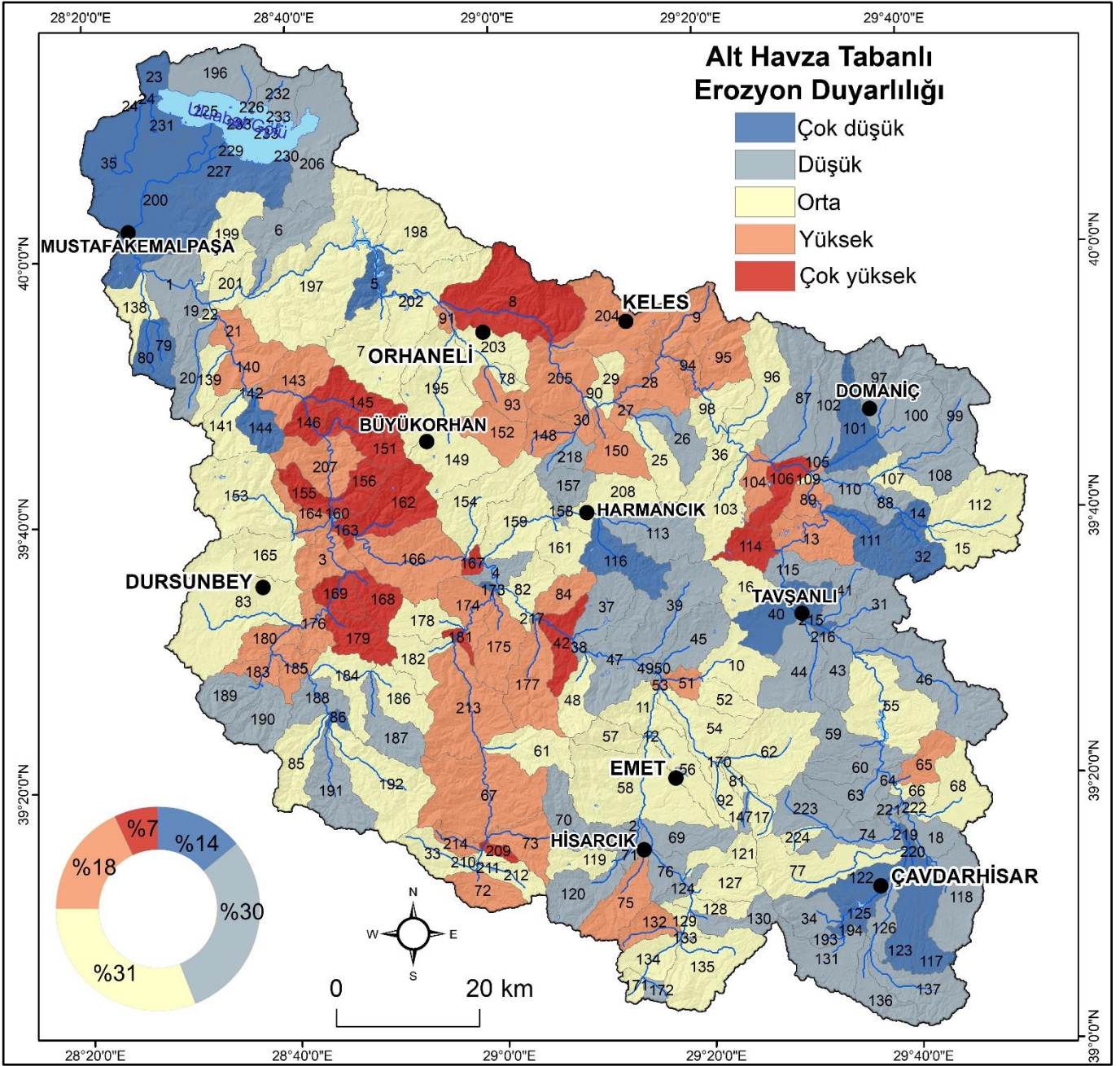
Çalışma sahasında antropojenik baskı yoğunluğu verileri 233 alt havza kapsamında ortalama değerleri alınarak analiz edilmiştir. Bulgulara göre antropojenik baskı yoğunluğunun çok düşük olduğu 52 alt havza, düşük dereceye sahip 61 alt havza, orta seviyede 69 alt havza saptanmıştır. Antropojenik baskı yoğunluğunun yüksek olduğu alt havza sayısı 39, çok yüksek olduğu alt havza sayısı 12 (2, 22, 56, 71, 76, 89, 91, 106, 105, 109, 114, 215 no'lu havzalar) olarak tespit edilmiştir. Antropojenik baskının çok düşük ve düşük olduğu alt havzalar toplam havza sayısının % 48'ini, orta seviyedeki alt havzalar %29'unu ve yüksek-çok yüksek seviyedeki havzalar ise 23'ünü meydana getirmektedir (Şekil 4). Yüksek-çok yüksek seviyede antropojenik deformasyon ve parçalanma stresi olan alt havzaların özellikle Tavşanlı, Hisarcık ve Emet yakınlarındaki maden sahalarını içine alan konsekant akarsu havzalarında olduğu saptanmıştır (Şekil 4). Yüksek antropojenik baskının olduğu diğer alt havzalar ise araştırma sahasının aşağı çıkırında özellikle eğimin azaldığı Karacabey depresyonu ve Uluabat Gölü çevresindeki alt havzalardır. Antropojenik baskı yoğunluğunun çok düşük seviyede olduğu alt havzalar, ana havzanın çerçevesini oluşturan yüksek dağlık (Domanic Dağları, Alaçam Dağları, Şaphane Dağı vd.) sahalardan kaynaklarını alan akarsuların oluşturduğu havzalardan meydana gelmektedir.

Uluabat Gölü drenaj havzasının RUSLE yöntemi ile modellenen erozyon duyarlılık dağılışı verileri ortalama değerler üzerinden 233 alt havza kapsamında kategorik

olarak sınıflandırılmıştır. Bu analize göre 33 alt havzada çok düşük, 69 alt havzada düşük, 70 alt havzada orta, 42 alt havzada yüksek ve 19 alt havzada (8, 42, 106, 114, 145, 146, 151, 155, 156, 160, 162, 163, 164, 167, 168, 169, 179, 181, 209 no'lu havzalar) çok yüksek düzeyde erozyon duyarlılığının olduğu saptanmıştır. Belirtilen kantitatif değerler toplam havza sayısı kapsamında incelendiğinde; çok düşük erozyon duyarlılığını sahip alt havzalar toplam havza sayısının %14'ünü, düşük kategoridekiler %30'unu, orta seviyedekiler %31'ini, yüksek seviyedekiler %18'ini ve çok yüksek seviyedekiler %7'sini meydana getirmektedir. Erozyon duyarlılığının çok yüksek olduğu alt havzalar Dümen Dağı, Bengi Dağı ve Orhaneli Çayı'nın yukarı kesimindeki alt havzalarda yoğunlaştığı saptanmıştır. Yüksek düzeyde erozyon duyarlılığının olduğu 42 alt havza özellikle Orhaneli Çayı ve Emet Çayı'nın orta kesimindeki konsekant akış gösteren akarsulardan oluşmuş alt havzalarda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).

Alt havzalardan en yüksek toprak kaybı miktarını ortalama $13,51 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ ile Dursunbey ilçe merkezinin güneydoğusundaki Emet Çayı'nın kolundan oluşan alt havzada (179 no'lu havza) ulaşılmaktadır. En düşük değere sahip ise Uluabat Gölü güney kesimindeki küçük alanlı havzalarda $0,027 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ değeri ile görülmektedir. Alt havzalarının ortalama toprak kaybı miktarı ise $4,55 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ değeri ile Uluabat Gölü drenaj havzasının tamamının ortalama değerinden ($4,7 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$) daha düşüktür. Alt havzalarından 130'u ortalamanın altında, 133'ü ise ortalamanın üstünde toprak kaybı miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

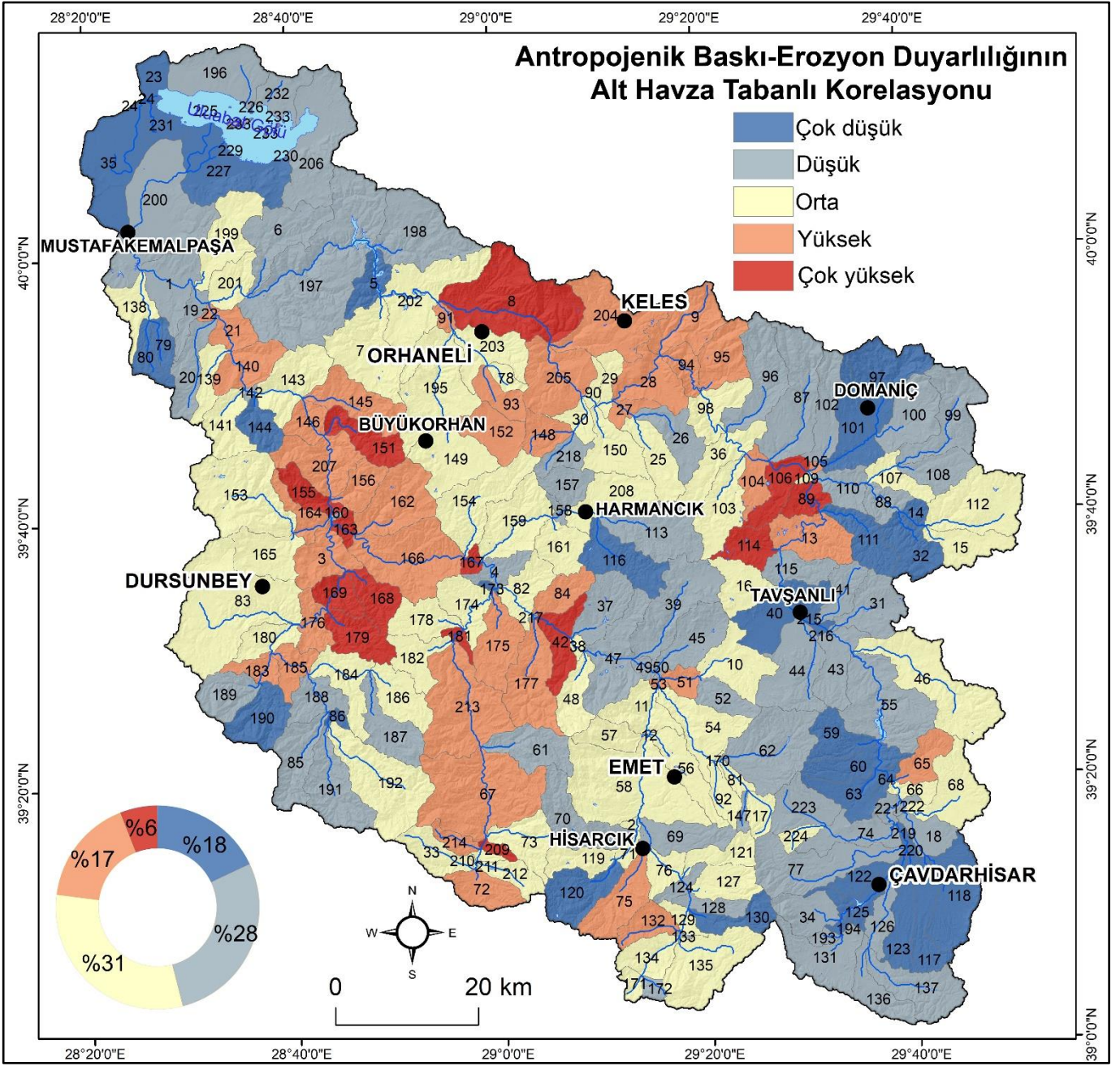




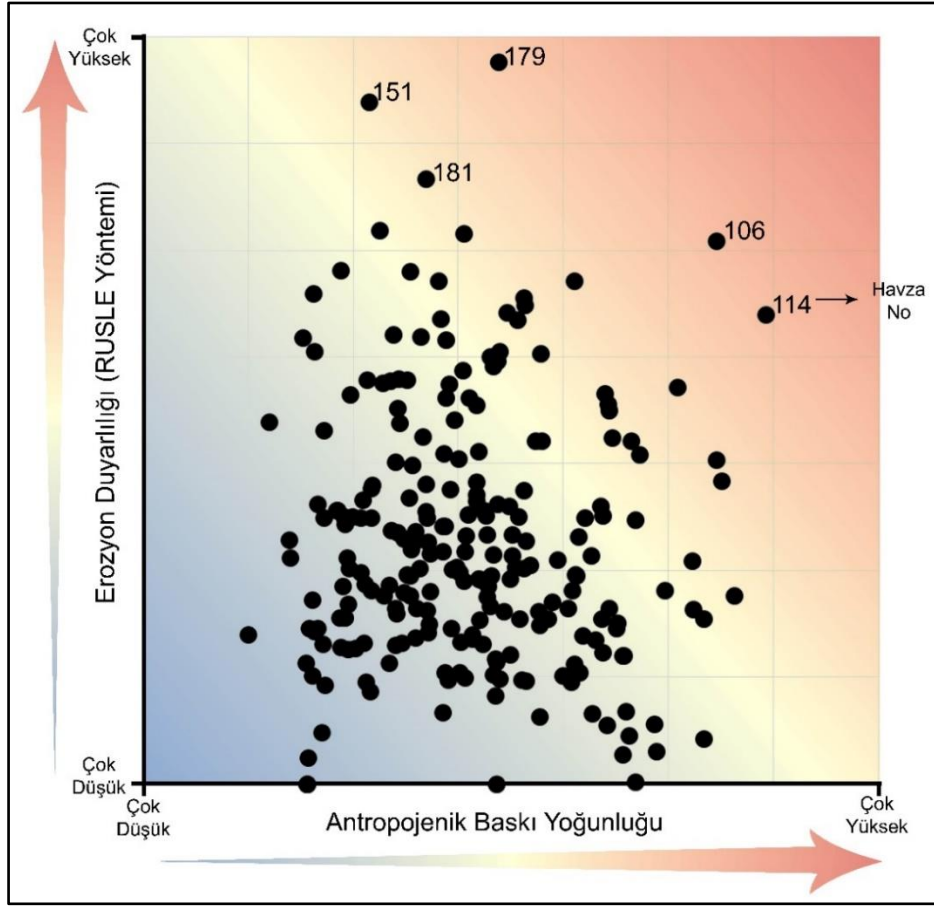
Şekil 5. Araştırma sahasının alt havza tabanlı erozyon duyarlılık dağılışı (haritadaki sayısal veriler havza numaralarını ifade etmektedir)

Antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığı verilerinin alt havza tabanlı analiz sonuçları korelasyon analizine tabi tutulup aralarındaki ilişki düzeyi saptanmıştır. Korelasyon analizine göre 41 alt havzada çok düşük, 66 alt havzada düşük, 71 adet alt havzada orta, 40 alt havzada yüksek ve 15 alt havzada çok yüksek korelasyon tespit edilmiştir (8, 42, 89, 106, 114, 151, 155, 160, 163, 167, 168, 169, 179, 181, 209 no'lu havzalar). Antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığı arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki barındıran çok yüksek ve yüksek düzeydeki alt havzalar, toplam alt havzaların %23'ünü oluşturmaktadır (Şekil 6). Alt havzaların % 46'sında antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığı arasındaki etkileşim ilişkisinin düşük çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Alt havzaların %31'inde ise korelasyon düzeyi orta kategoride yer almaktadır (Şekil 6, 7, 8).

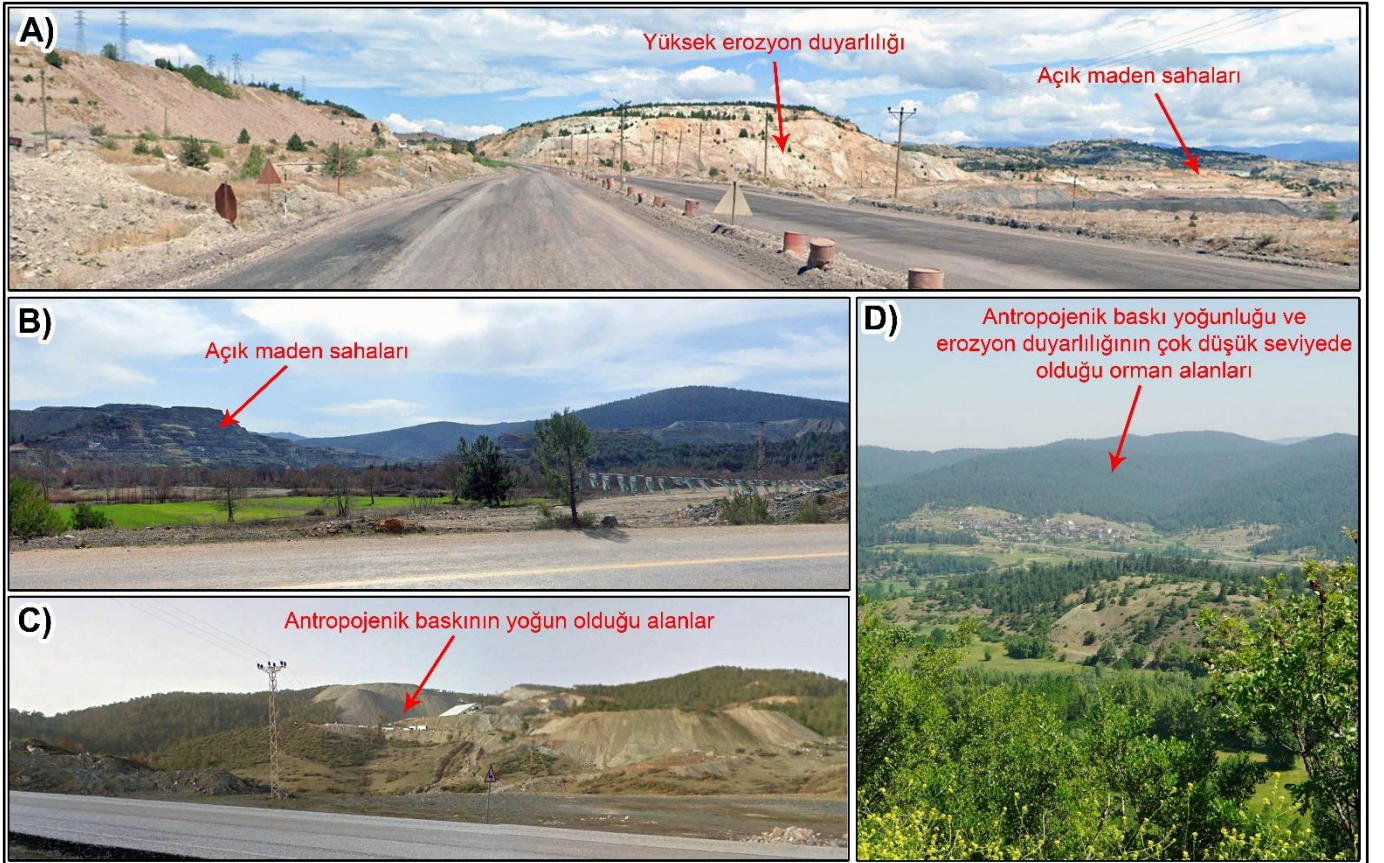
Korelasyon analizine göre antropojenik baskı yoğunluğu ile erozyon duyarlılığı arasındaki ilişkinin çok yüksek olduğu alt havzalar, Emet Çayı ve Orhaneli Çayı'nın genel havzalarında bulunmaktadır. Çok yüksek ve yüksek korelasyona sahip alt havzalarda özellikle maden sahalarının olduğu, yerleşim alanları ve tarım alanlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu havzaların bitki örtüsü yoğunluğunun (NDVI analizine göre) diğer havzalara göre az olması aynı zamanda eğim değerlerinin ortalamasının daha yüksek olması antropojenik baskı ile erozyon duyarlılığı ilişkisini arttıran diğer faktörlerdir. Korelasyon ilişkisinin çok düşük olduğu havzaların temel özelliği ise Uluabat Gölü çevresinde eğim oranının az olması, Ulus Dağı yakınlarındaki alt havzalarda bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olması, Çavdarhisar çevresinde ise eğim değerleri ile antropojenik baskı yoğunluğunun az olması etkili olmuştur.



Şekil 6. Araştırma sahasının antropojenik baskı yoğunluğu-erozyon duyarlılığı ilişkisinin alt havza tabanlı korelasyonu (haritadaki sayısal veriler havza numaralarını ifade etmektedir)



Şekil 7. Araştırma sahasının antropojenik baskı yoğunluğu-erozyon duyarlılığı ilişkisinin alt havza tabanlı korelasyon grafiği



Şekil 8. A) Tavşanlı ilçe merkezi kuzeyindeki açık maden sahaları (106 no'lu alt havza sınırları içerisinde), B) Orhaneli-Çörelers köyü yolundan batıya bakış, C) Dursunbey ilçe merkezi doğusu D230 karayolu yakınlarındaki açık maden sahaları, D) Orhaneli-Girecik yakınlarındın Dümen Dağı'na bakış

4. Sonuç

Bu çalışmada, CBS ve UA tekniklerinin yardımıyla birçok alt kriter verileri kullanılarak Uluabat Gölü drenaj havzasının antropojenik baskı yoğunluğu dağılışı ile erozyon duyarlılık verileri üretilmiş, daha sonra bu verilerin etkileşim boyutu alt havza kapsamında incelenmiştir. Araştırmada antropojenik baskı yoğunluğunun tespit edilmesi için 10 ana kriter (eğim, antropojenik etki, geçirimsizlik, yerleşmeye mesafe, NDVI, madenlere mesafe, akarsuya mesafe, yollara mesafe, göl ve barajlara mesafe, endüstriye mesafe) ve 58 alt kriter verisi AHS yöntemi ile analiz edilmiş, piksel tabanlı olarak dağılışı haritası oluşturulmuştur. Elde edilen veri sonuçları özellikle Orhaneli batısında, Tavşanlı kuzeyinde, Emet ve Hisarcık çevresindeki maden sahalarında doğal ortam koşullarında antropojenik baskı yoğunluğunun fazla olduğunu göstermiştir. Havzanın dış çerçevesini oluşturan yüksek kütlelerde ise baskı yoğunluğunun çok düşük olduğu saptanmıştır. Çalışmanın diğer basamağında RUSLE yöntemi kullanılarak Uluabat Gölü'nün toprak kaybı miktarı ve erozyon duyarlılık şiddeti verisi elde edilmiştir. RUSLE yöntemine göre havzanın ortalama toprak kaybı miktarı $4,7 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ 'dir. Toprak kaybı ve erozyon duyarlılığının yüksek düzeyde olduğu sahalar, bitki örtüsünden yoksun olan, maden sahalarına yakın alanlardaki eğimin yüksek olduğu sahalarda tespit edilmiştir. Araştırmada her iki ana veri daha sonra 233 alt havza kapsamında ortalama değerler üzerinden analiz edilmiş ve doğal kırılım yöntemi ile 5 kategorik sınıfa ayrılmıştır. Analiz sonuçlarına göre çok yüksek-yüksek düzeyde antropojenik baskı yoğunluğunun olduğu alt havza oranı toplam alt havzalarının %23'ünü oluşturmaktadır. Belirtilen oransal değerler erozyon duyarlılığı alt havza analizinde ise % 25 olarak saptanmıştır. Her iki verinin korelasyon sonuçları, 40 alt havzada yüksek, 14 alt havzada çok yüksek düzeyde pozitif ilişkili olarak saptanmıştır. Bu veriler toplam alt havzanın %23'ünde korelasyonun yüksek olduğunu göstermektedir. Alt havzaların dağılışı incelendiğinde, Uluabat Gölü havzası yukarı çığırını oluşturan Orhaneli ve Emet çaylarının özellikle madencilik faaliyetlerini barındıran alt havzalarında antropojenik baskı yoğunluğunun artmasının erozyonu ve dolayısıyla toprak kaybını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular özellikle havza yönetimi ve planlaması açısından korelasyonun yüksek olduğu havzaların (106, 114, 151, 179 ve 181 no'lu havzalar başta olmak üzere) önceliklendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bütüncül bakış açısı ile yönetim planlaması gereken havzalarda özellikle yukarı kesimlerde meydana gelecek sorunların havzanın mansap kısımlarında kümülatif taşınma ve birikme ile daha büyük boyutlara gelebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bakımdan memba ve dış drenajını Ramsar sulak alan sözleşmesi kapsamında yer alan Uluabat Gölü'nün beslediği ve içerisinde yer aldığı bu geniş alanlı havzada özellikle alt havza kapsamında elde edilen bulguların birçok (alt ve üst ölçekli) yönetim-planlama çalışmalarında kullanılması faydalı olacaktır.

Araştırmacıların katkı oranı

S. Murat Uzun: Literatür taraması, Analiz ve Görselleştirme, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Amobichukwu, C. A. & Mossa, J. (2024). Machine learning insights of anthropogenic and natural influences on riverbed deformation in a large lowland river. *Geomorphology*, 446, 108986. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108986>
- Arnolds, H.M.J. (1977). *Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Soils Bulletin.
- Asgari, M. A. (2021). Critical review on scale concept in GIS-based watershed management studies. *Spatial Information Research*, 29, 417–425. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00361-7>
- Bremer, L. L., Hamel, P., Ponette-González, A. G., Pompeu, P. V., Saad, S.I. & Brauman, K. A. (2020). Who are we measuring and modeling for? Supporting multilevel decision-making in watershed management. *Water Resources Research*, 56, 1-18. <https://doi.org/10.1029/2019WR026011>
- Bruno, L., Meli, M. & Garberi, M. L. (2024). Human-induced landscape modification in the in the last two centuries in the Po delta plain (Northern Italy). *Anthropocene*, 48, 100453. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100453>
- Chen, T., Niu, R. Q., Li, P., X., Zhang, L. P. & Du, B. (2010). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS and remote sensing: A case study in Miyun Watershed, North China. *Environmetal Earth Science*, 63, 533–541 <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0715-z>
- Choi, C-H., You, J-H. & Jung, S-G. (2013). Estimation of danger zone by soil erosion using RUSLE model in Gyeongju National Park. *Korean J. Environ. Ecol.*, 27(5), 614-624. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2013.27.5.614>
- Crutzen, P.J. & Stoermer, E.F. (2000) The anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41, 17-18.
- Danacıoğlu, Ş. & Tağıl, Ş. (2017). Bakırçay Havzası'nda rusle modeli kullanarak erozyon riskinin değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(37), 1-18.
- Darghouth, S., Ward, C., Gambarelli, G., Styger, E. & Roux, J. (2008). *Watershed management approaches, policies, and operations: Lessons for scaling up*. The World Bank. <https://hdl.handle.net/10986/17240>
- Demirağ Turan, İ., Özkan, B. & Dengiz, O. (2020). Bulanık mantık analitik hiyerarşik süreç (BAHS) ile Sinop ili erozyon duyarlılığının mekânsal dağılımının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (75), 57-70 <https://doi.org/10.17211/tcd.716914>
- De Montis, A., Martín, B., Ortega, E., Ledda, A. & Serra, V. (2017). Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy*, 64, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.028>
- De Filippi, F.M. & Sappa, G. (2024). The simulation of Bracciano Lake (Central Italy) levels based on hydrogeological water budget: A tool for lake water management when climate change and anthropogenic impacts occur. *Environmental Processes*, 11, 8. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00688-5>
- Ellis, E. C. (2017). Physical geography in the anthropocene. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 41(5), 525- 532. <https://doi.org/10.1177/030.913.3317736424>
- Ertek, A. (2023). *Antroposen, antroposfer: Antropojenik jeomorfoloji*. Pegem Yayınevi.
- Garipağaoğlu N. & Uzun, M. (2019). İznik Gölü Havzası'nda doğal ortam koşulları, değişimler ve muhtemel risklerin havza yönetimi ve planlamasına etkisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 24(42), 1-15. <https://doi.org/10.17295/atauniddc.621776>
- Garipağaoğlu, N. & Uzun, M. (2021). Development stages of basin management and different models. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 43, 338-357. <https://doi.org/10.32003/igge.816758>
- Gibbs, H. K. & Salmon, J. M. (2015). Mapping the world's degraded lands. *Applied Geography*, 57, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024>
- Grigg, N.S. (1999). Integrated water resources management: Who should lead, who should pay? *Journal of the American Water*

- Resources Association*, 35(3), 527-534. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03609.x>
- Güney, Y. & Turoğlu, H. (2018). Çok ölçütlü karar analizi ile erozyon duyarlılık çalışmalarında erozyon yüzeyleri envanter verisinin kullanımı: Selendi Çayı Havzası örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(1), 105-119.
- Haidara, I., Tahri, M., Maanan, M. & Hakdaoui, M. (2019). Efficiency of fuzzy analytic hierarchy process to detect soil erosion vulnerability. *Geoderma*, 354, 113853.
- He, C. (2003). Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management. *Environmental Modelling & Software*, 18(8-9), 809-813. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00080-X](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00080-X)
- Head, M.J., Zalasiewicz, J.A., Waters, C.N., Turner, S.D., Williams, M., Barnosky, A.D., Steffen, W., Wagreich, M., Haff, P.K., Syvitski, J. & Leinfelder, R. (2022). The proposed anthropocene epoch/series is underpinned by an extensive array of mid-20th century stratigraphic event signals. *Journal of Quaternary Science*, 37(7), 1181-1187. <https://doi.org/10.1002/jqs.3467>
- İmamoğlu, A., Turan Demirağ, İ., Dengiz, O. & Saygın, F. (2014). Soil erosion risk evaluation: Application of corine methodology at Engiz Watershed, Samsun. *Current Advances in Environmental Science*, 2(1), 15-21.
- Jens, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Karabulut, M. & Küçükönder, M. (2008). Kahramanmaraş ovası ve çevresinde CBS kullanılarak erozyon alanlarının tespiti. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 14-22.
- Karakoca, E. (2025). CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile ICONA modeli kullanılarak Katrancı Çayı Havzası'nda (Haymana, Ankara) toprak erozyonu duyarlılığı değerlendirmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (14), 126-145. <https://doi.org/10.46453/jader.1653839>
- Katusiime, J. & Schütt, B. (2020). Linking land tenure and integrated watershed management-a review. *Sustainability*, 12(4), 1667-1678. <https://doi.org/10.3390/su12041667>
- Ke, C., He, S. & Qin, Y. (2023). Comparison of natural breaks method and frequency ratio dividing attribute intervals for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82, 384. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03392-0>
- Koontz, T. M. & Newig, J. (2014). From planning to implementation: Top-down and bottom-up approaches for collaborative watershed management. *Policy Studies Journal*, 42(3), 416-442. <https://doi.org/10.1111/psj.12067>
- Luengo, M. S., D'Amico, G., Pommarés, N. & Fucks, E. (2025). Natural and anthropogenic processes and landforms in the eastern sector of the Buenos Aires province, Argentina (from pleistocene to anthropocene). *Anthropocene*, 49, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100457>
- Lu, D., Li, G., Valladares, G. & Batistella, M. (2004). Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: Using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*, 15, 499-512.
- Mallick, M., Krishnaiah, Y.V. & Panja, K. (2025). Assessment of the soil erosion susceptibility zones in tea plantation areas of Jalpaiguri district, India: An integrated approach of RUSLE and WLC model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 53, 1855-1874. <https://doi.org/10.1007/s12524-024-02078-8>
- Marouf, Z., Derdous, O., Benmamar, S. & Tachi, S. H. (2025). Water erosion susceptibility assessment using RUSLE, AHP and ANN: A comparative study in the Cheliff Basin—Algeria. *Eurasian Soil Science*, 58(39), 1-13. <https://doi.org/10.1134/S1064229324602063>
- Montgomery, D.R., Grant, G.E. & Sullivan, K. (1995). Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. *Journal of the American Water Resources Association*, 31(3), 369-386.
- Moore, I. & Burch, G. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Society of America Journal*, 50, 1294 – 1298.
- Mudliar, P. & Koontz, T. M. (2021). Locating power in Ostrom's design principles: Watershed management in India and the United States. *Society & Natural Resources*, 34(5), 35-45 <https://doi.org/10.1080/08941920.2020.1864535>
- Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J. & Marshak, A. L. (1995). The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 481-486.
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ ilinde CBS tabanlı RUSLE modeli kullanarak erozyon risk değerlendirmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(3), 45-56.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48, 38-50.
- Pande, C.B. (2020). Watershed management and development. In *Sustainable Watershed Development: A case study of semi-arid region in Maharashtra state of India* (pp. 13-26). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_2
- Prodanovic, P. & Simonovic, S.P. (2010). An operational model for support of integrated watershed management. *Water Resour Manage*, 24, 1161-1194. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9490-6>
- Renard, K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R. & McCool, D.K. (1994). The revised universal soil loss equation. In R. Lal (Ed.), *Soil erosion research methods* (pp. 105-126). Soil and Water Conservation Society.
- Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T. & Dabney, S.M. (2011). Universal soil loss equation and revised universal soil loss equation. In R.P.C. Morgan & M.A. Nearing (Eds.), *Handbook of erosion modelling* (pp. 137-167). Wiley-Blackwell.
- Romanillos, G., Robazza G. & Lovato, F., (2024). A fragmented world: Mapping the global extent of anthropogenic landscape fragmentation. *Journal of Maps*, 20(1), 2307539, <https://doi.org/10.1080/17445647.2024.2307539>
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- Saaty, T. L. (2004). Decision making-The analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1-35. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- Saaty, T. L. & Vargas, L.G. (2012). *Model, methods concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Springer.
- Selçuk Biricik, A. (2009). Fiziki coğrafya – jeomorfoloji ile hidrolojinin temel prensipleri ve araştırma yöntemleri (Cilt 1). Gonca Yayınevi.
- Sharma, Y., Sajjad, H. & Saha, T.K. (2025). Soil loss estimation and susceptibility analysis using RUSLE and random forest algorithm: A case study of Nainital district, India. *Spatial Information Research*, 33, 21. <https://doi.org/10.1007/s41324-025-00620-5>
- Sofia, F., Marinello, F. & Tarolli, P. (2016). Metrics for quantifying anthropogenic impacts on geomorphology: Road networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41, 240-255. <https://doi.org/10.1002/esp.3842>
- Steffen, W., Grinevald, J. & Crutzen, P. (2011). The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 369, 842-867. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>
- Sud, A., Sajjan, B., Kanga, S., Singh, S. K., Singh, S., Durin, B., Kumar, P., Meraj, G., Sahariah, D., Debnath, J. & Chand, K. (2024). Integrating RUSLE model with cloud-based geospatial analysis: A google earth engine approach for soil erosion assessment in the Satluj Watershed. *Water*, 16(8), 1073. <https://doi.org/10.3390/w16081073>

- Swain, S.S., Mishra, A., Sahoo, B. & Chatterjee, C. (2020). Water scarcity-risk assessment in data-scarce river basins under decadal climate change using a hydrological modelling approach. *Journal of Hydrology*, 590, 1-53. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125260>
- Szabó, J., David, L. & Loczy, D. (2010). Anthropogenic geomorphology: A guide to man-made landforms. Springer.
- Tağlı, Ş. (2007). Tuzla Çayı Havzası'nda (Biga Yarımadası) CBS-tabanlı RUSLE modeli kullanarak arazi degradasyonu risk değerlendirmesi. *Ekoloji Dergisi*, 17(65), 11-20.
- Tarolli, P. & Sofia, G. (2016). Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*, 255, 140-161. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.007>
- Tarolli, P., Cao, W., Sofia, G., Evans, D. & Ellis, E. (2019). From features to fingerprints: A general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(1), 95-128. <https://doi.org/10.1177/0309133318825284>
- Taşoğlu, E., Öztürk, M. Z. & Yazıcı, Ö. (2024). High resolution Köppen-Geiger climate zones of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 44(14), 5248-5265. <https://doi.org/10.1002/joc.8635>
- Uzun, M. & Garipağaoğlu, N. (2022). Mekânsal otokorelasyon ve kümeleme analizi yaklaşımı ile Göksu Çayı Havzası'nın (Sakarya Nehri Havzası) bütünlük ve sürdürülebilir havza yönetim modeli. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 23-38. <https://doi.org/10.17211/tcd.1173420>
- Uzun, M. (2024). Yenişehir (Bursa) Havzası'nın coğrafi karakterizasyonuna dayalı jeoekolojik risk duyarlılığı analizi. *International Journal of Geography and Geography Education*, (51), 85-114. <https://doi.org/10.32003/igge.1326841>
- Uzun, M. (2024). Uluabat Gölü yüzey alanının zamansal değişim analizi üzerinden DSAS ve yapay sinir ağları modellerine göre gelecek tahminleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (86), 25-43. <https://doi.org/10.17211/tcd.1481187>
- Vojtek, M. & Vojtekova, J. (2016). GIS-Based approach to estimate surface runoff in small catchments: A case study. *Quaestiones Geographicae*, 35(3), 97-116. <https://doi.org/10.1515/quageo-2016-0030>
- Vulević, T. & Dragović, N. (2017). Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. *International Soil and Water Conservation Research*, 5, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.01.003>
- Wang, L., Meng, W., Guo, H., Zhang, Z., Liu, Y. & Fan, Y. (2006). An interval fuzzy multiobjective watershed management model for the Lake Qionghai Watershed, China. *Water Resour Manage*, 20, 701-721. <https://doi.org/10.1007/s11269-005-9003-1>
- Wischmeir, W.H. & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. Science and Education Administration.
- Zhang, K., Feng, R., Han, J., Zhang, Z., Zhang, H. & Liu, K. (2023). Temporal and spatial differentiation characteristics of ecosystem service based on the ecogeographical division of China: A case study in the Yellow River Basin, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 8317-8337. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22748-9>



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>