MEMBA Su Bilimleri Dergisi

https://dergipark.org.tr/tr/pub/memba

RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini; Atikhisar Barajı Havzası Örneği (Çanakkale)

Melike Durak[1*] **İsa Cürebal**[2]

Özet: Türkiye'nin kuzeybatısında Çanakkale ili sınırları içinde bulunan Atikhisar barajı havzası, 336.3 km^2 yüzölçümüne sahiptir. Bu çalışma, Atikhisar barajı havzasının toprak erozyonu duyarlılığı ile dağılışının belirlenmesi, aynı zamanda yıllık ortalama toprak kaybı miktarının tahmini amacıyla yapılmıştır. Bu amaca ulaşmak için Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) kullanılmıştır. Denklemin havzaya uygulanabilmesi için havzanın yağış, toprak, arazi kullanımı, eğim uzunluk ve eğim diklik ve erozyon önleyici faktörler gibi erozyonu etkileyen parametrelere ait haritalar üretilmiştir. Sonrasında bu haritalar çakıştırılarak hesaplamalar yapılmış ve erozyon duyarlılık sınıfları oluşturulmuştur. Böylece erozyon duyarlılık sınıflarının mekânsal dağılımı ile yıllık tahmini toprak kaybı miktarı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Atikhisar Barajı havzasında çok hafif, hafif, orta şiddetli, şiddetli ve çok şiddetli olarak ayırt edilen beş farklı grupta erozyon duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır. Buna göre havzanın %31.1'inde çok hafif, %34.2'sinde hafif, %5.0'inde orta şiddetli, %7.8'sinde şiddetli ve son olarak %21.9'unda ise çok şiddetli erozyon duyarlılığı tespit edilmiştir. Ortalama bir hesap ile 11.7 ton / ha / yıl erozyon duyarlılığı hesaplanmıştır. Atikhisar barajı havzasında hesaplanan erozyon duyarlılığı, Türkiye ortalaması olarak hesaplanan 8,24 ton/ha/yıl değerinden yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toprak Erozyonu, Siltasyon, Atikhisar Barajı, RUSLE, Coğrafi Bilgi Sistemleri

Soil Erosion Estimation Using the RUSLE (3D) Model: The Case of the Atikhisar Dam Basin (Çanakkale)

Abstract: The Atikhisar dam basin, located within the borders of Çanakkale province in northwestern Turkey, has a surface area of 336.3 km². This study was carried to determine the soil erosion susceptibility and distribution of the Atikhisar Dam Basin, as well as to estimate the annual average soil loss. To achieve this objective was used the Geographic Information System-based Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). To apply the equation to the basin, were created to data layers rainfall, soil, land use, slope length, slope steepness, and erosion control factors. Subsequently, the layers were overlayed, calculations were made, and erosion susceptibility classes were created. Thus, the spatial distribution of erosion susceptibility classes and the estimated annual soil loss amount were determined. As a result of the study, five erosion susceptibility classes, distinguished as very low, low, moderate, severe, and very severe, were defined in the Atikhisar Dam Basin. Accordingly, very low erosion susceptibility was calculated in 31.1% of the basin, low in 34.2%, moderate in 5.0%, severe in 7.8%, and very severe in 21.9%. An average calculation resulted in an erosion susceptibility of 11.7 tonnes/ha/year. The erosion susceptibility calculated in the Atikhisar dam basin was found to be higher than the Turkiye average value of 8.24 tonnes/ha/year.

Keywords: Soil Erosion, Siltation, Atikhisar Dam, RUSLE, Geographical Information Systems

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Balıkesir / Türkiye
2 Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü
***Sorumlu yazar:**
durakmelike1919@gmail.com

Alıntı: Durak, M., Cürebal, İ. (2025). RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini; Atikhisar Barajı Havzası Örneği (Çanakkale), Memba Su Bilimleri Dergisi, 11 (1). 138-151.
https://doi.org/10.58626/memba.1655532

Başvuru Tarihi: 11 Mart 2025
Kabul Tarihi: 20 Mart 2025
Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Barajlar, başta temel su ihtiyacı olmak üzere elektrik üretimi, taşkın kontrolü vb., gibi çeşitli amaçlarla yapılmaktadır. Baraj havzaları, doğal veya antropojenik kökenli değişikliklere karşı hassas bir ekosisteme sahiptir (Soukhaphon vd., 2021). Yapılış amacına göre değişkenlik göstermekle birlikte sağladığı faydalara bağlı olarak dünya ekonomisi için hayati bir öneme sahiptir (Snyder vd., 2004). Barajların ekonomik ömürleri rezervuarlarının siltasyonla dolması için gerekli sürenin uzunluğu ile ilgilidir (Palmieri vd., 2001). Erozyon olayının doğal bir sonucu olan siltasyon, dünyada ve Türkiye'de yaygın olarak görülen (Atalay, 1983) ve barajların ekonomik ömrünü kısaltan önemli bir jeomorfolojik problemdir (Efe vd., 2008a; Efe vd., 2008b; Cürebal vd., 2012). Rezervuar ömrünün uzunluğu üzerinde belirleyici role sahip olan erozyon ve siltasyon gibi parametreler tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Dutta, 2016). Toprak erozyonu, siltasyon ve sediment verimini tahmin etmeye dayalı çeşitli modeller geliştirilmiştir. Günümüzde genel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı geliştirilen bu modeller, fiziksel, ampirik, kavramsal ve hibrit modeller olarak dört gruba ayrılır (Dutta, 2016). Ampirik modellerin havza ölçeğinde kolaylıkla uygulanabilirliğine bağlı olarak baraj havzalarında siltasyon birikiminin tahminlerinde bu modellerden yararlanılmaktadır (Özşahin, 2016). USLE (Universal Soil Loss Equation) ailesine ait ampirik modeller gerek dünyada (Borrelli vd., 2020) gerekse Türkiye'de (Özşahin vd., 2019) yaygın olarak uygulanan toprak erozyonu tahmin modellerindendir (Özşahin, 2014; Özşahin, 2016; Özşahin vd., 2018; Özşahin, 2024). Bu model ailesine ait RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) az bir veriyle pratik bir şekilde hesaplama yapabilmesinden dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Özellikle son yıllarda, yerbilimciler arasında USLE ailesine ait erozyon modelleri kullanılarak baraj havzalarında siltasyon, sediment verimi ve toprak erozyonu tahminine yönelik çalışmalar artmıştır (Snyder vd., 2004; Dutta, 2016). Sadece Web of Science veritabanında RUSLE modelini konu alan 2437 çalışma mevcut olup bu çalışmaların 1235 tanesi (%50.7) son 5 yıla aittir. Baraj havzalarında RUSLE modelini konu alan çalışmaların sayısı ise 129 olup bu çalışmaların 77'si (%59.7) son 5 yıl içinde yapılmıştır. Örneğin; Thiet vd., 2012, Lazzari vd., 2015, Luo vd., 2019, Bhatti vd., 2021, Kifelew vd., 2022 ve Mahmood vd., 2023 yaptıkları çalışmalarda baraj havzalarında RUSLE modeli kullanarak toprak erozyonu tahminleri yapmışlardır. Ülkemizde baraj havzalarında RUSLE modelini kullanarak toprak erozyonu tahmini yapılan çalışmalara, Fıçıcı 2021, Fıçıcı ve Soykan, 2022, Atalay Dutucu ve Mutlu 2022, Özşahin, 2023; Özşahin, 2024, örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar sonucunda rezervuarların siltasyon yönetimi, sürdürülebilirliği ve tasarım ömrünün uzatılması için önemli veriler elde edilebilir (Miranda vd., 2021).

İnceleme alanı ile ilgili literatür incelendiğinde erozyonu konu alan bir çalışma tespit edilmemiştir. Daha çok göl alanındaki değişimler (Kale ve Acarlı, 2019a; Kale ve Acarlı, 2019b; Ilgar, 2010), meteorolojik ve hidrolojik kuraklığa bağlı değişimler (Özelkan ve Karaman, 2018; Özelkan, 2019), göl batimetrisinin belirlenmesi (Öztürk, 2022), ekolojik risk (Fural vd., 2021), sürdürülebilirlik (Toptepe, 2011), çevresel ve ekonomik etkiler (Koca, 2005) başlıkları incelemeye konu olmuştur.

Bu çalışma, Türkiye'nin kuzeybatısında Çanakkale ili sınırlarında yer alan Atikhisar barajı havzasının toprak erozyonunu kontrol eden parametrelerinin değerlendirilmesi, toprak erozyon miktarının tahminini ve haritalanmasını amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşılabilmesi için RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yöntemi tercih edilmiştir.

1.1. İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

Atikhisar barajı havzası Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara bölgesinin batısında, Çanakkale ili sınırları içinde kalmaktadır. Baraj Çanakkale boğazına dökülen Sarıçay üzerine kurulmuş olup, havza 336.3 km2 yüzölçümüne sahiptir. Baraja ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Atikhisar barajının özellikleri

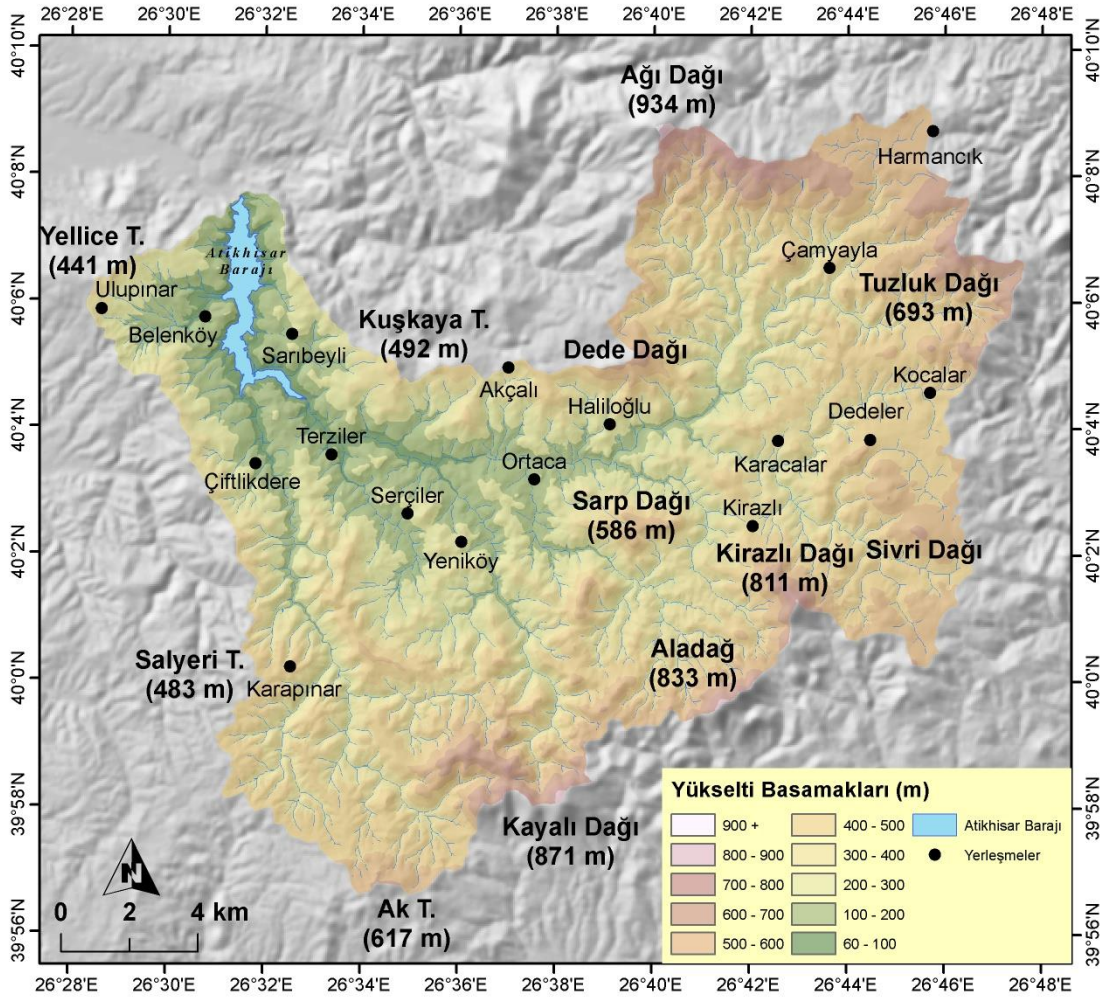
Yağış Havzası	Minimum Su Seviyesi	Minimum Su Seviyesindeki Hacim	Aktif Hacim	Rüsubat Durumu
337	38 (m)	3.90 hm^3	55.70 hm^3	250 $m^3/km^2/yıl$

*D.S.İ. Atikhisar Barajı Planlama Raporu (1967).

Havzada çoğunlukla Neojen'e ait volkanik kayaçlar yaygındır. Andezit, dasit, tüf, aglomera yaygın kayaç türleridir. Havzanın güneyinde ise Permiyen – Triyas'a ait metamorfik kayaçlar gözlenmektedir.

İnceleme alanında Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında kalan geçiş iklimi hakimdir. İnceleme alanı içinde meteoroloji istasyonu yoktur. İnceleme alanına en yakın meteoroloji istasyonu olan Çanakkale rasatlarına göre yıllık ortalama sıcaklık 15.2 °C, yıllık toplam yağış ise 623.2 mm'dir. Sıcaklık ortalaması yılın hiçbir döneminde 0 °C'nin altına düşmemektedir. İnceleme alanında en sıcak ay ortalaması 25.2 °C ile temmuz, en soğuk ay ortalaması 6.3 °C ile ocak ayıdır. İnceleme alanında en fazla ortalama yağış 106 mm ile aralık ayında, en az ortalama yağış 10.7 mm ile ağustos ayında meydana gelir.

Çalışma alanını sularını Çanakkale boğazına akıtan Sarıçay ve kolları oluşturmaktadır. Havzada dandritik drenaj yaygındır. Drenaj ağı, kuzey, doğu ve güneyden kollar ile Atikhisar barajını beslemektedir.



Şekil 1. Atikhisar Barajı Havzasının Yükselti Basamakları Haritası

Atikhisar barajı havzasının belirgin bir geometrisi yoktur. Havzada yükselti, baraj su seviyesi olan 60 m ile 934 m (Ağı Dağı) arasında değişmektedir (Şekil 1). Havzanın ortalama yükseltisi 365 metredir. Sahada eğim değerleri genelde yüksektir. Ortalama eğim 15° olarak hesaplanmıştır. Havzayı oluşturan Sarıçay ve kolları, genel anlamda batı – kuzeybatı yönünde akış göstermektedir. Kuzeybatı bakılı araziler %13.5 ile en çok paya sahiptir. Sonrasında ise %13.1 ile kuzey, %12.6 ile batı bakısı gelmektedir. Diğer bakıların payları ise hemen hemen birbirine eşit olup, %11.8 ile %12.0 arasında değişmektedir. İnceleme alanında hâkim ana yerşekli ise platolar ve yamaçlardır. Akarsular sahayı dar ve derin şekilde parçalamıştır. Su bölümü çizgisi üzerinde ise yükseltisi 800 metreyi aşan tepeler ve dağlar bulunmaktadır.

Havzanın genelinde kireçsiz kahverengi orman toprakları hakimdir. Kahverengi orman toprakları ise sahanın batısında dar bir alanda görülmektedir.

İnceleme alanının genelinde iğne yapraklı (%28.4), karışık (%24.5) ve geniş yapraklı (%5.2) ormanlar görülmektedir. Çalı formundaki bitkiler ise havzanın %16.9'unu kaplamaktadır.

Atikhisar barajı havzasında Kirazlı nahiyesi ve çoğunlukla köyler şeklinde kırsal yerleşmeler bulunmaktadır. Sahada toplam 17 adet kırsal yerleşme mevcuttur. 15 kırsal yerleşme Çanakkale ilçesinde, Lapseki ve Bayramiç ilçelerinde ise birer kırsal yerleşme bulunmaktadır. Havzada 2024 yılı verilerine göre 1500 kişi yaşamaktadır. Nüfusun çoğunluğu tarım ve ormancılık faaliyetleri ile ilgilenmektedir. Yer yer madencilik faaliyetleri de yapılmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

İnceleme alanında potansiyel erozyon duyarlılık alanlarının belirlenmesi ve bu alanların sınıflandırılması için, ABD Tarım Bakanlığı Toprak Bölümü tarafından geliştirilmiş "Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi" (Revised Universal Soil Loss Equation: RUSLE) tercih edilmiştir. RUSLE yöntemi yağış faktörü (R), toprak faktörü (K), eğim diklik ve eğim uzunluğu faktörü (LS), arazi kullanımı faktörü (C) ve erozyon önleyici

faktörler (P) olmak üzere beş parametreden oluşmaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1991; Lane vd., 1992; Renard vd., 1997; Nearing vd., 2017; Atalay ve Cürebal, 2018).

RUSLE formülü aşağıdaki parametrelerden oluşur:

A=R*K*LS*C*P

A=Yıllık Ortalama Toprak Kaybı (ton/ha/yıl)

R=Yağış Erozyon Faktörü

K= Toprak Erozyon Faktörü

LS= Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü

C=Arazi Kullanımı Faktörü

P=Erozyon Önleyici Faktörler

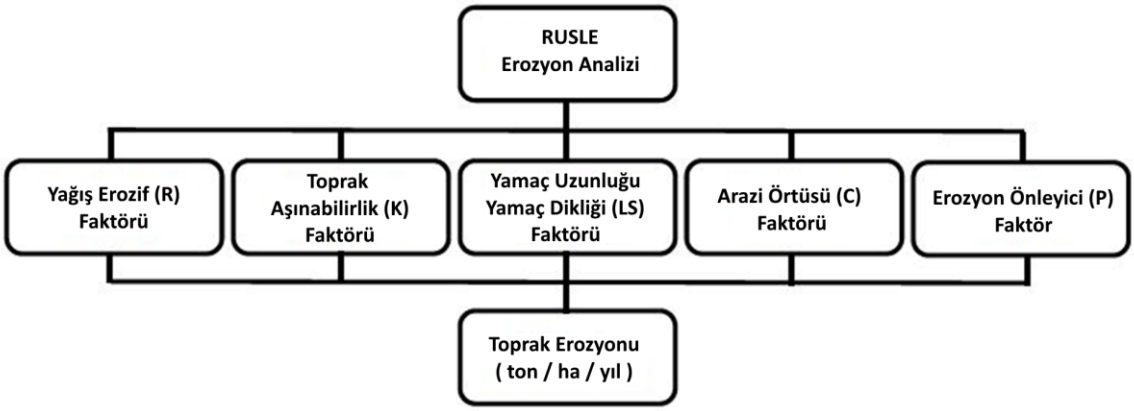
RUSLE yönteminin uygulanma aşamasında havzanın 1/25.000 ölçekli topografya haritaları sayısallaştırılarak analiz için gerekli yükselti (eşyükselti eğrileri), akarsu vb., gibi altlık veriler üretilmiştir. Arazi kullanımı özellikleri için CORINE ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. Toprak özellikleri TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1978 yılında hazırlanan envantere göre düzenlenmiştir. Tüm veriler Şekil 2' deki şemaya uygun olarak işlenmiştir.

Yağış erozif faktörü haritası Çanakkale Meteoroloji İstasyonu (6 m) verileri (1929-2024) kullanılarak hazırlanmıştır. Bu veriler Microsoft Office Excel programı kullanılarak işlenmiştir. İnceleme alanında 0 - 934 m'ler arasında değişen yükselti farkı nedeniyle düşen yağış miktarı ve dağılışını hesaplamak amacıyla Schreiber tarafından geliştirilen yağışın her 100 m'de 54 mm artacağı varsayımına dayanan formül kullanılmıştır (Schreiber, 1904).

Formül: Ph=Po + 4.5xh

Ph= Ortalama yağış miktarı (mm)

Po= Verileri bilinen noktanın ortalama aylık yağış miktarı (mm)



Şekil 2. RUSLE Yöntemi İşlem Akış Şeması

RUSLE eşitliğinde yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum yoğunluklarının çarpımı sonucu elde edilen değer (E.I= Erozyon İndexsi) toprak erozyonunun hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978). Bu çalışmada E. I değerini bulmak amacıyla geliştirilmiş olan Modified Fournier Index (MFI) (Arnoldous, 1980) formülü kullanılmıştır.

MFI formülü:

MFI=∑_(i=1)^12▒(〖pi〗^2/P)

Pi: aylık ortalama yağış (mm)

P: yıllık ortalama yağış (mm)

Yağış Erozif Faktörü Formülü (R Faktör): (4.17 * MFI) – 152

Yağış Erozif Faktörü (R Faktör) değerleri hesaplandıktan sonra Sayısal Yükselti Modeli (SYM)'ne enterpole edilerek haritalanmıştır.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan 1/25.000 ölçekli toprak haritaları revize edilerek, inceleme alanının toprak türleri belirlenmiştir. Toprak erozyon faktörü haritasının hazırlanma aşamasında gerekli olan K faktör değerleri ise Türkiye genelinde yapılmış ve Çanakkale ilinden örneklenmiş veriler (Doğan vd., 2000) dikkate alınarak oluşturulmuştur. K faktör değerleri öznitelik tablosuna işlendikten sonra 10 m * 10 m hücre (raster) şeklinde haritalara dönüştürülmüştür.

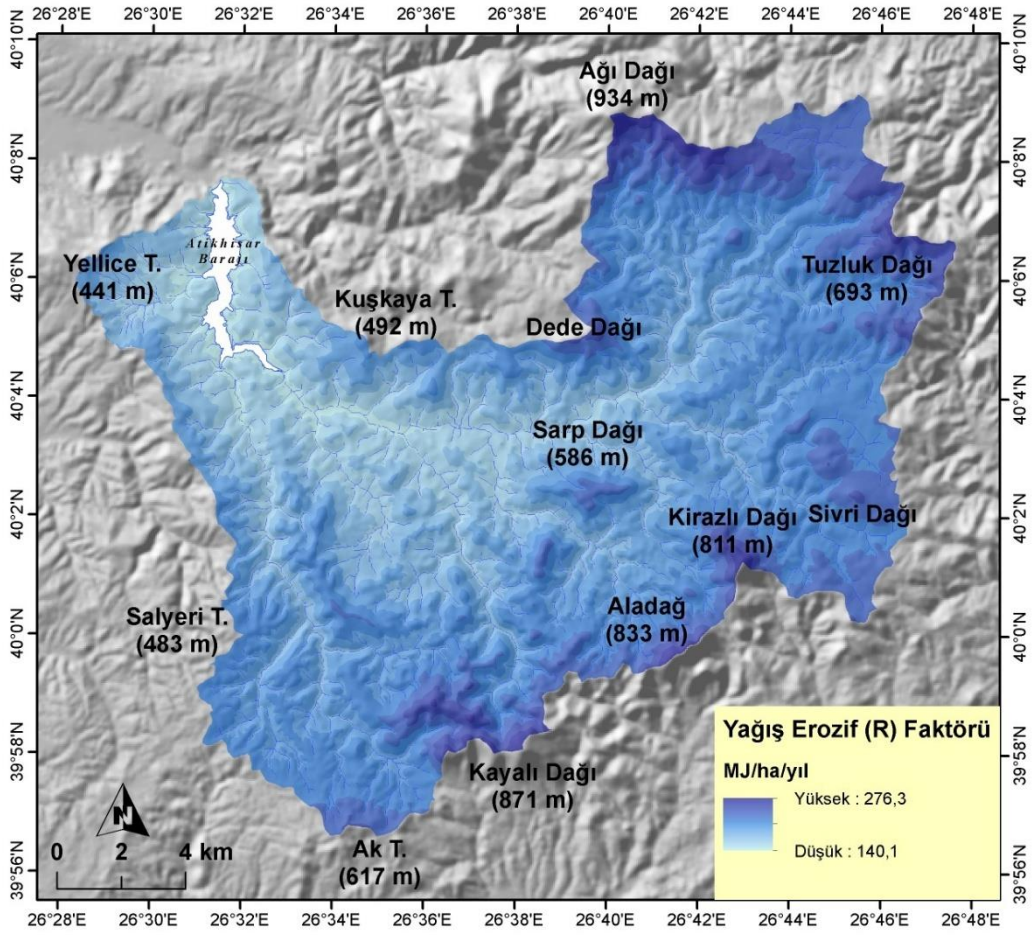
LS faktörünü hesaplamak amacıyla birçok formül kullanılmaktadır (Millward ve Mersey, 1999; Moore ve Wilson, 1992; Cürebal ve Ekinci, 2006; Efe vd., 2008a, Efe vd., 2008b; Pandey vd., 2009; Gaubi vd., 2017; Zeng, vd., 2017). Bu çalışmada, LS faktörü haritasının oluşturulması için (Moore ve Burch, 1986a; Moore ve

Burch, 1986b) ve (Mitasova vd., 1996) tarafından geliştirilen formül kullanılmıştır. Eğim uzunluk (L) ve eğim diklik (S) haritası sayısal yükselti modeline özel formüller uygulanarak elde edilmiştir (Desmet ve Govers, 1996; Mitasova vd., 1996). Öncelikle SYM kullanılarak Mekânsal Analiz (Spatial Analyst) aracı kullanılarak, yüzey (Surface) menüsü altında yer alan eğim (Slope) analizi ile eğim haritası derece olarak üretilmiştir. Daha sonra eğim haritası kullanılarak hidroloji (Hydrology) menüsü altındaki akış yönü (Flow Direction) analizi ile akış yönü haritası oluşturulmuştur. Akış yönü haritası ile aynı menü altındaki akış toplamı (Flow Accumulation) analizi kullanılarak akış toplamı haritası üretilmiştir. Son aşamada ise mekânsal analiz aracının altındaki Map Algebra aracı ile aşağıdaki formül kullanılarak LS Faktör haritası üretilmiştir.

Formül şöyledir:

(Power ((("FlowAccumulation" * 10)/22.1), 0.4)) * (Power ((Sin (("Slope_Degree" * 0.01745)) / 0.09), 1.4) * 1.4)

Arazi kullanım faktörü haritası, 2018 yılına ait Corine (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) verileri (Avrupa Çevre Ajansı, 2018) kullanılarak üretilmiştir. Sonrasında ilgili literatür taranarak öğrenilen C Faktör değerleri öznitelik verisine eklenerek 10*10 grid tabanlı haritalara dönüştürülmüştür.



Şekil 3. Atikhisar Barajı Havzasının Yağış Erozif (R) Faktör Haritası

3. Bulgular

3.1. Yağış Erozyon Faktörü (R Faktör)

Yağış erozif faktörünün toprak erozyonu üzerindeki etkisi önemlidir. Yağış miktarı, şiddeti ve süresi ile yağmur damlalarının yere düşme açısı, büyüklüğü ve darbe etkisi toprak erozyonu üzerinde etkilidir. Yağmur damlacıkları toprak partiküllerinin taşınmasına neden olan yüzeysel akışı meydana getirirler. Eğim yönünde kanalize olan bu sular damla çarpması sonucu kopan toprak partiküllerini suyun taşıma gücü ile eğim doğrultusunda hareket ettirirler. Bu etkileri belirlemek amacıyla farklı ampirik formüller önerilmiştir (Moore, 1979; Rijks, vd., 1998; Wischmeier ve Smith, 1978; Cooley, 1980, Lorito vd., 2004). İnceleme alanına ait yağış verileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Çanakkale Meteoroloji İstasyonu (1929-2024) Aylık Ortalama Yağış Verileri (Yükselti: 6 m) Meteoroloji İstasyonu

Meteoroloji İstasyonu	AYLAR												Yıllık
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
Çanakkale	91.4	71.6	65.7	45.0	29.7	25.6	14.4	10.7	24.5	53.8	84.8	106.0	623.2

Tablo 3' te gösterildiği gibi aylık yağış değerlerinin karesi alınmıştır. Yağışın her 100 metrede yıllık 54 mm, aylık 4.5 mm (54 mm / 12 ay = 4.5 mm) artacağı varsayımı dikkate alınarak havzadaki en yüksek noktaya kadar yükselti basamakları için ayrı ayrı yağış ve yağışın karesi hesaplanmıştır.

Tablo 3: Aylık ortalama yağış değerlerinin karelerinin alınması işlemi

Yükselti	Veriler	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
6 m	Yağış (mm)	91.4	71.6	65.7	45.0	29.7	25.6	14.4	10.7	24.5	53.8	84.8	106.0	623.2
	Yağışın Karesi	8354.0	5126.6	4316.5	2025.0	882.1	655.4	207.4	114.5	600.3	2894.4	7191.0	11236.0	43603.0
106 m	Yağış (mm)	95.9	76.1	70.2	49.5	34.2	30.1	18.9	15.2	29.0	58.3	89.3	110.5	677.2
	Yağışın Karesi	9196.8	5791.2	4928.0	2450.3	1169.6	906.0	357.2	231.0	841.0	3398.9	7974.5	12210.3	49454.8

Aylık yağışın kareleri toplamı (43603), toplam yağışa (623.2) bölündüğünde 70.0 MFI değerine ulaşılmıştır. MFI değeri (70.0), 4.17 sabit katsayı ile çarpılmış ve çıkan sonuçtan yine sabit bir değer olan 152 ile çıkarılmıştır. Sonuç olarak 6 m için R değeri 140.1 MJ/ha/yıl olarak bulunmuştur. Bu işlem her yükselti basamağı için uygulanmış ve her basamak için ayrı ayrı R değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler hücre tabanlı olarak haritalanmıştır (Şekil 3).

3.2. Toprak Direnç Faktörü (K Faktör)

Toprağın strüktürü, tekstürü, tanelerin boyutu, geçirgenliği, su tutma kapasitesi ve profili gibi özellikleri erozyona karşı duyarlılık değerini belirleyen başlıca kriterlerdir (Wischmeier vd., 1971; Renard vd., 1997; Millward ve Mersey, 1999; Mater, 2004; Cürebal ve Ekinci, 2006; Efe vd., 2008a, Efe vd., 2008b; Atalay, 2011; Atalay vd., 2019). İnceleme alanında kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi orman toprakları olmak üzere iki tip toprak türü mevcuttur (Şekil 4; Tablo 4).

Tablo 4: Atikhisar Barajı Havzasının K Faktörü Tablosu *

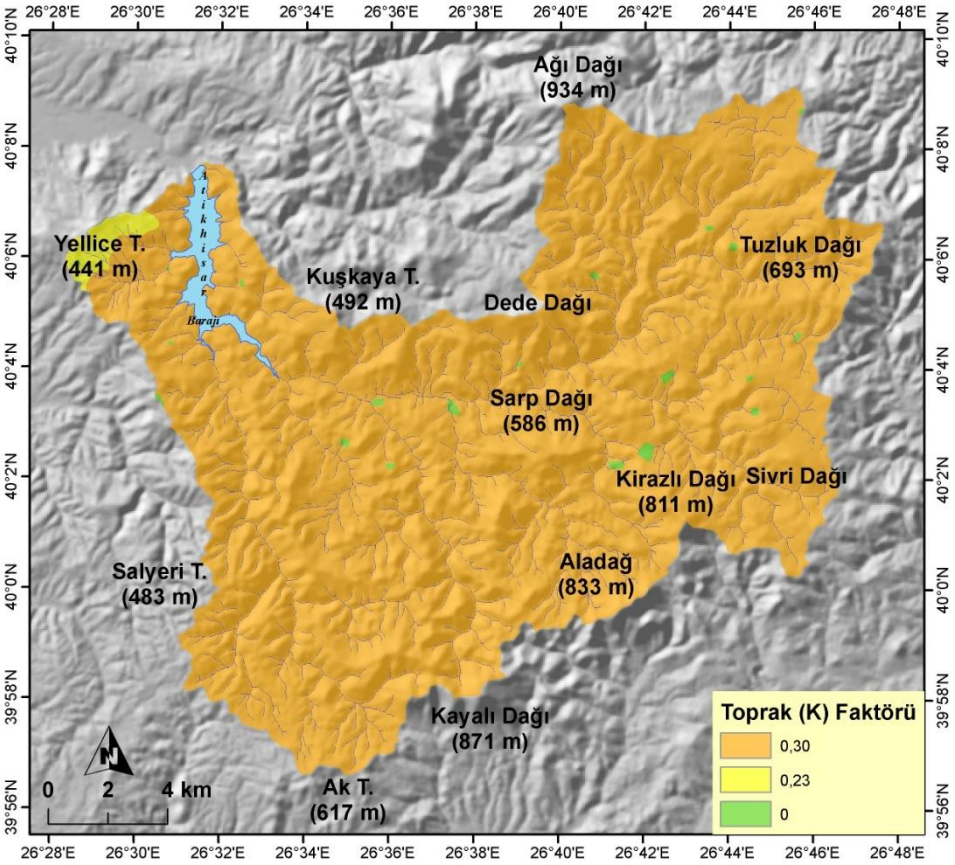
Toprak Türü	K Değeri (ton/ha)
Kahverengi Orman Toprakları	0.23
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	0.30
Yerleşme ve Su Yüzeyleri	0.00

* Tablodaki K değerleri, Türkiye genelinde yapılmış ve Çanakkale ilinden örneklenmiş veriler (Doğan vd., 2000) dikkate alınarak oluşturulmuştur.

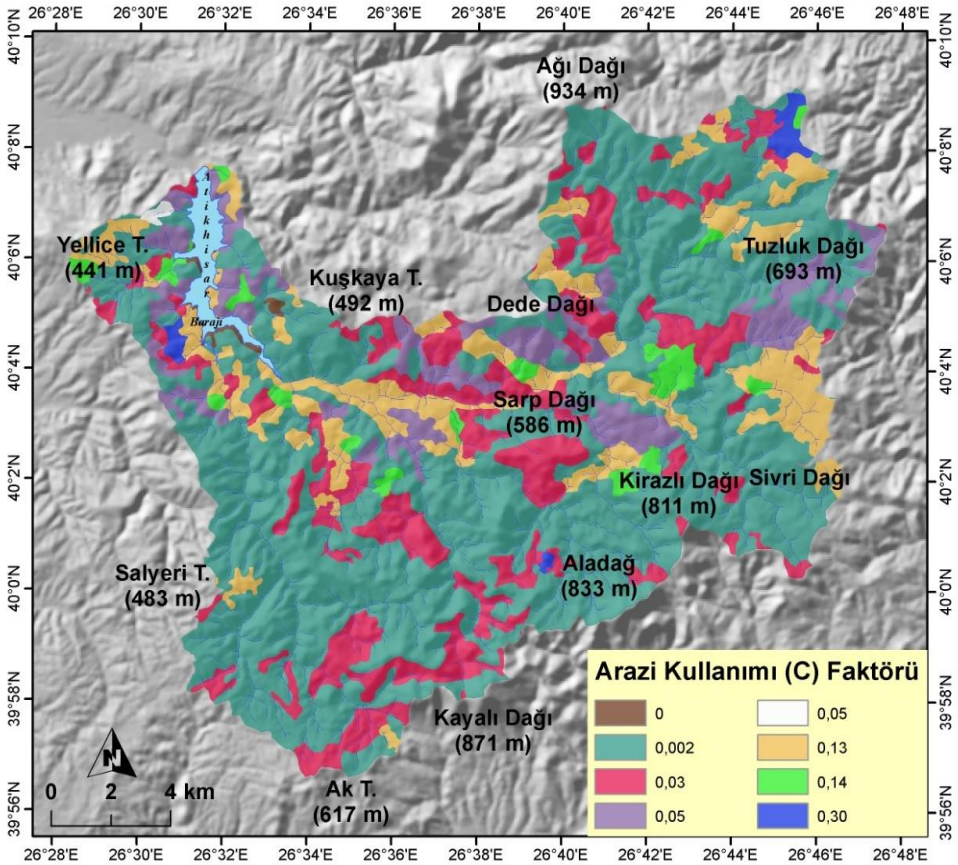
3.3. Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı ve Yönetimi Faktörü (C Faktör)

Yağış, infiltrasyon ve debi arasındaki ilişkiyi şekillendirip yağmur damlacıklarının zemine yaptığı darbe etkisini belirleyen parametrelerin başında arazi kullanımı özellikleri gelmektedir. Arazi kullanımı özellikleri ve zeminin kapalılık derecesi erozyonun şiddeti ve boyutları üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Cürebal ve Ekinci, 2006; Atalay ve Cürebal, 2018; Mutlu ve Soykan, 2018; Mutlu vd., 2021; Fıçıcı ve Soykan 2022; Aykır ve Fıçıcı, 2022; Özşahin 2011; Özşahin vd., 2019; Özşahin, 2023; Durak, 2024). Yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda yağmur suları büyük oranda ağaçlar, çalılar ve otsu bitkiler tarafından tutulur ve doğrudan yüzeysel akışa geçemezler. İntersepsiyon adı verilen bu olay erozyonu yavaşlatan bir etkiye sahiptir.

Atikhisar Barajı Havzası bitki örtüsü açısından zengindir. Yoğun bitki örtüsü ile kaplı ormanlık alanlar (iğne yapraklı, geniş yapraklı, karışık ormanlar olmak üzere) havzanın yarısından fazlasını kaplamaktadır (Tablo 5; Şekil 5). Bitki değişim alanları, Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları, doğal çayırlıklar, karışık tarım alanları, sulanmayan ekilebilir alanlar, madenler, sklerofil bitki örtüsü diğer arazi kullanım gruplarını oluşturmaktadır.



Şekil 4: Atikhisar Barajı Havzasının Toprak (K) Faktörü Haritası



Şekil 5: Atikhisar Barajı Havzasının Arazi Kullanımı (C) Faktör Haritası

Tablo 5: Atikhisar Barajı Havzası C Faktörü Tablosu*

Arazi Kullanımı Sınıfları	C Faktörü	Alan (km^2)	Oran (%)
İğne Yapraklı Ormanlar	0.002	95.5	28,4
Karışık Ormanlar	0.002	82.5	24,5
Bitki Değişim Alanları	0.03	56.8	16,9
Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları	0.13	40.3	12,0
Doğal Çayırlıklar	0.05	28.8	8,6
Geniş Yapraklı Ormanlar	0.002	17.4	5,2
Karışık Tarım Alanları	0.14	8.2	2,4
Su Kütleleri	0	3.3	1,0
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	0.3	2.7	0,8
Madenler	0.0	0.3	0,1
Sklerofil Bitki Örtüsü	0.06	0.5	0,1
TOPLAM		336.3	100.0

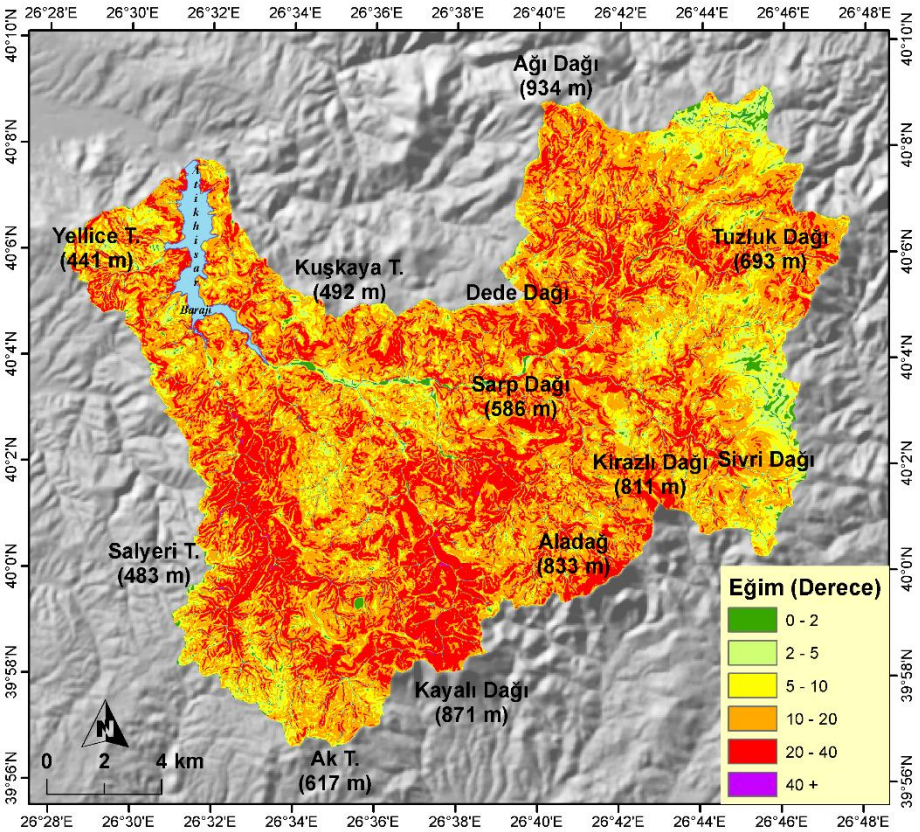
* Tablodaki C faktörü değerleri Panagos vd., 2015 kullanılarak oluşturulmuştur.

3.4. Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS Faktörü)

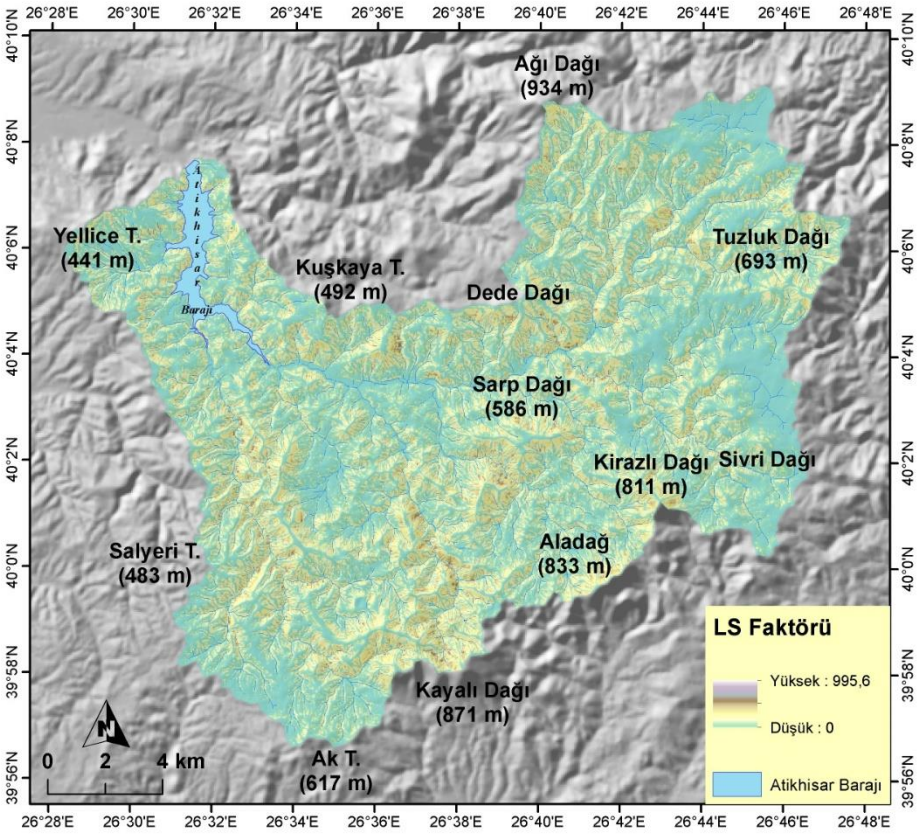
Eğim, erozyona etki eden önemli bir topografya faktörüdür. Eğim değerleri arttıkça erozyonun şiddeti ve boyutları da artmaktadır. Eğim suyun debisi üzerine etki ederek erozyonun şiddetini ve boyutunu dolaylı yoldan etkilemektedir.

Atikhisar barajı havzasının eğim özellikleri sınıflandırılırken erozyon ile ilgili literatür dikkate alınmıştır (Cürebal, 2006; Özşahin, 2011). Eğim özellikleri havzanın orta ve güney çığırında belirgin bir artış göstermek ile birlikte havzanın batısında ve doğusunda düşük değerlere sahiptir. Havzanın 2/3'ünü eğimi 6 ile 18 derece arasında olan sahalar kaplamaktadır (Şekil 6).

Yapılan analizler sonucunda LS değerinin arttığı alanlar ile eğim değerinin yüksek olduğu alanların paralel olduğu gözlemlenmiştir. Bu alanlar aynı zamanda aşınımın ve erozyon hassasiyetinin de yüksek olduğu yerlere karşılık gelirken eğim ve LS değerinin düşük olduğu ova ve vadi tabanları ise aşınım ve erozyon hassasiyetinin düşük olduğu sahalardır (Şekil 6; Şekil 7).



Şekil 6: Atikhisar Barajı Havzasının Eğim Haritası



Şekil 7: Atikhisar Barajı Havzasının LS Faktör Haritası

3.5. Erozyon Önleyici (P Factor) Faktörler

P faktörü, erozyonu önlemek amacıyla kullanılan yöntemleri ifade eder (Lane vd., 1992; Renard vd., 1997). Yüksek eğimli yamaçlarda teraslama ve bitki örtüsünün yoğunluğunu arttırma kullanılan tekniklere örnek olarak verilebilir. P faktörü 0 ile 1 değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. Değer 0'a yaklaştıkça erozyon duyarlılığı azalırken 1'e yaklaştıkça erozyon duyarlılığı artmaktadır. Atikhisar barajı havzasında erozyon önleyici faktörlerin erozyonu önlemede etkileri düşüktür. Bu nedenle P faktörü için 1 değeri kullanılarak denklem dışı bırakılmıştır.

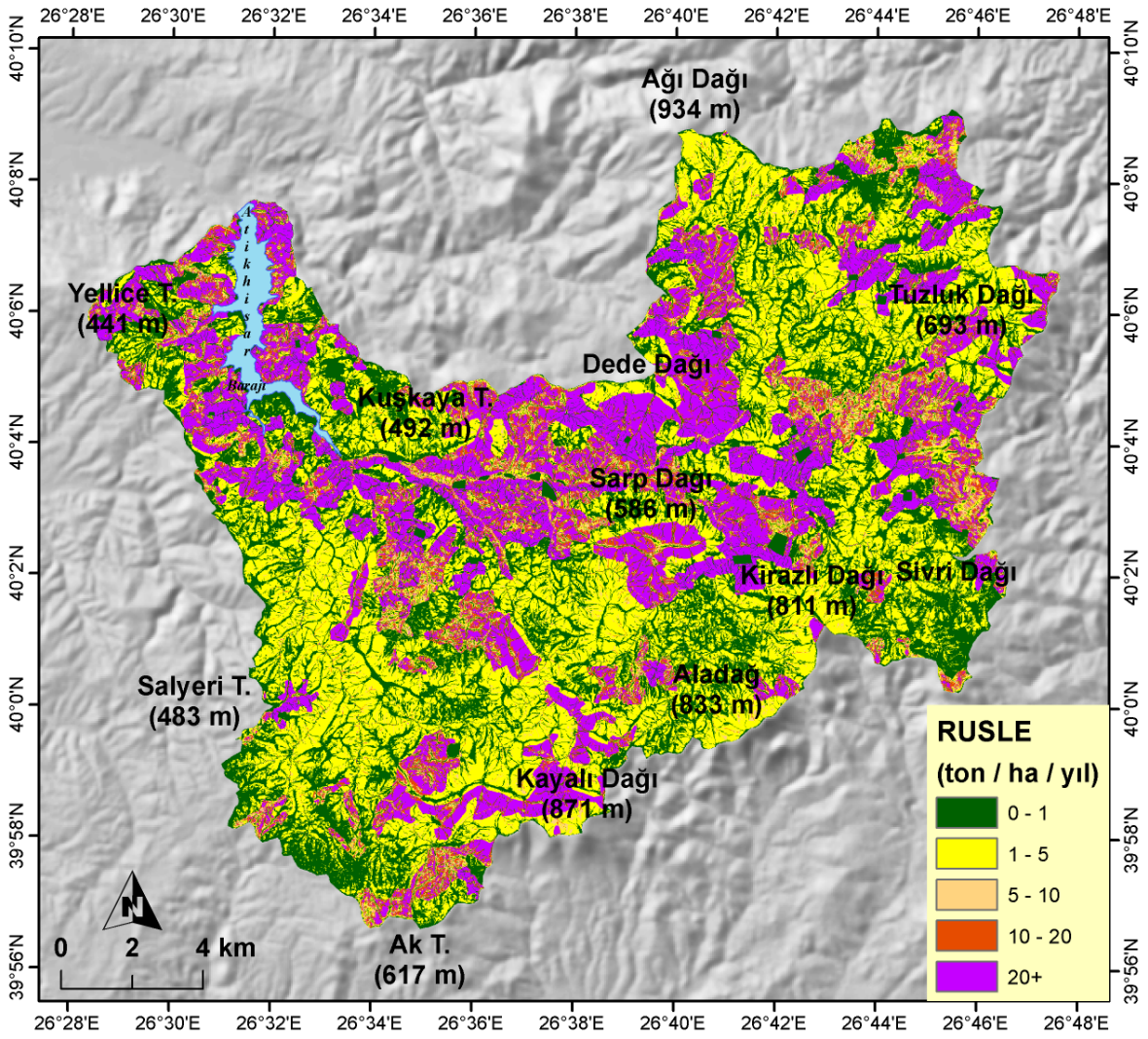
4. Tartışma ve Sonuç

Atikhisar barajı havzasında RUSLE yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmada, havzadaki erozyon duyarlılık dereceleri ve yıllık tahmini toprak kaybı miktarı belirlenmiştir. Beş farklı duyarlılık sınıfının ayırt edildiği çalışma sahasında duyarlılık sınıfları, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Erozyon ve Çölleşme ile Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan erozyon ile mücadele eylem planlarında (2013-2017) kullanılan eşik değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre çok hafif duyarlı alanlar 104.5 km^2 ile havzanın %31.1'ini, hafif duyarlı alanlar 115.2 km^2 ile %34.2'sini, orta şiddetli duyarlı alanlar 16.7 km^2 ile %5.0'ini, şiddetli erozyon duyarlılığına sahip alanlar 26.4 km^2 ile %7.8'ini, çok şiddetli duyarlılığa sahip alanlar ise 73.5 km^2 ile havzanın %21.9'unü oluşturmaktadır (Tablo 6, Şekil 8).

Toprak kayıp miktarı haritası (Şekil 8) incelendiğinde çok şiddetli erozyon hassasiyeti görülen alanların büyük oranda bitki örtüsünden yoksun çıplak kayalık alanlara karşılık geldiği görülmektedir. Eğim değerleri 6°'nin üzerinde olan ve doğal bitki örtüsü ortadan kaldırılarak tarım faaliyetinin yürütüldüğü kesimler yüksek ve şiddetli erozyon hassasiyetine sahip alanlardır. Havzanın geriye kalan kesimlerinde ise hafif ve orta şiddetli erozyon gözlemlenmektedir (Şekil 8).

Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye Su Erozyon Atlası'nda Türkiye yıllık ortalama toprak kaybı 8.24 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır (Erpul vd., 2018; DEMIS, 2021). Marmara Bölgesi ölçeğinde yapılan bir yüksek lisans tezinde

1989 - 2017 yılları arasını kapsayan dönem için yıllık ortalama toprak kaybı 12.2 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir (Ezer, 2015). İnceleme alanı ve yakın çevresinde bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar incelendiğinde ise Trakya Yarımadası'nda yıllık ortama toprak kaybı 5 ton/ha/yıl (İkiel vd., 2020); Gelibolu Yarımadası'nda yıllık ortama toprak kaybı 4.79 ton/ha/yıl'dır (Pektezel, 2015). İnceleme alanının yıllık ortalama toprak kaybı ise 11.7 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değer Marmara Bölgesi için yapılan araştırmadaki 12.2 ton/ha/yıl verisi ile örtüşmektedir. Ancak Türkiye ortalaması olarak hesaplanan 8.24 ton/ha/yıl değerinin üzerindedir.



Şekil 8: Atikhisar Barajı Havzasının RUSLE - Erozyon Duyarlılık Haritası

Tablo 6: Atikhisar Barajı Havzası Erozyon Duyarlılık Sınıfları*

Erozyon Duyarlılık Sınıfları	Toprak Kaybı	Alan	
	ton/ha/yıl	km²	(%)
Çok Hafif	0 - 1	104.5	31.1
Hafif	1 - 5	115.2	34.2
Orta Şiddetli	5 - 10	16.7	5.0
Şiddetli	10 - 20	26.4	7.8
Çok Şiddetli	20 <	73.5	21.9
TOPLAM		336.3	100.0

***** Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) ile belirlenen sonuç haritasındaki eşik değerleri kullanılmıştır.

RUSLE yöntemiyle hazırlanmış bu çalışmada elde edilen bulguların baraj rezervuarında yapılan batimetrik ölçümler ile karşılaştırılması yöntemin geçerliliğinin ispatı açısından gerekliliktir. D.S.İ. ile yapılan sözlü görüşmelerde batimetrik ölçümlerin yapıldığı ancak sağlıklı veri üretilemediği belirtilmiştir. Batimetrik ölçümler ile sağlama yapıldığında baraj planlamalarında ve barajların ekonomik ömürlerinin belirlenmesinde ampirik yöntemlerin kullanımı ve özellikle RUSLE yönteminin tercih edilmesi konusu netleşecektir.

5. Etik Standartlara Uygunluk

a) Yazarların katkıları

Çalışmanın konsepti, tasarımı, analizleri, analizlerin yorumlanması, haritalaması ve yazımı M.D ve İ.C tarafından yapılmıştır.

b) Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

6. Kaynakça

Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation, pp. 127-132. In: De Boodt, M. and Gabriels, D., Eds., Assessment of erosion, John Wiley and Sons, New York.

Atalay, İ. (1983). Soil erosion and its effects on the transportation and modern sedimentation in Turkey. Ege Coğrafya Dergisi, 2: 31-48.

Atalay, İ. (2011). Toprak oluşumu, sınıflandırılması ve coğrafyası. Meta Basım Matbaacılık, İzmir.

Atalay, İ. ve Cürebal, İ. (2018). Türkiye'de erozyonu önleme ve erozyon miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar, ss. 296-327. Atalay, İ., Uygulamalı Hidrografya içinde, META Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.

Atalay, İ., Altunbaş, S. ve Siler, M. (2019). The importance of marl deposits on the soil formation, land use and land degradation in Turkey. International Soil Congress Proceedings Book, Ankara.

Atalay Dutucu, A. ve Mutlu, YE. (2022). Yuvacık Barajı Havzası'nda Erozyon Risk Analizi. Ege Coğrafya Dergisi, 31(2): 289-303. DOI:10.51800/ecd.1133879

Avrupa Çevre Ajansı (2018). European Environment Agency, CORINE Land Cover. https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover (Erişim T.: 17.06.2018).

Aykır, D. ve Fıçıcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında Erozyon Risk Analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 9: 38-49.

Bhatti, MT., Ashraf, M. and Anwar, AA. (2021). Soil erosion and sediment load management strategies for sustainable irrigation in arid regions. Sustainability, 13:3547. https://doi.org/10.3390/su13063547.

Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L. and Ballabio C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). Proceedings of the National Academy of Sciences, 117 (36):21994-22001. https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117.

Cooley, K. R. (1980). Erosivity "R" for individual design storms, pp. 386-397. In W.G. Knisel (Ed.), CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems (USDA-SEA Conservation Research Rep. No. 26). Washington, DC: USDA.

Cürebal, İ. ve Ekinci, D. (2006). Kızılkeçili Deresi Havzasında CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemiyle erozyon analizi. Türk Coğrafya Dergisi, 47: 115–130.

Cürebal, İ., Efe, R., Soykan, A. ve Sönmez, S. (2012). Üç boyutlu modelleme kullanılarak siltasyon miktarının ölçülmesi: Çaygören Barajı Örneği. UJES 2012, III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss. 729-738, Hatay.

DEMIS (2021). Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS), Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, https://cem.csb.gov.tr/dinamik-erozyon-modeli-ve-izleme-sistemi-demis-i-108100 / https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/dem-s-20240925111716.pdf

Desmet, PJJ. & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51: 427–433.

D.S.İ. (1967). Çanakkale Atikhisar projesi planlama raporu.

Doğan, O., Cebel, H., Küçükçakar, N., Akgül, S. (2000). Türkiye büyük toprak gruplarının erozyona duyarlılık "K" faktörleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü; Yayın No:111. Rehber No:17, Ankara. https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/MyResearch/UserLogin

Durak, M. (2024). Erosion analysis of Kuruçay Stream basin (Edremit—Balikesir, Türkiye). Journal of the Bulgarian Geographical Society 51: 23–44. https://doi.org/10.3897/jbgs.e128013

Dutta, S. (2016). Soil erosion, sediment yield and sedimentation of reservoir: a review. Model. Earth Systems and Environment, 2:123. https://doi.org/10.1007/s40808-016-0182-y.

Efe, R., Ekinci, D. ve Cürebal, İ. (2008a). Erosion analysis of Fındıklı Creek Catchment (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3d) method. Fresenius Environmental Bulletin, 17(5): 568–576.

Efe, R., Ekinci, D. ve Cürebal, İ. (2008b). Erosion analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3d) method. Journal of Applied Science, 8 (1): 49–58.

Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ. ve Sönmez, S. (2008). Türkiye'de antroposen döneminde doğal çevre bozulmasını etkileyen antropojenik faktörler. Tücaum V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara.

Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, MA., Demirtaş, İ. ve Çetin, E. (2018). Türkiye su erozyonu atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Ezer, A. (2015). An Assessment of Soil Erosıon Usıng Rusle Model: A Case Study From The Marmara Region. Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.

Fıçıcı, M. (2021). Madra Barajı Havzasında erozyon analizi. Yayınlanmamış doktora tezi. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.

Fıçıcı, M. ve Soykan, A. (2022). MPSIAC & RUSLE yöntemleriyle karşılaştırmalı erozyon analizi: Madra Barajı Havzası. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 8: 28-47. https://doi.org/10.46453/jader.1020922

Fural, Ş., Kükrer, S., Cürebal, İ. ve Aykır, D. (2021). Spatial distribution, environmental risk assessment, and source identification of potentially toxic metals in Atikhisar dam, Turkey. Environ Monit Assess., 193: 268. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09062-6

Gaubi, I., Chaabani, A., Mammou, AB. and Hamza, AH. (2017). A GIS-based soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) (Lebna Watershed Cap Bon, Tunisia). Nat Hazards, 86: 219-239.

Ilgar, R. (2010). Water risk assessment and spatial analysis of Atikhisar dam using by GIS. Middle East Journal of Scientific Research, 5 (5): 359-365.

İkiel, C., Ustaoğlu, B. ve Koç, DE. (2020). Trakya Yarımadası'nda erozFyon duyarlılık analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 4: 1-14.

Kale, S. ve Acarlı, D. (2019a). Shoreline change monitoring in Atikhisar Reservoir by using remote sensing and geographic information system (GIS). Fresenius Environmental Bulletin, 28 (5): 4329-4339.

Kale, S. ve Acarlı, D. (2019b). Spatial and temporal change monitoring in water surface area of Atikhisar Reservoir (Çanakkale, Turkey) by using remote sensing and geographic information system techniques. Alinteri J. of Agr. Sci., 34(1): 47-56. DOI: 10.28955/alinterizbd.574361

Kifelew, M.S., Mesalie, R.A., Shumey, E.E. et al. (2022). Identification of erosion hot spot area using GIS and gully contribution for reservoir sedimentation in the case of Abrajit reservoir, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Sustain. Water Resour. Manag., 8, 93. https://doi.org/10.1007/s40899-022-00680-7.

Koca, N. (2005). Atikhisar Barajı'nın (Çanakkale) çevresel ve ekonomik etkileri. Doğu Coğrafya Dergisi, 10 (14): 209 – 233.

Lane, LJ., Renard, KG., Foster, GR. and Laften, JM. (1992). Development and application of modern soil erosion prediction technology-the USDA experience. Soil and Water Management and Conservation, 30: 893-912.

Lazzari, M., Gioia, D., Piccarreta, M., Danese, M. and Lanorte, A. (2015). Sediment yield and erosion rate estimation in the mountain catchments of the Camastra artificial reservoir (Southern Italy): A comparison between different empirical methods. Catena, 127:323-339. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.021.

Lorito, S., Pavanelli, D., Bigi, A., Stanchi, S. and Vianello, G. (2004). Introduction of GIS-based RUSLE model for land planning and environmental management in three different Italian ecosystems. Department of Environmental and Agricultural Science and Technology (DiSTA), Bologna University, Italy.

Luo, Y., Lu, M., Wang, H. and Qiu, A. (2019). Recent soil erosion in the Hongfeng catchment on the Guizhou Plateau, SW China revealed by analysis of reservoir sediments and soil loss modeling. Journal of Paleolimnology, 61:17-35. https://doi.org/10.1007/s10933-018-0042-z.

Mahmood M. Al-Mamari, Sameh A. Kantoush, Tahani M. Al-Harrasi, Ali Al-Maktoumi, Karim I. Abdrabo, Mohamed Saber and Tetsuya Sumi (2023). Assessment of sediment yield and deposition in a dry reservoir using field observations, RUSLE and remote sensing: Wadi Assarin, Oman. Journal of Hydrology, 617, Part A, February 2023, 128982.

Mater, B. (2004). Toprak coğrafyası. Çantay Kitabevi, İstanbul.

Millward, AA. and Mersey, JE. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. Catena, 38: 109-129.

Miranda, MN., Rosa, C., Peres, A. and Maia, R. (2021). Sedimentation assessment and effects in Venda Nova dam reservoir (Portugal). Science of The Total Environment, 766: 144261. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144261.

Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. and Iverson, LR. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposotion using GIS. Journal of Geographical İnformation Science, 10 (5): 629-641.

Moore, RR. (1979). Rainfall erosivity in East Africa: Kenya, Tanzania, Uganda. Geografiska Annaler, 61: 147-156.

Moore, I. and Burch, G. (1986a). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. Soil Science Society of America Journal 50, 1294–1298.

Moore, I. and Burch, G. (1986b). Modeling erosion and deposition: topographic effects. Transactions of ASAE, 29 (6): 1624–1640.

Moore, ID. and Wilson, JP. (1992). Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation, 47: 423–428.

Mutlu, YE. ve Soykan, A. (2018). Rusle (3d) modeli kullanılarak toprak erozyonu tahmini: Havran Çayı Örneği. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 1: 50–66.

Mutlu, YE., Soykan, A. ve Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında erozyon risk analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 6: 98-111.

Nearing, MA., Yin, SG., Borelli, P. and Polyakov, OV. (2017). Rainfall erosivity: an historical rewiew. Catena, 157: 357-362.

Özelkan, E. (2019). Uzaktan algılama ile belirlenen baraj gölü alanının zamansal değişiminin meteorolojik kuraklık ile değerlendirilmesi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6 (4): 904–916.

Özelkan, E. ve Karaman, M. (2018). Baraj göllerindeki meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın etkisinin çok zamanlı uydu görüntüleri ile analizi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) örneği. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2): 1023-1037.

Özşahin, E. (2011). Zeytinli Çayı Havzası'nın (Balıkesir) erozyon analizi. e-Journal of New World Sciences Academy Nature Sciences, 4A0036, 6 (1): 42-56.

Özşahin, E. (2014). Tekirdağ İlinde CBS tabanlı RUSLE modeli kullanarak erozyon risk değerlendirmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 11(2): 45-56.

Özşahin, E. (2016). Ergene Havzasında (Trakya) arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin erozyon üzerine etkileri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 31:117-126. https://doi.org/10.7161/anajas.2016.31.1.117-126.

Özşahin, E., Eroğlu, İ. ve Yıldız, H. (2019). GIS based erosion studies in Turkey, pp. 1251-1253. In: Ed. Dimitar Kirilov DIMITROV, Dimitar NIKOLOSKI, Rasim YILMAZ, Proceedings of International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series, Tekirdağ / Turkey, March 09-10, 2019.

Özşahin, E., Duru, Ü. and Eroğlu, İ. (2018). Land Use and Land Cover changes (LULCC), a key to understand soil erosion ıntensities in the Maritsa Basin. Water, 10: 335. https://doi.org/10.3390/w10030335.

Özşahin, E. (2023). Farklı erozyon tahmin modellerine göre akarsu sedimantasyon miktarının belirlenmesine bir örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye). Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 10: 1-19. https://doi.org/10.46453/jader.1203890

Özşahin, E. (2024). Spatiotemporal changes of soil erosion rate in the pre-and post-dam construction periods (1990-2018) determined through RUSLE and GIS: the case of the Kavak River Basin, East Thrace, Türkiye. Environ Dev Sustain. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05381-z

Öztürk, D. (2022). Atikhisar Baraj Gölü batimetrisinin Landsat-5 TM uydu görüntüsünden stumpf algoritması kullanılarak belirlenmesi. Coğrafya Dergisi, 45: 97-110.

Pektezel, H. (2015). Gelibolu Yarımadası'nda CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemiyle erozyon duyarlılık analizi. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 17: 131-151.

Palmieri, A., Shah, F. and Dinar, A. (2001). Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. Journal of Environmental Management, 61 (2):149-163. https://doi.org/10.1006/jema.2000.0392.

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. and Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Science & Policy, 54, December 2015, pp. 438-447.

Pandey, A., Mathur, A., Mishra, SK. and Mal, BC. (2009) Soil erosion modeling of a Himalayan Watershed using RS and GIS. Environmental Earth Sciences, 59: 399-410.

Renard, KG., Foster, GR., Weesies, GA. and Porter, JP. (1991). RUSLE: revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Consevation, 46: 30-33.

Renard, KG., Foster, GR., Weesies, GA., McCool, DK. and Yoder, DC. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, USA.

Rijks, D., Tens JM. and Vossen, P. (1998). Agrometeorological applications for regional crop monitoring and productions assessment. EUR 17735 EN, pp: 505.

Schreiber, P. (1904). Über die beziehungen zwischen dem niederschlag und der wasserführung der flüsse in Mitteleuropa. Meteor, Z., 21: 441-452.

Snyder, NP., Rubin, DM., Alpers, CN., Childs, JR., Curtis, JA., Flint, LE. and Wright, SA. (2004). Estimating accumulation rates and physical properties of sediment behind a dam: Englebright Lake, Yuba River, northern California. Water Resources Research, 40: W11301. https://doi.org/10.1029/2004WR003279.

Soukhaphon, A., Baird, IG. and Hogan, ZS. (2021). The impacts of Hydropower Dams in the Mekong River Basin: a review. Water, 13(3):265. https://doi.org/10.3390/w13030265.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyon ile Mücadele Genel Müdürlüğü. (2013-2017). Erozyon ile Mücadele Eylem Planı. www.cem.gov.tr

Toptepe, E. (2011). Atikhisar barajı havzasının sürdürülebilirlik değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Thiet, NV., Orange, D., Laffy, D. and Cu, PV. (2012). Consequences of large hydropower dams on erosion budget within hilly agricultural catchments in Northern Vietnam by RUSLE modeling. Hanoi: IRD, 8 p. multigr. International Conference Sediment Transport Modeling in Hydrological Watersheds and Rivers, Istanbul (TUR), 2012/11/14-16.

Wischmeier WH, Johnson CB, Cross BV (1971). A soil erodibility nomograph for farm-land and construction sites, J. Soil and Water Conserv. 26: 189-193.

Wischmeier, WH. and Smith, DD. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U S Department of Agriculture Habdbook, Washington D C.

Zeng, C., Wang, S., Bai, X., Li, Y., Tian, Y., Li, Y., Wu, L. and Luo, G. (2017) Soil erosion evolotion and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. Solid Earth, 8: 721-736.