

Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238




Araştırma Makalesi / Research Article

FARKLI EROZYON TAHMİN MODELLERİNE GÖRE AKARSU SEDİMENTASYON MİKTARININ BELİRLENMESİNE BİR ÖRNEK: NAİP BARAJI HAVZASI (TEKİRDAĞ, TÜRKİYE)

An Example for Determining River Sedimentation Amount Based on Different Erosion Prediction Models: The Naip Dam Basin (Tekirdağ, Türkiye)

Emre ÖZŞAHİN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tekirdağ
eozsahin@nku.edu.tr  <https://orcid.org/0000-0001-8169-6908>

Makale Tariğesi

Geliş 14 Kasım 2022

Kabul 23 Kasım 2022

Article History

Received: 14 November 2022

Accepted: 23 November 2022

Anahtar Kelimeler

RUSLE, MUSLE, Erozyon,
Sedimentasyon, Siltasyon

Keywords

RUSLE, MUSLE, Erosion,
Sedimentation, Siltation

Atıf Bilgisi / Citation Info

Özşahin, E. (2023). Karşılaştırımlı Erozyon Tahmin Modellerine Göre Akarsu Sedimentasyon Miktarının Belirlenmesine Bir Örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye) / An Example for Determining River Sedimentation Amount Based on Comparative Erosion Prediction Models: The Naip Dam Basin (Tekirdağ, Türkiye), Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches 2023 (10): 1-19.

doi: 10.46453/jader.1203890

ÖZET

Barajlar, çok çeşitli faydaları olan mühendislik yapılarıdır. Bu yapıların hizmet süresi ekonomik ömürlerinin uzun olmasıyla ilişkilidir. Barajların ekonomik ömrünün uzunluğu, baraj rezervuarlarının siltasyonla dolması için geçen sürenin artmasına bağlıdır. Bunun için akarsu sedimentasyon miktarı, sediment verimi ve toprak erozyonu gibi rezervuar ömrünün belirlenmesinde kullanılan parametreler tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Son zamanlarda yerbilimcilerin tarafından CBS (Coğrafı Bilgi Sistemleri) tabanlı uygulanan bazı yöntemlerle bu parametreler başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu çalışmada CBS tekniklerine dayalı bir şekilde evrensel toprak kaybı denkleminin (USLE) revize (RUSLE) ve modifiye (MUSLE) versiyonları kullanarak Naip barajı havzasında akarsu sedimentasyon miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Böylece her iki erozyon modeline ait sonuçlara göre baraj havzasının toprak erozyon haritaları üretilmiş ve yıllık ortalama toprak kaybı oranları hesaplanmıştır. Ayrıca erozyon modellerinin sonuçları baraj rezervuarındaki batimetrik değişikliklerle kıyaslanmıştır. Çalışma alanı Tekirdağ şehrinin içme suyunun karşılağığı bir baraj havzası olması bakımından incelemeye değer bulunmuştur. Dolayısıyla hem Naip barajının dolma süresi konusunda çıkarımlarda bulunulmuş hem de sürdürülebilir havza ve baraj yönetimi bakımından önemli veriler sunulmuştur. Toprak kaybının hesaplanmasında ve erozyon risk haritalarının oluşturulmasında çalışma verilerine göre yeniden düzenlenen ArcGIS Soil Erosion Tool kullanılmıştır. Çalışma sonucunda baraj havzasında 0,31 t ha⁻¹ y⁻¹ (RUSLE) ve 0,36 t ha⁻¹ y⁻¹ (MUSLE) miktarları arasında yıllık ortalama toprak kaybının yaşandığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar batimetrik verilerle kontrol edilmiş ve RUSLE model sonucunun daha isabetli olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla barajın yapımından beri (2015-2021) toplam taşınan sediment miktarının 6445,62 ton olduğu anlaşılmıştır. Buna göre toplam rezervuar hacmi, %11,95 oranında dolmuştur. Çok hafif erozyon riskinin görüldüğu sahada, yanlış arazi kullanımının izlendiği eğimli yamaçlarda erozyonun daha şiddetli bir şekilde etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışma evrensel toprak kaybı denkleminin (USLE) revize (RUSLE) ve modifiye (MUSLE) versiyonlarının akarsu sedimentasyon miktarının ve baraj rezervuarlarındaki depolanma süreçlerinin belirlenmesinde pratik bir şekilde kullanılabileceği göstermiştir. Ayrıca çalışma sonuçları baraj rezervuarının sedimentasyon yönetimi, barajın sürdürülebilirliği ve rezervuar ömrünün uzatılması için karar vericiler tarafından yardımcı ve yönlendirici bilgi şeklinde kullanılabilir.

ABSTRACT

Dams are engineering structures offering a wide range of benefits. The service life of these structures is related to their long economic life. The length of their economic life depends on the increase in the time it takes for the dam reservoirs to fill with siltation. In this regard, parameters such as river sedimentation amount, sediment yield, and soil erosion used for determining reservoir life are tried to be estimated. These parameters can be determined successfully by some methods recently applied by geoscientists based on Geographic Information Systems (GIS). This study aimed to estimate the river sedimentation amount in the Naip dam basin (Turkey) by using the revised (RUSLE) and modified (MUSLE) versions of the Universal Soil Loss Equation (USLE) based on GIS techniques. Thus, based on the results of both erosion models, soil erosion maps of the dam basin were produced, and the average annual soil loss rates were calculated. Moreover the results of erosion models were compared with the bathymetric changes in the dam reservoir. The study area was found worthy of examination as it is the dam basin supplying the drinking water of Turkey's Tekirdag city. Therefore, inferences were made about the filling time of the Naip dam, and important data were presented in terms of sustainable basin and dam management. The ArcGIS soil erosion tool, rearranged based on

the study data, was used in calculating soil loss and creating erosion risk maps. The study found that annual average soil loss in the dam basin was between $0.31 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (RUSLE) and $0.36 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (MUSLE). These results were checked with bathymetric data and RUSLE model result was found to be more accurate. Hence, the total amount of sediment transported since the construction of the dam (from 2015 to 2021) was detected to be 6445.62 tons. Accordingly, the total reservoir volume was filled at the rate of 11.95%. Erosion was seen to have a more severe effect on slopes involving wrong land use in the area with a very low risk of erosion. The study indicated that RUSLE and MUSLE, the revised and modified versions of USLE, could be practically used in determination of river sedimentation amount and storage processes in dam reservoirs. In addition, the results of the study can be used by the decision makers as helpful and guiding information for the sedimentation management of the dam reservoir, the sustainability of the dam, and the extension of the reservoir life.

© 2023 Jeomorfoloji Derneği / Turkish Society for Geomorphology
Tüm hakları saklıdır / All rights reserved.

1.GİRİŐ

Barajlar, yapılıő amacına göre deđiŐmekle birlikte sağladığı faydalardan dolayı dünya ekonomisi için hayati öneme sahiptir (Snyder vd., 2004). Detaylı ve kapsamlı çalıŐmalar sonucunda ciddi ekonomik yatırımlarla kurulan bu yapılar, uzun süreli hizmet vermesi beklenen mühendislik eserleridir (AŐık, 2016). Barajların ekonomik ömürlerinin uzun olması rezervuarın siltasyonla dolması için geçen sürenin artmasına bağlıdır (Palmieri vd., 2001). Bunun için sedimantasyon, sediment verimi ve toprak erozyonu gibi rezervuar ömrünün artmasında belirleyici olan parametreler tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Dutta, 2016). Baraj rezervuarlarının ömrünü tahmin etmek için çok çeşitli modeller geliŐtirilmiŐtir (Chuenchum vd., 2020). Günümüzde genellikle CBS (Coğrafı Bilgi Sistemleri) tabanlı bir Şekilde uygulanan bu modeller, ampirik, fiziksel, kavramsal ve hibrit modeller olarak dört kategoriye ayrılmaktadır (Dutta, 2016; Tablo 1).

Ampirik modeller havza ölçeğinde kolaylıkla uygulanabilir olmasından dolayı baraj havzaları için daha pratik bir Şekilde toprak kaybının hesaplanması ve sediment verimi tahminlerinde yararlanılmaktadır (Özşahin, 2016a). USLE (Evrensel Toprak Kaybı Denklemi) ailesine ait olan ampirik yöntemler, farklı form ve uygulamalarla hem dünya (Borrelli vd., 2020) hem de Türkiye (Özşahin vd., 2019) çapında en yaygın uygulanan toprak erozyonu tahmin modellerindedir (Özşahin, 2014; Özşahin, 2016a; Özşahin vd., 2018). Bu model ailesinden RUSLE (Revize Evrensel Toprak Kaybı Denklemi) ve MUSLE (Modifiye Evrensel Toprak Kaybı Denklemi) az bir veriyle hesaplama yapabilmelerinden dolayı daha fazla tercih edilmektedir (Zhang vd., 2009). Toprak erozyonun hesaplanmasında benzer

denklemlerin kullanıldığı her iki erozyon tahmin modeli arasındaki temel fark, RUSLE yağış enerjisinin bir fonksiyonu MUSLE ise yağış enerjisi faktörünün yerine akıŐ faktörünü dikkate alarak çalışan ampirik modellerdir (Xu vd., 2008).

Son zamanlarda yerbilimcilerin arasında USLE erozyon modelleri kullanarak baraj havzalarındaki akarsu sedimantasyon miktarının belirlenmesi, sediment verimi ve toprak erozyonu tahminleri konusunda çalıŐmalar artmıŐtır (Snyder vd., 2004; Dutta, 2016). Örneğin; Son La, Ban Chat ve Huoi Quang (Kuzey Vietnam) (Thiet vd., 2012), Camastra (Güney İtalya) (Lazzari vd., 2015), Rawal (Pakistan) (Samad vd., 2016), Hongfeng (Çin) (Luo vd., 2019), Al-Mujeb (Ürdün) (Ijam vd., 2020), Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fas) (Ezzaouini vd., 2020) ve Gomal Zam (Afganistan ve Pakistan) (Bhatti vd., 2021) barajlarının havzaları için CBS destekli RUSLE ve MUSLE erozyon modelleri kullanılarak toprak erozyon tahminleri yapılmıştır. Böylece baraj rezervuarlarının sedimantasyon yönetimini, barajların sürdürülebilirliğini ve rezervuar tasarım ömrünün uzatılmasını sağlamak için önemli veriler elde edilmiştir (Miranda vd., 2021). Bu çalışmada CBS tekniklerine dayalı bir Şekilde evrensel toprak kaybı denkleminin (USLE) revize (RUSLE) ve modifiye (MUSLE) versiyonları kullanılarak Naip barajı havzasında akarsu sedimantasyon miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Zira akarsular üzerine kurulan barajlar, akıŐ dinamiklerinin yanı sıra sediment taşınım sürecini ciddi bir Şekilde deđiŐtiren beŐeri tesislerdir.

Tablo 1: Toprak erozyonu araştırmalarında yaygın olarak kullanılan modeller (Hajigholizadeh vd., 2018)**Table 1:** Models commonly used in soil erosion studies (Hajigholizadeh et al., 2018)

Model Türleri	Model Metotları
Ampirik modeller	PSIAC (Pacific Southwest Interagency Committee Method)
	MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation)
	USLE (Universal Soil Loss Equation)
	SLEMSA (Soil Loss Estimation Model for Southern Africa)
	RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)
	EPM (Erosion Potential Method)
	SEDD (Sediment Delivery Distributed)
	TCRP (Tillage-Controlled Runoff Pattern model)
	MOSES (Modular Soil Erosion System project)
	TMDL (Total Maximum Daily Load)
BQART (New Global Predictor of Sediment Load)	
Fiziksel modeller	ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)
	CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)
	SPNM (Sediment-Phosphorus- Nitrogen Model)
	TOPOG (The Terrain Analysis Hydrologic Model)
	MIKE-SHE (Systeme Hydrologique Europeen (French acronym for "European Hydrologic System"))
	WESP (Watershed Erosion Prediction Project)
	SEM (Soil Erosion and Sediment Transport Model)
	SHESED (SHE- SEDimentation)
	ARMSED (Army Multiple Watershed Storm Water and Sediment Runoff)
	RUNOFF
	KINEROS (Kinematic Runoff and Erosion Model)
	WEPP (Watershed Erosion Prediction Project)
	PERFECT (Productivity, Erosion and Runoff, Functions to Evaluate Conservation Techniques)
	OPUS
	GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems)
	PEPP (Process-oriented Erosion Prediction Program)
	CSEP (Climatic Index for Soil Erosion Potential)
	EROSION-3D
	HEM (Hillslope Erosion Model)
	LISEM (Limburg Soil Erosion Model)
	SHETRAN (European Distributed Basin Flow and Transport Modelling System)
	GUEST (Griffiths University Erosion System Template)
	SIMWE (SIMulation of Water Erosion)
	EUROSEM (European Soil Erosion Mode)
	EUROWISE (EUROpe Within Storm Erosion)
	MIKE-11 (Mike (named partially after the author Michael, Mike Abbott))
	EGEM (Ephemeral Gully Erosion Model)
	SEMMED (Soil Erosion Model for Mediterranean Areas)
	CASC2D-SED (CASCade 2-Dimensional SEDimentation)
	WATEM (Water and Tillage Erosion Model)
	PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment mode)
	CHILD (Channel-Hillslope Integrated Landscape Development)
	MWISED (Modelling Within-Storm Sediment Dynamics)
KINEROS2 (Kinematic Runoff and Erosion Model-2)	
GSSHA (Gridded Surface/ Subsurface Hydrologic Analysis)	
DWSM (Dynamic Watershed Simulation Model)	
REGEM (Revised Ephemeral Gully Erosion Model)	
SWAT-WB (Soil and Water Assessment Tool-Water Balance)	
Kavramsal modeller	TOPMODEL
	HSPF (Hydrologic simulation Program, Fortran)
	EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator)
	AGNPS (Agricultural Non-Point Source pollution model)
	SWAT (Soil and Water Assessment Tool)
	SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)
	ACRU (Agricultural Catchment Research Unit)
	APSIM (Agricultural Production Simulator)
	SWIM (Soil and Water Integrated Model)
	IQQM (Integrated Water Quality and Quantity Model)
	RillGrow 1-2 (
	MEDRUSH (MEDalus Desertification Response Unit SHe)

	LASCAM (Large Scale Catchment Model)
	AGNPS-UM (Agricultural Non-Point Source pollution model, modified)
	EMSS (Environmental Monitoring Support System)
	SEDNET (European SEDiment NETwork)
	STREAM (Sealing, Transfer, Runoff, Erosion, Agricultural Modification model)
	SERA (Soil Erosion Risk Assessment in Europe model)
	CAESAR (Cellular Automaton Evolutionary Slope and River model)
	WILSIM (Web-based Interactive Landform Simulation Model)
	INCA-C (Integrated Catchments Model for Carbon)
	PSYCHIC (Phosphorus and Sediment Yield Characterization in Catchments)
Hibrit modeller	MMMF (Modified Morgan, Morgan and Finney)
	THORNES (Thornes model)
	AQUALM (Networked Storm Water Quality Model)
	USPED (Unit Stream Power-based Erosion Deposition)
	IHACRES-WQ (Identification of unit Hydrographs and Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow-Water Quality)
	SEDNET (Sediment River network model)
	SPL (Stream Power Law Model)
	SEAGIS (Erosion Assessment Tool of MIKE BASIN & MILW)
	AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment)

Kara ekosistemlerinde belirgin etkilere yol açan bu tesisler, mevcut ekosistemin tamamen yeni bir şekilde dönüşmesine sebep olmaktadır (Schmutz ve Moog, 2018). Dolayısıyla barajların yapımıyla yeniden düzenlenen akarsu havzalarına karşılık gelen baraj havzaları, doğal ve antropojenik değişikliklere karşı çok hassas ekosistemlerdir (Soukhaphon vd., 2021). Bu ekosistemlerdeki toprak erozyonun belirlenmesi, siltasyon problemlerinin önlenmesi ve barajların ekonomik ömrünün tahmin edilmesi bakımından önem taşımaktadır. Zira erozyon olayının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan siltasyon gerek dünyada gerekse Türkiye’de yaygın olarak görülen (Atalay, 1984) ve barajların ekonomik ömrünün kılmasına sebep olan önemli bir jeomorfolojik problemdir (Efe vd., 2008). Çalışmanın konusu ulusal literatürde daha önce karşılaştırmalı bir şekilde kullanılmamış olan evrensel toprak kaybı denkleminin (USLE) revize (RUSLE) ve modifiye (MUSLE) versiyonlarının aynı anda kullanıldığı bir yöntemde desteklenmesinden dolayı özgün bir nitelik taşımaktadır. Böylece her iki erozyon modeline ait sonuçlar karşılaştırılarak baraj havzasının yıllık ortalama toprak kaybı hesaplanmıştır. Daha önce Naip barajı havzası ve yakın çevresinde RUSLE erozyon modelleri (Özşahin, 2014; 2016a; İkiel vd., 2020) veya çeşitli teknikler (Özşahin, 2016b; 2021) kullanılarak toprak erozyonu hakkında bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Ancak doğrudan havza özelinde hem RUSLE hem de MUSLE erozyon modelleri

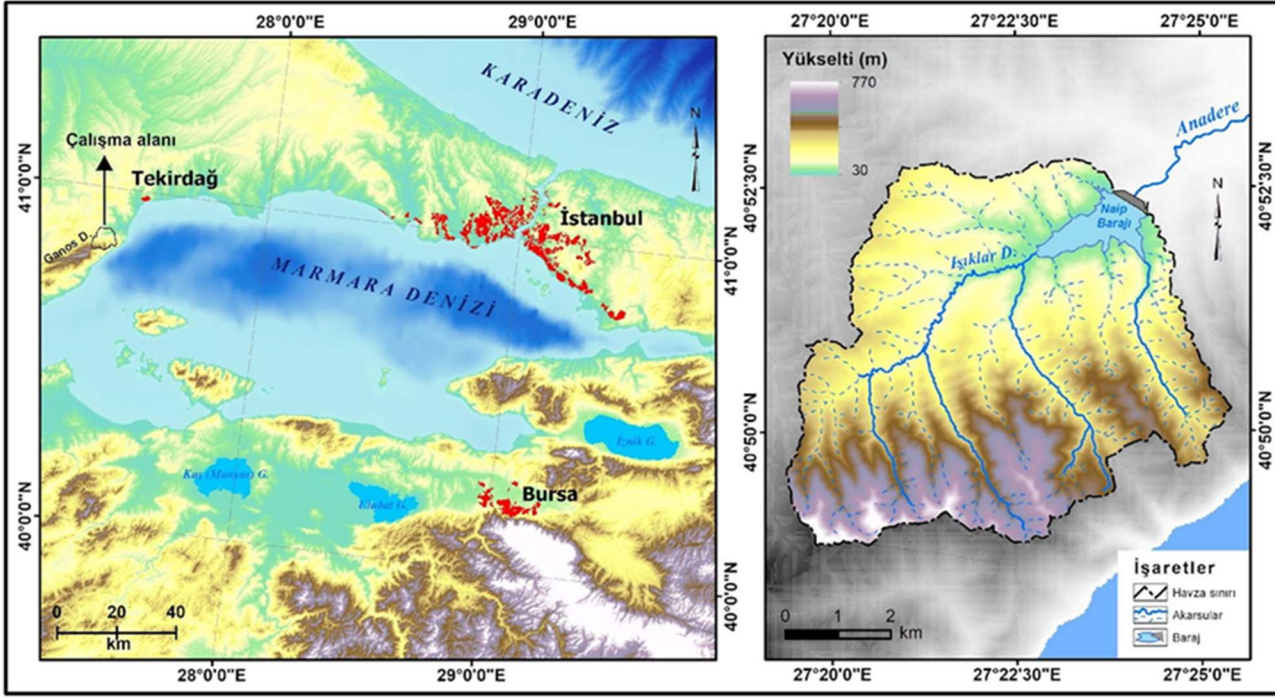
kullanılarak herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

Çalışmada kullanılan yöntemin yenilikçi bir yönü de erozyon modellerinin sonuçlarının batimetrik verilerle kıyaslanmasıdır. Zira Türkiye’nin baraj havzalarındaki siltasyon miktarını belirlemek için farklı erozyon modelleri (çoğunlukla RUSLE) kullanılarak yapılmış çalışmalarda ulaşılan sonuçlar genellikle rezervuar hacim değişiklikleriyle doğrulanmadan aktarılmıştır (Dindaroğlu ve Canbolat, 2014; Oğuz, 2015; Bozyiğit ve Kaya, 2017; Pınar vd., 2020; Fıçıcı, 2021). Buna karşılık bu çalışmada evrensel toprak kaybı denkleminin en yaygın kullanılan modelleriyle elde edilen sonuçlar doğrudan baraj rezervuarındaki değişikliklerle kıyaslanmıştır. Böylece hem aynı havzada farklı erozyon modellerinin sonuç çıktıları kontrol edilmiş hem Naip barajının dolma süresi konusunda çıkarımlarda bulunulmuş hem de barajının gelecekteki yönetimi ile ilgili karar vericilere yönlendirici bilgiler üretilmiştir. Ayrıca bu konuda çalışan diğer araştırmacılar için yardımcı veriler sunulmuştur. Dolayısıyla bu çalışma yukarıda literatürde bildirilen eksiklikleri telafi etmek amacıyla hazırlanmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye’nin kuzeybatı kesiminde bulunan ve Tekirdağ ili sınırları içerisinde kalan Naip barajı havzasıdır (Şekil 1; 2).



Şekil 1: Çalışma alanının lokasyon haritası / Figure 1: Location map of study area



Şekil 2: Naip Barajının havadan görünümü (Süleymanpaşa Belediyesi, 2021) / Figure 2: Aerial view of Naip Dam (Suleymanpasa Belediyesi, 2021)

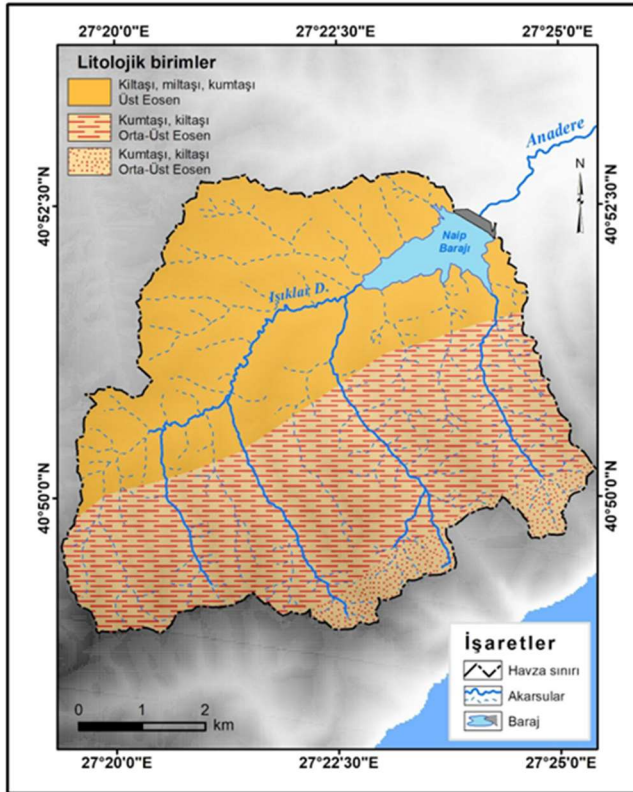
Ganos Dağı'nın kuzeydoğusunu drene eden Işıklar deresinin akaçlama havzasına karşılık gelen çalışma alanı, 42,97 km² yüzölçümüne

sahiptir. Çalışma alanı, 2015 yılında Naip barajının tamamlanmasıyla yeni bir taban seviyesine göre şekillenmiş ikincil bir havza

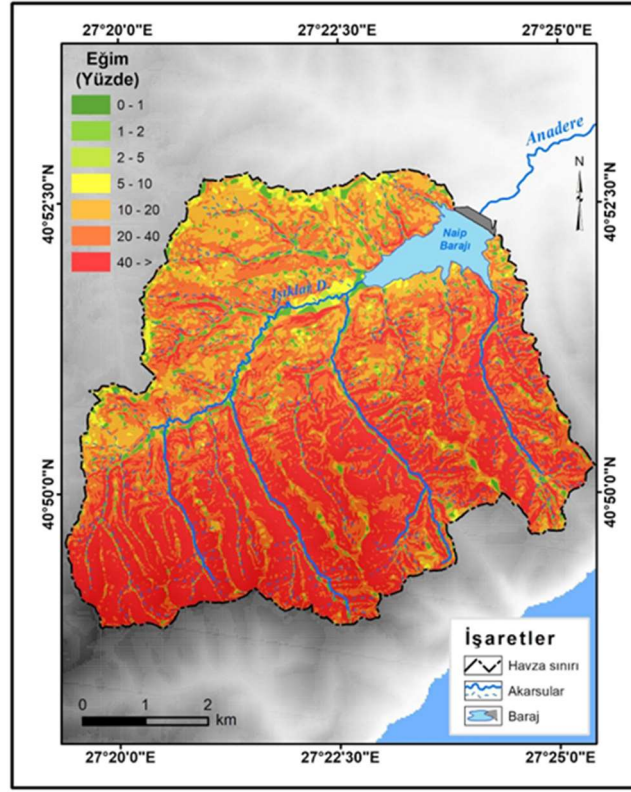
karakterindedir. Homojen toprak dolgu tipinde gövde dolgusuna sahip olan bu barajın normal su kotunda göl hacmi ise 21,62 hm³'tür (DSİ, 2015). İçme ve kullanma suyu temin etmek amacıyla yapılan Naip barajının en önemli faydası, Tekirdağ şehrinin içme suyu ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olmasından kaynaklanmaktadır (Özşahin, 2016c).

Çalışma alanının litolojik özellikleri güneydoğu-kuzeybatı istikametinde yaşlıdan

gence doğru sıralanmış Eosen yaşlı formasyonlarla karakterize edilmektedir (Şekil 3). Bu formasyonlar Orta-Üst Eosen'e ait kumtaşı ve kıltaşı istifleri ile Üst Eosen'e ait kıltaşı, miltaşı ve kumtaşı litolojilerinden meydana gelmektedir (Şentürk vd., 1998). Ortalama yükseltinin 288,8 m olduğu çalışma alanı, 30-770 m irtifaları arasında kalmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanında ortalama eğim %34,3 olup, eğim değerleri daha çok sahanın güney kısmındaki Ganos Dağı'nın yamaçlarına doğru artmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3: Çalışma alanının litoloji haritası
Figure 3: Lithology map of the study area



Şekil 4: Çalışma alanının eğim haritası
Figure 4: Slope map of the study area

Tekirdağ Meteoroloji istasyonun verilerine göre çalışma alanında yıllık ortalama sıcaklık 14,1°C, yıllık toplam yağış ise 583,1 mm'dir. Aylık ortalama sıcaklığın en düşük ocak, en yüksek temmuz ayında ölçüldüğü

çalışma alanında aylık ortalama yağış en fazla aralık ve en az ağustos aylarında kaydedilmiştir. Dolayısıyla en yağışlı mevsimin kış ve en kurak mevsimin de yaz olduğu çalışma alanı, Marmara Geçiş ikliminin etkisi altındadır (Tablo 2).

Tablo 2: Çalışma alanının sıcaklık, yağış ve akım verileri (DSİ, 2020; MGM, 2021)

Table 2: Temperature, precipitation and flow datas of the Naip dam (DSI, 2020; MGM, 2021)

Aylar	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yıllık
Sıcaklık (°C)	15,4	11,0	7,2	4,9	5,3	7,3	11,9	16,8	21,3	23,8	23,7	20,0	14,1
Yağış (mm)	61,9	73,5	80,7	68,3	54,5	54,0	41,1	37,4	38,3	24,4	15,3	33,7	583,1
Akım (m ³ /s)	0,3	0,4	0,8	0,8	1,1	1,2	0,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,5

Çalışma alanında Naip barajının su seviyesini kontrol eden Işıklar Deresinin akım özellikleri sahadaki iklim koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu ilişkiye bağlı olarak ortalama akımın 0,5 m³/sn olduğu Işıklar Deresi yıl içerisinde sadece tek sefer maksimum ve minimum akım seviyesi göstermektedir (Tablo 2). Dolayısıyla basit rejimli bir akarsu karakterine sahip olan Işıklar Deresi aynı zamanda yağmurlu Akdeniz rejimine sahiptir (Özşahin, 2021).

2.2. Yöntem

Bu çalışmanın başlıca materyalini HGM (Harita Genel Müdürlüğü) tarafından kullanıma sunulan yüksek çözünürlüğe (5 m) sahip SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verisi ve ortofotolar oluşturmaktadır (HGM, 2020). Çalışma yöntemi ise çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilen (Williams, 1975; Wischmeier, 1978; Desmet ve Govers, 1996; Renard vd., 1997) ortalama toprak kaybının hesaplanmasında kullanılan denklemlere göre uygulanmıştır.

$$A_{RUSLE} = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

$$A_{MUSLE} = 11.8 (Q \times q_p)^{0.56} \times K \times LS \times C \times P \quad (2)$$

Burada; "A" Ortalama toprak kaybı (t ha⁻¹ y⁻¹), "R" Yağış erozyon faktörü (MJ ha⁻¹ y⁻¹), "K" Toprak erozyon faktörü (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹), "LS" Eğim uzunluk ve eğim dikliği faktörü, "C" Arazi örtüsü ve yönetimi faktörü, "P" Erozyon kontrol faktörü, "Q" Akış hacmi (m³) ve "q_p" Maksimum akım (m³ s⁻¹) anlamındadır.

R faktörü, Tekirdağ meteoroloji istasyonunun uzun yıllık (Ölçüm Periyodu: 1939 - 2020) yağış verileri kullanılarak MFI (Modifiye Fournier İndisi) eşitliğine göre hesaplanmıştır (Arnoldus, 1977; 1980).

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \quad (3)$$

$$R = (4.17 \times MFI) - 152 \quad (4)$$

Burada; "MFI" Modifiye Fournier İndisi (mm), "p_i" Aylık yağışı (mm) ve "P" Yıllık toplam yağış ortalaması (mm) anlamındadır.

K faktörü çalışma alanından 0-30 cm derinlikten rastgele alınmış 24 adet toprak örneğine ait analiz sonuçları kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 3). Toprak örnekleri Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Bitki

Analiz Laboratuvarında analiz edilmiştir. K faktörünün hesaplanmasında ise aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997).

$$K = \{[2.1 \times M^{1.14} \times (10^{-4}) \times (12 - a)] + [3.25 \times (b - 2)] + [2.5 \times (c - 3)]\} / 100 \quad (5)$$

$$M = Silt \times (100 - Kil) \quad (6)$$

Burada; "M" Toprak parçacık boyutu, "Silt" Silt (%), "Kil" Kil (%), "a" OM (Organik madde) (%), "b" Toprak strüktür kodu ve "c" Toprak geçirimsizlik sınıfı anlamındadır (Panagos vd., 2014).

LS faktörü, 5 m çözünürlüğündeki SYM verisi kullanılarak RUSLE ve MUSLE için önerilen denklemlere göre tespit edilmiştir (Djoukbalı vd., 2019).

$$LS_{RUSLE} = \left(\frac{FA \times R}{22.1}\right)^{0.4} \times (0.065 + 0.045 \times S + 0.0065 \times S^2) \quad (7)$$

$$LS_{MUSLE} = 1.4 \times \left(\frac{FA \times R}{22.1}\right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin(\theta \times 0.01745)}{0.09}\right)^{0.4} \quad (8)$$

Burada; "FA" Akım Birikimi (Flow Accumulation), "R" Çözünürlük (Resolution), "S" Eğim (yüzde) ve "θ" Eğim (derece) anlamındadır.

C faktörü, Zanaga vd. (2022) tarafından hazırlanmış ve serbest erişime sunulmuş (ESA WorldCover, 2021) AKAÖ (Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü) sınıflarına farklı kaynaklardan derlenen (Panagos vd., 2015a) katsayıların atanmasıyla elde edilmiştir.

P faktörü, çalışma alanında suyun neden olduğu toprak erozyonunun oluşumunun engellenmesine yönelik herhangi bir erozyon kontrol tekniği tespit edilemediği için 1 olarak kabul edilmiştir (Renard vd., 1991).

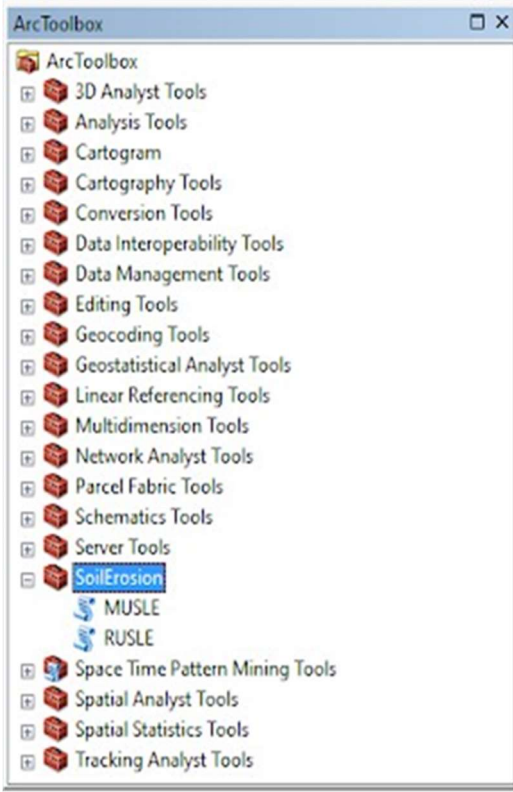
Akış hacmi (Q) ve maksimum akım (q_p) ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Toprak Koruma Servisi (Soil Conservation Service - SCS) tarafından geliştirilen ve DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından yaygın bir şekilde kullanılan sentetik metot yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar D02A094 nolu Işıklar Deresi - Naipköy istasyonunun 1987-2014 yıllarına ait aylık ortalama debi (m³/s) ölçüm sonuçlarına göre gerçeleştirilmiştir (DSİ, 2020; Tablo 4).

Tablo 3: Çalışma alanından 0-30 cm derinlikten rastgele alınmış 24 toprak örneğinin toprak analiz sonuçları / **Table 3:** Soil analysis results of 24 soil samples taken randomly from 0-30 cm depth from the study area

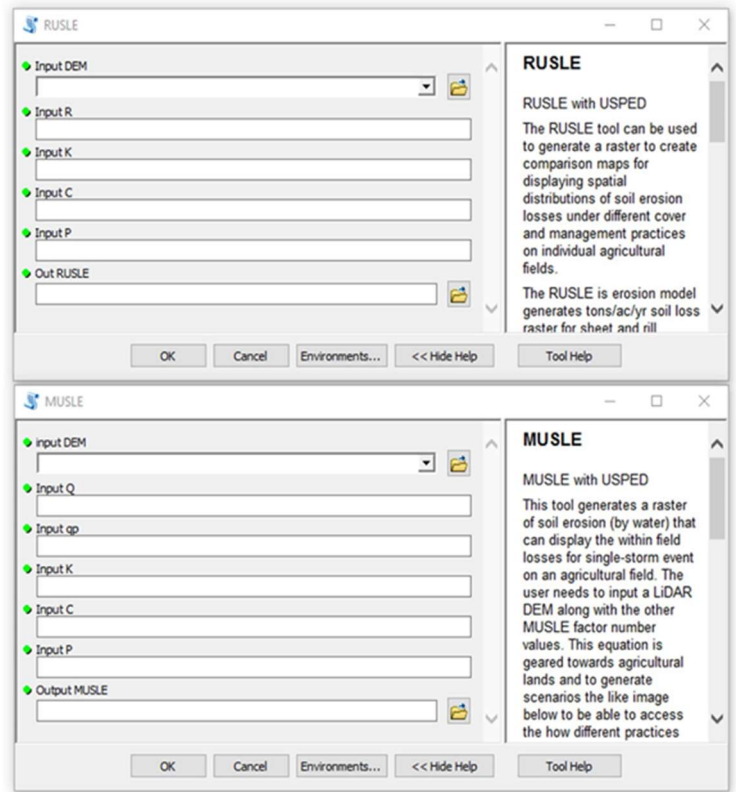
rnek No	Kum (%)	Silt (%)	Kil	OM (%)
N1	28,59	38,68	32,73	3,59
N2	44,68	30,64	24,68	0,72
N3	31,70	46,09	22,20	0,72
N4	48,52	20,53	30,96	3,59
N5	31,70	37,16	31,13	3,74
N6	34,88	33,52	31,60	10,20
N7	38,61	28,57	32,82	5,60
N8	31,58	33,09	35,33	3,02
N9	21,70	43,18	35,12	1,58
N10	17,50	45,29	37,22	2,44
N11	11,38	43,20	45,42	3,02
N12	12,89	28,98	58,13	1,58
N13	25,86	36,99	37,15	4,17
N14	12,87	45,55	41,58	1,87
N15	3,18	39,92	56,90	1,58
N16	8,66	39,37	51,97	1,72
N17	8,41	41,56	50,03	2,44
N18	11,12	48,58	40,30	1,58
N19	25,06	41,54	33,40	2,01
N20	33,46	42,24	24,30	1,15
N21	10,42	83,18	6,40	1,29
N22	18,57	75,01	6,42	2,59
N23	27,77	35,00	37,23	3,74
N24	50,42	26,76	22,81	5,75

Tablo 4: D02A094 nolu Işıklar Deresi – Naipköy istasyonunun 1987-2014 yıllarına ait aylık ortalama debi (m³/s) lm sonuçları (DSİ, 2020) / **Table 4:** Monthly average flow (m³/s) measurement results of D02A094 Işıklar River-Naipkoy station for the years 1987-2014 (DSİ, 2020)

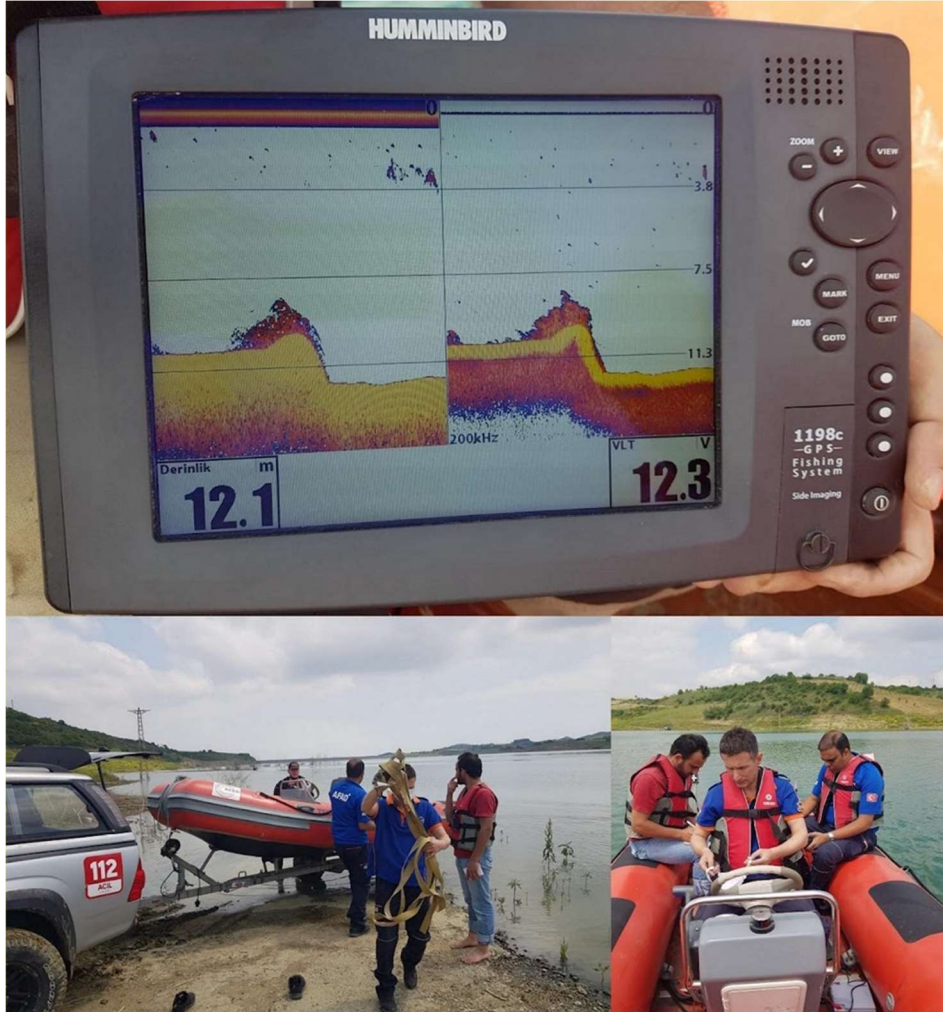
Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1987	0,015	0,023	0,027	1,070	0,800	0,726	0,295	0,106	0,032	0,009	0,002	0,001
1988	0,006	0,437	0,289	0,061	0,157	0,402	0,742	0,216	0,056	0,079	0,003	0,035
1989	0,035	0,449	1,890	0,648	0,259	0,657	0,267	0,140	0,084	0,024	0,023	0,018
1990	0,019	0,037	0,109	0,050	0,049	0,046	0,051	0,045	0,066	0,003	0,007	0,024
1991	0,053	0,090	0,391	0,165	0,195	0,175	0,246	0,286	0,138	0,047	0,010	0,003
1992	0,375	0,085	0,113	0,100	0,058	0,268	0,260	0,124	0,084	0,032	0,003	0,003
1993	0,007	0,024	0,044	0,025	0,176	1,160	0,422	0,217	0,107	0,037	0,034	0,032
1994	0,042	0,092	0,111	0,085	0,229	0,177	0,162	0,220	0,064	0,033	0,013	0,012
1995	0,088	0,140	0,223	4,160	0,854	0,785	1,160	0,441	0,267	0,304	0,040	0,054
1996	0,057	0,095	0,113	0,334	0,953	1,100	0,858	0,277	0,112	0,050	0,098	0,121
1997	0,119	0,136	0,124	0,177	0,097	0,285	0,700	0,236	0,119	0,051	0,044	0,028
1998	1,300	1,890	4,990	1,300	1,770	1,710	1,090	0,598	0,254	0,105	0,031	0,098
1999	0,210	0,780	1,830	1,020	1,100	1,140	0,761	0,542	0,317	0,220	0,485	0,744
2000	1,260	1,100	1,370	1,010	0,943	1,070	0,479	0,312	0,100	0,009	0,012	0,006
2001	1,290	0,977	1,090	1,310	1,680	0,272	0,437	0,397	0,038	0,057	0,055	0,020
2002	0,007	0,083	3,440	1,340	0,576	1,280	1,420	0,229	0,071	0,010	0,277	0,385
2003	0,125	0,276	0,354	1,230	3,960	1,420	2,240	0,623	0,083	0,044	0,013	0,065
2004	0,223	0,152	0,226	2,110	0,599	1,350	0,352	0,169	0,282	0,171	0,139	0,082
2005	0,035	0,033	0,249	0,597	4,120	2,710	0,566	0,795	0,447	0,168	0,058	0,058
2006	0,149	0,608	0,651	0,604	2,570	4,410	0,916	0,300	0,299	0,237	0,189	0,521
2007	1,690	1,440	0,734	0,382	0,492	0,877	0,402	0,216	0,068	0,005	0,003	0,019
2009	0,056	0,118	0,243	0,180	2,610	5,750	0,998	0,277	0,056	0,012	0,002	3,070
2011	0,541	0,230	0,509	0,752	0,667	0,519	1,020	0,362	0,296	0,245	0,136	0,151
2012	0,348	0,175	0,378	0,498	0,637	0,435	0,755	0,370	0,222	0,157	0,093	0,083
2013	0,092	0,102	0,570	0,833	2,240	1,680	0,731	0,251	0,092	0,060	0,046	0,055
2014	0,018	0,009	0,001	0,140	0,038	0,311	0,175	0,074	2,110	0,033	0,025	0,035
Ortalama	0,314	0,369	0,772	0,776	1,070	1,181	0,673	0,301	0,226	0,085	0,071	0,220



Şekil 5: ArcGIS Soil Erosion Tool kullanımı
Figure 5: Using the ArcGIS Soil Erosion Tool



Şekil 6: ArcGIS Soil Erosion Tool'un RUSLE ve MUSLE menüleri
Figure 6: RUSLE and MUSLE menus of ArcGIS Soil Erosion Tool



Şekil 7: Naip Barajında yapılan derinlik ölçümleri / Figure 7: Depth measurements at Naip Dam

Çalışma verileri, yöntem içeriği doğrultusunda CBS teknikleri yardımıyla birleştirilmiştir. Toprak kaybının hesaplanmasında ve erozyon risk haritalarının oluşturulmasında ArcGIS Soil Erosion Tool kullanılmıştır (ArcGIS, 2021). Bu python komut dosyası aracı, çalışma verilerine göre yeniden düzenlenerek çalıştırılmıştır (şekil 5; 6).

Çalışmada kullanılan erozyon modellerinin sonuçları ilksel ve güncel batimetrik verilerin kıyaslanmasıyla doğrulanmıştır (Cürebali vd., 2013; Selek ve Pınarlık, 2019). Bu bağlamda Naip barajının ilksel batimetrik verisi baraj rezervuarına ait 2015 tarihli SYM kullanılarak elde edilmiştir. 2021 yılı batimetrik verisi ise Tekirdağ İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nden tedarik edilen kurtarma botuna monte edilen

3. BULGULAR

3.1. Erozyon Modellerinin Faktörlerinin Belirlenmesi

RUSLE ve MUSLE erozyon modelleri akarsu havzalarındaki ortalama toprak kaybını standart erozyon faktörleri kullanarak hesaplamaktadır. Zira erozyonla meydana gelen toprak kaybının mekânsal değişkenliği bu faktörler kullanılarak açıklanabilmektedir (Roslee ve Sharir, 2019).

R faktör haritası, çalışma alanını temsil eden yağış verilerinin Schreiber'in 1904 denklemine göre düzenlenmesi (Fraedrich, 2010) ve yükseltiye göre R faktör değerlerinin tespit edilip, haritalandırılmasıyla elde edilmiştir (şekil 8).

K faktör haritası, çalışma alanını karakterize eden toprak örnek noktalarına göre hesaplanan K faktör değerlerinin IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı) enterpolasyon yöntemiyle dağıtılmasıyla oluşturulmuştur (şekil 9).

LS faktör haritaları hem RUSLE hem de MUSLE için belirlenmiş denklemlerden yararlanılarak üretilmiştir (şekil 10; 11).

C faktör haritası, çalışma alanındaki AKAÖ sınıfları göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir (şekil 12; 13). Her iki model için de P faktör değerleri tespit edilemediği için 1 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca MUSLE için akış hacmi (Q) ve maksimum akım (q_p) değerleri saptanıp, model eşitliğine dahil edilmiştir.

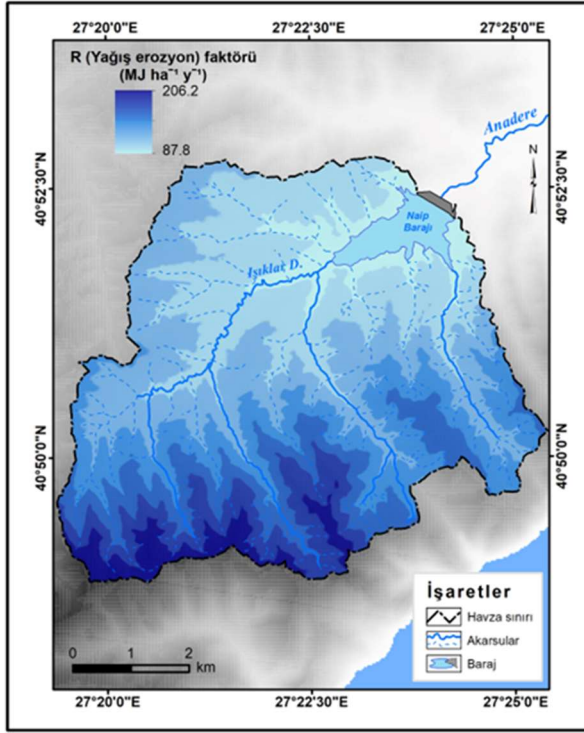
Humminbird marka sonar cihazıyla yapılmış (29.06.2021) derinlik ölçüm sonuçlarına göre oluşturulmuş batimetri verisiyle tespit edilmiştir (şekil 7). Bu veriler, baraj rezervuar depolama kapasitesinin tahmin edilmesinde daha güvenilir olduğu ileri sürülen CBS ve SYM destekli kot/hacim yöntemiyle karşılaştırılmıştır (Sayl vd., 2017).

Çalışmanın sonuçları, hem Avrupa (Panagos vd., 2015b) hem de Türkiye (Erpul vd., 2018) ölçeğinde benzer yöntemlerle yapılmış çalışmalarda kullanılan erozyon risk sınıflandırmalarına göre ayrılmıştır. Böylece elde edilen sonuçların hem Avrupa kıtası geneliyle hem de Türkiye değerleriyle karşılaştırılması hedeflenmiştir.

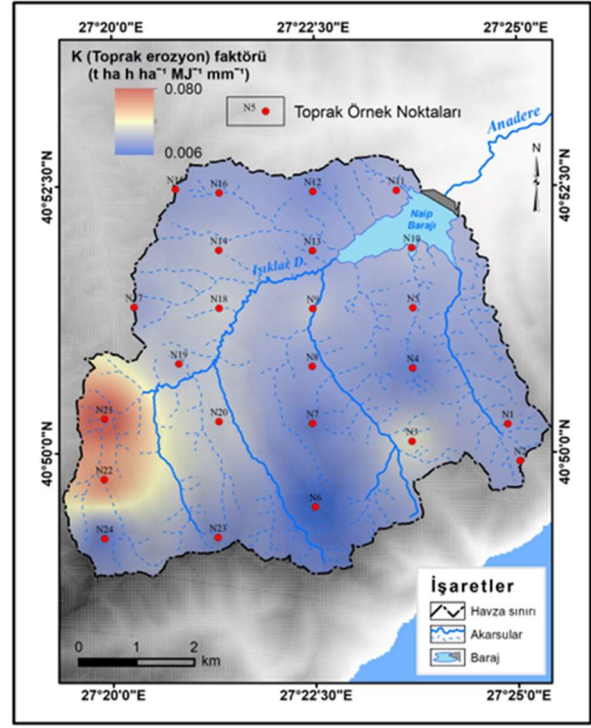
Çalışma alanının RUSLE ve MUSLE denklemlerine ait model girdilerinin ortalama değerleri bakımından R faktörü $82,7 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, K faktörü $0,02 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, C faktörü $0,176$, P faktörü 1 , Akış hacmi (Q) $0,52 \text{ m}^3$ ve maksimum akım (q_p) $7,85 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Her iki modele ait LS faktörü python komut dosyası aracısıyla otomatik olarak üretilmiştir.

3.2. Erozyon Modellerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

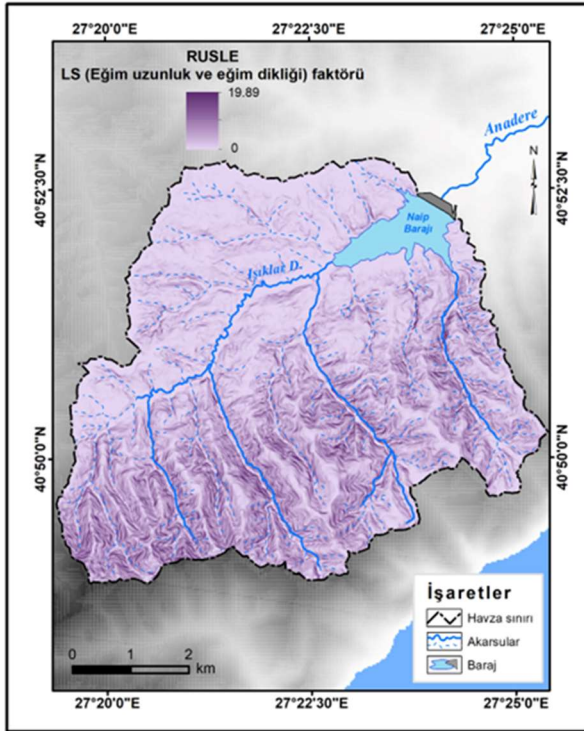
RUSLE ve MUSLE yöntemleri için belirlenmiş erozyon model faktör verilerinin ortalama değerleri kullanılarak çalışma alanının erozyon haritaları üretilmiştir (şekil 14). Bu haritalara göre çalışma alanında $0,31 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (RUSLE) ve $0,36 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (MUSLE) miktarında yıllık ortalama toprak kaybının yaşandığı belirlenmiştir (Tablo 5). Her iki modele ait sonuçlar Djoukbalı vd. (2019) tarafından yapılmış çalışma bulgularıyla örtüşmektedir. MUSLE erozyon modelinin RUSLE eşitliğine kıyasla hem ortalama hem de maksimum düzeyde daha yüksek sonuçlar göstermesinde akış hacmi ve maksimum akım faktörlerinin önemli bir etkiye sebep olduğu düşünölmektedir (Djoukbalı vd., 2019).



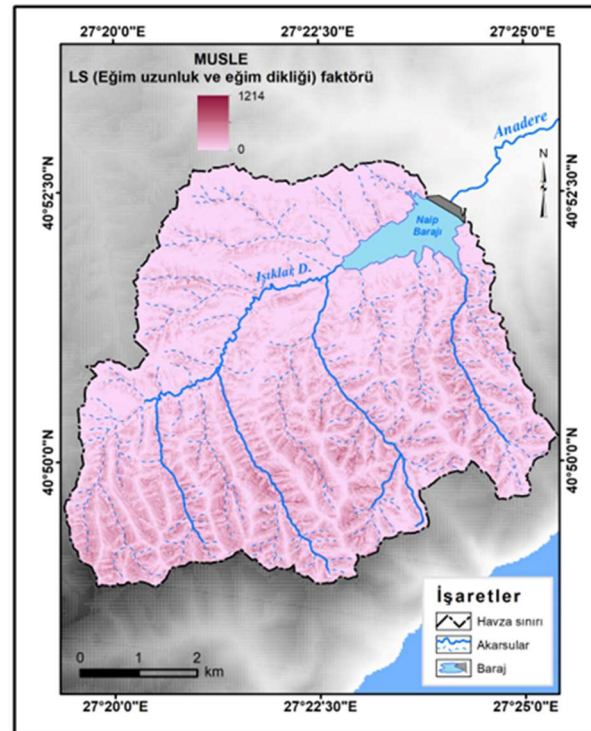
Şekil 8: Çalışma alanının R faktör haritası
Figure 8: R factor map of study area



Şekil 9: Çalışma alanının K faktör haritası
Figure 9: K factor map of study area



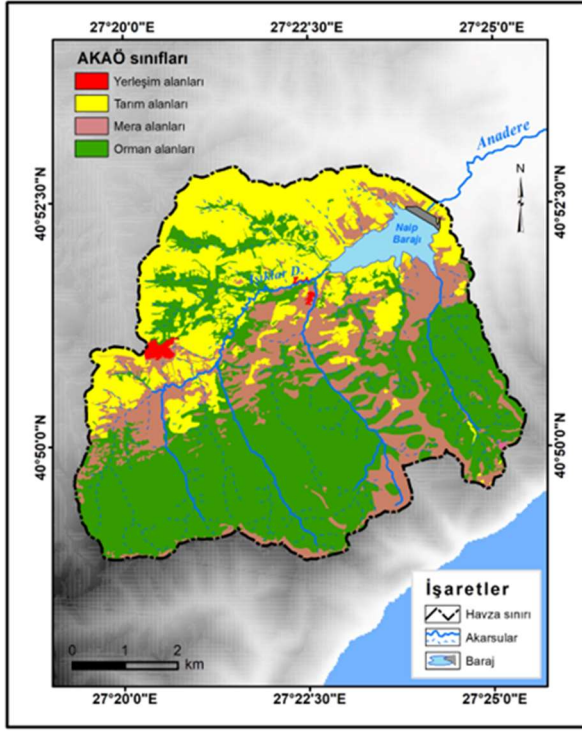
Şekil 10: Çalışma alanının LS faktör (RUSLE) haritası
Figure 10: LS factor (RUSLE) map of study area



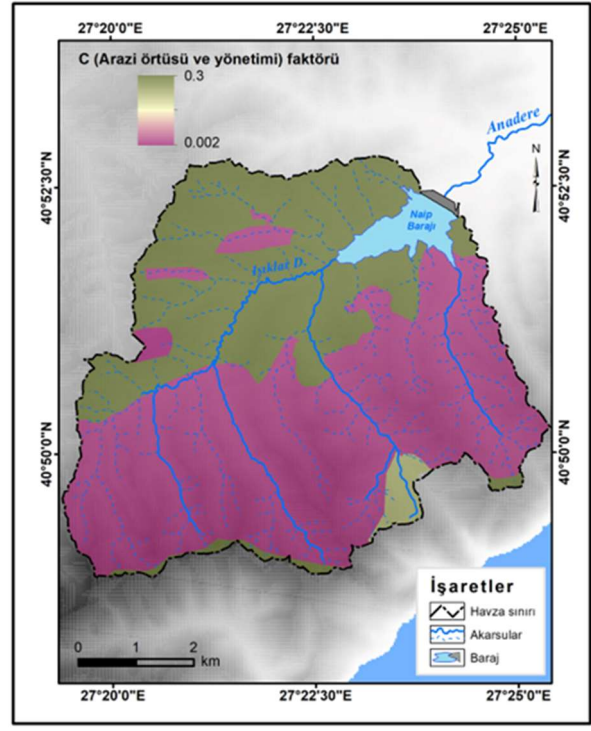
Şekil 11: Çalışma alanının LS faktör (MUSLE) haritası
Figure 11: LS factor (MUSLE) map of study area

Tablo 5: RUSLE ve MUSLE yöntemlerine göre çalışma alanındaki yıllık ortalama toprak kaybı miktarlarının istatistiksel değerlendirmesi / **Table 5:** Statistical evaluation of annual average soil loss amounts in the study area according to RUSLE and MUSLE methods

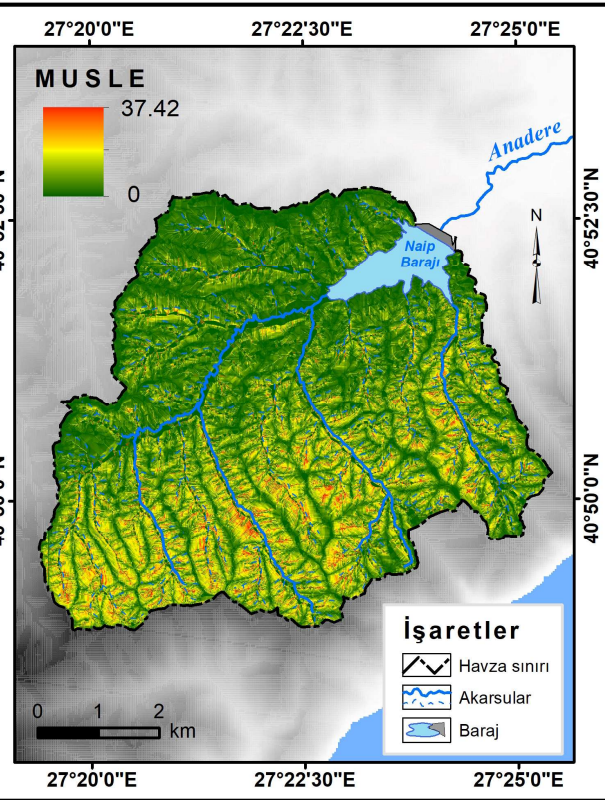
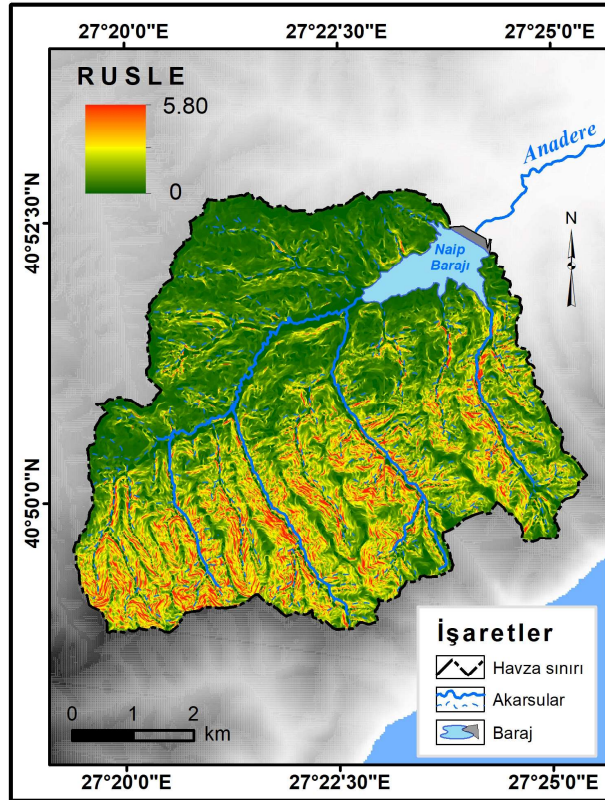
Erozyon Miktarı	RUSLE	MUSLE
Minimum	0	0
Ortalama	0,30	0,35
Maksimum	5,80	37,42



Şekil 12: Çalışma alanının AKAÖ haritası
Figure 12: LULC map of study area



Şekil 13: Çalışma alanının C faktör haritası
Figure 13: C factor map of study area



Şekil 14: Çalışma alanının erozyon haritaları (RUSLE ve MUSLE) / Figure 14: Erosion maps of the study area (RUSLE and MUSLE)

Çalışma alanındaki yıllık ortalama toprak kaybı miktarı, gerek Avrupa ($2,46 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) (Panagos vd., 2015), gerek Türkiye ($2,01 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) (Erpul vd., 2018) gerekse Tekirdağ ($5,26 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) (Özşahin, 2014) için bildirilen değerlerin çok altındadır. Bununla birlikte çalışma alanında Avrupa (Panagos vd., 2015b) ve Türkiye (Erpul

vd., 2018) erozyon risk sınıflamalarına göre 0-1 $\text{t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ toprak kaybının olduğu ihmal edilebilir veya çok hafif erozyon riski yaygındır (Tablo 6). Çalışma alanının içerisinde yer aldığı hem Trakya Yarımadasında (İkiel vd., 2020) hem de Tekirdağ ilinde (Özşahin, 2014) ağırlıklı olarak çok hafif erozyon riskinin egemen olması da bu

bulguyu desteklemektedir. Çalışma alanında toprak erozyonun etkisi ve hızı, yanlış ve bilinçsiz toprak işlemenin olduğu tarım alanlarında ve kumlu toprakların/litolojilerin yayılış sahalarındaki doğal bitki örtüsünün

tahrip edildiği meralarda ve ormanlarda şiddetlenmektedir. Bu bakımdan çalışma alanı ana akarsu kolunun kuzeybatısı ve güneydoğusu olarak iki kısımda incelenebilir.

Tablo 6: Avrupa ve Türkiye Erozyon Risk Sınıflamalarına göre çalışma alanındaki erozyon risk sınıflarının alansal ve oransal dağılımı / **Table 6:** Distribution of erosion risk classes in the study area according to European and Turkish Erosion Risk Classification

Avrupa Erozyon Risk Sınıflaması (Panagos vd., 2015b)					
Erozyon risk sınıfları	Toprak kaybı (t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	RUSLE		MUSLE	
		Alan (ha)	Oran (%)	Alan (ha)	Oran (%)
İhmal edilebilir	0-1	4 078,99	95,17	3 948,06	92,12
Çok düşük	1,01-2	187,78	4,38	275,52	6,43
Düşük	2,01-5	14,99	0,35	46,19	1,08
Orta	5,01-10	4,216	0,10	8,91	0,21
Yüksek	10,01-20	-	-	4,31	0,10
Çok yüksek	20,01-50	-	-	2,99	0,07
Türkiye Erozyon Risk Sınıflaması (Erpul vd., 2018)					
Erozyon risk sınıfları	Toprak kaybı (t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	RUSLE		MUSLE	
		Alan (ha)	Oran (%)	Alan (ha)	Oran (%)
Çok hafif	0-1	4 079,46	95,18	3 946,56	92,08
Hafif	1,01-5	200,91	4,69	321,63	7,50
Orta	5,01-10	5,62	0,13	9,37	0,22
Şiddetli	10,01-20	-	-	4,87	0,11
Çok şiddetli	20,01 +	-	-	3,56	0,08
TOTAL		4285,99	100,00	4285,99	100,00



Şekil 15: Çalışma alanında eğime paralel olarak toprak işleminin yapıldığı tarım alanları ile mera ve ormanların tahrip olduğu alanlarda erozyon şiddeti artmaktadır. / **Figure 15:** In the study area, the severity of erosion increases in agricultural areas where tillage is made in parallel with the slope and in areas where pastures and forests are destroyed.

Ağırlıklı olarak tarım alanlarının yaygın olduğu kuzeybatı havzada tarım arazileri eğim doğrultusunda işlenmektedir. Bu hatalı ve sakıncalı uygulamanın da tarımsal girdi maliyetlerindeki artış (akaryakıt fiyatlarının

yükselmesi vs.) sebebiyle tercih edildiği belirlenmiştir (Özşahin, 2021). Diğer yandan çalışma alanındaki meraların ve ormanların hakim olduğu güneydoğu havzada ise doğal bitki örtüsü yoğun tahribat altındadır. Bu antropojenik kaynaklı bozulma süreci ağırlıklı

olarak tarımsal amaçlı faaliyetler için yeni alan açmadan kaynaklanmaktadır. Zira çalışma alanında yeni tarım alanları kazanmak için meralar yeni mera alanları oluşturmak için de ormanlar zayıf edilmektedir (Şekil 15). Dolayısıyla özellikle şiddetli sağanak yağışın olduğu dönemlerde her iki sebebe bağlı olarak erozyonun şiddeti artmaktadır (Özşahin, 2016c).

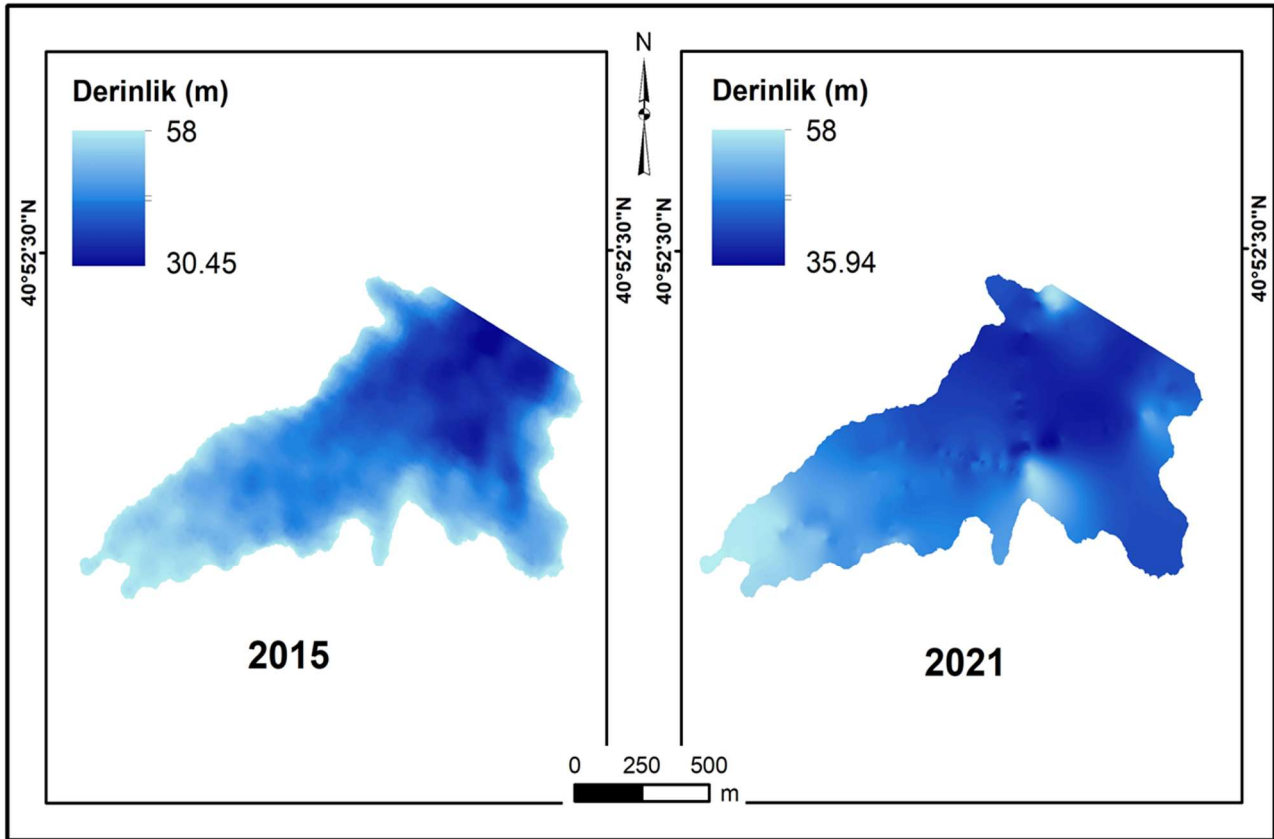
3.3. Erozyon Modellerinin Sonuçlarının Kontrolü

Erozyon modellerinin sonuçların kontrolü, Naip barajının hacimsel değişikliklerine göre

yapılmıştır. Bunun için barajın ilk su tutmaya başladığı zamanda (2015) 25 080 000 m³ olan toplam rezervuar hacminin 2021 yılında 22 093 208 m³ olduğu belirlenmiştir (Şekil 16; Tablo 7). Buna göre rezervuar hacmi -2 986 608 m³ azalmıştır. Baraj rezervuarında siltasyon sebebiyle meydana gelen en fazla değişimin de ölü hacimde gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 17). Böylece ilgili yıllar arasında ölü hacim %13,09 küçülmüştür (Tablo 7).

Tablo 7: Naip barajındaki aktif hacim, ölü hacim ile siltasyon miktarının değişimi (2015-2021) / **Table 7:** Change of active volume, dead volume and siltation amount in Naip dam (2015-2021)

Rezervuar	Yükselti (m)	Hacim (m ³)		Hacim Değişimi (m ³)	Değişimin Oranı (%)
		2015	2021		
Toplam Hacim	68,56	25 080 000	22 093 392	-2 986 608	-11,91
Aktif Hacim	44< - >68,56	22 961 159	20 251 936	-2 709 223	-11,80
Ölü Hacim	44	2 118 841	1 841 456	-277 385	-13,09



Şekil 16: Naip barajının batimetri haritaları (2015-2021) / **Figure 16:** Bathymetry maps of the Naip dam (2015-2021)

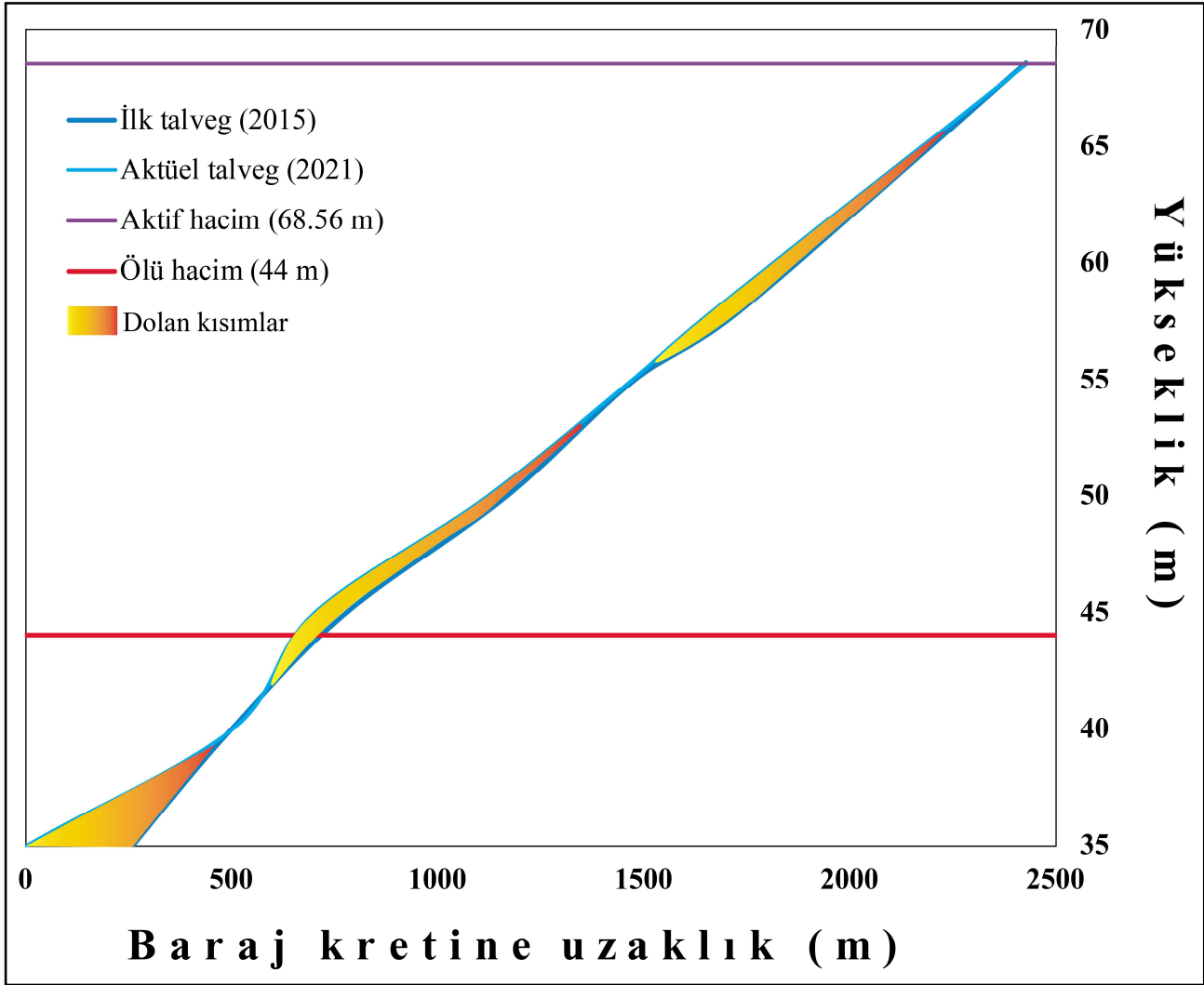
Çalışma alanında sediment verimi, rezervuar hacminde meydana gelen azalmanın havza yüzölçümüne bölünmesiyle hesaplanmıştır (Cürebal vd., 2013). Buna göre sediment veriminin 87,16 m³/yıl/km² olduğu baraj

havzasında rezervuarda ilk su tutulmaya başlandığı dönemden 2021 yılına kadar geçen 6 yıllık sürede toplam taşınan sediment miktarının 6 445,62 ton olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla siltasyon sebebiyle barajın rezervuar

hacmi %11,91 küçülmüştür (Özşahin, 2021; Tablo 6).

Çalışma alanındaki Naip barajının yapımından beri (2015-2021) meydana gelen siltasyonun etkisiyle baraj rezervuarının küçülmesi aynı zamanda barajın ömrünün azalmasına da yol açmıştır. Dolayısıyla çalışma alanı için belirlenmiş yıllık ortalama toprak kaybıyla

ortaya çıkan siltasyonun benzer biçimde devam edeceği varsayımıyla Naip barajının ekonomik ömrü 50 yıl olarak tespit edilmiştir. 2021 yılına kadar bu sürenin 6 yılı geçtiği için barajının kalan ömrü 44 yıl olarak belirlenmiştir. Böylece çalışma alanındaki siltasyonu azaltıcı herhangi bir önlem alınmadığı takdirde baraj rezervuarının 2065 yılında işlevsiz hale geleceği tahmin edilmektedir (Özşahin, 2021).



şekil 17: Naip barajının rezervuarındaki talveg profilinin değişimi (2015-2021) / **Figure 17:** Change of thalweg profile in the reservoir of Naip dam (2015-2021)

4. SONUÇ, TARTIşMA VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda Naip barajı havzasında $0,31 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (RUSLE) ve $0,36 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (MUSLE) miktarında yıllık ortalama toprak kaybının yaşandığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar batimetrik verilerle kontrol edilmiş ve RUSLE model sonucunun daha isabetli olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla barajın yapımından beri (2015-2021) toplam taşınan sediment miktarının

6 445,62 ton olduğu hesaplanmıştır. Buna göre toplam rezervuar hacmi, %11,95 oranında dolmuştur. Rezervuarın dolma hızı aynı şekilde devam ederse Naip barajı 2065 yılında işlevsiz hale gelecektir. Çok hafif erozyon riskinin görüldüğu çalışma alanında, yanlış arazi kullanımının izlendiği eğimli yamaçlarda ve arazi bozulmasının görüldüğu kumlu toprak/litoloji yayılış alanlarında erozyonun daha şiddetli bir şekilde etkili olduğu

anlaşılmıştır. Bu alışma evrensel toprak kaybı denkleminin (USLE) revize (RUSLE) versiyonunun benzer havzalar için daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ayrıca ArcGIS Soil Erosion Tool adlı uygulamanın evrensel toprak kaybı denkleminin (USLE) revize (RUSLE) ve modifiye (MUSLE) versiyonlarının akarsu sedimantasyon miktarının belirlenebilmesi ve baraj rezervuarlarındaki depolanma süreçleri konusunda yararlı sonuçlar elde edilmesi için pratik bir şekilde kullanılabileceği göstermiştir.

Çalışma alanında tamamen engellenemeyen toprak erozyonunun büyük ölçüde kontrol altına alınması, bazı önlemlerin geliştirilmesiyle mümkündür. Öncelikle alışma alanındaki tarlalar eğim yönüne dik olarak srlmedir. Bunun için yöredeki çiftçilerin bilinçlendirilmesi ve bazı tarımsal desteklerle (akaryakıt desteği vs.) takviye edilmesi gerekmektedir. Diğer yandan çalışma alanındaki kumlu toprakların/litolojilerin yayılış sahalarındaki meraların ve ormanların korunması da elzemdir. Ayrıca Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yayımlanan İçme ve Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik kapsamında baraj çevresinde oluşturulacak koruma alanları ile çalışma alanındaki erozyon problemi nlenebilir. Böylece havzadaki erozyonun şiddeti yavaşlatılabilir ve barajın dolma süresi uzatılabilir.

4. KATKI BELİRTME VE TEŐEKKÜR

Makalenin arazi çalışmaları sürecinde yardımlarından dolayı sayın Do. Dr. Hseyin SARI ve Tekirdağ İl Afet ve Acil Durum Mdrlğ personeline, ayrıca makalenin değerlendirilmesi aşamasında katkılarından dolayı hakemlere ve editre teŐekkr ederim.

KAYNAKA

ArcGIS. (2021). Soil Erosion Tool. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d9cf2bdcb64e47d39df8410cb6814d20>.

Arnoldus, H.M.J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, *FAO Soils Bulletin*, 34:39-51.

Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, in: De Boodt, M. and Gabriels, D., *Assessment of Erosion*, pp.: 127-131, Chichester, UK, Wiley.

Aşık, Y. (2016). Barajların Kontrol ve Denetiminin nemi. *Gmşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (1):33-40. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.004>.

Atalay, İ. (1984). Soil erosion and its effects on the transportation and the modern sedimentation in Turkey. *Ege Coğrafya Dergisi*, 2:30-47.

Bhatti, M.T., Ashraf, M., Anwar, A.A. (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., 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>.

Bozyiğit, R., Kaya, B. (2017). Altınapa Barajı Havzasında (Konya) Erozyon ve nlemler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 36:285-303. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/30253/330017>.

Chuenchum, P., Xu, M., Tang, W. (2020). Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield in the Lancang-Mekong River Using the Modified Revised Universal Soil Loss Equation and GIS Techniques. *Water*, 12(1):135. <https://doi.org/10.3390/w12010135>.

Cürebal, İ., Efe, R., Soykan, A., Snmez, S. (2013).  Boyutlu Modelleme Kullanılarak Siltasyon Miktarının llmesi: aygren Barajı rneği. *UJES 2012, III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s.: 729-738, Hatay.

Desmet, P.J.J., 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 (5):427-433.

Dindaroğlu, T., Canbolat, M. (2014). Erzurum İli Kuzgun Baraj Gl Havzasında Gerek ve Potansiyel Erozyon Risk Alanlarının CORINE Yntemiyle Belirlenmesi. *KS Doğa Bilimleri Dergisi*, 16 (4):8-15. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ksudobil/issue/22839/243811>.

Djoukbala, O., Hasbaia, M., Benselama, O., Mazour, M. (2019). Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria). *Modeling Earth Systems and Environment*, 5:725-743. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0562-6>.

- DSİ. (2015). İnşa Halindeki Barajlar. DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) 11. Bölge Müdürlüğü, Edirne, Erişim Tarihi: 14/04/2015, Erişim Adresi: <http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi11/tekirdag.htm>
- DSİ. (2020). D02A094 nolu Işıklar D. – Naipköy istasyonuna ait 1987-2014 aylık ortalama debi (m³/s) ölçüm sonuçları. DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) Etüt Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı Rasatlar Şube Müdürlüğü, Ankara.
- 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., Cürebal, İ. (2008). Erosion Analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3D) Method. *Journal of Applied Science*, 8 (1): 49-58.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M.A., Demirtaş, İ., Çetin, E. (2018). Türkiye Su Erozyonu Atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- ESA WorldCover (2021). <https://worldcover2021.esa.int/viewer>.
- Ezzaouini, M.A., Mahé, G., Kacimi, I., Zerouali, A. (2020). Comparison of the MUSLE Model and Two Years of Solid Transport Measurement, in the Bouregreg Basin, and Impact on the Sedimentation in the Sidi Mohamed Ben Abdellah Reservoir, Morocco. *Water*, 12:1882. <https://doi.org/10.3390/w12071882>.
- Fıçıcı, M. (2021). Madra Barajı Havzasında erozyon analizi. Yayınlanmamış doktora tezi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.
- Fraedrich, K. (2010). A Parsimonious Stochastic Water Reservoir: Schreiber's 1904 Equation. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 575-578. <https://doi.org/10.1175/2009JHM1179.1>.
- Hajigholizadeh, M., Melesse, A.M., Fuentes, H.R. (2018). Erosion and Sediment Transport Modelling in Shallow Waters: A Review on Approaches, Models and Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3):518. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030518>.
- HGM. (2020). Tekirdağ İli SYM (5 m) verisi ve ortofotoları (2019). Harita Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ijam, A.Z., Al-Nawiseh, A.N., Ktishat, K. (2020). Storage Reduction of Mujeb Dam Reservoir in Jordan due to Sedimentation. *Journal of Environment and Earth Science*, 10 (6):124-131. <https://doi.org/10.7176/JEES/10-6-10>.
- İkiel, C., Ustaoglu, B., Koç, D.E. (2020). Trakya Yarımadası'nda Erozyon Duyarlılık Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* 4:1-14. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jader/issue/53577/666287>.
- Lazzari, M., Gioia, D., Piccarreta, M., Danese, M., 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>.
- Luo, Y., Lu, M., Wang, H., 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>.
- MGM. (2021). Tekirdağ Meteoroloji İstasyonu Meteorolojik Gözlem Verileri (1950-2020). Tekirdağ Meteoroloji İstasyonu, Tekirdağ.
- Miranda, M.N., Rosa, C., Peres, A., 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>.
- Oğuz, K. (2015). Kurtboğazı barajı havzasında erozyon risk alanlarının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30 (2):176-181. <https://doi.org/10.7161/anajas.2015.30.2.176-181>.
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ İlinde CBS Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Erozyon Risk Değerlendirmesi. *JOTAF / Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (3):45-56.
- Özşahin, E. (2016a). 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. (2016b). Alakır Çayı Havzasında (Antalya) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkili Faktörler. *JOTAF / Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (2):123-134.
- Özşahin, E. (2016c). Çok Şiddetli Erozyon Probleminin Değerlendirilmesine Yönelik Pilot Bir Çalışma: Kavakdere Havzası (Trakya Yarımadası) Örneği. *International Journal of Eurasia Social Sciences*, 7 (2):100-119.
- Özşahin, E. (2021). Baraj Rezervuarındaki Alansal ve Hacimsel Değişikliklerin Zamansal ve Mekânsal Ölçekte Karşılaştırması: Naip Barajı Örneği (Tekirdağ/Türkiye). III. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi Tam Metin Bildiriler Kitabı (UCEK – 2021), Editör: Prof. Dr. Hakan KOÇ, s.:

- 603-613, 14-17 Ekim 2021, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye.
- Özşahin, E., Duru, Ü., Eroğlu, İ. (2018). Land Use and Land Cover Changes (LULCC), a Key to Understand Soil Erosion Intensities in the Maritsa Basin. *Water*, 10:335. <https://doi.org/10.3390/w10030335>.
- Özşahin, E., Eroğlu, İ., Yıldız, H. (2019). GIS Based Erosion Studies in Turkey. *Proceedings of International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series- Tekirdağ / Turkey*, March 09-10, 2019 / Ed. Dimitar Kirilov DIMITROV, Dimitar NIKOLOSKI, Rasim YILMAZ, pp.: 1251-1253.
- Palmieri, A., Shah, F., 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., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*, 479-480:189-200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, C., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. (2015a). Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use Policy*, 48C:38-50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. (2015b). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54:438-447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.
- Pınar, M.Ö., Şahin, S., Madenoğlu, S., Erpul, G. (2020). Derinöz Baraj Havzasında Şiddetli Erozyon Alanlarının Belirlenmesi Ve Rezervuar Sediment Yükünün Hesaplanması. *Su Kaynakları*, 5 (2):24-33. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/su/issue/56995/785518>.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Porter, J.P. (1991). Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Journal Soil Water Conservation*, 46:30-33.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703*, USDA: Washington, DC, USA.
- Roslee, R., Sharir, K. (2019). Soil Erosion Analysis using RUSLE Model at the Minitod Area, Penampang, Sabah, Malaysia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1358:012066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1358/1/012066>.
- Samad, N., Chauhdry, M.H., Ashraf, M., Saleem, M., Hamid, Q., Babar, U., Tariq, H., Farid, M.S. (2016). Sediment yield assessment and identification of check dam sites for Rawal Dam catchment. *Arabian Journal of Geosciences*, 9:466. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2484-9>.
- Sayl, K.N., Muhammad, N.S., El-Shafie, A. (2017). Optimization of area-volume-elevation curve using GIS-SRTM method for rainwater harvesting in arid areas. *Environmental Earth Sciences*, 76:368. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6699-1>.
- Schmutz, S., Moog, O. (2018). Dams: Ecological Impacts and Management. In: Schmutz, S., Sendzimir, J. (Eds.) *Riverine Ecosystem Management. Aquatic Ecology Series, Volume: 8*, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_6.
- Selek, Z., Pınarlık, M. (2019). Yeşilirmak Havzası Çakmak Barajı rezervuarındaki sediment birikiminin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 22(3):715-721. <https://doi.org/10.2339/politeknik.457958>.
- Şentürk, K., Sümengen, M., Terlemez, İ., Karaköse, C. (1998). 1:100 000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Bandırma-D4 Paftası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü No: 64*, Ankara.
- Snyder, N.P., Rubin, D.M., Alpers, C.N., Childs, J.R., Curtis, J.A., Flint, L.E., Wright, S.A. (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, I.G., Hogan, Z.S. (2021). The Impacts of Hydropower Dams in the Mekong River Basin: A Review. *Water*, 13(3):265. <https://doi.org/10.3390/w13030265>.
- Süleymanpaşa Belediyesi. (2021). Naip Barajı. <https://www.suleymanpasa.bel.tr/bilgi/Naip-Baraj%C4%B1--246>. Son Erişim Tarihi: 06.07.2021.
- Thiet, N.V., Orange, D., Laffy, D., Cu, P.V. (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.
- Williams, J.R. (1975). Sediment routing for agricultural watersheds. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 11:965-974.
- Wischmeier, W.H. (1978). Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 31:5-9.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook No. 537, 537:285-291. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>.
- Xu, Y., Shao, X., Kong, X., Peng, J., Cai, Y. (2008). Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China. Environmental Monitoring and Assessment, 141:275-286. <https://doi.org/10.1007/s10661-322007-9894-9>.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.E., Xu, P., Ramoino, F., Arino, O. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>.
- Zhang, Y., Degroote, J., Wolter, C., Sugumaran, R. (2009). Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a GIS Framework to Assess Soil Erosion Risk. Land Degradation and Development, 20:84-91. <https://doi.org/10.1002/ldr.893>.