

# Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

## Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238



### Araştırma Makalesi / Research Article

## RUSLE (3D) MODELİ KULLANILARAK TOPRAK EROZYONU TAHMİNİ: GÜZELHİSAR BARAJI HAVZASI ÖRNEĞİ (İZMİR - MANİSA)

### Soil Erosion Estimation Using RUSLE (3D) Model: The Case of Güzelhisar Dam Basin (İzmir - Manisa)

Dilek AYKIR<sup>a</sup>, Melike DURAK<sup>b</sup>, İsa CÜREBAL<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Sorumlu Yazar / Corresponding Author

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir / Türkiye

dlkaykr@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-2748-4055>

<sup>b</sup> Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Balıkesir / Türkiye

durakmelike1919@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-3102-9132>

<sup>c</sup> Balıkesir Üniversitesi, Fen - Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Balıkesir / Türkiye

curebal@balikesir.edu.tr  <https://orcid.org/0000-0002-3449-1595>

#### Makale Tarihçesi

Geliş 25 Kasım 2025

Kabul 15 Ocak 2026

#### Article History

Received 25 December 2025

Accepted 15 January 2026

#### Anahtar Kelimeler

Toprak Erozyonu, Siltasyon, Güzelhisar Barajı, RUSLE, Coğrafi Bilgi Sistemleri

#### Keywords

Soil Erosion, Siltation, Güzelhisar Dam, RUSLE, Geographical Information Systems

#### Atıf Bilgisi / Citation Info

Aykır, D., Durak, M. & Cürebal, İ. (2026) RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini: Güzelhisar Barajı Havzası Örneği (İzmir - Manisa) / Soil Erosion Estimation Using RUSLE (3D) Model: The Case of Güzelhisar Dam Basin (İzmir - Manisa), Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, 2026 (16): 43-63.

doi: 10.46453/jader.1849049

#### ÖZET

Türkiye'nin batısındaki İzmir ili, Aliağa ilçesinde bulunan Güzelhisar barajı, Aliağa yerleşmesi ve ilçedeki sanayi tesislerinin su ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla planlanmış ve 1982 yılında hizmete alınmıştır. Barajların ömürleri, erozyon nedeniyle baraj göllerine taşınan siltasyondan doğrudan etkilenmektedir. Bu çalışma, baraj havzasında toprak erozyonu duyarlılığı ile dağılışının belirlenmesi, yıllık ortalama toprak kaybı miktarının tahmini, ayrıca erozyon nedeniyle baraj rezervuarında oluşan hacimsel değişimin belirlenebilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) kullanılmıştır. Denklem 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 Güzelhisar Barajı havzasında çok hafif, hafif, orta şiddetli, şiddetli ve çok şiddetli olarak ayırılan beş farklı grupta erozyon duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır. Buna göre havzanın %19.4'ünde çok hafif, %14.4'ünde hafif, %12.2'sinde orta şiddetli, %16.3'ünde şiddetli ve son olarak %37.7'inde ise çok şiddetli erozyon duyarlılığı tespit edilmiştir. Ortalama bir hesap ile havza genelinde  $13 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  erozyon duyarlılığı hesaplanmıştır. Güzelhisar barajı havzasında hesaplanan erozyon duyarlılığı, Türkiye ortalaması olarak hesaplanan  $8.24 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  değerinden yüksek bulunmuştur. Bulgular, sediment verimini azaltmak ve Güzelhisar Barajı'nın işletme ömrünü uzatmak için hedeflenen koruma önlemlerine duyulan ihtiyacın altını çizmektedir. Bu bütünlendirici yaklaşım, benzer hidrolojik bağlamlarda erozyon değerlendirmesi için ölçeklenebilir bir metodoloji sunmaktadır.

#### ABSTRACT

The Güzelhisar Dam, located in the Aliağa district of İzmir, Türkiye, was commissioned in 1982 to supply water for both residential and industrial use. However, its longevity is increasingly threatened by sediment siltation driven by soil erosion within its catchment. This study employs the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated within a Geographic Information Systems (GIS) framework to quantify erosion susceptibility, estimate average annual soil loss, and evaluate sediment-induced volumetric changes in the reservoir. Spatial analyses were conducted using thematic layers representing precipitation, soil characteristics, land use, slope length and steepness, and erosion-control practices. Erosion sensitivity was categorized into five classes—very low, low, moderate, high, and very high—revealing a heterogeneous distribution across the basin. The study identified five classes of erosion sensitivity in the Güzelhisar Dam basin: very low, low, moderate, high, and very high. Accordingly, 19.4% of the basin exhibited very low sensitivity, 14.4% low, 12.2% moderate, 16.3% high, and 37.8% very high sensitivity to erosion. Based on average calculations, the basin-wide erosion rate was determined to be  $13 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ . The erosion sensitivity calculated for the Güzelhisar Dam basin was found to be higher than Türkiye's national

average of  $8.24 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ . The findings underscore the urgent need for targeted conservation measures to mitigate sediment yield and extend the operational lifespan of the Güzelhisar Dam. This integrative approach offers a scalable methodology for erosion assessment in similar hydrological contexts.

© 2026 Jeomorfoloji Derneği / Turkish Society for Geomorphology  
Tüm hakları saklıdır / All rights reserved.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Soil erosion is one of the most pressing environmental challenges worldwide, threatening agricultural productivity, ecosystem services, and the sustainability of water resources. Reservoirs are particularly vulnerable to siltation processes that reduce storage capacity and operational lifespan. In Türkiye, annual soil loss is estimated at 642 million tons, with significant implications for dam management and water security. The Güzelhisar Dam, located in the Aliağa district of İzmir, was commissioned in 1982 to supply water for residential, industrial, and agricultural use. However, no comprehensive erosion assessment was conducted during its planning phase, and sedimentation has become a growing concern. This study addresses this gap by applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a three-dimensional (3D) GIS-integrated framework to quantify soil erosion susceptibility, estimate average annual soil loss, and evaluate sediment-induced volumetric changes in the reservoir.

### Study Area

The Güzelhisar Dam basin covers  $453.5 \text{ km}^2$  within İzmir and Manisa provinces, extending from the Yunt Mountain to the Çandarlı Gulf. Elevations range between 30–1091 m, with an average slope of  $11^\circ$ . The basin is dominated by Tertiary volcanic lithology (andesite, rhyolite, tuff), with Neogene sediments and Quaternary alluvium in lower areas. The Mediterranean climate prevails, with annual precipitation of 571.2 mm and mean temperature of  $17.6^\circ\text{C}$ . Land cover includes agricultural fields, forests, shrubland (maquis), and settlements. Soil types are diverse, including non-calcareous brown soils, brown forest soils, red Mediterranean soils, and colluvial deposits. Hydrologically, the basin exhibits a dendritic drainage pattern, with

annual average discharge of  $109 \text{ hm}^3$ , most of which is allocated to industrial use.

### Methodology

The study employed the RUSLE (3D) model, which integrates five parameters:

- R (Rainfall erosivity): Derived from Aliağa meteorological data (2007–2017) and adjusted for elevation using Schreiber's formula. The Modified Fournier Index (MFI) was applied to calculate erosivity values.
- K (Soil erodibility): Based on national soil inventory and İzmir-specific datasets, with six soil classes mapped.
- LS (Slope length and steepness): Calculated from DEM using flow direction and accumulation analyses, applying Moore & Burch and Mitasova formulations.
- C (Cover management): Assigned from CORINE 2018 land-use data, with values reflecting agricultural, forest, shrubland, and settlement categories.
- P (Support practices): Integrated from literature values, reflecting erosion-control measures.

Spatial layers were processed in raster format ( $10 \times 10 \text{ m}$  grid), and erosion susceptibility classes were generated. Additionally, bathymetric data (1982 vs. 2024) were analysed to assess reservoir siltation.

### Results

The spatial analysis revealed heterogeneous erosion susceptibility across the basin:

- Very low susceptibility: 19.4% of the basin.
- Low susceptibility: 14.4%.
- Moderate susceptibility: 12.2%.
- High susceptibility: 16.3%.
- Very high susceptibility: 37.8%.

The basin-wide average soil loss was calculated as  $13 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ , exceeding Türkiye's national average of  $8.24 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ . The most erosion-prone areas correspond to steep slopes, erodible soils, and degraded vegetation cover. Bathymetric comparison confirmed measurable volumetric reduction in reservoir capacity, highlighting the impact of siltation.

### Discussion

The findings underscore the urgent need for erosion control measures in the Güzelhisar Dam basin. The predominance of very high susceptibility areas (nearly 38%) indicates that without intervention, sediment yield will continue to reduce reservoir capacity and shorten operational lifespan. Conservation strategies such as reforestation, terracing, contour farming, and sustainable land-use planning are essential.

The integration of RUSLE with GIS provides a scalable methodology applicable to other basins with similar geomorphological and climatic conditions. Compared to traditional approaches, the 3D-RUSLE model offers improved accuracy by accounting for micro-topography and flow pathways. This enhances predictive capacity and supports evidence-based watershed management.

The study also contributes to broader discussions on sustainable development and water security. Reservoirs are critical infrastructure, and their longevity directly affects regional socio-economic stability. By quantifying erosion susceptibility, this research provides actionable insights for policymakers, engineers, and environmental managers.

### Conclusions

This study demonstrates that soil erosion in the Güzelhisar Dam basin poses a significant threat to reservoir sustainability. The RUSLE (3D) model effectively quantifies spatial heterogeneity in erosion susceptibility, offering valuable insights for watershed management, sediment yield reduction, and extension of dam lifespan. The findings emphasize the urgent need for targeted conservation measures and highlight the utility of GIS-integrated erosion modelling as a decision-support tool.

### Contribution and Significance

- Provides the first comprehensive erosion assessment of the Güzelhisar Dam basin.
- Demonstrates the applicability of RUSLE (3D) in complex geomorphological settings.
- Offers a replicable methodology for erosion studies in other basins.
- Supports sustainable water resource management and dam longevity.
- Contributes to national and international discussions on soil conservation and reservoir sustainability.

## 1. GİRİŐ

Toprak, doğal kaynakların en temel unsurlarından biri olup tarımsal üretim, ekosistem hizmetleri ve sürdürülebilir kalkınma açısından kritik bir öneme sahiptir. Ancak, çeşitli doğal ve beşerî etmenlerin etkisiyle toprak kaybı ciddi boyutlara ulaşmakta ve bu durum özellikle yarı kurak ve eğimli alanlarda toprak erozyonunu önemli bir çevresel sorun haline getirmektedir (Lal, 2001; Morgan, 2005). Bu durum özellikle baraj havzalarında daha da ön plana çıkmaktadır. Barajların sadece ülkemiz için değil dünyadaki tüm ülkeler için hayati bir öneme sahip olduğu gerçeği kaçınılmazdır. Bunun yanı sıra her barajın ekonomik ömrü de aynı olmamaktadır. Barajların ömürlerini etkileyen en önemli jeomorfolojik problem ise erozyondur. Erozyon sonucu akarsular aracılığıyla taşınan materyaller, baraj rezervuarlarında birikmekte ve bu durum su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini tehdit etmektedir (Atalay, 1983; Efe vd., 2008a; Efe vd., 2008b; Cürebal vd., 2012; Durak, 2024; Durak ve Cürebal, 2025). Gıda ve Tarım Organizasyonu FAO (Gıda ve Tarım Örgütü)'ya göre dünya çapında yüzey sularının neden olduğu yıllık toprak erozyonu 20–30 milyar ton civarındadır (FAO, 2015; Dissanayeke vd, 2019; İkiel, vd., 2020; Ustaoglu vd., 2021; Atalay Dutucu ve Mutlu, 2022). Ülkemizde her yıl 642 milyon ton toprağın deniz ve göllere taşındığı tahmin edilmektedir (Erpul vd., 2018; Cürebal vd., 2012; Pınar vd., 2020) Türkiye'nin farklı bölgelerinde yoğun şekilde gözlemlenen erozyon süreçleri, özellikle havza bazlı planlamalarda dikkate alınması gereken temel unsurlar arasında yer almaktadır (DPT, 2001).

Toprak erozyonunun miktarını tahmin etmek ve kontrol stratejileri geliştirmek amacıyla çeşitli ampirik ve sayısal modeller geliştirilmiştir. Bu modeller arasında yer alan Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE), yağış, toprak, arazi kullanımı, eğim uzunluk ve eğim diklik ve erozyon önleyici faktörler gibi değişkenleri dikkate alarak toprak erozyonunun nicel olarak tahmin edilmesine olanak tanıyan yaygın bir modeldir (Renard vd., 1997). RUSLE modeli, klasik Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (Universal Soil Loss Equation - USLE) modelinin güncellenmiş bir versiyonu olup, özellikle CBS

(Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile entegrasyonu sayesinde mekânsal analizlerde etkin biçimde kullanılabilir (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997; Borrelli vd., 2020).

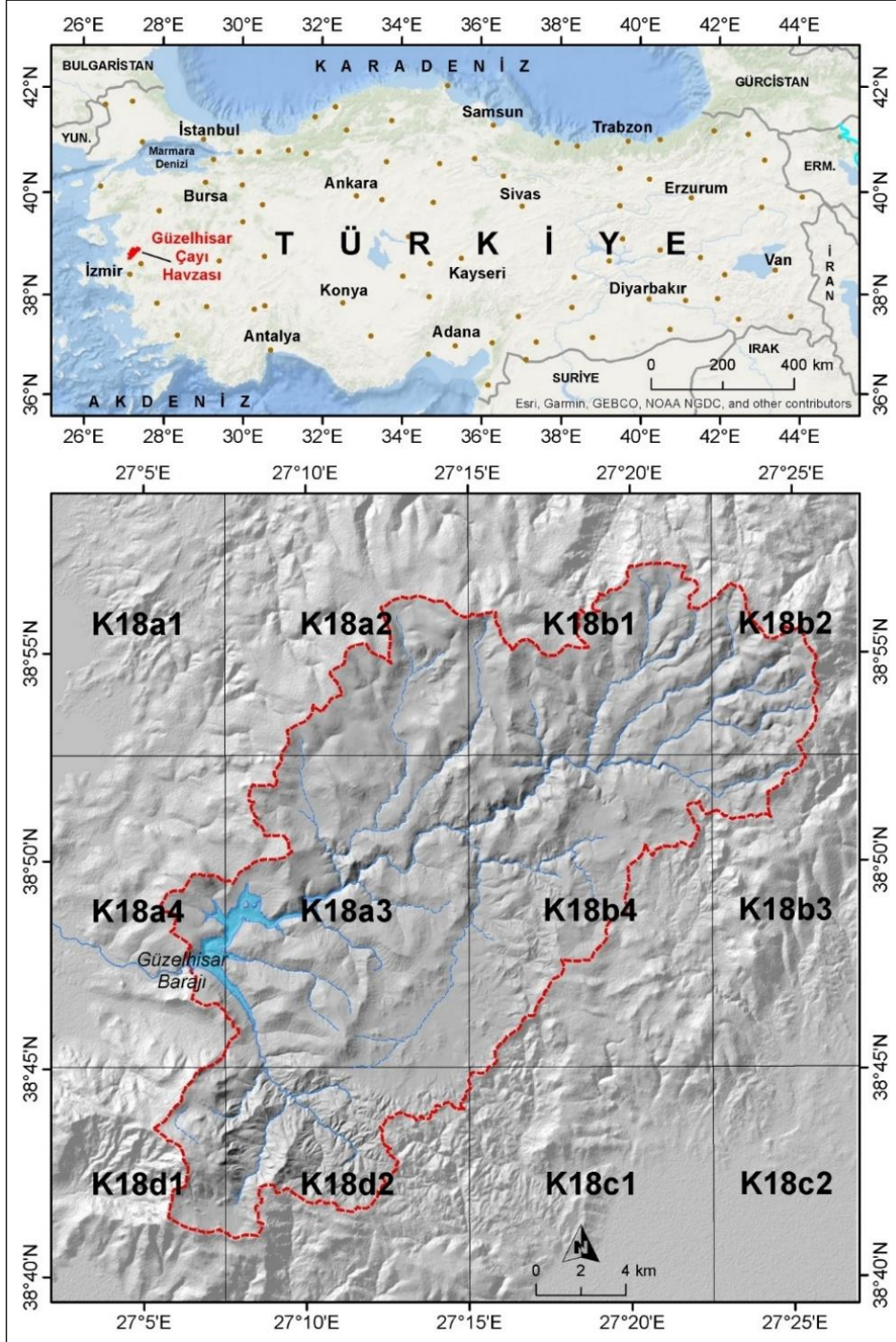
Son yıllarda, RUSLE modelinin üç boyutlu (3D) yaklaşımlarla geliştirilmesi, topoğrafik karmaşıklığın daha doğru temsil edilmesine olanak sağlamıştır. 3D-RUSLE modeli, özellikle akış yolları ve mikro topografya etkilerini daha hassas şekilde modelleyerek erozyon tahminlerinin doğruluğunu artırmaktadır (Desmet ve Govers, 1996; Nearing, 1997). Bu yaklaşım, klasik yöntemlere kıyasla daha ayrıntılı ve güvenilir veriler sunarak, sürdürülebilir arazi yönetimi kararlarında daha sağlam temeller oluşturulmasına katkı sunmaktadır.

Ülkemizde baraj havzalarında RUSLE modelini kullanarak toprak erozyonu tahmini yapılan çalışmalar mevcuttur. Kökpınar (2018), Seyhan, Demirköprü, Keban, Tercan, Kesikköprü ve Hirfanlı barajlarındaki sedimentasyon üzerine çalışmıştır. Madra Barajı, Balıkesir - İzmir (Fıçıcı, 2021; Fıçıcı ve Soykan, 2022), Yuvacık Barajı, Kocaeli (Atalay Dutucu ve Mutlu, 2022), Naip Barajı, Tekirdağ (Özşahin, 2023), Kavak Çayı, Tekirdağ (Özşahin, 2024), Atikhisar Barajı, Çanakkale (Durak ve Cürebal, 2025) örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar sonucunda rezervuarların siltasyon yönetimi, sürdürülebilirliği ve tasarım ömrünün uzatılması için önemli veriler elde edilebilir (Miranda vd., 2021).

Güzelhisar Barajı, İzmir ili Aliağa ilçesi sınırları içerisinde yer almakta olup hem tarımsal faaliyetlerin hem de sanayi gelişiminin yoğun olduğu bir sahada kurulmuştur. Güzelhisar Çayı üzerinde 1975–1982 yılları arasında inşa edilen ve 158 milyon m<sup>3</sup> su depolama kapasitesine sahip baraj, yarı kurak iklim şartlarının hâkim olduğu sahada oldukça önemli bir su kaynağıdır. Baraj, bölgedeki içme suyu temini ve sanayi suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca tarımsal sulamada kullanılmakta ve taşkın önleme amacına hizmet etmektedir. Barajın planlamasının yapıldığı dönemde rusbat durumunu belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle havzadaki erozyonun boyutu tam olarak bilinmemektedir. Ancak

planlama raporunda yılda  $250 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yıl}$  malzeme geleceği varsayımına istinaden barajın ömrü 100 yıl olarak kabul edilmiştir. Buna göre barajda 63 m ölü hacmin üst seviyesi olarak belirlenmiş, buna bağlı olarak ölü hacmin  $11,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  olacağı hesaplanmıştır (DSİ, 1969). Barajın ilk planlama raporunda rezervuar hacmini gösteren bir haritaya ulaşılamamıştır. Baraj göletinde 2024 yılında batimetrik ölçüm yapılmış ve 107 m seviyede baraj göletinin alanı

$6.12 \text{ km}^2$ , baraj hacmi  $155.8 \text{ hm}^3$  olarak hesaplanmıştır. Ölü hacim seviyesi olarak belirlenen 63 m'de ise alan  $1.18 \text{ km}^2$ , hacim ise  $11.19 \text{ hm}^3$  olarak bulunmuştur (DSİ, 2024). Farklı zamanlı batimetrik ölçümlerin olmayışı, havzadaki erozyonun gerçek durumu hakkında bilgi sahibi olunmasını engellemektedir. Bu nedenle ampirik yöntemlerle erozyon hesabı yapılması bir gerekliliktir.



**Şekil 1:** Güzelhisar barajı havzasının lokasyon haritası ve 1/25000 Ölçekli pafta indeksi / **Figure 1:** Location map of the Güzelhisar dam basin with 1:25000 scale sheet index.

Bu çalışmanın amacı, İzmir ve Manisa illeri sınırları içerisinde yer alan Güzelhisar ayı Havzası'nda RUSLE (3D) modeli kullanılarak potansiyel toprak erozyonunun mekânsal dağılımını belirlemek ve erozyon duyarlılığı yüksek alanları tespit etmektir. Çalışma kapsamında CBS tabanlı analizlerle R, K, LS, C ve P faktörleri hesaplanarak modelin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların havza yönetimi, arazi kullanımı planlaması ve erozyon kontrol stratejileri açısından olası etkileri tartışılmıştır.

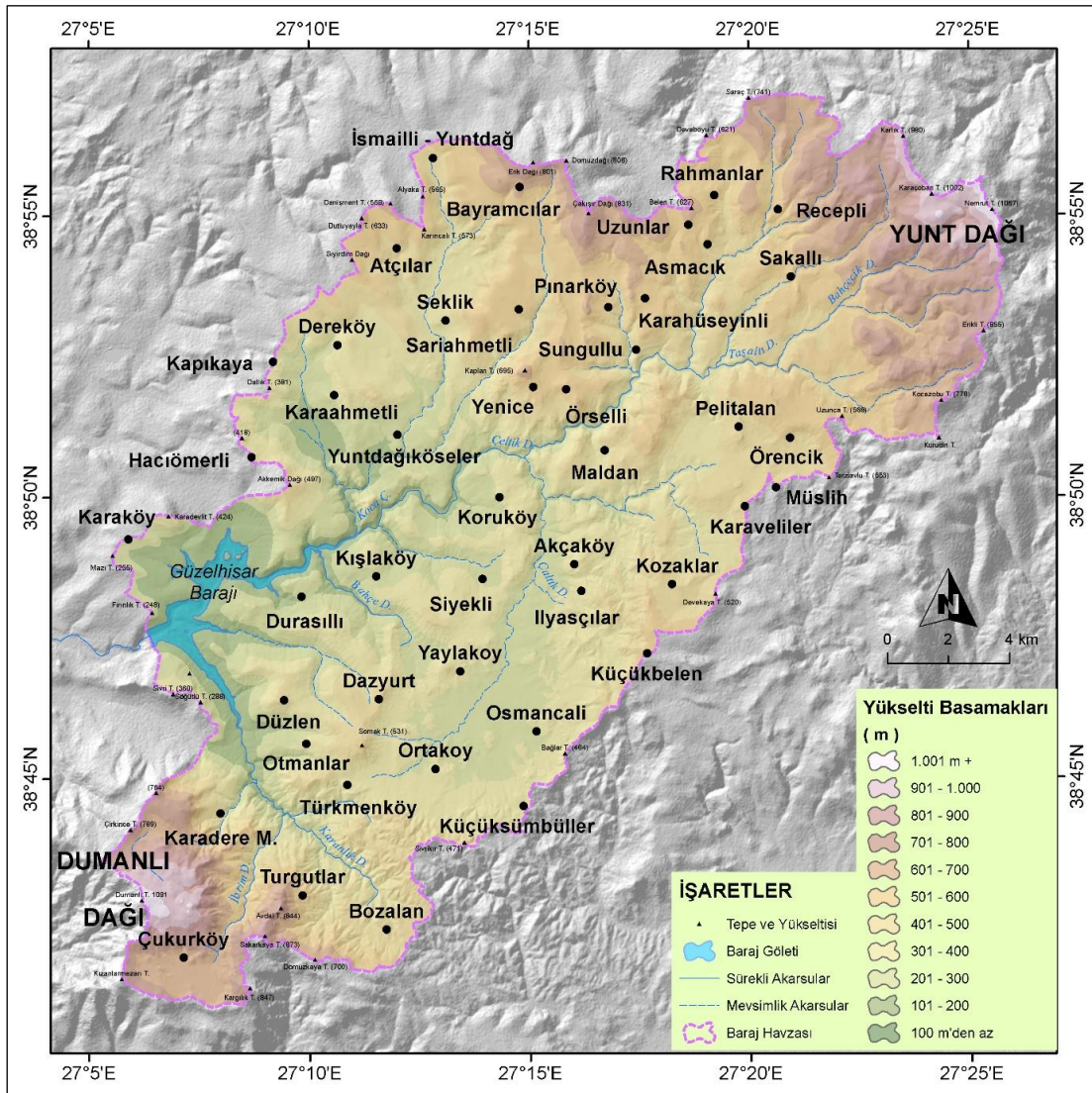
### İnceleme Alanı Coğrafi zellikleri

İnceleme alanı, Türkiye'nin batısındaki Ege Bölgesi'nin Asıl Ege bölümünde yer almakta olup, 453.5 km<sup>2</sup> yzlmne sahip Güzelhisar barajı havzasıdır. Havza, Batı Anadolu'daki horst sistemlerinden biri olan Yunt Dağı'nın zirvesinden kaynaklanan aynı adlı akarsuyun batıya doğru akışı ve Çandarlı Körfezi'ne

dökülmesi ile oluşmuştur (şekil 1). İnceleme alanı, bu akarsuyun üzerinde kurulan Güzelhisar barajı havzasını ele almaktadır (şekil 2, 3). Havzanın aşağı kesimi İzmir iline bağlı Aliağa, Bergama ve Kınık, yüksek kısmı ise Manisa iline bağlı Saruhanlı ilçesi sınırlarında kalmaktadır.

İnceleme alanının çoğunluğu Senozoyik dönemine ait andezit, riyolit, aglomera, tf gibi volkanik kayalardan oluşmaktadır. Sahada yer yer Neojen tortulları yzeylenmekle beraber alçak sahalarda Kuvaterner alüvyonları görülmektedir (Akyürek ve Sosyal, 1983).

İnceleme alanında Akdeniz ikliminin etkileri hakimdir. Buna bağlı olarak yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Aliağa meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 17.6 C olup, yıllık toplam yağış ortalaması ise 571.2 mm'dir. Yağışların yarıya yakını kış mevsiminde düşmektedir (MGM, 2017).



şekil 2: İnceleme alanının yükselti basamakları haritası / Figure 2: Elevation levels map of the study area.

İnceleme alanında yükselti 30 metre ile 1091 metre arasında değişmekte olup, ortalama yükselti 434 metredir. Barajdan güneye (Dumanlı Tepe, 1091 m) ve kuzeydoğuya (Nemrut Tepe, 1067 m) doğru yükselti artmaktadır. İnceleme alanının %25.4'ü 300 m ile 400 m arasındaki yükseltilerden oluşmaktadır (Şekil 2). Yine İnceleme alanının

%74.7'si 200 m ile 600 m arasında değişen yükseltilere sahiptir. Ortalama eğim  $11^\circ$  olup, düzlük ve dalgalı düzlükler (eğimi  $0^\circ$  ile  $5^\circ$  arası olan yerler) inceleme alanının sadece %21.4'ünü kapsamaktadır. İnceleme alanının %39.5'i  $10^\circ$  ile  $20^\circ$  arasında değişen eğimli yamaçlardan oluşmaktadır.



**Şekil 3:** Güzelhisar Barajı gövdesi ve baraj gölü genel görünümü. Fotoğraf, baraj yapısı ile göl rezervuarını ve çevresindeki çalı ve orman ile kaplı yamaç arazilerini göstermektedir / **Figure 3:** Overview of the Güzelhisar Dam structure and reservoir. The image illustrates the dam body, the dam reservoir, and the adjacent slopes covered with shrubs and forest vegetation.

Güzelhisar Çayı ve kolları genel olarak dantritik drenaj ağına sahiptir. Ancak yer yer tektonik etkiler nedeniyle oluşmuş kancalı drenaj tipi de görülmektedir. Akarsuyun yıllık ortalama akımı  $109 \text{ hm}^3$ 'tür. Bu akımın  $83 \text{ hm}^3$ 'ü sanayi tesisleri,  $4.73 \text{ hm}^3$ 'lük kısmı ise sulama amaçla kullanılmaktadır (DSİ, 2006).

İnceleme alanında farklı toprak tipleri görülmekle beraber daha çok kireçsiz kahverengi ve kireçsiz kahverengi orman toprakları yaygındır. Bitki örtüsünü genel olarak kurakçıl ormanlar ve çalı (maki) türleri oluşturmaktadır. 2018 yılı CORINE (Coordination of Information on the Environment / Çevresel Bilginin Koordinasyonu) arazi verilerine göre havzanın yaklaşık olarak  $\frac{1}{4}$ 'ü tarım alanları,  $\frac{1}{4}$ 'ü ormanlarla (iğne, geniş, karışık),  $\frac{1}{4}$ 'ü ise maki gibi sürekli yeşil bitkilerle kaplıdır. Geri kalan kesimi ise daha çok

yerleşme, mera ve kullanım dışı araziler oluşturmaktadır.

## 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 ( $t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ )

R = Yağış Erozyon Faktörü ( $MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ )

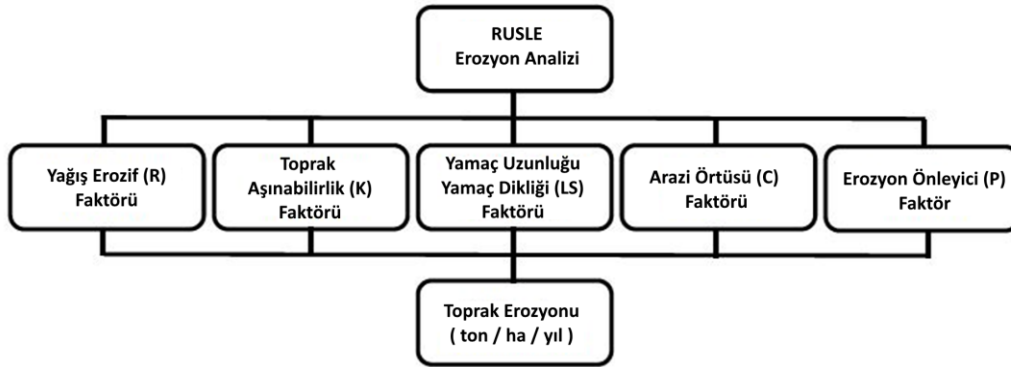
K = Toprak Erozyon Faktörü ( $t^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ )

LS = Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü (boyutsuz)

C = Arazi Kullanımı Faktörü (boyutsuz)

P = Erozyon Önleyici Faktörler (boyutsuz)

RUSLE yönteminin uygulanma aşamasında, 1/25.000 ölçekli topografya haritaları sayısallaştırılarak analizlerde kullanılmak üzere yükselti (eşyüksekti eğrileri), akarsu ağı vb. altlık veriler üretilmiştir. Arazi kullanımına ilişkin veriler, CORINE ve ArcMap yazılımı ile gelen temel veriler arasında bulunan uydu görüntüleri aracılığıyla elde edilmiştir. Toprak özellikleri ise, TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1978 yılında hazırlanan toprak envanteri temel alınarak düzenlenmiştir. Tüm veriler, Şekil 4'te sunulan şemaya uygun biçimde işlenmiştir.



Şekil 4: RUSLE yöntemi işlem akış şeması / Figure 4: Workflow diagram of the RUSLE method.

Yağış eroziyon faktörü haritası Aliağa Meteoroloji İstasyonu (27 m) verileri (2007-2017) kullanılarak hazırlanmıştır. Bu veriler, Microsoft Office Excel programı aracılığıyla analiz edilmiştir. İnceleme alanında 0 - 1091 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)

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

MFI formülü:

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

Pi: aylık ortalama yağış (mm)

P: yıllık ortalama yağış (mm)

Yağış Eroziyon Faktörü Formülü (R Faktör):  $(4.17 * MFI) - 152$

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

İnceleme alanının toprak türleri, TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1978 yılında hazırlanan toprak envanteri temel alınarak revize edilmiştir. Toprak erozyon faktörü haritasının hazırlanma aşamasında gerekli olan K faktör değerleri ise Türkiye genelinde yapılmış ve İzmir 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 için pek çok 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 hesaplamak ve haritalamak 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, SYM'ne özel formüller uygulanarak elde edilmiştir (Desmet ve Govers, 1996; Mitsova vd., 1996). Öncelikle Mekânsal Analiz (Spatial Analyst) aracı kullanılarak, yüzey (Surface) menüsü altında yer alan eğim (Slope) analizi ile SYM verisinden eğim haritası derece olarak üretilmiştir. Sonrasında 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:

$$\left( \text{Power} \left( \left( \frac{\text{"FlowAccumulation"} * 10}{22.1} \right), 0.4 \right) * \left( \text{Power} \left( \left( \frac{\text{"Slope\_Degree"} * 0.01745}{0.09} \right), 1.4 \right) * 1.4 \right) \right)$$

Arazi kullanım faktörü haritası, 2018 yılına ait CORINE verileri (Avrupa Çevre Ajansı, 2018) ve uydu görüntüleri kullanılarak üretilmiştir. Sonrasında ilgili literatür taranarak öğrenilen C Faktör değerleri öznitelik tablosuna eklenerek 10\*10 grid tabanlı haritalara dönüştürülmüştür.

İlave olarak baraj rezervuarının derinlik verilerinden yararlanılarak 1982 (HGM,

**Tablo 1:** Aliağa meteoroloji istasyonu (2007 - 2017) aylık ortalama yağış verileri (Yükselti: 27 m) Meteoroloji İstasyonu / **Table 1:** Monthly average precipitation data of the Aliağa meteorological station (2007-2017) (Altitude: 27 m).

Veriler	O	ř	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Yağış (mm)	115,06	73,18	63,08	53,33	26,02	10,99	4,88	3,29	14,63	52,06	59,7	94,98	571,2

**Tablo 2:** İnceleme alanındaki aylık ortalama yağış değerlerinin karelerinin alınması işlemi / **Table 2:** Squared monthly average precipitation values of the study area.

Yükselti	Veriler	O	ř	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
27m	Yağış (mm)	115,06	73,18	63,08	53,33	26,02	10,99	4,88	3,29	14,63	52,06	59,7	94,98	571,2
	Yağışın Karesi	13.239	5.355	3.979	2.844	677	121	24	11	214	2.710	3.564	9.021	41.759,3
127 m	Yağış (mm)	119,6	77,7	67,6	57,8	30,5	15,5	9,4	7,8	19,1	56,6	64,2	99,5	625,2
	Yağışın Karesi	14.295	6.034	4.567	3.344	931	240	88	61	366	3.199	4.122	9.896	47.143,1
227 m	Yağış (mm)	124,1	82,2	72,1	62,3	35,0	20,0	13,9	12,3	23,6	61,1	68,7	104,0	679,2
	Yağışın Karesi	15.391	6.754	5.196	3.885	1.226	400	193	151	558	3.728	4.720	10.812	53.012,9

topografya haritası) ve 2024 (DSİ, 2024) yıllarına ait talveg profilleri üretilmiş, siltasyon nedeniyle oluşan profil değişimi belirlenmeye çalışılmıştır.

### 3. BULGULAR

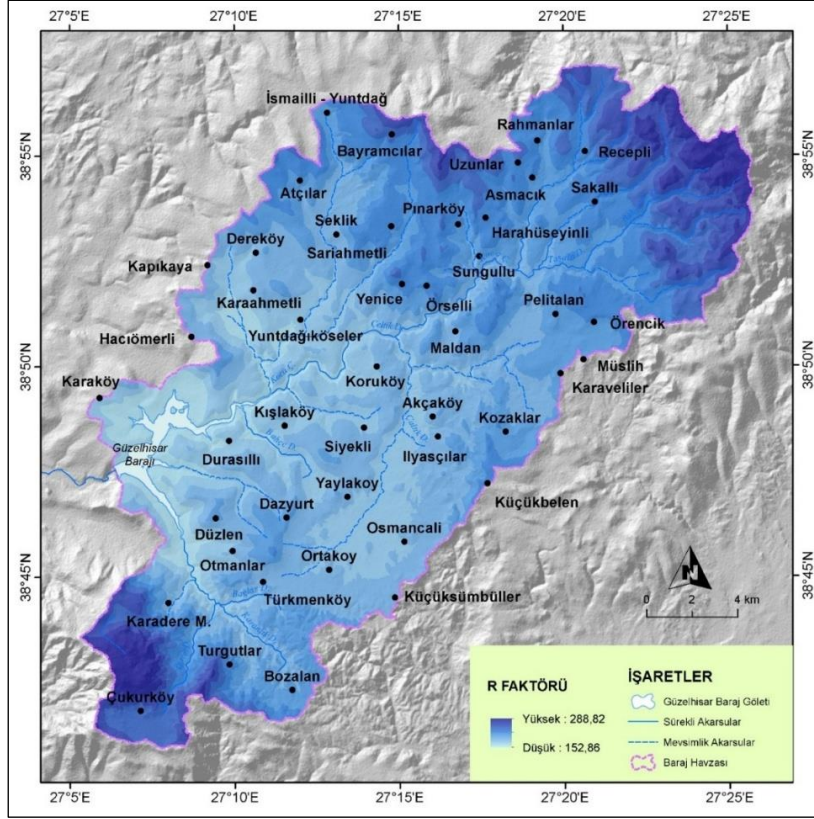
#### 3.1. Yağış Erozyon Faktörü (R Faktör)

Toprak erozyonunda, yağış erozif faktörünün etkisi önemlidir. Yağışın miktarı, süresi, şiddeti ile damlaların düşme açısı, büyüklüğü ve darbe etkisi toprak erozyonu üzerinde etkili faktörlerdir. Yağmur damlacıkları yüzeysel akışı başlatarak toprak partiküllerinin taşınmasına neden olur. Eğim doğrultusunda kanalizasyon olan yağmur suları damla çarpmasına bağlı kopan toprak partiküllerini suyun taşıma gücü ile eğim yönünde hareket ettirirler. Bu tür etkileri ortaya koymak için çeşitli ampirik formüller geliştirilmiştir (Moore, 1979; Rijks, vd., 1998; Wischmeier ve Smith, 1978; Cooley, 1980, Lorito vd., 2004). İnceleme alanına ait yağış verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 2' de 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.

Aylık yağışın kareleri toplamı (41 759.3), toplam yağışa (571.2) bölündüğünde 73.11 MFI değerine ulaşılmıştır. MFI değeri (73.11), 4.17 sabit katsayı ile çarpılmış ve çıkan sonuçtan yine sabit bir değer olan 152 ile çıkarılmıştır. Sonuç olarak 27 m için R değeri 152,86 MJ mm

ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> 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 5).



**şekil 5:** İnceleme alanında yağış erozif faktörünün dağılış haritası / **Figure 5:** Spatial distribution of the rainfall erosivity factor in the study area.

### 3.2. Toprak Direnç Faktörü (K Faktör)

Erozyona karşı duyarlılık değerini belirleyen başlıca kriterler; toprağın strüktürü, tekstürü, tanelerin boyutu, geçirgenliği, su tutma kapasitesi ve profilidir (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, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar, kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları, kırmızı Akdeniz toprakları ve kolüvyal topraklar olmak üzere altı tip toprak türü mevcuttur (şekil 6, 7; Tablo 3).

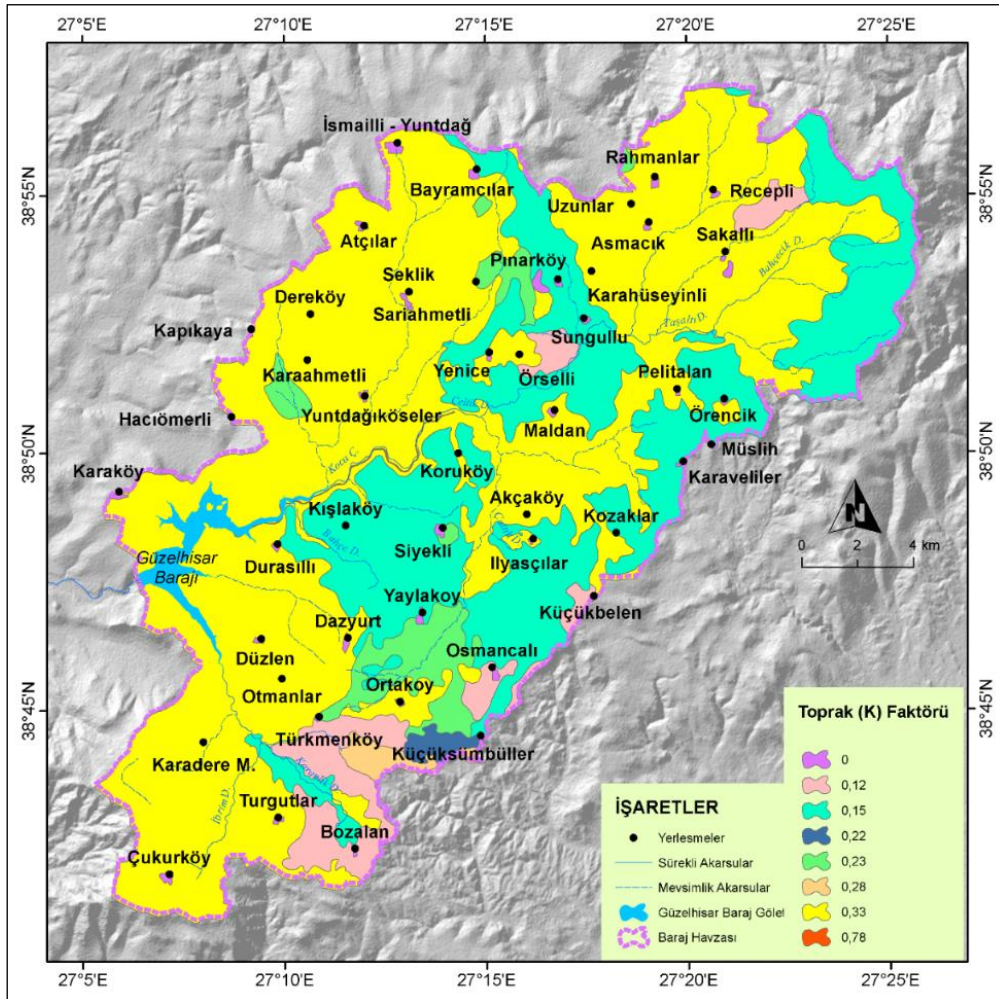
**Tablo 3:** İnceleme alanının K faktörü tablosu / **Table 3:** K Factor table of the study area. \*

Toprak Sınıfları	K Değeri (t/ha)	Alan (km <sup>2</sup> )	Oran (%)
Kahverengi Orman Toprakları	0,12	21,8	4,8
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	0,15	121,8	26,9
Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları	0,22	2,2	0,5
Kolüvyal Topraklar	0,23	17,4	3,8
Kırmızı Akdeniz Toprakları	0,28	3,1	0,7
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	0,33	283,8	62,5
Irmak Yatağı	0,78	0,5	0,1
Kayalık Arazitler	0	0,3	0,1
Yerleşmeler	0	2,6	0,6
<b>TOPLAM</b>		<b>453,5</b>	<b>100,0</b>

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



**Şekil 6:** İnceleme alanında tipik bir zayıf toprak profili. Çok ince bir toprak profili ve yüzeyde taşlı materyalin yoğunluğu, erozyon sürecinin göstergesi olarak öne çıkmaktadır / **Figure 6:** A typical weak soil profile in the study area. The very thin soil profile and the high concentration of stony material at the surface stand out as indicators of the erosion process.



**Şekil 7:** İnceleme alanının toprak (K) faktörü haritası / **Figure 7:** K Factor map of the study area.

### 3.3. Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS Faktörü)

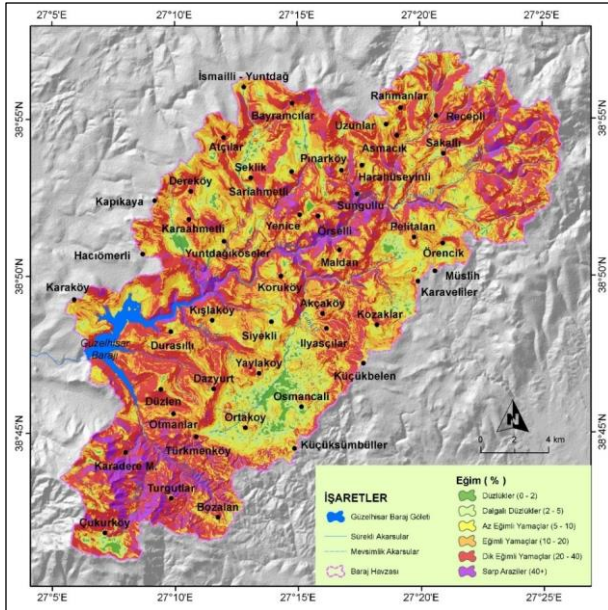
Eğim, erozyon üzerinde etkili olan temel topografya faktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Eğim, değerlerinin artmasıyla birlikte erozyonun şiddeti ve boyutları da artmaktadır. Ayrıca eğim suyun debisi üzerinde belirleyici rol oynayarak, erozyonun şiddetini ve boyutunu dolaylı yoldan da etkilemektedir. İnceleme alanının eğim özellikleri sınıflandırılırken erozyon ile ilgili literatür dikkate alınmıştır (Cürebal ve Ekinci 2006; Özşahin, 2011). Eğim özellikleri havzanın orta, güney ve kuzeydoğu çığırında belirgin bir artış göstermek ile birlikte havzanın

güneydoğusunda düşük değerlere sahiptir. Havzanın %78.6'sı, eğimi 10 ile 40 derece arasında olan alanlardan oluşmaktadır (Tablo 4; Şekil 8).

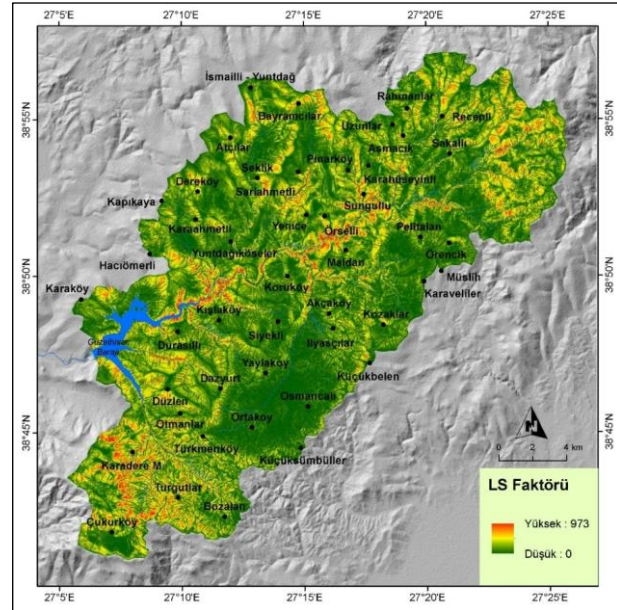
Uygulanan analizler sonucunda LS değerinin yüksek olduğu alanlarla eğim değeri yüksek olan alanların büyük ölçüde örtüştüğü belirlenmiştir. Bu alanlar aynı zamanda aşınımın ve erozyon hassasiyetinin de yüksek olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Buna karşılık eğim ve LS değerinin düşük olduğu ova ve vadi tabanları ise aşınım ve erozyon hassasiyetinin düşük olduğu sahalar olarak öne çıkmaktadır (Şekil 8; Şekil 9).

**Tablo 4:** İnceleme alanının eğim grupları tablosu / **Table 4:** Slope groups of the study area.

Eğim Grupları ( ° )	Alan (km <sup>2</sup> )	Oran (%)
0-2	25,8	5,7
2-5	71,1	15,7
5-10	125,9	27,8
10-20	179,1	39,5
20-40	51,4	11,3
40+	0,1	0,0
TOPLAM	453,5	100,0



**Şekil 8:** İnceleme alanının eğim haritası / **Figure 8:** Slope map of the study area.



**Şekil 9:** İnceleme alanının LS faktör haritası / **Figure 9:** LS factor map of the study area.

### 3.4. Arazi Örtüsü / Arazi Kullanımı ve Yönetimi Faktörü (C Faktörü)

Yağış, infiltrasyon ve debi arasındaki ilişkiyi şekillendiren; aynı zamanda yağmur damlacıklarının zemine uyguladığı darbe etkisini belirleyen temel parametrelerin başında arazi kullanımı özellikleri gelmektedir. Arazi kullanımı özellikleri ile zeminin kapallık derecesi, erozyonun şiddeti ve boyutları

üzerinde belirleyici 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, 2014; Özşahin, 2016; Danacıoğlu ve Tağıl, 2017; Özşahin vd., 2018; Özşahin vd., 2019; Özşahin, 2023; Durak, 2024; Durak ve Cürebal, 2025). Yoğun bitki örtüsüyle kaplı alanlarda, yağmur suları büyük ölçüde

ağaçlar, çalılar ve otsu bitkiler tarafından tutulur ve doğrudan yüzeysel akışa geçişleri engellenir. İntersepsiyon olarak adlandırılan bu süreç, erozyonu yavaşlatıcı bir etki oluşturur.

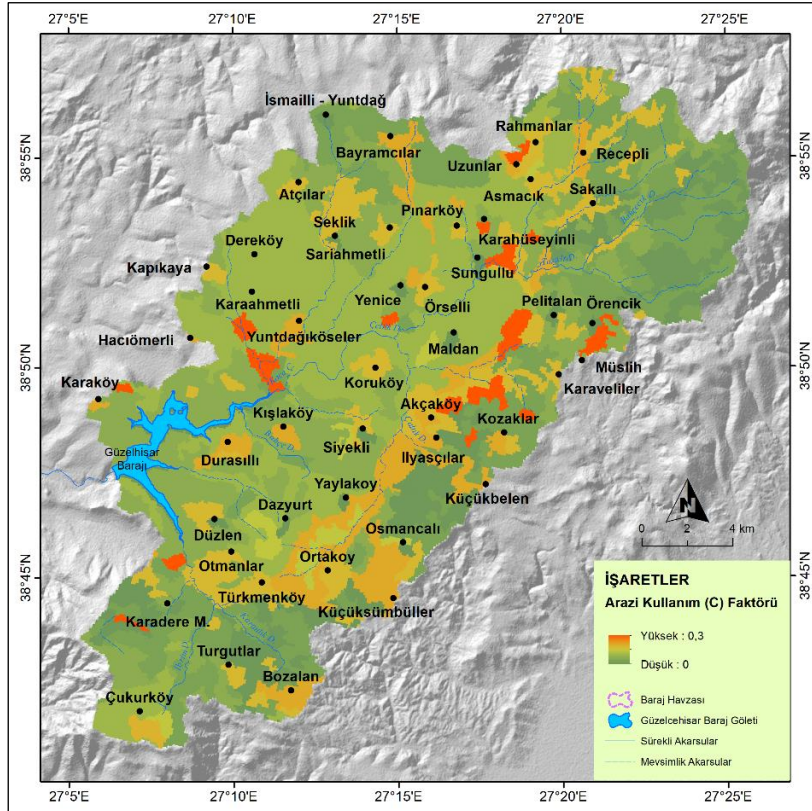
İnceleme alanı bitki örtüsü açısından zengindir. Havzanın yarısından fazlası (%54), yoğun bitki örtüsü ile kaplı çalı ve orman formasyonlarından (sklerofil bitki örtüsü, bitki değişim alanları, iğne yapraklı ormanlar, karışık

ormanlar, geniş yapraklı ormanlar) oluşmaktadır (Tablo 5; Şekil 10). Tarım alanları ise inceleme alanının %20.7'sine (Sürekli sulanan tarım arazileri, sulanmayan ekilebilir alanlar, karışık tarım alanları, doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları) karşılık gelmektedir. Seyrek bitki alanları (Şekil 11), zeytinlikler, madenler, mera, doğal çayırliklar, su kütleleri ve süreksiz Őehir yapısı diğer arazi kullanım gruplarını oluşturmaktadır.

**Tablo 5:** İnceleme alanının C Faktörü Tablosu / **Table 5:** C Factor Table of the Study Area. \*

Arazi Kullanım Sınıfları	C Faktörü	Alan (km <sup>2</sup> )	Oran (%)
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	0.3	8,2	1,8
Karışık Tarım Alanları	0.14	35,3	7,8
Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları	0.13	49,2	10,8
Sklerofil Bitki Örtüsü	0.06	116,2	25,6
Bitki Değişim Alanları	0.03	87,5	19,3
İğne Yapraklı Ormanlar	0.002	29,0	6,4
Karışık Ormanlar	0.002	7,3	1,6
Geniş Yapraklı Ormanlar	0.002	5,0	1,1
Madenler	0.0	0,3	0,1
Seyrek Bitki Alanları	0,2652	2,3	0,5
Zeytinlikler	0,2252	0,9	0,2
Sürekli sulanan tarım arazileri	0,13	1,3	0,3
Mera	0,0903	7,6	1,7
Doğal Çayırliklar	0,0435	93,5	20,6
Su Kütleleri	0	5,4	1,2
Süreksiz Őehir Yapısı	0	4,5	1,0
TOPLAM		453,5	100,0

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



**Şekil 10:** İnceleme alanının arazi kullanımı (C) faktör haritası / **Figure 10:** Land use (C) factor map of the study area.



**Şekil 11:** İnceleme alanında bitki örtüsünden yoksun çıplak araziler yaygındır. Havzada fiziki ortam ve arazi kullanımı tercihlerinden kaynaklanan degradasyon ve buna bağlı olarak şiddetlenen erozyon süreçleri yaşanmaktadır / **Figure 11:** Bare lands lacking vegetation are widespread in the study area. In the basin, degradation resulting from physical environmental conditions and land-use preferences has led to intensified erosion processes.

### 3.5. Erozyon nleyici (P Faktör) Faktörler

P faktörü, erozyonu önlemeye yönelik yöntemleri ifade eder (Lane vd., 1992; Renard vd., 1997). Eğim derecesi yüksek yamaçlarda, teraslama ve bitki örtüsünün yoğunluğunu artırma teknikleri örnek olarak gösterilebilir. P faktörü, 0 ile 1 arasında değişir; 0'a yaklaşık

erozyon duyarlılığı azalırken, 1'e yaklaşık erozyon duyarlılığı artar.

Güzelhisar barajı havzasında erozyon önleyici faktörlerin erozyonu önlemede etkileri düşüktür (Şekil 12). Bu nedenle P faktörü için 1 değeri kullanılarak denklem dışı bırakılmıştır.



**Şekil 12:** Güzelhisar ayı'nın baraj glne ulaştığı sahadan bir grnm. Fotoğrafta gl su seviyesinin dşmesiyle ağa ıkan kıyı şeridi net olarak grlmektedir. Ayrıca akarsuyun getirdiği siltasyon malzemesinin birikimi izlenmektedir / **Figure 12:** A view from the area where the Güzelhisar Stream reaches the dam lake. The photograph clearly shows the shoreline exposed due to the lowering of the lake water level. In addition, the accumulation of siltation material brought by the stream can be observed.

#### 4. TARTIşMA VE SONUÇ

##### Erozyon Duyarlılık Sınıfları

Bu alışmada RUSLE yöntemi kullanılarak Güzelhisar Barajı Havzası'nda erozyon duyarlılık dereceleri ve yıllık tahmini toprak kaybı miktarı belirlenmiştir. Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) eşik değerleri kullanılarak yapılan sınıflandırmaya göre havzanın:

- %19.4' çok hafif,
- %14.4' hafif,
- %12.2'si orta,
- %16.3' şiddetli,
- %37.7'si çok şiddetli erozyon duyarlılığına sahiptir (Tablo 6, şekil 13).

Özellikle bitki örtüsünden yoksun çıplak kayalık alanlarda çok şiddetli erozyon gözlenirken; tarım faaliyetlerinin yürütüldüğü ve eğim değerlerinin 6°nin üzerinde olduğu kesimlerde

yüksek ve şiddetli erozyon duyarlılığı ne çıkmaktadır.

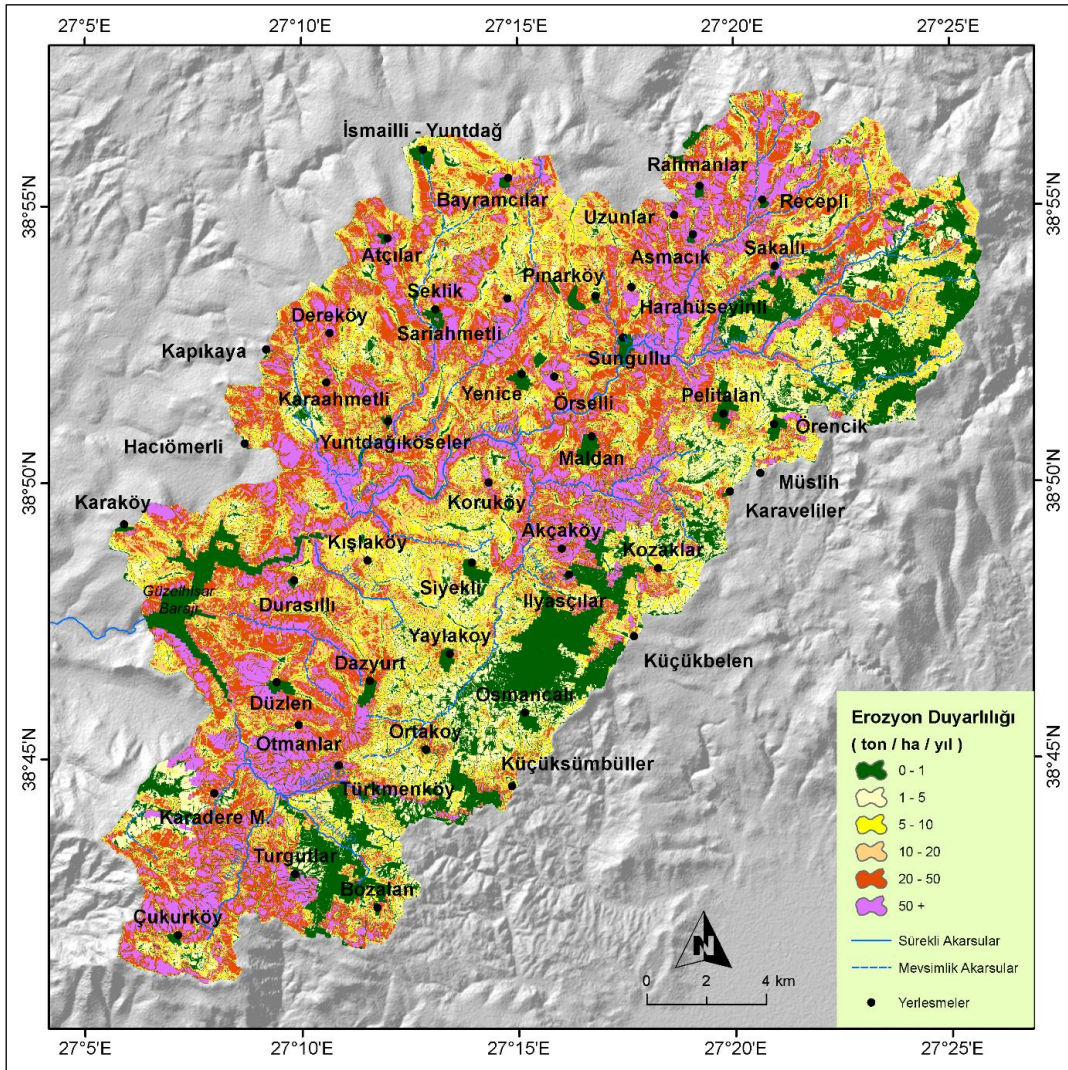
##### Yıllık Ortalama Toprak Kaybı ve Bölgesel Karşılaştırmalar

İnceleme alanında yıllık ortalama toprak kaybı  $13 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Türkiye Su Erozyon Atlası'na göre ülke genelinde bu değer  $8.24 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ 'dir (Erpul vd., 2018; DEMİS, 2021). İzmir ilinde  $11.25 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  ve Manisa ilinde ise  $7.1 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  dir (Erpul vd., 2020).

Bölgesel çalışmalarla karşılaştırıldığında:

- Marmara Bölgesi:  $12.2 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (Ezer, 2015)
- Trakya Yarımadası:  $5 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (İkiel vd., 2020)
- Gelibolu Yarımadası:  $4.79 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$  (Pektezel, 2015)

Sonuçlar, Güzelhisar Havzası'nın hem ulusal ortalamasının hem de birçok bölgesel çalışmanın üzerinde değerler sergilediğini göstermektedir.



**şekil 13:** İnceleme alanının RUSLE - erozyon duyarlılık haritası / **Figure 13:** RUSLE - based erosion susceptibility map of the study area.

**Tablo 6:** Güzelhisar Barajı Havzası Erozyon Duyarlılık Sınıfları / **Table 6:** Erosion susceptibility classes of the Güzelhisar dam basin.

Erozyon Duyarlılığı Sınıfları	Erozyon Duyarlılığı Sınıfları ( $t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ )	Kapladığı Alan ( $km^2$ )	Havzaya Oranı (%)
Çok Hafif	0-1	87.9	19.4
Hafif	1-5	65.3	14.4
Orta Şiddetli	5-10	55.3	12.2
Şiddetli	10-20	73.7	16.3
Çok Şiddetli	20+	171.3	37.7
TOPLAM		453.5	100.0

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

### Komşu Havzalarla Karşılaştırma

- Bakırçay Havzası (Danacıoğlu ve Tağıl, 2017): %85.6 az riskli ( $0-1 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ ), %10.2 riskli ( $1-5 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ ), %4.2 yüksek riskli ( $>5 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ ).
- Madra Barajı Havzası (Fıçıcı, 2021): %70.05 orta-yüksek-çok yüksek, %27.04 hafif, %1.73 çok hafif.

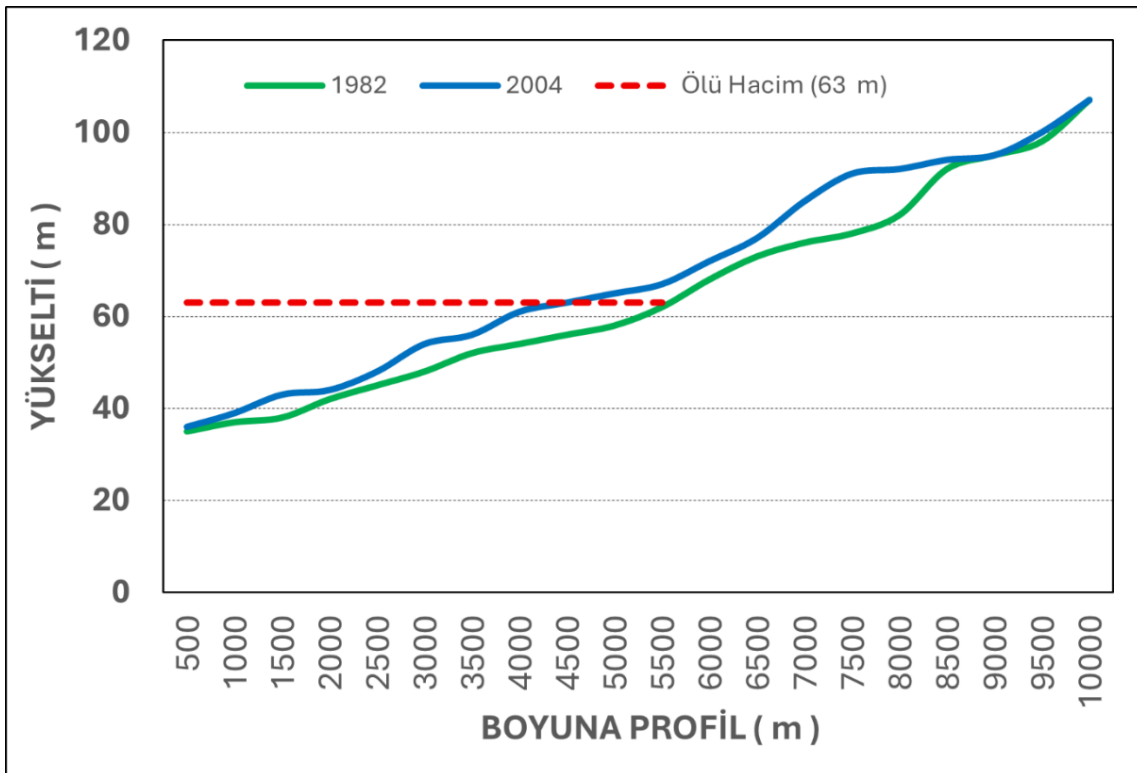
Bu karşılaştırmalar, Güzelhisar ve Madra havzalarının benzer erozyon duyarlılığına sahip olduğunu; Bakırçay Havzası'nda ise topografik koşullar nedeniyle daha düşük risk düzeylerinin öne çıktığını göstermektedir.

### Batimetrik Ölçümlerle Doğrulama

RUSLE yöntemiyle elde edilen bulguların geçerliliği, baraj rezervuarında yapılan batimetrik ölçümlerle sınanmıştır.

- DSİ (1969): 98 m kotta alan  $4.92 km^2$ , hacim  $121.6$  milyon  $m^3$
- DSİ (2024): aynı kotta alan  $4.74 km^2$ , hacim  $106.8$  milyon  $m^3$

42 yıllık süreçte hacim kaybı  $14.8$  milyon  $m^3$  (%12.1) olarak hesaplanmıştır (Şekil 14).



**Şekil 14:** Güzelhisar barajında talveg çizgisinin profilindeki zamansal değişim / **Figure 14:** Temporal variations in the thalweg profile of the Güzelhisar Dam.

RUSLE yöntemine göre havzadaki toplam toprak kaybı  $\approx 24.8$  milyon ton ( $\approx 18.4$  milyon  $m^3$ ) olup, batimetrik ölçümlerdeki  $\approx 14.8$  milyon  $m^3$  değerine yakın sonuçlar vermektedir. Bu uyum, MUSLE (3D) yaklaşımının güvenilirliğini desteklemektedir (Şekil 14).

Ancak yüzeysel erozyonla üretilen tüm sedimentin rezervuara ulaşmadığı; taşınım süreçleri, akarsu kapasitesi, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi faktörlerin etkili olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle farklı dönemlere ait batimetrik ölçümlerin karşılaştırılması önemlidir.

#### **Diğer Baraj Havzalarıyla Karşılaştırma**

- Madra Barajı: MUSLE yöntemiyle  $34.05 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ , MUSLE yöntemiyle  $22.5 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  (Fıçıcı, 2021)
  - Yuvacık Barajı:  $16.13 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  (Atalay Dutucu ve Mutlu, 2022)
  - Atikhisar Barajı:  $11.7 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  (Durak ve Cürebal, 2025)
  - Derinöz Barajı:  $4 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  (Pinar vd., 2020)
- Güzelhisar Barajı'nda hesaplanan  $13 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  değeri, hem ulusal ortalamanın ( $8.24 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$ ), hem İzmir ve Manisa illerinin hem de birçok baraj havzasının üzerinde yer almaktadır.

#### **Küresel Karşılaştırma**

Borrelli vd. (2021) tarafından GASEMT veritabanı üzerinden yapılan küresel karşılaştırmada MUSLE modeli için yıllık ortalama toprak kaybı  $12.6 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Güzelhisar Barajı Havzası'nda elde edilen  $13 t^{-1} ha^{-1} yıl^{-1}$  bulgusuyla büyük ölçüde örtüşmekte ve çalışmanın küresel literatürle uyumunu göstermektedir.

#### **Genel Değerlendirme**

- Güzelhisar Havzası, yüksek erozyon duyarlılığı ve ulusal ortalamanın üzerinde toprak kaybı ile dikkat çekmektedir.
- MUSLE (3D) sonuçları, batimetrik ölçümlerle uyumlu olup modelin güvenilirliğini desteklemektedir.
- Bölgesel ve küresel karşılaştırmalar, Güzelhisar Havzası'nın hem Türkiye hem de dünya ölçeğinde kritik erozyon alanlarından biri olduğunu ortaya koymaktadır.

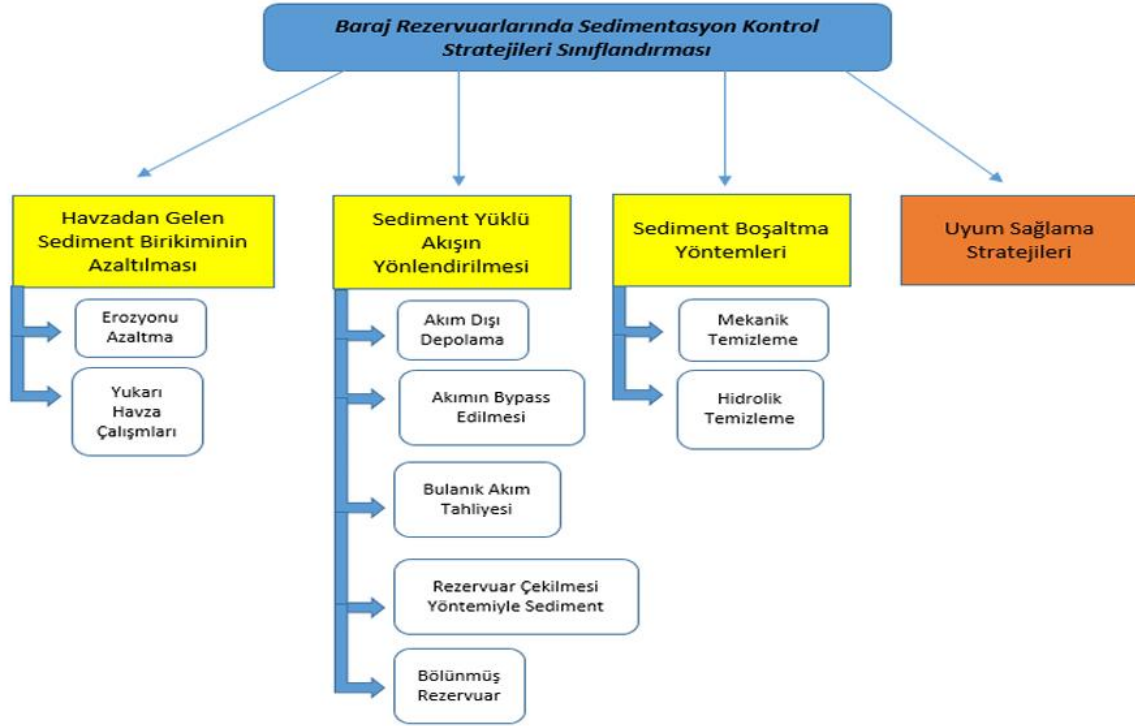
## **5. ÖNERİLER**

Güzelhisar Barajı rezervuarında gözlemlenen hacim kaybı ve erozyon duyarlılığı bulguları, sedimentasyon kontrolüne yönelik stratejik müdahalelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şekil 15'te sınıflandırılan sedimentasyon kontrol stratejileri incelendiğinde, özellikle "Havzadan Gelen Sediment Birikiminin Azaltılması" başlığı altında yer alan erozyonu azaltma ve yukarı havza çalışmaları, Güzelhisar Havzası için öncelikli uygulama alanları olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, rezervuarın ölü hacim altında biriken sedimentin uzun vadede aktif hacmi tehdit etmesini önlemek amacıyla, "Sediment Boşaltma Yöntemleri" kapsamında yer alan hidrolik temizleme ve rezervuar çekilmesi yöntemiyle sediment yönetimi gibi tekniklerin değerlendirilmesi önerilmektedir. Sediment yüklü akışın yönlendirilmesine yönelik bulanık akım tahliyesi ve akım dışı depolama gibi yöntemler ise, barajın işletme rejimi ve morfolojik yapısı doğrultusunda fizibilite analizleriyle desteklenmelidir. Son olarak, rezervuarın mevcut sediment yüküyle uyumlu çalışmasını sağlamak amacıyla "Uyum Sağlama Stratejileri" kapsamında rezervuar işletme planlarının yeniden yapılandırılması, sedimentasyonun etkilerini azaltıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Bu stratejilerin entegre biçimde ele alınması hem barajın ekonomik ömrünün uzatılması hem de havza bazlı erozyon yönetiminin etkinleştirilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak görülmelidir.

## **KAYNAKÇA**

- Akyürek, B. & Soysal, Y., (1983). Biga Yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü.
- 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. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/56967>



**Şekil 15:** Baraj rezervuarlarında sedimentasyon kontrol stratejilerinin sınıflandırılması / **Figure 15:** Classification of sedimentation control strategies in dam reservoirs (Ünüştü and Ülke Keskin, 2024).

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

Atalay, İ. & 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. & 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. & Mutlu, YE. (2022). Yuvacık Barajı Havzası’nda erozyon risk analizi. Ege Coğrafya Dergisi, 31(2), 289-303. <https://doi.org/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. & Fıçıcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında erozyon risk analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 9: 38-49. <https://doi.org/10.46453/jader.1144699>

Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C. Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., Maria De Girolamo, A., Desta Gessesse, G., Deumlich, D., Diodato, D., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., Freppaz, M., Gentile, F., Gericke, A., .... Panagos, P. (2021). Soil erosion

modelling: A global review and statistical analysis. EarthArxiv. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>

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>

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

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/198508>

Cürebal, İ., Efe, R., Soykan, A. & 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.

- Danacıoğlu, ř. & Tağıl, ř. (2017). Bakırçay Havzası'nda Rusle modeli kullanarak erozyon riskinin değerlendirmesi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20 (37), 1-18. <https://doi.org/10.31795/baunsobed.645168>
- DEMIS (2021). Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS), Çevre şehirçilik 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, 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, 427-433.
- Dissanayake, D.M.S.L.B., Morimoto, T. & Ranagalage, M. (2019). Accessing the soil erosion rate based on RUSLE model for sustainable land use management: a case study of the Kotmale watershed, Sri Lanka. Modeling Earth Systems and Environment, 5, 291-306. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0534-x>
- DPT (2001). Türkiye'de toprak erozyonu raporu. Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, Ankara.
- DSİ (1969). Güzelhisar Barajı Planlama Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, II. Bölge Müdürlüğü, Ege Planlama Amirliği, İzmir
- DSİ (2006), İzmir-Aliağa Güzelhisar Barajı mansap ovası sulaması planlama raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, II. Bölge Müdürlüğü, Planlama Şube Müdürlüğü İzmir.
- DSİ (2024). Güzelhisar Barajı Teknik Hesap Cildi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Harita Şube Müdürlüğü, Ankara
- 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-Balıkesir, Türkiye). Journal of the Bulgarian Geographical Society, 51, 23-44. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e128013>
- Durak, M. & Cürebal, İ. (2025). RUSLE (3D) modeli kullanılarak toprak erozyonu tahmini; Atıhısar Barajı Havzası örneği (Çanakale). MEMBA Su Bilimleri Dergisi, 11 (1), 138-151. <https://doi.org/10.58626/memba.1655532>
- Efe, R., Ekinci, D. & Cürebal, İ. (2008a). Erosion analysis of Fındıklı Creek Catchment (NW of Turkey) using GIS based Jon RUSLE (3d) method. Fresenius Environmental Bulletin, 17(5): 568-576.
- Efe, R., Ekinci, D. & 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.
- 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.
- Erpul, G., İnce, K., Demirhan, A., Küçümen, A., Akdağ, M.A., Demirtaş, İ., Sarihan, B., Çetin, E., şahin, S. (2020). Su Erozyonu İl İstatistikleri, Toprak Erozyonu Kontrol Stratejileri, Sürdürülebilir Arazi/Toprak Yönetimi Uygulama ve Yaklaşımları, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/su\\_erozyon-20221228103523.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/su_erozyon-20221228103523.pdf)
- Ezer, A. (2015). An assessment of soil erosion using Rusle model: a case study from the Marmara Region. Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- FAO. (2015). Global soil status, processes and trends. Status of The World's Soil Resources (SWSR). Main Report of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, New York.
- Fıçıcı, M. (2021). Madra Barajı Havzasında erozyon analizi (Tez No: 703508) [Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- Fıçıcı, M. & 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>
- Gaubı, I., Chaabani, A., Mammou, AB. & 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. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2684-3>
- İkiel, C., Ustaoglu, B. & Koç, DE. (2020). Trakya Yarımadası'nda erozyon duyarlılık analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 4, 1-14. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jader/article/666287>
- Kökpınar, M. (2018). Rezervuar sedimantasyonu probleminin Türkiye'deki altı büyük baraj için değerlendirilmesi. TED Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Raporu.

- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539.
- Lane, L.J., Renard, K.G., Foster, G.R. & Laften, J.M. (1992). Development and application of modern soil erosion prediction technology-the USDA experience. *Soil and Water Management and Conservation*, 30, 893-912.
- Lorito, S., Pavanelli, D., Bigi, A., Stanchi, S. & 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.
- Mater, B. (2004). Toprak coğrafyası. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- M.G.M. (2017). 2007-2017 Sıcaklık ve yağış verileri. Aliğa Meteoroloji İstasyonu.
- Millward, A.A. & Mersey, J.E. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a
- 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*, Volume 766, 20 April 2021, 144261, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144261>
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. & Iverson, L.R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposotion using GIS. *Journal of Geographical İnformation Science*, 10 (5), 629-641.
- Moore, R.R. (1979). Rainfall erosivity in East Africa: Kenya, Tanzania, Uganda. *Geografiska Annaler*, 61, 147-156.
- Moore, I. & 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. & Burch, G. (1986b). Modeling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of ASAE*, 29 (6), 1624–1640.
- Moore, I.D. & Wilson, J.P. (1992). Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47, 423–428.
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing.
- Mutlu, Y.E. & Soykan, A. (2018). Rusle (3d) modeli kullanılarak toprak erozyonu tahmini: Havran Çayı Örneği. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 1, 50–66. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/642753>
- Mutlu, Y.E., Soykan, A. & Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında erozyon risk analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 6, 98-111. <https://doi.org/10.46453/jader.866903>
- Nearing, M.A. (1997). A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, 61(3), 917–919.
- Nearing, M.A., Yin, S.G., Borrelli, P. and Polyakov, O.V. (2017). Rainfall erosivity: an historical reiew. *Catena*, 157, 357-362. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.004>
- Özşahin, E. (2011). Zeytinli Çayı Havzası'nın (Balıkesir) erozyon analizi. *e-Journal of New World Sciences Academy Nature Sciences*, 4A0036, 6 (1), 42-56. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsanature/article/130536>
- Özşahin, E. (2014). Tekirdaę İlinde CBS tabanlı RUSLE modeli kullanarak erozyon risk değerlendirmesi. *Tekirdaę Ziraat Fakóltesi 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., 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, 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. (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>
- Pektezel, H. (2015). Gelibolu Yarımadası'nda CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemiyle erozyon duyarlılık analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 17, 131-151. doi: 10.16992/ASOS.807

- Panagos P., Borrelli P., Meusburger C., Alewell C., Lugato E. & Montanarella L. (2015) Estimat-ing the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use Policy* 48, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Pandey, A., Mathur, A., Mishra, SK. & Mal, BC. (2009) Soil erosion modeling of a Himalayan Watershed using RS and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 59, 399-410.
- 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/article/785518>
- Renard, KG., Foster, GR., Weesies, GA. & 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. & 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. & 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.
- 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. & Smith, DD. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U S Department of Agriculture Habdbook, Washington D C.
- Ustaoğlu, B., İkiel, C., Dutucu, A. A. & Koç, D.E. (2021). Erosion Susceptibility Analysis in Datça and Bozburun Peninsulas, Turkey. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 45, 557 – 570. [doi:10.1007/s40995-020-01053-5](https://doi.org/10.1007/s40995-020-01053-5)
- Ünüştü, A. & Ülke Zengin, A. (2024) Baraj Rezervuarlarında Sedimantasyon ile Mücadele Yöntemleri. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 7(1), 47-59. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3939048>
- Zeng, C., Wang, S., Bai, X., Li, Y., Tian, Y., Li, Y., Wu, L. & Luo, G. (2017). Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. *Solid Earth*, 8, 721-736. <https://doi.org/10.5194/se-8-721-2017>