



International

Journal of Human Sciences

ISSN:2458-9489

Volume: 19 Issue: 4 Year: 2022

Erosion risk analysis in Sapanca Lake Basin

Sapanca Gölü Havzası'nda erozyon risk analizi

Cercis İkiel¹

Abstract

The aim of this study is to determine the erosion susceptibility areas in the Sapanca Lake Basin. Sapanca Lake basin is located in the east of the Marmara Region. Due to its natural beauty, transportation opportunities and proximity to metropolitan areas, it is a preferred area for permanent and temporary living. Increasing population and growing settlement areas have created significant changes in the land cover, and depending on this situation, the erosion sensitivity of the research area has increased. In this study, Landsat 8 OLI satellite image dated 24.07.2022 was used to determine the land use status. RUSLE evaluates Precipitation Erosive (R), Soil Erosion Susceptibility (K), Slope Length and Slope Slope (LS), Ground Cover (C) and Erosion Control (P) Factors in Geographic Information Systems to determine the amount of soil loss. The Equation (Revised Universal Soil Loss Equation) method was applied. According to the RUSLE method, erosion susceptibility map of Sapanca Lake Basin was obtained and susceptibility classes were determined. These susceptibility classes are six categories: very light, mild, moderate, strong, severe and very severe. According to the map obtained, very light in 46.3% (13607.8 ha), mild in 7.5% (2211.5 ha), moderate in 15.3% (4493.8 ha), strong in 7.9% (2317.9 ha), Severe erosion susceptibility was detected in 9.8% (2864.1 ha) and very severe erosion sensitivity in 13.2% (3872.4 ha). The average annual soil loss is less

Özet

Bu çalışmanın amacı Sapanca Gölü Havzası'nda erozyon duyarlılık alanlarının belirlenmesidir. Sapanca Gölü Havzası, Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer alır. Doğal güzelliği, ulaşım imkanları ve metropolitan alanlara yakınlığı nedeniyle devamlı ve geçici bir süre yaşam için tercih edilen bir alandır. Artan nüfus ve büyüyen yerleşim alanları arazi örtüsünde önemli değişimler oluşturmuş bu duruma bağlı olarak araştırma alanının erozyon duyarlılığı artmıştır. Bu çalışmada arazi kullanım durumunu belirlemek için 24.07.2022 tarihli Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılmıştır. Toprak kaybı miktarını belirleyebilmek için Coğrafi Bilgi Sistemlerinde, Yağış Eroziyon (R), Toprak Erozyon Duyarlılığı (K), Eğim Uzunluğu ve Eğim Dikliği (LS), Zemin Örtüsü (C) ve Erozyon Kontrol (P) faktörlerini değerlendiren RUSLE (Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı) metodu (Revised Universal Soil Loss Equation) metodu uygulanmıştır. RUSLE yöntemine göre; Sapanca Gölü Havzası'nın erozyon duyarlılığı haritası elde edilerek, duyarlılık sınıfları belirlenmiştir. Bu duyarlılık sınıfları; çok hafif, hafif, orta, güçlü, şiddetli ve çok şiddetli olmak üzere altı sınıftan oluşur. Elde edilen haritaya göre inceleme alanının %46,3'ünde (13607.8 ha) çok hafif, %7,5'inde (2211.5 ha) hafif, %15,3'ünde (4493.8 ha) orta, %7,9'unda (2317.9 ha) güçlü, %9,8'inde (2864.1 ha) şiddetli ve %13,2'sinde (3872.4 ha) çok şiddetli erozyon duyarlılığı tespit edilmiştir. Yıllık ortalama

¹ Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, cikiel@sakarya.edu.tr

 Orcid ID: [0000-0001-5138-5308](https://orcid.org/0000-0001-5138-5308)



than 5 tons/ha/year. The most sensitive areas in terms of the severity of erosion are the steep slopes of the Samanlı Mountains in the south and moderately sloping slopes in the north. The shores of Sapanca Lake and its surroundings are areas with slight erosion sensitivity. In addition to the effect of precipitation and soil characteristics on the land cover, the sloping areas opened to settlement due to human activities due to incorrect land use have increased the sensitivity of erosion. It is recommended to plan for a sustainable land use in the adaptation process to climate change, taking into account the areas susceptible to erosion.

Keywords: Sapanca Lake Basin, RUSLE, Erosion, Land Degradation, GIS.

toprak kaybı 5 ton/ha/yıldan azdır. Erozyonun şiddeti bakımından en duyarlı bölgeler güneyde Samanlı Dağları'nın dik yamaçları ile kuzeyde hafif ve orta eğimli yamaçlardır. Sapanca Gölü kıyıları ve çevresi hafif derecede erozyon duyarlılığı taşıyan alanlardır. Arazi örtüsünde yağış ve toprak özelliklerinin etkisi yanında yanlış arazi kullanımı sebebiyle insan faaliyetleri sonucu özellikle turizm ile yerleşmeye açılan eğimli alanlar erozyon duyarlılığını arttırmıştır. İklim değişikliğine uyum sürecinde sürdürülebilir bir arazi kullanımı için erozyona duyarlı alanlar dikkate alınarak planlama yapılması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Sapanca Gölü Havzası, RUSLE, Erozyon, Arazi Degrasyonu, CBS.

[\(Extended English summary is at the end of this document\)](#)

1. GİRİŞ

Toprak, yerkürenin en üst kısmını oluşturan, en az birkaç mm ile en fazla birkaç m'ye varan kalınlıkta olan, organik ve inorganik maddelerin birlikte bulunduğu, ayrılmış bir kattır (Atalay, 2011; Bahtiyar, 2000). Bu çalışmanın konusunu oluşturan erozyon ise yerküre üzerindeki ayrılmış halde bulunan toprak ve ana kaya materyallerinin doğal süreçler sonucu aşındırılıp, taşınarak başka bir alanda biriktirilmesini ifade etmektedir. Doğal süreçlere bağlı olarak meydana gelen bu erozyona “doğal erozyon” veya “normal erozyon” adı verilmektedir (Sarı, 2000). Buna karşılık insanların gerçekleştirdikleri çeşitli beşerî faaliyetler doğal ortamın bozulmasına sebep olarak, “hızlandırılmış erozyon” adı verilen süreci ortaya çıkarmaktadır (Çepel, 1997; Sarı, 2000; Toy, 1982). Hızlandırılmış erozyon sonucu, normal şartlarda erozyona neden olan doğal süreçlerin etkinliği artmakta, buna bağlı olarak da erozyonun şiddeti daha da fazla olmaktadır. Bunun sonucunda ise can ve mal kayıpları yaşanmaktadır.

Erozyon sonucu toprak tabakasının yok olmaya başlaması sonucunda tarımsal açıdan verimlilik azalmakta ve buna bağlı olarak tarımsal üretimde düşüşler meydana gelmektedir. Bunun yanında sürekli dünya nüfusuna bağlı olarak normalde tarım arazisi olmayan alanlar, ıslah çalışmaları sonucunda tarım alanlarına dönüştürülmektedir. Bunun sonucunda ise gerek doğal süreçler gerekse de insan etkisi ile birlikte erozyonun şiddeti daha da artmaktadır. Birleşmiş Milletler'in geleceğe yönelik tahminine göre ilerleyen süreçte dünyada yılda 24 milyar ton toprak yok olacak ve bu durum insanlığı bekleyen en önemli çevre sorunlarından birisi olacaktır. Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO)'ya göre ise yıllık küresel toprak erozyonunu 20–30 milyar ton civarındadır (FAO, 2015; Dissanayeke vd., 2019). Bununla birlikte tarım alanları dışında, erozyon sonucunda yüksek sahalardan taşınan materyaller göller, barajlar, hidroelektrik santraller vb. su rezervuarları içerisinde depolanarak bunların kullanım ömrünü kısaltmakta ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Fıçıcı ve Soykan, 2022; Pınar vd., 2020; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Erozyon, dünyada tarımsal faaliyetlerin ilk olarak gerçekleştirildiği sahalardan biri olan ülkemiz açısından önem bir arz etmektedir (Özden ve Özden, 1997). Buna göre ülkemiz topraklarının % 20.6'sı orta ve çok şiddetli erozyon risk sınıfları içerisinde

kalmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre Türkiye'de yılda 642 milyon ton toprak deniz ve göllere taşınmaktadır (Erpul vd., 2018).

Bir sahada erozyon riskini belirlemek ve geleceğe yönelik tahmin yapma konusunda günümüze kadar birçok yöntem (USLE, MUSLE, RUSLE, RUSLE 2, WEPP, EUROSEM, ANSWERS, CREAMS, KINESROS vb.) geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisindeki Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (RUSLE), en yaygın kullanılanlarından birisidir (Renard vd., 1991; Renard vd., 1994; Renard vd., 1997). Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA)'nın geliştirdiği USLE yönteminin revize edilmesiyle ortaya çıkan RUSLE yöntemi, veri setinin uzun dönemli ölçümlere dayanması ve birçok parametrenin bilgisayar teknolojileri (CBS) yardımı ile değerlendirilmesi, kullanım açısından kolaylık sağlaması gibi faktörlere bağlı olarak birçok çalışmada kullanılmaktadır. (Avcıoğlu vd; 2020; Mutlu ve Soykan, 2021; Ustaoglu vd., 2021; Nguyen vd., 2022; Habtu ve Jayappa, 2022; Aykır ve Fıçıcı, 2022).

İncelemeye konu olan Sapanca Gölü Havzası, Türkiye'nin kuzeybatısında Marmara Bölgesi'nin, Çatalca – Kocaeli bölümü sınırları içerisinde yer almaktadır. Sapanca Gölü, Sakarya ve Kocaeli illerinin içme suyu, sanayi tesisleri ve tarımsal faaliyetleri için kullanma suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Bunun yanında göl ve yakın çevresi sahip olduğu doğal güzellikler nedeniyle turizm faaliyetlerinin yoğun olarak gerçekleştirildiği bir sahadır. Gerek göl havzasının topoğrafik yapısının özellikle kuzey ve güney kesimlerinde engebeli ve yüksek eğim değerlerine sahip olması, gerekse de tarım, turizm, yerleşme vb. beşeri faaliyetler nedeniyle sahada arazi degradasyonunun yaşanması, Sapanca Gölü Havzası'nda erozyonu incelenmesi gereken önemli bir sorun haline getirmektedir.

1.1. Araştırma Sahasının Coğrafi Özellikleri

Sapanca Gölü ve havzası Türkiye'nin batısında, Marmara Denizi'nin doğusunda yer alır. Doğu batı uzanışlı tektonik bir oluğa yerleşmiş durumda olup İzmit Körfezi'nin doğu yönlü devamı gibi görünür. Araştırma alanının batısında İzmit Körfezi'nin devamı olan yükseltisi az düz alanlar, doğusunda Adapazarı Ovası, kuzeyde Çatalca Kocaeli Platosu'nun aşınmış tepelik arazileri, güneyde ise Samanlı Dağları'nın eğimli kuzey yamaçları bulunur.

Bu oluk biçimli tektonik çukurun doğuda Sakarya Nehri'nin taşıdığı alüvyonlar ile kapatılması sonucu Sapanca Gölü oluşmuştur. Sapanca Gölü mevsime göre değişmekle beraber 46.5 km² yüzölçümüne ve 31-32 m. yüksekliğe sahiptir. Doğu- batı yönünde 17 km. uzunluğa maksimum 61 m. derinliğe sahiptir (Erinç, 1949). Sapanca Gölü'nün fazla suları Çark Deresi ile Sakarya Nehri'ne gider. Bu nedenle içilebilir kalitede suya sahiptir. Sakarya ve Kocaeli için içilebilir tatlı su kaynağıdır (Dutucu, 2018).

Çalışma alanında nemli iklim koşulları hüküm sürer Erinç indisine göre kurak dönem görülmez. Thorntwaite iklim sınıflandırmasına göre nemli mezotermal, yazın orta derecede su noksanı olan denizel iklim tipi içerisindedir. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre orta enlemde yazı sıcak, kurak mevsimi olmayan (Cfa) Nemli Subtropikal iklim özellikleri görülür (Ustaoglu, 2018). Çalışma alanında görülen iklim özelliklerine bağlı olarak orman, çalı ve ot formasyonu yaygındır. Gölün kıyı kuşağında doğal bitki örtüsü tahrip edilmiş, ziraat ve yerleşim alanları bulunmaktadır. Orman formasyonu Samanlı Dağları'nın kuzey yamaçlarında yaygın olup, bu nemcil ormanların hakim ağaç türü kayındır. İkinci derecede yaygın tür sapsız meşelerdir. Bunlara akçaağaç, kestane, ıhlamur, gürgen, titrek kavak, kızılğaç eşlik eder. (Koç, 2018). Gölün kıyı kesiminde ve ormanların tahrip edildiği yüksek alanlarda kısıtlı ziraat alanları bulunur ki bu alanların çoğu artan talebe bağlı olarak konut ve turistik tesis alanlarına dönüşmektedir.

Şehirsel ve kırsal yerleşmelerin genişlemesi, havzanın taşıma kapasitesini zorlamakta ve doğal ortamın tahrip edilmesine yol açmaktadır. Havza genelinde nüfus yoğunluğu km²'ye 250 kişiye kadar çıkmış ve havzanın güneyinde yer alan Sapanca'da ise km²'de 1500 kişiye ulaşmıştır. (Kaçmaz ve Döker, 2021).

lerde kullanılmaya başlayan USLE (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)'nin 1991 yılında revize edilmesi ile geliştirilmiştir (Renard vd., 1991; Renard vd., 1994; Renard vd., 1997; Wischmeier ve Smith, 1978). Rusle eşitliği hesaplanırken şu formül kullanılır:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Bu formülde A yıllık ortalama toprak kaybını (ton/ha/yıl); R yağış erozif faktörünü; K toprak erozif faktörünü; LS eğim ve yamaç uzunluk faktörünü; C zemin örtüsü faktörünü ve P erozyon önleyici faktörleri temsil etmektedir (Renard vd., 1991). Faktör haritalarının üretiminde ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır.

2.1.1. Yağış Eroziyon (R) Faktörü

Yağmur damlaları, düştüğü kısımlarda zemindeki malzemeyi havalandırarak ve olduğu yerden farklı bir alana sıçratarak aşındırmaktadır. Buna bağlı olarak yağış, herhangi bir sahada gerçekleşen erozyon süreçlerini etkileyen en önemli iklim faktörlerinden birisini oluşturmaktadır. Yağışın aşındırıcı etkisi üzerinde düşen yağmur tanelerinin boyutları, yağışın şiddeti, miktarı, darbe etkisi, yere düşme açısı vb. özellikler rol oynamaktadır. Yağışın yüzeyden aşındırdığı malzemeler eğimi takiben harekete geçerek daha alçak seviyelere taşınarak, eğim değerlerinin azaldığı alanlarda biriktirilmektedir.

Çalışmada kapsamında yağışın erozyon üzerindeki etkisinin hesaplanması için Arnoldus'un (1980) geliştirdiği Modified Fournier İndeks (MFI) formülü kullanılmıştır. Formül:

$$MFI: \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i * p_i}{p} \quad (2) \quad \text{şeklinde dir.}$$

Bu formülde kullanılan p_i sembolü aylık yağışları (mm), p ise yıllık yağışların ortalamasını temsil etmektedir.

Daha sonra $R = (4.17 MFI) - 152$ sabit değeri kullanılarak yağış erozif faktörü hesaplanmaktadır.

2.1.2 Toprak Erozyon Duyarlılığı (K) Faktörü

Erozyon, yüzeydeki toprak tabakasının bir yerden farklı bir yere taşınması sürecidir. Toprak türlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri bu süreç üzerinde önemli rol oynamaktadır. Çeşitli toprak tiplerinin sahip oldukları özellikler, erozyon riski ve erozyonun gerçekleşme hızı açısından birbirinden farklılık göstermelerine neden olmaktadır. Toprağın içeriğindeki organik madde miktarı, tane boyu dağılımı, yapısı, geçirgenliği ve gözenekliliği erozyon riski üzerinde rol oynayan belli başlı faktörlerdir (Mater, 2004; Morgan, 2005; Wischmeier vd., 1971).

Toprak Erozyon Duyarlılığı (K) faktörünün hazırlanmasında eski Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı 1/25.000 ölçekli büyük toprak grupları haritası kullanılmıştır. Sahaya ait büyük toprak grupları belirlendikten sonra, literatür taraması yapılarak bu toprak tiplerine ait faktör değerleri sisteme girilerek K faktörü haritası üretilmiştir.

2.1.2. Eğim ve Yamaç Uzunluk (LS) Faktörü

Eğim, zemin üzerinde bulunan anakaya ve toprak örtüsünün olduğu yerden başka bir yere taşınmasında rol oynayan en önemli topografik faktördür. Eğim değerlerinin yüksek olduğu alanlarda yüzeysel akışa geçen su, üzerinde aktığı zemindeki malzemeyi, korozyon ve korazyon yoluyla aşındırarak yamaç aşağı taşımaktadır. Eğim doğrultusunda taşınan malzeme, eğim değerlerinin azaldığı alanlarda çökelmektedir. Buna nedenle eğim ve erozyon arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu kabul edilir.

Eğim, eğim uzunluk ve yükselti sınıf değerlerine göre hesaplanan LS faktörünün formülü aşağıdaki gibidir (Desmet ve Govers, 1996; Moore ve Burch, 1986; Mitasova vd., 1996).

$$Pow((flowacc) * \text{çözünürlülük} / 22,1,0,6) * Pow(\text{Sin}((slope) * 0,01745 / 0,09,1,3)) \quad (3)$$

Genel olarak LS faktör değerinin fazla çıktığı sahalarda erozyon riskinin daha yüksek olduğu alanlara karşılık gelirken, az olduğu sahalarda ise erozyon riski daha düşüktür.

2.1.3. Zemin Örtüsü (C) Faktörü

RUSLE yöntemi içerisinde zemin örtüsü faktörü hesaplanırken daha çok arazi kullanımı ve bitki örtüsünün yoğunluğu gibi parametreler ele alınmaktadır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda erozyon riski daha az olurken, yoğunluğun az olduğu alanlarda ise risk daha fazladır. Bitki örtüsünün; yaprak ve gövdesi vasıtasıyla yağmur tanelerini absorbe etmeleri ve hızını yavaşlatması, yüzeysel akışa geçen suların hızını yavaşlatması, kökleri ile toprağı tutarak aşınmaya karşı daha dirençli hale getirmesi vb. erozyon riskini azaltan belli başlı parametrelerdir (Hoşgören, 2004). Bununla birlikte araziye uygun olmayan tarım arazileri açmak ve tarım alanlarını çoğunlukla hatalı bir şekilde ekmek, yerleşme ve/veya sanayi alanları kurmak, aşırı otlatma ve orman yangınları vb. yanlış arazi kullanımı sonucunda bitki örtüsünün tahrip edildiği çıplak alanlarda zeminin üst kısmını oluşturan toprak örtüsü, erozyona karşı daha duyarlı hale gelmektedir.

Zemin örtüsüne ait faktör değerleri arazi özelliklerine göre 0 ile 1 arasındadır. 0 değerine yakınlık genel anlamda bitki örtüsünün yoğun olduğu ve iyi korunan alanları ifade ederken, değerlerin 1'e yaklaşması ise erozyona karşı daha duyarlı alanları ifade etmektedir.

2.1.4. Erozyon Önleyici (P) Faktörler

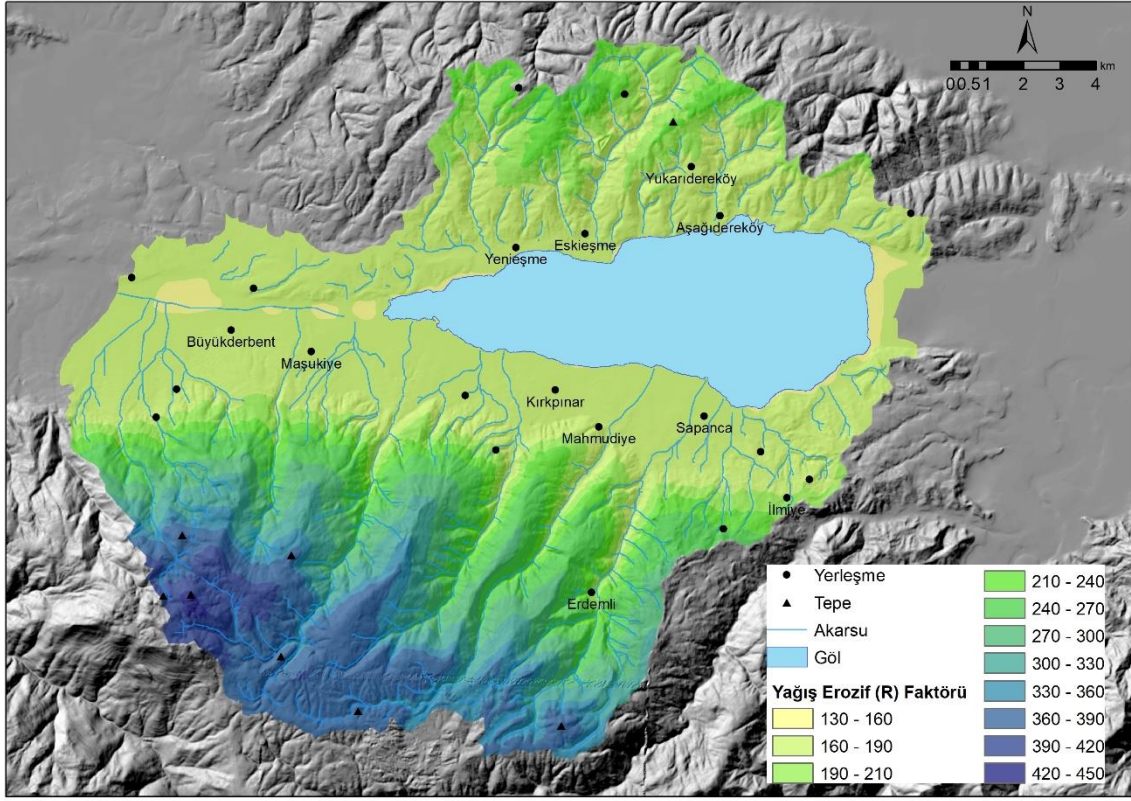
RUSLE yönteminde P faktörü, bir alanda erozyonun etkisini minimuma indirmek için uygulanan teknikleri ifade etmektedir. Eğer bir sahada erozyonu önleyici tedbirler yoksa faktör değeri 1 kabul edilmekte ve bu suretle hesaplanan sonucunu etkilememektedir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

RUSLE Metoduna göre; Yağış Eroziyon Faktörü (R); Toprak Erozyon Faktörü (K); Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörünü (LS); Zemin Örtüsü Faktörü (C); Erozyon Kontrol Faktörü (P) ArcGIS 10.5 ile analiz edilerek haritalanmıştır. Elde edilen bulgular faktörlere göre aşağıda detaylı bir biçimde açıklanmıştır.

3.1. Yağış Eroziyon (R) Faktörü

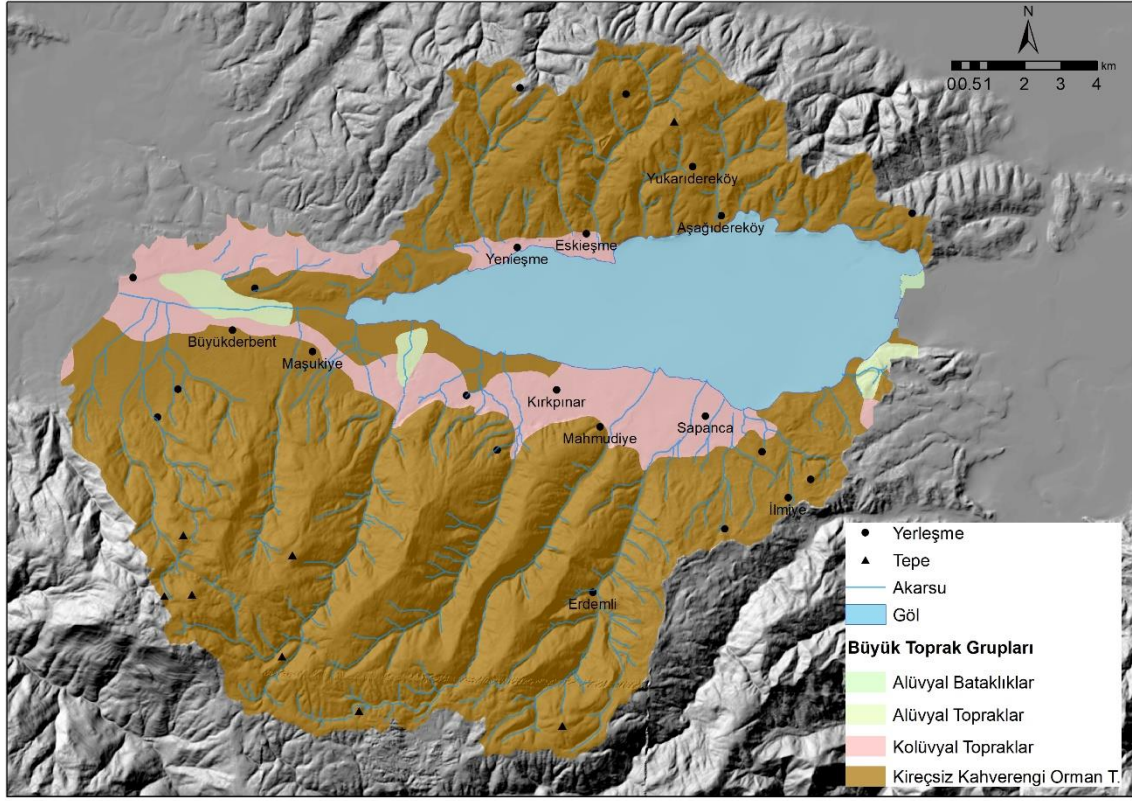
Öncelikle Yağış Eroziyon Faktörü (R) haritası oluşturulmuştur. Sapanca Gölü Havzası'nın yükseltisi 0 metre ile 1500 metre arasında değişmektedir (Şekil 1). Yükseltiye göre aylık toplam yağış dağılışı interpolasyon yoluyla hesaplanmıştır. Buna göre yağış tutarları yükseltinin fazla olduğu Samanlı Dağları yamaçları boyunca artar. R faktörünün dağılışında yükselti belirleyicidir (Şekil 2).



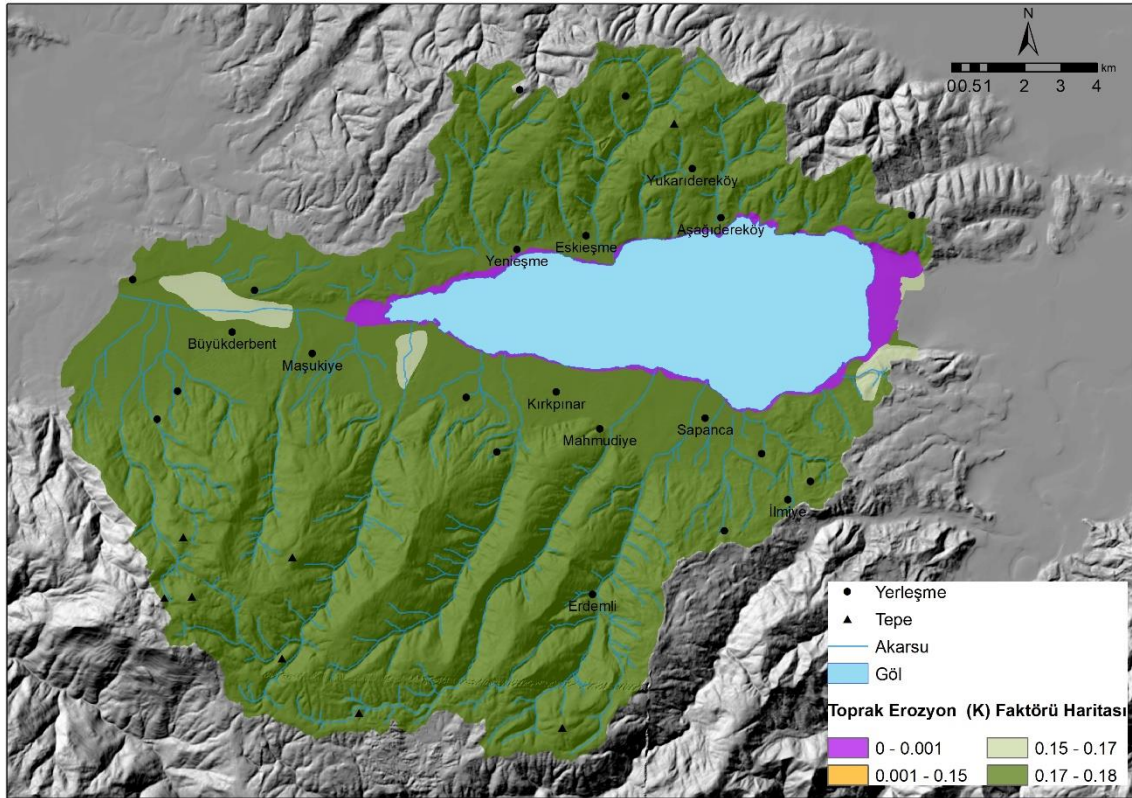
Şekil 2: Sapanca Gölü Havzası'nın Yağış Eroziyon Faktörü (R) haritası

3.2. Toprak Erozyon Duyarlılığı (K) Faktörü

Toprak Erozyon Duyarlılığı Faktörünü (K) oluşturmak için öncelikle büyük toprak grupları haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). Buna göre K faktörünün en yüksek (aşınmanın en fazla) olduğu alanlar sahanın kuzeyinde ve güneyinde yer alan Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları üzerindedir (Şekil 4, Tablo 1). Bu durum erozyon duyarlılığını arttırmaktadır.



Şekil 3: Sapanca Gölü Havzası'nın Büyük Toprak Grupları haritası



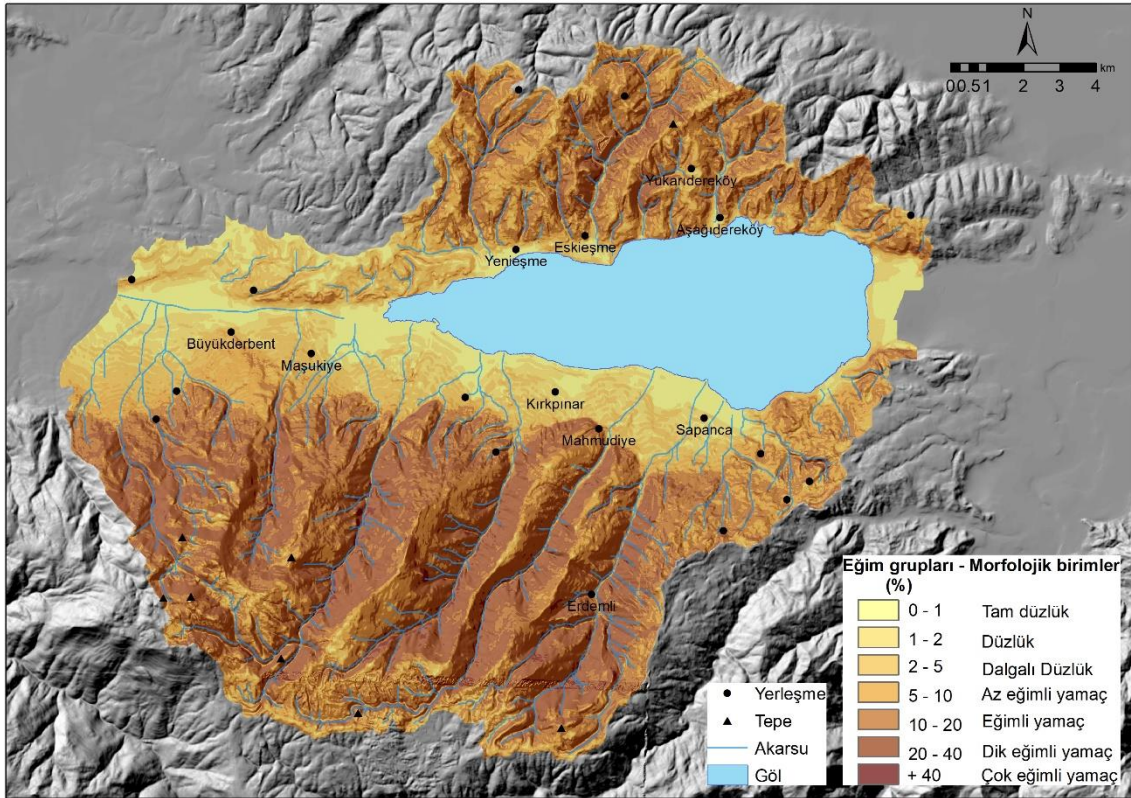
Şekil 4: Sapanca Gölü Havzası'nın Toprak Erozyon Duyarlılığı Faktörü (K) haritası

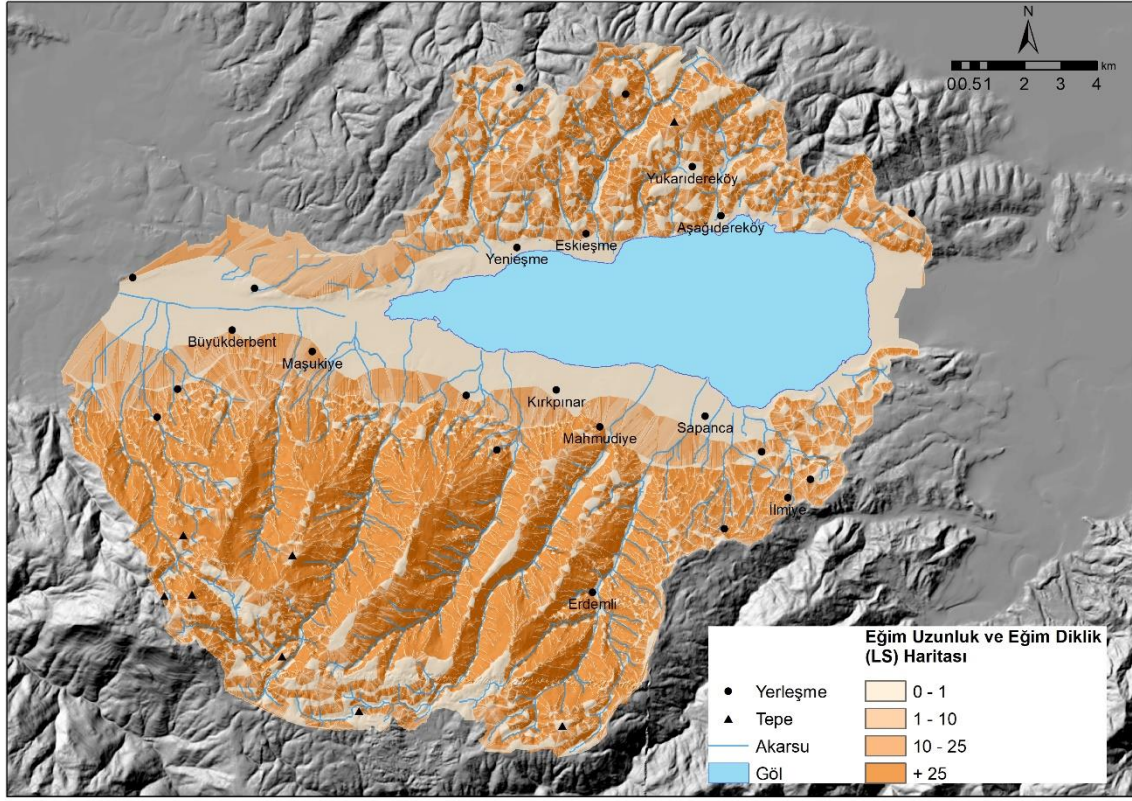
Tablo 1: Sapanca Gölü Havzası'nın büyük toprak grupları ve K Faktör değerleri

Büyük Toprak Grupları	Alan		K Faktör Değeri
	ha	%	
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	21285.3	71.99955	0.18
Kolüvyal Topraklar	3077.3	10.40926	0.17
Alüvyal Topraklar	510.5	1.726815	0.15
Su Yüzeyi	4690	15.86437	0.001

3.3. Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü

Araştırma alanının eğim uzunluk ve eğim diklik faktörünü (LS) oluşturabilmek için öncelikle DEM verisinden eğim haritası üretilmiştir (Şekil 5). Eğim grupları haritasına bağlı olarak LS faktörü haritası oluşturulmuştur. Buna göre göl çevresinde LS faktörü düşük, Samanlı Dağları'nın dik yamaçlarında yüksektir. Çalışma alanında LS değerleri ile yükselti değerlerinin artışı paralel bir gidış göstermektedir (Şekil 6).

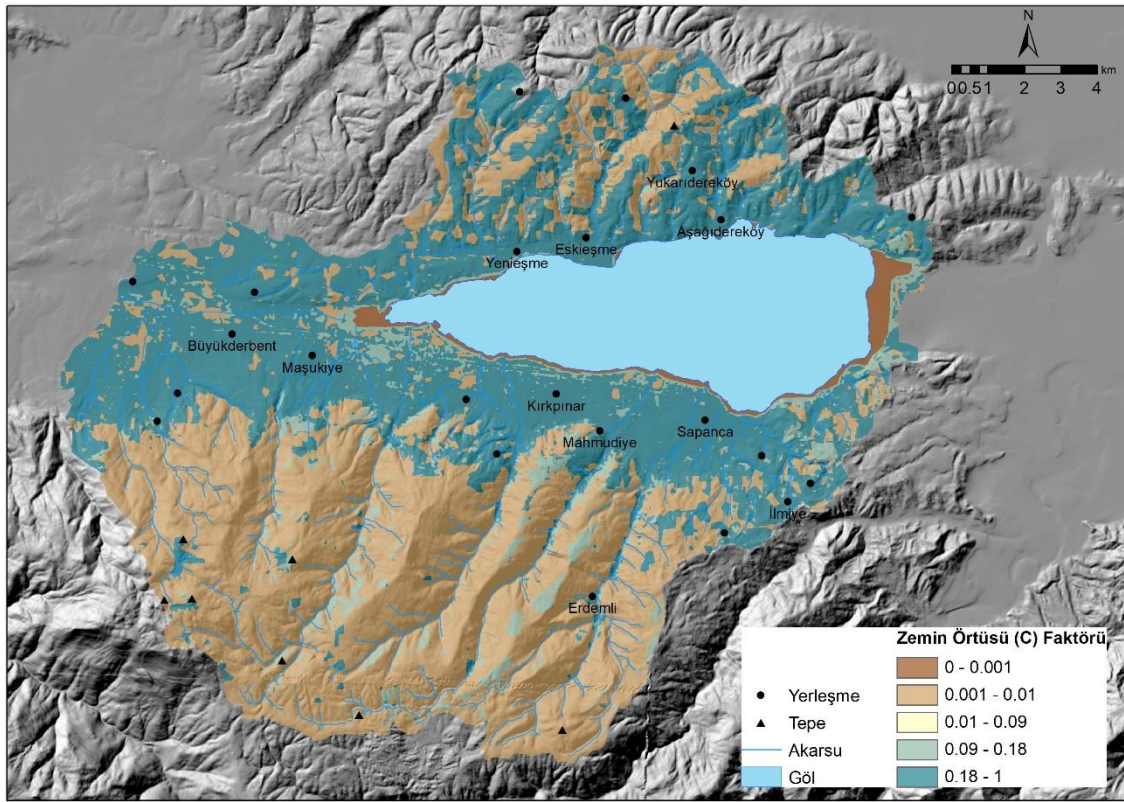
**Şekil 5:** Sapanca Gölü Havzası'nda eğim grupları (%) haritası



Şekil 6: Sapanca Gölü Havzası'nın eğim uzunluk ve eğim diklik (LS) faktörü haritası

3.4. Zemin Örtüsü (C) Faktörü

Çalışma alanında Zemin Örtüsü Faktörü (C)'yi belirlemek amacıyla öncelikle Landsat 8 OLI, 24.07.2022 tarihli uydu görüntüsü sınıflandırılmıştır. Analiz sonucunda arazi örtüsü yerleşme, ziraat alanı, orman sahası, çalı sahası ve su kütleleri olarak 5 ana sınıfa ayrılmıştır (Tablo 2). C faktörünün en yüksek olduğu alanlar olarak orman örtüsünün tahrip edildiği ve yerleşmeye açıldığı alanlar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7, Tablo 2).



Şekil 7: Sapanca Gölü Havzası'nın Zemin Örtüsü Faktörü (C) haritası

Tablo 2: Sapanca Gölü Havzası'nın arazi örtüsü sınıfları ve C faktör değerleri

Arazi Kullanım	Alan		C Faktör Değeri
	ha	%	
Yerleşme	4078.8	13.79945	1
Ziraat Alanı	6402.6	21.66136	0.18
Orman sahası	13071.8	44.22469	0.01
Çalı sahası	1601.8	5.419231	0.09
Su Kütlesi	4402.7	14.89527	0.001

3.5. Erozyon Önleyici (P) Faktörler

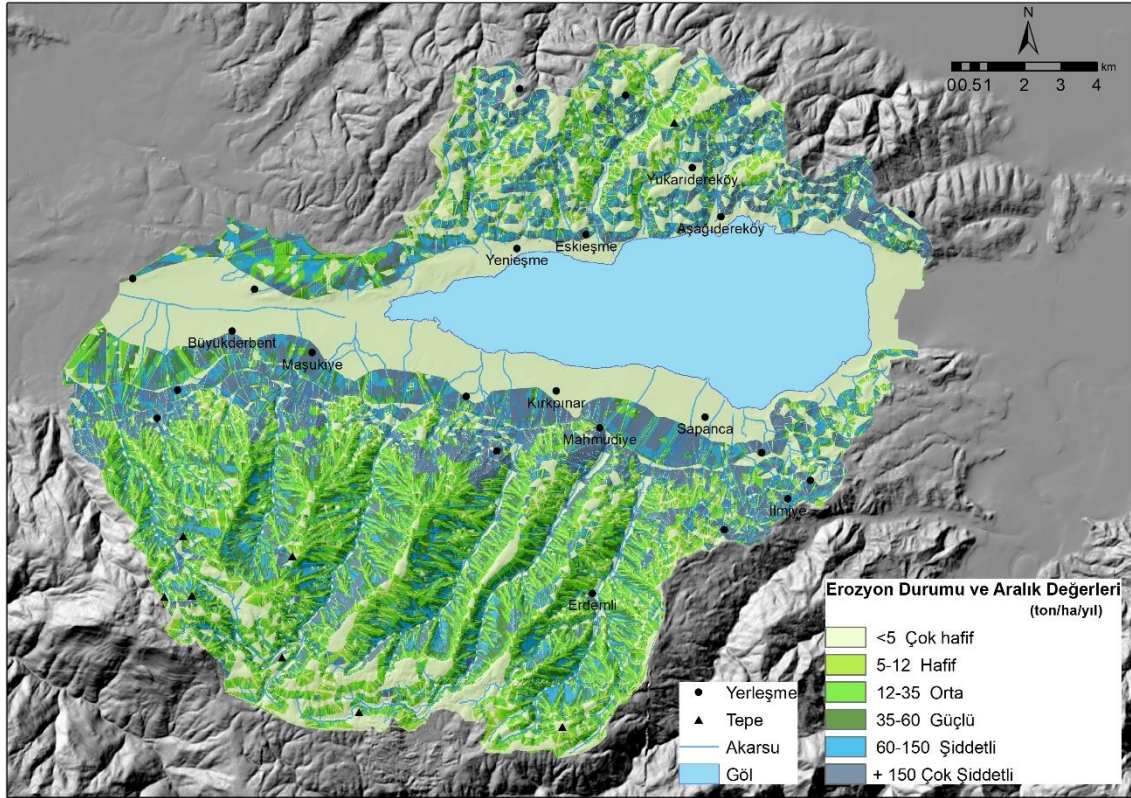
RUSLE yöntemine göre P faktörü, erozyon tehlikesine karşı alınan önlemleri ifade etmektedir. “0” değeri erozyona karşı alınan önlemleri ifade ederken, 1 değeri ise herhangi bir önlem alınmadığı durumları ifade etmektedir (Lane vd., 1992). Çalışma kapsamında Sapanca Gölü Havzası'nda, erozyonu önleyici herhangi bir çalışmaya rastlanılmadığı için 1 değeri kullanılarak P faktörü hesaplanmanın dışında bırakılmıştır.

Bütün faktörlerin analizi yapıldıktan sonra RUSLE'ye göre Erozyon Duyarlılık Haritası oluşturulmuştur (Şekil 8). Buna göre çalışma alanının %46,3'ünde (13607.8 ha) çok hafif, %7,5'inde (2211.5 ha) hafif, %15,3'ünde (4493.8 ha) orta, %7,9'unda (2317.9 ha) güçlü, %9,8'inde (2864.1 ha) şiddetli ve % 13,2'sinde (3872.4 ha) çok şiddetli erozyon duyarlılığı tespit edilmiştir. Yıllık ortalama toprak kaybı 5 ton/ha/yıl'dan azdır (Tablo 3).

Tablo 3: Sapanca Gölü Havzası'nın RUSLE yöntemine göre erozyon duyarlılık değerlerinin alansal dağılışı (ha/%)

Toprak Erozyon Risk Sınıfları	Toprak Erozyon Risk Değerleri	Alan (ha)	%
Çok hafif	0-5	13607.8	46.3
Hafif	5-12	2211.5	7.5
Orta	12-35	4493.8	15.3
Güçlü	35-60	2317.9	7.9
Şiddetli	60-150	2864.1	9.8
Çok şiddetli	+150	3872.4	13.2

Erozyonun şiddeti bakımından en duyarlı bölgeler ise güneyde Samanlı Dağları'dır. İnceleme alanıyla ilgili literatür gözden geçirildiğinde erozyon duyarlılık değerlerinin bu çalışmadan elde edilen sonuçlara yakın olduğu "çok hafif ve hafif derecede" olduğu görülür (Ustaoglu ve Koç, 2018). Elde edilen sonuçlar Türkiye Su Erozyon Atlası (Erpul vd., 2018) ile de karşılaştırılmış ve bu çalışmada elde edilen sonuçlara yakın "çok hafif" derecede erozyon olarak belirlenmiştir.

**Şekil 8:** Sapanca Gölü Havzası'nın RUSLE Yöntemine göre erozyon duyarlılık haritası

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sapanca Gölü Havzası'nda RUSLE yöntemine göre toprak erozyonu duyarlılık değerlerinin alansal dağılışı incelendiğinde erozyon duyarlılığının çok hafif derecede olduğu tespit edilmiştir. Yıllık ortalama toprak kaybı 5 ton/ha/yıl'dan azdır ve Türkiye ortalamasının (8,24 ton/ha/yıl) altındadır. Elde edilen haritaya göre inceleme alanının %46,3'ünde (13607.8 ha) çok hafif, %7,5'inde (2211.5 ha)

hafif, %15,3'ünde (4493.8 ha) orta, %7,9'unda (2317.9 ha) güçlü, %9,8'inde (2864.1 ha) şiddetli ve %13.2'sinde (3872.4 ha) çok şiddetli erozyon duyarlılığı belirlenmiştir. Yıllık ortalama toprak kaybı 5 ton/ha/yıl'dan azdır. Erozyonun şiddeti bakımından en duyarlı bölgeler güneyde Samanlı Dağları, kuzeyde ise hafif ve orta eğimli yamaçlardır. Göl kenarı ve çevresi hafif derecede erozyon duyarlılığı taşıyan alanlardır. Arazi örtüsünde özellikle doğal bitki örtüsünün tahrip edilip yerleşmeye açıldığı alanlarda erozyon duyarlılığının arttığı görülür. Toprak erozyonu duyarlılığı olan alanlarda erozyonla mücadele çalışmaları yapılmalıdır. Özellikle dağlık alanlarda doğal bitki örtüsünün korunması gerekmektedir. Bu durum erozyonla taşınan sediment miktarını azaltacağı için toprağın korunmasını da sağlayacaktır. İklim değişikliğine uyum sürecinde sürdürülebilir bir arazi kullanımı için erozyona duyarlı alanlar dikkate alınarak planlama yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arnoldus, H. M. J. (Eds). (1980). *An Approximation of the Rainfall Factor in the USLE*. Wiley.
- Atalay, İ. (2011). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırması ve Coğrafyası*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık.
- Avcıoğlu, A., Bayraktar, C., Sarı, E. ve Arslan Kaya, T. N. (2020). TanDEM-X12m Sayısal Yükselti Verisine Dayalı Toprak Erozyonu Tespiti (Rusle). *Coğrafya Dergisi*, 41: 93 - 107
- Aykır, D., & Fıçıcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 9, 38 – 49.
- Bahtiyar, M. (2000). Toprak Erozyonu, Oluşumu ve Nedenleri. İçinde G. Kuran ve E. G. Sevinç (Ed.), *Erozyonla Mücadele Tema Eğitim Semineri Notları*.
- Çepel, N. (1997). *Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar*. TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul
- 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.
- Dissanayake, D., & 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.
- Dutucu, A.A., 2018. Sakarya'nın Hidrografik Özellikleri, içinde (Editör İkiel, C), Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri, Sakarya Üniversitesi Yayınları, Yay No:190, 235-238,
- 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.
- Erinç, S. (1949). Sapanca Gölü'nün Derinlik Haritası ve Morfometrisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 11-12, 139-140
- 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., & Soykan, A. (2022). MPSİAC & RUSLE Yöntemleriyle Karşılaştırmalı Erozyon Analizi: Madra Barajı Havzası. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 8, 28 – 47.
- Habtu, W. & Jayappa, K. S. (2022). Assessment of soil erosion extent using RUSLE model integrated with GIS and RS: the case of Megech – Dirma watershed, Northwest Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5): 1 – 25.
- Hoşgören, M. Y. (2004). *Hidrografya'nın Ana Çizgileri – Yeraltı suları – Kaynaklar – Akarsular*. Çantay Kitapevi, İstanbul.
- 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.
- Kaçmaz, M. Döker, M. F. (2021). Sapanca Gölü Havzası'nda Arazi Kullanımı ve Mekânsal Değişim. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 19 (1), 161-194
- Koç, D.E. (2018) Sakarya'nın Bitki Örtüsü Özellikleri, içinde (Editör İkiel, C), Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri, 289-315. Sakarya Üniversitesi Yayını, Sakarya.

- Mater, B. (2004). *Toprak Coğrafyası*. Çantay Kitapevi.
- Mitasova, H., & Hofieka, J., & Zlocha, M., & Iverson, L. R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS, *International Journal of Geographic Information Systems*, 10, 629 - 641.
- Moore, I. & Burch, G. (1986). Physical Basis of the Length – slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 1294 – 1298.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing, U.K.
- Mutlu, Y. E., & Soykan, A. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 6, 98 – 111.
- Nguyen, C. T., Whelan, M. & Nichols, D. J. (2022). Soil erosion response to land use change in a mountainous rural area of Son La Province of Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3): 1 – 12.
- Özden, Ş., & Özden, D. M. (1997). *Türkiye Toprak Erozyon Tabmin Modeli Turtem*. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları.
- 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.
- Renard, K.G., & Foster, G.R., & Weeies, G.A., & Porter, J.P. (1991). RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, 30 - 33.
- Renard, K.G., & Foster, G.R., & Yoder, D.C., & McCool, D.K. (1994). RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future, *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(3), 213 - 220.
- Renard, K.G., & Foster, G.R., & Weesies, G.A., & McCool, D., & Yoder, D. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. United States Department of Agriculture Agriculture Handbook No 703.
- Sarı, M. (2000). Toprak Erozyonu'na Farklı Bir Yaklaşım. İçinde G. Kuran ve E. G. Sevinç (Ed.), *Erozyonla Mücadele Tema Eğitim Semineri Notları*.
- Toy, T. J. (1982). Accelerated Erosion: Process, Problems, and Prognosis, *Geology*, 10(10), 524 – 529.
- Tüfekçioğlu, M., & Yavuz, M. (2016). Yusufeeli mikro havzasında (Artvin) yüzey erozyonu toprak kaybının tahmin edilmesi ve erozyon risk haritasının oluşturulması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 188 – 199.
- U.S. Geological Survey, (2022). 20.11.2022 tarihinde <https://earthexplorer.usgs.gov> adresinden alındı.
- Ustaoglu, B. & Koç, D. E. (2018) Sakarya'nın iklim Özellikleri, içinde (Editör İkiel, C), Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri, 163-2187. Sakarya Üniversitesi Yayını, Sakarya.
- Ustaoglu, B. & Koç, D. E. (2018) Sakarya'nın Toprak Özellikleri, içinde (Editör İkiel, C), Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri, 265-285. Sakarya Üniversitesi Yayını, Sakarya.
- Ustaoglu, 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.
- Wischmeier, W.H., & Johnson, C.B., & Cross, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 189 - 193.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A Guide to Conservation Planning*. Agricultural Research Service Handbook 537.

Extended English Summary

Soil is a decomposed layer that forms the top part of the earth, with a thickness of at least a few mm to a maximum of a few m, where organic and inorganic materials are found together (Atalay, 2011; Bahtiyar, 2000). Erosion, which is the subject of this study, refers to the decomposition of soil and bedrock materials on the earth as a result of natural processes, being eroded, transported and deposited in another area. This erosion, which occurs due to natural processes, is called "natural erosion" or "normal erosion" (Sarı, 2000). On the other hand, various human activities carried out by people cause the deterioration of the natural environment, revealing the process called "accelerated erosion" (Çepel, 1997; Sarı, 2000; Toy, 1982). As a result of accelerated erosion, the efficiency of natural processes that cause erosion under normal conditions increases, and accordingly, the severity of erosion becomes even more. As a result, there is loss of life and property.

Many methods (USLE, MUSLE, RUSLE, RUSLE 2, WEPP, EUROSEM, ANSWERS, CREAMS, KINESROS etc.) have been developed so far to determine the erosion risk in a field and to make predictions for the future. Among these methods, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is one of the most widely used (Renard et al., 1991; Renard et al., 1994; Renard et al., 1997). The RUSLE method, which emerged with the revision of the USLE method developed by the United States Department of Agriculture (USDA), is used in many studies depending on factors such as the data set being based on long-term measurements, the evaluation of many parameters with the help of computer technologies (GIS), and its convenience in terms of use (Avcıoğlu et al; 2020; Mutlu & Soykan, 2021; Ustaoglu et al., 2021; Nguyen et al., 2022; Habtu & Jayappa, 2022; Aykır & Fıçıcı, 2022).

The Sapanca Lake Basin, which is the subject of the study, is located within the borders of the Çatalca – Kocaeli section of the Marmara Region in the northwest of Turkey. Sapanca Lake meets the drinking water needs of Sakarya and Kocaeli provinces, and utility water for industrial facilities and agricultural activities. In addition, the lake and its immediate surroundings are an area where tourism activities are carried out intensively due to the natural beauties it has. The topographical structure of the lake basin, especially in the northern and southern parts, has rugged and high slope values, as well as agriculture, tourism, settlement, etc. Experiencing land degradation in the field due to human activities makes erosion in the Sapanca Lake Basin an important problem that needs to be examined.

Sapanca Lake and its basin are located in the west of Turkey and east of the Sea of Marmara. It is located in a tectonic groove extending from east to west and appears to be an eastern continuation of the Gulf of Izmit.

In the west of the research area, there are low-altitude flat areas that are the continuation of the Gulf of Izmit, the Adapazarı Plain in the east, the eroded hilly lands of the Çatalca - Kocaeli Plateau in the north, and the sloping northern slopes of the Samanlı Mountains in the north.

Sapanca Lake was formed as a result of closing this groove-shaped tectonic pit in the east with the alluviums carried by the Sakarya River. Although Sapanca Lake changes according to the season, it has a surface area of 46.5 km² and a size of 31-32 m. has height. 17 km in east-west direction. up to 61 m in length. has depth (Erinç,1949). Excess waters of Sapanca Lake go to Sakarya River via Çark Creek. Therefore, it has drinkable quality water. It is a drinkable fresh water source for Sakarya and Kocaeli (Dutucu, 2018).

Humid climatic conditions prevail in the study area. According to the Erinç index, there is no dry period. According to the Thornthwaite classification, it is in the humid mesothermal, marine climate type with moderate water deficiency in summer. According to the Köppen-Geiger classification, humid Subtropical climate features are observed in the middle latitudes with hot summers and no dry season (Cfa) (Ustaoglu,2018).

Depending on the climatic characteristics seen in the study area, forest, bush and grass formation is common. In the coastal zone of the lake, the natural vegetation has been destroyed and there are agricultural and residential areas. The forest formation is widespread on the northern slopes of the Samanlı Mountains, and the dominant tree species of these humid forests is beech. The second most common species are sessile oaks. They are accompanied by maple, chestnut, linden, hornbeam, aspen, alder. (Koç, 2018). There are limited agricultural areas in the coastal part of the lake and in the high areas where the forests have been destroyed, most of these areas are turning into residential and touristic facility areas due to the increasing demand.

The expansion of urban and rural settlements strains the carrying capacity of the basin and leads to the destruction of the natural environment. The population density in the basin has increased up to 250 people per km², and in Sapanca, which is located in the south of the basin, it has reached 1500 people per km².

Within the scope of the study, basic data were obtained from different institutions. The base maps of the field were obtained from the General Directorate of Mapping and the former General Directorate of Rural Services. 1/25.000 scale topography maps and soil maps were used to prepare slope, LS factor and K factor maps, respectively. In the preparation of the R factor map, monthly average total precipitation data covering the years 1959 - 2021 belonging to the Adapazarı meteorology station obtained from the General Directorate of Meteorology were used. In order to reflect the variation of precipitation with altitude, precipitation data were interpolated and mapped. Landsat satellite images were used in the production of C factor maps prepared to reveal the effect of land cover on erosion. The required Landsat satellite images were downloaded from the website provided by the United States Geological Survey (USGS) free of charge to researchers (USGS, 2022).

When the spatial distribution of soil erosion susceptibility values according to the RUSLE method in Sapanca Lake Basin was examined, it was determined that the erosion susceptibility was very mild. Annual average soil loss is less than 5 tons/ha/year and is below the Turkey average (8.24 tons/ha/year). According to the map obtained, very light in 46.3% (13607.8 ha), mild in 7.5% (2211.5 ha), moderate in 15.3% (4493.8 ha), moderate in 7.9% (2317.9 ha) strong, 9.8% (2864.1 ha) severe and 13.2% (3872.4 ha) very severe erosion susceptibility was determined. Annual average soil loss is less than 5 tons/ha/year. The most sensitive areas in terms of the severity of erosion are the Samanlı Mountains in the south and the mild and moderately sloping slopes in the north. The lake edge and its surroundings are areas with slight erosion sensitivity. It is observed that the erosion sensitivity increases in the land cover, especially in the areas where the natural vegetation is destroyed and opened to settlement. Erosion control studies should be carried out in areas with soil erosion sensitivity. Especially in mountainous areas, natural vegetation should be protected. As this will reduce the amount of sediment carried by erosion, it will also ensure the protection of the soil. It is recommended to plan for a sustainable land use in the adaptation process to climate change, taking into account the areas susceptible to erosion.