

**Makale  
(Article)**

## **CBS Tabanlı RUSLE Yöntemiyle Işıklı Gölü Havzasının Erozyon Risk Analizi**

**Mehmet Ali ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Sevgi TATAR (DÖNMEZ)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü,03100 Afyonkarahisar/TÜRKİYE  
sevgidonmezz@gmail.com

### **Öz**

Günümüzde çok önemli bir sorun olan erozyon, genellikle yanlış arazi kullanımı ve insan tahribatı nedeniyle, eğimli arazilerde toprağın tutucu bitki örtüsünün azaldığı ya da tamamen yok olduğu toprak profiline üst katmanlarından başlayıp alta doğru devam eden aşınma ve taşınma olayıdır. Çalışma alanı, Ege Bölgesi İç Batı Anadolu Bölümü'nde bulunan ve Büyük Menderes nehri havzasının önemli bir bölümünü oluşturan Işıklı Gölü havzasıdır. Bu çalışmanın amacı; son yıllarda erozyon risk analizlerinin doğru bir biçimde yapılmasında oldukça fazla tercih edilen CBS tabanlı RUSLE yöntemi kullanarak Işıklı Gölü havzasının erozyon risk sahalarının belirlenmesi ve haritalanmasıdır. Bu çalışmada RUSLE yönteminin uygulanması için ArcGIS 10.2 ve ENVI programları kullanılmıştır.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan Işıklı Gölü havzası erozyon risk analizi haritasına göre çeşitli risk sınıfları belirlenmiştir. Bunlar; çok hafif, hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli şeklinde beş sınıf olarak ayrılmaktadır. Çalışma alanında uygulanan RUSLE yönteminin diğer bir sonucu ise çalışma alanında meydana gelen erozyonla taşınan sediment miktarının tahmini olarak hesaplanmasıdır. Buna göre Işıklı Gölü havzasında erozyon bakımından en riskli kesimler, havzanın doğusunda yer alan ve oldukça engebeli bir yapıya sahip olan Akdağ kütesinin bulunduğu kesim başta olmak üzere, havzanın kuzey, kuzeybatı, batı, güneybatı ve güneyinde bulunan diğer dağlık ve engebeli alanlarda bulunmaktadır. Çalışma Işıklı Gölü havzasında tespit edilen erozyon riski taşıyan alanlarda gerekli tedbirlerin alınması için önem taşımaktadır. Böylelikle erozyonla taşınan sediment miktarı en aza indirilerek toprağın korunması sağlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak Erozyonu, RUSLE Yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, Işıklı Gölü Havzası

## **GIS- Based RUSLE Method of the Erosion Risk Analysis in Işıklı Lake Basin**

### **Abstract**

Erosion, which is a very important problem nowadays, usually due to improper land use and antropogenic degradation of vegetation on slopes where the holder is reduced or disappears completely, starting from the upper layers of the soil profile and the on goingwear and is moving to ward the bottom. The study area is located in western Anatolia part of Aegean Region and constitute a significant part of the Büyük Menderes river basin it is Işıklı Lake basin. The aim of this study is mapping and identification of erosion risk areas in Işıklı Lake Basin by using GIS based RUSLE method. In this study, GIS-based method for the implementation of RUSLE, ArcGIS10.2 and ENVI programmes has been used.

This study was created as a result of various risk classes according to the map of erosion risk analysis the Işıklı Lake basin were determined. These are; veryslight, slight, moderate, severe and very severe are divided into five classes. Another consequence of theme method implemented in the study area RUSLE erosion from occurring in the study area to calculate an estimate of the amount of sediment that are transported by. Accordingly, in Işıklı Lake basin in terms of soil erosion is the most risky part of the basin is quite rugged and has a structure which is

located to the East sector where the mass is located Akdağ, including basin north, northwest, west, southwest and South are mountainous and hilly areas in other. This study identified are as with erosion risk in the watershed in Işıklı Lake, it is important to take the necessary measures. Thus, the amount of sediment which is carried by erosion, will be minimized and the protection of soil can be provided.

**Keywords:** Soil Erosion, RUSLE Method, Geographic Information Systems, Remote Sensing, Işıklı Lake Basin

## 1. GİRİŞ

Jeolojik devirler boyunca yer yüzeyindeki kayalar kimyasal ve fiziksel etkenlerle çözünerek parçalanmış ve çeşitli toprak grupları oluşmuştur. Bu süreç günümüzde de devam etmekte ve toprak oluşumunun sürekliliğini sağlamaktadır. Ancak toprak yapısını tehdit eden bir takım doğal ve beşeri faktörler bulunmaktadır. Doğal faktörlerin başında toprak erozyonu gelmektedir. Toprak erozyonu; doğal veya jeolojik erozyon ile hızlandırılmış erozyon olarak ikiye ayrılır [1]. Bunlardan doğal erozyon ekolojik dengeye katkı sağlamaktadır. Ancak özellikle topografyanın eğimli ve yağışın etkili olduğu alanlarda meydana gelen aşınma ve taşınma olayı toprak oluşumunu olumsuz etkiler ve bu kesimlerde çok yıkanmış, mineral bakımından fakir, asitli, hatta bazı alanlarda ana kayanın ortaya çıktığı verimsiz araziler meydana gelir. Doğal erozyonun oluşmasında çok çeşitli faktörlerden söz edilebilir. Bunlar; anakaya, jeomorfolojik faktörler (yükselti, eğim ve bakı), vejetatif faktörler (bitki örtüsü, türleri ve yayılışı) iklim (sıcaklık, yağış, nem, rüzgar) olarak sıralanabilir. Doğal erozyon dışında beşeri faaliyetlerle meydana gelen 'hızlandırılmış erozyon' günümüzün en önemli sorunlarından biridir. Hızlandırılmış erozyon genellikle toprak profilinin üst horizonlarından başlayarak önlem alınmadığı takdirde alt horizonlara ilerleyip en son ana kayanın ortaya çıkmasına kadar varabilecek bir aşınma ve toprak taşınması olayıdır.

Günümüzde dünyada önemli bir sorun olan toprak erozyonu Türkiye topraklarına da büyük zarar vermektedir. Ülkemizde orman alanlarının % 54'ü, tarım alanlarının % 59'u, meraların % 64'ünde orta ve şiddetli erozyon görülmektedir [2]. Türkiye'nin arızalı topografyası ve iklim şartları erozyon için uygun ortam oluşturmaktadır. Ancak fiziki faktörlerin yanında insan etkisi de azımsanamayacak kadar yüksektir. Özellikle orman tahribatı, endüstrileşme, kentleşme, yanlış arazi kullanımı, bilinçsiz otlatma faaliyetleri erozyonu artırıcı rol oynamaktadır [3].

Toprak erozyonu ile toprağın en verimli kısmı olan A horizonu aşınarak taşınmaktadır. Organik maddece zengin, bitki köklerinin dağılarak beslendiği bu horizon mineraller açısından da zengindir. Toprakta erozyon nedeniyle A horizonunun taşındığı kesimlerde daha sert ve sıkı olan, humus açısından fakir B horizonu ortaya çıkar, toprak verimliliği % 50- 80 oranında düşer [4].

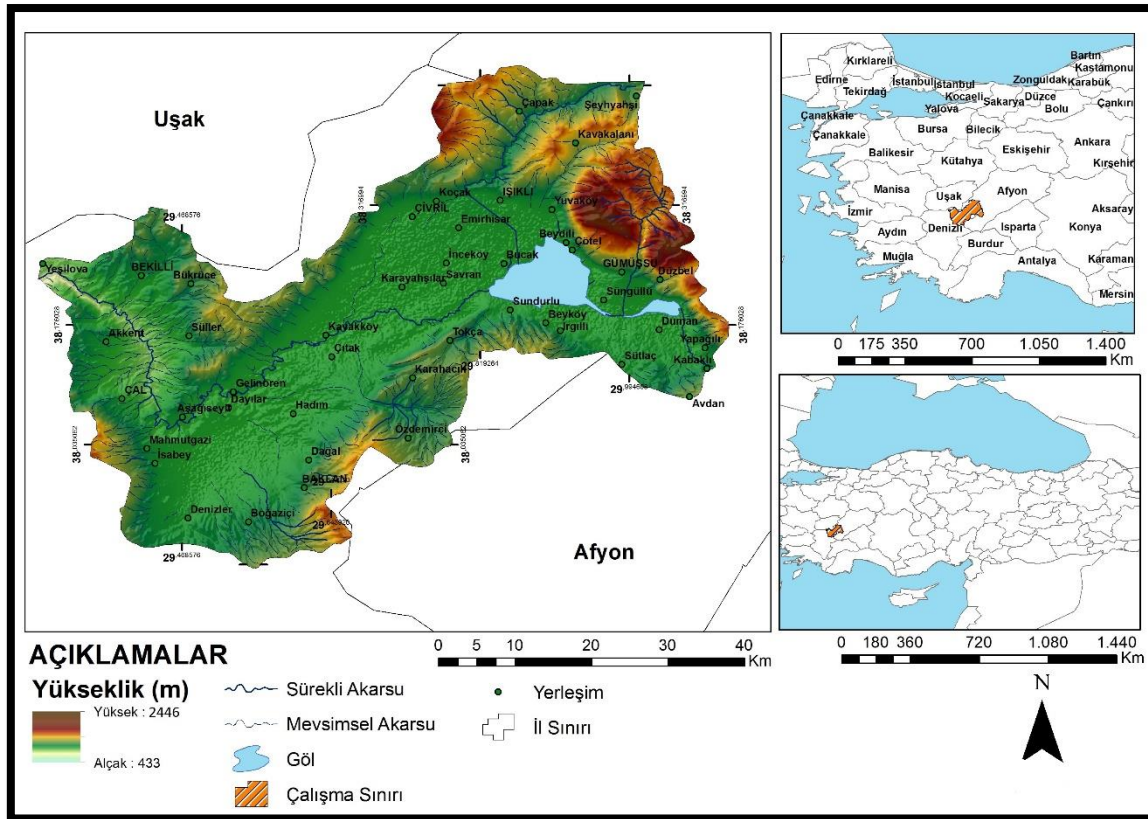
Günümüzde hızlandırılmış erozyonu önlemek için çeşitli tedbirler alınmaktadır. Bunlar bitkisel tedbirler, kültürel tedbirler ve fiziksel tedbirler olarak üç başlık halinde incelenebilir. Bitkisel tedbirler bitki münavebesi (nöbetleşe bitki ekimi), çayır ve mera ıslahı, örtü ve yeşil gübre etkileri (tahıl, baklagil ve çayır otları gibi örtü bitkileri ekimi), anız örtülü ziraat (bitki artıklarını toprakta bırakarak toprağı dinlendirme) olarak gerçekleştirilir. Kültürel tedbirler; araziye kabiliyetine göre kullanmak, kontur tarım (eğime dik olarak toprak işleme), şeritsel ekim (dar şeritler halinde ekim) şeklinde alınır. Fiziksel tedbirler ise, teraslar, çevirme kanalları, otlu su yolları ve rezervuar (gölet ve bent) yapımı olarak uygulanabilir [4].

Çok önemli olumsuz etkileri olan toprak erozyonunu önleme çalışmalarının daha sağlıklı olarak yapılabilmesi için son yıllarda özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri etkin olarak kullanılmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de yapılan çeşitli çalışmalar ile farklı alanların erozyon risk analizleri gerçekleştirilmektedir. Oldukça verimli sonuçlar veren RUSLE Yöntemi de CBS tabanlı olup diğer yöntemlere göre daha etkin sonuçlar vermektedir. Literatürde RUSLE yöntemi kullanılarak yapılan birçok çalışma mevcuttur [5-16].

Bu çalışma ise Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan ve RAMSAR Sözleşmesi'ne göre 'A Grubu Sulak Alan' kategorisinde bulunan Işıklı Gölü havzasında erozyon risk alanlarının tespit edilmesini amaçlamaktadır. Uygulanan RUSLE yöntemiyle Işıklı gölü havzasında potansiyel erozyon sahalarının duyarlılık sınıfları belirlenmiş ve 'Işıklı Gölü havzası erozyon risk analizi haritası' oluşturulmuştur. Bu haritaya göre beş sınıf bulunmaktadır. Bunlar; çok hafif, hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli olarak belirlenmiştir. Oluşturulan erozyon risk haritasında 'çok hafif' risk sınıfına ait alanların en geniş yer kapladığı tespit edilmiştir. Bu durum Işıklı Gölü havzasının erozyondan çok fazla etkilenmediğini göstermektedir. En yüksek erozyon riski taşıyan 'çok şiddetli' sınıfına ait alanlar ise daha çok engebeli alanlar olarak görülmektedir. Çalışmada erozyonla taşınan toplam sediment miktarı 6+ ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı; Ege Bölgesi İç Batı Anadolu Bölümü'nde Denizli ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Büyük Menderes nehrinin büyük bir kısmını kaplayan Işıklı Gölü havzası Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biridir. İnceleme alanına adını veren Işıklı Gölü ve güneydoğusunda bataklık biçimindeki Gököl, Ramsar sözleşmesine göre A sınıfı korunmada öncelikli sulak alan kategorisindedir. Barındırdığı kuş türleri ile korunması gerekli sulak alanların başında gelen Işıklı Gölü ve Gököl ekolojik açıdan önemli bir alan durumundadır (Şekil 1). Işıklı Gölü havzası ile ilgili yapılan bir takım çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan Ceylan [17] havzanın hidrojeomorfolojik etüdü ile Beşeri coğrafya alanında Kadıoğlu havzada bulunan Çal ilçesinde bağcılık [18] ve Çivril ilçesinde şekerpancarı [19] ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Görülen odur ki; Işıklı Gölü havzasında erozyonla ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile ilk kez havzada erozyonla ilgili bir çalışma yapılacaktır.



Şekil 1: Işıklı Gölü Havzası lokasyon haritası

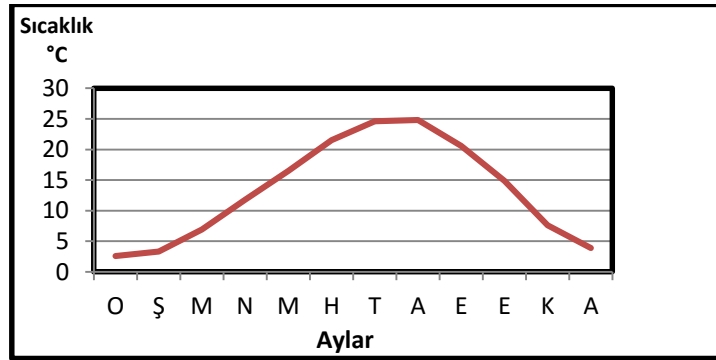
Çalışma alanı yüzölçümü yaklaşık 1942 km<sup>2</sup> dir. Çalışma alanında bulunan Işıklı Gölü 62 km<sup>2</sup>, Gököl 8,0 km<sup>2</sup> alan kaplamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Işıklı Gölü'nden bir görünüm

## 2.1. Klimatik Özellikler

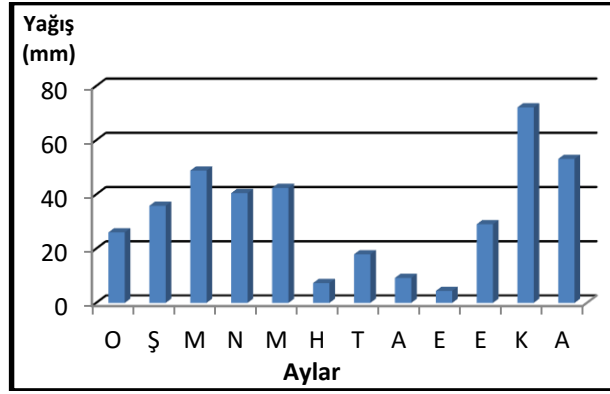
Çalışmada iklim özelliklerini tespit edebilmek amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün iklim verileri incelenmiş, çalışma alanında Çivril, Çal, Bekilli, Baklan, Gümüşsu ve Çal istasyonlarına ait veriler bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak bunlardan en uzun ve kesintisiz verilerin Çal İstasyonuna ait olması nedeniyle çalışmada Çal meteoroloji istasyonunun 1987-2012 yılları arasındaki uzun dönemli rasat verileri kullanılmıştır. Bu verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 13.3 °C dir. Yıllık ortalama en yüksek sıcaklık 24.8 °C ile Ağustos ayında, en düşük ortalama sıcaklık ise 2.6 °C ile Ocak ayında görülür (Şekil 3). Buna göre havzanın hakim iklimi Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında geçiş tipidir.



Şekil 3: Işıklı Gölü Havzası aylık ortalama sıcaklık dağılışı

Yıllık ortalama yağış Çal meteoroloji istasyonu verilerine göre 386.5 mm'dir. Yıllık ortalama en düşük yağış, Eylül ayında 4.4 mm, en yüksek yağış ise Kasım ve Aralık aylarında 72.1 mm ve 53.1 mm olarak görülmektedir (Şekil 4). Kışın 114.9 mm (% 29.5), ilkbaharda 131.7 mm (% 33.9), yazın 34.4 mm (% 8.8) sonbaharda 105.5 mm (% 27.2) yağış düşer. Yıllık ortalama bağıl nem % 53.5' dir.

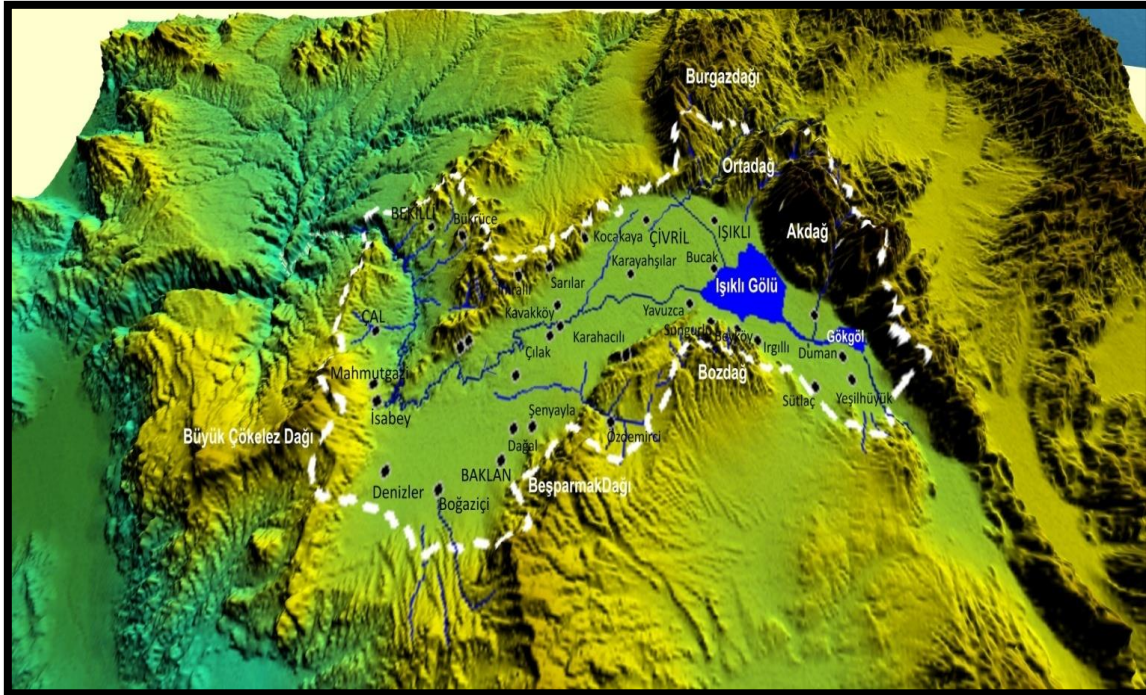
Yaz kuraklığı oldukça belirgindir. Düzensiz bir yağış rejimi hakimdir. Bu genel karakteriyle, havzanın yağış rejimi Akdeniz yağış rejiminin karasal tipinin özelliklerine uymaktadır.



Şekil 4: Işıklı Gölü Havzası aylık ortalama yağış dağılışı

## 2.2. Jeomorfolojik Özellikler

Işıklı Gölü havzası; kuzeyde Ortadağ (1687 m), Burgaz Dağı (1930 m) ve Çivril Ovası, Güneyde Bozdağ (2421 m), güneybatıda Beşparmak Dağları (1646 m) ve Baklan Ovası, güneydoğuda Irgıllı Ovası, batıda Büyük Çökelez Dağı (1841 m) ile çevrilidir. Yüksek yerlerin havza tabanı ile olan sınırlarını çoğu kez tektonik hatlar belirlemiştir (Şekil 5). Dağlık alanlar özellikle Neojen'den itibaren yükselmeye başlamış, bu yükselme Kuvaterner'de de devam etmiştir.

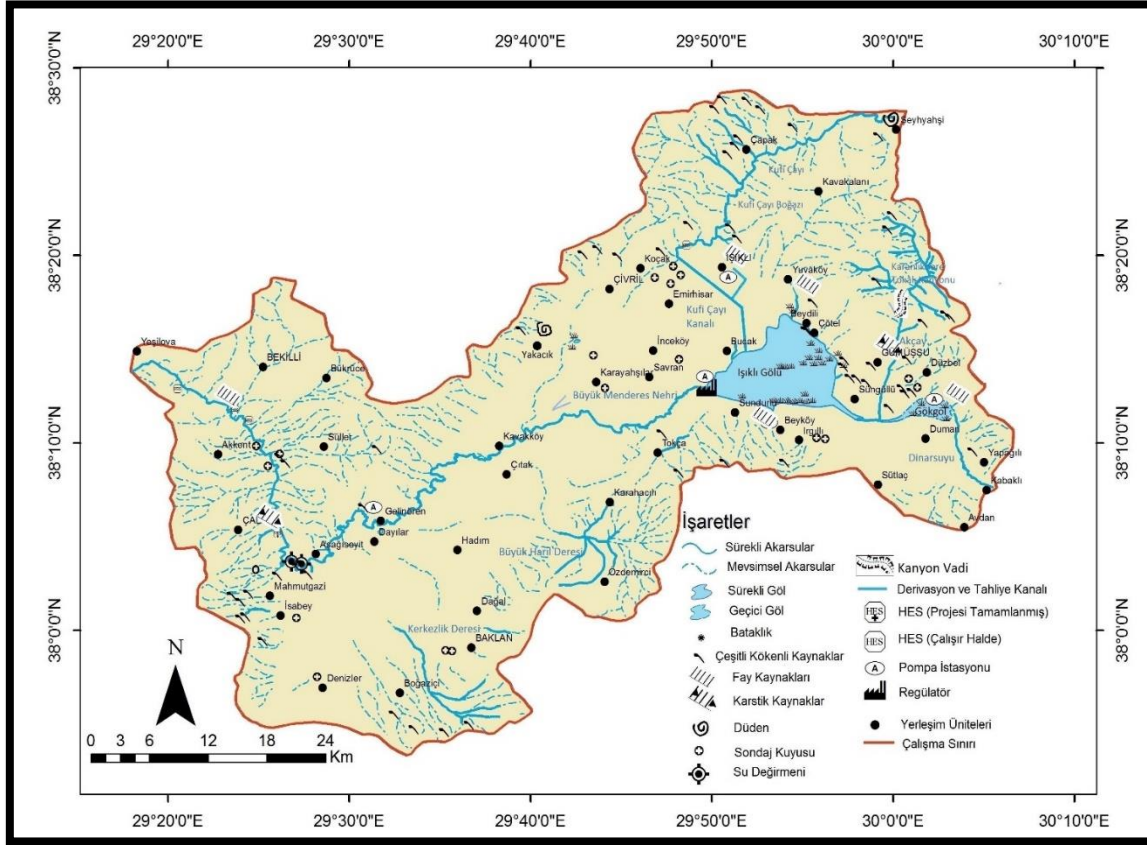


Şekil 5: Işıklı Gölü Havzası ve yakın çevresinin üç boyutlu modeli

## 2.3. Hidrografik Özellikler

Çalışma alanının hidrografik açıdan en önemli unsurlarını Kufi Çayı, Dinarsuyu, Akçay, Işıklı Gölü ve Gökgöl ile yer altı suları oluşturmaktadır. Işıklı Gölü havzası Büyük Menderes Nehir Havzası'nın beslenme alanında yer almaktadır. Çalışma alanında bulunan en önemli akarsu Büyük Menderes Nehri'nin önemli beslenme kaynaklarından olan Kufi Çayıdır. Çalışma alanında bulunan önemli kaynaklar ise Işıklı kaynakları, Yuva kaynakları, Gökgöl kaynakları ve Bektaş Pınarıdır. DSİ tarafından 1949-1968 yılları arasında Işıklı gölünün batı, doğu ve güney kıyıları seddelerle çevrilerek göl sulama amaçlı rezervuar alanı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Küçük Sincanlı ve Sandıklı havzalarından topladığı kollarla önemli ölçüde Işıklı gölünü besleyen Kufi Çayı çalışma alanının kuzeybatı kesimlerinde bulunan Çivril ovasında menderesler çizerek akmaktadır. Kufi Çayı önemli ölçüde gölü beslerken bir yandan da taşıdığı büyük miktardaki erozyon yüküyle göl içinde sediment miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu da gölün hızlı bir biçimde dolmasına sağlamaktadır. Gölü besleyen bir diğer önemli kaynak ise Dinarsuyudur. Göle giren su miktarının yarısına yakını (% 45.7) Dinarsuyu tarafından aktarılmaktadır. Dinarsuyu Akçay ve Gökgöl kaynaklarından beslenir ve Mayıs ayında en yüksek düzeyde su katkısında bulunur (Şekil 6).



Şekil 6: Işıklı Gölü Havzası hidrografi haritası

Işıklı Gölü ve çevresinde DSİ Genel Müdürlüğü tarafından sulama suyu sağlamak amacıyla yapılmış olan sulama kanalları bulunmaktadır. Bu sulama kanallarının bulunduğu alanlarda, sulamadan dönen suların tahliyesi amacıyla kurutma kanalları açılmıştır. Akdağ'ı havza tabanından ayıran sınır boyunca Işıklı Gölü'nü besleyen birtakım kaynaklar bulunmaktadır. Bunlar; Işıklı, Yuva ve Gökgöl ve Bektaş kaynaklarıdır.

Çalışma alanımızda bulunan ve Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan Işıklı Gölü ve bağlantısı bulunan Gökgöl'ün toplam yüzey alanları 70 km<sup>2</sup> dir. DSİ XXI. Bölge Müdürlüğü tarafından Işıklı ve Gökgöl sulak alan sisteminin güney kenarına kanal ve mansabına bir adet regülatör inşa edilmiştir. DSİ ölçümlerine göre Işıklı Gölü'nün su seviyesi en düşük; 814 m en yüksek 821 m ve ortalama 817.8 metredir [20].

### 3. AMAÇ, MATERİYAL VE YÖNTEM

Erozyonla taşınan sediment miktarının hesaplanabilmesi ve erozyonun etkilerinin tam olarak tespit edilebilmesi amacıyla çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları;

- EİE Gözlem Sonuçları ile Hesaplama; çeşitli derinliklerdeki sediment örnekleri US. DH-48 adı verilen aletlerle alınmakta ve laboratuvar ortamında filtrasyon işleminden geçirilerek sediment konsantrasyon değerleri tespit edilmektedir [21].
- EİE Eşitliği ile Hesaplama; EİE, sediment verimini yıllık ortalama yağış miktarı (mm), havza alanı (km<sup>2</sup>), ana su yolu eğimi (%), çeşitli zamanlı yağış miktarları(mm), akım indeksi, yağış indeksi, yıllık ortalama erozyon indeksi (ton-mha-1), yıllık ortalama en yüksek debi (m<sup>3</sup>sn-1), ana su yolu uzunluğunu (km) gibi farklı değişkenlere göre hesaplanmaktadır [22,23].
- Türkiye İçin Bulunan Genel Sediment Eşitliği ile Hesaplama; bu eşitlik ile hesaplama Türkiye genelinde yapılan ölçümler ile elde edilen uzun yıllık ortalama sediment miktarı ve her istasyonun net yağış alanı bulunarak gerçekleştirilir [21].
- Brüt Erozyon Yöntemi ile Hesaplama; arazi kullanımı ve işlenme yüzdeleri belirlenerek arazinin yer aldığı toprak grubuna ait brüt erozyon miktarının belirlenmesi esasına dayalı bir yöntemdir [21].
- USLE Yöntemi ile Hesaplama(Universal Soil Loss Equation); erozyona etki eden yağış, toprak aşınım özelliği, eğim durumu, bitki örtüsü, toprak koruma gibi çeşitli faktörlerin arasında bulunan ilişkilerin çarpımı ile sonuç bulma esasına dayanır [24].
- Morgan Yöntemi; iki basamaklı olarak gerçekleştirilen yöntemde göre, ilk basamakta yağışın kinetik enerjisi ve yüzeysel akış miktarı, ikinci basamakta ise toprağın ayrışma oranı ve yüzeysel akışın taşıma kapasitesi belirlenir [25].
- RUSLE Yöntemi; Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE)'nin [24, 26, 27] geliştirilmesi ile oluşturulmuş 'Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) [28-36]'dir. Bu yöntemde yağış, toprak, yamaç uzunluk ve eğim, zemin örtüsü ve erozyon önleyici diğer faktörler esas alınır.

Bu çalışmada potansiyel erozyon risk alanlarının belirlenmesi ve erozyon risk haritası için; RUSLE [28-37] yöntemi kullanılmıştır.

Amaç; Batı Anadolu'nun önemli sulak alanlardan biri olan Işıklı Gölü havzasında toprak erozyonunu kontrol eden faktörleri değerlendirmek ve toprak erozyonu risk alanlarını tespit etmektir.

Formül şu şekilde uygulanmıştır:

$$A = R . K . L . S . C . P \quad (1)$$

Burada

A: Yıllık ortalama toprak kaybı (ton/ha/yıl)

R: Yağış erozyon faktörü

K: Toprak erozyon faktörü

LS: Yamaç uzunluk ve eğim faktörü

C: Zemin örtüsü faktörü

P: Erozyon önleyici diğer faktörlerdir.

Işıklı Gölü havzasında RUSLE yöntemi ile erozyon risk analizinin yapılması amacıyla; öncelikle altı paftadan oluşan 1/100.000 ölçekli topografya haritaları taranarak CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. Toprak özelliklerini belirleyebilmek için Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Entegre İdare ve Kontrol Sistemi Daire Başkanlığı'ndan temin edilen toprak verileri [38] kullanılarak havzanın toprak haritası oluşturulmuştur. Sonrasında sayısal yükselti modelinden

faydalanılarak eğim haritası oluşturulmuştur. Zemin örtüsü özelliklerini saptayabilmek için Orman Genel Müdürlüğü'nün oluşturduğu amenajman planları [39,40] ve Landsat ETM+ 2013 yılı Haziran ayına ait uydu görüntüleri kullanılarak ENVİ programı ile Işıklı Gölü Havzası arazi kullanım sınıfları haritası elde edilmiştir. Erozyon analizini yapılmasında ilk olarak; R Faktörünü saptayabilmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen Işıklı Gölü havzasında bulunan Çal istasyonuna ait iklim verileri [41]. kullanılarak 'yağış erozif haritası' oluşturulmuştur. İkinci basamak olarak; oluşturulan toprak haritası ile toprağın erozyon açısından değerlendirildiği K Faktörü haritası oluşturulmuştur. Üçüncü basamakta yamaç uzunluğu ve eğim faktörünün etkisini ortaya çıkarabilmek amacıyla yapılan eğim haritasından LS faktörü haritası oluşturulmuştur. Dördüncü basamak olarak zemin örtüsü etkisini saptamak amacıyla Landsat ETM+ 2013 yılı Haziran ayına ait uydu görüntüsü kullanılarak oluşturulan arazi kullanım haritasına bağlı olarak C faktörü haritası oluşturulmuştur. Son faktör olan P faktörü için arazide erozyon önleyici herhangi bir tedbir bulunmadığından bu faktör '1' olarak alınmıştır. Son basamakta ise oluşturulan bütün R,K,L,S,C faktör haritalarına ait veriler ArcGIS 10.2 programı kullanılarak CBS ortamına aktarılmış ve Raster Calculator ile erozyon analizi yapılarak erozyon risk haritası oluşturulmuştur.

Son olarak da erozyon oluşumunda rol oynayan yağış, toprak, yamaç uzunluğu ve eğim, zemin örtüsü özellikleri dikkate alınarak erozyon duyarlılık sınıfları oluşturulmuştur.

#### 4. IŞIKLI GÖLÜ HAVZASI'NDA EROZYONUN HESAPLANMASINDA KULLANILAN FAKTÖRLER

Işıklı Gölü Havzası'nda RUSLE yöntemiyle oluşturulan erozyon risk analizinde kullanılan parametreler şu şekilde açıklanabilir.

##### 4.1. Yağış Erozif (R) Faktörü

Erozyona etki eden faktörlerin başında yağış özellikleri gelmektedir. Özellikle eğimli arazilerde yağış, yüzeysel akışı sağlayarak toprak aşınım ve taşınımına neden olmaktadır. Yağış erozif faktörü yağışın neden olduğu potansiyel erozyon etkisini göstermede kullanılmaktadır (42). Toplam yağış ve toprağa düşen yağışın kinetik enerjisi belirlenerek R değerine ulaşılır (43). Yağışın yapmış olduğu bu erozif etkiyi belirlemek amacıyla RUSLE eşitliğinde yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum yoğunlukları çarpımı ile elde edilen değer (EI= Erozyon indeksi) toprak kaybının hesaplanmasında belirleyici rol oynamaktadır [5, 42].

RUSLE eşitliğinde yağış erozif faktörü, yağışın 30 dakikadaki maksimum yoğunluğunda olan yağışların (I30) toplamının yıllık yağış miktarının toplamına oranı olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla birçok indeks geliştirilmiştir. Çalışma alanına ait R faktörünü hesaplamak için 850 metrede yer alan Çal Meteoroloji İstasyonu'na ait 25 yıllık (1987-2012) iklim verileri kullanılmıştır. Çalışma alanının 2446 metreye varan yükseltisi nedeniyle yağışın dağılışı farklılık göstermektedir. Yükselti farkının 1900 metre olduğu inceleme alanında yükselti farkının yağışa etkisini saptayabilmek amacıyla öncelikle Schreiber tarafından önerilen her 100 metrede 54 mm yağışın artması ilkesi üzerine kurulmuş olan formül;

$$Ph = Po + 4,5 x h \quad (2)$$

şeklinde oluşturulmuştur.

Formülde:

- Ph: Yükseltisi bilinen yağışı bulunacak bir noktanın yağışı (mm),
- Po: Yağış değeri ve yükseltisi bilinen karşılaştırma istasyonun yağış tutarı (mm)
- h: Ph ile Po arasındaki yükselti farkını (hektometre) ifade etmektedir.



Formülde yağış bulunacak nokta, yağış ve yükseltisi bilinen istasyondan alçakta olduğundan toplama yerine çıkarma işlemi yapılmıştır.

Sonrasında yağış erozif değerini saptamak için öncelikle Modified Fournier Index (MFI) [44-48] hesaplanmıştır. Bu eşitlikte yağışın aylık ve yıllık ortalamaları

$$MFI: p_i^2 / p_j \quad (3)$$

formülü ile hesaba katılır. Burada;

Pi: Aylık yağış (mm)

Pj: Yıllık yağışların ortalaması (mm) dir.

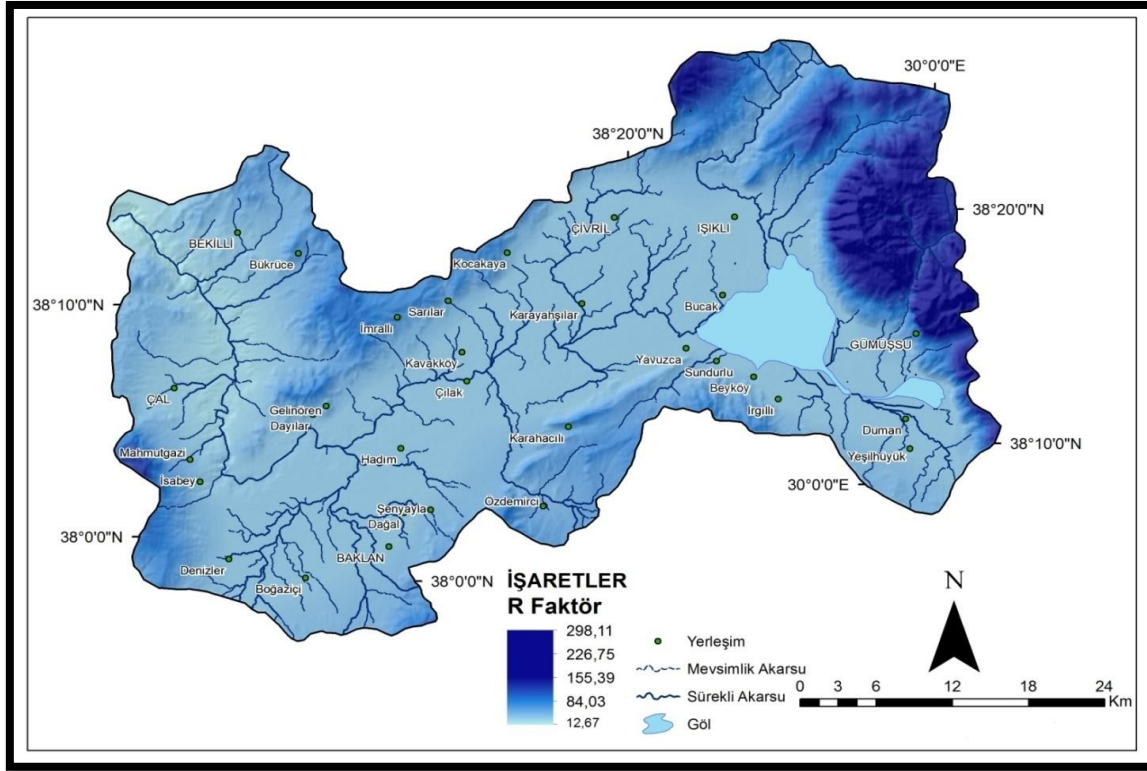
Sonrasında yağış erozif faktörünü hesaplamak için şu formül kullanılmıştır [7]:

$$Yağış\ Erozif\ Faktörü: (4.17\ MFI) - 152 \quad (4)$$

Çalışmada Çal rasat istasyonu yağış değerleri kullanılarak oluşturulan R faktörü değerleri tabloda gösterilmektedir (Çizelge 1). Bu değerlere göre ise yağış erozif haritası oluşturulmuştur (Şekil 7).

**Çizelge 1.** Işıklı Gölü Havzası'na ait R faktörü değerleri

MFI	Yükselti	R Faktörü
41.57	430	21,35
39.49	530	12,67
39,96	630	14,63
41,74	730	22,05
44,28	830	32,64
47.30	930	45,24
50,64	1030	59,18
54,21	1130	74,07
57,95	1230	89,66
61,81	1330	105,77
65,77	1430	122,28
69,81	1530	139,11
73,91	1630	156,20
78,06	1730	173,49
82,24	1830	190,96
86,47	1930	208,56
90,72	2030	226,29
94,99	2130	244,13
99,29	2230	262,05
103,61	2330	280,04
107,94	2430	298,11



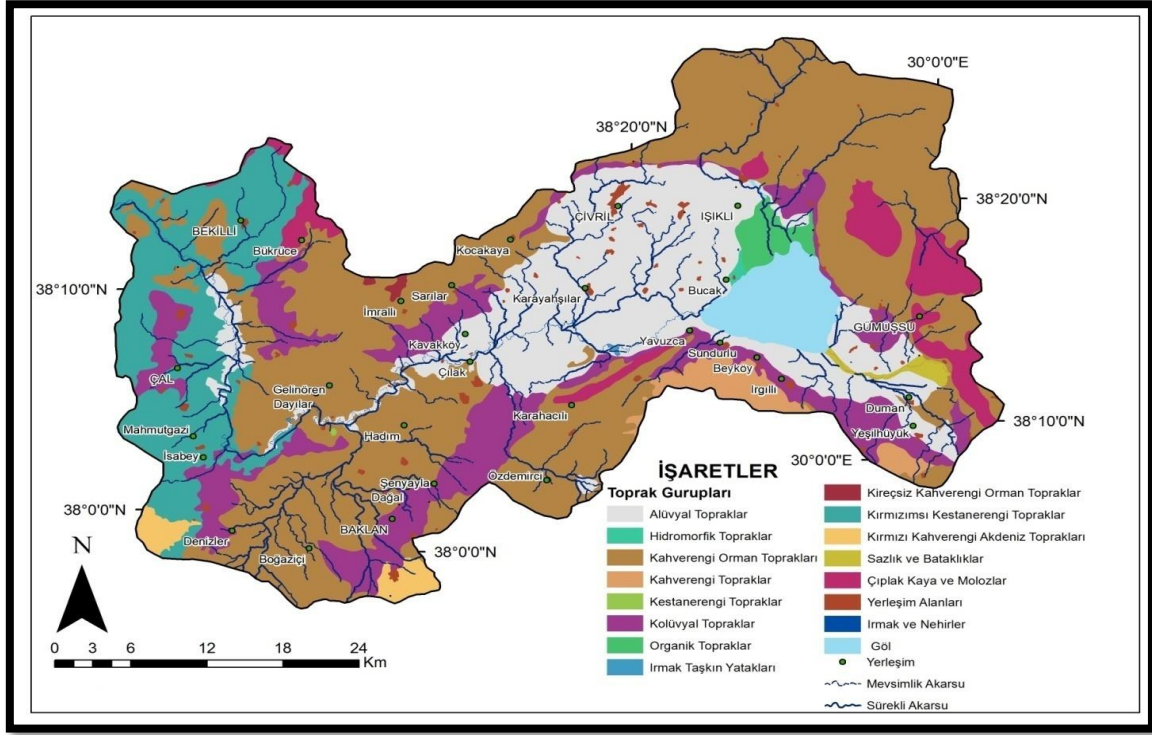
Şekil 7: Işıklı Gölü Havzası yağış erozif (R faktörü) haritası

#### 4.2. Toprak Direnç (K) Faktörü

K faktörü araziye oluşturan toprak sınıflarının fiziksel özelliklerine bağlı olarak ayrışma ve taşınmaya gösterdiği direnç özelliklerini ifade eder [49]. İnceleme alanında K faktörü etkisini belirlemek için Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının oluşturmuş olduğu toprak haritasından yararlanılarak Işıklı Gölü havzası toprak haritası oluşturulmuştur (Şekil 8). Oluşturulan toprak haritasında bulunan toprak türlerinin kapladığı alanlar ile bu toprak tiplerinin erozyona duyarlılıkları ise Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının 1997 yılı yayınına göre oluşturulan 'Büyük Toprak Gruplarına Göre Uniform Parsellerden Elde Edilen K Değerleri-TURTEM' [50] ile İrvem ve Tülücü [51] çizelgesine göre tespit edilmiştir. Buna göre büyük toprak grupları aşınım değerleri, kapladıkları alan ve yüzdeleri çizelge şeklinde gösterilmiştir (Çizelge 2). Çizelgedeki değerlerden yararlanılarak inceleme alanına ait K değerleri haritası oluşturulmuştur (Şekil 9). Böylece inceleme alanında aşınım değerlerine göre risk alanları tespit edilmiştir. Çizelge 2'ye göre en yüksek aşınım değerine sahip olan toprak tipleri sırasıyla; kestane rengi topraklar, kırmızı kestane rengi topraklar, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kahverengi orman toprakları, kolüvyal topraklar, kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları ve hidromorfik topraklardır. Yüksek aşınım değerine sahip toprak tiplerinden biri olan kahverengi orman toprakları (aşınım değeri: 0.20) havzada geniş bir alan kaplamaktadır (% 42.99). Bu toprakların görüldüğü alanlarda eğimin yüksek olduğu kesimlerde erozyon riski artmaktadır. Bu nedenle havzanın özellikle doğu ve kuzeydoğu kesiminde bulunan dağlık alanların orman örtüsüne sahip olmayan kesimleri erozyon açısından daha fazla riske sahip durumdadır. Yine erozyon açısından yüksek bir risk taşıyan kırmızımsı kestanerengi topraklar (aşınım değeri: 0.22) havzanın batı ve kuzeybatı kesimlerde bulunmakta ve havzada % 10.81 lik bir alan kaplamaktadır.

Bu kesimlerde özellikle Büyük Çökelez Dağı'nın arızalı alanlarında yüksek erozyon riski bulunmaktadır. Erozyon açısından en düşük riske sahip olan organik topraklar Işıklı Gölü ve Gököl çevresinde bulunmaktadır. Erozyon açısından düşük risk grubunda bulunan alüvyal topraklar ise Büyük Menderes nehri boyunca görülmektedir. Havzada dikkat çeken bir özellik olarak; erozyon riski açısından yüksek bir değer taşıyan kahverengi orman toprakları inceleme alanının güneybatısında geniş bir alan kaplamasına

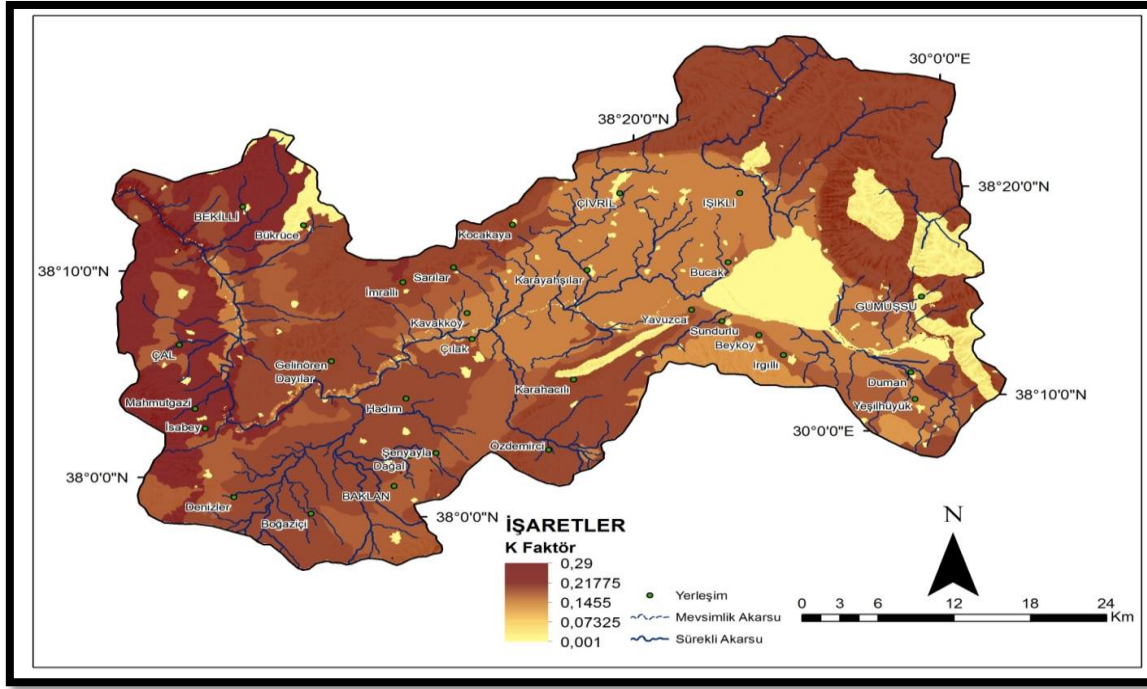
rağmen bu alanlarda yüksek erozyon riski bulunmamaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasında bu alanların eğim açısından düşük değerlere sahip olması büyük oranda etkilidir.



Şekil 8: Işıklı Gölü Havzası toprak haritası

Çizelge 2: Işıklı Gölü Havzası'nda bulunan büyük toprak gruplarının K faktör değerleri, kapladıkları alan ve yüzde oranları [50, 51]

Büyük toprak grupları	Aşınım değerleri	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)
Kestane renkli topraklar	0.22	6	0.30
Kırmızımsı kestane renkli topraklar	0.22	210	10.81
Kahverengi topraklar	0.13	38	1.95
Kolüvyal topraklar	0.18	254	13.07
Kırmızı-kahverengi akdeniz toprakları	0.18	22	1.13
Kireçsiz kahverengi orman t.	0.29	3	0.15
Kahverengi orman toprakları	0.20	835	42.99
Alüvyal topraklar	0.15	380	19.56
Hidromorfik topraklar	0.18	2	0.10
Organik topraklar	0.15	20	1.02
Yerleşim birimleri	0.001	17	0.87
Akarsu taşkın yatağı	0.001	1	0.05
Çıplak kayalık	0.01	86	4.42
Su yüzeyleri	0.001	62	3.19
Sazlık bataklık	0.001	8	0.41
<b>Toplam</b>		<b>1942</b>	<b>100</b>



Şekil 9: Işıklı Gölü Havzası K faktör haritası

### 4.3. Yamaç Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Derecesi (S) Faktörü

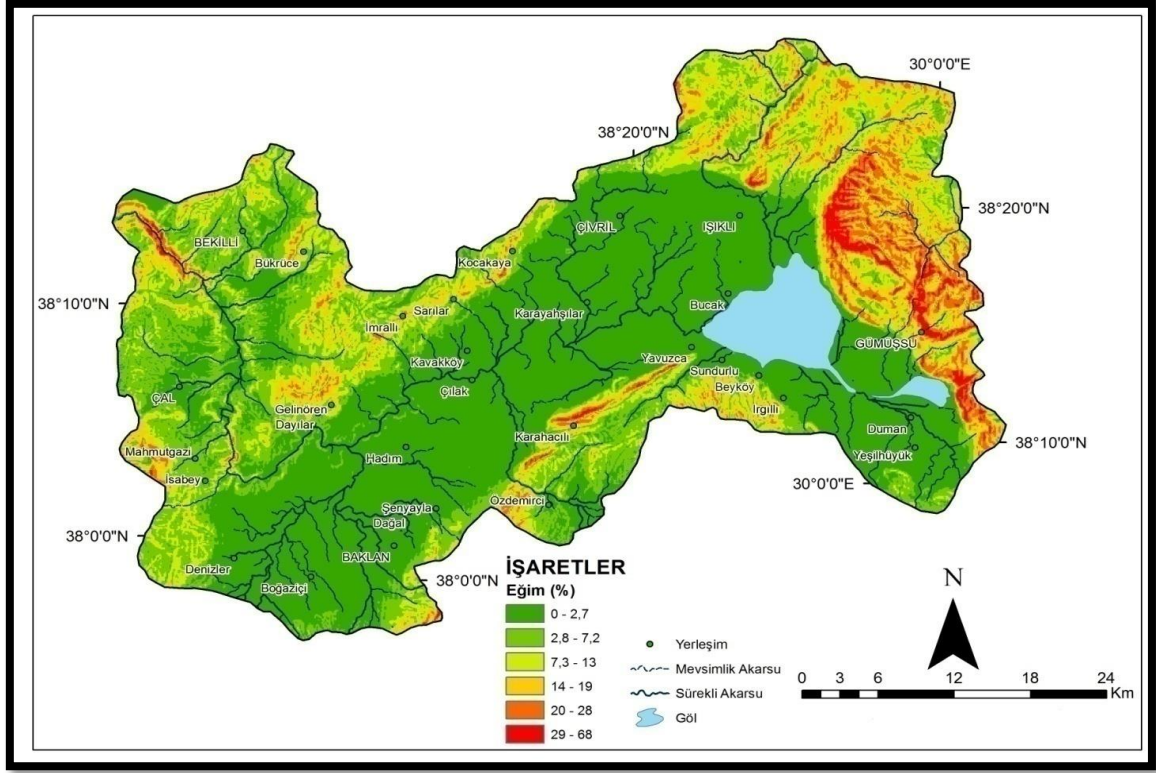
Eğim, erozyonu etkileyen önemli jeomorfolojik faktörlerden biridir. Arazinin eğimi suyun akış yönünü ve hızını belirlediğinden topografyanın eğim derecesi, eğim uzunluğu ve yükselti özelliği toprak aşınım ve taşınım miktarı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. RUSLE yönteminde Yamaç Uzunluk ve Eğim Faktörünü ifade eden L ve S faktörleri CBS de LS faktörü olarak adlandırılır. LS faktörü, 22.13 m uzunluğunda ve % 9 eğimli bir arazideki toprak kaybı oranını temsil etmektedir. Bu özelliklere sahip bir arazideki LS değeri 1 'dir. Eğim uzunluğu, yüzeysel akışın olduğu noktadan itibaren, eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı veya yüzeysel akışın bir kanala veya çevirme terası kanalı olarak inşa edilmiş bir kanala kadar olan mesafesidir [50]. LS faktörünü belirten çeşitli formüller bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan formül şu şekildedir [8, 35, 52-54].

$$LS = Pow((flowacc) \times resolution / 22.1, 0.6) \times Pow(Sin((slope) \times 0.01745) / 0.09, 1.3) \quad (5)$$

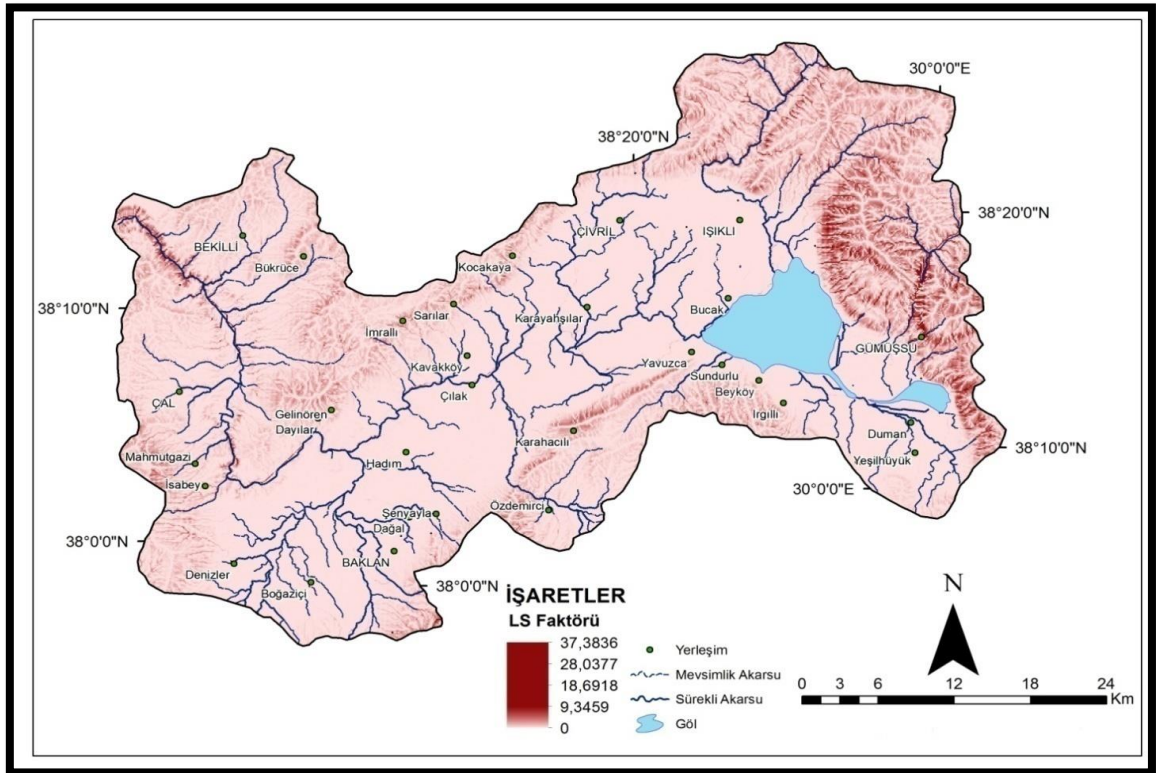
Çalışma alanının LS faktörü haritasını oluşturabilmek için öncelikle çalışma alanına ait DEM verilerinden faydalanarak eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 10). Bu eğim haritasından yukarıdaki formül kullanılarak CBS ortamında LS faktörü haritası elde edilmiştir (Şekil 11).

Işıklı Gölü havzası eğim haritasına göre en yüksek eğime sahip olan alanlar havzanın doğu kesiminde bulunan Akdağ kütlesi ile havzayı güneyden ve batıdan çevreleyen dağlık alanlardır. En düşük eğim değerleri ise daha çok Büyük Menderes ve kolları boyunca görülmektedir. Bu durumda erozyon açısından riskli alanların diğer faktörler de gözetilerek şiddetli eğimin görüldüğü yerler olarak tespit edilmesi mümkündür.

LS Faktörü haritası incelendiğinde; hem eğim hem de yamaç uzunluğuna bağlı olarak etki gösteren LS faktörünün yüksek duyarlı kesimlerinin daha çok vadiler boyunca bulunduğu belirlenmiştir. Bu alanlarda akarsuların çevresine göre nispeten daha derin ve eğimli yamaçlar arasında aktığı görülmektedir. LS faktörünün hem eğim hem de yamaç uzunluğunun etkisiyle ortaya çıkması bu kesimlerin yüksek duyarlılığa sahip olmasına neden olmuştur.



Şekil 10: Işıklı Gölü Havzası eğim haritası



Şekil 11: Işıklı Gölü Havzası LS faktörü haritası

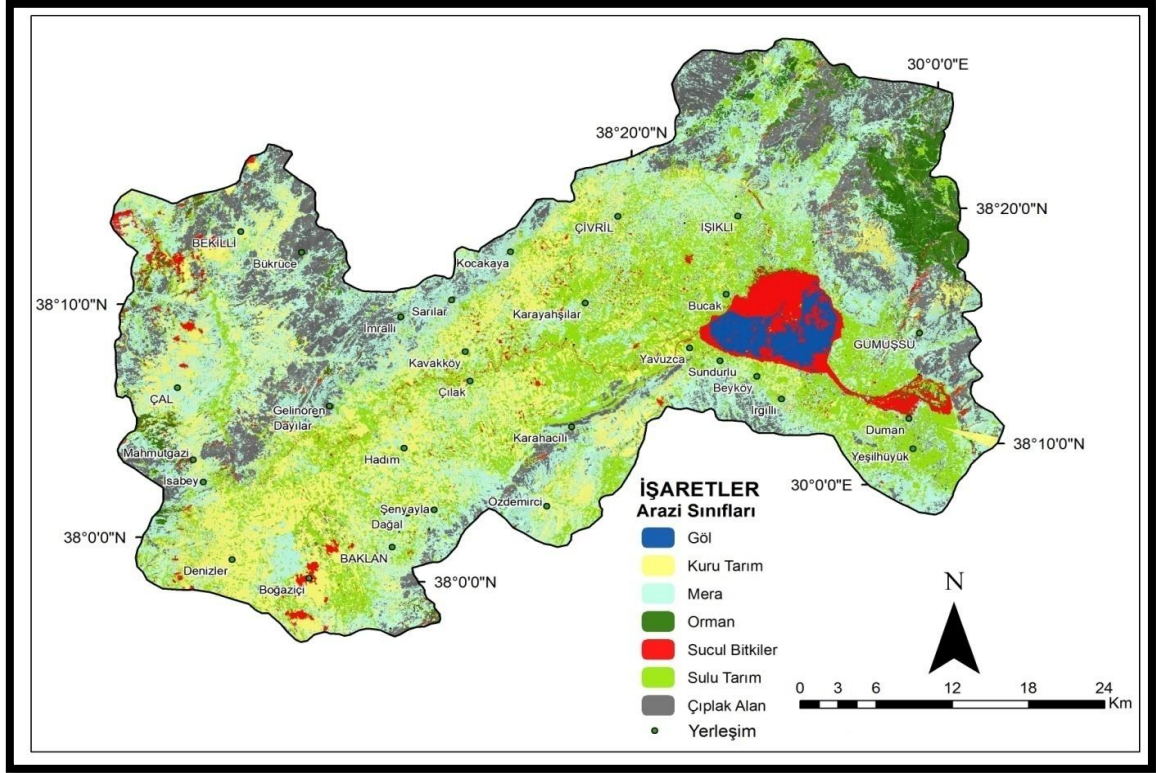
#### 4.4. Arazi Örtüsü Faktörü (C)

Arazi örtüsü erozyonla toprak aşınımını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Arazinin bitki örtüsü bakımından zenginliği erozyonu önlemede büyük önem taşımaktadır. Özellikle orman örtüsünün yoğun olarak görüldüğü alanlarda ağaçların kökleriyle toprağı tutması toprak aşınımı ve taşınımını büyük ölçüde engellemektedir. İnceleme alanında arazi örtüsü faktörünü tespit edebilmek için Landsat ETM+ 2013 yılı Haziran ayı uydu görüntüsü kullanılarak kontrollü sınıflandırma yapılmış ve arazi kullanım haritası oluşturulmuştur (Şekil 12). Arazi kullanım haritasına göre arazi kullanım sınıfları kuru tarım alanı, sulu tarım alanı, orman, mera, sucül bitkiler, yerleşim yeri, çıplak alan ve su yüzeyi olarak sınıflandırılmıştır. Bu arazi kullanım haritasına göre havzada yer kaplayan birimler tablo şeklinde gösterilmiştir (Çizelge 3). Yapılan arazi kullanım haritasından yararlanılarak Işıklı Gölü havzasına ait C faktörü haritası oluşturulmuştur (Şekil 13).

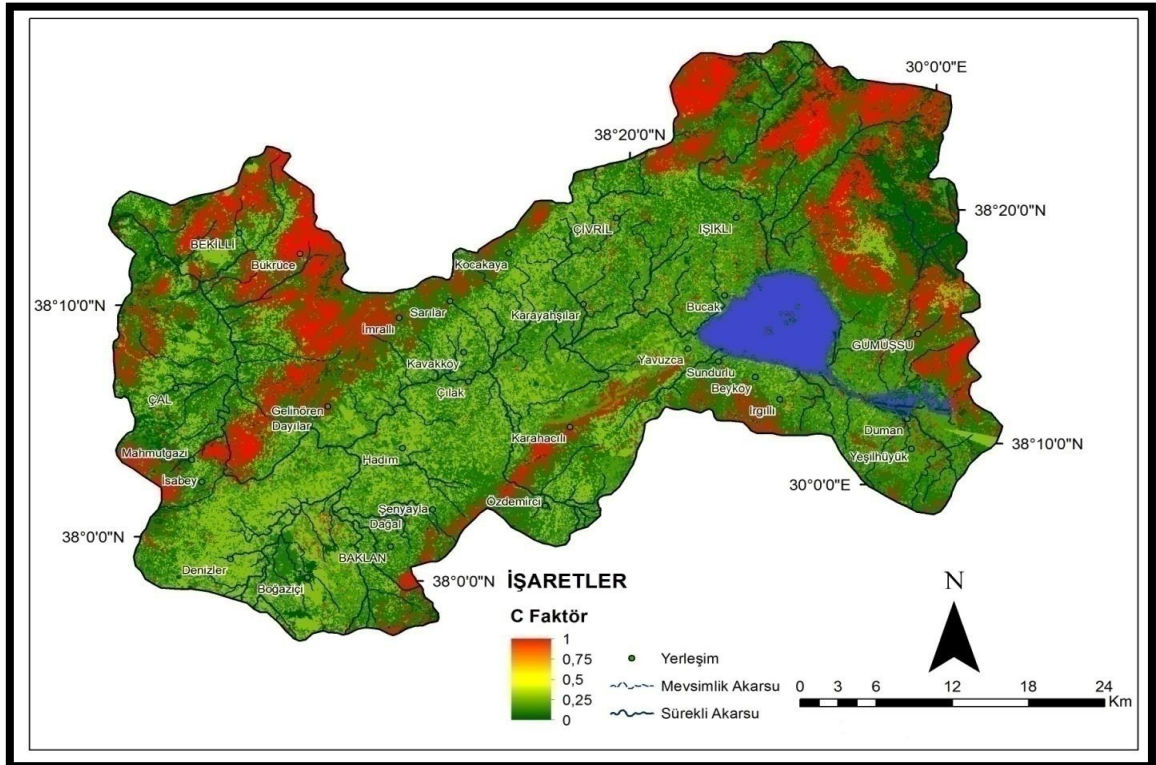
Oluşturulan arazi kullanım haritasına göre orman alanlarının havzanın kuzeydoğu kesiminde yoğunluk kazandığı görülmektedir. Erozyon açısından en yüksek riske sahip çıplak alanlar daha çok havzayı çevreleyen dağlık kesimlerde görülmektedir. Ancak dikkat çeken bir diğer özellik ise çıplak alanların havzanın kuzeybatısında yoğun olarak bulunmasıdır. Erozyon açısından yüksek risk değerine sahip olan kuru ve sulu tarım alanlarında yüksek erozyon riskinden söz edilemez. Bunda eğimin düşük olması ve engebenin az olması başlıca etkenlerdir. Ancak havzanın arızalı bir rölüfe sahip batı kesimlerinde bulunan kuru tarım alanlarında yüksek erozyon riskinden söz edilebilir. Havzanın % 34.55'lik bir kısmını kaplayan mera alanları erozyon açısından yüksek duyarlılığa sahip olmadığından bu kesimlerde yüksek erozyon riski bulunmamaktadır. Bu nedenle mera alanlarında bilinçsiz otlatma faaliyetlerinin engellenmesi erozyonu önlemek açısından faydalı olacaktır.

**Çizelge 3:** Işıklı Gölü Havzası arazi kullanım sınıfları kapladığı alan ve RUSLE duyarlılık değerleri [55]

Arazi kullanımı	Kapladığı alan oran %	Kapladığı alan km <sup>2</sup>	RUSLE duyarlılık değeri
Orman	4.17	81	0.01
Mera	34.55	671	0.09
Kuru tarım alanı	18.53	360	0.28
Sulu tarım alanı	21.93	426	0.18
Sucül bitkiler(sazlık)	4.01	78	0.001
Çıplak alan	15.34	298	1
Su yüzeyi	1.44	28	0
Toplam	100	1942	



Şekil 12: Işıklı Gölü Havzası arazi kullanım haritası (2013 yılı)



Şekil 13: Işıklı Gölü Havzası C faktörü haritası

#### 4.5. Erozyonu Engelleme Çalışmaları (P) Faktörü

Bir arazide erozyonu önlemek için çeşitli ve etkili tedbirler alınabilmektedir. Zemin örtüsü erozyon açısından büyük önem taşıdığından mevcut bitki örtüsünü korumak ve ağaçlandırma çalışmaları

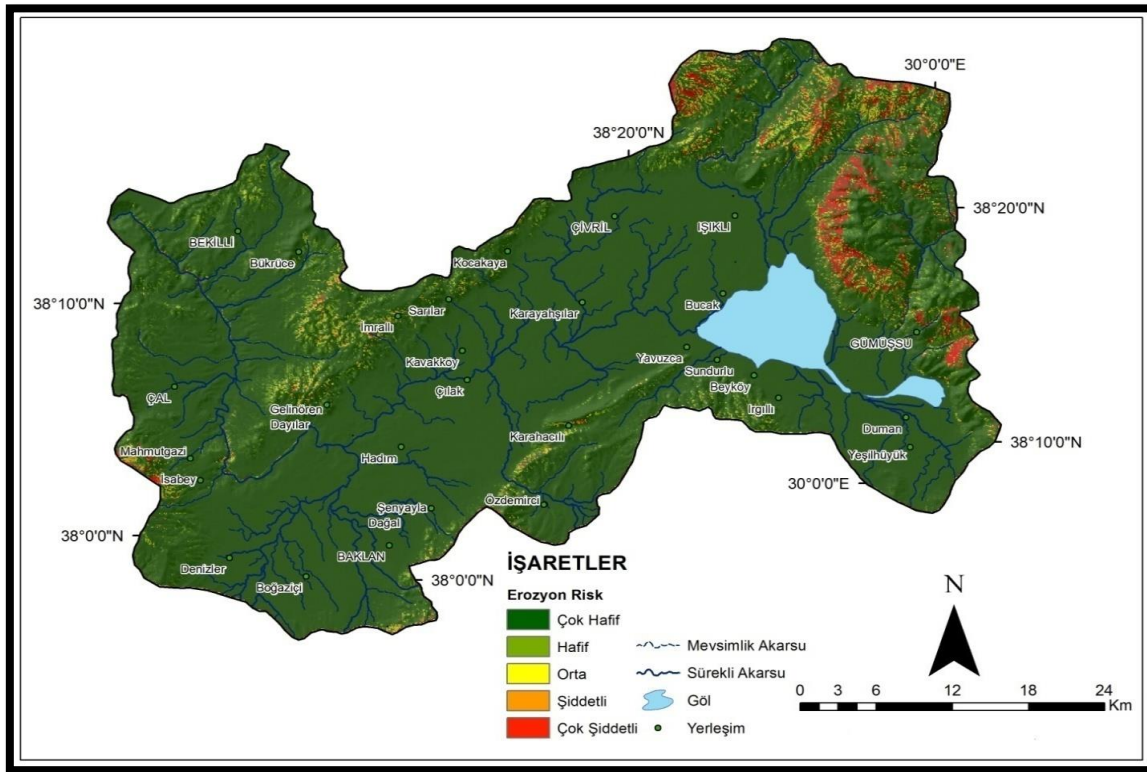
alınabilecek başlıca tedbirlerdendir. Hayvan otlatma ve mera kullanımı konusunda halkın bilinçlendirilmesi, eğimli arazilere taraçalar yapmak, tarlaları eğim doğrultusunda sürmemek, ürünleri nöbetleşe ekmek, anız örtüsünü yakmamak gibi diğer önlemler de alınabilir.

P faktörü, arazide erozyon önleyici tedbirler uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki toprak kayıpları oranlanarak hesaplanır. P değerleri 0 ile 1 arasında değişir. En yüksek değer arazi örtüsü bulunmayan çorak arazilerde bulunur [56]. Bu faktör tespit edilemediği durumlarda 1 olarak hesaplanır [28, 3]. Çivril ve Baklan amenajman planlarında [39,40] erozyon önleyici tedbirler ortaya konmasına rağmen ilgili orman işletme şefliklerinden edinilen bilgilere göre bu tedbirler henüz faaliyete geçirilememiştir. Nitekim arazi incelemelerinde de erozyon önleyici herhangi bir tedbire rastlanmamıştır. Bu nedenle P faktörü 1 olarak alınmıştır.

## 5. BULGULAR

İnceleme sonucunda havzadan taşınan sediment miktarının belirlenmesinde Bergsma [57] sınıflandırma sisteminden yararlanılarak duyarlılık sınıflandırması yapılmıştır.

Çalışma alanında iki çeşit bulgu ortaya çıkartılmıştır. Öncelikle erozyonla taşınan sediment miktarı tespit edilmiş ve aynı zamanda beş duyarlılık düzeyi saptanarak bir erozyon risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 14). Buna göre erozyonla taşınan sediment miktarı yıllık 6 + ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen erozyon risk haritasına göre saptanan duyarlılık düzeyleri; çok hafif, hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli olarak belirlenmiştir. Oluşturulan duyarlılık sınıflarının gösterdiği taşınan sediment miktarları çizelgede verilmiştir (Çizelge 4) ve grafik halinde gösterilmiştir (Şekil 15).

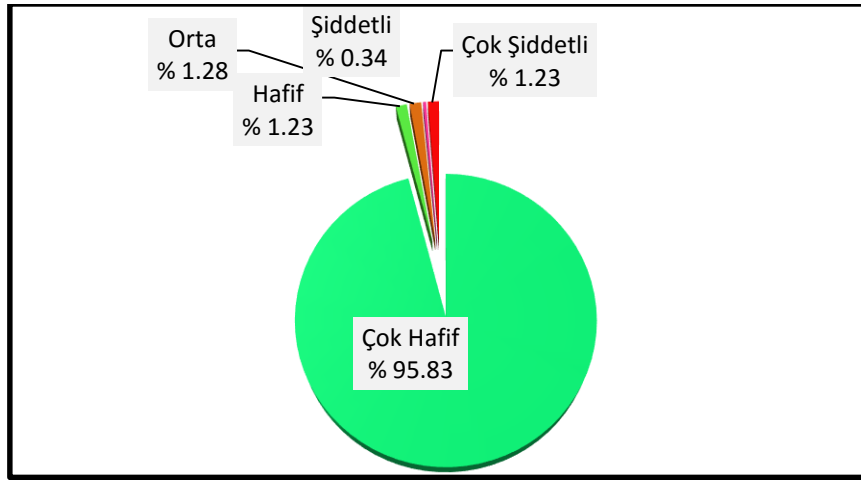


Şekil 14: Işıklı Gölü Havzası erozyon risk haritası



**Çizelge 4:** Işıklı Gölü Havzası erozyon duyarlılık sınıfları, kapladıkları alan ve yüzde oranları

Duyarlılık sınıfı	Duyarlılık değeri ton/ha/yıl	Kapladığı alan (km <sup>2</sup> )	Kapladığı alan % oranı
Çok hafif	0 – 1.0	1933.22	95.83
Hafif	1.1-2.0	25.97	1.23
Orta	2.1-4.0	26.07	1.28
Şiddetli	4.1-6.0	7.07	0.34
Çok şiddetli	6.1-268	25.04	1.23
Toplam		2017	100

**Şekil 15:** Işıklı Gölü Havzası'ndaki erozyon duyarlılık sınıflarının oransal dağılışı

## 6. SONUÇLAR

Işıklı Gölü havzası erozyon riski açısından değerlendirildiğinde; uygulanan RUSLE yöntemi sonucunda oluşturulan erozyon risk analizi haritasına göre; erozyon riskinin çok hafif duyarlılığa sahip olduğu alanların % 95.83 oranında olduğu görülmektedir. Bu alanlarda yıllık toprak kaybı; 0-1.0 ton/ha/yıl olmaktadır. Bu durum ise Türkiye'nin en önemli sulak alanlarından biri olan Işıklı Gölü havzası için nispeten sevindirici bir durumdur.

En yüksek risk, havzanın doğusunda bulunan ve oldukça engebeli bir yapıya sahip olan Akdağ kütlesinin bulunduğu kesim başta olmak üzere, havzanın kuzey, kuzeybatı, batı, güneybatı ve güneyinde bulunan diğer dağlık ve engebeli alanlarda bulunmaktadır. Bu kesimler % 1.23 ile % 0.34 lük bir alan kaplamaktadır ve toprak kaybı en fazla 268 ton/ha/yıl olarak görülmektedir.

Işıklı Gölü Havzası için yapılan erozyon risk analizi sonuçları ile başka alanlarda yapılan erozyon risk çalışmalarından bazıları karşılaştırılabilir. Erozyon risk analizi sonuçları; Suhut için 0-25 ton/ha/yıl [15], Sincanlı için 0-14 ton/ha/yıl [58], Çobanlar Havzası için 0-195 ton/ha/yıl [9], Bolvadin/Değirmendere Havzası için 0-75 ton/ha/yıl [14], bunun dışında Antakya ve çevresi 0-26 ton/ha/yıl [7], Arsuz Çayı Havzası'nda 0-30, 63 ton/ha/yıl [6], Bursa- Mustafa Kemalpaşa Havzası 0-20 ton/ha/yıl [55], Kızılkeçili Deresi Havzası için, 44,16 ton/ha/yıl [5], Balıkesir- Zeytinli Çayı Havzası'nda 486,91 ton/ha/yıl [12] olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmalar ile karşılaştırıldığında yıllık toprak kaybı açısından en yakın oran Çobanlar Havzası'na aittir (Çizelge 5) [9].

Çobanlar Havzası erozyon risk değerlendirme sonucuna göre:

**Çizelge 5:** Çobanlar Havzası erozyon duyarlılık sınıfları, kapladıkları alan ve yüzde oranları [9]

Duyarlılık sınıfı	Duyarlılık değeri ton/ha/yıl	Kapladığı alan (ha)	Kapladığı alan % oranı
Çok hafif	0 – 20	47.777	60
Hafif	20-50	13.129	16
Orta	50-100	8.982	11
Şiddetli	100-150	4.046	5
Çok şiddetli	150-195	6.188	8
Toplam		80.123	100

Bu iki çalışmada ortaya çıkan özellikle 'çok şiddetli' sınıfı için birbirine yakın sonuçlar; Çobanlar Havzası ile Işıklı Gölü Havzası arasındaki jeomorfolojik özellikler, arazi kullanım durumu, eğim durumu ve R faktörü değerlerinin hemen hemen benzer özellikler göstermesi ile ilgili olduğu düşünülebilir. Nitekim iki çalışma arasındaki mesafe de çok uzak değildir (163 km).

Büyük Menderes nehri vadisi boyunca yer alan alüvyal ve engebeli olmayan düz arazilerde ise risk oldukça düşüktür. Yapılan arazi çalışmalarında erozyon açısından yüksek risk grubunda bulunan alanlarda gerçekten de hızlandırılmış erozyonun şiddetli bir şekilde görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumun daha çok engebeli ve çıplak alanlarda olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumda Işıklı Gölü havzasında uygulanan CBS tabanlı RUSLE yöntemiyle oluşturulan erozyon risk haritasının doğru olduğu ve yöntemin erozyon riski taşıyan alanların tespiti açısından tercih edilebilir olduğu söylenebilir. Işıklı Gölü havzasında özellikle erozyon riskinin yüksek olduğu alanlarda bir an önce erozyon önleyici çalışmaların yapılması, her yıl tonlarca verimli toprağın aşınması ve taşınmasının önlenmesi gerekmektedir. Öncelik olarak ağaçlandırma çalışmalarına önem verilmesi ve bunun yanında halkın bilinçlendirilerek çayır ve mera alanlarında aşırı otlatmanın engellenmesi gerekmektedir.

## 7. KATKI BELİRTME

Bu çalışma AKU BAP koordinatörlüğünce yürütülen 13.SOS.10 no'lu proje ile desteklenmiştir.

## 8. KAYNAKLAR

1. Çanga, M. (1995). Toprak ve Su Koruma, Ankara Üniv. Ziraat Fak., Yayın No. 1386, Ders Kitabı. 400, Ankara
2. İşler, N. (2013). Ders Notları, Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Hatay
3. Tağıl, Ş. (2007). Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degradasyonu Risk Değerlendirmesi, Ekoloji, 17, 65, 11-20
4. Cebel, H., Akgül, S. (2011). Toprak Oluşumu ve Koruyucu Önlemler, Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, S. 134, ss. 57-61
5. Cürebal, İ., Ekinci, D. (2006). Kızılköçü Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE Yöntemiyle Erozyon Analizi, Türk Coğrafya Dergisi, 47, 115–130.

6. Değerliyurt, M. (2013). Arsuz Çayı Havzasının Erozyon Duyarlılık Analizi, *International Journal of Social Science*, Do i number: <http://dx.doi.org/10.9761/JASSS1630> Volume 6 Issue 7, p. 321-344.
7. Değerliyurt, M. (2013). Antakya Şehri ve Yakın Çevresinde Meydana Gelen Erozyonun Coğrafi Dağılışı ve Analizi, *Turkish Studies- International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, Volume 8/8 , p. 1745-1764, Ankara, Turkey
8. Ekinci, D. (2007). Estimating of soilerosion in lake durusu basin using revised USLE 3d with GIS, Çantay Kitabevi, İstanbul
9. Erkal, T. (2012). Çobanlar Havzası'nda (Afyonkarahisar) Toprak Erozyonun Değerlendirmesi. *The Journal of Academic Social Science Studies* 5 (8): 543-562.
10. Karabulut, M., Küçükönder, M. (2008). Kahramanmaraş Ovası ve Çevresinde CBS Kullanılarak Erozyon Alanlarının Tespiti. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 11 (2): 14-22.
11. Jones, D.,S., Kowalski, D., G., Shaw, R., B. (1996). Calculating revised universal soil loss equation (rusle) estimates on department of defense lands: a review of rusle factors and u.s. army land condition-trend analysis (lcta) data gaps, Center for Ecological Management of Military Lands Department of Forest Science, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523
12. Özşahin, E. (2011). Zeytinli Çayı Havzasının (Balıkesir) Erozyon Analizi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (1): 42-56.
13. Tağıl, Ş. (2009). Çakırdere ve Yahu Dere Havzalarında (Balıkesir) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkileyen Faktörler. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12 (22): 23-39.
14. Yıldırım, Ü. (2011). Assessment of soil erosion at the Değirmen creek watershed area, Afyonkarahisar, Turkey. In: Ayvaz M (ed). (2011). *Proceedings of the International Symposium on Environmental Protectionand Planning: Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) Applications (ISEPP)*, pp.: 73-80, 28-29 June, Izmir.
15. Yıldırım, Ü., Erkal, T. (2008). Kumalar Dağı (Afyonkarahisar) Doğu ve Batısındaki Sahalarda Toprak Erozyonunun Değerlendirilmesi. TÜBİTAK Proje No: TOVAG 107 O 648, Afyonkarahisar.
16. Yıldırım, Ü., Erkal, T. (2011). Prediction of soilerosion risk using a gıs-based USLE model: a case study fromthe şuhut watershed area, Afyonkarahisar, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20 (4): 953-961.
17. Ceylan, M.A. (1998). Baklan- Çivril Havzası ve Yakın Çevresinin Hidrojeomorfolojik Etüdü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, İstanbul.
18. Kadioğlu, Y. (2008). Çal'da Bağcılığın Coğrafi Analizi, *Doğu Coğrafya Dergisi*, Sayı: 20, S.141-161, Konya.
19. Kadioğlu, Y. (2009). Çivril'de Şeker Pancarı Tarımının Coğrafi Özellikleri, *Doğu Coğrafya Dergisi*, Sayı: 22, S.107-124, Erzurum.
20. Anonim (2014). DSİ 2014 Sulama Planı Uygulama Raporu, Irgıllı Sulama Planı Uygulaması, Denizli
21. Aksu, N. ve Uçan, K. (2012) Hurman Çayı Havzasında Ölçülen ve Ampirik Yöntemlerle Hesaplanan Sediment Verimlerinin Karşılaştırılması, *KSU Doğa Bil. Dergisi*, 15(3), KSU J. Nat. Sci., 5(3), Trabzon
22. Goksu, E., Uygun, İ., Alışık, A. Barlas, S. (1979). Türkiye Akarsularında Sediment Verimi ve Sediment Taşıma Miktarları ile Havza Parametreleri Arasındaki İlişkiler, I.Ulusal Hidroloji Kongresi, 12-14 Kasım, İTÜ, İstanbul.
23. Sevinc, A.N. (1993). Havza Sediment Verimi. KHGM., Ankara Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
24. Wischmeier, W.H. ve Smith, D.D. 1978, *Predicting rainfall erosion losses*, Agricultural Handbook, US Department of Agriculture, Washington, DC, USA
25. Morgan,R., Morgan D., Finney, H. (1984). A Predictive model for the assesment of soil erosion risk, *J.Agricultural Engineering Res.*, 30.

26. Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union, 39-2, 285-291
27. Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1965). Predicting rainfall-erosion losses from crop land east of the rocky mountains: guide for selection practices for soil and water conservation. Agricultural Handbook 282, US Dept. Of Agric. Sci and Edu. Admin., Agric. Res., USA
28. Renard, K.g., Foster, G.R., Weesies, G.A. ve Porter, J.P. (1991). Revised universal soil loss equation (RUSLE), Journal Soil Water Conservation 46: 30-33.
29. Renard, K.G., and Ferreira, V.A. (1993). RUSLE Model description and data base sensitivity. J., Environ, Qual, 22-3, 458-466.
30. Renard, K.G., G.R. Foster, D.C., Yoder, ve Mc Cool, D.K. (1994). RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future, J. Soil Water Conserv., 49-3, 213-220.
31. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A., Weesies, D.K., McCool, ve D.C. Yoder (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. U.S. Department of Agriculture Handbook 703, USA.
32. Sivertun, A. ve Prange, L. (2003). Non-Point source critical area analysis in the gissel watershed using GIS'', Environmental Modeling and Software 18:887-898.
33. Knijft, V.J.M., Jones, R.J.A., ve Montanarella, L. (1999). Soil erosion assessment in Italy, European Soil Bureau.
34. Lufafaa, A., Tenywaa, M.M., Isabiryeb, M., Majaliwaa, M.J.G., ve Woomerc P.L. (2003). Prediction of soil erosion in a lake Victoria basin catchment using a GIS- based universal soil loss model, Agricultural Systems, 76, 883-894.
35. Millward, A.A., Mersey, J.E. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion in a mountainous tropical watershed Catena., 38, 109-129.
36. Mitasova, H., J., Hofierka, M., Zlocha, Iverson, L.R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS., Int. Journal of Geographical Information Science, 10-5, 629-641.
37. Mitasova, H., Mitas, L., Brown, W. M., Johnston, D. (1998). Multidimensional soil erosion deposition modeling and visualization using GIS. Final Report for USA Cerl. University of Illinois Urbana- Champaign, IL.
38. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Entegre İdare ve Kontrol Sistemi Daire Başkanlığı, 2015.
39. Çivril Fonksiyonel Orman Amenajman Planı, 2013-2023, Denizli Orman Bölge Müdürlüğü, Çal Orman İşletme Müdürlüğü, Çivril Orman İşletme Şefliği, Denizli
40. Baklan Fonksiyonel Orman Amenajman Planı, 2013-2023, Denizli Orman Bölge Müdürlüğü, Çal Orman İşletme Müdürlüğü, Baklan Orman İşletme Şefliği, Denizli
41. T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim verileri (2015).
42. Chen, T., Niu, Rui, Q., LI Ping, X., Zang, L., P., DU, Bo. (2010). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS and remote sensing: a case study in miyun watershed, north China, Environ Earth Sci, 63:533-541.
43. Beskow S., Mello, Carlos R., Norton, Lloyd D., Curi N, Viola, M.R., Avanzi J.C. (2009). Soil erosion prediction in the grande river basin, brasil using distributed modelling, Catena. 79, 49-59, USA.
44. Arnoldous, H., M., J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, FAO Soils Bulletin, 34, 39-51.
45. Arnoldous, H., M., J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the USLE, In: de boodt M., Gabriels, D., (Eds.), assessment of erosion. Wiley, Chichester, England, pp. 127-132.
46. Williams, R.G., Sheridan, J.M. (1991). Effect of rainfall measurement time and depth resolution on  $e_1$  calculation, Transaction of the American Society of Agriculture Engineering ASAE, 34-2, 402-406.
47. Bayramin, İ., Erpul, G., Erdoğan, H.E. (2006). Use of corine methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Bepazarı, Ankara, Türk J Sgric For, 30, 81-100

48. Diyatato, N. (2004). Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime, *Hydrology and Earth System Sciences*, 8-1, 103-107.
49. Balcı, N. (1996). *Toprak Koruması*. Üniversite Yayın No. 3947, Orman Fakültesi Yayın No. 439, İstanbul.
50. Özden, Ş., Özden, M. (1997). *Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli*, TURTEM, Başbakanlık Türkiye Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
51. İrvem, A., Tülücü, K. (2004). Coğrafi Bilgi Sistemi ile Toprak Kaybı ve Sediment Verimi Tahmin Modelinin (EST) Oluşturulması ve Seyhan- Körkün Alt Havzasına Uygulanması, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, No:13, Adana.
52. Desmet, P., J., J., Govers G. (1997). Comment on 'modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS', *International Journal of Geographical Information Science*, 11:6, 603-610.
53. Shiferaw, A. (2011). Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the borena woreda of south wollo highlands, Ethiopia, *Journal of Sustainable Development in Africa*, Volume 13, No.3.
54. Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, v. 29, No. 1, pp.1.
55. Özsoy, G. (2007). *Uzaktan Algılama (UA) Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Uludağ Üni. Fen Bilimleri Enst. Toprak Ana Bilim Dalı, Bursa.
56. Blanco, H., Lal R. (2008). *Principles of soil conservation and management*, Springer, USA.
57. Bergsma Eelko., Charman P., Gibbons F., Hurni H., Moldenhauer W.C., Panichapong, S. (1996). *Terminology for soil erosion and conservation*. international society of soil science, Grafisch Service Centrum, Wageningen.
58. Erkal, T. and Yıldırım, Ü. (2012). Soil erosion risk assessment in the Sincanlı sub-watershed of the Akarçay basin (Afyonkarahisar, Turkey) using the universal soil loss equation (USLE). *Ekoloji* 21(84), 18-29.