



# **RUSLE MODELİNİN MERSİN İLİ İÇİN UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELİF KAHRAMAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
OCAK- 2025**

# RUSLE MODELİNİN MERSİN İLİ İÇİN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELİF KAHRAMAN  
ORCID ID: 0000-0003-4832-8593

MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ  
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ LÜTFİYE KUŞAK  
ORCID ID: 0000-0002-7265-245X

MERSİN  
OCAK- 2025

## ÖZET

### RUSLE MODELİNİN MERSİN İLİ İÇİN UYGULANMASI

Toprağın organik madde içeriği bakımından zengin üst tabakasının taşınarak yok olmasına sebep olan erozyon dünyada tedbir alınması gereken büyük bir problemdir. Erozyon sonucu topraklar verimsizleşmekte, su kaynakları kirlenmekte, köyden kente göçler başlamakta ve bu da beraberinde çarpık kentleşmeyi getirmektedir. Tüm bu sorunlar erozyonun önlenmesi ya da etkisinin azaltılması çalışmalarına duyulan ihtiyacı desteklemektedir. Mersin, verimli tarım arazileri, gelişmiş sulama olanakları ve liman altyapısıyla, hem yerel hem de uluslararası tarım ticaretinde önemli bir stratejik rol üstlenmektedir. Ancak tarım arazilerinde yaşanan erozyon, toprak verimliliğinin düşmesi, bitki gelişim koşullarının olumsuz etkilenmesi ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin tehlikeye girmesi gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu bağlamda Mersin il sınırları içinde erozyon potansiyelini belirlemek ve kritik risk bölgelerini tespit etmek büyük önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ile beraber erozyon riskinin ve büyüklüğünün hesaplanmasında CBS ve uzaktan algılama teknikleri yardımıyla erozyon risk analizleri ve modelleri uygulanmaktadır. Bu çalışma, Mersin ili ve ilçelerinde Rusle modeli kullanılarak erozyon riskinin tahmini, hesaplanması ve haritalanması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen haritalar incelendiğinde erozyon riskinin eğimin artması ile paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Erozyon riskinin yüksek olduğu alanlarda gerekli tedbirler alınmalı, özellikle tarım alanlarındaki erozyon riskine karşı mücadele çalışmalarına başlanılmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Rusle, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, Erozyon, Duyarlılık.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye Kuşak, Mersin Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin.

## ABSTRACT

### APPLICATION OF RUSLE MODEL FOR MERSİN PROVINCE

Erosion, which causes the removal and destruction of the upper layer of the soil rich in organic matter, is a major problem that needs to be taken into consideration in the world. As a result of erosion, soils become infertile, water resources are polluted, migration from villages to cities begins, and this brings about unplanned urbanization. All these problems support the need for studies to prevent erosion or reduce its effects. Mersin, with its fertile agricultural lands, developed irrigation facilities and port infrastructure, plays an important strategic role in both local and international agricultural trade. However, erosion in agricultural lands leads to serious problems such as decreasing soil fertility, negatively affecting plant growth conditions and endangering the sustainability of agricultural production. In this context, determining the erosion potential within the borders of Mersin province and identifying critical risk areas is of great importance. With the developing technology, erosion risk analyses and models are applied with the help of GIS and remote sensing techniques in calculating erosion risk and magnitude. This study was carried out in order to estimate, calculate and map erosion risk using the RUSLE model in Mersin province and its districts. When the maps obtained as a result of the study were examined, it was determined that the erosion risk was parallel to the increase in slope. Necessary measures should be taken in areas where the erosion risk is high, and especially efforts to combat erosion risk in agricultural areas should be initiated.

**Keywords:** RUSLE, Geographic Information Systems, Remote Sensing, Erosion, Sensitivity.

**Advisor:** Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye Kuşak Department of Geomatics Engineering, Mersin University, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her aőamasında bilgi ve deneyimleriyle beni ynlendiren, değerli neri ve katkılarıyla alıőmama ıőık tutan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye Kuşak'a en içten teőekkürlerimi sunarım. Tez sürecinde yol gösterici fikirleri ve destekleriyle çalıőmama katkı sağlayan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma Bünyan Ünel ve Sayın Doç. Dr. Selvinaz Gülçin BOZKURT'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, manevi destekleriyle bana g veren sevgili aileme, ayrıca bu süreçte bana inanan ve yanımda olması ile g veren dostlarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>İÇ KAPAK</b>	<b>i</b>
<b>ONAY</b>	<b>ii</b>
<b>ETİK BEYAN</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>vii</b>
<b>TABLOLAR DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	<b>3</b>
2.1. Erozyon	3
2.2. Erozyonun Nedenleri	3
2.3. Erozyon Türleri	5
2.3.1. Su Erozyonu	5
2.3.2. Rüzgâr Erozyonu	5
2.3.3. Buzul Erozyonu	6
2.3.4. Kütle Hareketleri	6
2.3.5. Yer Altı Erozyonu	6
2.3.6. Kıyı Erozyonu	6
2.4. Erozyonun Etkileri	6
2.4.1. Tarımsal Üretim ve Verimlilikte Azalma	6
2.4.2. Su Kalitesinde Bozulma	7
2.4.3. Ekosistem Dengesinin Bozulması	7
2.4.4. Toprak Yapısında Bozulma	7
2.4.5. Altyapı ve Ekonomi Üzerindeki Etkileri	7
2.4.6. İklim Değişikliği ve Karbon Döngüsü Üzerindeki Etkiler	7
2.4.7. Sosyal ve Ekonomik Etkiler	8
2.4.8. Taşkın ve Toprak Kaymaları	8
2.5. Erozyonla Mücadele Yöntemleri	8
2.5.1. Bitki Örtüsünün Korunması ve Güçlendirilmesi	8
2.5.2. Teraslama (Taraçalama)	9
2.5.3. Toprak İşleme Teknikleri	9
2.5.4. Set ve Baraj İnşası	9
2.5.5. Eğimli Arazilerde Su Kontrolü	9
2.5.6. Rüzgâr Perdeleri	9
2.5.7. Organik Madde ile Toprağın Zenginleştirilmesi	9
2.5.8. İnsanların Bilinçlendirilmesi	10
2.6. Su Erozyonu Modelleri	10
2.7. İlgili Çalışmalar	10
2.7.1. Dünya’da RUSLE Modeli ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	11
2.7.2. Türkiye’de RUSLE Modeli ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	12
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>15</b>
3.1. Materyal	15
3.1.1. Çalışma Alanı	15
3.1.2. Veri Setleri	17
3.1.2.1. İklim Veri Seti	17
3.1.2.2. Toprak Veri Seti	18
3.1.2.3. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)	20
3.1.2.4. Arazi Kullanımı	21

	<b>Sayfa</b>
3.2. Yöntem	22
3.2.1. Yağış Aşındırma Faktörü (R)	23
3.2.1.1. Wischmeier ve Smith (1978)	23
3.2.1.2. Farnsworth ve Thompson (1982)	24
3.2.1.3. Meyer ve Van Dijk (1991) Formülü	24
3.2.1.4. Govers et al. (1996) Modified R Factor Formülü	25
3.2.1.5. Schreiber R faktör formülü	25
3.2.1.6. Modified Fournier İndeksi (MFİ) Formülü	26
3.2.2. Toprak Erodabilite Faktörü (K)	26
3.2.3. Eğim ve Eğim Uzunluğu Faktörü (LS)	30
3.2.3.1. Wischmeier ve Smith (1978) Formülü	30
3.2.3.2. Moore ve Burch (1986) Formülü	30
3.2.3.3. Desmet ve Govers (1996)	32
3.2.4. Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Faktörü (C)	33
3.2.5. Toprak Koruma Uygulamaları Faktörü (P)	34
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>36</b>
4.1. Yağış Aşındırma Faktörü (R)	36
5.2. Toprak Erodabilite Faktörü (K)	37
4.3. Eğim ve Eğim Uzunluğu Faktörü (LS)	38
4.4. Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Faktörü (C)	41
4.5. Toprak Koruma Uygulamaları Faktörü (P)	44
4.6. RUSLE Ortalama Toprak Kaybı	46
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>68</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>71</b>

## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 3.1.</b> MGM 1940-2023	16
<b>Tablo 3.2.</b> Çalışmada kullanılan veriler ve elde edilen kaynaklar	17
<b>Tablo 3.3.</b> R Faktör hesaplamasında kullanılan MGM İstasyon Adları	18
<b>Tablo 3.4.</b> Çalışma alanına ait toprak sınıflarının kum, silt, kil ve organik madde oranları	19
<b>Tablo 3.5.</b> LANDSAT uydu görüntüsü özellikleri	22
<b>Tablo 3.6.</b> Çalışma alanındaki toprak cinslerine göre K faktör değerleri	29
<b>Tablo 3.7.</b> Bölgede bulunan toprak türleri, özellikleri ve kullanım alanları	30
<b>Tablo 3.8.</b> Arazi kullanım türleri ve eğime karşılık gelen P faktör değerleri	36
<b>Tablo.4.1.</b> RFaktör duyarlılık sınıfları ve alan bilgileri	38
<b>Tablo 4.2.</b> Mersin eğim sınıfları, kapladığı alan ve oranları	41
<b>Tablo.4.3.</b> LS Faktör duyarlılık sınıfları ve alan değerleri	42
<b>Tablo 4.4.</b> Mersin C faktör duyarlılık sınıfları ve alan bilgisi	44
<b>Tablo.4.5.</b> Arazi kullanım türü bilgileri ve alan değerleri	46
<b>Tablo.4.6.</b> P faktör duyarlılık sınıfları ve alan değerleri	47
<b>Tablo 4.7.</b> Mersin erozyon riski duyarlılık değerleri ve alan bilgisi	48
<b>Tablo 4.8.</b> Akdeniz ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	50
<b>Tablo.4.9.</b> Çamlıyayla ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	51
<b>Tablo.4.10.</b> Aydıncık ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	53
<b>Tablo 4.11.</b> Anamur ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	54
<b>Tablo.4.12.</b> Bozyazı ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	55
<b>Tablo 4.13.</b> Tarsus ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	57
<b>Tablo 4.14.</b> Yenişehir ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	58
<b>Tablo 4.15.</b> Erdemli ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	59
<b>Tablo 4.16.</b> Toroslar ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	60
<b>Tablo 4.17.</b> Mezitli ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	61
<b>Tablo 4.18.</b> Gülnar ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	62
<b>Tablo.4.19.</b> Silifke ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	64
<b>Tablo 4.20.</b> Mut ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Erozyon Türleri: (a) Su Erozyonu ; (b) Rüzgar Erozyonu ; (c) Buzul erozyonu; (d) Kütle Hareketleri ; (e) Yeraltı Erozyonu; (f) Kıyı Erozyonu	5
Şekil 3.1. Araştırma bölgesi olarak seçilen Mersin ili	15
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki toprak türleri	20
Şekil 3.3. Mersin yükseklik haritası	21
Şekil 3.4. Birleştirilmiş 4,3,2 bant kombinasyonları ile sunulan LANDSAT görüntüsü	22
Şekil 3.5. LS faktör hesaplanmasında uygulanan işlem adımları	33
Şekil 4.1. RUSLE modeli Mersin R faktör haritası	36
Şekil 4.2. RUSLE modeli Mersin K faktör haritası	38
Şekil 4.3. Mersin ili eğim sınıfları haritası	39
Şekil 4.4. RUSLE modeli Mersin LS faktör haritası	40
Şekil 4.5. RUSLE modeli Mersin C faktör haritası	43
Şekil 4.6. Mersin ili arazi kullanım türü haritası	44
Şekil 4.7. RUSLE modeli Mersin P faktör haritası	45
Şekil 4.8. RUSLE modeli Mersin ili erozyon duyarlılık haritası	47
Şekil 4.9. RUSLE modeli Akdeniz ilçesi erozyon duyarlılık haritası	48
Şekil 4.10. RUSLE modeli Çamlıyayla ilçesi erozyon duyarlılık haritası	50
Şekil 4.11. RUSLE modeli Aydıncık ilçesi erozyon duyarlılık haritası	51
Şekil 4.12. RUSLE modeli Anamur ilçesi erozyon duyarlılık haritası	53
Şekil 4.13. RUSLE modeli Bozyazı ilçesi erozyon duyarlılık haritası	54
Şekil 4.14. RUSLE modeli Tarsus ilçesi erozyon duyarlılık haritası	55
Şekil 4.15. RUSLE modeli Yenişehir ilçesi erozyon duyarlılık haritası	56
Şekil 4.16. RUSLE modeli Erdemli ilçesi erozyon duyarlılık haritası	58
Şekil 4.17. RUSLE modeli Toroslar ilçesi erozyon duyarlılık haritası	59
Şekil 4.18. RUSLE modeli Mezitli ilçesi erozyon duyarlılık haritası	60
Şekil 4.19. RUSLE modeli Gülnar ilçesi erozyon duyarlılık haritası	61
Şekil 4.20. RUSLE modeli Silifke ilçesi erozyon duyarlılık haritası	62
Şekil 4.21. RUSLE modeli Mut ilçesi erozyon duyarlılık haritası	64
Şekil 4.22. İlçelerin erozyon risk sınıflarına göre risk oranları grafiği	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>Kısaltma/Simgesi</b>	<b>Tanım</b>
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
DEM	Digital Elevation Model
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
CORINE	The Coordination of Information on the Environment
WEPP	Water Erosion Prediction Project
USDA	United States Department of Agriculture
EUROSEM	European Soil Erosion Model
KINEROS	Kinematic Runoff and ERosion Model
LISEM	Limburg Soil Erosion Model
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
SEDEM	Sediment Delivery Model
FAO	Food and Agriculture Organization
EEA	European Environment Agency
NRCS	Natural Resources Conservation Service
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
USGS	United States Geological Survey
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
NASA	National Aeronautics and Space Administration
MFI	Modified Fournier İndeksi
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index

## 1. GİRİŞ

Toprak, yerküreyi örten ve içerisinde hava, su ile mikroorganizmaları barındıran mineral ve organik maddelerin bir bileşimidir. Bitkilere yaşam kaynağı olurken, tüm canlılar için hayati bir öneme sahiptir. Erozyon, diğer adıyla aşınım, toprağın organik maddece zengin olan üst tabakasının başta su ve rüzgâr olmak üzere yerçekimi ve buzulların da etkisiyle parçalanıp taşınarak başka yerde birikmesi olayıdır (Koralay ve Kara, 2022; Mutlu vd., 2021). Erozyon oluşumunda insan kaynaklı beşeri faktörlerin yanında eğim, yükseklik, bakı gibi topoğrafik özellikler, yağış ve sıcaklık gibi iklim özellikleri ve bitki örtüsü özellikleri gibi doğal faktörler de yer almaktadır (Cürebal ve Ekinci, 2006; Mutlu ve Soykan, 2018). Ancak erozyon her zaman doğal yollarla kendiliğinden gerçekleşmemektedir. İnsanlar doğrudan veya dolaylı olarak erozyon oluşumuna sebebiyet verebilir. Bitki örtüsünün tahrip edilmesi, arazinin yanlış kullanımı, düzensiz kentleşme, meralarda aşırı otlatma gibi insan faaliyetleri sonucu gerçekleşen erozyona “hızlandırılmış erozyon” denilmektedir (Çelebi,2010).

Doğal etkenlere göre erozyon çeşitleri su erozyonu, rüzgâr erozyonu, buzul ve çığ erozyonu olarak incelenmektedir. En yaygın görülen erozyon türü su erozyonu olup bitki örtüsünden yoksun eğimli arazilerde yüzey akışlarının neden olduğu erozyon çeşididir. Su erozyonunun şiddetini toprağın infiltrasyon (sızma) kapasitesi, yağış miktarı ve akış hızı, bölgenin eğimi, bitki örtüsü belirler. Rüzgâr erozyonu ise kurak ve yarı kurak bölgelerdeki gevşek ve çıplak toprakların rüzgâr gücü ile ayrışıp taşınarak başka bir yerde birikmesi olayıdır. Bitki örtüsünden yoksun bölgelerde yağış kıtlığı ve fazla buharlaşma sebebi ile gerçekleşir (Karaoğlu, 2018). Yüksek dağlık arazideki derelerde, çeşitli zamanlarda oluşmuş bulunan buzulların parça parça ve yavaşça yürümesi sırasında beraberinde moren denilen çeşitli büyüklükte materyal kütlelerini sürüklemesi ile meydana gelen aşınma ve taşınma olayına buzul erozyonu denir (Yılmaz, 2006).

Erozyon, toprak dengesini bozarak canlıların yerleşim ve beslenme sistemini olumsuz etkiler, su kalitesini düşürür. Erozyona uğrayan toprağın organik maddece zengin üst tabakası taşınır ve geriye verimsiz olan alt toprak katmanı kalır. Sonuç olarak toprak yapısı bozulduğu için tarımsal verimlilik azalır ve yetersiz beslenme sorunu ortaya çıkar (Allafta ve Opp, 2022; Koralay ve Kara, 2022). Bitki örtüsü yok olduğundan heyelan, çığ gibi felaketler daha kolay gerçekleşir. Toprağın su depolama gücü azalır, sular kirlenir, çölleşme başlar, tarım alanlarının verimsizleşmesiyle kırsaldan kente göç başlar. Bu da beraberinde çarpık kentleşmeyi ve toplumsal sorunları getirir.

Erozyon tedbir alınması gereken küresel bir problemdir (Çoruhlu ve Akıncı, 2021; Kılıç vd., 2018). Dünya çapında her yıl ortalama 75 milyar ton toprak, su ve rüzgâr erozyonu ile taşınmakta, tarım alanlarında her yıl 6 milyar ha toprak erozyona uğramaktadır (ÇEM, 2018). Son 40 yılda dünya genelindeki ekilebilir alanların %30'u verimsiz hale gelmiştir (Jahun vd., 2015). Erozyon, ülkemiz için de büyük risk teşkil etmektedir. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele (ÇEM) Genel Müdürlüğü, Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi sonucu elde edilen erozyon verilerine göre; ülkemiz yüzölçümünün % 60,28'sinde çok hafif, % 19,13'ünde hafif, % 7,93'ünde orta, % 5,97'sinde şiddetli ve % 6,7'sinde

çok şiddetli olarak dağılım göstermektedir. Arazi kullanım türü açısından incelendiğinde erozyona uğrayan alanların % 53,66'sı mera alanları, % 38,71'i tarım alanları, % 4,17'si orman alanları olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde en sık erozyon görülen yerler Fırat-Dicle, Kızılırmak ve Sakarya havzalarıdır (ÇEM, 2018).

Su erozyonu riskinin hesaplanması amacıyla Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak geliştirilmiş pek çok yöntem bulunmaktadır. Su erozyonu nedeniyle meydana gelen toprak kaybını tahmin etmek için 1965 yılında Wischmeier ve Smith tarafından Universal Soil Loss Equation (USLE) matematiksel modeli geliştirilmiş ve güncellenerek Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) yöntemi elde edilmiştir. Bu yöntemde yağış, arazi örtüsü, eğim derecesi ve uzunluğu, toprak ve erozyon önleyici faktör olmak üzere beş parametre kullanılarak bir bölgedeki erozyon miktarı hesaplanabilir (Avcıoğlu vd., 2020; Aykır ve Fıçıcı, 2022). Çalışmalar incelendiğinde arazi örtüsü için The Coordination of Information on the Environment (CORINE) veri setinin tercih edildiği görülmektedir (CORINE, 1992). Arazi örtüsünü kategorize eden verilerle çalışan ve çoğunlukla AB ülkeleri tarafından kullanılan bir veri setidir (Mutlu vd, 2021; Özvan vd., 2022).

Tez çalışmasında 2023 yılına ait Mersin ilindeki erozyon riski altındaki bölgeler belirlenerek riskin en aza indirgenmesi için alınması gereken tedbirler ve öneriler sunulmuştur. RUSLE yöntemi ile erozyon risk haritası oluşturulmuş ve bu bağlamda arazi örtüsü ve kullanımı analizinde LANDSAT 2023 verisi, yağışın aşındırıcı gücünün belirlenmesinde 2023 Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri, toprak türlerinin ve özelliklerinin incelenmesinde FAO (Food and Agriculture Organization) dijital dünya toprak haritası ve sayısal yükseklik modeli oluşturulmasında ASTER DEM verileri kullanılmıştır.

Tezin kapsamında ilk olarak erozyonun tanımı, tarihçesi, nedenlerine değinilmiştir. Erozyon türleri, etkisi ve mücadele yöntemleri ile kullanılan modeller anlatılmıştır. İkinci. bölümde erozyon çeşitleri, nedenleri ve mücadele yöntemleri anlatılarak literatürde su erozyonu hesaplanmasında kullanılan modeller anlatılmıştır. Üçüncü bölümde kaynak araştırmalarına değinilmiş, dünyada ve Türkiye'de RUSLE model ile gerçekleştirilen çalışmalar sunulmuştur. Dördüncü çalışmada kullanılan veri setleri ve RUSLE model hesaplanmasında literatürde kullanılan formüller anlatılmıştır. Beşinci bölümde bulgular paylaşılmış sonuç kısmında ise yapılan çalışma sonuçları değerlendirilmiş ve ileriye yönelik çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Erozyon

Erozyon, diğer adıyla aşınım, toprağın başta akarsu olmak üzere, rüzgâr, su veya buzul gibi dış etkenler tarafından aşındırılıp yerinden koparılması ve taşınarak başka yerde birikmesi olayıdır. Yeryüzünün şekillenmesinde ve ekosistemlerin dengelerinde önemli roller oynayan erozyon; insan, bitki ve hayvanların doğal yaşamını olumsuz yönde etkilemekte, her şeyden önce toprak ve su dengesi üzerinde değişiklikler yaratmaktadır. Bu değişiklikler beslenme ve yerleşim sistemine kadar etki etmekte, yaşam standartlarını maddi ve manevi kayıplarla düşürmektedir.

Erozyon; iklimin kuraklığı, dengesiz yağış ve engebeli arazi yapısı sebebi ile meydana gelmektedir ancak doğal bir süreç olmasına rağmen bilinçsizlik ve çeşitli insan faaliyetleri sonucu hızlanmakta ve yıkıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Erozyonun oluşması doğal faktörler ile gerçekleşmekte ancak erozyonun telafi edilemez zararlara sebep olması, insanların bu faktörleri hızlandırmasıyla gerçekleşmektedir. Bitki örtüsünün tarım gerekçesi ile tahrip edilmesi, toprağın aşırı sürülmesi, meralarda aşırı otlatmaya gidilmesi, nadas sorunu, düzensiz şehirleşme ve yerleşme, hızlı nüfus artışı erozyonun insan kaynaklı sebepleri arasındadır ve bu beşeri etkenler neticesinde meydana gelen erozyona “hızlandırılmış erozyon” adı verilmektedir.

Erozyonun tarihçesine bakıldığında bu sorunun insanlık tarihi kadar eskiye dayandığı görülmektedir. Mezopotamya, Fırat ve Dicle havzaları milattan 2000 yıl önce verimli tarım arazilerine sahipken erozyon sebebiyle toprak kaybına uğramıştır. Antik Mezopotamya, Mısır, Yunan ve Roma gibi büyük uygarlıklar, tarımsal faaliyetlerin artmasıyla birlikte erozyon sorunu ile karşılaşmışlardır. Bu uygarlıklar tarım arazilerini keserek ve doğal bitki örtüsünü yok ederek toprak erozyonunu hızlandırmışlardır. Örneğin, Mezopotamya’daki sulama sistemleri ve tarım uygulamaları, zamanla toprağın verimliliğini azaltmış ve ciddi erozyon sorunlarına yol açmıştır Orta Çağ’da ise Avrupa’da ormansızlaşmanın artması ile toprak kaybı yaşanmıştır. 20. Yüzyılda tarımsal üretimin artması ve sanayileşme ile birlikte erozyon etkileri daha geniş bir alanda ve şiddetli şekilde görülmeye başlanmıştır.

### 2.2. Erozyonun Nedenleri

Erozyonun en temel sebebi bitki örtüsünün çeşitli nedenler neticesinde tahribata uğramış olmasıdır. Ormanlar, toprağı koruyan ve erozyonu önleyen en önemli unsurlardandır. Bitki örtüsü toprak parçacıklarının önüne set oluşturarak taşınmasını engellemektedir. Bitki örtüsünden yoksun kalan toprak, erozyon riskini arttırmaktadır. Su ve rüzgâr gibi dış kuvvetler tarafından süpürülerek başka yerlere taşınmaktadır.

İklim; yağış, rüzgâr ve sıcaklık faktörleri ile erozyona etki etmektedir. Şiddetli yağmurların etkisi ile toprağa düşen su miktarı artmaktadır dolayısı ile toprağın suyu emme kapasitesi azalmakta ve

üst tabaka gevşemektedir. Düzensiz yağışlar, ani sel baskınları da suyun toprak yüzeyinde hareket etmesine ve sürüklenmesine yol açmaktadır. Bu da toprağın sürüklenmesine, erozyon riskinin artmasına sebep olabilmektedir. Rüzgâr, kurak ve bitki örtüsünden yoksun toprağı kolaylıkla aşındırabilmekte ve taşınımı arttırmaktadır. Özellikle uzun süreli ve aynı yönden esen rüzgârların etkisi ile erozyon şiddeti artmaktadır. Sıcaklık ise toprakta bulunan organik maddelerin ayrışmasını hızlandırarak bitki örtüsünü seyreltmekte, erozyon etkilerinin artmasına sebep olmaktadır.

Arazinin eğimi, uzunluğu, yüzey özellikleri hakkında bilgi veren topografya da erozyon üzerinde önemli etkiye sahiptir. Eğim uzunluğunun artmasına paralel olarak aşınan ve taşınan toprak miktarı artmaktadır. Dik arazi yapısı, yüzeyden akan su hızını ve erozyon riskini arttırmaktadır.

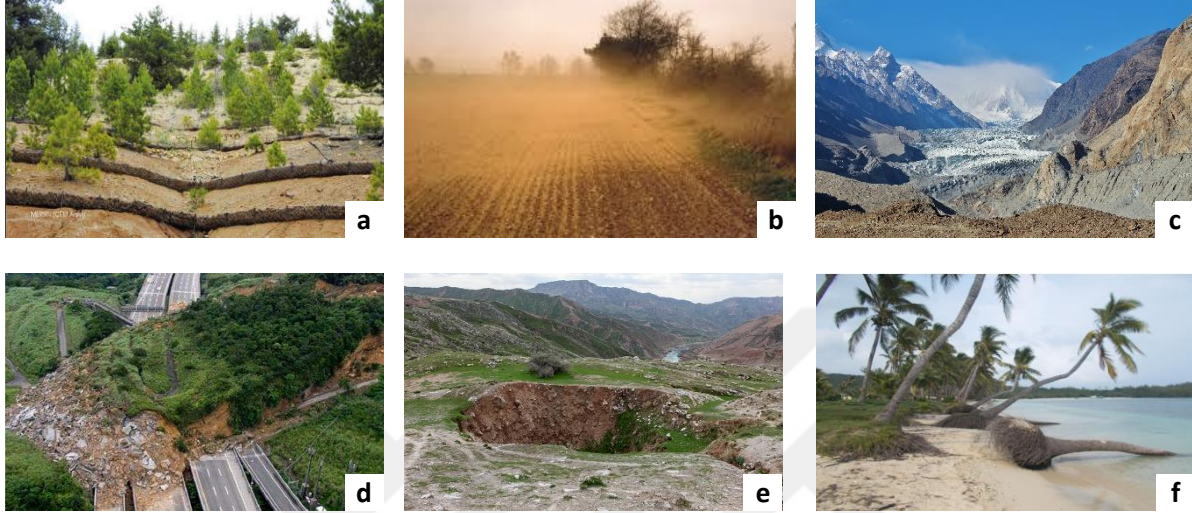
Ormanların tahrip edilmesi, yanarak yok olması, çeşitli amaçlar için ağaçların kesilmesi toprağın korunmasız kalmasına sebep olmakta ve erozyona açık hale getirmektedir. Tarım alanlarının yanlış kullanılması, aşırı ve yanlış sulama, anızların yakılması, tarlaların eğime paralel yönde sürülmesi toprağın yerçekimi, su veya rüzgârın etkisiyle taşınmasına sebep olmaktadır.

Yanlış arazi kullanımı, şehirleşme ve inşaat faaliyetleri sonucu doğal bitki örtüsünün tahrip olması, açık ocak madenciliği toprağın ileri derecede aşınmasına sebep olmakta ve erozyon riskini arttırmaktadır. Toprağın yapısını bozan kimyasal atık ve kirleticiler de erozyon riskini arttıran etmenler arasındadır.

Bu çalışma, ilgili literatürdeki dönüşüm parametreleri ve fotogrametrik haritalama teknikleri, deprem bölgelerinde uygulanan haritacılık çalışmaları ve insansız hava araç uygulamaları üzerine yapılmış önceki çalışmalara dayanmaktadır. Çalışmada literatür taraması, dönüşüm parametrelerinin doğruluğu, İHA tabanlı haritalama teknikleri ve deprem mühendisliği üzerine yapılan araştırmaları kapsamaktadır. Ayrıca, çalışmada kullanılacak olan matematiksel algoritmalar, harita doğruluğu testleri ve istatistiksel analiz yöntemleri literatürdeki en güncel yaklaşımlar doğrultusunda belirlenmiştir.

### 2.3. Erozyon Türleri

Erozyonun, meydana gelmesinde etkili olan kuvvete ve geldiği ortama göre çeşitleri vardır. Erozyon türleri; su erozyonu, rüzgâr erozyonu, buzul erozyonu, kütle hareketleri, yer altı erozyonu ve kıyı erozyonu olarak sıralanmaktadır (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1.** Erozyon Türleri: (a) Su Erozyonu (Erpul vd., 2020); (b) Rüzgâr Erozyonu (Ankara Üni., 2024); (c) Buzul erozyonu (Cook vd., 2020); (d) Kütle Hareketleri (Hudák ve Durikovic, 2011); (e) Yeraltı Erozyonu (Gutiérrez, 2016); (f) Kıyı Erozyonu (Mörner ve Klein, 2017)

#### 2.3.1. Su Erozyonu

Toprağın yağmur, akarsu ve sellerin etkisi ile aşınıp taşınması sonucu meydana gelen, en sık görülen erozyon çeşididir. Yüzeysel erozyon, oluk erozyonu, yarık erozyonu, akarsu erozyonu ve kıyı erozyonu gibi alt türlere de ayrılmaktadır (Şekil 2.1 a).

#### 2.3.2. Rüzgâr Erozyonu

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki bitki örtüsünden yoksun, kuru ve ince yapılı toprakların taşınması sürecidir. Taşınan kum verimli toprakları kaplayarak tarım yapılamaz hale getirmekte, tarımsal verimi düşürmektedir. Rüzgâr erozyonu; deflasyon (yüzey aşındırması), aşındırma ve kumul oluşumu olmak üzere üç farklı şekilde meydana gelmektedir (Şekil 2.1 b).

### **2.3.3. Buzul Erozyonu**

Yüksek ve dağlık bölgelerde bulunan buzulların yer değiştirmeleri sırasında aşındırdıkları toprak parçalarını taşımaları sürecidir. Özellikle kutup bölgelerinden yaygın rastlanan erozyon türüdür. Aşındırma ve biriktirme şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 2.1 c).

### **2.3.4. Kütle Hareketleri**

Dağlık alanlarda ve dik yamaçlarda yerçekiminin etkisi ile toprağın yamaç boyunca taşınmasına bağlı olan erozyon türleridir. Çok fazla miktarda toprağın hızlı ve ani bir şekilde kayarak yer değiştirmesine heyelan; uzun bir süreç boyunca yamaç aşağı taşınmasına toprak kayması denilmektedir. Toprak kayması ve önlenemez bir afet olan heyelan tüm canlılara ve altyapıya zarar vermektedir (Şekil 2.1 d).

### **2.3.5. Yer Altı Erozyonu**

Karstik erozyon ismi de verilmektedir. Karstik kayaçların arasındaki boşluk ve çatlaklardan geçen su, kayaçları çözümlenerek obruk ve mağaralar oluşturmaktadır (Şekil 2.1 e).

### **2.3.6. Kıyı Erozyonu**

Gelgit ve dalgaların kıyıdaki toprak ve kayaları aşındırması ile oluşan erozyondur. Plajların yok olmasına, kıyı şeridinin geri çekilmesine sebep olmaktadır (Şekil 2.1 f).

## **2.4. Erozyonun Etkileri**

Erozyonun etkileri yalnızca çevresel değil aynı zamanda sosyal ve ekonomik sorunları da beraberinde getirmektedir. Erozyon, toprak sağlığını bozarak verimliliği düşürmekte ve tüm ekosistemleri olumsuz yönde etkilemektedir. Erozyonun temel etkileri aşağıdaki başlıklar altında incelenmektedir.

### **2.4.1. Tarımsal Üretim ve Verimlilikte Azalma**

Toprak erozyonu neticesinde toprağın en verimli üst tabakası süpürülmektedir. Bitkilerin büyümesi için gerekli organik maddeleri içeren bu tabakanın kaybolması ile birlikte;

Su tutma kapasitesi azalan toprakta kurak dönemlerde ürün verimliliği düşmektedir. Bitki köklerinin gelişmesi zorlanmakta bu da ürün kalitesi ve verimliliği düşürmektedir. Verimli olan toprağın kaybedilmesi daha fazla gübre ve su ihtiyacını ortaya çıkarmakta bu da tarım maliyetini arttırmaktadır.

#### **2.4.2. Su Kalitesinde Bozulma**

Erozyon sonucu taşınan toprak ve minik taş parçacıkları deniz, göl ve nehirlere ulaşarak ekosistemleri olumsuz yönde etkilemektedir. Nehir ve göllerin taşınan toprak ve parçacıklar sonucu sığlaşması ile taşkınlar meydana gelmektedir. Taşınan toprak su kirliliğine sebep olmakta, su kalitesinin bozulması içme suyu kaynaklarını tehdit etmektedir.

#### **2.4.3. Ekosistem Dengesinin Bozulması**

Toprak kaybı, bitki örtüsünün de azalmasına sebebiyet vermektedir. Bitki örtüsünün azalması ile hayvanların yaşam alanları daralmakta, besin kaynakları azalmaktadır. Bu durum ormanlık alanlar gibi büyük ekosistemlerde biyolojik çeşitliliği de olumsuz yönde etkilemektedir.

#### **2.4.4. Toprak Yapısında Bozulma**

Toprağın verimli üst tabakasının süpürülmesi ile mineraller ve organik madde içeren katman yok olmaktadır. Yapısı bozulan toprağın verimi düşmekte, tarımsal üretim zorlaşmaktadır. Toprağın verimli üst tabakası yok olduğundan kuraklık gibi ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda toprağın su tutma kapasitesi de azalmakta bu durum suyun emilmeksizin yüzeyden akmasına ve erozyonun daha da artmasına sebep olmaktadır.

#### **2.4.5. Altyapı ve Ekonomi Üzerindeki Etkileri**

Yolların, köprülerin, altyapı projelerinin zarar görmesine sebep olabilmekte bakım ve onarım maliyetlerini arttırabilmektedir. Kıyı erozyonu sonucu sahil şeridi hasar almakta bu da turizm gelirlerini düşürmektedir.

#### **2.4.6. İklim Değişikliği ve Karbon Döngüsü Üzerindeki Etkiler**

Toprak erozyonu ile iklim değişikliği arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Toprak önemli bir karbon deposudur ve toprak erozyonu ile bu karbon atmosfere salınarak sera gazı emisyonlarını arttırmakta, küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Aynı zamanda kaybedilen toprak sebebiyle tarım alanlarındaki verimlilik azalmakta, gıda güvenliği ve üretiminde de düşüş yaşanmaktadır.

#### **2.4.7. Sosyal ve Ekonomik Etkiler**

Erozyonun sebebiyet verdiği çevresel sorunlar beraberinde ekonomik ve sosyal sorunların görülmesine de neden olabilmektedir. Erozyon sonucu kaybedilen toprak ile birlikte tarımsal üretimde düşüş yaşanmakta, gıda üretiminin azalması ile birlikte gıda güvenliği sorunu ortaya çıkmakta ve çiftçiler gelir kaybına uğramaktadır. Kırsal kesimde yoksulluğun artması ile birlikte kırdan kente göçler başlamakta şehirlerde artan nüfus ile işsizlik ve altyapı sorunları başta olmak üzere pek çok problem meydana gelmektedir.

#### **2.4.8. Taşkın ve Toprak Kaymaları**

Erozyon sonucu barajlarda ve nehir yataklarında biriken tortular su seviyesinin yükselmesine sebep olarak taşkın riskini arttırmaktadır. Özellikle eğimli arazilerde, erozyon sonucu bitki örtüsünün kaybedilmesi ile birlikte heyelan ve çığ gibi olaylar daha kolay gerçekleşmektedir.

### **2.5. Erozyonla Mücadele Yöntemleri**

Erozyon sonucu verimli topraklar kaybedilmekte tarımsal üretim azalmakta ve gıda güvenliği sorunu ve ortaya çıkmaktadır. Tarımsal üretimin azalması ile birlikte kırdan kente göçler başlamakta ve buna bağlı olarak kentlerde çarpık kentleşme, işsizlik, altyapı sorunları ortaya çıkmaktadır. Erozyon sonucu meydana gelen heyelan, sel ve taşkınlar canlıların hayatını tehdit etmektedir.

Erozyonun sebep olduğu çevresel ve ekonomik sorunlar göz önüne alındığında tarım alanlarının korunması, su kaynaklarının temizliği ve tüm canlı ekosistemlerinin sürdürülebilirliğinin korunması amacıyla erozyonla mücadele kritik öneme sahiptir. Erozyonla mücadele yöntemleri, toprak kaybının önlenmesi, doğal kaynakların korunması için geliştirilmiş teknikleri içermektedir. Erozyonla mücadele yöntemlerinin başında toprağın korunması, bitki örtüsünün güçlendirilmesi ve su akışının kontrol altına alınması bulunmaktadır. Erozyonla mücadele yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında incelenmektedir:

#### **2.5.1. Bitki Örtüsünün Korunması ve Güçlendirilmesi**

Bitkiler, kökleri ile toprağı tutarak yüzey akış hızını azaltmakta ve toprağın taşınmasını engellemektedir. Bitki örtüsünden yoksun eğimli ve çıplak alanlarda ağaçlandırma çalışmaları ile toprağı tutan bitki kökleri suyun akış hızını azaltarak toprağın taşınmasını engelleyebilmektedir.

Kurak bölgelerde etkisini gösteren rüzgâr erozyonu ile mücadele etmek için çayır ve meralarda aşırı otlatmanın önüne geçilmelidir. Otlakların korunması rüzgâr erozyonunu engellemektedir.

### **2.5.2. Teraslama (Taraçalama)**

Teraslama, eğimli arazilerde suyun toprağa daha iyi nüfuz etmesini sağlamak ve erozyon riskini azaltmak amacıyla toprağın basamak şeklinde kademeli olarak düzleştirilmesi yöntemidir. Özellikle dağlık ve eğimli bölgelerde suyun hızla akarak toprağı taşımasına engel olmaktadır.

### **2.5.3. Toprak İşleme Teknikleri**

Doğru toprak işleme teknikleri ile toprak gevşetilerek suyu emme kapasitesi arttırılmakta ve su akışı yavaşlatılabilmektedir. Toprağın aşırı işlenmesi üst katmanların zayıflayarak erozyon riskinin artmasına sebep olmaktadır. Topraklar eğime dik sürülmeli ve böylece suyun eğim boyunca hızla akması önlenerek erozyon riski azalmaktadır.

### **2.5.4. Set ve Baraj İnşası**

Büyük akarsular üzerine inşa edilen barajlar taşkınların kontrol altına alınmasında etkili olmaktadır aynı zamanda suyun akışını yavaşlatarak erozyon riskini düşürmektedir. Tarım arazilerine kurulan suni setler de toprağın taşınmasına engel olmaktadır.

### **2.5.5. Eğimli Arazilerde Su Kontrolü**

Tarım alanları eğime paralel sürülerek bitkiler eğime paralel ekilmelidir. Sulama sonucu yüzeyden akan suların kontrol altına alınabilmesi için su kanalları açılmalıdır.

### **2.5.6. Rüzgâr Perdeleri**

Kurak ve bitki örtüsünden yoksun çıplak arazilerde rüzgâr hızının azaltılması için ağaçlardan oluşan rüzgâr perdelerinden faydalanılmalıdır.

### **2.5.7. Organik Madde ile Toprağın Zenginleştirilmesi**

Organik maddece zengin olan toprak suyun emilimini arttırarak taşınmasını azaltmaktadır. Organik gübre takviyesi ile toprak yapısı güçlendirilmelidir.

### **2.5.8. İnsanların Bilinçlendirilmesi**

Çiftçiler bilinçlendirilerek nadasa bırakma gibi toprağın boş kalmasına sebep olan yanlış tarım uygulamaları önlenmelidir. İnsanlar bilinçlendirilerek ormanlar korunmalı ve çevre bilinci arttırılmalıdır.

### **2.6. Su Erozyonu Modelleri**

Su erozyonu, yağmur damlalarının toprağı gevşetmesi ve yüzey akışının toprağı taşımasıyla oluşan bir süreçtir. Su erozyonunu modellemek için kullanılan modellerde, özellikle yağış, yüzey akışı, topografya, toprak özellikleri ve bitki örtüsü gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Bunun için geliştirilen modeller arasında amprik modeller, fiziksel modeller, mekânsal (CBS) modeller ve gerek amprik gerekse fiziksel modellerin bir arada kullanıldığı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Universal Soil Loss Equation (USLE), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) amprik modeller arasında yer almaktadır. USLE toplam toprak kaybını yıllık bazda tahmin etmekte kullanılır. USLE yönteminde erozyon riskinin hesaplanmasında yağış (R), toprak türü (S), eğim ve uzunluk (LS), bitki örtüsü (C) ve koruma önlemleri (P) faktörleri değerlendirmeye alınır. Fakat zamansal dinamikleri içermez. Daha sonra geliştirilen RUSLE mevsimsel değişimleri de dikkate almaktadır. Fiziksel tabanlı modeller arasında yer alan WEPP (Water Erosion Prediction Project), su kaynaklı toprak erozyonunu tahmin etmek için kullanılan fiziksel tabanlı bir modeldir. ABD Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından geliştirilmiştir. Farklı arazi koşulları ve kullanım biçimleri için detaylı analiz yapabilen güçlü bir yazılımdır, European Soil Erosion Model (EUROSEM), Kinematic Runoff and Erosion Model (KINEROS), Limburg Soil Erosion Model (LISEM) yer almaktadır. Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Sediment Delivery Model (SEDEM) ise CBS tabanlı geliştirilmiş modellerdir.

Model seçiminde çalışma alanının büyüklüğü, veri erişimi, amacı önem taşımaktadır. Küçük alanlar için WEPP ve EUROSEM tercih edilebilirken geniş alanlar için amprik modeller kullanılabilir. Detaylı veri var ise fiziksel modeller, sınırlı veri olması durumunda amprik modeller su erozyonu çalışmalarında kullanılabilir.

Bu tez kapsamında tercih edilen RUSLE modeli bütün Mersin ilini kapsamı ve kısıtlı veri seti nedeniyle tercih edilmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın kaynak araştırmaları bölümünde özellikle RUSLE modelinin kullanıldığı Dünya'da ve Türkiye'de yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

### **2.7. İlgili Çalışmalar**

Tedbir alınması gereken küresel bir problem olan erozyon miktarını en az seviyeye indirmek için erozyonun şiddetini ve derecesini bilmek büyük önem arz etmektedir. Kaybedilen toprak miktarını

ortaya koymak ve erozyon risk değerlendirmesi için literatürde geliştirilmiş DEM ve CBS tabanlı birçok yöntem bulunmaktadır (Fıçıcı ve Soykan, 2022; Avcıoğlu vd., 2020). Wischmeier ve Smith (1978) tarafından Universal Soil Loss Equation (USLE) yöntemi geliştirilmiş ve 1997 yılında güncellenerek Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) yöntemi elde edilmiştir. Bu yöntemde yağış, arazi örtüsü, eğim derecesi ve uzunluğu, toprak ve erozyon önleyici faktör olmak üzere beş parametre kullanılarak bir bölgedeki erozyon miktarı hesaplanabilir (Avcıoğlu vd., 2020; Aykır ve Fıçıcı, 2022).

Erozyonla mücadele edilebilmesi için öncelikle erozyon oluşumunun ortaya koyulması gerekmektedir. Bunun için Dünya’da ve Türkiye’de özellikle RUSLE modeli kullanılarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan veri setleri, tercih edilen yaklaşımlar ve elde edilen sonuçlar tezin 2.7.1 ve 2.7.2. başlıkları altında değerlendirilmiştir.

### 2.7.1. Dünya’da RUSLE Modeli ile Gerçekleştirilen Çalışmalar

Günümüzde akademik araştırmaların yanı sıra özel ve kamu kurumları, toplum kuruluşları, erozyonun modellenmesi, erozyona karşı önlemlerin alınması için çalışmaktadırlar. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO-), Avrupa Çevre Ajansı (EEA) gibi kuruluşlar erozyon ile mücadelede birçok uygulama yapmaktadır. Amerika’da NRCS (Natural Resources Conservation Service), Fransa’da IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Avustralya’da CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), Türkiye’de Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) gibi örnekleri bunlarla sınırlı olmayan birçok kurum ve kuruluş erozyonla mücadelede etkin rol üstlenmektedir.

Ayrıca akademik alanda su erozyonunun belirli bölgelerde modellenmesi ve etkilerinin ortaya koyulması için birçok araştırma yapılmaktadır.

Allafta ve Opp (2022), Revize Evrensel Toprak Kaybı Denklemini (RUSLE), Shatt Al-Arab havzasındaki toprak erozyonu tehlike haritasını tanımlamak için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile birleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, hektar başına ton cinsinden yıllık erozyon oranlarını: son derece yüksek (50'den fazla); çok yüksek (50 ila 16,5); yüksek (16,5 ila 2,2); orta (2,2 ila 1); ve düşük (1 ila 0) olarak sınıflandırmışlar ve havza alanının sırasıyla % 16, 4, 13, 7 ve 60'ına karşılık geldiğini tespit etmişlerdir.

Habtu ve Jayappa (2022), Kuzeybatı Etiyopya'daki Megech-Dirma Havzası'ndaki toprak erozyonu oranını belirlenmesini amaçlamışlardır. Bölgedeki toprak erozyonunun şiddetini altı sınıfa ayırmışlardır. Erozyon oranı sınıflarını % 46,38 (0–12 t ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) düşük, % 13,63 (12–20 ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) orta, %9,22 (20–35 ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) yüksek, % 12,30 (35–50 ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) çok yüksek, %7,20 (50 ila 100 ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) şiddetli ve % 11,27 (>100 ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) çok şiddetli erozyon olarak sınıflandırmışlardır. Erozyon şiddetine göre havzanın %46,38'inin düşük, % 11,27'si aşırı şiddetli erozyon riski altında olduğunu tespit etmişlerdir.

Saha vd. (2022), Bangladeş Jamuna Alt Havzası alanında yıllık erozyon oranını hesaplamak için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile entegre RUSLE yöntemini uygulamışlardır. Sonuç olarak, çalışma alanında erozyon sonucu kaybolan yıllık toprak miktarını 598.232 ton olarak hesaplamışlardır.

Senanayake vd. (2022), Çalışmalarında derin öğrenme yaklaşımını kullanarak toprak erozyonu olasılığını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Toprak erozyonu duyarlılığı için RUSLE ve LSTM (Long Short-Term Memory) kullanılarak yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. LSTM, 36 aylık (3 yıl) dönem için yağış tahmini için kullanılmıştır. RUSLE modeli tahmini ile ortalama yıllık toprak erozyonunu  $11,92 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$  olarak hesaplamışlardır.

Chuma vd. (2021), Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nin doğusundaki bir çay üretim havzasını (Walungu-Chisheke) çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Toprak kaybı oranlarının, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerine bağlı olduğunu söylemişlerdir. Sonuçta, toprak kayıplarının  $0 \text{ ila } 400 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$  arasında değiştiğini, ortalama  $24 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$  olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada sağlanan toprak erozyonu haritalarının, Chisheke havzasında ve benzer agro-ekolojik koşullara sahip diğer alanlarda sürdürülebilir toprak erozyonu yönetimi stratejilerini etkili bir şekilde uygulamak için değerli kaynaklar olduğunu belirtmişlerdir.

### **2.7.2. Türkiye’de RUSLE Modeli ile Gerçekleştirilen Çalışmalar**

Fıçıcı ve Soykan (2022), Madra Barajı Havzası'nın erozyon risk durumunun hesaplanmasında iki farklı yöntem ve teknik uygulamışlardır. MPSIAC (Pacific Southwest Inter-Agency Committee) modeli ile erozyon riskini hesaplamışlar ve bulguları RUSLE yöntemi ile karşılaştırmışlardır. MPSIAC erozyon tahmin eşitliğine göre araştırma sahasının orta şiddette ( $22,5 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ ) erozyona maruz kaldığını saptamışlardır. RUSLE erozyon tahmin modelinde ise yıllık hektar başına kaybedilen toprak miktarını 34,05 ton olarak hesaplamışlardır.

Fıçıcı ve Aykır (2022), Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan Çıldır Gölü Havzası'nı çalışma alanı olarak belirlemişlerdir. Çalışma alanına ait erozyon risk sınıflarını ve kaybedilen toprak miktarını hesaplamışlardır. Çalışma sonucu Çıldır Gölü Havzasında altı farklı erozyon risk sınıfı belirlemişler ve sahanın %82,75'inde çok hafif ve hafif erozyon riski olduğunu hesaplamışlardır.

Alparslan ve Küçükönder (2021), Kaman Deresi Alt Havzası'nın erozyon riskinin belirlenmesinde RUSLE tekniğini kullanmışlardır. Yağış aşındırma parametrelerini karşılaştırmışlardır. Ortalama erozyon değerlerini, GloREDA yağış aşındırma parametresi ile ortalama  $112 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ , TRMM 3B43 yağış aşındırma parametresi ile  $68 \text{ ton/ha/yıl}$  olarak bulmuşlardır.

Mutlu vd. (2021), Balıkesir Kille Çayı Havzasında RUSLE yöntemi çerçevesinde yapılan analizler sonucu bölgede az, hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli olmak üzere beş farklı erozyon risk sınıfı belirlemişlerdir. Yıllık ortalama toprak kaybını  $2,39 \text{ ton/ha/yıl}$  olarak hesaplamışlar ve bu değer Türkiye ortalamasının ( $6,14 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ ) altında bir değere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Koralay ve Kara (2022), CBS ve RUSLE yöntemi ile Trabzon Değirmendere Çatak Alt Havzası'nın erozyon miktarını hesaplamışlardır. Çalışma alanındaki yıllık ortalama toprak kaybını  $3,28 \text{ t/ha}^{-1} / \text{yıl}^{-1}$  olarak tespit etmişlerdir.

Avcıoğlu vd. (2020), Akçay Havzası'nda TanDEM-X12m sayısal yükseklik verisine dayalı erozyon tespiti yapmışlardır. Çalışma sonucunda ortalama  $28 \text{ t/ha}^{-1} / \text{yıl}^{-1}$  toprak kaybı meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Erdem ve Türkmen (2020), Ordu Çırçıp Deresi Havzası'nı çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Çalışma sonucu elde ettikleri erozyon haritasına göre bölgenin toplam alanının %48,7'sinin çok yüksek ve aşırı yüksek erozyon risk sınıfında bulunduğunu belirtmişlerdir.

Günek (2018), Uluova ve çevresinin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile RUSLE yöntemi kullanılarak erozyon duyarlılık değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmaları neticesinde yıllık potansiyel toprak kaybını yaklaşık  $0,02$  ile  $34,69 \text{ t/ha}^{-1} / \text{yıl}^{-1}$  olarak hesaplamıştır.

İkiel vd. (2020), çalışmalarında Trakya Yarımadası'nda erozyona yatkın alanların belirlenmesi, haritalanması ve güncel arazi örtüsü ile ilişkisinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada toprak kaybının belirlenmesinde yağış erozif faktörü (R), toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K), Eğim Uzunluğu ve Eğim Dikliği faktörü (LS), arazi örtüsü faktörü (C) ve Erozyon Kontrol faktörü (P) hesaplanarak RUSLE yöntemi uygulamışlardır. Çalışma sahasını altı farklı duyarlılık sınıfına ayırmışlar ve inceleme alanının %75,0'ında çok hafif, %6,7'sinde hafif, %8,2'sinde orta, %3,3'ünde güçlü, %3,8'inde şiddetli ve %2,9'unda çok şiddetli erozyon olduğunu tespit etmişlerdir.

Ege (2019), çalışmasında farklı bir litolojide gelişmiş olan peribacalarının oluşum ve özelliklerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu amacı çerçevesinde erozyon miktarını hesaplamıştır. Sonuç olarak erozyon risk analizi haritasına göre; erozyon riskinin düşük duyarlılığa sahip olduğu alanların %29, orta duyarlılığa sahip alanların %55, yüksek riskli bölgelerin ise çalışma alanının %15'ini kapladığını ve bu bölgelerdeki yıllık toprak kaybını sırası ile  $3451564,06 \text{ t/ha}^{-1} / \text{yıl}^{-1}$ ,  $6472807,09 \text{ t/ha}^{-1} / \text{yıl}^{-1}$ ,  $1756153,02 \text{ ton/ha/yıl}$  olarak hesaplamıştır.

Mutlu ve Soykan (2018), Havran Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık ve dağılışının belirlenmesi, yıllık ortalama toprak kaybının belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışmaları neticesinde erozyon sınıflarını hafif, orta, güçlü, şiddetli ve çok şiddetli olarak belirlemişlerdir. Havzanın % 51'inin hafif- orta, %49'unun ise güçlü – çok şiddetli erozyon duyarlılık sınıfında olduğunu tespit etmişlerdir.

Uludağ ve Fıçıcı (2018), Tekirdağ İli Saray İlçesi güncel erozyon risk durumunu tespit etmişlerdir. Topografya haritaları, jeoloji ve büyük toprak grupları haritaları, ETM 7+ uydu görüntüleri, MGM Saray, Kapaklı, Çerkezköy ve Kıyıköy'e ait aylık ortalama yağış verilerini ARCGIS yazılımı aracılığıyla sayısallaştırmışlar ve haritalar üretmişlerdir. Elde edilen eğim, yükselti, yağış/toprak/arazi örtüsü faktörü haritaları sonucu erozyon risk sınıflarının dağılımlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak Saray ilçesinde, yıllık 5 ton ve daha az olan erozyon alanlarının  $70\ 659 \text{ ha}$  ile ilçe sınırlarının %91,54'üne karşılık geldiğini tespit etmişlerdir. 5 tondan daha fazla erozyona maruz kalan alanların toplamını ise 6

530 hektar olarak hesaplayıp çalışma bölgesi içerisindeki payının % 8,46 olduğunu bulmuşlardır. Elde edilen veriler neticesinde çalışma alanında erozyon şiddetinin çok etkili olmadığını belirtmişlerdir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada Mersin ili idari sınırlarını kapsayan alan çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Mersin ili, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, kuzeyde Toros Dağları, güneyde Akdeniz ile çevrilidir. Coğrafi olarak 36°–37° kuzey enlemleri ile 33°–35° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü yaklaşık 15.853 km<sup>2</sup> olan Mersin, bu geniş alanda kıyı şeridinden Toros Dağları'nın yüksek kesimlerine kadar değişen bir topoğrafik yapıya sahiptir. Bölgede yazları sıcak, nemli ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan tipik Akdeniz iklimi etkilidir. Kıyıdan iç kesimlere yaklaştıkça karasal iklim özellikleri de görülmektedir. Mersin ili yıllık ortalama sıcaklık 19.3°C , aylık toplam yağış miktarı ortalaması 610.9 mm'dir (Tablo 3.1). Güneyden esen sıcak ve nemli kible rüzgârları bölgede etkilidir. Çalışma bölgesi çoğunlukla ovalık ve hafif eğimlidir.



Şekil 3.1. Araştırma bölgesi olarak seçilen Mersin ili

**Tablo 3.1.** MGM 1940-2023 (MGM, 2024)

<b>MERSİN</b> <b>Ölçüm Periyodu (1940-2023)</b>	<b>Ocak</b>	<b>Şubat</b>	<b>Mart</b>	<b>Nisan</b>	<b>Mayıs</b>	<b>Haziran</b>	<b>Temmuz</b>	<b>Ağustos</b>	<b>Eylül</b>	<b>Ekim</b>	<b>Kasım</b>	<b>Aralık</b>	<b>Yıllık</b>
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>	10,2	11,2	13,8	17,6	21,4	25,1	27,9	28,4	25,9	21,6	16,3	12	19,3
<b>Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	14,7	15,6	18,2	21,7	25	28,2	30,8	31,6	30,1	26,8	21,6	16,6	23,4
<b>Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	6,4	7	9,3	13	17	21	24,1	24,4	21,1	16,5	11,7	8	15,0
<b>Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)</b>	4,8	5,6	6,8	7,7	8,6	9,9	10,1	9,9	9,2	7,6	5,7	4,7	7,5
<b>Ortalama Yağışlı Gün Sayısı</b>	10,52	9,15	7,79	6,63	5,1	2,27	0,9	0,79	1,69	4,87	6,64	10,3	66,7
<b>Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)</b>	119,5	85,1	56,2	33,9	23,6	10,2	11,3	7,2	11,9	37,8	77,3	136,9	610,9

Mersin'in 1940-2023 yılları arasındaki iklim verileri incelendiğinde, şehrin tipik bir Akdeniz iklimi özelliği gösterdiği görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 19,3°C iken, en yüksek sıcaklıklar Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama 30°C seviyelerine ulaşmaktadır. Yaz aylarında, özellikle Temmuz ve Ağustos'ta, sıcaklıklar oldukça yüksek seyrederken, kış aylarında ise sıcaklıklar ılıman kalmaktadır. Ocak ayında ortalama sıcaklık 10,2°C ile en düşük seviyede bulunurken, Aralık ayında da bu sıcaklık 12°C'ye yükselmektedir. Mersin, yıl boyunca yüksek bir güneşlenme süresine sahiptir; ortalama güneşlenme süresi yıllık 7,5 saat olarak kaydedilmiştir. Yaz aylarında güneşlenme süresi 9-10 saat arasında değişirken, kışın bu süre 4,7 saat civarına düşmektedir. Yağış açısından ise, Mersin'de yılın büyük kısmı kurak geçmekte, ancak kış ve sonbahar aylarında yağış miktarı artmaktadır. Yıllık toplam yağış miktarı 610,9 mm olup, Ocak ayında en yüksek yağış miktarı 119,5 mm olarak ölçülürken, yaz aylarında ise Temmuz ve Ağustos'ta yağış miktarı oldukça düşmektedir. Yağışlı gün sayısı, 66,7 gün ile yılın büyük kısmını kapsamaz, ancak bu yağışlar genellikle kış aylarında yoğunlaşmaktadır.

### 3.1.2. Veri Setleri

Çalışma alanına ait yıllık erozyon miktarının hesaplanmasında iklim verisi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023 yağış verisinden, toprak verisi için FAO dijital dünya toprak haritasından, DEM için ASTER Dem verisi ve arazi kullanımı için 2023 LANDSAT veri setinden faydalanılmıştır (Tablo 3.2). ArcGIS 10.8 programı aracılığıyla RUSLE yöntemi Mersin ilini kapsayan çalışma bölgesinde uygulanmıştır.

**Tablo 3.2.** Çalışmada kullanılan veriler ve elde edilen kaynaklar

Veri	Kaynak
İklim	MGM
Toprak	FAO
DEM	USGS Earth Explorer
Arazi kullanımı	USGS Earth Explorer

#### 3.1.2.1. İklim Veri Seti

Çalışma alanına ait yağış erozif faktör (R faktör) hesaplanmasında Mersin ili ve çevresinde yer alan Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kontrolleri sağlanan toplam 38 adet istasyondan elde edilen 2023 yılı aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır (Tablo 3.3).

**Tablo 3.3.** R Faktör hesaplamasında kullanılan MGM İstasyon Adları

İstasyon Adı			
1	Mersin	20	Silifke -Akdere
2	Anamur	21	Mut-Çortak
3	Tarsus	22	Toroslar-Yanpar
4	Erdemli	23	Mezitli-Kuyuluk
5	Mut	24	Anamur-Elbalak Yaylası
6	Silifke	25	Bozyazı-
7	Gülner	26	Silifke-Uzuncaburç
8	Çamlıyayla	27	Karaman-Taşkale Beldesi
9	Aydıncık	28	Ayrancı-Berendi Köyü
10	Karaisalı	29	Ulukışla-Bolkar Dağı
11	Erdemli-Tömük	30	Pozantı-Akçatekir
12	Tarsus-Ardıçlı	31	Silifke-Uzuncaburç
13	Toroslar-Arslanköy	32	Karataş-Konaklı Köyü
14	Toroslar-Kızılbağ	33	Ermenek
15	Gülner-Konur	34	Antalya Gazipaşa Havalimanı-
16	Erdemli-Yağda	35	Gazipaşa-Karatepe Köyü
17	Silifke-Gündüzler	36	Gazipaşa-
18	Mut-Tozlu	37	Ermenek-Balkusan Köyü
19	Mut-Kızılalan	38	Karaman-Bucakkışla Beldesi

### 3.1.2.2. Toprak Veri Seti

K faktör hesaplanabilmesi için Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) dijital dünya toprak haritası kullanılmıştır. FAO, 1945 yılında kurulmuş, uluslararası bir organizasyondur. Temel amacı, dünyadaki açlığı sona erdirmek, gıda güvenliğini sağlamak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmektir.

Çalışma alanında bulunan toprak türleri incelendiğinde bölgede beş farklı toprak cinsi olduğu tespit edilmiştir. Bu toprak türleri I (Lithosols), XK (Skeletal), AO (Arenosols), LC (Luvisols ) ve VC (Vertisols)'dir. Bu toprak türlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, toprağın su erozyonuna karşı direncini belirlemektedir.

Yüksek kum oranına sahip toprakların su geçirgenliği fazladır, suyu tutucu bir yapıya sahip olmayıp erozyona karşı dirençleri düşüktür. Kum oranı düşük olduğunda ise toprak daha az geçirgen hale gelmekte ve suyu yüzeyde tutabilmektedir. Bu da toprağın erozyona karşı direncini arttırmaktadır.

Siltli topraklar, ince yapılı partiküllere sahip olup erozyona karşı oldukça hassastır. Düşük silt oranı, toprağın daha dayanıklı ve erozyona daha dirençli olmasını sağlamaktadır.

Kil oranı arttıkça, toprak daha sıkı bağlanmakta ve su tutma kapasitesi artmaktadır. Bu durum, toprağın erozyona karşı direncini arttırmaktadır. Düşük kil oranına sahip toprak bağlayıcılığını kaybedip ve kolayca taşınabilir hale gelmektedir.

Toprağın organik karbon içeriği, toprak parçacıklarını bir arada tutan ve erozyonu azaltan önemli bir faktördür. Organik madde, suyu emerek yüzey akışını ve toprak kaybını azaltmaktadır. Bu nedenle, yüksek organik karbon içeriği, toprağın erozyona karşı direncini arttırmaktadır.

**Tablo 3.4.** Çalışma alanına ait toprak sınıflarının kum, silt, kil ve organik madde oranları (FAO, 2024).

Toprak cinsi	Kum oranı (%)	Silt oranı (%)	Kil oranı (%)	Organik karbon oranı (%)
I	58,9	16,2	24,9	0,97
XK	48,7	29,9	21,6	0,64
AO	53,6	15,8	30,6	2,25
LC	64,3	12,2	23,5	0,63
VC	22,4	24,5	53	0,69

Çalışma alanında tespit edilen toprak türleri ve bunlara ait fiziksel ve kimyasal özellikler bölgedeki erozyon dinamiklerini anlamak için temel bir altyapı sağlamaktadır. Kum oranı, toprakların drenaj kapasitesi ve su geçirgenliği üzerinde doğrudan etkili bir parametredir. Tablo 3.4 incelendiğinde, çalışma alanındaki toprak türlerinin kum oranlarının %48,7 ile %22,4 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu da çalışma alanındaki toprakların büyük ölçüde geçirgen olduğunu ve suyun toprak profilinden hızla sızabileceğini göstermektedir. Bu durum, yüzey akışı sırasında ince taneli toprak parçacıklarının taşınmasına ve erozyon riskinin artmasına yol açmaktadır.

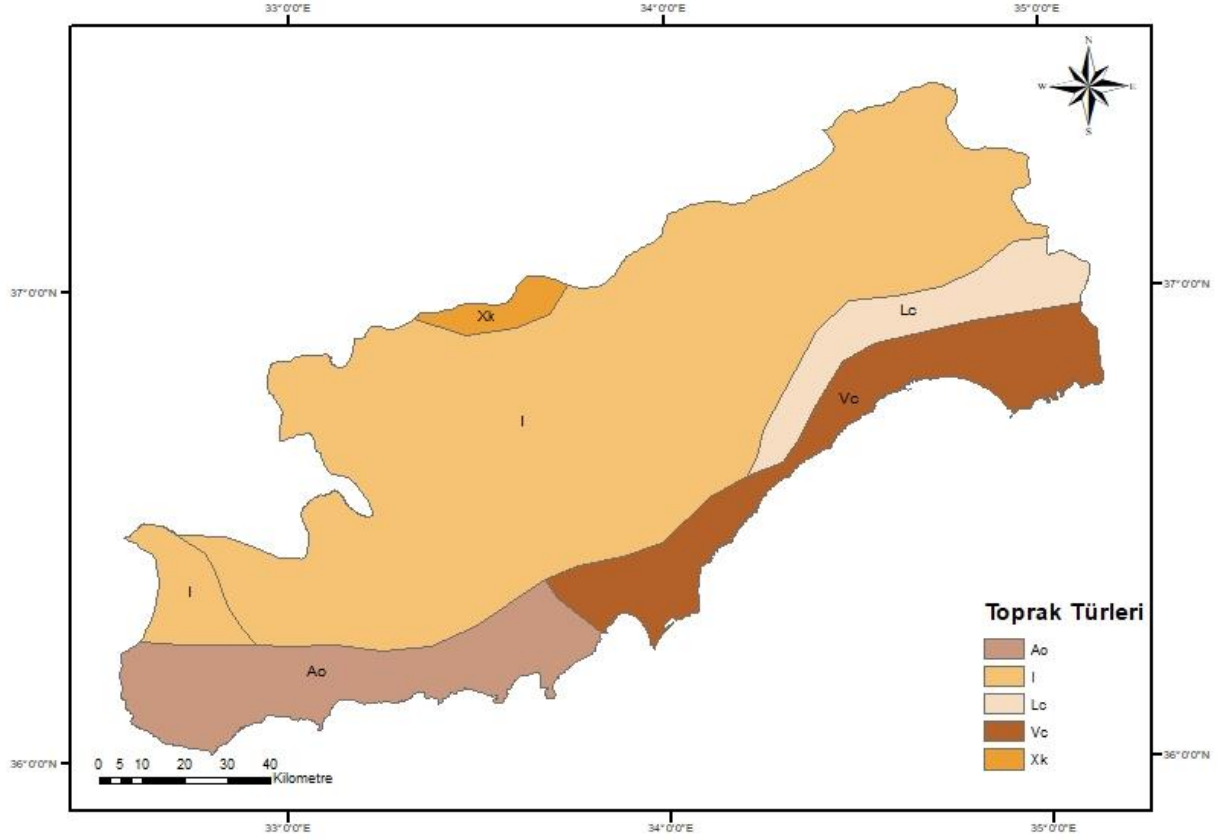
Silt oranı yüksek olan toprakların (XK ve VC), şiddetli yağışlarda erozyona karşı duyarlılığı artmaktadır. Siltli toprak, özellikle eğimli arazilerde su erozyonuna karşı oldukça hassastır.

Killi topraklar, kil fraksiyonunun baskın olduğu ve ince yapıli taneciklerin yoğunlukla bulunduğu topraklardır. Bu topraklarda, küçük gözenekler suyun ve havanın hareketini zorlaştırmaktadır. Genellikle süzek olmayan killi topraklar, suyu yüzeyde tutmaya eğilimlidir. Bu özellik, şiddetli yağışlar sırasında su birikimine ve yüzey akışına neden olarak erozyon riskini arttırmaktadır. Az miktarda kil, toprağın parçalanmasını önleyerek erozyon duyarlılığını azaltır. Çok yüksek kil oranı, toprağın su geçirgenliğini düşürür ve yüzey akışını artırarak erozyon riskini artırabilir. %20-40 arası kil oranı, toprak için genelde optimum stabilite sağlamaktadır.

Organik karbon oranı ise, toprakların organik madde içeriğini ve bu doğrultuda erozyona dayanıklılığını belirlemede önemli bir göstergedir. Çalışma alanındaki topraklarda organik karbon oranı %0,63 ile %2,25 arasında değişmektedir. Bu durum, özellikle düşük karbon oranına sahip topraklarda (örneğin LC ve XK), bitki örtüsünün yetersiz olduğu bölgelerde erozyon riskini artırabilecek bir faktör olarak değerlendirilebilir.

Toprak cinsleri arasında yapılan değerlendirmelerde, kum oranı yüksek olan toprakların (örneğin LC ve I) erozyona daha yatkın olduğu, buna karşılık kil oranı yüksek olan toprakların (örneğin VC) yüzey akışına karşı daha dirençli olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu özellikler, çalışma alanında RUSLE modeline dayalı erozyon analizi yapılırken dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

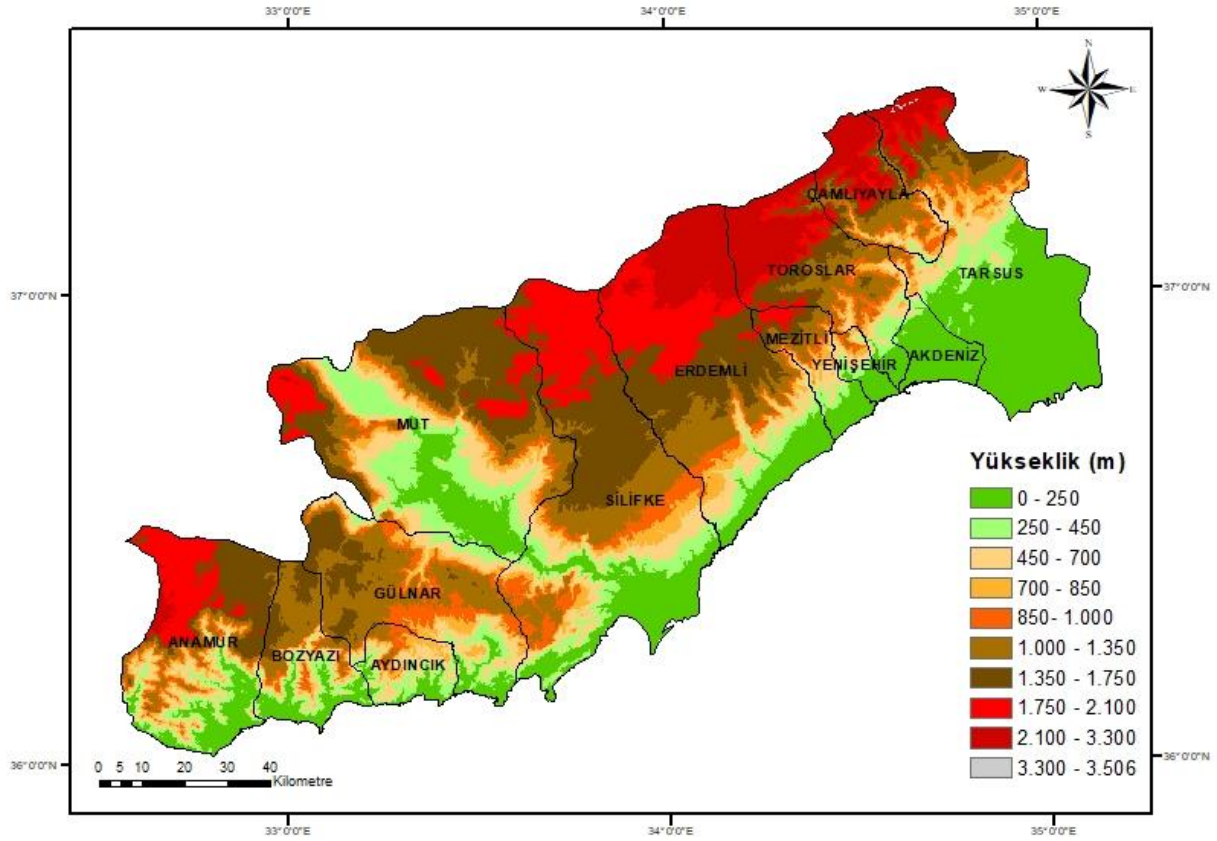
FAO'dan elde edilen dijital toprak haritası kullanılarak, çalışma alanında yaygın olarak bulunan toprak türü I olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma alanındaki toprak türleri

### 3.1.2.3. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)

USGS Earth Explorer ASTER DEM uydu verisi kullanılmıştır. Çalışma alanına ait yükseklik haritası aşağıda verilmiştir. Mersin iline ait yükseklik haritası, ilin topoğrafik çeşitliliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Yükseklik haritası oluşturulurken değer aralıkları HGM (Harita Genel Müdürlüğü) haritasına göre belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Mersin yükseklik haritası

Mersin iline ait yükseklik haritası (Şekil 3.3), bölgenin topoğrafik çeşitliliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Haritada, yükseklik değerlerinin 0 ila 3.506 metre arasında değiştiği görülmektedir. İl genelinde kıyı kesimleri, özellikle Tarsus, Akdeniz ve Yenişehir ilçeleri, 0-250 metre arası düşük rakımlı alanlarla temsil edilmektedir. İç kesimlere ve dağlık bölgelere doğru gidildikçe, özellikle Çamlıyayla ve Toroslar ilçelerinde, yükseklik değerleri 1.750 metreyi aşmakta ve yer yer 3.300 metreyi geçen zirveler bulunmaktadır. Bu yükseklik farkları, bölgenin ekolojik çeşitliliğini ve arazi kullanım şekillerini etkileyen önemli bir faktör olup, erozyon riski açısından da belirleyici bir unsur teşkil etmektedir.

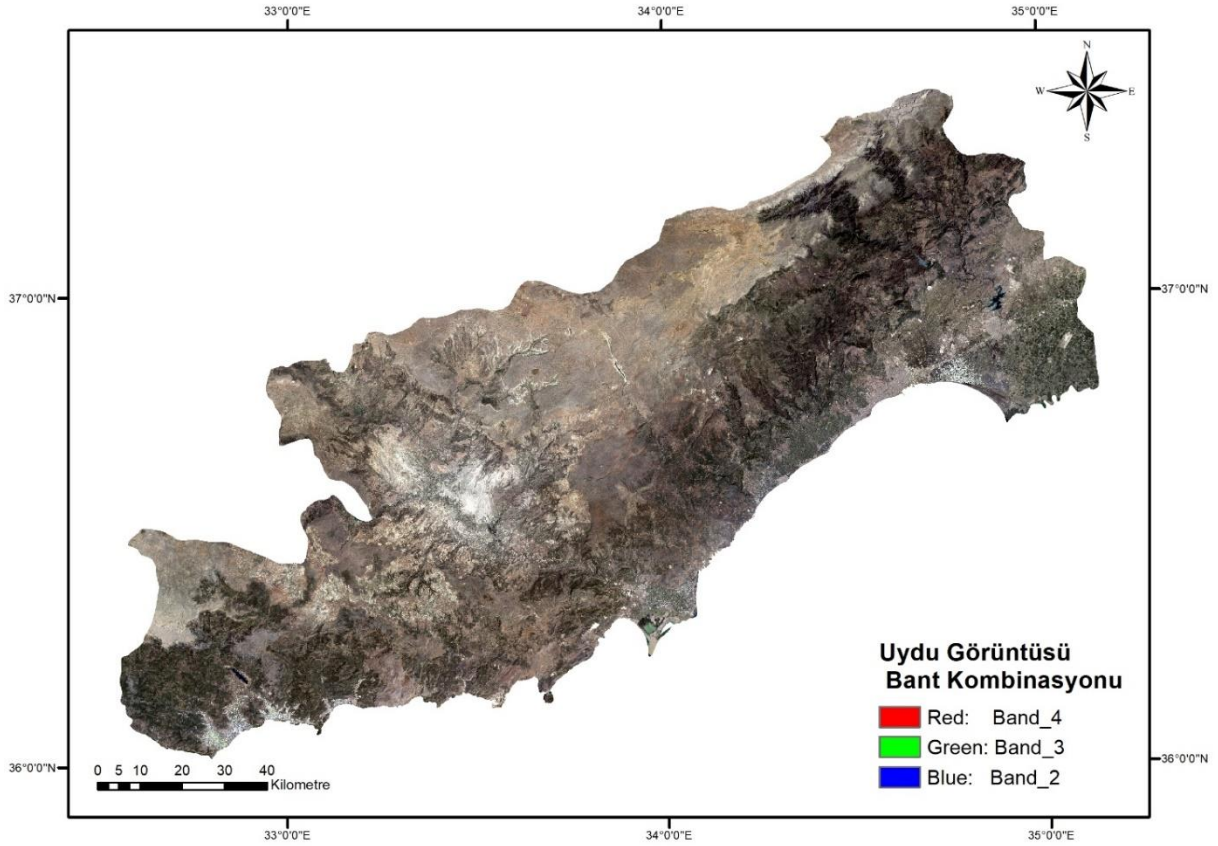
#### 3.1.2.4. Arazi Kullanımı

Tez çalışmasında P ve C faktörlerinin hesaplanmasında LANSAT verileri kullanılmıştır. LANDSAT verileri, Dünya yüzeyinin uzun vadeli ve çoklu spektral gözlemlerini sağlayan uydu kaynaklı uzaktan algılama verileridir. 1972 yılında başlatılan LANDSAT programı, ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) ve NASA tarafından yürütülmektedir. Veriler; tarım, bölgesel planlama, ormancılık, jeoloji, arazi kullanım analizi, çevresel izleme ve doğal kaynak yönetimi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Arazi kullanımı ve bitki örtüsü analizi gerçekleştirilirken arazi kullanım değişikliklerinin izlenmesi amacıyla 2023 yılına ait yakın tarihlerdeki uydu görüntüleri Earth Explorer veri platformu kullanılarak indirilmiş ve birleştirilmiştir (Şekil 3.4). Kullanılan LANDSAT uydu görüntülerine ait özellikler ise Tablo 3.5’de yer almaktadır.

**Tablo 3.5.** LANDSAT uydu görüntüsü özellikleri

LANDSAT	Mekânsal Çözünürlük (m)	Bantlar	Path/Row	Tarih
8 OLI	30	2,3,4,5	176/34-35	14.07.2023
9 OLI-2	30	2,3,4,5	175/34-35	15.07.2023
9 OLI-2	30	2,3,4,5	177/34	13.07.2023



**Şekil 3.4.** Birleştirilmiş 4,3,2 bant kombinasyonları ile sunulan LANDSAT görüntüsü

### 3.2. Yöntem

Çalışmada tahmine dayalı ampirik bir model olan Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) yöntemi kullanılarak erozyon risk haritası oluşturulmuştur. RUSLE yöntemi Wischmeier ve Smith (1978) tarafından geliştirilen Universal Soil Loss Equation (USLE) yönteminin 1991 yılında güncellenmesi ile elde edilmiştir. Toprak erozyonu parametrelerini hesaplayarak yıllık ortalama toprak kaybını tahmin etmek için en yaygın kullanılan erozyon yöntemidir. Model beş parametreye dayalı olarak erozyon riskini hesaplamaktadır. Bu parametreler; yağış, toprak, arazinin eğimi ve eğim

uzunluğu, arazi örtüsü ve erozyon önleyici faktördür. RUSLE eşitliğinde kullanılan formül (Eşitlik 3.1) aşağıda verilmiştir:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (3.1)$$

Burada;

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

R: Yağış aşındırma faktörü

K: Toprak erodobilite faktörü

LS: Eğim ve eğim uzunluğu faktörü

C: Arazi kullanımı ve bitki örtüsü faktörü

P: Toprak koruma önlemleri faktörü

### 3.2.1. Yağış Aşındırma Faktörü (R)

En önemli iklim elemanlarından biri olan yağışın sebep olduğu yüzeysel akışın erozyona etkisinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Yağışın şiddeti, süresi, yere çarpan yağmur damlacıklarının boyutu ve çarpma açısı erozyon şiddeti üzerinde doğrudan etkilidir (Mutlu ve Soykan, 2018; Mutlu vd. 2021). Kırıcı (2019), R faktörün aşındırma etkisinin yıllık yağış miktarındaki artış ile doğru orantılı olduğunu söylemiştir.

Yağışın toprak kaybına etkisini daha doğru bir şekilde tahmin edebilmek için farklı R faktörü formülleri geliştirilmiştir. Bu formüller aşağıda ayrı başlıklar altında incelenmiş olup formül seçimi, çalışmanın amacına, veri türüne, analiz ölçeğine ve arazi koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

#### 3.2.1.1. Wischmeier ve Smith (1978)

Wischmeier ve Smith, R faktörünü belirlemek için yağışın şiddeti ve yoğunluğunu dikkate alan bir formül geliştirmiştir. Bu formül, özellikle belirli bir bölgedeki yağış şiddetinin, sürekliliğinin ve yağışın düşüş yoğunluğunun etkisini hesaba katmaktadır.

Yağış ve koşul faktörü olan R genellikle şu şekilde hesaplanır (Eşitlik 3.2):

$$R = 0.5 \times P_{24} + 1.5 \times P_{48} + 2.0 \times P_{72} \quad (3.2)$$

Burada;

$P_{(24)}$ : 24 saatlik toplam yağış miktarı,

$P_{(48)}$ : 48 saatlik toplam yağış miktarı,

$P_{(72)}$ : 72 saatlik toplam yağış miktarı.

Bu formül genellikle Amerika Birleşik Devletleri gibi ılıman iklim koşullarına sahip bölgelerde, kısa vadeli erozyon tahminleri ve tarım arazilerinde kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir. Bölgesel

analizler için uygundur, özellikle tarım alanları ve küçük arazilerde yerel yağış verileri kullanılarak daha basit hesaplamalar yapılabilir ancak eğimli ve dağlık alanlarda daha düşük doğruluğa sahip olabilmektedir.

### 3.2.1.2. Farnsworth ve Thompson (1982)

Farnsworth ve Thompson (1982) tarafından geliştirilen bu formül, yağış şiddeti, süresi ve yoğunluğu gibi faktörleri dikkate alarak daha ayrıntılı hesaplamalar yapmaktadır. Bu formül (Eşitlik 3.3), özellikle yoğun ve kısa süreli yağışlar ve bölgesel yağış modelleri için uyarlanmıştır.

$$R = 100 \times \left(\frac{P_1}{P_T}\right) \quad (3.3)$$

$P_1$ : Bu, belirli bir süre (örneğin, bir yıl) için ölçülen toplam yağış miktarını ifade etmektedir. Genellikle milimetre (mm) cinsinden ifade edilmektedir.

$P_T$ : Toplam yıllık ortalama yağış miktarıdır. Bu değer, bölgenin normal yağış miktarına göre hesaplanmaktadır.

### 3.2.1.3. Meyer ve Van Dijk (1991) Formülü

Meyer ve Van Dijk (1991) formülü, genellikle tropikal ve subtropikal bölgelerdeki yağış şiddetini daha doğru bir şekilde hesaba katmak için geliştirilmiştir. Bu formül, yağış miktarını, yağışın frekansını ve şiddetini dikkate alarak özellikle tropikal iklimlerin dinamik yapısını yansıtmaktadır. Formül, Eşitlik 3.4'de yer almaktadır:

$$R = (P_m + 0.2) \times \left(\frac{P_r}{P_a}\right) \quad (3.4)$$

Formülün Bileşenleri:

$P_m$ : Maksimum yağış miktarı (genellikle milimetre cinsinden). Bu, yıl boyunca görülen en yoğun yağış miktarını ifade etmektedir.

$P_r$ : Yağışlı gün sayısı (yılda toplam yağışlı gün sayısı). Bu, yağışın sıklığını ve mevsimsel dağılımını göstermektedir.

$P_a$ : Yıllık ortalama yağış miktarı (milimetre cinsinden). Bu, bölgedeki yıllık toplam yağış miktarının ortalamasını temsil etmektedir.

Yağışın şiddeti, sıklığı ve yoğunluğunu dikkate alarak, bu formül yerel toprak kaybı tahminlerini daha doğru bir şekilde yapmayı sağlamaktadır. Ancak, kuru ve soğuk iklimle sahip bölgeler için erozyon tahmininde uygun değildir.

### 3.2.1.4. Govers et al. (1996) Modified R Factor Formülü

Govers et al. (1996) tarafından geliştirilen Modified R Factor formülü, özellikle toprak erozyonunu modellemek ve R faktörünü daha doğru bir şekilde hesaplamak amacıyla geliştirilmiş bir uyarlamadır. Bu formül, daha önceki R faktörü hesaplama yöntemlerinin (örneğin, Wischmeier ve Smith'in 1978 formülü) sınırlamalarını gidermek ve daha yerel koşullara uygun hesaplamalar yapabilmek için optimize edilmiştir. Govers et al. (1996) formülü, genellikle yağışın şiddeti, sürekliliği ve frekansı ile birlikte toprağın fiziksel özelliklerini ve yerel koşulları dikkate almaktadır. Genellikle eğimli arazilerdeki toprak kaybı (erozyon) tahminlerinde kullanılmaktadır. Formül Eşitlik 3.5'de verilmiştir.

$$R = P \times \left(\frac{I_{30}}{100}\right) \times \frac{K_{max}}{P_{max}} \quad (3.5)$$

Formülün Bileşenleri:

P: Yıllık toplam yağış miktarı (mm). Bu, belirli bir bölgedeki yıllık yağış miktarını ifade eder.

I<sub>30</sub>: 30 dakikalık maksimum yağış şiddeti (mm/30 dakika), yağışın yoğunluğunu belirtir. Bu parametre, şiddetli yağışların toprak kaybına etkisini ifade eder.

K<sub>max</sub>: Toprağın maksimum erozyon hassasiyeti (bu genellikle toprak tipine bağlıdır ve bir katsayı olarak ifade edilir).

P<sub>max</sub>: Yağışın maksimum şiddeti (mm). Bu, belirli bir dönemdeki en yoğun yağış miktarını temsil eder.

Karmaşık araziler, eğimli ve çok sayıda topoğrafik veri ile gerçekleştirilen analizlerde, özellikle dağlık alanlarda tercih edilmektedir. Büyük havza modellemeleri ve GIS tabanlı çalışmalar için uygundur.

### 3.2.1.5. Schreiber R faktör formülü

Bu formül, yağış miktarındaki artışı yüksekliğe (ya da topoğrafik özelliklere) dayandırarak bir ilişki kurmaktadır. Schreiber'in formülü, her 100 metrede 54 mm yağış artışı olduğunu belirtmekte olup Eşitlik 3.6'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$Ph = Po + 4,5h \quad (3.6)$$

Formüle göre, Ph: ortalama yağış miktarı (mm), Po: verileri bilinen noktanın ortalama aylık yağış miktarı (mm)'dir.

Aykır ve Fıçıcı (2022) çalışmalarında Schreiber'in geliştirmiş olduğu bu formülü kullanmışlardır.

### 3.2.1.6. Modified Fournier İndeksi (MFİ) Formülü

Toprak erozyonunu tahmin etmek, su kaynaklarını yönetmek ve özellikle yağış rejimlerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir iklimsel parametredir. Bu indeks, özellikle yağışın erozyon üzerindeki etkilerini anlamak için yaygın olarak kullanılmakta ve yağışın yoğunluğu ile uzun süreli etkilerini dikkate almaktadır. Bu indeks (Eşitlik 3.7), bölgedeki su akışı ve erozyon potansiyelini tahmin etmek için önemli bir araçtır.

$$MFİ = \frac{\sum P_i^2}{P_{total}} \quad (3.7)$$

$P_i$ : Her ay içinde meydana gelen en yoğun (maksimum) yağış. Bu, özellikle kısa süreli şiddetli yağışların etkisini anlamaya yönelik bir ölçüdür.

$P_{total}$ : Yılda toplam düşen yağış miktarı

Mutlu, Soykan ve Fıçıcı (2021) yağış erozif faktörü,

$R = (4.17 \text{ MFİ}) - 152$  sabit değeri ile hesaplanmıştır. Çalışma alanına ait R faktör hesaplanmasında da bu eşitlik kullanılmıştır. 38 farklı istasyona ait verilerden yararlanılmıştır. Krigging işlemi gerçekleştirilmiştir.

ArcGIS'te yağış verisi için Kriging uygulaması, mekânsal verilerin (örneğin, farklı noktalar arasındaki yağış miktarlarını temsil eden veriler) tahmin edilmesi amacıyla kullanılan güçlü bir coğrafi analiz aracıdır. Kriging, ArcGIS gibi Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarında, coğrafi verileri modelleyerek bilinmeyen yerlerdeki değerleri tahmin etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Yağış verisi, genellikle belirli istasyonlardan alınan ölçümlerle elde edilmekte ve bu ölçümler kullanılarak daha geniş bir alan için tahminler yapılabilmektedir. MFİ, her ayın yağış miktarını ayrı ayrı değerlendirerek yağışın yıl içindeki düzensiz dağılımını dikkate almaktadır. Mersin gibi Akdeniz iklimine sahip bölgelerde, yağışın mevsimlere göre yoğun farklılık gösterdiği düşünüldüğünde, bu indeks erozyon potansiyelinin daha hassas ölçülmesini sağlamaktadır. Yağışın yıl içindeki değişkenliğini iyi yansıtması nedeniyle MFİ, R faktörünün hesaplanmasında yaygın olarak tercih edilmektedir. Akdeniz bölgesi gibi kışın yoğun yağış alan ancak yazın kurak geçen bölgelerde bu indeks doğru bir R faktörü hesaplamasına katkıda bulunmaktadır.

### 3.2.2. Toprak Erodabilite Faktörü (K)

K faktörü, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine dayalı olarak hesaplanmakta olup, 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Erodabilite, yani toprak aşınabilirliği, toprağın ayrışma ve taşınmaya karşı gösterdiği dirençle ilişkili bir özelliktir. Toprağın tanecik boyutu, hidrolik geçirgenliği, tekstürü ve

yapısal özellikleri, erozyona karşı direncini belirleyen önemli faktörlerdir (İkiel vd., 2020). Yüksek K faktörüne sahip topraklar, yüksek aşınabilirlik oranına ve dolayısıyla artan erozyon duyarlılığına sahip olup, bu topraklar daha kolay erozyona uğrayabilir.

Çalışmada K faktör hesaplanması için kullanılan formül Eşitlik 3.8'de verilmiştir.

$$\mathbf{K} = \mathbf{F}_{csand} * \mathbf{F}_{cl-si} * \mathbf{F}_{orgc} * \mathbf{F}_{hisand} \quad (3.8)$$

$$\mathbf{F}_{csand} = (0,2 + 0,3 * \exp[-0,256 * ms * (1 - \frac{msilt}{100})]) \quad (3.9)$$

$$\mathbf{F}_{cl-si} = (\frac{msilt}{mc+msilt})^{0,3} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{F}_{orgc} = (1 - \frac{0,25 \text{ orgc}}{\text{orgc} + \exp[3,72 - 2,95 * \text{orgc}]}) \quad (3.11)$$

$$\mathbf{F}_{hisand} = (1 - \frac{0,7 * (1 - \frac{ms}{100})}{(1 - \frac{ms}{100}) + \exp[-5,51 + 22,9 (1 - \frac{ms}{100})]}) \quad (3.12)$$

$F_{csand}$ : Çakıl kum oranı (sand fraction), toprağın kum içeriğini temsil eder. Kum, toprak yapısını ve suyun hareketini etkileyebilir (Eşitlik 3.9).

$F_{cl-si}$ : Kil-silt oranı (clay-silt fraction), toprakta bulunan kil ve silt oranını ifade eder. Kil ve silt, su tutma kapasitesini artırır ve erozyon riskini etkiler (Eşitlik 3.10).

$F_{orgc}$ : Organik karbon içeriği (organic carbon content), toprakta bulunan organik madde miktarını ifade eder. Organik madde, toprağın su tutma kapasitesini artırır ve erozyona karşı direnç gösterir (Eşitlik 3.11).

$F_{hisand}$ : Kum partikül boyutu (historical sand), toprakta bulunan kum parçacıklarının geçmişteki özelliklerini veya büyüklüğünü ifade eder. Kum partikülleri, suyun ve rüzgârın hareketini etkileyebilir (Eşitlik 3.12).

Bu formül, toprak erozyonunun duyarlılığını (K faktörü) belirlerken toprak yapısının (kum, kil, silt oranı), organik madde içeriğinin ve kum partiküllerinin özelliklerini dikkate almaktadır

Çalışma alanına ait K faktör hesaplanmasında Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) dijital dünya toprak haritası kullanılmıştır. Dünya toprak haritası çalışma bölgesine göre clip işlemi yapıldıktan sonra çalışma alanındaki yaygın toprak türleri (domsoi) tespit edilmiştir. Bu türlere ait kum, silt, kil ve organik madde oranları kullanılarak K faktörü hesaplanmıştır. Çalışma alanını kapsayan bölgede 5 farklı toprak sınıfı tespit edilmiş olup bu sınıflara ait K faktör değerleri Tablo 3.6'da, toprak özellikleri ve kullanım alanları Tablo 3.7'de verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Çalışma alanındaki toprak cinslerine göre K faktör değerleri

<b>Toprak Cinsi</b>	<b>sand % topsoil</b>	<b>silt % topsoil</b>	<b>clay % topsoil</b>	<b>OC % topsoil</b>	<b>F<sub>csand</sub></b>	<b>F<sub>cl-silt</sub></b>	<b>F<sub>org</sub></b>	<b>F<sub>hisand</sub></b>	<b>K factor</b>
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97	0,200001	0,756314	0,927169	0,994235	0,139438
<b>XK</b>	48,7	29,9	21,6	0,64	0,200048	0,849492	0,976766	0,999299	0,165874
<b>AO</b>	53,6	15,8	30,6	2,25	0,200003	0,723839	0,755867	0,998056	0,109214
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63	0.2	0,724615	0,977702	0,983034	0,139288
<b>VC</b>	22,4	24,5	53	0,69	0,203952	0,707879	0,971627	0,999997	0,140277

**Tablo 3.7.** Bölgede bulunan toprak türleri, özellikleri ve kullanım alanları

<b>Toprak Kodu</b>	<b>Toprak Türü</b>	<b>Genel Özellikler</b>	<b>Kullanım Alanları</b>
XK	Skeletalic	Yüzeyde taş ve çakıl oranı yüksek ise erozyona karşı koruyucu etki sağlamaktadır, ince toprak örtüsü, düşük su tutma kapasitesi, erozyona duyarlı.	Tarımsal kullanım sınırlı, otlak veya çalılık alanlar için uygun.
I	Lithosols	İnce toprak katmanı, organik madde az, yüksek erozyon riski, iyi drenaj.	Otlak, ormancılık veya doğal koruma alanları için uygun.
VC	Vertisols	Vertisoller yoğun kil içerdiği için suyu emer ama doyunluğa ulaştığında geçirimsiz hale gelir. Yüzeyde su birikimi ve akışı artar, bu da su erozyonunu tetikleyebilir ruma sırasında toprak yüzeyinde çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar yağmur suyunun toprağa hızla nüfuz etmesine olanak tanır, ancak yüzey akışı oluşmazsa su erozyonu riski azalır.	Tahıl üretimi ve çeltik için uygun, ancak işleme zorlukları mevcut.
AO	Arenosols	Arenosol topraklar, geçirgenlikleri yüksek olduğu için düz alanlarda su erozyonuna dayanıklıdır. Ancak, eğimli arazilerde ve bitki örtüsünün yetersiz olduğu bölgelerde su erozyonu riski artar.	Otlak veya düşük yoğunluklu tarım alanları için uygun.
LC	Luvisols	Luvisol topraklar, düz veya hafif eğimli bölgelerde genellikle su erozyonuna karşı dayanıklıdır. Ancak, eğimli arazilerde ve bitki örtüsünün yetersiz olduğu yerlerde su erozyonu riski artar.	Tarım için uygun, tahıl, sebze ve meyve üretimi yaygın.

### 3.2.3. Eğim ve Eğim Uzunluğu Faktörü (LS)

Eğim, suyun akış yönünü ve hızını belirlediği için erozyon büyüklüğünü etkileyen en önemli topoğrafik faktörlerden biridir. Arazinin eğimi arttıkça erozyona duyarlılığı da artmaktadır. Bu sebeple erozyon çalışmalarında eğim verisi büyük önem arz etmektedir.

LS faktörünü hesaplamak için literatürde birkaç farklı formül ve yaklaşım bulunmaktadır. Bu formüller, arazi koşullarına, kullanılan veri setlerine ve modelin uygulanma amacına göre değişiklik göstermektedir. LS faktör hesaplanması için kullanılan çeşitli formüller aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.2.3.1. Wischmeier ve Smith (1978) Formülü

En yaygın kullanılan orijinal LS faktörü hesaplama formülü, Wischmeier ve Smith tarafından geliştirilmiştir. Bu formül, eğim uzunluğunun ve eğimin etkisini dikkate alarak hesaplama yapmaktadır.

$$LS = \left(\frac{L}{22.11}\right)^{1.3} [1 + 0.003.S]^{1.3} \quad (3.13)$$

Burada (Eşitlik 3.13):

Arazi Uzunluğu (L): Su akış yolunun uzunluğu, arttıkça erozyon riski artmaktadır.

Eğim (S): Yüksek eğimler, suyun daha hızlı hareket etmesine ve dolayısıyla toprak parçacıklarını taşıma kapasitesinin artmasına neden olmaktadır.

Kuvvetli Eğim Etkisi:  $(1 + 0.003.S)$  terimi, eğimin artışına paralel olarak erozyon riskinin arttığını belirtmektedir. Bu terim eğimi dikkate alarak, eğimin etkisinin daha da güçlendiği bölgelerde LS faktörünü arttırmaktadır.

Bu formül, genellikle dik eğimli ve uzun arazilerde kullanılmaktadır. Wischmeier ve Smith'in formülü, ABD'nin farklı bölgelerinde yapılan erozyon tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır. Özellikle ormanlık alanlar ve tarım arazilerinde yapılan çalışmalar için kullanılmaktadır.

#### 3.2.3.2. Moore ve Burch (1986) Formülü

Moore ve Burch (1986) tarafından geliştirilen modifiye edilmiş LS faktörü formülü, özellikle dik eğimli ve karmaşık topoğrafik yapıya sahip arazilerde daha doğru erozyon tahminleri yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Bu formül (Eşitlik 3.14), orijinal RUSLE LS faktörünü geliştirerek, eğimin ve arazi uzunluğunun etkisini daha hassas bir şekilde modellemektedir.

$$LS = \left(\frac{L}{22.1}\right)^m \left(\frac{S}{0.09}\right)^n \quad (3.14)$$

Burada:

L: Arazi uzunluğu (metre cinsinden), L, suyun hareket ettiği mesafeyi temsil etmektedir. Eğimli bir arazide su daha hızlı hareket eder, bu nedenle daha uzun akış yolları erozyon riskini arttırmaktadır.

S: Eğim yüzdesi (%), yüksek eğimli arazilerde suyun akış hızı artmakta bu da erozyonun daha fazla olması anlamına gelmektedir.

m ve n: Yerel topoğrafyaya göre belirlenen parametrelerdir. Bu parametreler, eğimin ve arazi uzunluğunun erozyon üzerindeki etkisini yerel koşullara göre uyarlamak için kullanılmaktadır.

m, arazi uzunluğunun etkisini modellerken, n ise eğimin etkisini vurgulamaktadır. m ve n parametreleri, genellikle deneysel olarak belirlenmekte veya yerel koşullara uyarlanmaktadır. Ancak çoğu çalışmada m = 0,6 ve n = 1,3 değerleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu formül, özellikle dik eğimli ve topoğrafyası karmaşık olan bölgelerde daha doğru sonuçlar vermektedir. Daha dik eğimli ve karmaşık arazi yapılarına sahip alanlarda daha doğru erozyon tahminleri yapmak için kullanılmaktadır. Daha önce kullanılan orijinal RUSLE LS formülü, dik eğimli bölgelerde yetersiz kalabilirken, Moore ve Burch formülü, bu tür alanlarda daha gerçekçi tahminler sağlamaktadır.

Moore ve Burch (1986) tarafından önerilen LS (eğim-uzunluk) faktörünün modifiye edilerek burada kullanılan ifadeler bir miktar sadeleştirilmiş ve CBS yazılımlarına uygun hale getirilmiştir (Eşitlik 3.15).

$$LS = [ akış toplamı * \frac{hücre boyutu}{22.13} ]^{0.4} * \left[ \frac{\sin Eğim}{0.0896} \right]^{1.3} \quad (3.15)$$

Akış toplamı (Flow Accumulation): Bir dijital yükseklik modeline (DEM) dayalı olarak suyun birikme alanını ifade etmektedir. Akış birikimi genellikle bir hücreden diğerine suyun taşınmasıyla hesaplanmaktadır.

Çözünürlük (Hücre Boyutu): Çözünürlük değeri, kullanılan dijital yükseklik modelinin (DEM) piksel boyutunu ifade etmektedir.

23.13: Orijinal formülden gelen bir sabit değerdir ve akış uzunluğunun hesaplanmasında standart bir referans değeri olarak kullanılmaktadır.

Eğim: Arazi eğimi, her hücredeki eğim açısını temsil eder. Eğim değeri, radyan veya derece cinsinden olabilmektedir.

### 3.2.3.3. Desmet ve Govers (1996)

Desmet ve Govers (1996), topoğrafik koşulların erozyon üzerindeki etkisini daha hassas bir şekilde modellemek amacıyla, LS faktörünü daha genel bir formül ile geliştirmiştir. Bu formül, orijinal RUSLE modelinin LS faktörüne göre daha iyi uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır ve özellikle akış yönü ve topoğrafik varyasyonları dikkate almaktadır. Desmet ve Govers (1996) formülü (Eşitlik 3.16), daha gerçekçi topoğrafik modellemeler ve yerel veri setlerinin daha etkin kullanımı için tercih edilmektedir.

$$LS = \left(\frac{L}{22.1}\right)^{0.6} (\sin(\theta))^{1.3} \left(\frac{1}{\cos(\theta)}\right)^{1.3} \quad (3.16)$$

Burada:

L: Akış uzunluğu (m): Suyun hareket ettiği mesafeyi ifade etmektedir. Eğimli arazilerde su daha hızlı hareket eder, bu nedenle daha uzun akış yolları daha fazla toprak taşıma kapasitesine sahip olabilmektedir. Genellikle flow accumulation (akış birikimi) hesaplamalarıyla belirlenmektedir.

$\theta$  : Arazi eğimi (radyan cinsinden), yerel eğim. Yüksek eğimli arazilerde su hızla hareket etmekte ve dolayısıyla daha fazla toprak taşıma kapasitesine sahip olmaktadır.

m ve n: Yerel topoğrafik koşullara göre belirlenen parametrelerdir. Bu parametreler, eğim ve akış uzunluğunun erozyon üzerindeki etkisini daha iyi yansıtarak, formülü yerel koşullara daha duyarlı hale getirmektedir.  $m = 0,6$  ve  $n = 1,3$  genellikle kullanılan parametrelerdir, ancak farklı bölgesel koşullara göre bu değerler değiştirilebilmektedir.

$\left(\frac{1}{\cos(\theta)}\right)^{1.3}$ : Yatay akış bileşenidir.

Bu formül, dik eğimli ve karmaşık ve heterojen topoğrafyaya sahip bölgelerde erozyon risklerini doğru bir şekilde tahmin etmek için geliştirilmiş bir LS faktörü hesaplama yöntemidir. Değişken arazi yapıları ve mekansal olarak dağıtılmış verilerle yapılan büyük ölçekli, GIS tabanlı analizler için uygundur.

Otomatik Jeobilimsel Analizler Sistemi (SAGA) GIS, akış yönü, akış birikimi ve eğim gibi parametreleri otomatik olarak hesaplamakta ve LS faktörünü doğrudan türetebilmektedir. Desmet ve Govers (1996) veya Moore ve Burch (1986) gibi detaylı formülleri uygulayarak yükseklik verilerine dayalı akış yollarını doğru bir şekilde analiz etmektedir. Karmaşık topografyalarda ve büyük ölçekli çalışmalarda Desmet & Govers (1996) formülü daha avantajlıdır, çünkü akış yönü, akış birikim alanı ve yanal akış bileşenini hesaba katmaktadır. Mersin gibi topografyası karmaşık bir bölgede RUSLE modeli uygulanırken Desmet & Govers (1996) formülü daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu formül, klasik yöntemlere kıyasla, suyun doğrusal akış yerine topoğrafik yapı boyunca farklı akış yollarını takip ederek hareket etmesini dikkate almaktadır. Özellikle dik ve heterojen topoğrafyaya sahip bölgelerde, akış yönü ve yoğunluğundaki değişimlerin LS faktörü üzerindeki etkisini daha hassas bir şekilde yansıtmaktadır.

Çalışmada SAGA GIS yazılımı ile Desmet ve Govers (1996) formülü uygulanmıştır. Mersin gibi dağlık ve farklı eğim derecelerine sahip bölgelerde eğim ve akış yoğunluğuna bağlı erozyon potansiyelinin doğru bir şekilde belirlenmesi, bu formülün tercih edilmesindeki temel gerekçedir. Şekil 3.5’de LS faktör hesaplanmasında uygulanan işlem adımları verilmiştir.



Şekil 3.5. LS faktör hesaplanmasında uygulanan işlem adımları

### 3.2.4. Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Faktörü (C)

C faktör, bitki örtüsü ve arazi kullanımı ile ilişkilendirilen faktördür. Yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda yüzey akışa geçen su damlacıkları bitkiler tarafından tutulur. Bitki kökleri toprağı tutarak aşınmasını ve taşınmasını engeller, erozyon riskini azaltır. Bitki örtüsü ve erozyon arasında ters orantı vardır. Yanlış arazi kullanımı sonucu (orman yangınları, kentleşme, sanayileşme, tarımsal faaliyetler vb.) bitki örtüsünün tahrip edildiğı alanlarla erozyon şiddeti artmaktadır

Akdeniz Bölgesi için C faktörü hesaplamasında uydu görüntüsü seçimi yaparken bölgenin iklimi ve bitki örtüsü özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Akdeniz Bölgesi’nde kışın yaprak döken bitki örtüsü yaygındır. Kış aylarında alınan uydu görüntüleri bitki örtüsünü yeterince temsil edememektedir. Yaz aylarında ise kuraklık nedeniyle doğal bitki örtüsünde azalma görülmektedir. Bu nedenle Akdeniz Bölgesi için bitki örtüsünün maksimum gelişim gösterdiği dönem genellikle ilkbahar sonu-yaz başıdır. Bitki örtüsü yoğunluğunu en iyi şekilde yansıtan uydu görüntüleri Mayıs- Haziran aylarına ait uydu görüntüleridir. Ancak çalışma bölgesine ait bu ayları kapsayan uydu görüntülerinde bulutluluk oranı fazla olduğu için C faktör hesaplanmasında temmuz ayına ait uydu görüntüsü kullanılmıştır. Kullanılacak uydu seçiminde geniş alanlar ve uzun yıllara yayılmış bir analiz yapmak için uygun olan LANDSAT uydusu tercih edilmiştir. C faktör hesaplanabilmesi 2023 LANDSAT verisi kullanılmıştır. C faktörü için bitki örtüsü yoğunluğunu temsil

eden NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır.

C faktör 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bitki örtüsünün yoğun, erozyon riskinin az olduğu alanlar 0 değerini alırken, erozyona yatkın çıplak araziler 1'e yakın değer almaktadır. C faktör haritası elde edilirken çalışma alanına ait NDVI hesaplanmış ve Eşitlik 3.17'de verilen Durgion formülü kullanılmıştır.

$$C = (-NDVI+1)/2 \quad (3.17)$$

### 3.2.5. Toprak Koruma Uygulamaları Faktörü (P)

Toprak koruma faktörü (P), daha düşük akış oranları ve diğer toprak koruma yöntemleri sağlayarak belirli bir alanda toprak kaybını önlemek amacıyla gerçekleştirilen çeşitli uygulamaları temsil eder. P faktörü teraslama, kademelendirme, bitki örtüsü yoğunluğunu artırma ve suni kanallar inşa etme gibi koruma stratejilerinin belirli bir alandaki toprak kaybı üzerindeki etkisini ölçer (Allafta ve Opp 2022). Mevcut koruma uygulamaları temelinde, bir alanın P faktörü, o alanın eğimine göre belirlenir (Eşitlik 3.18).

$$P = 0,02 + 0,03*S \quad (3.18)$$

Burada; S= % cinsinden eğim derecesi.

Ancak çalışmanın doğruluğunu arttırmak için P faktör hesaplanmasında arazi sınıfı ve arazinin eğimi (%) bir arada değerlendirilmiştir. Kontrollü sınıflandırma yöntemi ile arazi kullanım türleri belirlenmiştir. ASTER DEM verisi kullanılarak % cinsinden eğim haritası oluşturulmuştur. Arazi kullanım türü ve eğim derecesine göre karşılık gelen P faktör değerleri belirlenerek Tablo 3.8'de verilmiştir.

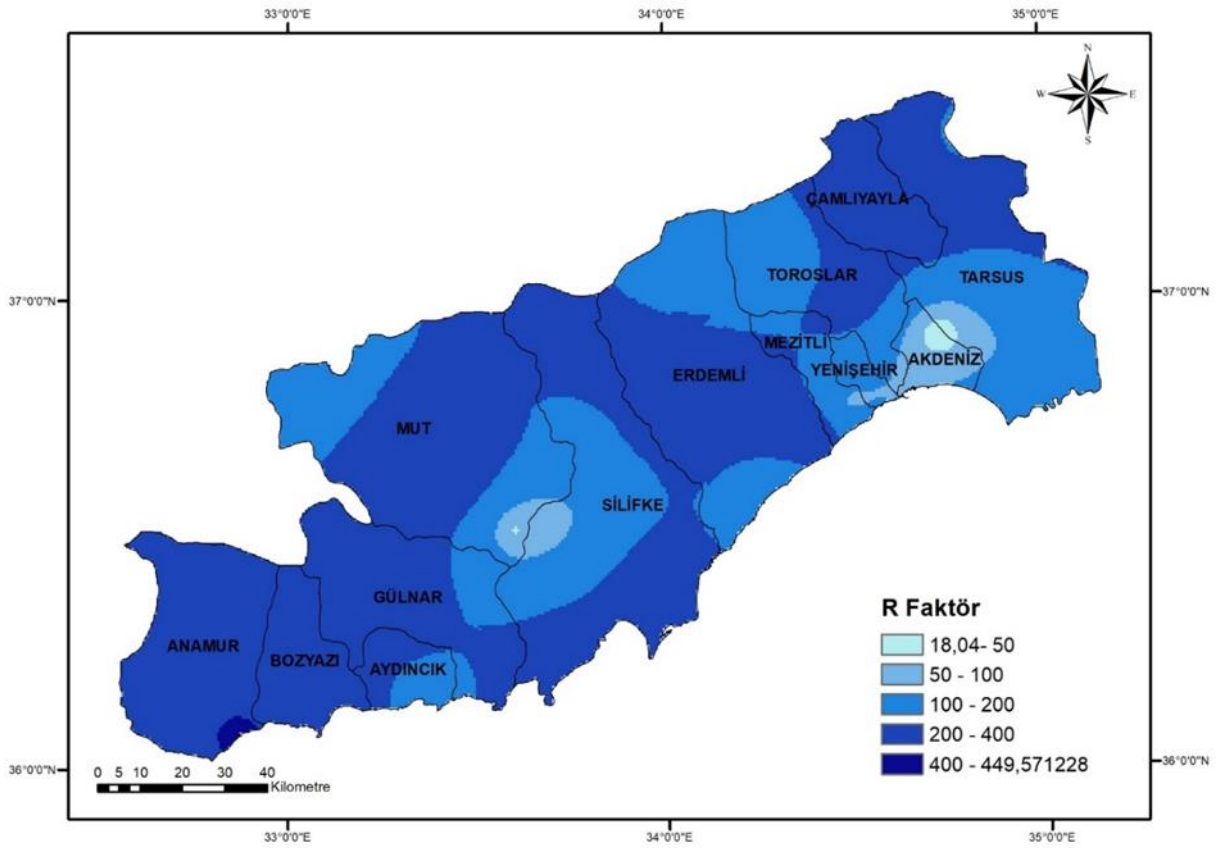
**Tablo 3.8.** Arazi kullanım türleri ve eğime karşılık gelen P faktör değerleri

<b>Arazi Kullanım Türü</b>	<b>Eğim (%)</b>	<b>P Faktör</b>
<b>Tarım Alanları</b>	0-5	0,1
	5-10	0,12
	10-20	0,14
	30-30	0,19
	30-50	0,25
	>50	0,7
<b>Sulak Alanlar</b>	0-100	0
<b>Yerleşim Alanları</b>	0-100	0,05
<b>Ormanlık Alanlar</b>	0-5	0,03
	5-10	0,05
	10-20	0,1
	31-500	0,2
	>50	0,5
<b>Çorak Araziler</b>	0-5	0,25
	5-10	0,35
	10-20	0,45
	20-30	0,55
	30-50	0,75
	>50	1

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Yağış Aşındırma Faktörü (R)

Mersin iline ait yağış aşındırma faktörünün hesaplanmasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023 yılı verisi kullanılmıştır. Çalışma bölgesinin R faktör haritasındaki değer aralığı 18,04 ile 449,57  $\text{MJ ha}^{-1} \text{yıl}^{-1} \times \text{mm saat}^{-1}$  arasında değer almaktadır. Yağış haritasının R haritası ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiş olup çalışma alanının batısında yer alan Anamur ilçesinde yağış erozif faktörün arttığı görülmektedir.



Şekil.4.1. RUSLE modeli Mersin R faktör haritası

Mersin ili için oluşturulan RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) modeline dayalı R faktörü haritası, yağışın erozyon üzerindeki etkisini coğrafi olarak değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Harita, çalışma alanındaki yağışın şiddeti ve sıklığına bağlı olarak farklı bölgelerde erozyona neden olma potansiyelini göstermektedir. R faktörü değerleri, 18,04 ile 449,57 arasında değişmekte olup, bölgenin yağış rejimi ve topoğrafik yapısı göz önüne alındığında belirgin bir varyasyon sergilemektedir.

**Tablo 4.1.** R Faktör duyarlılık sınıfları ve alan bilgileri

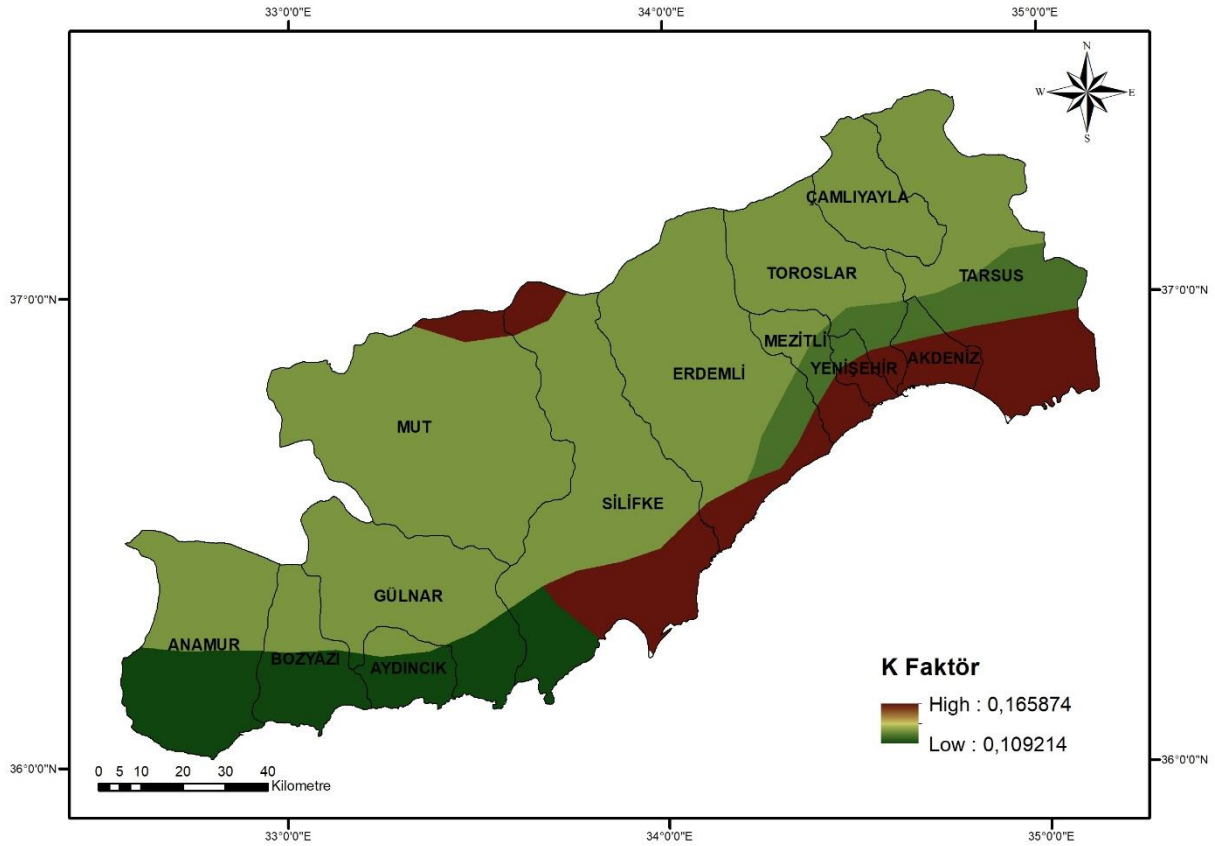
R Faktör Duyarlılık Sınıfları	R Faktör Sınıf Değeri	Alan (ha)	Oran (%)
Çok Düşük	0-50	4820,4	0
Düşük	50-100	54565,83	3
Orta	100-200	528056,1	33
Yüksek	200-400	1006702	63
Çok Yüksek	> 400	3974,85	0

Mersin ili için oluşturulan R faktörü haritası (Şekil 4.1) ve duyarlılık sınıflarına ait analizler (Tablo 4.1), yağışın erozyon üzerindeki etkisini hem görsel hem de sayısal olarak ortaya koymaktadır. R faktörü duyarlılık sınıflarına göre yapılan değerlendirmede, çok düşük R faktörü (0-50) değerine sahip alanların yalnızca 4.820,4 hektar ile oldukça sınırlı bir alanı kapsadığı tespit edilmiştir. Düşük R faktörü (50-100) sınıfı ise toplamda 54.565,83 hektar ile nispeten küçük bir alanı temsil etmektedir. Bu sınıflar genellikle iç kesimlerde yer almakta ve düşük eğimli alanları kapsamaktadır. Bununla birlikte, orta R faktörü (100-200) değerine sahip alanların geniş bir dağılım gösterdiği ve toplamda 528.056,1 hektar ile çalışma alanının %33'ünü oluşturduğu görülmektedir. Orta düzeyde yağış erozyonu potansiyeline sahip bu alanlar, geçiş bölgelerinde veya hafif eğimli arazilerde yer almakta ve tarımsal üretim açısından önemli riskler barındırmaktadır. En büyük alanı kapsayan yüksek R faktörü (200-400) sınıfı, toplamda 1.006.702 hektar ile çalışma alanının büyük bir bölümünü temsil etmektedir. Bu sınıf, özellikle dağlık bölgeler ve yüksek eğimli arazilerde yoğunlaşmış olup, yüzey akışının ve toprak kaybının en fazla olduğu bölgeleri kapsamaktadır. Son olarak, çok yüksek R faktörü (>400) değerine sahip alanların toplamda yalnızca 3.974,85 hektar ile sınırlı bir alana yayıldığı tespit edilmiştir. Bu alanlar, Toros Dağları gibi yüksek rakımlı ve yoğun yağış alan bölgelerde bulunmaktadır. Özellikle yüksek ve çok yüksek R faktörü değerine sahip bölgelerde teraslama, bitki örtüsü yenileme ve drenaj sistemlerinin iyileştirilmesi gibi önlemler alınması, sürdürülebilir arazi yönetimi ve erozyon kontrol tedbirlerinin uygulanması öncelikli bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir.

## 5.2. Toprak Erodabilite Faktörü (K)

K faktörü, toprağın erozyon duyarlılığını belirleyen temel bileşenlerden biridir ve toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine dayalı olarak hesaplanmaktadır. Toprağın dokusu, yapısı, organik madde içeriği, kum ve kil içeriği, nem durumu aşınabilirliğin en önemli belirleyicileri arasındadır. Toprak içeriğindeki kum miktarının fazla olması erozyon riskini arttırmaktadır. Kilin fazla olması ise agregatlaşmayı arttırdığı için erozyon etkisini azaltmaktadır. Toprağın su geçirgenliği de K faktör üzerinde belirleyici etki yaratmaktadır. Su geçirgenliğinin artması ile toprağın içine geçen su miktarı artarak yüzey akışa geçen su miktarı azalmaktadır. Toprağın boşluklu yapıda olması erozyona karşı dayanımını arttırmaktadır.

Çalışma alanının K faktör haritasının oluşturulmasında Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) dijital dünya toprak haritası kullanılmıştır. Çalışma alanına ait K faktör haritası Şekil 4.2’de verilmiştir.



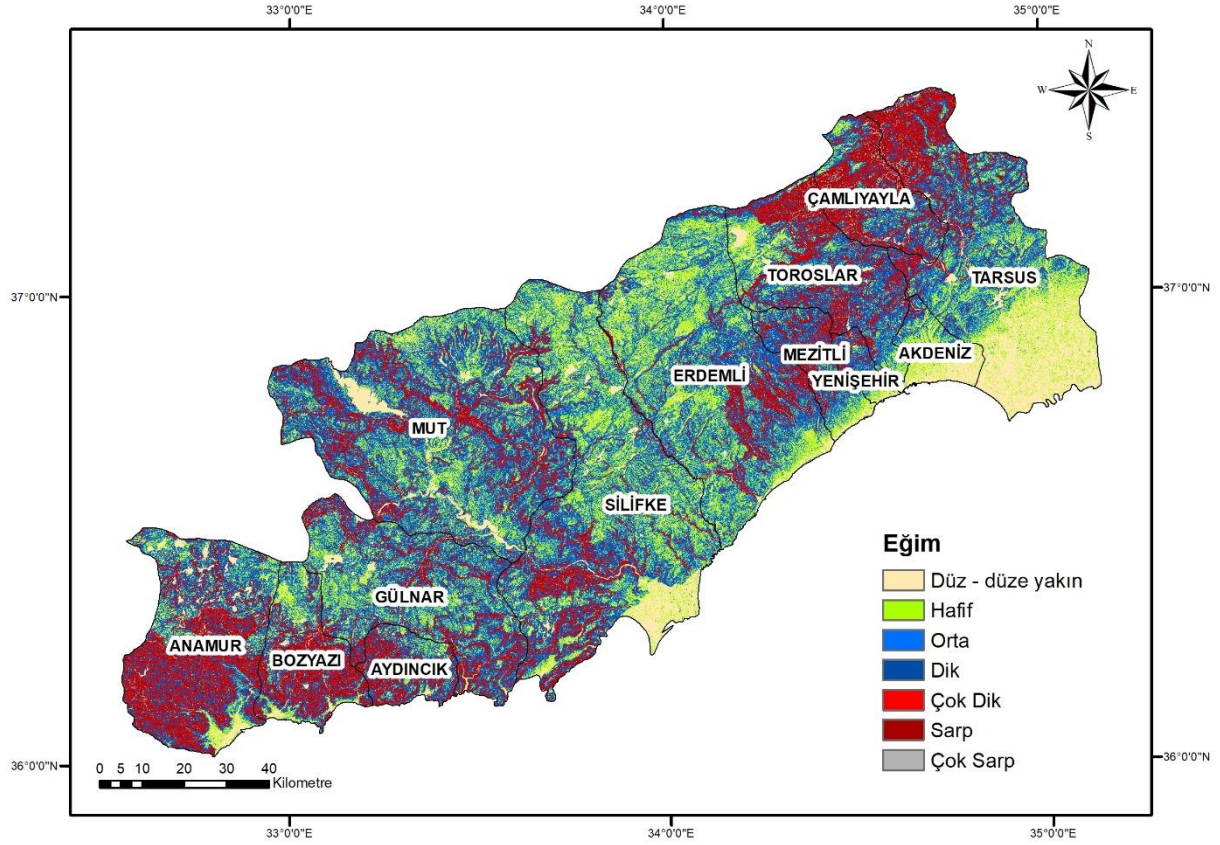
Şekil 4.2. RUSLE modeli Mersin K faktör haritası

Mersin ili için oluşturulan K faktör haritasında, değerlerin 0.12 ile 0.16 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler, bölgenin genel olarak düşük ve orta dereceli toprak erozyon duyarlılığına sahip olduğunu göstermektedir. Yüksek K faktör değerlerinin, erozyona karşı daha hassas toprakları ifade ettiği bilinmektedir. Haritada, özellikle Anamur, Bozyazı ve Aydınçık gibi güney ilçelerde K faktörünün daha düşük olduğu alanlar dikkat çekmektedir. Buna karşılık, Yenişehir ve Akdeniz gibi bölgelerde K faktörü daha yüksek değerlere sahiptir.

#### 4.3. Eğim ve Eğim Uzunluğu Faktörü (LS)

Çalışma bölgesine ait eğim ve eğim uzunluğu faktörünün belirlenmesinde sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılarak araziye ait eğim ve akış birikimi haritası oluşturulmuştur. Bu bağlamda 30x30 çözünürlüğe sahip ASTER DEM verisi kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modelinden eğim haritası (Şekil 4.3) üretilerek Desmet ve Govers (1996) formülü uygulanmış ve LS faktör haritası (Şekil 4.4) elde edilmiştir. Erdem ve Türkmen 2020 çalışması esas alınarak eğim sınıfları belirlenmiştir.

Mersin ili için üretilen LS faktör ve eğim haritaları, bölgenin erozyona yatkınlığını etkileyen topoğrafik özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. LS faktörü, eğim ve yamaç uzunluğunun bir birleşimidir ve toprağın su tarafından taşınabilirliğini belirlerken, eğim haritası topografyanın şekli ve arazinin eğim dereceleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Eğim ve LS faktör haritalarının birlikte değerlendirilmesi, erozyon riskinin mekânsal dağılımını anlamak için önemlidir.

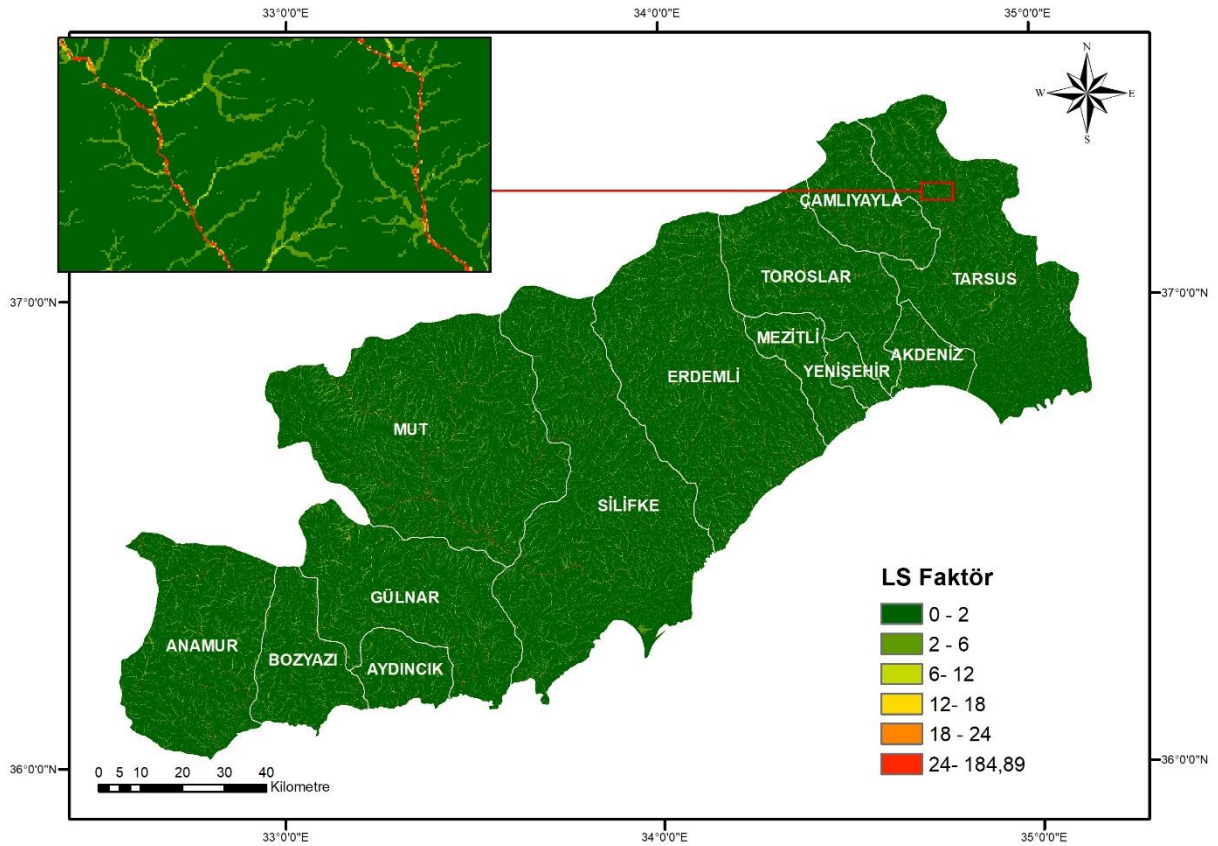


Şekil 4.3. Mersin ili eğim sınıfları haritası

**Tablo 4.2.** Mersin eğim sınıfları, kapladığı alan ve oranları

Eğim Sınıfları	(%) Eğim	Alan (da)	Oran (%)
Düz-düze yakın	0-2	194657,3	12,31
Hafif	2-6	326960,6	20,67
Orta	6-12	401144,8	25,36
Dik	12-20	314783,5	19,9
Çok dik	20-30	213913	13,52
Sarp	30-45	114305,3	7,23
Çok sarp	>45	15855,46	1

Mersin iline ait eğim sınıflarına dayalı alan dağılımı (Tablo 4.2), bölgenin topoğrafik özelliklerinin erozyon riskine olan etkisini anlamak için önemli veriler sunmaktadır. Elde edilen verilere göre, eğim sınıfları bölgenin topoğrafik yapısındaki çeşitliliği açıkça yansıtmaktadır. Bölgenin yaklaşık %33,98'ini düz-düze yakın ve hafif eğim sınıfları, erozyon açısından düşük riskli alanlar olarak değerlendirilmektedir. Orta ve dik eğimli alanlar bölgenin %45,26'sını oluşturarak, yüzey akışının artmaya başladığı ve toprak kayıplarının gözlemlenebileceği bölgeleri temsil etmektedir. Toplam alanın %21,75'ini oluşturan yüksek eğimli bölgeler, erozyon açısından en hassas alanlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çok dik (20-30), sarp (30-45) ve çok sarp (> %45) eğim sınıflarında yüzey akış hızı ve toprak taşıma kapasitesi maksimum düzeye ulaşmaktadır.

**Şekil 4.4.** RUSLE modeli Mersin LS faktör haritası

**Tablo 4.3.** LS Faktör duyarlılık sınıfları ve alan değerleri

LS Faktör Duyarlılık Sınıfları	LS Faktör Sınıf Değeri	Alan (ha)	Oran (%)
Çok Düşük	0-2	1666181	90,58
Düşük	2-6	131403,5	7,14
Orta	6-12	24544,98	1,33
Yüksek	12-18	7443,99	0,4
Çok Yüksek	18-24	3645,9	0,2
Aşırı Yüksek	>24	6299,55	0,34

Haritaya göre (Şekil 4.4), LS faktörü değerleri 0 ile 184,89 arasında değişmektedir. Çalışma alanının LS faktör duyarlılık sınıfları Tablo 4.3'de verilmiştir. Düşük LS faktör değerleri (0-2), genellikle düz alanlarda veya kısa yamaç uzunluğuna sahip bölgelerde görülmektedir. Örneğin, Akdeniz, Tarsus ve Yenişehir gibi kıyıya yakın ve düşük eğimli alanlarda LS faktörünün düşük olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşılık, Toroslar, Çamlıyayla ve Mut gibi dağlık bölgelerde LS faktörü değerleri önemli ölçüde artmakta ve yüksek eğimli alanlarda 24'ü aşan değerler dikkat çekmektedir.

Haritalar birlikte incelendiğinde, eğimin yüksek olduğu bölgelerde LS faktörünün de yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Örneğin, Toroslar, Çamlıyayla ve Mut ilçelerinde hem eğim değerlerinin "çok dik" (kırmızı) sınıflarda olduğu hem de LS faktör değerlerinin yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Bu durum, dik eğimli alanlarda yüzey akışının hızlanarak toprak taşıma kapasitesini artırdığını göstermektedir. Düz veya hafif eğimli alanlarda ise LS faktör değerlerinin genellikle düşük olduğu gözlemlenmektedir. Örneğin, Akdeniz, Tarsus ve Yenişehir ilçelerinde eğimin "düz-düze yakın" olduğu bölgelerde LS faktörünün 0-2 arasında değiştiği görülmektedir. Bu alanlar, erozyon riskinin nispeten düşük olduğu bölgelerdir. Çalışma alanına ait LS haritası ve eğim haritası paralellik göstermektedir. LS faktörüne bağlı erozyon riski ve eğim arasında doğru orantı bulunmaktadır (Mutlu vd., 2021). Eğimin arttığı alanlarda LS faktörünün de arttığı gözlemlenmiştir.

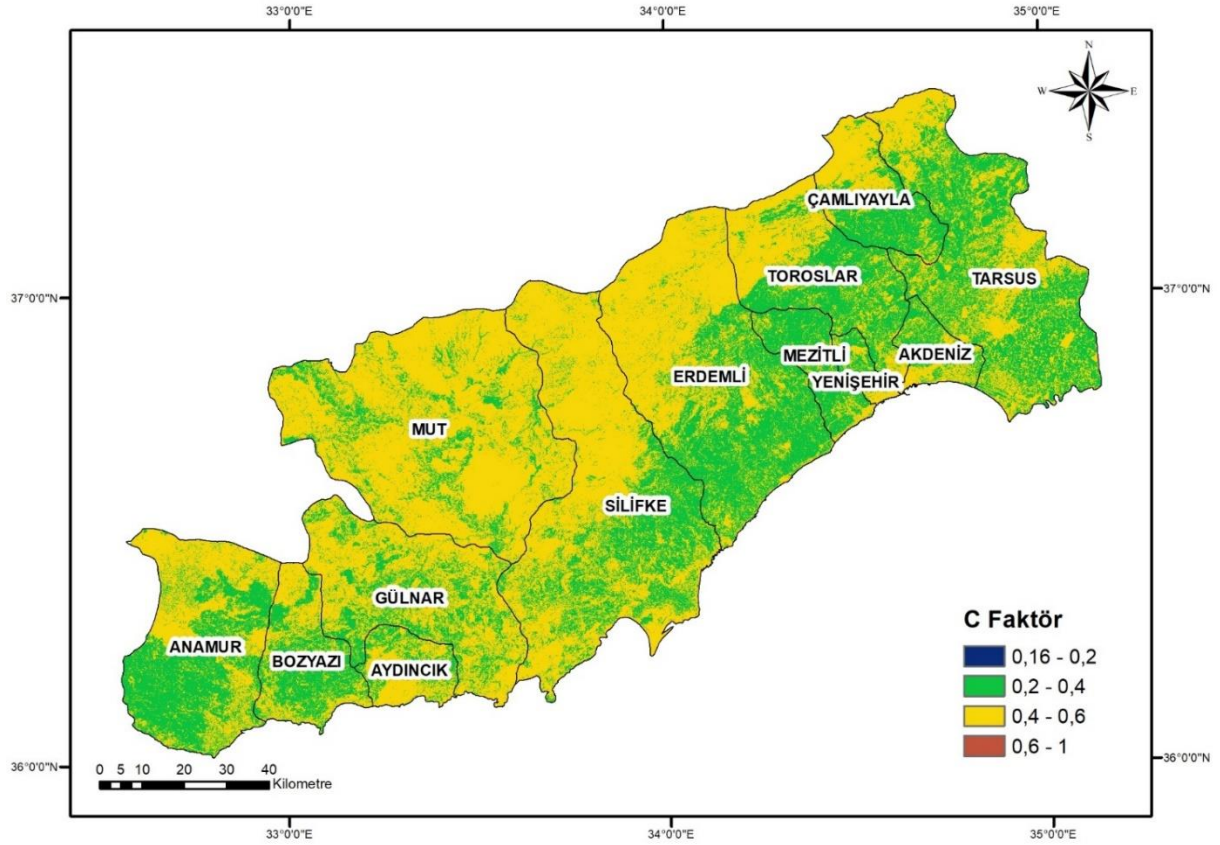
#### 4.4. Arazi Kullanımı ve Bitki Örtüsü Faktörü (C)

Gelişen uydu teknolojilerine bağlı olarak uzaktan algılama sistemleri de son yıllarda büyük gelişme göstermiştir (Avcıoğlu vd., 2020). Bitki örtüsü ve arazi kullanımı ile ilişkilendirilen C faktör hesaplanması da bu bağlamda gelişen uydu görüntüleri yardımıyla daha yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir.

Çalışma alanına ait arazi kullanımı ve örtüsü faktörü hesaplanırken 15 Temmuz 2023 tarihine ait LANDSAT 8 ve LANDSAT 9 verileri kullanılmıştır. Bitki örtüsü yoğunluğunu en iyi şekilde yansıtan uydu görüntüleri Mayıs- Haziran aylarına ait uydu görüntüleridir. Ancak çalışma bölgesinde bu ayları kapsayan ait uydu görüntülerinde bulutluluk oranı fazla olduğu için C faktör hesaplanmasında Temmuz ayına ait uydu görüntüsü kullanılmıştır. C faktörü için bitki örtüsü yoğunluğunu temsil eden NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) kullanılmıştır. NDVI bitki örtüsü yoğunluğunu

ve sağlığını ölçen uzaktan algılama indeksidir. Yüksek NDVI değerleri sağlıklı ve yoğun bitki örtüsünü, erozyon riski düşük bölgeleri gösterirken düşük NDVI değerine sahip alanlar bitki örtüsünün az olduğu dolayısıyla erozyon riskinin de fazla olduğu alanlara işaret etmektedir. Çalışma alanı C faktör haritası Şekil 4.5’de verilmiştir.





Şekil 4.5. RUSLE modeli Mersin C faktör haritası

Tablo 4.4. Mersin C faktör duyarlılık sınıfları ve alan bilgisi

C Faktör Duyarlılık Sınıfları	C Faktör Sınıf Değeri	Alan (ha)	Oran (%)
Çok Düşük	0-0,2	0,36	0
Düşük	0,2-0,4	604618,8	37,85
Orta	0,4-0,6	992881,2	62,15
Yüksek	0,6-1	19,89	0

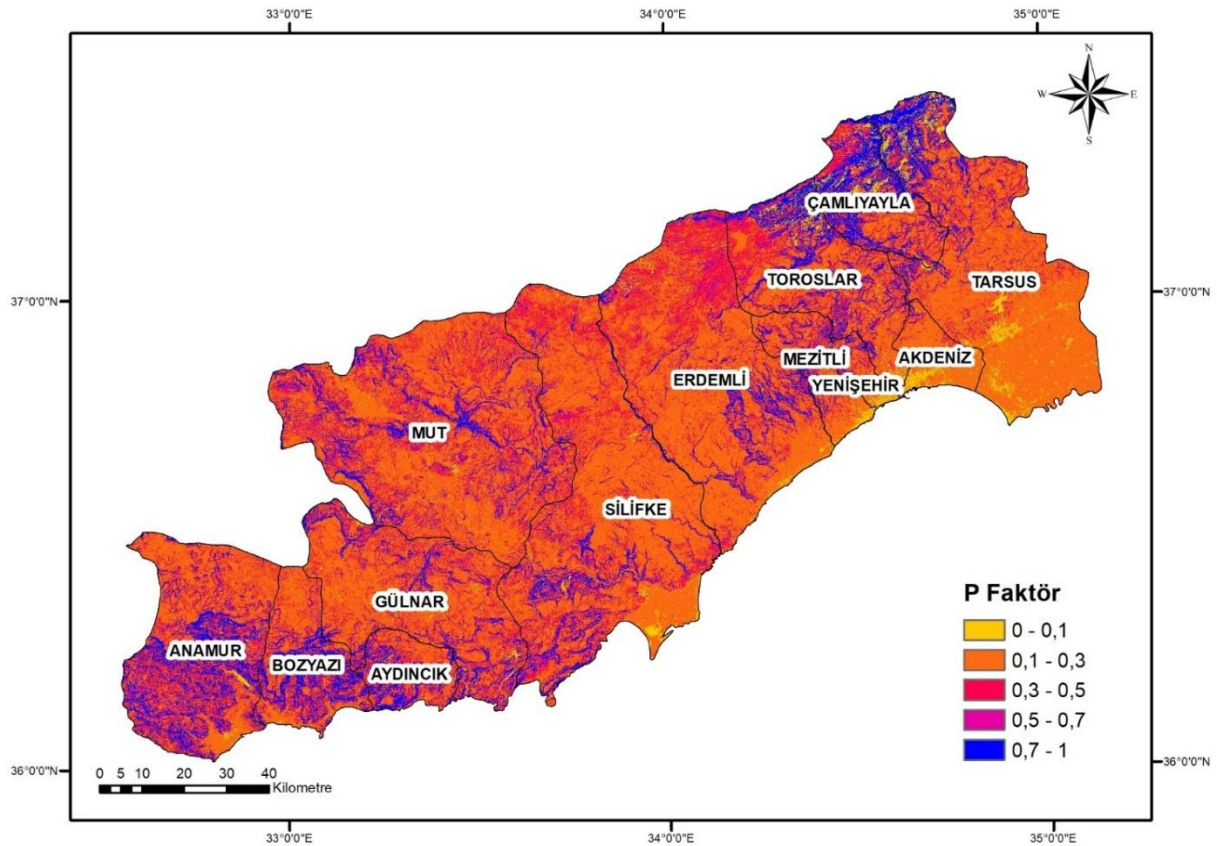
Mersin için oluşturulan C faktör duyarlılık sınıfları tablosu (Tablo 4.4) incelendiğinde çok düşük C faktör değerine sahip alanların 0,36 ha ile toplam alanın ihmal edilebilir bir kısmını oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu alanlar, genellikle yoğun orman örtüsüne sahip, erozyon riskinin en düşük olduğu bölgeleri temsil etmektedir. Düşük C faktör değerleri, toplam alanın %37,85'ini kapsamaktadır. Bu sınıf, ormanlık alanlar ve bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Haritada, bu sınıf özellikle Toroslar, Çamlıyayla ve Mut gibi ormanlık alanlarda belirgin şekilde öne çıkmaktadır. Bu bölgeler, yüzey akışını ve toprak kaybını azaltmada önemli bir koruma işlevine sahiptir. Orta C faktör sınıfı, toplam alanın en büyük kısmını oluşturarak %62,15 oranında bir dağılım sergilemektedir. Bu sınıf, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanları ve kısmen bozulmuş bitki örtüsüne sahip bölgeleri ifade etmektedir. Haritada, Silifke, Erdemli ve Mut gibi tarımsal üretimin yoğun olduğu alanlar bu kategoriye girmektedir. Yüksek C faktör sınıfı ise toplam alanın oldukça sınırlı bir bölgesini kapsamaktadır. Bu



**Tablo 4.5.** Arazi kullanım türü bilgileri ve alan değerleri

Arazi Kullanım Türü	Alan (ha)	Oran (%)
Sulak Alanlar	2884,95	0,18
Yerleşim Alanları	64000	4,01
Ormanlık Alanlar	1053100	65,92
Tarım Alanları	198298	12,41
Çorak Araziler	2792241,74	17,48

Mersin iline ait arazi kullanım türü haritası ve ilgili tablo (Tablo 4.5), bölgenin mevcut arazi kullanım türlerini ve bunların yüzdesel dağılımını detaylı bir şekilde sunmaktadır. Arazi kullanım türleri, erozyon modellemesi ve çevresel yönetim planlarının oluşturulmasında kritik bir role sahiptir. Bölgedeki en geniş arazi kullanım türü, %65,92 oranıyla ormanlık alanlardır. Bu alanlardaki bitki örtüsü, yüzey akışını yavaşlatarak toprak kaybını sınırlamakta, toprağın erozyona karşı korunmasında hayati bir rol oynamaktadır. Çorak araziler, bölgenin %17,48'ini kaplamaktadır ve genellikle bitki örtüsünden yoksun, erozyona karşı en hassas alanlar olarak öne çıkmaktadır. Tarım alanları, toplam arazi kullanımının %12,41'ini oluşturmaktadır. Bu alanlar, özellikle eğimli bölgelerde yoğun tarım faaliyetleri nedeniyle erozyon riski altındadır. Bölgenin %4,01'ini yerleşim alanları kaplamakta, Sulak alanlar ise toplam arazinin yalnızca %0,18'ini oluşturmaktadır.

**Şekil 4.7.** RUSLE modeli Mersin P faktör haritası

Şekil 4.7’de yer alan P faktör haritası incelendiğinde düz ve hafif eğimli, ormanlık alanlarda P faktör değerlerinin düşük olduğu, buna karşın yüksek eğimli ve çorak bölgelerde P faktör değerlerinin arttığı dikkat çekmektedir. Bu durum, eğim artışıyla birlikte yüzey akış hızının ve toprak aşımının arttığını, dolayısıyla koruma önlemlerinin etkinliğinin azaldığını göstermektedir.

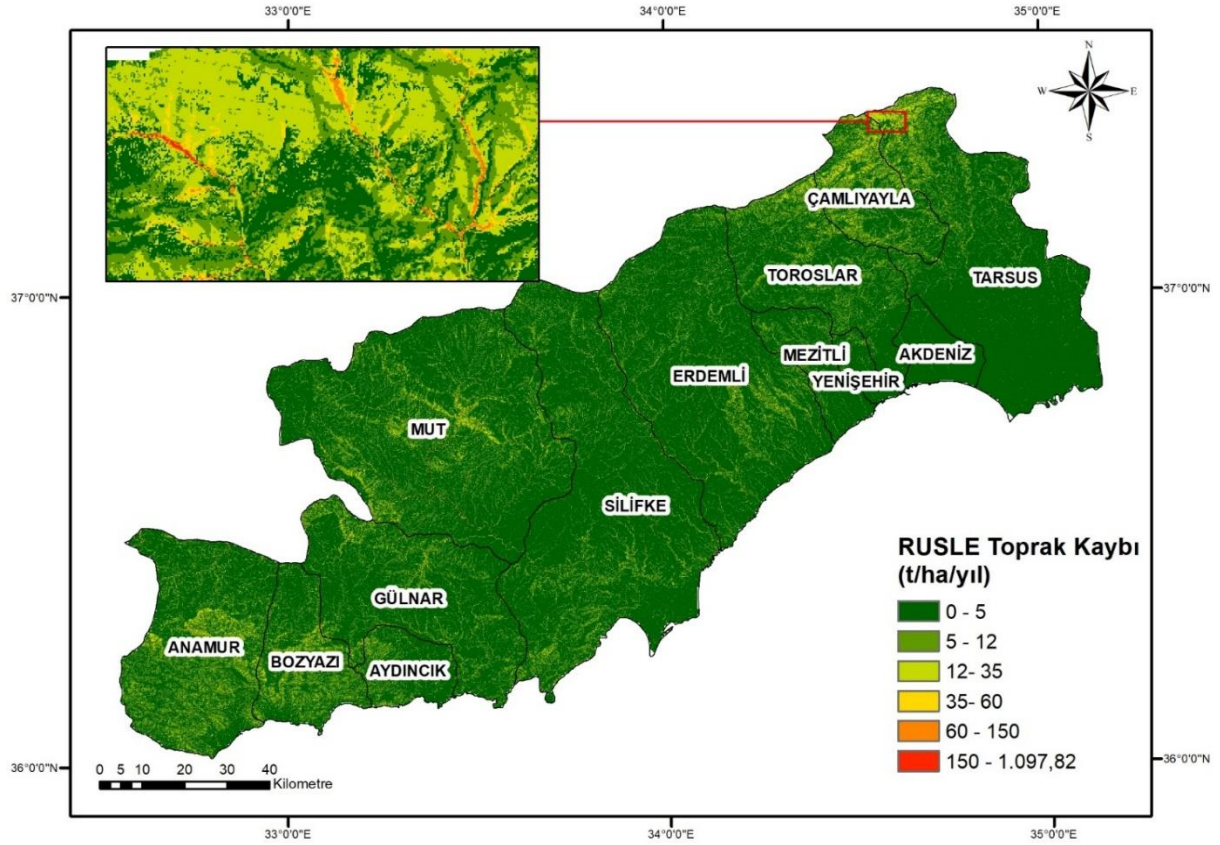
**Tablo 4.6.** P faktör duyarlılık sınıfları ve alan değerleri

P Faktör Duyarlılık Sınıfları	P Faktör Sınıf Değeri	Alan (ha)	Oran (%)
Çok Düşük	0-0,1	66312,09	4,16
Düşük	0,1-0,3	942869,5	59,1
Orta	0,3-0,5	344848,9	21,61
Yüksek	0,5-0,7	43730,28	2,74
Çok Yüksek	1	197718,8	12,39

Mersin iline ait P faktör sınıfları, arazi koruma önlemlerinin etkinliğini ve eğimin erozyon üzerindeki etkisini değerlendirmek için önemli veriler sunmaktadır. Tablo 4.6’ya göre, düşük ve orta P faktör sınıfları çalışma alanında en geniş dağılıma sahip olup, sırasıyla %59,1 ve %21,61 oranında yer kaplamaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek ve çok yüksek P faktör sınıfları, koruma önlemlerinin yetersiz veya hiç uygulanmadığı, genellikle dik ve sarp eğimli alanlarda yer almaktadır. Bu alanlar, erozyon riskinin maksimum seviyeye ulaştığı bölgeler olarak dikkat çekmekte ve acil müdahale gerektirmektedir. Çok düşük P faktör sınıfı ise koruma önlemlerinin oldukça etkili olduğu, düz-düze yakın eğimli alanlarda yer almakta ve bu bölgelerde erozyon riskinin en düşük seviyede olduğunu göstermektedir. Genel olarak, P faktör dağılımı, arazi koruma önlemlerinin etkinliğinin eğimle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük ve orta P faktör sınıflarında koruma uygulamalarının yaygınlaştırılması, yüksek ve çok yüksek P faktör sınıflarında ise teraslama, ağaçlandırma ve yüzey akışını yavaşlatıcı tedbirlerin uygulanması öncelikli olmalıdır.

#### 4.6. RUSLE Ortalama Toprak Kaybı

Oluşturulan R, K, LS, C ve P faktör haritaları ArcGIS 10.8 yazılımında ‘raster calculator’ komutu ile çarpılarak çalışma alanına ait yıllık hektar başına ton cinsinden toprak kaybını gösteren A faktör haritası elde edilmiştir. Çalışma alanı erozyon duyarlılık haritası incelendiğinde erozyon şiddetinin Güney Toroslar, Çamlıyayla, Bozyazı ve Anamur’da daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu alanların LS ve eğim haritalarıyla da paralellik gösterdiği de görülmüştür.



Şekil 4.8. RUSLE modeli Mersin ili erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.7. Mersin erozyon riski duyarlılık değerleri ve alan bilgisi

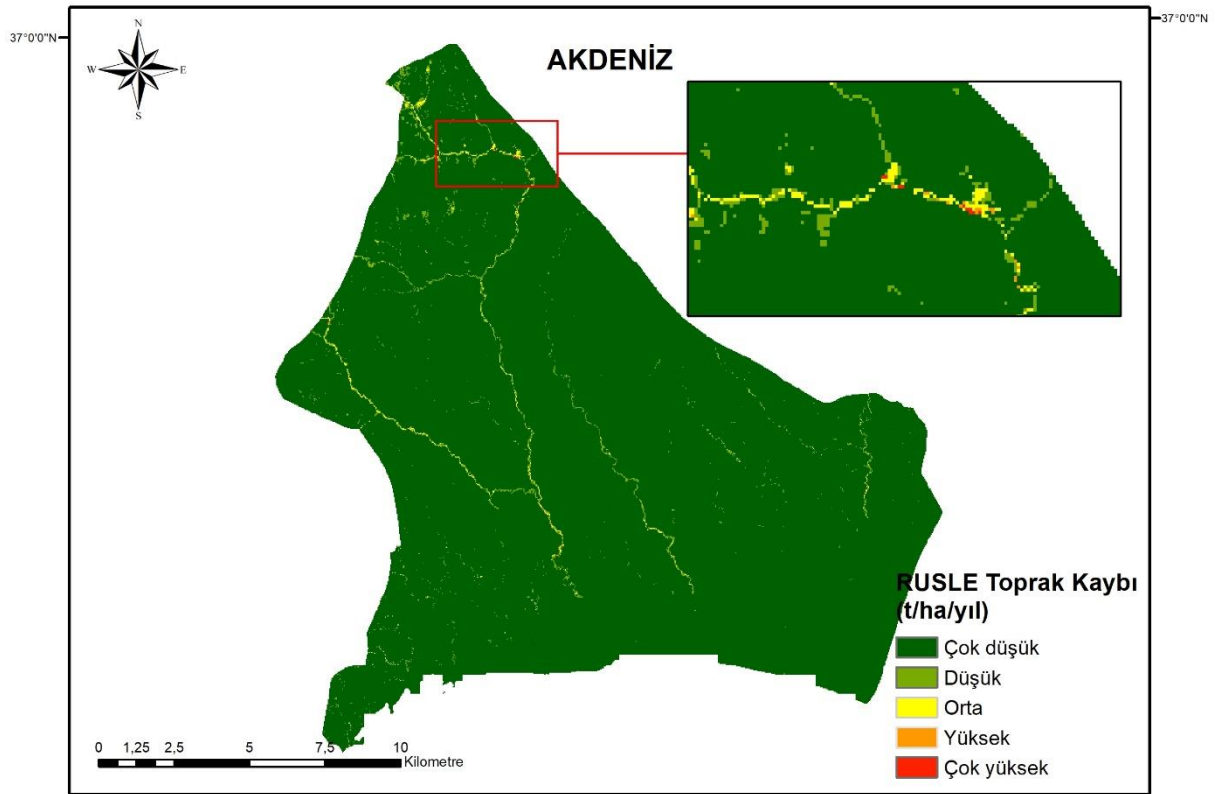
Erozyon Riski	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	1269081	79,82
Düşük	5-12	246876	15,53
Orta	12-35	61736,85	3,89
Yüksek	35-60	7491,6	0,47
Çok yüksek	60-150	4000,41	0,25
Aşırı yüksek	>150	782,01	0,05

Toprak kaybı miktarlarının çok düşük olduğu bölgeler, Şekil 4.8’de yeşil tonlarla gösterilmiş ve genellikle düz-düze yakın eğimli alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu bölgeler, Akdeniz, Tarsus ve Yenişehir ilçelerinde yaygın olup, düşük eğim ve yoğun bitki örtüsü nedeniyle erozyon riskinin minimal olduğu alanları temsil etmektedir. Tablo 4.7’ye göre düşük toprak kaybı görülen alanlar (5-12 t/ha/yıl), daha hafif eğimli bölgelerde yer almakta ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü alanlarda yoğunlaşmaktadır. Bu alanlarda mevcut koruma önlemlerinin sürdürülmesi ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Orta düzeyde toprak kaybı (12-35 t/ha/yıl), tarımsal faaliyetlerin daha yoğun olduğu Silifke, Mut ve Erdemli gibi bölgelerde gözlemlenmektedir. Bu bölgelerde, toprak koruma stratejilerinin güçlendirilmesi ve minimum toprak işleme gibi sürdürülebilir uygulamaların yapılması önerilmektedir.

Yüksek toprak kaybı bölgeleri (35-60 t/ha/yıl), Toroslar ve Çamlıyayla gibi yüksek eğimli alanlarda yoğunlaşmakta ve erozyon riskinin ciddi seviyelere ulaştığını göstermektedir.

Haritada turuncu ve kırmızı tonlarla gösterilen çok yüksek (60-150 t/ha/yıl) ve aşırı yüksek (>150 t/ha/yıl) toprak kaybı bölgeleri, bitki örtüsünün yetersiz olduğu dik ve sarp alanlarda yer almaktadır. Özellikle Toroslar, Çamlıyayla ve Bozyazı gibi alanlarda, eğim, yamaç uzunluğu ve düşük bitki örtüsü kombinasyonu, erozyon riskini maksimum düzeye taşımaktadır. Bu alanlarda acil koruma önlemleri alınmalı; teraslama, ağaçlandırma ve yüzey akışını düzenleyici yapılar gibi erozyon kontrol tedbirleri uygulanmalıdır.

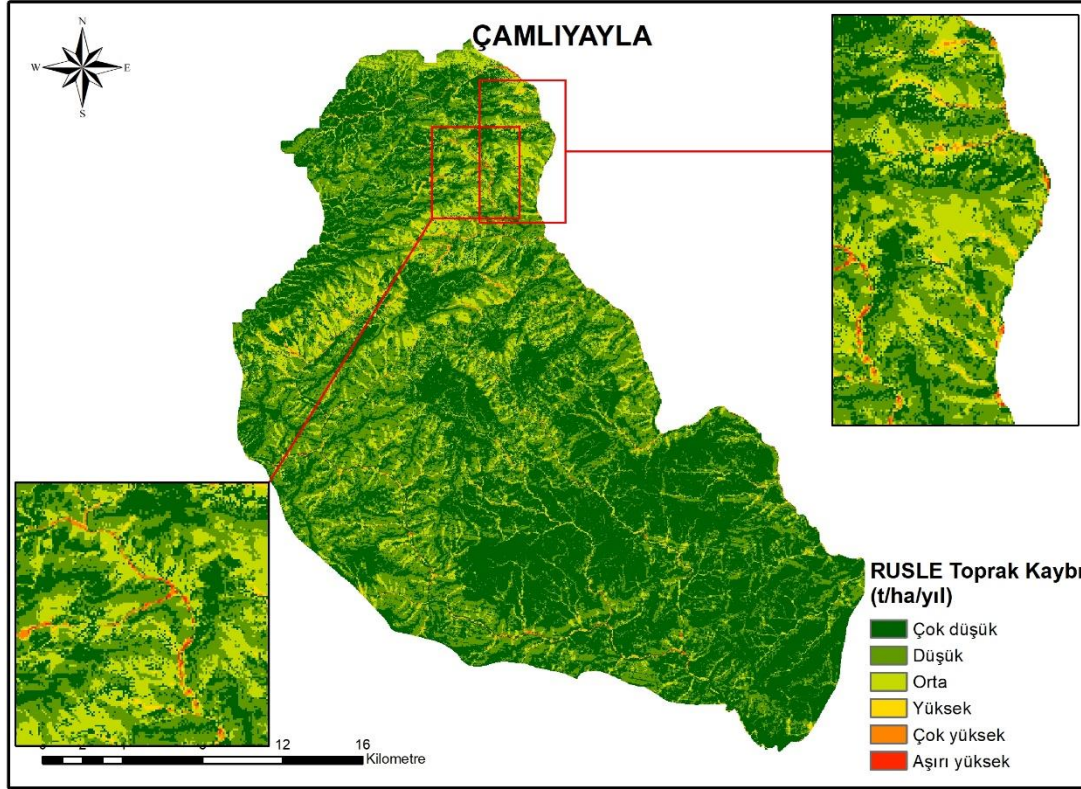


Şekil 4.9. RUSLE modeli Akdeniz ilçesi erozyon duyarlılık haritası

**Tablo 4.8.** Akdeniz ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

<b>Erozyon Risk Sınıfları</b>	<b>Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup>)</b>	<b>Alan (ha)</b>	<b>Oran (%)</b>
Çok düşük	0-5	25962,84	98
Düşük	5-12	321,12	1
Orta	12-35	98,01	0,37
Yüksek	35-60	9,09	0,03
Çok yüksek	60-125	0	0

Akdeniz ilçesine ait RUSLE toprak kaybı haritası (Şekil 4.9) ve erozyon riski sınıfları analizi (Tablo 4.8), bölgedeki toprak kaybının büyük ölçüde kontrol altında olduğunu ve erozyon riskinin düşük seviyelerde seyrettiğini göstermektedir. İlçenin toplam yüzey alanının %98'i çok düşük erozyon riski sınıfında yer almakta olup, bu alanlar genellikle düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgeleri kapsamaktadır. Düşük erozyon riski sınıfında yer alan alanlar ise toplam yüzey alanının %1'ini oluşturmaktadır. Bu alanlar, hafif eğimli bölgelerde yer almakta ve yer yer tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği alanlar olarak dikkat çekmektedir. Orta erozyon riski sınıfı, sadece %0,37'lik küçük bir alanı temsil etmekte olup, genellikle orta eğimli ve bitki örtüsünün daha zayıf olduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Yüksek erozyon riski sınıfında yer alan alanlar ise toplam yüzey alanının yalnızca %0,03'ünü kapsamaktadır. Çok yüksek erozyon riski sınıfında yer alan bölge bulunmamakta, bu da Akdeniz ilçesinde eğim ve yetersiz bitki örtüsü kombinasyonunun sınırlı olduğunu göstermektedir.



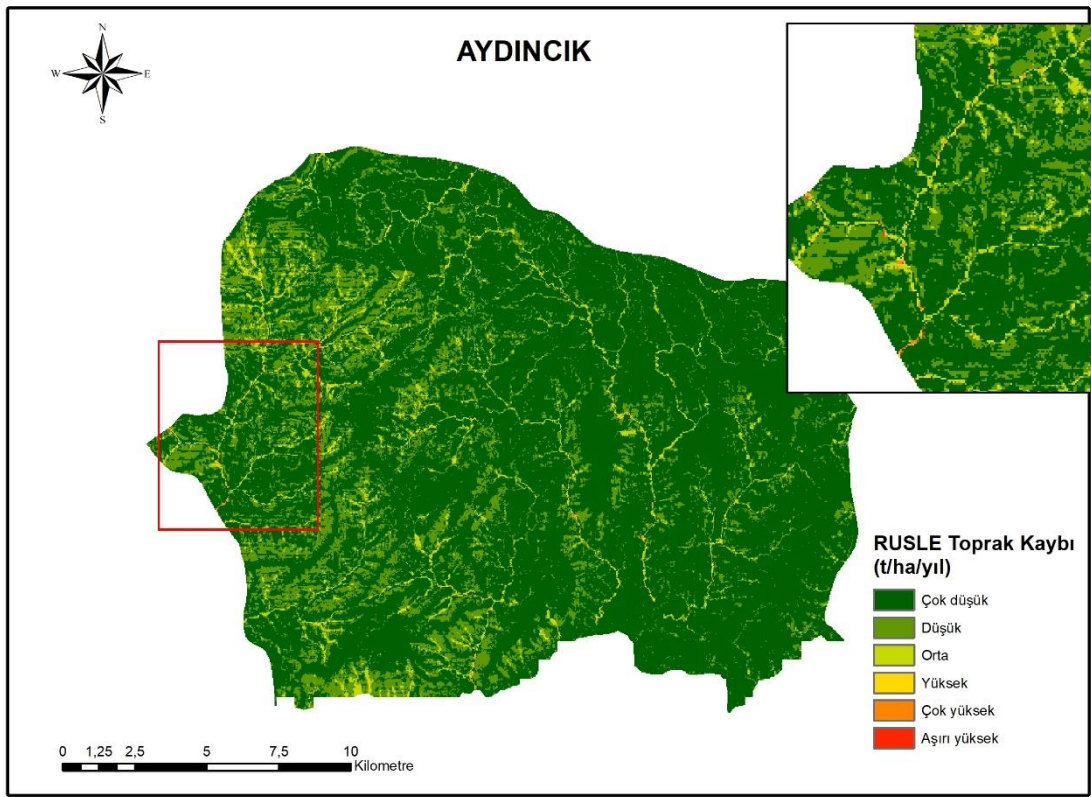
Şekil 4.10. RUSLE modeli Çamlıyayla ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.9. Çamlıyayla ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha-1.yıl-1)	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	32337,27	53,97
Düşük	5-12	19742,31	32,95
Orta	12-35	6723,99	11,22
Yüksek	35-60	719,64	1,2
Çok yüksek	60-150	334,26	0,56
Aşırı yüksek	>150	58,14	0,1

Çamlıyayla ilçesine ait RUSLE toprak kaybı haritası (Şekil 4.10) ve erozyon riski sınıfları analizi (Tablo 4.9), bölgedeki yıllık toprak kaybının mekânsal ve nicel dağılımını ortaya koymaktadır. Çalışma alanında toprak kaybı değerleri 0 ile >150 t/ha/yıl arasında değişmekte olup, erozyon risk sınıflarının önemli ölçüde farklılık gösterdiği görülmektedir. Toplam alanın %53,97'si çok düşük erozyon riski sınıfında yer almakta ve bu alanlar genellikle düz-düze yakın, yoğun bitki örtüsüne sahip bölgeleri kapsamaktadır. Düşük erozyon riski sınıfı, toplam alanın %32,95'ini oluşturmaktadır ve hafif eğimli alanlarda ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde yer almaktadır. Bu iki sınıf, ilçenin büyük bir kısmının (%86,92) erozyon riskinin düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, orta erozyon riski sınıfında yer alan alanlar toplam alanın %11,22'sini kapsamaktadır ve

genellikle orta eğimli bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda, tarımsal faaliyetlerin toprak koruma önlemleriyle birlikte sürdürülmesi gerekmektedir. Yüksek erozyon riski sınıfı, toplam alanın %1,2'sini oluşturmakta ve eğimin arttığı, bitki örtüsünün zayıf olduğu alanları temsil etmektedir. Çok yüksek (%0,56) ve aşırı yüksek (%0,1) erozyon riski sınıfları ise özellikle sarp ve dik eğimli bölgelerde görülmekte olup, bu alanlar erozyonun en yoğun olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Genel olarak, Çamlıyayla ilçesinde çok düşük ve düşük erozyon riski sınıflarının geniş alanları kapladığı görülse de, orta ve üzeri erozyon riskine sahip alanlarda koruma önlemlerinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle yüksek eğimli bölgelerde ağaçlandırma, teraslama ve yüzey akışını düzenleyici yapılar gibi önlemlerin acil olarak uygulanması gerekmektedir.

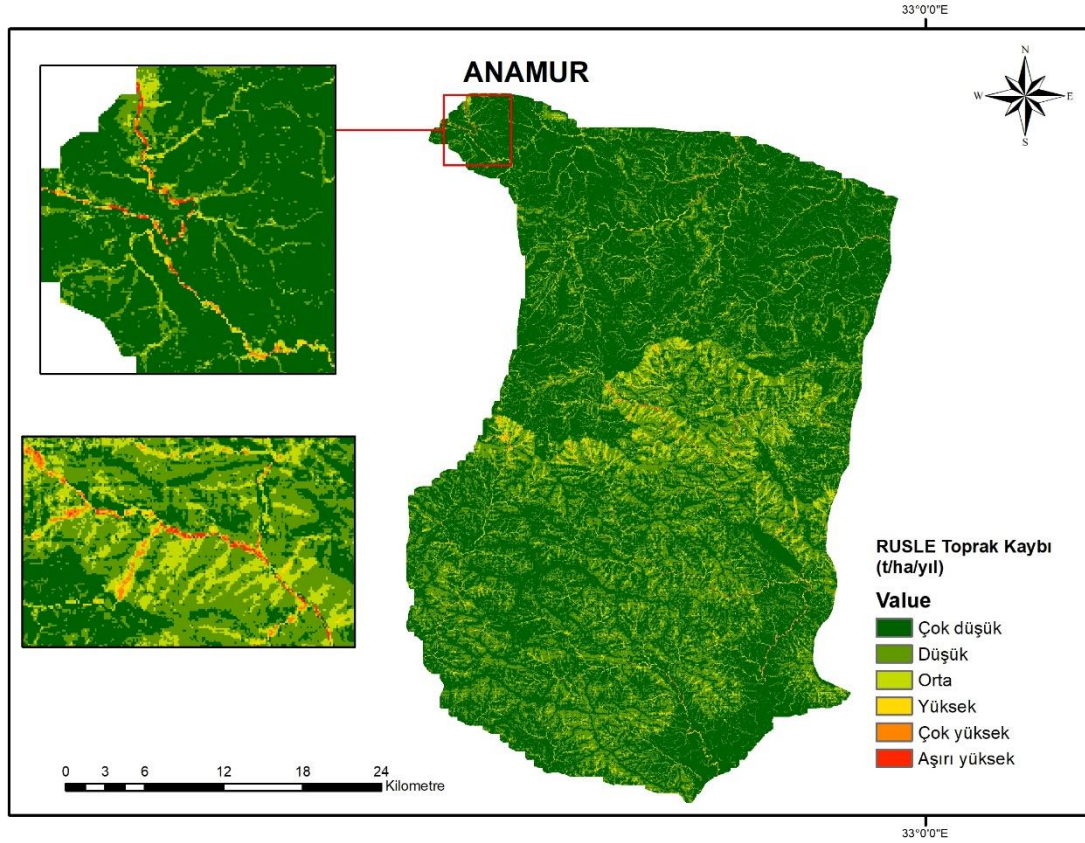


Şekil 4.11. RUSLE modeli Aydıncık ilçesi erozyon duyarlılık haritası

**Tablo 4.10.** Aydıncık ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

<b>Erozyon Risk Sınıfları</b>	<b>Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup>)</b>	<b>Alan (ha)</b>	<b>Oran (%)</b>
Çok düşük	0-5	26714,16	77,68
Düşük	5-12	6372,72	18,53
Orta	12-35	1157,31	3,37
Yüksek	35-60	105,66	0,31
Çok yüksek	60-150	38,79	0,11
Aşırı yüksek	>150	2,97	0,008

Aydıncık ilçesine ait RUSLE toprak kaybı haritası (Şekil 4.11) ve erozyon riski sınıflarının analizi (Tablo 4.10), ilçenin büyük bir kısmının çok düşük erozyon riski taşıdığını ortaya koymaktadır. Toplam alanın %77,68'ini kapsayan çok düşük erozyon riski sınıfı, düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgeleri ifade etmektedir. Bu durum, doğal koşulların erozyonu önleyici etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Düşük erozyon riski sınıfı, toplam alanın %18,53'ünü oluşturmaktadır olup, hafif eğimli ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda yer almaktadır. Orta erozyon riski sınıfı ise toplam alanın %3,37'sini kapsamaktadır ve özellikle orta eğimli alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda sürdürülebilir tarım uygulamalarının artırılması gereklidir. Yüksek ve çok yüksek erozyon riski sınıflarında yer alan alanlar, eğimin ve yüzey akışının arttığı bölgelerde görülmekte ve toprak kaybının belirgin bir tehdit oluşturduğunu göstermektedir. Aşırı yüksek erozyon riski sınıfı ise toplam alanın sadece %0,008'ini kapsamaktadır. Bu alanlar, özellikle sarp ve dik eğimli bölgelerde yoğunlaşmakta ve acil koruma önlemleri gerektirmektedir. Genel olarak, Aydıncık ilçesinde düşük erozyon riski baskın olmakla birlikte, orta ve yüksek risk sınıflarında yer alan alanlarda erozyon kontrol önlemlerinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle dik ve sarp eğimli bölgelerde, ağaçlandırma, teraslama ve su akışını kontrol altına alacak yapısal önlemlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir.



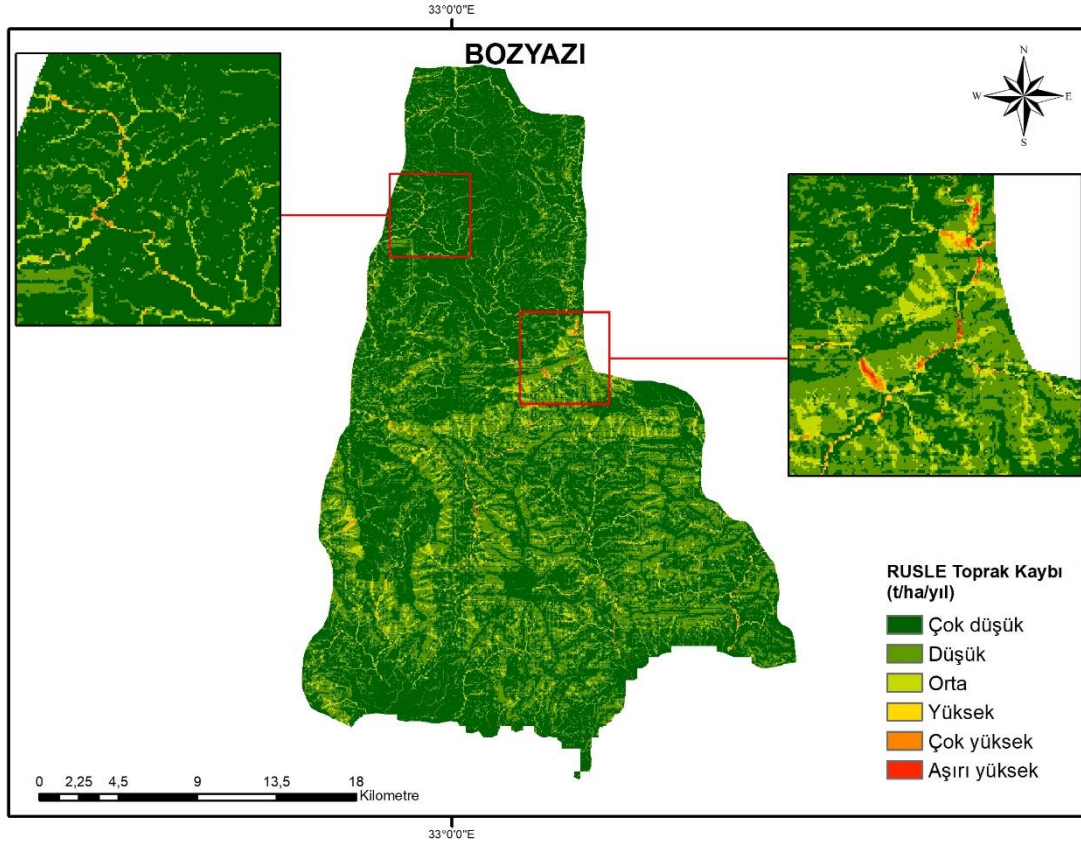
Şekil 4.12. RUSLE modeli Anamur ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.11. Anamur ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	92797,38	65,69
Düşük	5-12	38785,23	27,45
Orta	12-35	8349,48	5,91
Yüksek	35-60	856,08	0,61
Çok yüksek	60-150	412,2	0,29
Aşırı yüksek	>150	68,13	0,05

Anamur ilçesine ait RUSLE toprak kaybı haritası (Şekil 4.12) ve erozyon riski sınıfları analizi (Tablo 4.11), ilçede yıllık toprak kaybının büyük oranda çok düşük seviyelerde seyrettiğini göstermektedir. Toplam alanın %65,69'unu kapsayan çok düşük erozyon riski sınıfı, düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgeleri ifade etmektedir. Bu alanlar, doğal koruma etkisinin güçlü olduğu ve erozyon riskinin minimal düzeyde bulunduğu alanlardır. Düşük erozyon riski sınıfı ise toplam alanın %27,45'ini oluşturarak, hafif eğimli ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Orta erozyon riski sınıfı, toplam alanın %5,91'ini kapsamakta ve genellikle orta

eğimli bölgelerde yer almaktadır. Bu alanlarda toprak koruma uygulamalarının artırılması ve sürdürülebilir tarım tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Yüksek (%0,61), çok yüksek (%0,29) ve aşırı yüksek (%0,05) erozyon riski sınıfları ise toplam alanın küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Genel olarak, Anamur ilçesinin büyük bir kısmında (%93,14) çok düşük ve düşük erozyon riski sınıfları baskın olmakla birlikte, orta ve üzeri risk sınıflarında yer alan bölgelerde koruma önlemleri artırılabilir. Özellikle dik ve sarp eğimli alanlarda, ağaçlandırma, teraslama ve su akışını düzenleyici yapısal önlemler gibi tedbirlerin uygulanması kritik öneme sahiptir.

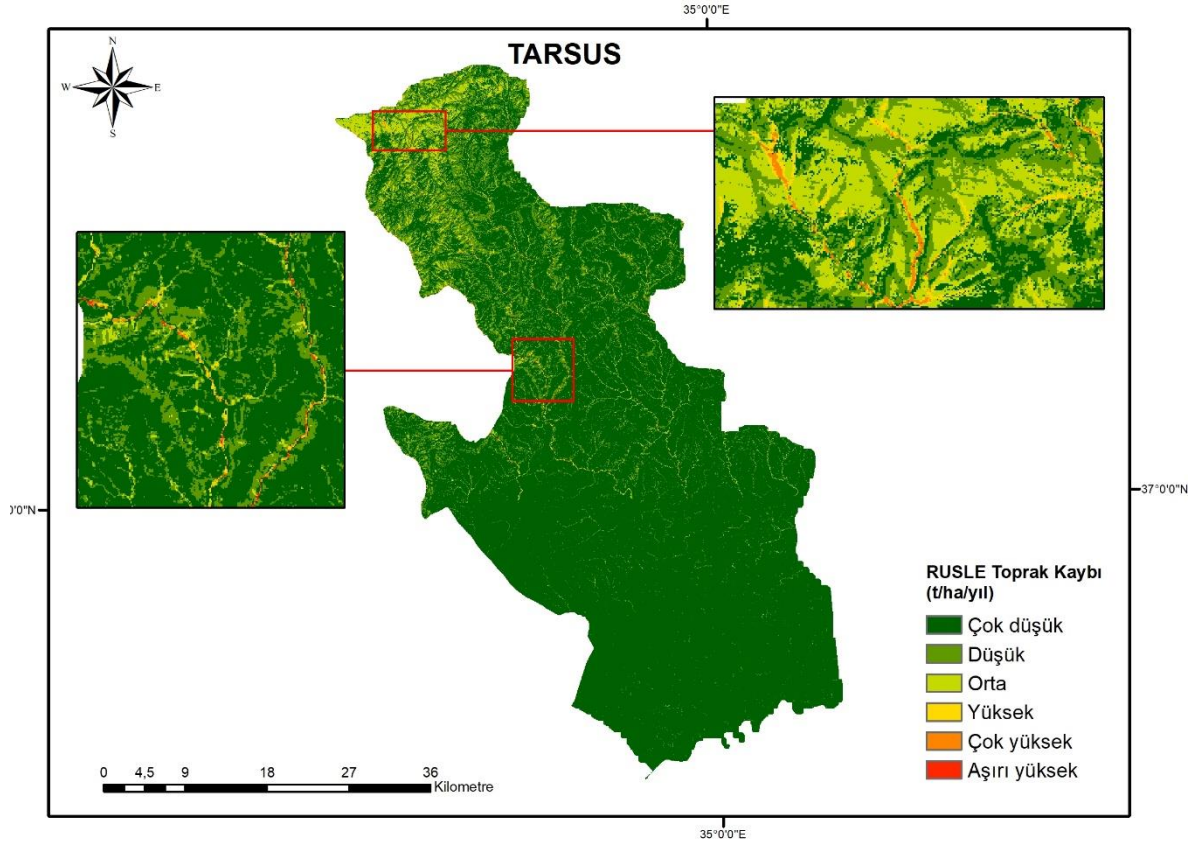


Şekil 4.13. RUSLE modeli Bozyazı ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.12. Bozyazı ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri ( $t \cdot ha^{-1} \cdot yıl^{-1}$ )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	41634,72	65,58
Düşük	5-12	17694,63	27,87
Orta	12-35	3598,56	5,67
Yüksek	35-60	358,92	0,57
Çok yüksek	60-150	171,45	0,27
Aşırı yüksek	>150	24,48	0,04

Bozyazı ilçesine ait RUSLE toprak kaybı haritası (Şekil 4.13), ilçede erozyon riskinin büyük oranda çok düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir. Tablo 4.12.'ye göre ilçenin %65,58'ini çok düşük erozyon riski sınıfı oluşturmaktadır. Bu alanlar, genellikle düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerden oluşmakta ve doğal koruma etkisinin güçlü olduğu yerleri temsil etmektedir. Düşük erozyon riski sınıfı, toplam alanın %27,87'sini kapsamakta olup, hafif eğimli bölgelerde ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda görülmektedir. Orta düzeyde erozyon riski %5,67 oranında bir alanı kaplamakta ve genellikle orta eğimli alanlarda yer almaktadır. Bu alanlarda toprak kaybının kontrolü için sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesi gerekmektedir. Yüksek (%0,57), çok yüksek (%0,27) ve aşırı yüksek (%0,04) erozyon riski sınıfları ise toplam alanın sınırlı bir kısmını oluşturmaktadır olup, bu bölgeler sarp ve dik eğimli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Bu bölgelerde teraslama, ağaçlandırma ve yüzey akışını kontrol altına alacak yapısal önlemlerin hayata geçirilmesi gereklidir.

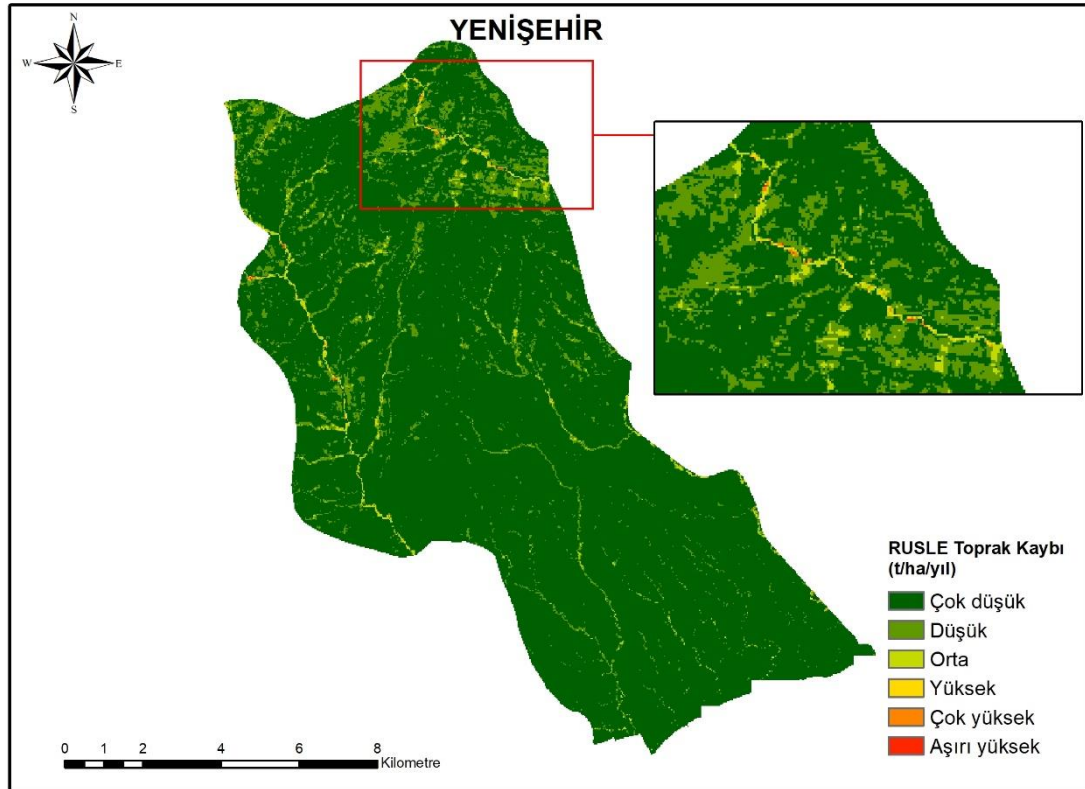


Şekil 4.14. RUSLE modeli Tarsus ilçesi erozyon duyarlılık haritası.

**Tablo 4.13.** Tarsus ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	170290,4	84,53
Düşük	5-12	22408,11	11,12
Orta	12-35	7561,17	3,75
Yüksek	35-60	765,54	0,38
Çok yüksek	60-150	377,28	0,19
Aşırı yüksek	>150	60,84	0,03

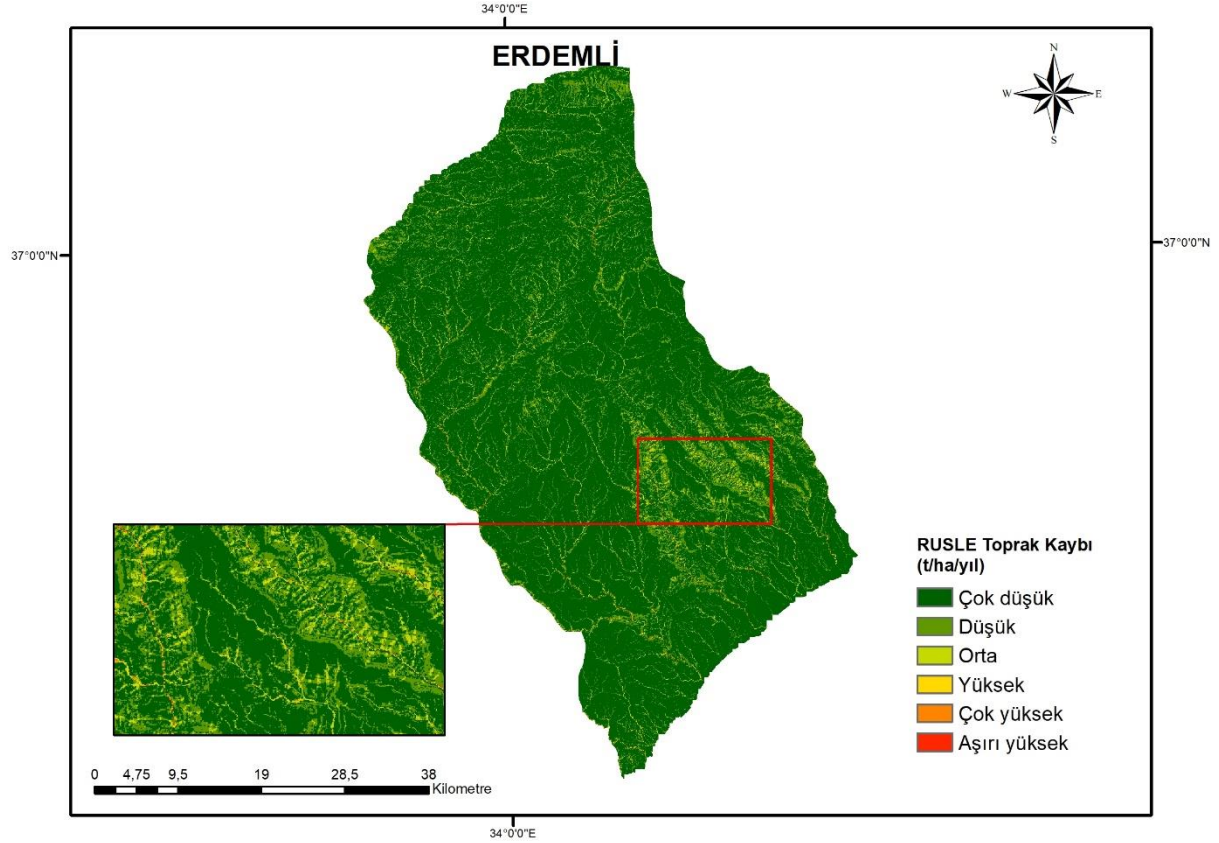
Şekil 4.14 ve Tablo 4.13 incelendiğinde Tarsus ilçesi RUSLE toprak kaybı analizi bölgedeki erozyon riskinin büyük ölçüde çok düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir. İlçenin %84,53'ünü kapsayan çok düşük erozyon riski sınıfı, düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda yoğunlaşmıştır. Düşük erozyon riski sınıfı ise toplam alanın %11,12'sini oluşturmaktadır ve hafif eğimli alanlarda yer almaktadır. Orta (%3,75), yüksek (%0,38), çok yüksek (%0,19) ve aşırı yüksek (%0,03) erozyon riski sınıfları ise toplam alanın küçük bir kısmını temsil etmektedir.

**Şekil 4.15.** RUSLE modeli Yenişehir ilçesi erozyon duyarlılık haritası.

**Tablo 4.14.** Yenişehir ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

<b>Erozyon Risk Sınıfları</b>	<b>Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup>)</b>	<b>Alan (ha)</b>	<b>Oran (%)</b>
Çok düşük	0-5	12656,61	91,06
Düşük	5-12	1032,21	7,43
Orta	12-35	178,65	1,29
Yüksek	35-60	21,15	0,15
Çok yüksek	60-150	8,55	0,06
Aşırı yüksek	>150	1,17	0,01

Yenişehir ilçesi RUSLE toprak kaybı analizi, ilçenin büyük bir kısmının çok düşük erozyon riski taşıdığını göstermektedir (Tablo 4.14). İlçenin %91,06'sını kapsayan çok düşük erozyon riski sınıfı, düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda yoğunlaşmıştır. Düşük erozyon riski sınıfı ise toplam alanın %7,43'ünü oluşturarak, hafif eğimli alanlarda ve yer yer tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgelerde yer almaktadır. Orta (%1,29), yüksek (%0,15), çok yüksek (%0,06) ve aşırı yüksek (%0,01) erozyon riski sınıfları ise toplam alanın oldukça küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu bölgelerde, eğimin artması ve bitki örtüsünün yetersiz olması nedeniyle erozyon riski daha belirgin hale gelmiştir.

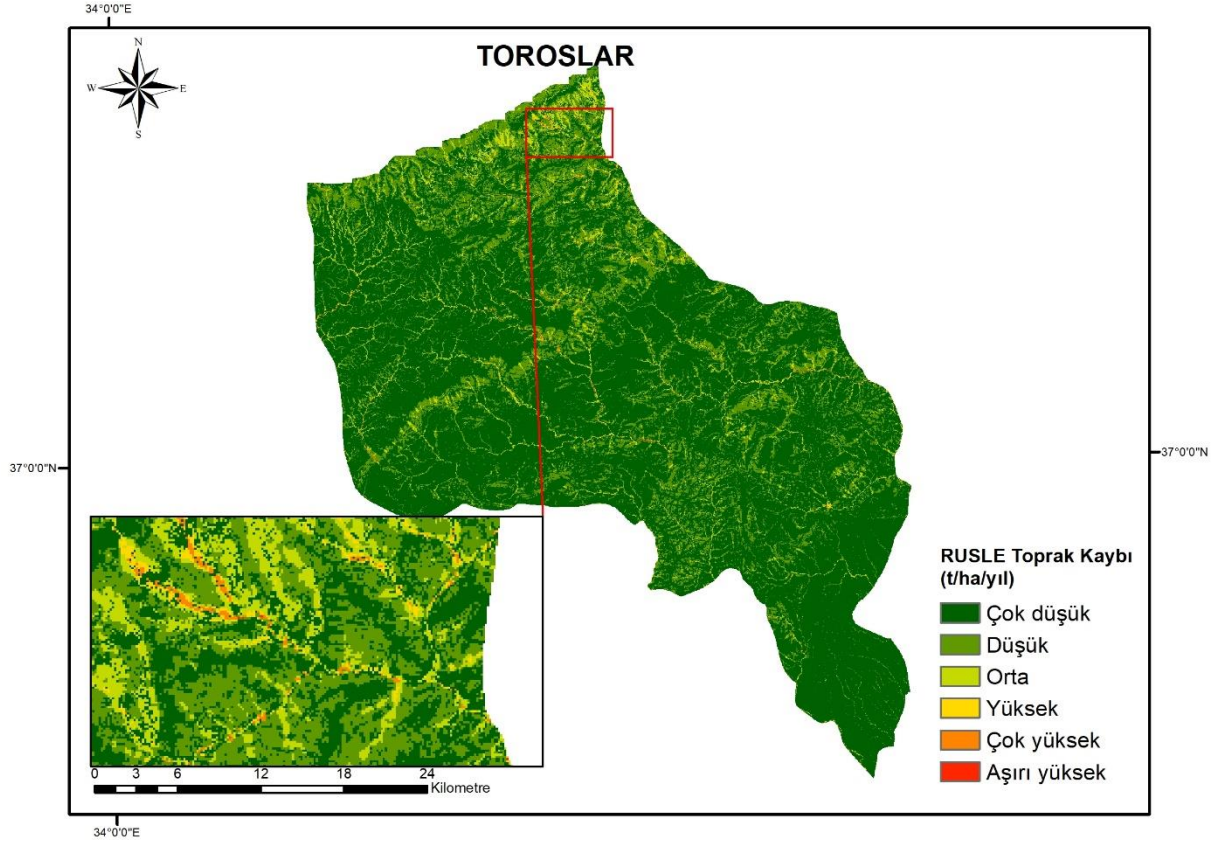


Şekil 4.16. RUSLE modeli Erdemli ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.15. Erdemli ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	192759,1	84,87
Düşük	5-12	26402,04	11,62
Orta	12-35	6383,34	2,81
Yüksek	35-60	943,92	0,42
Çok yüksek	60-150	524,16	0,23
Aşırı yüksek	>150	103,14	0,05

Erdemli ilçesinde genel olarak çok düşük erozyon risk sınıfları mevcut olup Şekil 4.16'da yeşil tonların daha fazla alan kapladığı görülmektedir. Tablo 4.15'e göre Erdemli ilçesinin erozyon riskinin büyük bölümünün (%84,87) çok düşük seviyelerde, düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerde yer aldığı tespit edilmiştir. Düşük risk sınıfı %11,62, orta risk sınıfı ise %2,81 oranında alan kaplamaktadır. Yüksek ve üzeri risk sınıfları (%0,7) sınırlı alanlarda görülmektedir. Riskli bölgelerde teraslama, ağaçlandırma ve yüzey akışını düzenleyici önlemler alınması gerekmektedir.

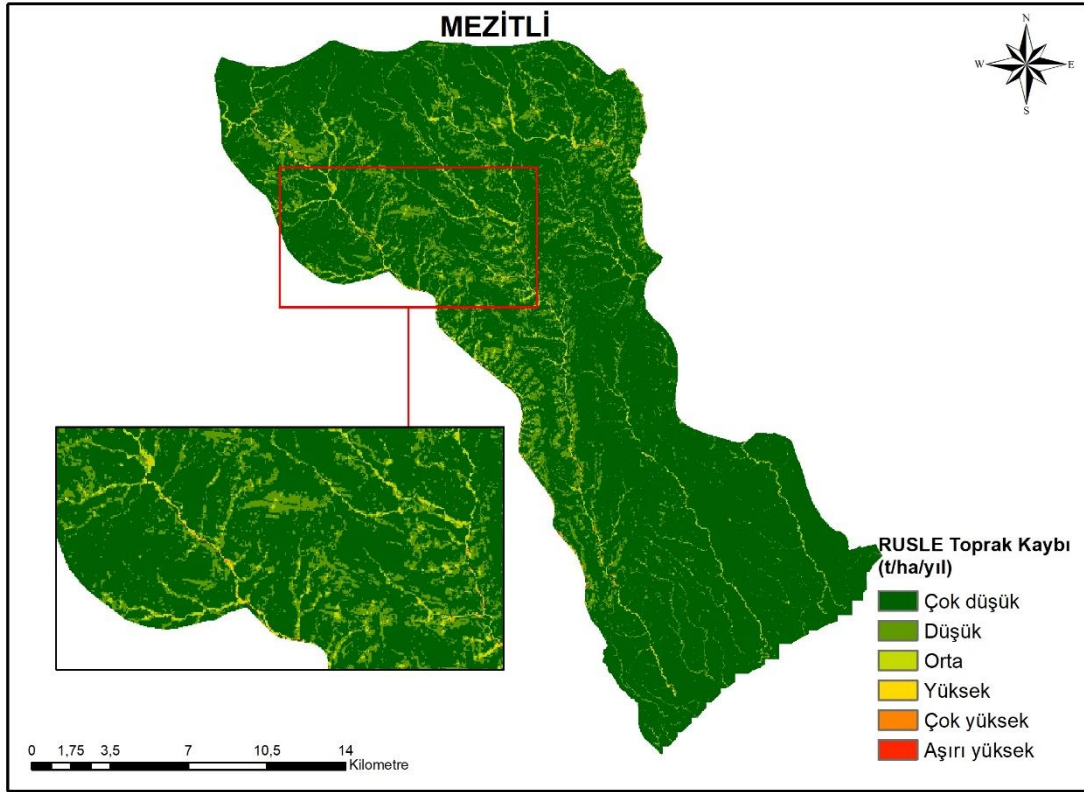


Şekil 4.17. .RUSLE modeli Toroslar ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.16. Toroslar ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri(t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	82263,96	76,73
Düşük	5-12	20117,97	18,76
Orta	12-35	4142,07	3,86
Yüksek	35-60	460,26	0,43
Çok yüksek	60-150	208,53	0,19
Aşırı yüksek	>150	19,71	0,02

Erozyon risk sınıflarına ait Tablo 4.16 incelendiğinde Toroslar ilçesinde erozyon riskinin büyük bölümünün (%76,73) çok düşük seviyelerde olup, bu alanların düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerde yer aldığı görülmektedir. Düşük erozyon riski sınıfı ise %18,76 ile hafif eğimli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Orta (%3,86), yüksek (%0,43), çok yüksek (%0,19) ve aşırı yüksek (%0,02) erozyon riski sınıfları toplam alanın küçük bir kısmını oluşturarak bölgenin kuzey kesimlerinde yer almaktadır (Şekil 4.17). Bu bölgelerde eğim ve bitki örtüsü yetersizliği nedeniyle risk artmakta olup, erozyon kontrolü için ağaçlandırma ve teraslama gibi önlemler alınması gereklidir.



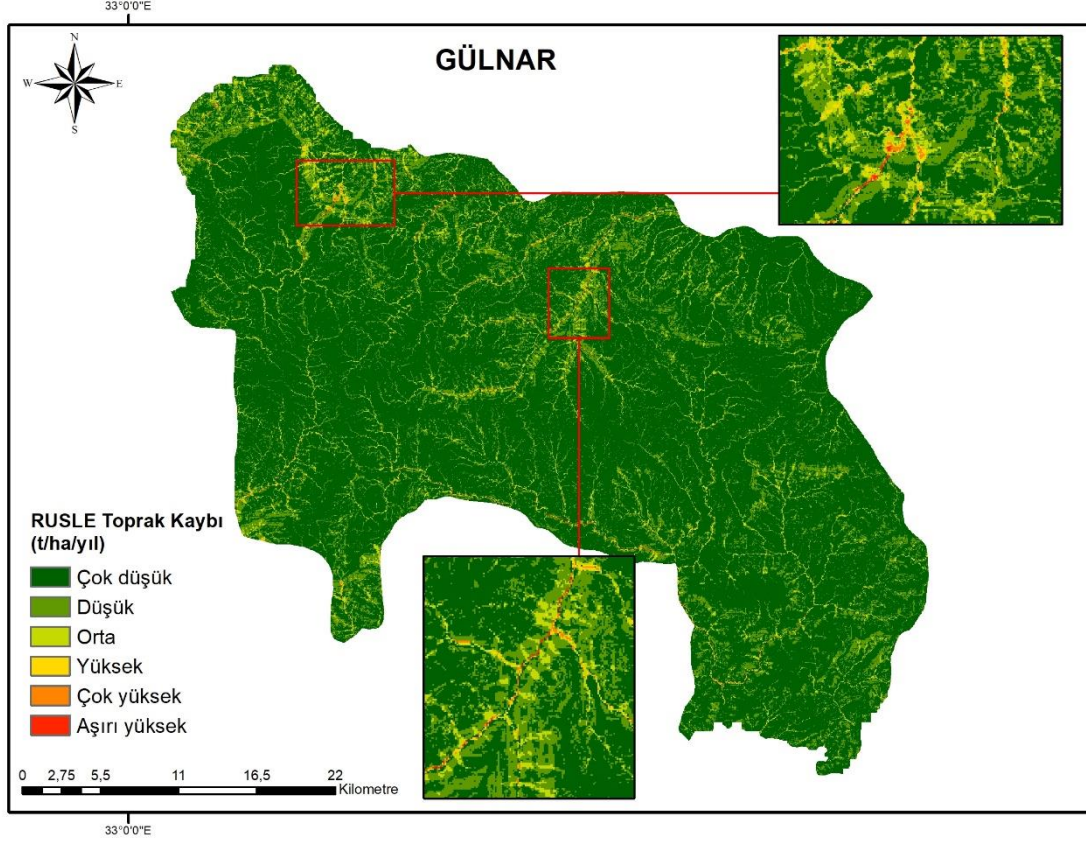
Şekil 4.18. RUSLE modeli Mezitli ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.17. Mezitli ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	31723,02	85,69
Düşük	5-12	4347,09	11,74
Orta	12-35	789,93	2,13
Yüksek	35-60	110,43	0,3
Çok yüksek	60-150	44,19	0,12
Aşırı yüksek	>150	5,67	0,02

Mezitli RUSLE erozyon duyarlılık haritası (Şekil 4.18.) ve erozyon duyarlılık sınıfları tablosu (Tablo 4.17.) oluşturulmuştur. İlçenin erozyon riskinin büyük kısmı (%85,69) çok düşük seviyelerde olup, bu alanlar düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerde yer almaktadır. Düşük erozyon riski sınıfı, toplam alanın %11,74'ünü oluşturarak hafif eğimli alanlarda ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgelerde yoğunlaşmıştır (Tablo 4.17.). Orta (%2,13), yüksek (%0,3), çok yüksek (%0,12) ve aşırı yüksek (%0,02) erozyon riski sınıfları toplam alanın çok küçük bir kısmını temsil etmektedir. Bu risk sınıflarındaki alanlar, eğimin artışı ve bitki örtüsü eksikliğine bağlı olarak daha yüksek toprak kaybı riski taşımaktadır. Bu bölgelerde erozyon kontrolüne yönelik ağaçlandırma,

teraslama ve yüzey akışını düzenleyici önlemler uygulanması önerilmektedir. Genel olarak Mezitli ilçesi, erozyon riskinin düşük olduğu bir yapıya sahiptir, ancak yüksek riskli alanlarda alınacak önlemler önem taşımaktadır.



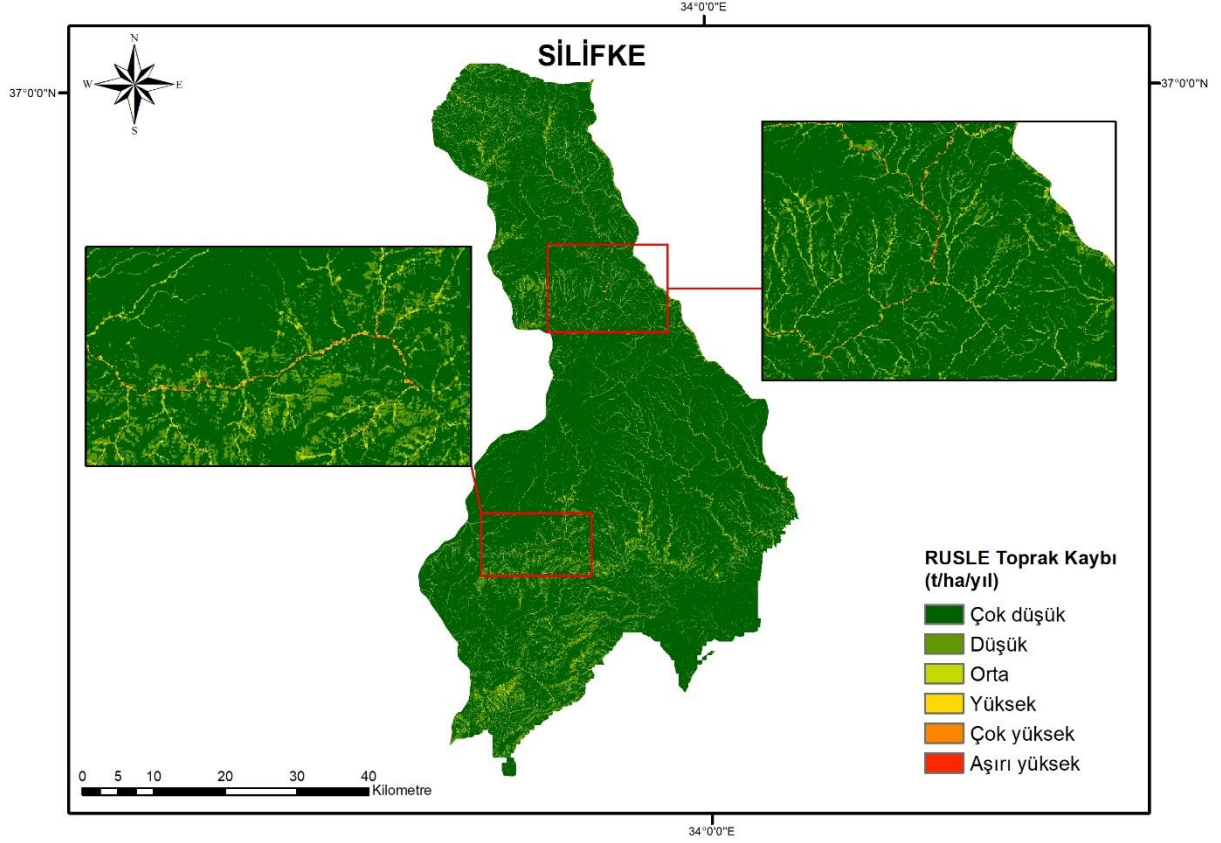
Şekil 4.19. RUSLE modeli Gülnar ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.18. Gülnar ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	114379,1	81,25
Düşük	5-12	20607,3	14,64
Orta	12-35	4730,76	3,36
Yüksek	35-60	666,18	0,47
Çok yüksek	60-150	324	0,23
Aşırı yüksek	>150	63,63	0,05

Tablo 4.18.ve Şekil 4.19. incelendiğinde Gülnar ilçesinde erozyon riskinin büyük bir kısmının (%81,25) çok düşük seviyelerde olup, bu alanların düz-düze yakın eğimli ve bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde yer aldığı tespit edilmiştir. Düşük erozyon riski sınıfı %14,64 oranında bir alanı kapsamakta ve hafif eğimli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Orta erozyon riski sınıfı %3,36 oranında bir

alana sahiptir ve genellikle orta eğimli bölgelerde görülmektedir. Yüksek (%0,47), çok yüksek (%0,23) ve aşırı yüksek (%0,05) erozyon riski sınıfları ise toplam alanın sınırlı bir kısmını oluşturmaktadır. Bu risk sınıflarındaki alanlarda, toprak kaybını azaltmak için ağaçlandırma ve teraslama gibi koruma önlemlerinin alınması gereklidir. Genel olarak Gülnar ilçesi, düşük erozyon riski taşıyan bir yapıya sahip olsa da, yüksek riskli bölgelerde önleyici tedbirlerin artırılması önemlidir.

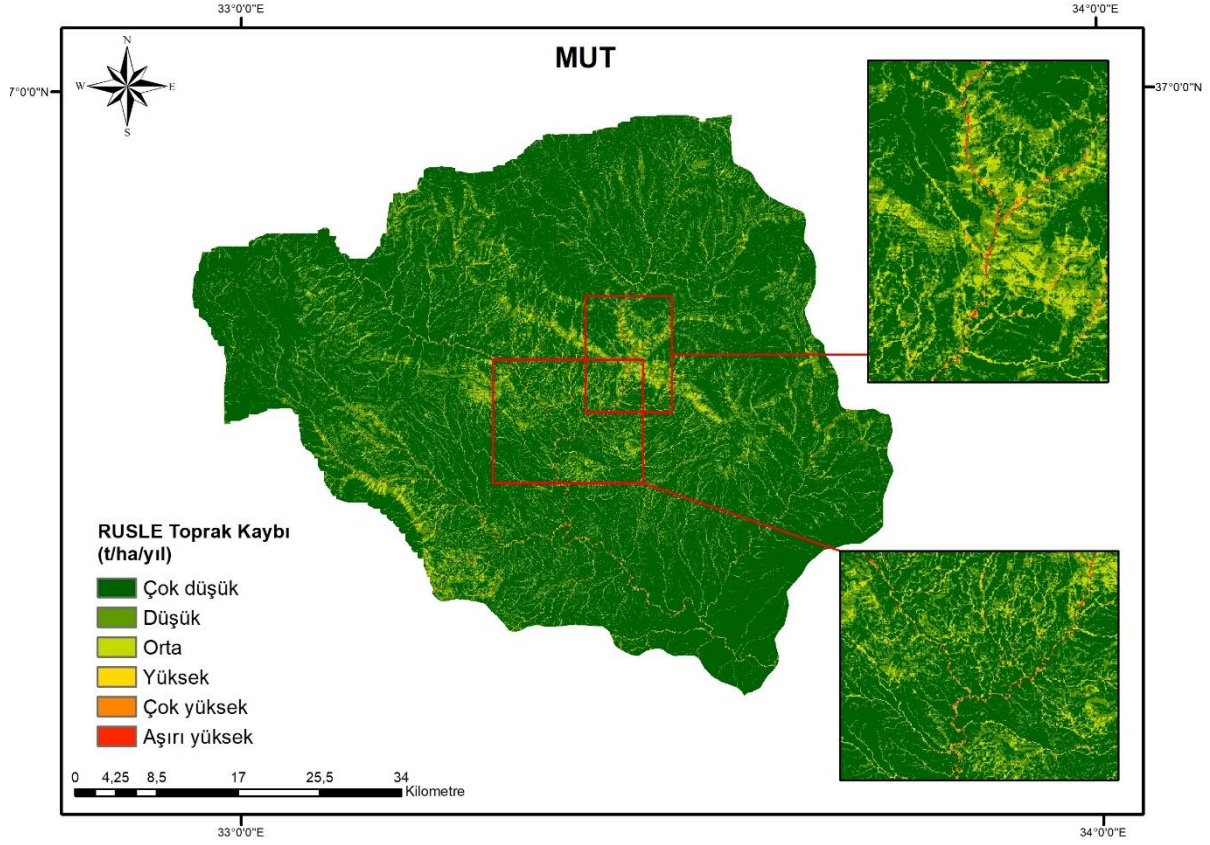


Şekil 4.20. RUSLE modeli Silifke ilçesi erozyon duyarlılık haritası

**Tablo 4.19.** Silifke ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	230510,3	86,49
Düşük	5-12	27869,49	10,46
Orta	12-35	6532,65	2,45
Yüksek	35-60	922,77	0,35
Çok yüksek	60-150	562,95	0,21
Aşırı yüksek	>150	117,54	0,04

Silifke ilçesinde erozyon riski büyük ölçüde çok düşük seviyelerde olup, toplam alanın %86,49'unu (230.510,3 ha) çok düşük erozyon riski sınıfı oluşturmaktadır (Tablo 4.19.). Bu alanlar düz-düze yakın eğimli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerde yer almaktadır. Düşük erozyon riski sınıfı ise %10,46 oranında bir alan kaplamakta, hafif eğimli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Orta (%2,45), yüksek (%0,35), çok yüksek (%0,21) ve aşırı yüksek (%0,04) erozyon riski sınıfları toplam alanın küçük bir kısmını temsil etmekte olup, bu alanlar eğim ve bitki örtüsü eksikliği nedeniyle erozyon riskinin arttığı bölgeleri işaret etmektedir. Bu alanlarda teraslama, ağaçlandırma ve yüzey akışını düzenleyici tedbirlerin uygulanması gereklidir. Genel olarak, Silifke ilçesinde düşük erozyon riski baskın olmakla birlikte, yüksek riskli bölgelerde koruma çalışmalarının yoğunlaştırılması önem taşımaktadır (Şekil 4.20.).

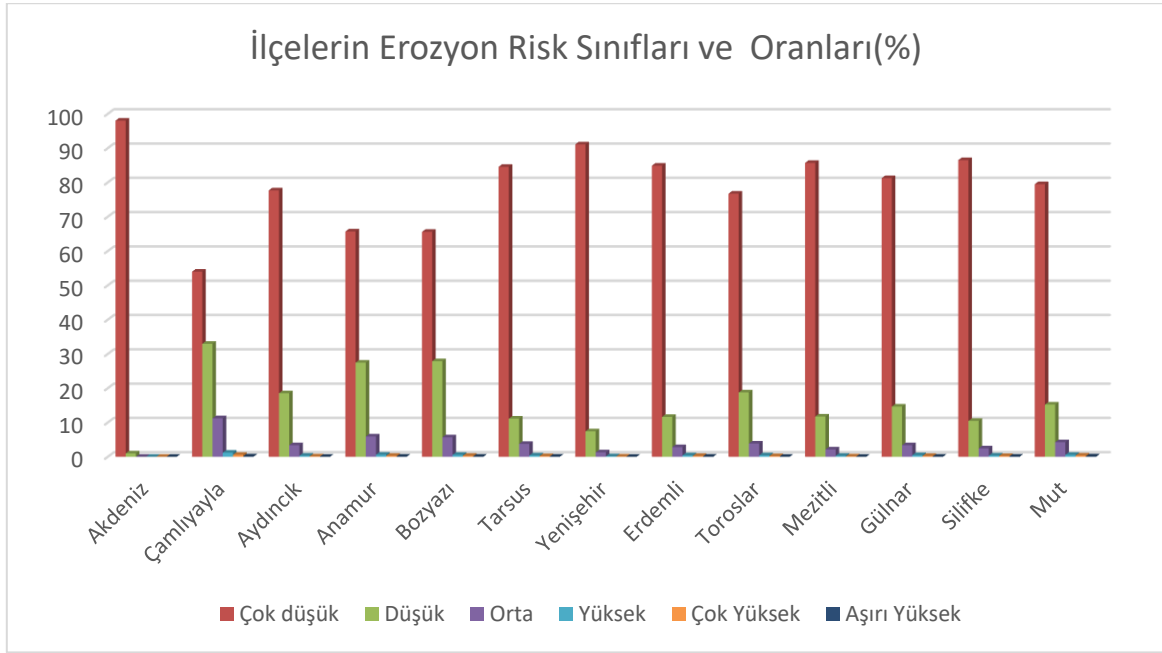


Şekil 4.21. RUSLE modeli Mut ilçesi erozyon duyarlılık haritası

Tablo 4.20. Mut ilçesi erozyon risk sınıfları, değer aralıkları, alan ve oranları

Erozyon Risk Sınıfları	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (ha)	Oran (%)
Çok düşük	0-5	215052,4	79,5
Düşük	5-12	41175,81	15,22
Orta	12-35	11490,93	4,25
Yüksek	35-60	1551,96	0,57
Çok yüksek	60-150	992,7	0,37
Aşırı yüksek	>150	256,59	0,09

Mut ilçesi için yapılan RUSLE modeline dayalı analizler, bölgenin büyük bir kısmının düşük erozyon riski taşıdığını göstermektedir (Şekil 4.21.) Tablo 4.20.'ye göre toplam alanın %79,5'i çok düşük ve %15,22'i düşük risk sınıfında yer almaktadır. Bununla birlikte, orta dereceli erozyon riski taşıyan alanların oranı %4,25'dir. Yüksek ve çok yüksek risk sınıflarına giren alanlar sırasıyla %0,57 ve %0,37 ile daha küçük bir bölgeyi kapsamaktadır. Aşırı yüksek erozyon riski taşıyan alanlar ise %0,09 oranında çok sınırlı bir alanda bulunmaktadır. Genel olarak, bölgenin büyük kısmı düşük riskli sınıflarda yer almakta olup yerel olarak görülen yüksek riskli alanlarda sürdürülebilir arazi kullanımı ve erozyon kontrol önlemleri uygulanmalıdır. İlçelerin erozyon risk sınıfları grafiği Şekil 4.22.'de verilmiştir.



Şekil 4.22. İlçelerin erozyon risk sınıflarına göre risk oranları grafiği

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Erozyon, organik madde açısından zengin toprak üst tabakasının taşınmasıyla toprakların yok olmasına neden olan ve küresel ölçekte çözüm gerektiren ciddi bir problemdir. Erozyonun bir sonucu olarak topraklar verimsizleşmekte, su kaynakları kirlenmekte, kırsaldan kente göçler artmakta ve bu da beraberinde çarpık kentleşme sorunlarını getirmektedir. Bu sorunlar, erozyonun önlenmesine veya etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmaların önemini vurgulamaktadır. Erozyon şiddetini tespit etmek amacıyla saha araştırmaları ve laboratuvar çalışmaları yapılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte, CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak erozyon risk analizi ve modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Mersin, Türkiye'nin tarım açısından en önemli bölgelerinden biri olup, sahip olduğu iklim, toprak ve coğrafi koşullar sayesinde geniş bir tarımsal üretim çeşitliliği sunmaktadır. Akdeniz iklimine sahip olması, yıl boyunca birçok ürünün yetişmesine olanak tanırken, özellikle narenciye, muz ve sera ürünleri gibi ekonomik değeri yüksek ürünlerin üretiminde öne çıkmaktadır. Türkiye'nin narenciye üretiminde önemli bir paya sahip olan Mersin, bu ürünlerin hem iç piyasa hem de ihracatında kritik bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda geniş sera alanları ile kış aylarında da sebze üretimi yapılabilmektedir. Verimli tarım arazileri, sulama olanakları ve liman altyapısının sağladığı lojistik avantajlar, Mersin'i hem yerel hem de uluslararası tarım ticaretinde stratejik bir konuma taşımaktadır. Ancak tarım alanlarında meydana gelen erozyon, toprak verimliliğinin azalması, bitki büyüme koşullarının bozulması ve uzun vadede tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehlikeye atması gibi ciddi riskler doğurmaktadır. Özellikle üst toprağın taşınması, bitkilerin ihtiyaç duyduğu organik madde ve besin elementlerinin kaybına yol açarak ürün verimliliğini düşürmekte; aynı zamanda toprak yapısının bozulması nedeniyle su tutma kapasitesi azalmaktadır. Bu durum, ekonomik kayıpları artırmakla kalmayıp gıda güvenliği üzerinde de olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu çalışmada, Mersin il sınırları içinde erozyon potansiyelini belirlemek ve kritik risk bölgelerini tespit etmek amacıyla RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) modeline dayalı bir analiz sunulmuştur. Model parametreleri R, K, LS, C ve P faktörleri incelenerek her bir faktör haritası ArcGIS 10.8 yazılımı aracılığıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm faktör haritaları çarpılarak çalışma alanına ait erozyon duyarlılık haritası elde edilmiştir. Sonuçlar, bölgedeki erozyonun mekânsal dağılımını detaylı bir şekilde ortaya koymuştur.

Çalışma sonuçlarına göre risk altındaki alanlar belirlenerek bölgedeki erozyonun büyük ölçüde eğime bağlı olarak değiştiği ve belirli bölgelerde şiddetli erozyon riskinin bulunduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Çamlıyayla, Toroslar, Bozyazı ve Anamur gibi ilçelerde erozyon riski yüksek ve çok yüksek seviyelerde bulunmuştur. Bu bölgelerde yüksek eğim, yetersiz bitki örtüsü ve yanlış arazi kullanım uygulamalarının bir araya gelmesi, erozyonun şiddetini artıran temel etkenler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Çamlıyayla ve Bozyazı bölgelerinde dik yamaçlar ve uzun yamaç boyları, erozyon riskini maksimum seviyeye çıkarmaktadır. Orta düzeyde toprak kaybı riski olan bölgeler Silifke, Mut ve

Erdemli olarak tespit edilmiştir. Bu bölgelerde erozyona sebebiyet veren temel faktörler, doğal süreçler ve insan faaliyetlerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkmaktadır. Yanlış tarım teknikleri, özellikle yoğun toprak işleme, monokültür tarım ve nadas uygulamaları, toprağın yapısını bozarak erozyona karşı hassas hale getirmektedir. Eğimli arazilerde eğim doğrultusunda tarım yapılması veya teraslama gibi koruyucu önlemlerin alınmaması, su akışını hızlandırarak toprak kaybını artırmaktadır. Ayrıca şiddetli yağışlar, rüzgâr ve yanlış sulama yöntemleri gibi doğal ve insan kaynaklı faktörler, toprağın taşınmasını hızlandırmaktadır. Bu bölgelerde erozyon riskini minimize etmek için eğimli arazilerde teraslama, bitki örtüsünün korunması, erozyon kontrol yapılarının inşa edilmesi gibi önlemler alınmalıdır. Buna karşın, Akdeniz, Mezitli, Yenişehir ve Tarsus gibi düz veya hafif eğimli alanlarda erozyon riski çok düşük seviyelerde seyretmektedir; bu durum, bu bölgelerdeki mevcut arazi kullanım pratiklerinin ve doğal yapının korunması gerektiğini vurgulamaktadır.

Elde edilen sonuçlar, doğal kaynak yönetimi ve sürdürülebilir arazi kullanım stratejileri için önemli bilgiler sunmaktadır. Yüksek riskli bölgelerde teraslama, ağaçlandırma, su akışını kontrol altına alacak mühendislik yapıları ve eğime uygun tarım teknikleri gibi önlemlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Özellikle Silifke, Mut ve Erdemli gibi orta düzeyde risk taşıyan verimli tarım alanlarında sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, toprak kaybını önlemede etkili olacaktır. Bu analiz aynı zamanda, yerel yönetimlerin ve karar vericilerin doğal kaynakları koruma ve erozyonla mücadele politikalarını geliştirmelerine katkı sağlayacaktır.

Çalışma, bölgedeki erozyon riskinin niceliksel ve mekânsal olarak anlaşılmasına yönelik önemli bir temel sunarken, aynı zamanda gelecekte daha detaylı ve uzun vadeli çalışmalar için bir başlangıç noktası teşkil etmektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliği etkilerinin ve insan kaynaklı faaliyetlerin erozyon üzerindeki etkilerinin incelendiği ileri düzey araştırmaların yapılması önerilmektedir. Gelecek çalışmalar kapsamında, erozyon risk analizlerinin daha hassas sonuçlar verebilmesi için daha yüksek çözünürlüklü veri setlerinin kullanılması önerilmektedir. Sonraki çalışmalarda 2024 verisi de değerlendirilebilir, mevsimsel olarak erozyon riski hesaplanabilir ve bulgular makine öğrenmesi yöntemleriyle, hotspot analizleriyle desteklenebilir. Ayrıca, uzun vadeli izleme çalışmaları ile erozyon riskinin yıllar içindeki değişimi değerlendirilebilir ve bu sayede trendler daha iyi anlaşılabilir. İnsan faaliyetlerinin erozyon üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, sosyo-ekonomik verilerin analizlere entegre edilmesi, bölgenin arazi kullanımına dair daha kapsamlı bilgiler sağlayabilir. Son olarak, bölgedeki iklim değişikliğinin erozyon süreçleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, doğal kaynak yönetimi ve sürdürülebilir arazi kullanım planlarının geliştirilmesi açısından önemli katkılar sunacaktır.

## KAYNAKLAR

Allafta, H., & Opp, C. (2022). Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model, Remote Sensing, and GIS in The Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran). *Applied Sciences*, 12(15), 7776.

Alparslan, K., & Küçükönder, M. (2021). Kaman Deresi Alt Havzasının Erozyon Duyarlılığı. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*.

Avcıoğlu, A., Bayrakdar, C., Sarı, E., & Arslan Kaya, T. G. (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.

Çelebi, H. (2010). Jeolojik ve Hızlandırılmış Erozyon Süreçleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(3).

Cook, S. J., Swift, D. A., & Kirkbride, M. P. (2020). The Empirical Basis For Modelling Glacial Erosion Rates. *Nature Communications*, 11, 759. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14583-8>

Çoruhlu, E. N., & Akıncı, H. (2021). Godrahav Havzasının (Artvin) Erozyon Duyarlılığının Jeo-Çevresel Faktörler Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Türk Uzaktan Algılama Ve CBS Dergisi*, 2(2), 106-119.

Cürebal, İ., & Ekinci, D. (2014). Kızılkıçlı Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (47), 115-129.

Ege, İ. (2019). Kula (Kula/Manisa) Peribacaları'nın Jeomorfolojik Özellikleri Ve Oluşumlarında Erozyon Etkisinin RUSLE Yöntemi İle Belirlenmesi. *International Journal Of Social Science*, (74), 455-479.

Erdem, M., & Türkmen, F. (2020). Çırçıp Deresi Havzasında RUSLE Modeli İle Erozyon Riskinin Değerlendirilmesi: Turnasuyu-Ordu. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(1), 129-136.

Erpul, G., İnce, K., Demirhan, A., Küçümen, A., Akdağ, M. A., Demirtaş, İ., Sarıhan, B., Çetin, E., & Şahin, S. (2020). Su Erozyonu İl İstatistikleri: Toprak Erozyonu Kontrol Stratejileri. Çölleşme Ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları.

Fıçıcı, M., & Soykan, A. (2022). Mpsıac & Rusle Yöntemleriyle Karşılaştırmalı Erozyon Analizi: Madra Barajı Havzası. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (8), 28-47.

Günek, H. (2018). Cbs Ve Uzaktan Algılama İle Rusle Toprak Erozyon Modeli: Bir Örnek Uluova Ve Çevresi. *International Geography Symposium On The 30th Anniversary Of Tucaum*, 3-6.

Gutiérrez, F. (2016, July 07). Sinkhole Hazards. Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science. Erişim Tarihi: 20 Ocak 2025,

<https://oxfordre.com/naturallhazardscience/view/10.1093/acrefore/9780199389407.001.0001/acrefore-9780199389407-e-40>.

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), 318.

Hudák, M., ve Durikovic, R. (2011). Terrain Models For Mass Movement Erosion, Theory And Practice Of Computer Graphics, Warwick, United Kingdom, 2011. Proceedings.

İkiel, C., Ustaoglu, B., & Koç, D. E. (2020). Trakya Yarımadası'nda Erozyon Duyarlılık Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (4), 1-14.

Jahun, B. G., Ibrahim, R., Dlamini, N. S., & Musa, S. M. (2015). Review Of Soil Erosion Assessment Using RUSLE Model And GIS. *Journal Of Biology, Agriculture And Healthcare*, 5(9), 36-47.

Karaoglu, M. (2018). Rüzgâr Ve Rüzgâr Olayları. *Journal Of Agriculture*, 1(2), 39-48.

Kılıç, O. M., Duman, E., & Ersayın, K. (2018). Çekerek Havzası'nın USLE Yöntemine Dayalı Erozyon Modellemesi. TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara.

Kırcı, A. (2019), Ordu-Ünye'de Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak RUSLE Erozyon Modeline Göre Toprak Kaybının Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu, Türkiye.

Koralay, N., & Kara, Ö. (2022). Trabzon Değirmendere Çatak Alt Havzasının Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması Ve Sediment İletim Oranının Belirlenmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 41-54.

MGM 2024 Yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Ankara. Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2023

Link: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN>

Mörner, N. ve Klein, P. (2017) Coastal Erosion in Yasawa Islands, Fiji. *Natural Science*, 9, 136-142.  
doi: 10.4236/ns.2017.95014.

Mutlu, Y. E., & Soykan, A. (2018). RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini: Havran Çayı Örneği. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (1), 50-66.

Mutlu, Y. E., Soykan, A., & Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı Havzası'nda (Balıkesir) Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (6), 98-111.

Saha, M., Sauda, S.S., Real, H. R. K., Mahmud, M. (2022). Estimation of annual rate and spatial distribution of soil erosion in the Jamuna basin using RUSLE model: A geospatial approach. *Environmental Challenges*, 8, 100524. Senanayake, S., Pradhan, B., Alamri, A., & Park, H. (2022). A new application of deep neural network (LSTM) and RUSLE models in soil erosion prediction. *Science of the Total Environment*, 845, 157220.

Uludağ, M., & Fıçıcı, M. (2018). Saray İlçesinde (Tekirdağ) Toprak Erozyonunun RUSLE Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (70), 29-36.

Yılmaz, E. (2006), Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi Ve Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

## ÖZGEÇMİŞ



