



**YAĞIŞLARIN ASKIDAKİ SEDİMENT MİKTARI DEĞİŞİMİNE
ETKİSİNİN RUSLE YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ; KAVAKLIDERE
HAVZASI ÖRNEĞİ**

Furkan ŞİMŞEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Furkan ŞİMŞEK

05/11/2021

YAĞIŞLARIN ASKIDAKİ SEDİMENT MİKTARI DEĞİŞİMİNE ETKİSİNİN RUSLE YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ; KAVAKLIDERE HAVZASI ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Furkan ŞİMŞEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2021

ÖZET

Toprak oluşumu ve toprak kayıpları doğal şartlarda ideal bir denge içerisinde. Doğada toprak oluşumu hızının daima toprak kayıpları hızından fazla olduğu bilinmektedir. Ancak insan etkisiyle toprak döngüsündeki doğal denge hızla bozularak; ekolojik, psikolojik, sosyal ve ekonomik alanlarda ciddi sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sebeple toprak kayıplarının izlenmesi ve önlenmesi günümüzde oldukça önemli hale gelmiştir. 2012 ve 2018 yıllarına ait DSİ askıda sediment gözlem verilerine göre toprak kayıpları miktarında değişim gözlenen Kavaklıdere havzası bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Kavaklıdere havzasının askıdaki (süspanse) sediment miktarında zamanla meydana gelen değişimin sebepleri; RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), UA (Uzaktan algılama), CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yöntemleri ve ArcGIS yazılımı kullanılarak yapılan modelleme çalışmaları ile araştırılmıştır. RUSLE eşitliğinde yer alan havza özellikleri ile ilgili veriler incelendiğinde, R (yağışın aşındırma gücü faktörü) dışındaki tüm parametrelerin inceleme yapılan yıllar içerisinde sabit kaldığını görülmüştür. Bu sebeple iki farklı zaman aralığı için hazırlanan modeller ile yağışların toprak kaybı miktarına etkisi incelenmiştir. Analiz sonucunda, hesaplanan sediment miktarları ile ölçülen sediment miktarları karşılaştırılmış, hesaplanan ve ölçülen sediment verimindeki değişim oransal olarak incelenmiştir. Modelden ve ölçümlerden elde edilen sediment miktarları arasında ciddi bir fark olsa da, model sonuçlarının değişim oranı ile ölçüm verilerinin değişim oranı birbiri ile uyumlu bulunmuştur. Hesaplanan ve gözlenen sediment miktarlarına ait oransal değişimlerin yakın olması, değişimin yağış etkisi ile meydana geldiğini doğrulamaktadır. Ayrıca tez sonuçları hesaplanan sediment miktarı ile ölçülen sediment miktarı arasındaki büyük farkın oluşmasında en önemli etkenin SİO (Sediment İletim Oranı) olduğunu göstermiştir

Bilim Kodu : 91106

Anahtar Kelimeler : Askıda sediment, Toprak kayıpları, RUSLE, Yağış

Sayfa Adedi : 63

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

İkinci Danışman : Dr. Erhan DEMİR

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PRECIPITATION ON THE CHANGE OF
SUSPENDED SEDIMENT AMOUNT IN KAVAKLIDERE BASIN
USING RUSLE MODEL

(M. Sc. Thesis)

Furkan ŞİMŞEK

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
November 2021

ABSTRACT

Soil formation and soil losses are in an ideal balance under natural conditions. It is known that the rate of soil formation in nature is always higher than the rate of soil losses. However, the natural balance in the soil cycle can be rapidly deteriorated by human action. It also brings serious problems in ecological, psychological, social and economic fields. For this reason, monitoring and prevention of soil losses have become very important today. The Kavaklıdere basin, in which a change was observed in the amount of soil losses according to the DSI (State Hydraulic Works, responsible government body for water related issues in Turkey) suspended sediment observation data of 2012 and 2018, was examined within the scope of this study. The reasons for changes of suspended sediment amount in the Kavaklıdere basin has been studied with RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), RS (Remote sensing), GIS (Geographic Information Systems) methods and modeling studies using ArcGIS software. As a result of the basin characteristics included in the RUSLE equation were examined, it was determined that all parameters except R (the erosional power factor of precipitation) remained constant throughout period observed. For this reason, the effect of precipitation on the amount of soil loss was determined with the model prepared for two different time intervals. Calculated and measured sediment amounts were compared, and the changes between two sediment yields were examined proportionally. Although there is a significant difference in the amount of sediment obtained from the model and the measurements, the rate of change of the model results and the measurement data were found to be compatible with each other. The fact that the proportional changes of the calculated and observed sediment amounts are close confirms that the change occurred with the effect of precipitation. In addition, it has been determined that the most important factor in the formation of the large difference between calculated and the measured sediment amount in this study is the SDR (Sediment Delivery Ratio).

Science Code : 91106

Key Words : Suspended sediment, Soil losses, RUSLE, Precipitation

Page Number : 63

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

Co-Supervisor : Dr. Erhan DEMİR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi; bana doğa ve sanat sevgisini aşılayan, beni yüksek lisans yapmam konusunda teşvik eden büyükbabam Halit ÖZTÜRK'e armağan ediyorum. Bana tüm öğrettikleri, ilgisi ve sevgisi için ona sonsuz şükran duyuyor, çocuklarımin da onu tanınması ve ondan birşeyler öğrenmesi için sağlıklı ve uzun yıllar diliyorum.

Benim için manevi anlamı büyük olan bu çalışmada; gerek ders ve tez aşamasında destekleri ve özverili yaklaşımından dolayı danışman hocam sayın Dr.Önder KOÇYİĞİT'e ve ikinci danışmanım sayın Dr. Erhan DEMİR'e, doğada işleyen mekanizmaları kavramam konusunda ufkumu açan değerli hocam Prof. Dr. Feriha Yıldırım'a, tez savunma sürecinde emekleri ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Zeliha SELEK'e, Doç. Dr. Kerem Taştan'a ve Doç. Dr. Rıfat Tür'e çok teşekkür ederim. Tez aşamasındaki çalışmalarımnda bir ağabey gibi yaklaşan, vaktini ve emeğini esirgemeyen alanında uzman bir orman mühendisi olan sayın Suat Şahin'e tüm yardımları için minnettarım.

Ayrıca, yüksek lisans yapmam konusunda destek veren Temelsu A.Ş. adına Genel Müdürüm sayın Göktuğ SİREL'e ve yine Temelsu A.Ş.'de Su Kaynakları Planlaması ve Projesi Grup Müdürü olarak çalışmakta olan sayın Hasan MERT'e teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman yanımda olarak maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili anne ve babama, kıymetli kız kardeşim ile biricik eşime teşekkürlerimi sunuyor, güzel yavrularımıza ise bilinçli, bereketli, anlamlı ve duygu dolu güzel yaşamlar diliyor, hayat boyu bilginin peşinden gitmelerini temenni ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	5
3. MATERYAL, YÖNTEM VE ANALİZ.....	15
3.1. Çalışma Alanı ve Konumu.....	15
3.2. Kullanılan Donanım ve Yazılımlar.....	16
3.3. Kullanılan Veriler ve Veri Kaynaklar.....	16
3.4. RUSLE Yöntemi	17
3.4.1. Toprak yapısı ve toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K)	19
3.4.2. Yer şekilleri, toporafik faktör (LS)	23
3.4.3. Bitki örtüsü ve arazi kullanım faktörü (C).....	28
3.4.4. Toprak ve su koruma önlemleri faktörü (P)	33
3.4.5. İklim ve yağışın aşındırma gücü faktörü (R)	34
3.5. 2012 yılı için su erozyonu miktarının hesaplanması	46
3.6. 2018 yılı için su erozyonu miktarının hesaplanması	46

	Sayfa
3.7. Sediment iletim oranı (SİO)	47
3.8. Sediment gözlemleri ve Kavaklıdere SGİ verileri	50
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı Toprak Özelliklerinin Toprak Bünyesine Göre Durumu	20
Çizelge 3.2. Kavaklıdere SGİ Havzası Eğim Sınıfları Dağılımı	25
Çizelge 3.3. CORINE 2018 Temel Arazi Kullanım Sınıflarının Dağılımı.....	29
Çizelge 3.4. CORINE 2018 Alt Arazi Kullanım Sınıflarının Dağılımı.....	30
Çizelge 3.5. 1990-2012-2018 Arazi Kullanım Sınıfları Dağılımının Karşılaştırılması..	31
Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan CORINE C-faktörü değerleri.....	32
Çizelge 3.7. 2006-2012 Yıllarına Ait Ortalama Yıllık Yağış Miktarı ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarları Verileri.....	40
Çizelge 3.8. 2006-2012 Yılları Arası Hesaplanan R Değerleri	41
Çizelge 3.9. 2006-2018 Yıllarına Ait Ortalama Yıllık Yağış Miktarı ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarları Verileri	42
Çizelge 3.10. 2006-2018 Yılları Arası Hesaplanan R Değerleri	42
Çizelge 3.11. 2006-2012 ve 2006-2018 Uzun Yıllar Ortalama Yağış Miktarları ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarları (Tüm istasyonların ortalaması)	43
Çizelge 3.12. 2006-2012 ve 2006-2018 Uzun Yıllar Ortalama Yağış Miktarları ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarları (Ayrı her istasyon için).....	44
Çizelge 3.13. SİO Hesaplarında Kullanılan Parametreler	49
Çizelge 3.14. Farklı SİO Eşitliklerine Göre Sediment Miktarları	49
Çizelge 3.15. Kavaklıdere SGİ Ölçüm Sonuçları	51
Çizelge 3.16. Ölçülen ve Hesaplanan Sediment Miktarlarının Yıllara Göre Oransal Değişimi	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yüzey Akış Parseli	18
Şekil 3.2. RUSLE eşitliğinin ArcGIS ile çözülmesi	18
Şekil 3.3. Ülkemizde Su Erozyonuna Etki Eden Parametrelerin Dağılımı.....	23
Şekil 3.4. CBS yöntemleri ile LS Faktörü Hesap Adımları	27
Şekil 3.5. Ülkemizde Arazi Kullanımına Göre Su Erozyonunun Dağılımı	29
Şekil 3.6. Bireysel Yağış Örneği.....	36
Şekil 3.7. R Faktörü Hesap Akış Şeması	39
Şekil 3.8. Aşınım ve Birikim Alanları	47
Şekil 3.9. US DH.48 ile yapılan ölçümlerden bir kare	50

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 1.1. Dünya Su Erozyonu Risk Haritası	2
Harita 3.1. Kavaklıdere SGİ Havzası Genel Vaziyet Planı.....	15
Harita 3.2. Kavaklıdere SGİ Havzası Büyük Toprak Grupları Haritası	20
Harita 3.3. Kavaklıdere SGİ Havzasında K Yayılım Haritası	22
Harita 3.4. Türkiye Eğim Sınıfları Haritası	24
Harita 3.5. Kavaklıdere SGİ Havzası Eğim Sınıfları Dağılımı Haritası	25
Harita 3.6. Kavaklıdere SGİ Havzasında LS Yayılım Haritası	28
Harita 3.7. CORINE 2018 Arazi Kullanım Haritası	31
Harita 3.8. Kavaklıdere SGİ Havzası C Yayılım Haritası	33
Harita 3.9. Yağış İstasyonları Haritası.....	35
Harita 3.10. 2006-2012 R Faktörü Yayılım Haritası.	41
Harita 3.11. 2006-2018 R Faktörü Yayılım Haritası	43
Harita 3.12. 2006-2012 Yılları Arası Ortalama Su Erozyonu Haritası.....	45
Harita 3.13. 2006-2018 Yılları Arası Ortalama Su Erozyonu Haritası.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Yıllık toprak kaybı
C	Arazi kullanım faktörü
c	Yüzdece kil içeriği
D_g	Ortalama geometrik tanecik çapı
d_i	i sınıfına ait maksimum tane boyutu
d_{i-1}	i sınıfına ait minimum tane boyutu
E	Yağış toplam kinetik enerjisi
f_i	Tanecik sınıfına ait kütlece yüzde oranı
(I₃₀)_i	i yağışına ait 30 dakikalık en yüksek yağış şiddeti
(I₁₅)_i	i yağışına ait 15 dakikalık en yüksek yağış şiddeti
i	Yıllar içerisinde meydana gelen yağış sayı indisi
j	Ortalamaya katılan yıl sayı indisi
K	Toprağın erozyona duyarlılık faktörü
L	Eğim uzunluğu faktörü
L	Ana su yolu uzunluğu
LS	Topoğrafik Faktör
m	Hesaplamalara katılan toplam yağış sayısı,
x	Parmak erozyonu oranını ifade eden bir katsayı,
y	Parmak erozyonu oranını ifade eden bir katsayı,
N	Toplam inceleme süresi (yıl)
OM	Topraktaki organik madde oranı
P	Toprak-su koruma önlemleri faktörü
(P₃₀)_i	i Yağışına ait 30 Dakikalık En Yüksek Yağış Miktarı
(P₁₅)_i	i Yağışına ait 30 Dakikalık En Yüksek Yağış Miktarı
R	Ortalama yıllık yağışın aşındırma gücü faktörü
R_i	i yağışına ait aşındırma gücü
R_y	Yıllık toplam enerji akış değeri

Simgeler**Açıklamalar****S**

Eğim dikliği faktörü

SLP

Ana su yolu eğimi

t_i

i Yağışının süresi

WA

SİO havza alanı

η

Hesaplama yapılan hücrelerin büyüklüğü

θ

Eğim dikliği

λ

Eğim uzunluğu

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORINE	Coordination of Information on the Environment
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele
DEMİS	Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EU	European Union
EPIC	Environmental Policy Integrated Climate Model
ES	Bilgisayar destekli echo-sounder
EST	Toprak kaybı ve sediment verimi tahmin modeli
GMES	Global Monitoring for the Environment and Security
GIS	Geographic Information System
ICONA	Institute for the Conservation of the Nature
IDW	Inverse Distance Weighting
LKS	Laser Koordinat Sistem
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MFI	Modifiye Fournier İndeksi
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OMGİ	Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu
ORBİS	Orman Bilgi Sistemi
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SGİ	Sediment Gözlem İstasyonu
SİO	Sediment İletim Oranı
SOS	Sediment Observation Station
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Gen. Müd.
TBS	Toprak Bilgi Sistemi
TOB	Tarım ve Orman Bakanlığı

Kısaltmalar**Açıklamalar****TRGM**

Tarım Reformu Genel Müdürlüğü

UA

Uzaktan Algılama

USDA-SCS

U.S. Dep. of Agriculture, Soil Conservation Service

USGS

United States Geological Survey

USLE

Universal Soil Loss Equation

WEPP

Water Erosion Prediction Project

WWF

World Wide Fund for Nature

1. GİRİŞ

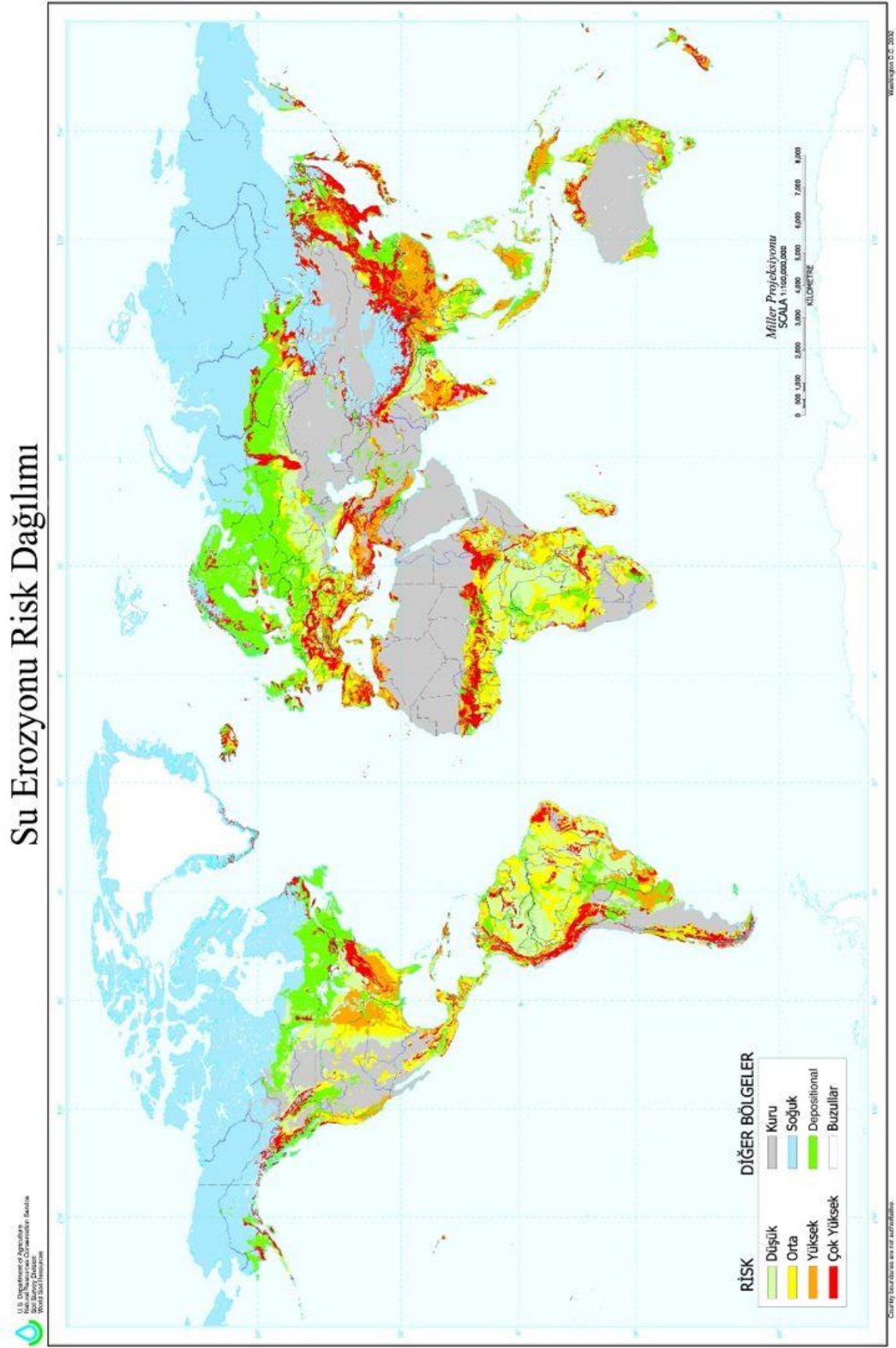
Doğa muazzam bir dengede gerçekleşen yapım ve yıkım olayları sonucunda sürekli gelişen, çeşitlenen, zenginleşen bir yapıdadır. Toprak kayıpları da bu dengenin bir parçasıdır. Ancak insan etkisi ile oldukça yavaş ilerleyen bu yapım ve yıkım olaylarının dengesi doğrudan veya dolaylı yollardan hızla bozularak, kısa sürede ciddi olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Saygın, 2019).

- Arazi bütünlüğünün ve toprak verimliliğinin bozulması,
- Suların kirlenmesi, su kalitesinin bozulması, kullanma suyu miktarının azalması, su ekosistemlerinin çökmesi,
- İklim değişimi, ekolojik ve hidrolojik dengelerin bozulması,
- Biyoçeşitliliğin ve canlı populasyonlarının azalması,
- Kuraklık ve çölleşme,
- Su yapılarının zarar görmesi veya ömürlerinin kısalması, enerji üretiminin azalması,
- Toprağın işlenmesinde meydana gelen zorluklar, toprak veriminin düşmesi, gıda üretiminin zorlaşması ve azalması,
- Fakirleşme, göç, hastalıklar, savaşlar...

İnsan etkisi ile gerçekleşen toprak kayıplarının sonuçlarından bazılarıdır. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Asya kıtasının, Dünya'da erozyonun en fazla etkili olduğu bölge olduğu Harita 1.1.'de görülmektedir. Türkiye, coğrafi konumu, iklimi, toprak şartları, genç jeolojik yapısı, dağlık coğrafyası, topoğrafyasının engebeli olması, bölgeler arası iklimin çok farklı özelliklerde olması ve kolay ayrışabilen ana kayaya sahip olması gibi nedenler ile dünyanın erozyona karşı en hassas bölgeleri içerisinde yer almaktadır.

Ülkemizde toprak kayıplarının izlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Dere yataklarından örnekler alınması, baraj veya göl alanlarından alınan batimetrik haritalar bu çalışmalar arasındadır. Türkiye'de; RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yöntemi kullanılarak oluşturulan DEMİS (Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi) de erozyon ile ilgili güncel çalışmalardandır. (Şahin, Erpul, İnce, Çetin, Küçümen, Akdağ ve Demirtaş, 2019)

Su Erozyonu Risk Dağılımı



Harita 1.1. Dünya Su Erozyonu Risk Haritası (ÇEM, 2021)

Ülkemizde, DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından belirlenen bir çok baraj ve gölet rezervuarında belirli zamanlarda batimetrik haritalar alınmaktadır. Ayrıca dere yatakları üzerinde kurulan SGI'ler (Sediment Gözlem İstasyonu) vasıtasıyla düzenli olarak ölçümler yapılmakta ve belirli zaman aralıklarıyla “Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri” derlenerek DSİ tarafından yayınlanmaktadır. Bunun yanı sıra ÇEM (Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü) tarafından oluşturulan DEMİS; toprak kayıplarının hesaplanması ve riskli alanların tespit edilmesi için ülke çapında geliştirilmiş, veri tabanı sürekli güncellenen bir modeldir.

Bu tez çalışması kapsamında DSİ tarafından 2006-2012 ve 2012-2018 yılları için yayınlanan “Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri” incelenmiş, toprak kayıpları açısından ciddi bir değişim gösterdiği tespit edilen Kavaklıdere SGI ele alınmıştır.

Kavaklıdere SGI, Eşen I Barajı'nın hemen membasında yer almaktadır. Eşen I ve II Barajları'nın inşaatı 2002 yılında Göltaş tamamlanmış ve işletmeye açılmıştır. Eşen I ve II Barajları, enerji üretim kapasitesi açısından Türkiye'de 55. sırada yer alan önemli enerji üretim tesislerindendir. Eşen çayı üzerinde böyle büyük bir yatırımın bulunması, burayı Eşen çayı boyutundaki diğer akarsulardan ayırmaktadır. Güvenilir ve diğer akarsulara göre uzun süreli verilerin bulunuyor olması Kavaklıdere SGI havzasının tez çalışmasına konu edilmesinin en önemli sebeplerindendir.

Bu çalışmada, askıdaki (süspanse) sediment miktarındaki değişimin sebebi, bilgisayar ortamında modellenerek araştırılmak üzere Kavaklıdere SGI havzasına ait veriler DSİ'den temin edilmiştir. Bu veriler ile birlikte, UA (Uzaktan algılama) ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yöntemleri kullanılarak, RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) eşitliği ArcGIS yazılımında çözülmüştür.

SGI verileri; 2012 ve 2018 yıllarında DSİ tarafından yayınlanan, “Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri”nden elde edilmiştir. Bu veriler, kümülatif ölçümlere dayanan yıllık ortalama sediment miktarlarını göstermektedir. MGM'ye (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) ait dört farklı OMGİ'den (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) elde edilen yağış verileri, SGI ölçümleriyle zamansal olarak uygun olacak şekilde 2006-2012 ve 2006-2018 yılları için oluşturulan iki ayrı veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir.

Toprak kayıplarına sebep olan en kritik faktörlerin bilinmesi alınacak önlemlerin başarılı olması konusunda anahtar bir göreve sahiptir. Hesaplanan sediment miktarları ile SGI'ndan ölçülen sediment miktarları karşılaştırılarak, sediment verimine etki eden en kritik parametrenin sediment miktarındaki değişime katkısı oransal olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma, alınacak önlemlere ışık tutması ve bu konu üzerine yapılacak diğer bilimsel çalışmalara katkı sağlaması açısından oldukça önemlidir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Erozyon tahmin modelleri, erozyon miktarı ve şiddetinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmektedir. Toprak kayıplarını etkileyen jeolojik, topoğrafik ve iklimsel etmenlerin çok fazla olması ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerinin karmaşıklığı sebebiyle her hangi bir akarsuyun taşıdığı sediment miktarının analitik olarak hesaplanabilmesi oldukça zordur. Sevinç (1990) ve Demirkıran (2007) yaptıkları çalışmalar ışığında araziden elde edilen ölçümler ve literatürde önerilen farklı yöntemlerle belirlenen sonuçlar arasında büyük farklar olduğunu belirtmektedir. Ancak, toprak kayıpları ile ilgili eşitlikler hakkında, küçük alanlarda ve kalibre edilerek kullanıldıklarında daha doğru sonuçlar verebilecekleri söylenebilir (Sadeghi, 2004). Toprak kayıplarının tahmini ile ilgili geliştirilmiş birçok farklı yöntem bulunsada, en güvenilir yöntemin mümkün olduğu kadar uzun süreli ölçüm sonuçlarından yararlanılması olduğu belirtilmektedir (Miller, 1951). Modeller, arazi gözlemleri ve ölçümlerle desteklenerek erozyon tahmininde ve erozyon önlemleri için yapılacak uygulamalarda önemli bir yol gösterici araç olarak kullanılabilir.

Günümüzde erozyon tahmini için kullanılabilecek onlarca model bulunmaktadır. Bunlardan bazıları uzun vadeli doğal (jeolojik) erozyonu dikkate alırken, bir kısmı da insan etkisiyle oluşan (hızlandırılmış) erozyonu dikkate almaktadır. Bazı erozyon modelleri istatistiksel bazıları ise fizik temellidir. Bazı modeller ise niteliksel veya niceliksel olarak sınıflandırılabilirler. Bunların yanında nükleer yöntemler ve nükleer olmayan yöntemler de sayılabilir (Ölgen, 2018).

Çoğu erozyon modeli sadece su erozyonunu dikkate almaktadır. Yalnızca birkaç erozyon modeli rüzgâr erozyonunu tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Toprağın işlenmesini dikkate alan modeller ise çok nadirdir. Ayrıca, toprak erozyon modelleri; doğal olarak bitki örtüsüne sahip alanlardan (meralar veya ormanlar gibi) ziyade daha yaygın olarak tarım arazilerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Modellenmesindeki zorluklardan dolayı çoğu model oyuntu erozyonunu dikkate almamaktadır. Sadece birkaç erozyon modeli, maden ocaklarının sebep olduğu erozyona odaklanır ve bunlar RUSLE yönteminin uyarlamaları şeklindedir (Jetten ve Favis-Mortlock, 2006), (McKenna, 2004).

Toprak kaybı modellerinin çoğunun amacı arsa, tarla veya havza gibi bir alandan, genellikle yıllık ortalama erozyon miktarı tahmin etmektir. Niteliksel modeller daha çok gözlem yoluyla elde edilirken, niceliksel yöntemler ise fiziksel ve deneysel ölçümlere dayalı olarak matematiksel yöntemler kullanır.

CORINE (Coordination of Information on the Environment), ICONA (Soil Erosion Risk Assessment Model), FAO (Food and Agricultural Organization) vb. niteliksel modellerden bazılarıdır.

EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator), WEPP (Water Erosion Prediction Project), ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation), USLE (Universal Soil Loss Equation), MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) gibi yöntemler ise niceliksel yöntemlere örnek olarak verilebilir. (Koç, 2014)

Erozyon tahmin modellerinin kullandığı yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İstatistiksel modeller,
- Erozyon miktarı veri tabanı ve uzman görüşlerine dayalı öznel erozyon oranlarının belirlendiği modeller,
- Yaşı bilinen veya belli bir tarih aralığında ölçülen aşınma ve biriktirme sahalarından ortalama erozyon miktarlarını tahmin etmeyi hedefleyen modeller,
- Eğim, havza ve yağış parametreleri ile sahaya özgü deneysel yöntemler kullanan modeller,
- Fiziksel tabanlı oyunu erozyon modelleri,
- Yağış ve akış senaryoları ile simüle edilmiş, laboratuvar veya saha ölçümlerine dayanan, deneysel, yarı deneysel veya deterministik erozyon modelleri,
- Topoğrafya ve erozyon miktarındaki değişiklikleri tahmin etmek için erozyon mekaniğini veya istatistiksel ilişkileri uygulayan, genellikle CBS tabanlı modeller,
- Havza izleme tabanlı sediment bütçesi modelleri.

Erozyona yönelik ilk çalışmalar niteliksel, erozyona karşı alınan ilk önlemler ise geleneksel ve yöresel yöntemlerdir. Sonraları bilimsel çalışmalar ve teknolojik gelişmeler sayesinde

toprak kayıplarını niceliksel olarak tahmin edebilen yöntemler ortaya çıkmıştır. Tez kapsamında kullanılan modellerin geliştirilmesi sürecinde yapılan bilimsel çalışmalar tarihsel perspektif dâhilinde değerlendirilerek bu bölümde açıklanmıştır.

Konu ile ilgili çalışmalar 19 yy.'ın sonlarına dayanmaktadır. Örneğin, tabaka erozyonu kavramı ilk defa McGee, W.J.'nin, (1896) Amerika'nın batısı ve kuzey Meksika'da çöle benzeyen bölgelerde yaptığı araştırmada kullanılmıştır. Bouyoucos'un (1935), erozyon duyarlılığını toprak bünye sınıflarına bağlı değerlendirdiği çalışmada, kum ve silt miktarının toplamının kil miktarına oranı azaldıkça toprağın erozyona dayanıklılığının arttığı belirlenmiştir. Morfolojik etkilerin öneminin anlaşılması ile birlikte, toprak kayıplarının topoğrafya ile bağlantısı olduğu Zingg'in (1940) çalışması ile anlaşılmış, eğim dikliği ve eğim uzunluğu kavramları bu çalışma ile ortaya çıkarılmıştır. Arazi özellikleri ile ilgili araştırmalar devam ederek derinleşmiştir. Örneğin Musgrave'nin (1947), erozyon ile ilişkili parametreleri araştırdığı deneysel çalışmada, bitki örtüsü, arazi eğimi, eğim uzunluğu etmenlerine yağış parametresini eklemesiyle yağışın erozyonla ilişkisi tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar erozyon araştırmalarının önemli bölümünü oluşturmaktadır. Musgrave'nin (1955) sabit eğim (%10) ve uzunluktaki (22 m) standart bir yüzey akış parsellerini kullanarak yaptığı deneysel çalışmada, bitki örtüsü, yağış miktarı, eğim ve toprak yapısı parametrelerinin sediment verimi üzerindeki etkisi araştırılmış, bitki örtüsünün toprak kayıplarına etki eden en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili Türkiye'deki ilk araştırma çalışmaları, görevleri arasında hidrolojik etütler ve jeoteknik araştırmalar yapmak da olan Mülga EİE (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, kuruluşu 1935 - kapanış 2011) kurulmasıyla başlatılmıştır. Türkiye'deki çalışmaların ilk örneklerinden birisi, Yamanlar'ın (1957) Hirfanlı Barajı'nın siltasyondan korunması için su erozyonu çeşitleri üzerine yaptığı çalışmadadır. Bu çalışmada toprak etütleri yapılarak sedimentin esas kaynağı araştırılmış, toprak kayıplarının en önemli sebebinin yüzey erozyonu olduğu, ikinci önemli sebebin ise oyuntu erozyonu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. EİE bünyesindeki çalışmalara örnek olarak, Göksu'nun (1978), 52 adet sediment ölçüm istasyonundan elde edilen veriler ile havza ölçeğinde yıllık ortalama sediment verimlerini hesapladığı çalışma verilebilir. Çalışmada mevcut sediment ölçümlerinden alınan örneklemeler ile tane boyu dağılım analizi de gerçekleştirilmiştir. Benzer bir çalışma Yurtsever (1978), tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada akarsularda debi ve sediment miktarı arasında logaritmik bir ilişkinin olduğunu tespit eden

araştırmacı, sediment anahtar eğrileri oluşturarak bir havzadaki günlük sediment verimini ton/gün biriminden hesaplayabilmiştir.

Musgrave'nin araştırmaları konu ile ilgili gelişmelere önemli katkılarda bulunmuştur. Onun yüzey erozyonu ile ilgili çalışmalarından elde ettiği eşitliklere, çeşitli faktörlerin bir arada kullanılması fikrini ekleyen Wischmeier ve Smith'in (1978) yaptıkları çalışma ile günümüzde en çok kullanılan modellerden bir tanesi olan USLE (Universal Soil Loss Equation) önerilmiştir.

USLE yöntemi ile ilgili hem doğrulama adına hem de geliştirme açısından farklı araştırma çalışmaları yapılmıştır. Vanoni (1975), birçok farklı arazi ve çevre koşulları için kapsamlı veriler kullanmış, modelin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini test etmiştir. Williams'ın (1975) yaptığı araştırmada USLE modeli geliştirilerek, MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) modeli önerilmiştir.

MUSLE ile ilgili ilk uygulamalar, Renard ve Stone Tuscon'nun (1982) ABD.'nin Arizona bölgesinde yaptığı potansiyel erozyon tahmini ve sediment verimi araştırmalarında görülmektedir. Bu çalışmada, MUSLE ile farklı eşitlikler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Daha çok ABD'nin farklı bölgelerinde uygulanan bu yöntemin bir diğer örnek çalışması Smith, Williams, Menzel ve Colman (1984) tarafından Texas eyaletinin güneyinde bulunan meralarda, farklı eğimlere ve büyüklüklere sahip havzalarda uygulanmıştır. Karşılaştırmalı değerlendirmeler ile MUSLE yönteminin çayır olarak kullanılan havzalarda iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde Jackson, Gebhardt ve Van Haveren (1986) tarafından Batı Amerika'nın Reynolds Creek, Badger Wash ve Walnut Gulch bölgelerindeki 23 farklı havza üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, havza büyüklüğünün MUSLE ile elde edilen sonuçlara etkisi araştırılmış ve ani iklim değişikliğinin olmadığı küçük havzalarda eşitliğin daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

USLE, Renard (1997) tarafından havza özellikleri, coğrafi koşullar ve arazi yapısına göre geliştirilerek, RUSLE eşitliği önerilmiştir. Sevinç (1990)'ın, Eskişehir–Sivrihisar–Mercan Köyü Yağlı Göleti havzasında, 1979 – 1988 yıllarına ait verileri ile yaptığı çalışma RUSLE eşitliğinin Türkiye'de ilk uygulaması olarak görülmektedir. Bu araştırmada USLE, MUSLE ve Musgrave formülleri ile elde edilen sediment verim sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma

ile 14,9 km² havza alanı için elde edilen sediment verimleri; ISKARA yöntemine göre 332.8 m³/yıl, brüt erozyon nisbetine göre 2.547,9 m³/yıl, USLE eşitliğine göre 869.9 m³/yıl, MUSLE eşitliğine göre 1.131,9 m³/yıl ve Musgrave formülüne göre ise 4.110,3 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Toprak kayıplarının doğru tahminine yönelik geliştirme çalışmaları Avrupa Birliği tarafından desteklenen projelerle devam etmiştir. Örneğin, 1992 yılında, CORINE (Coordination of Information on the Environment) programı sayesinde USLE tabanlı bir toprak kayıp izleme yöntemi geliştirilmiştir.

Toprak kayıplarındaki doğal, fiziksel karmaşıklık USLE yönteminin halen geliştirilmeye muhtaç olduğunu göstermiştir. Bu nedenle; Haan, Barfield ve Hayes, (1994), özellikle karmaşık özelliklere sahip havzalarda USLE yönteminin uygulanabilirliğinin kesinlik kazanmadığını ortaya koymuştur.

Teknolojik gelişmeler ile birlikte ortaya çıkan yeni ölçüm yöntemleri toprak kayıp oranlarının tespitinde kullanılmaya başlanmıştır. Demirkıran (2007), Ankara–Yenimahalle–Güvenç göletinde, 1989-1997 yılları arasında ES (bilgisayar destekli echo-sounder) ve LKS (laser koordinat sistem) kullanarak batimetrik ölçümler yapmış ve havzanın sediment verimini 42.176 m³/yıl olarak tespit etmiştir. Ayrıca sediment verimini, Brüt Erozyon Oranı yöntemine göre 5.824 m³/yıl, USLE eşitliği ile 29.687 m³/yıl ve Musgrave formülüne göre ise 4.110 m³/yıl olarak hesaplamıştır. Bu tespitlere göre Güvenç Göletinde en yakın sediment verimi tahmini USLE ile elde edildiği belirlenmiştir.

USLE başlangıçta küçük tarım arazileri üzerinde geliştirilmiştir. USLE; Molnar, Darcy ve Julien (1998) tarafından ABD sınırları içerisinde yer alan, Missisipi Nehri havzasının alt havzalarından Goodwin ve Hickahale havzalarına uygulanmıştır. Bu çalışma ile CBS ortamında 30×30 m'den 6×6 km'ye kadar değişen hücre boyutları kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, Goodwin havzasında ortalama toprak kaybı 11 t/ha/yıl, Hickahale havzasında ise ortalama toprak kaybı 13 t/ha/yıl bulunmuştur. Büyük hücre boyutlarının toprak kayıplarını olduğundan az tahmin etme eğiliminde olduğu, Mississippi'deki iki su havzasının analizi ile gösterilmiştir. 100×100 m'yi aşan hücre boyutları ile yapılan hesaplamalara bir düzeltme faktörünün dâhil edilmesi gerektiği belirtilen çalışmada, düzeltme faktörünün kullanılmasıyla USLE yönteminin

doğrudan makro ölçeklerde uygulanabileceği ve havza çapındaki çalışmalar için önemli bir araç olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile farklı iklimlerdeki büyük havzalar için USLE eşitliğinin kullanılabileceği gösterilmiştir.

Shi, Cai, Ding, Wang ve Chow (2004), Çin'in güney kesiminde yer alan bir bölgede RUSLE yöntemi, CBS, UA teknolojileri ile IDRISI yazılımını kullanarak yaptıkları modelleme çalışması ile arazinin erozyon risk derecesinin dağılımı haritalandırılmıştır. Haritalandırma sonuçlarına göre yıllık toprak kayıpları; yüksek eğimli arazilerde 52 t/ha/yıl, hafif eğimli arazilerde ise 27 t/ha/yıl olarak tespit edilmiştir.

CBS teknikleri ve USLE eşitliğinin birlikte değerlendirilmesi ile İrvem ve Tülücü (2004) tarafından toprak kaybı ve sediment verimini tahmin amaçlı bir model (EST) geliştirilmiştir. Modelde, erosiv yağışlar, arazi kullanımı, bitki örtüsü, arazi eğimi ve sediment iletim oranı parametreleri kullanılmıştır. Model, ILWIS (CBS) paket programı kullanarak, Seyhan havzasının içerisinde yer alan Körkün alt havzasına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar gözlem sonuçları ile kıyaslanarak modelin tahmin yeteneği düşük olduğu, buna rağmen tahmin edilen ve gözlenen değerlerin ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı, bazı yıllarda yapılan ölçümlerin hatalı olabileceği, bu yıllar dikkate alınmadığında modelin istenen düzeyde sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Modelde, sediment iletim oranının tahmin sonucu üzerinde en etkili parametre olduğu, bu oranın geniş havzalarda belirlenmesi için ayrı bir çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Sadeghi'nin (2004) çalışmasında İran Amameh havzasında ölçülen sediment miktarıyla, MUSLE yönteminden elde edilen sediment miktarı tahminleri karşılaştırılmış, iklim koşullarının farklı olduğu havzalarda MUSLE eşitliğindeki katsayıların değişebileceği belirtilerek çalışma sahasına uygun katsayılar geliştirilmiştir.

Renwick, Smith, Bartley ve Buddemeier (2005) tarafından yapılan çalışmada, ABD'nin tarımsal alanlarında Landsat görüntüleri ve ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu - USGS (United States Geological Survey) envanter verileri kullanarak, küçük barajlarda sediment verimi USLE yöntemi ile hesaplanmıştır. Küçük barajların, büyük ölçekteki barajlara ulaşan sediment miktarını önemli ölçüde önlediği sonucuna varılmıştır.

Yılmaz ve Çiçek'in (2006), yaptığı çalışma ile Ankara Çamlıdere Baraj havzasındaki toprak kayıpları USLE ile modellenmiş, araştırma sonucunda havzaya ait yıllık toprak kaybı 7,3 t/ha/yıl olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma ile bu havzada erozyon oluşturan en önemli parametrelerin bitki örtüsü ve topoğrafya olduğu gösterilmiştir.

İrvem, Topaloğlu ve Uygur (2007) tarafından, Seyhan nehrinin yıllık toprak kaybını belirlemek için yapılan çalışmada CBS yöntemleri ile MFI (Modifiye Fournier İndex eşitliği) kullanarak, R (yağışın aşındırma gücü) faktörü hesaplanmış, bu çalışma ile havzada toprak kayıplarının 16,4 t/ha/yıl olduğu ve havza topraklarının %50'sinden fazlasının düşük erozyon riski aralığına girdiği tespit edilmiştir.

Sadeghi, Mizuyama, Miyata, Gomi, Kosugi, Mizugaki ve Onda (2007) Japonya Mie havzasında yer alan eğimli, küçük, ağaçsız, çıplak alanlar için MUSLE modelinin tahmin kabiliyetini araştırdıkları çalışmada yöntemin farklı koşullar için kalibre edilmesi gerektiği ve güvenilir verilere ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir.

Arekhi, Shabani ve Alavipana'nın (2011), İran Kengir havzasında yaptıkları çalışmada, havzanın sediment verimi MUSLE yöntemi ve CBS tekniklerinden faydalanarak araştırılmıştır. MUSLE değişkenleri havzaya ait veriler kullanılarak CBS ortamında hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda KW-GIUH, MUSLE yöntemleri kullanılarak sediment verimi hesaplanmış, bu yöntemlerin küçük alt havzalarda geleceğe yönelik erozyon potansiyel tahmini yapmak için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Arekhi'nin (2008) yaptığı çalışmada ise uzun dönemli ortalama sediment verimi hesabı için mikro havzalarda MUSLE modelinin doğru sonuçlar verdiği sonucuna varmıştır.

Zhang, Degroote, Wolter ve Sugumaran (2009) tarafından MUSLE yönteminin CBS ortamında uygulanabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, sediment veriminin hızlı ve ekonomik hesaplanabilmesi için ArcGIS programında MUSLE modelini çalıştıran bir eklenti olan ArcMUSLE aracı geliştirmiştir.

Altan (2010) tarafından yapılan çalışmada, Giresun Şebinkarahisar bölgesinde, CBS ve MUSLE yöntemi kullanılarak erozyon riski değerlendirilmiştir. Erozyon miktarının hesaplanması ve erozyonun kontrol altına alınması konusunda yapılacak mühendislik

çalışmalarına veri tabanı oluşturulurken CBS yöntemlerinin kullanılmasının ekonomik bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Sadeghi ve Mizuyama'nın (2007), İran Khanmirza havzasında MUSLE yöntemi ile yaptıkları çalışmada tatmin edici sonuçlar için uzun süreli pik akım değerlerine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Erel'in (2007) yaptığı araştırmada, Samsun Havza Kuşkonağı Göletinde, 1985-2006 yılları arasında farklı zamanlarda çıkarılmış batimetrik haritalardan faydalanarak, rezervuarda biriken sediment miktarları belirlenmiş, 21 yıllık dönemde gölette toplam 25.579 m^3 sedimentin biriktiği hesaplanmış ve ölçümler bazı amprik formüllerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Batimetrik haritalardan elde edilen verilere en yakın sonuçların EİE I Eşitliği yöntemi (136 ton/yıl/km^2) ve Brüt Erozyon Nisbeti Yöntemi (192 ton/yıl/km^2) ile elde edildiği belirtilmiştir.

Demirkıran'ın (2007), Ankara-Yenimahalle Güvenç havzasında yaptığı çalışmada batimetrik ölçümler yapılarak belirlenen 17 yıllık sediment miktarı ile USLE, MUSLE ve EİE eşitliklerinden yararlanılarak, havzanın sediment iletim oranı araştırılmıştır. Sediment iletim oranları USLE, MUSLE ve EİE eşitliklerine göre sırasıyla; % 10,8, % 7,85 ve % 8,71 olarak hesaplanmıştır.

2013 yılında, mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı ve Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından, Türkiye'de meydana gelen su erozyonunun dinamik ve etkin bir biçimde hesaplanabilmesi amacıyla, "Sediment Modelinin Geliştirilmesi ve Türkiye Havzalarının Erozyon Risk Haritalarının Oluşturulması" projesi başlatılmıştır. Proje kapsamında kullanılacak veri yükünün fazla olması sebebiyle, CBS tabanlı DEMİS yazılımı geliştirilmiştir. Hazırlanan modelde MUSLE yöntemi kullanılarak, Türkiye'deki 25 adet su havzasına ait su erozyonu değerleri hesaplanmış ve hem ülke geneli hem de havza bazlı su erozyonu haritaları üretilmiştir.

USLE eşitliği ABD'de 1000'den fazla tarım arazisinde deneme sonuçlarının değerlendirilmesiyle formüle edilmiştir (Wischmeier ve Smith, 1978). Özellikle farklı arazi örtüsü altında, uzun dönemlerde, ortalama yıllık toprak kaybının hesap edilmesinde parsel bazında isabetli sonuçlar vermektedir. Ancak daha kısa sürede meydana gelen toprak

kayıplarının hesaplanması ve bu toprak kayıplarının ne kadarının birikme bölgelerine ulaştığı hakkında bir yaklaşımda bulunmaması sebebiyle MUSLE eşitliği geliştirilmiştir. MUSLE eşitliği bir yağış sırasında meydana gelen akışı ve yağış sırasındaki toprak koruma ve arazi yönetim faktörlerini dikkate alarak daha kısa sürede meydana gelen toprak kayıplarını hesaplama imkânı sağlamıştır. RUSLE eşitliği ise yağışın aşındırma gücü faktörünü farklı eşitlikler ile daha kısa süreler için hesaplayabilmektedir. RUSLE toprağın erozyona duyarlılığı ve ürün yönetimi ile ilgili mevsimsel değişiklikleri dikkate alabilen, iç bükey ve dış bükey eğime sahip yamaçlar için yeni hesap yaklaşımları kullanılarak geliştirilmiş bir yöntemdir (Yılmaz ve Çiçek, 2006).

RUSLE, hali hazırda üzerine çalışılan, güncel uygulamalarda kullanılan, birçok yönetime göre daha gelişmiş ve yaygın kullanılan bir eşitlik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca eşitlikteki parametrelerin hesaplanabilmesi için gerekli verilerin ülke şartlarında temin edilebilir olması ve teze konu edilen havza özelliklerinin bu eşitliğin kullanılabileceği niteliklerde olması gibi sebeplerle, RUSLE bu çalışmanın tabanını oluşturan bir eşitlik olarak tercih edilmiştir.

3. MATERYAL, YÖNTEM VE ANALİZ

Bu bölümde tez kapsamında kullanılan materyal yöntem ve analizler verilmektedir.

3.1. Çalışma Alanı ve Konumu

Bu teze konu olan çalışma sahası; Eşen Çayı üzerinde, Eşen I Barajı'nın hemen membasında yer alan Kavaklıdere SGI'ye ait drenaj alanıdır (Harita 3.1). Saha, 55.100 ha yağış alanına sahiptir.



Harita 3.1. Kavaklıdere SGI Genel Vaziyet Planı (Google, 2021)

Eşen Çayı, kaynağını Akdağlar'dan alır, Ege-Akdeniz Bölgeleri ile Muğla-Antalya illerinin sınırını oluşturur ve Eşen deltasından Akdenize dökülür. Kavaklıdere SĞİ'nin havzası Batı Akdeniz Havzası içerisinde yer alan bir alt havzadır. Çalışma sahası; Muğla, Antalya ve Denizli illerinin sınırları içerisine girmektedir. Seki, Kınık, İncealiler, Boğalar, Ceylan, Temel, Kayabaşı, Çobanisa, Bekçiler, Çaltılar, Kayabaş, Çıvgalar ve Küçükklü mahalleleri çalışma sahası içerisinde kalan yerleşim yerleridir.

Eşen I Barajı'nın hemen membasında yer alan Kavaklıdere SĞİ, 29 33' 44" doğu, 36 49' 44" kuzey koordinatlarında, 1115 m rakımında bulunmaktadır. Bu istasyondan 1999 yılı itibariyle ölçümler alınmaya başlanmıştır.

ÇEM verilerine göre çalışma sahasında, rüzgâr erozyonu etkisi en düşük seviyelerdedir. MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) ve AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) verilerine göre ise bölgede heyelan ve çığ olayları meydana gelmemektedir. Ayrıca bölgede kalıcı buzul tabakası da bulunmamaktadır. Bu yönüyle çalışma sahasında yalnızca su erozyonunun etkili olduğu anlaşılmaktadır.

3.2. Kullanılan Donanım ve Yazılımlar

Bu tez çalışmasında RUSLE eşitliği içerisinde yer alan araziye ait faktörlerin belirlenmesi ve analizi amacıyla günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan ARCGIS adlı CBS yazılımından faydalanılmıştır.

3.3. Kullanılan Veriler ve Veri Kaynakları

Bu çalışmada kullanılan veriler ve kaynakları burada listelenmiştir:

- 1/25 000 Ölçekli Topografik Haritalar
- DSİ, "Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri [2006-2012]"
- DSİ, "Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri [2013-2018]"
- CORINE 2012 ve CORINE 2018 verileri (EU)
- ÇEM Genel Müdürlüğü Toprak Bilgi Sistemi verileri
- MGM, OMGİ (Fethiye, Gölhisar, Korkuteli, Elmalı) verileri

3.4. RUSLE Yöntemi

Toprak kayıpları ile ilgili birçok eşitlik bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla birbirinden çok farklı sonuçlar veren, yerel koşullara göre kalibrasyon ihtiyacı olan, bazen de çok fazla veriye ihtiyaç duyan modellerdir. RUSLE; özellikle Akdeniz ülkelerinde su erozyonu ile kaybedilen toprak miktarını hesaplama, potansiyel erozyon bölgelerini tespit etme amaçlı kullanılan yöntemler içerisinde en çok tercih edilen eşitliklerden birisidir (Wischmeier ve Smith, 1978) (Avcıoğlu, Bayraktar, Erol ve Kaya,2020).

RUSLE yöntemi teknik olarak bu teze konu edilen havza gibi alt havzalara ve daha büyük havzalara uygulanabilmektedir. Aynı zamanda, Avrupa ölçeğinde hâlihazırda toprak kayıpları ile ilgili izleme çalışmalarında faydalanılan, Türkiye’de ise DEMİS altyapısını oluşturan güncel ve yaygın kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca ülkemizde açık kaynaklı paylaşılan verilerin az veya ulaşılabilen verilerin ücretli olması, veri temininde karşılaşılan zorluklar, verilerin güvenilirliği hakkındaki sorunlar nedeniyle RUSLE’nin Türkiye’de ölçülen ve temin edilebilen veriler ile kullanılabiliyor olması, yöntemin tercih edilmesinin en önemli sebeplerindendir.

RUSLE yöntemi, (3.1) no’lu eşitlik ile ifade edilmektedir:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

A: Yıllık Toprak Kaybı ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$)

R: Yağış Aşındırma Gücü Faktörü ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ saat}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$)

K: Toprağın Erozyona Duyarlılık Faktörü ($\text{ton ha}^{-1} \text{ ha MJ}^{-1} \text{ saat mm}^{-1}$)

L: Eğim Uzunluğu Faktörü

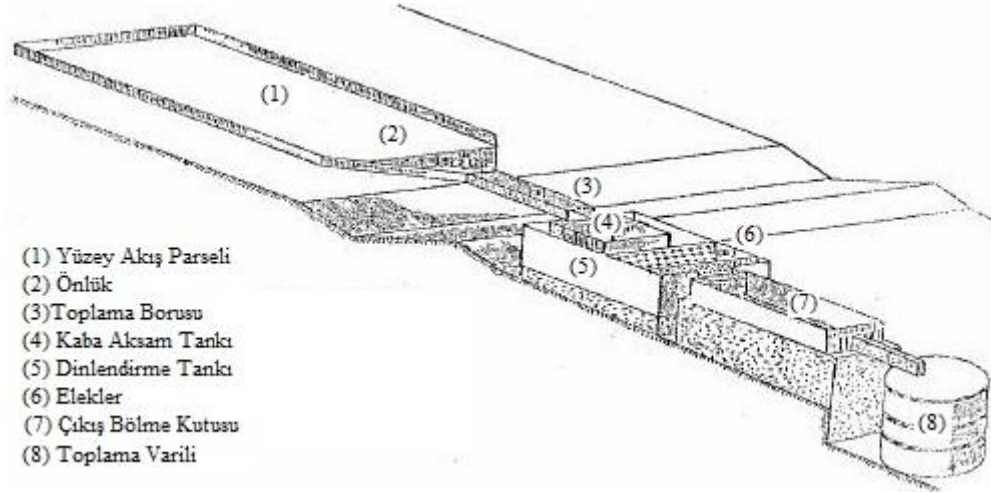
S: Eğim Dikliği Faktörü

C: Arazi Kullanım Faktörü

P: Toprak-Su Koruma Önlemleri Faktörü

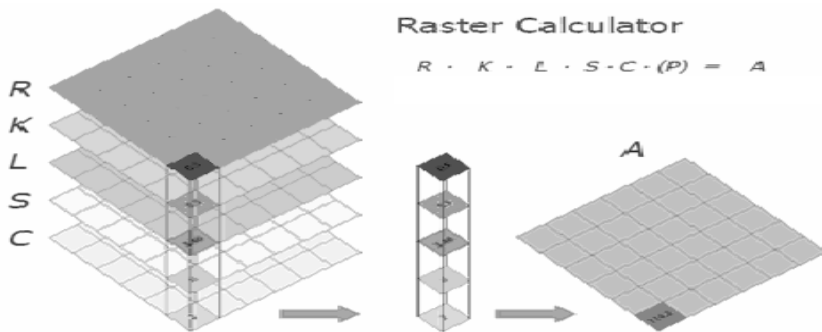
olarak ifade edilmektedir.

Eşitlikte R (Yağışın Aşındırma Gücü) ve K (Toprağın Erozyona Duyarlılığı Faktörü) dışındaki çarpanlar birimsizdir. Çarpım işlemi sonucunda A (toprak kayıpları) “t ha⁻¹ y⁻¹” birimiyle hesaplanarak ortaya konulmaktadır.



Şekil 3.1. Yüzey Akış Parseli (Doğan ve Küçükçakar, 1996)

RUSLE eşitliğinde belirtilen tüm faktörler Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen standart bir yüzey akış parseli kullanılarak belirlenmektedir. Bu standart parsel; uzunluğu 22.13 m, eğimi %9, eğim yönünde sürülmüş ve devamlı nadas uygulanan bir toprak parçasıdır. Eşitlikteki herhangi bir parametrenin erozyona etkisi, araştırılmak istenen faktör dışındaki tüm faktörler sabit tutularak yapılan deneysel çalışmalarla belirlenmektedir. (Wischmeier ve Smith, 1978)



Şekil 3.2. RUSLE eşitliğinin ArcGIS ile çözülmesi (Yılmaz ve Çiçek, 2006)

Eşitlikte yer alan her bir parametre, bir CBS yazılımı olan ArcGIS kullanılarak katmanlar halinde hesaplanmaktadır (Şekil 3.2). Bu parametrelerden; LS, C ve P alansal, R ve K ise

noktasal veriler kullanılarak hesaplanmaktadır. Alansal veriler ile noktasal verilerin hesaplarda birlikte kullanılabilmesi için noktasal değerlerin sahaya yayılımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem ArcGIS yazılımının içerisindeki araçlarda bulunan jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemleri kullanılarak yapılabilmektedir. Burada oluşturulan her bir katman 10 m x 10 m boyutlarındaki hücrelerden oluşmaktadır. Her bir hücre için hesaplanan değerler, ArcGIS yazılımı marifetiyle çarpılarak RUSLE eşitliği çözülmektedir.

ArcGIS yazılımına ait araçlarda noktasal verilerin alansal yayılımının elde edilmesi için kullanılan çeşitli enterpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları IDW (Inverse Distance Weighting) ve Kriging enterpolasyon yöntemleridir. Kriging yöntemi, bilinen en yakın noktalardan alınan verileri kullanarak, diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon metodudur (Yaprak ve Arslan,2008). IDW enterpolasyon tekniği ise enterpole edilecek yüzeyde, yakındaki noktaların uzaktaki noktalardan daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayanır. Bu teknik, enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltır ve örnek noktaların ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar. Bu yöntemde enterpolasyon noktasının değeri, çevresinde bulunan dayanak noktalarına ait değerlerden ağırlıklı olarak hesaplanır. Her bir dayanak noktasının değerine verilecek olan ağırlık değeri o noktanın enterpolasyon noktasına uzaklığının bir fonksiyonudur. (İlker, Terzi ve Şener,2019)

Bu yöntemlerin hangisinin kullanılması gerektiğine karar vermek için, noktasal verilerin bir kısmı kontrol verisi olarak hesap dışında tutulmuş, kontrol noktasında enterpolasyon ile elde edilen değerler, kontrol noktalarının gerçek değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kontrol noktasının gerçek değerine en yakın sonucu veren enterpolasyon yöntemi hesaplamalarda kullanılmıştır.

3.4.1. Toprak yapısı ve toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K)

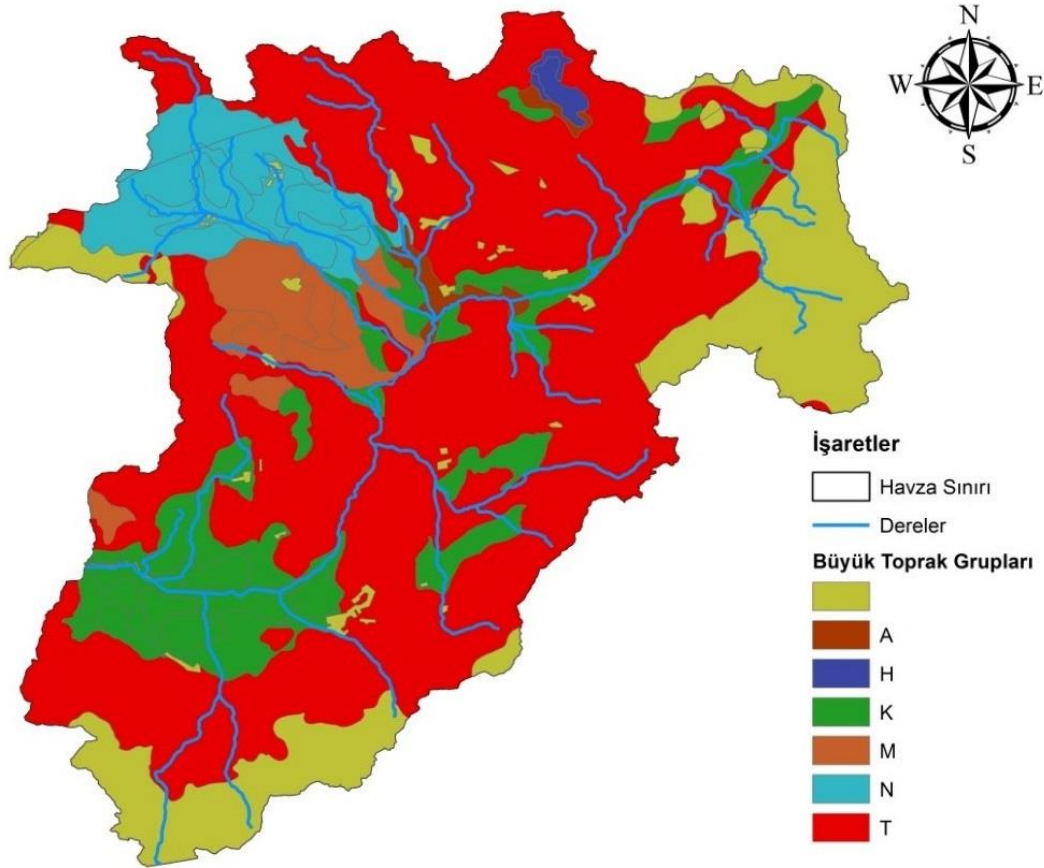
Toprak; kum, mil, kil gibi çeşitli boyutlardaki taneciklerden, organik ve inorganik maddelerden meydana gelmektedir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri doğrudan erozyona etki etmektedir. Toprağın birim ağırlığı, porozitesi, sızma hızı, permeabilitesi, organik ve inorganik madde içeriği, verimliliği ve üzerinde yaşayan canlıların tamamı erozyon ile ilişkilendirilmektedir. Toprağın; iskelet yapısı, bünyesi, hidroskopik su tutma kapasitesi, hava ve su geçirgenliği, agregatlaşma özelliği erozyona etki eden fiziksel toprak

özellikleri olarak sıralanabilir (Çizelge 3.1). Toprağın ve toprakta yaşayan canlıların mevsimsel özellikleri de diğer etkenlerle birlikte erozyona etki etmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı Toprak Özelliklerinin Toprak Bünyesine Göre Durumu (Kızılkaya, 1988)

Toprak Özelliği	Ağır Bünyeli	Hafif Bünyeli
Su tutma kapasitesi	Yüksek	Düşük
Sızma hızı	Düşük	Yüksek
Havalandırma	Zayıf	İyi
Toprağın işlenmesi	Güç	Kolay
Verimlilik	Yüksek	Düşük
Organik madde miktarı	Yüksek	Düşük

Çalışma sahasında; Harita 3.2.'de verilen Büyük Toprak Grupları Haritasına göre; Kırmızı Akdeniz Toprakları (T), Alüvyal Topraklar (A), Hidromorfik Topraklar (H), Kolüvyal Topraklar (K), Kahverengi Orman Toprakları (M) ve Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar (N) yer almaktadır. (Mülga TOPRAKSU Genel Müdürlüğü)



Harita 3.2 Kavaklıdere SĞİ Havzası Büyük Toprak Grupları Haritası(Topraksu Gen. Müd.)

Havzada bulunan hidromorfik topraklar, drenajı iyi olmayan devamlı su altında kalan bataklıklarda ve taban suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda görülen sulu topraklardır. Akarsular tarafından taşınan kil, kum, çakıl taşı gibi parçacıkların suyun akış hızının azaldığı uygun yerlerde birikmesiyle oluşan alüvyon topraklar havzada az miktarda bulunmaktadır. Çalışma alanında Toros dağlarından kopan irili ufaklı toprak parçalarının eğimin azaldığı dağ eteklerinde birikmesi ile meydana gelen kolüvyal topraklar da yaygın olarak bulunmaktadır. Havzanın büyük kısmında Kırmızı Akdeniz Toprakları hâkimdir.

2018 yılında, Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı ÇEM Genel Müdürlüğü tarafından, ülke çapında toprağın erozyona duyarlılık katmanı oluşturulmak üzere Toprak Bilgi Sistemi geliştirilmiştir. 23.000 profil noktasından elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan Toprak Bilgi Sisteminde, 0-30 cm derinlikteki toprak profillerine ait fiziksel parametreler (kil, silt, kum, ve organik madde içeriği) bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan veriler Toprak Bilgi Sisteminden temin edilmiştir.

Araştırmacılar, K (Toprağın erozyona duyarlılık faktörü) hesaplamalarında; kil, kum, silt, organik madde içeriği gibi özelliklerin yanında agregat tane büyüklüğünü ve toprağın geçirgenliği gibi çeşitli parametreleri dikkate alan eşitlikler geliştirmiştir. Bu çalışmadaki K faktörünün hesabı, Torri, Poesen ve Borselli (1997) geliştirdiği eşitlik ile yapılmıştır. Bu eşitlik Toprak Bilgi Sistemi'nde yer alan verileri (kil, silt, kum ve organik madde içeriği) dikkate alarak hesaplamalar yapmaktadır. (Torri vd, 1997). K faktörünün hesaplanmasında kullanılan Torri eşitliği ve eşitliğe ait alt terimler (3.2) ~ (3.9) no'lu eşitlikler ile ifade edilmektedir.

$$K = 0,0293 \cdot (\alpha) \cdot (\beta) \quad (3.2)$$

$$\alpha = (0,65 - D_g + 0,24 \cdot D_g^2) \quad (3.3)$$

$$\beta = e^{\left[-0,0021 \cdot \frac{OM}{C} - 0,00037 \cdot \left(\frac{OM}{C}\right)^2 - 4,02 \cdot C + 1,72 \cdot C^2\right]} \quad (3.4)$$

$$D_g = \sum f_i \cdot \log \sqrt{d_i \cdot d_{i-1}} \quad (3.5)$$

$$D_g = D_{g\Sigma} = D_{gkil} + D_{gsilt} + D_{gkum} \quad (3.6)$$

$$D_{gkil} = 0,01 \cdot [\%_{kil} \cdot \log_{10}(\sqrt{0,002})] \quad (3.7)$$

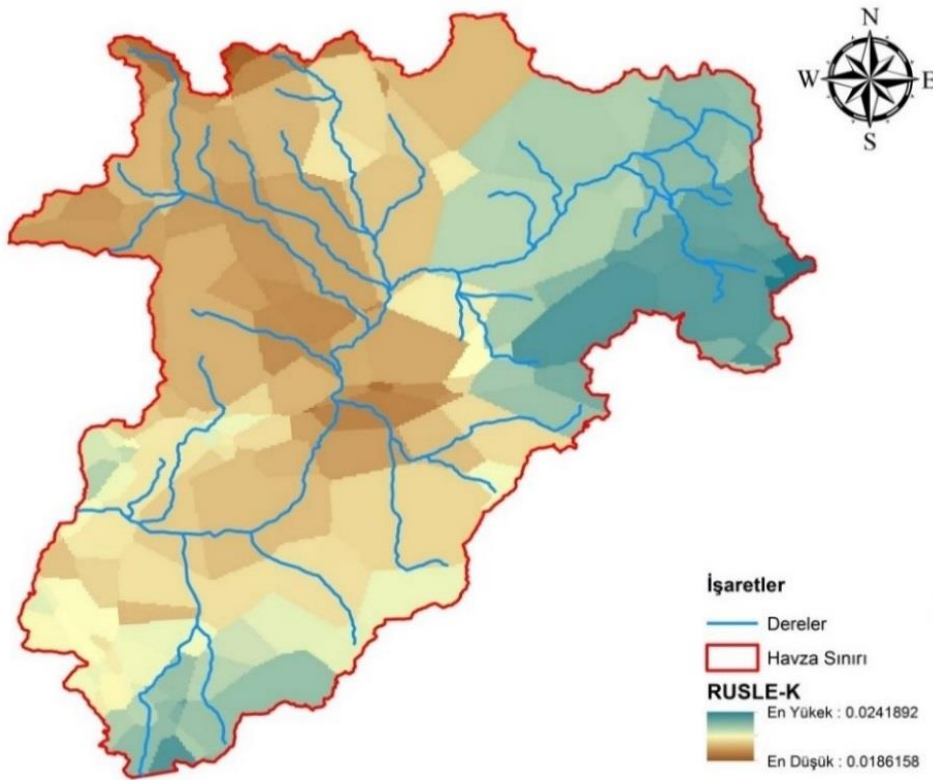
$$D_{gsilt} = 0,01 \cdot [\%_{silt} \cdot \log_{10}(\sqrt{0,05 \cdot 0,002})] \quad (3.8)$$

$$D_{g_{silt}} = 0,01 \cdot \left[\%_{kum} \cdot \log_{10} \left(\sqrt{2 \cdot 0,05} \right) \right] \quad (3.9)$$

Bu eşitliklerde;

- K* : Toprağın Erozyona duyarlılık faktörü ($\text{ton ha}^{-1} \text{ ha MJ}^{-1} \text{ saat mm}^{-1}$)
OM : Organik madde içeriği (%)
C : Kil içeriği (%)
D_g : Ortalama tanecik çapı (mm)
d_i : *i* sınıfına ait maksimum tane boyutu (mm)
d_{i-1} : *i* sınıfına ait minimum tane boyutu (mm)
f_i : Tanecik sınıfına ait kütlece yüzde oranı

olarak ifade edilmektedir.



Harita 3.3 Kavaklıdere SGI Havzasında K Yayılım Haritası

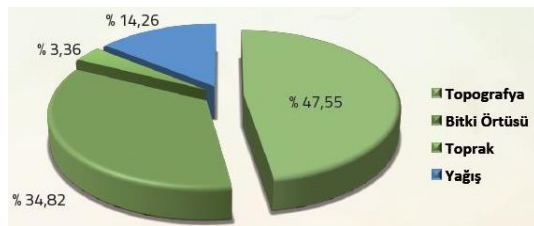
Torri vd. (1977) eşitliği kullanılarak toprağın erozyona duyarlılığı ile ilgili hesaplamalar yapılmış, noktasal verilerden alansal verilerin elde edilmesinde en iyi sonuçlar IDW yöntemi ile elde edilmiştir. Çalışma alanında toprağın erozyona duyarlılığı faktörü 0.0186 – 0.0241 değerleri arasında hesaplanmıştır (Harita 3.3). Havzaya ait K değerleri aralığı, Foster vd.

(1987) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre orta derecede aşınabilir (0.013 – 0.026) sınıfına girmektedir.

Toprak oluşumu ve toprak kayıplarının etkileri çok uzun yıllarda ortaya çıkmaktadır. Ülkemiz gibi kurak ve yarı-kurak iklim koşullarında 1 m toprağın oluşması için yaklaşık 10.000 yıl gerekmektedir. İnceleme periyodu, toprakta kaydadeğer değişiklikler meydana gelmesi için gereken süre dikkate alındığında çok kısadır. Ayrıca inceleme sahasının büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda; çoğunluğu doğal yapıdaki arazilerden oluşan havzanın toprak yapısında meydana gelecek değişimler çok küçük olacağından, bu parametrenin incelemeye esas alınan zaman diliminde dikkate değer bir değişim göstermeyeceği anlaşılmaktadır. Bu sebeple K faktörü inceleme sabit bir çarpan olarak eşitliğe katılmıştır.

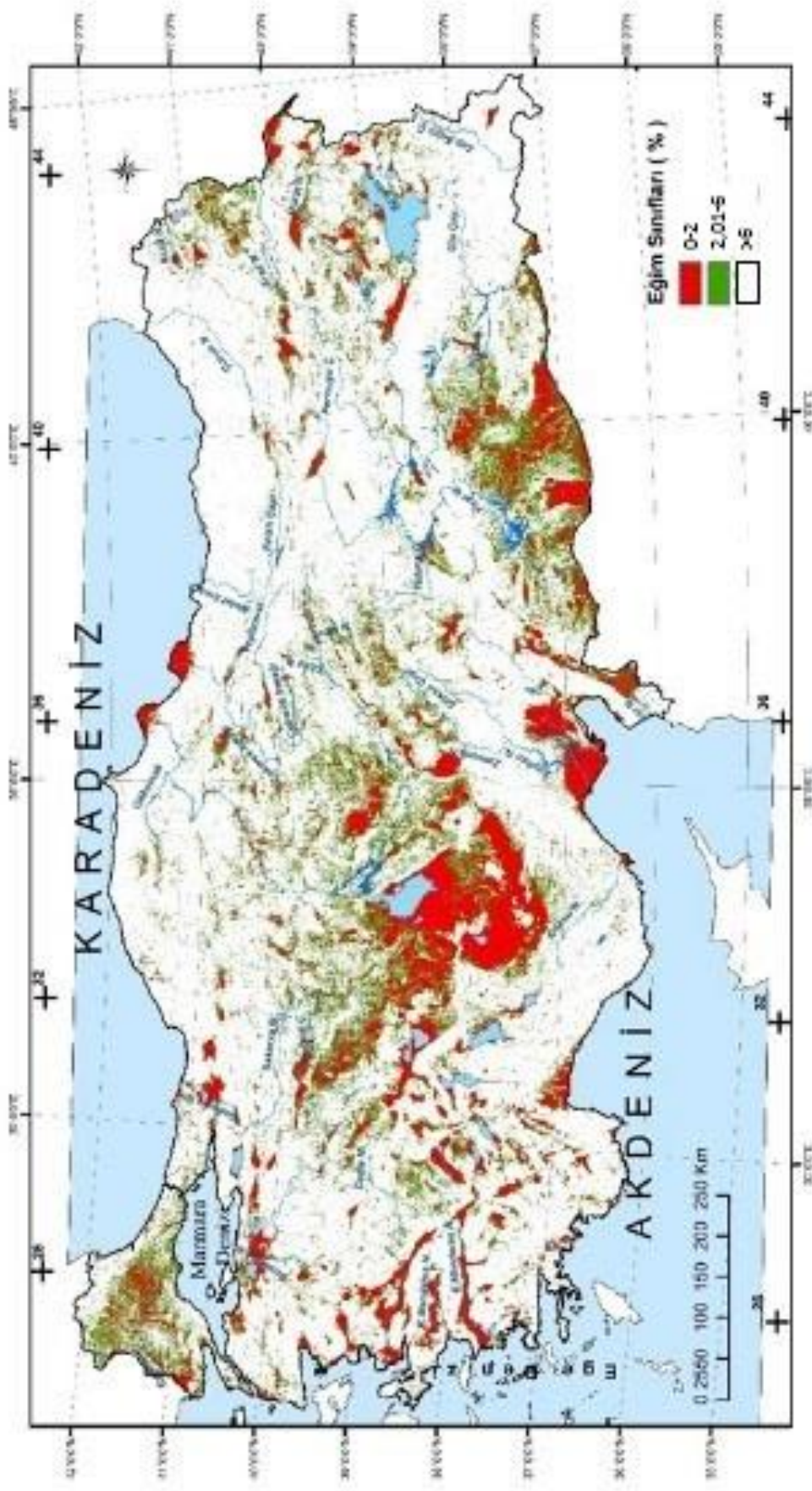
3.4.2. Yer şekilleri, topoğrafik faktör (LS)

Havzanın, eğim dikliği, eğim uzunluğu, pürüzlülük (mikro-relief), eğim şekli, havza büyüklüğü ve şekli, bakı (arazinin yönü) gibi özellikleri erozyona etki etmektedir. Eğim dikliği fazla olan arazilerde, yüzeysel akışa geçen yağış miktarı ve akış hızı artacağından toprak aşınımı daha fazla olmaktadır. Engebeli, uzun, dar, güneye bakan, dış bükey ve yüksek eğimli havzalarda erozyon daha kolay meydana gelmektedir. Ülkemizde erozyona etki eden en önemli parametre topoğrafyadır (Şekil 3.3), (ÇEM, 2018).



Şekil 3.3 Ülkemizde Su Erozyonuna Etki Eden Parametrelerin Dağılımı (ÇEM, 2018)

Türkiye’de genel eğim durumu Harita 3.4’te görülmektedir. Ülkemizde %12’den fazla eğime sahip alanlar yüzölçümümüzün %60’ını kapsarken, %20’den fazla eğime sahip alanlar yüzölçümümüzün %45’ini, %40 ‘dan fazla eğime sahip alanlar yüzölçümünün %20’sini, %60 ‘dan fazla eğime sahip alanlar ise yüzölçümümüzün %6,5’ini teşkil etmektedir (Erpul, Saygın, 2012).

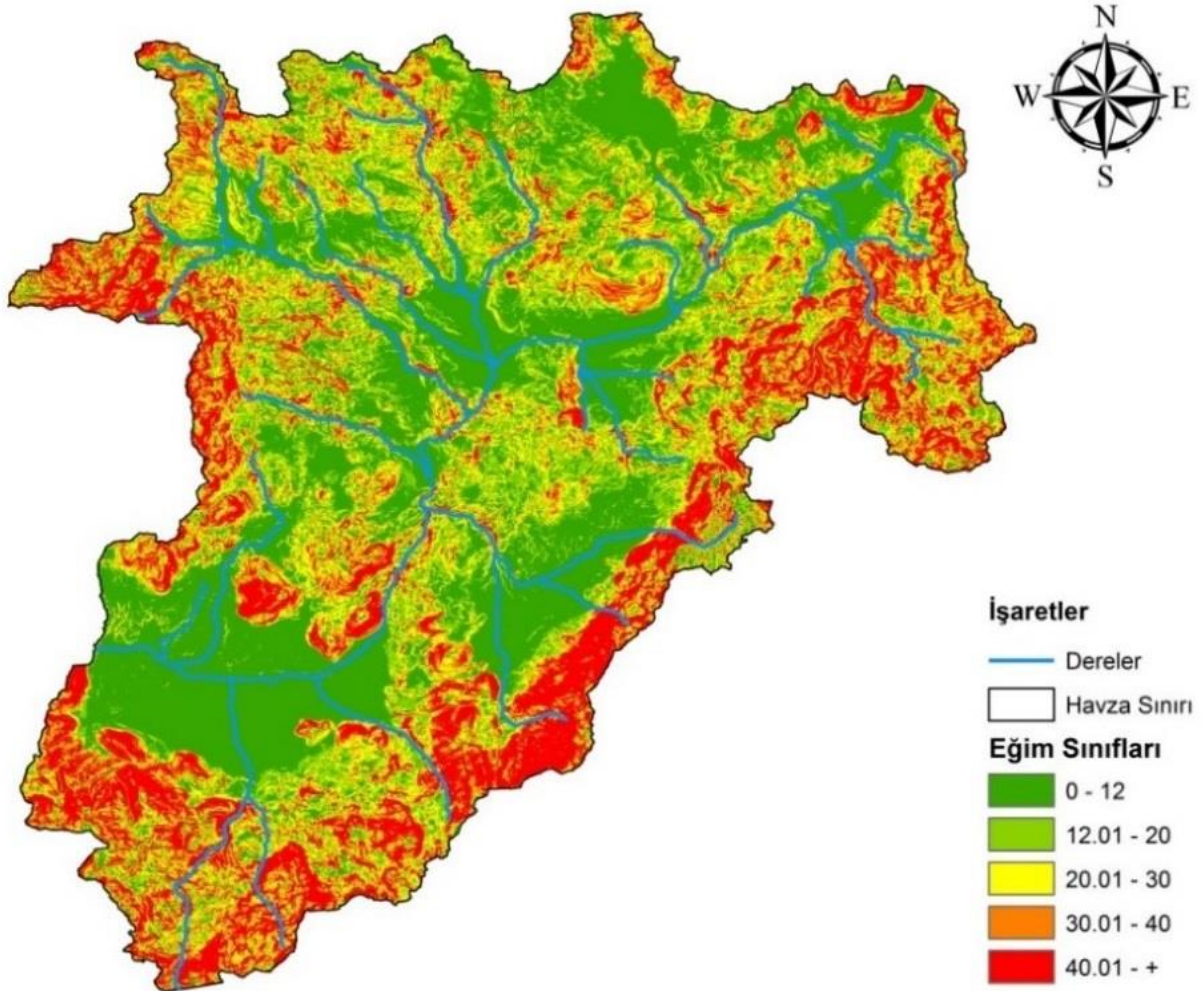


Harita 3.4 Türkiye Eğim Sınıfları Haritası (ÇEM, 2021)

Çalışma sahası içerisindeki yükseklikler 1.100–2.700 m aralığında değişmektedir. Çalışma alanında % 12 eğime kadar tarım yapılabilir alanlar, % 31,09 oranıyla birinci sırada yer almaktadır. Havzanın ortalama eğimi % 23'tür. Eğim sınıflarının dağılımı Çizelge 3.2'te ve eğim haritası Harita 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kavaklıdere SĞİ Havzası Eğim Sınıfları Dağılımı

Eğim Sınıfları (%)	Arazi Dağılımı (%)
0-12	31.09
12.01-20	19.34
20.01-30	19.42
30.01-40	13.49
40.01 -	16.66



Harita 3.5. Kavaklıdere SĞİ Havzası Eğim Sınıfları Dağılımı Haritası

Topoğrafya, RUSLE yöntemine LS (topoğrafik faktör) olarak girmektedir. Su toplama havzalarının LS faktörünü etkileyen en önemli özellikleri havzanın eğimi ve drenaj ağıdır. Hesaplama ünitesinde eğim ve drenaj ağı ne kadar artarsa, LS çarpanının matematiksel değeri de o ölçüde artış gösterecektir. LS, L (eğim uzunluğu) ve S (eğim dikliği) etmenlerinden oluşmaktadır. Burada L, aşınmanın başladığı en üst noktada ile eğimin azalıp birikmenin başladığı nokta arasındaki gerçek yatay uzunluğun, yüzey akış parselinin eğim uzunluğuna (22,13 m) oranıdır. S ise arazideki eğim dikliğinin yüzey akış parselinin eğim dikliğine (%9) oranıdır (Wischmeier ve Smith,1978).

L, S ve akış yönü arasında karşılıklı bir etkileşim vardır. Ogawa, Saito, Mino, Uchida, Khan ve Shafiq (1997) tarafından bu etkileşimi göz önünde bulunduran bir eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitlik, toprak yüzeyinde meydana gelmesi beklenen akışı da dikkate alarak hesaplamalar yapmaktadır.

$$LS = \left[\frac{\lambda}{22,13} \right]^x \cdot \left[\frac{\sin \theta}{0,0896} \right]^y \quad (3.10)$$

$$\lambda = \chi \cdot \eta \quad (3.11)$$

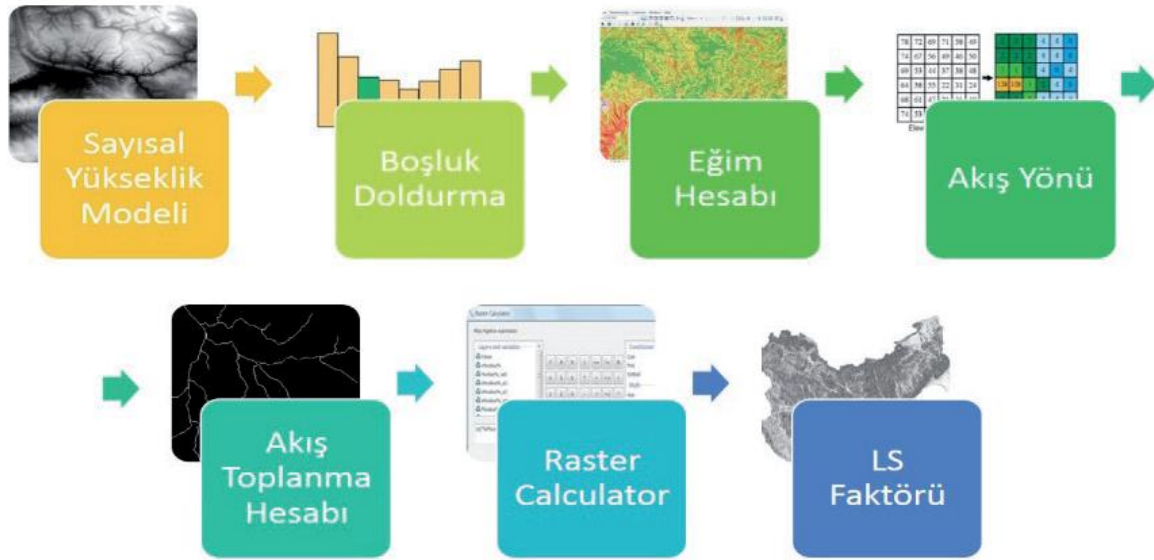
Bu eşitliklerde;

- LS :topoğrafik faktör,
- L :eğim uzunluğu faktörü,
- S :eğim dikliği faktörü,
- λ :eğim uzunluğu (m),
- χ :yüzey akış yoğunlaşma sayısı,
- η :hesaplama yapılan hücrelerin büyüklüğü (m),
- θ :eğim dikliğini (°) ifade etmektedir.
- x :alan üssü, parmak erozyonu oranını ifade eden bir katsayı, $m=0.4$ (Moore ve Burch,1986)
- y :eğim üssü, parmak erozyonu oranını ifade eden bir katsayı, $n=1,3$ (Moore ve Burch,1986)

olarak ifade edilmektedir.

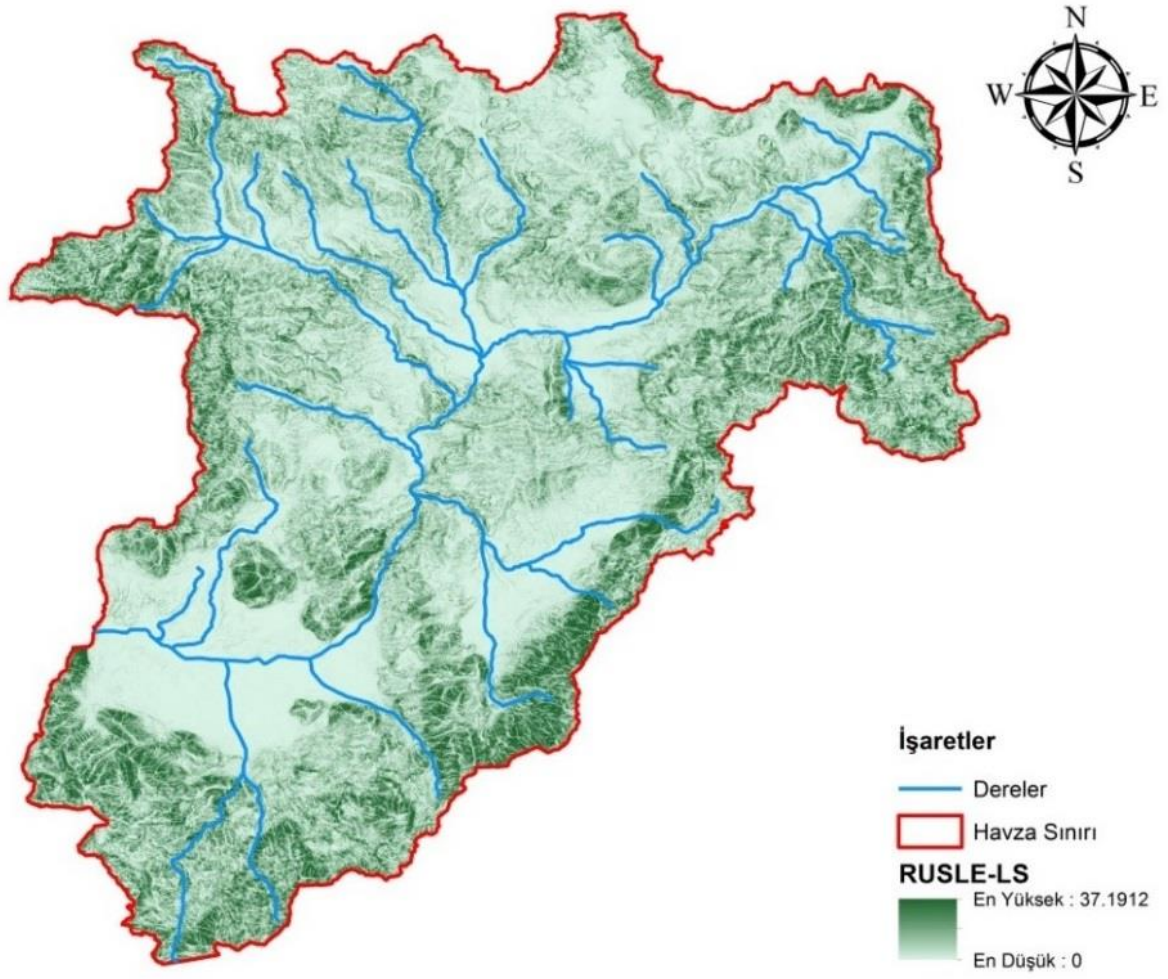
LS faktörünün CBS ortamında hesaplanması sırasında izlenen adımlar Şekil 3.4'te verilmiştir. Öncelikle, CBS ortamında hesaplamaların yapılabilmesi için; 1/25.000 ölçekli

topoğrafik harita ve ArcGIS yazılımı kullanılarak SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) oluşturulmuştur. SYM verisindeki depresyonları düzeltmek amacıyla “boşluk doldurma” işlemi uygulanmıştır. Ardından, ArcGIS yazılımındaki, hidroloji araçları içerisinde bulunan “akış yönü” ve “akım birikimi” araçları kullanılarak elde edilen veriler ile yukarıdaki eşitlik çözülmüştür (Moore and Bruch, 1986a, 1986b; Lee, 2004). Havzada LS değerleri 0 ile 37,1912 arasında değişmektedir (Harita 3.6).



Şekil 3.4 CBS yöntemleri ile LS Faktörü Hesap Adımları (Erpul, 2018)

Yer şekillerinin değişimi, uzun vadede ve büyük jeolojik süreçler sonucunda meydana gelmektedir. İnceleme yapılan 2012-2018 yılları arasındaki zaman bu değişikliklerin ortaya çıkması için çok kısa bir süredir. Dolayısıyla bu çalışmada LS faktörü, RUSLE eşitliğine sabit bir değer olarak girmektedir.

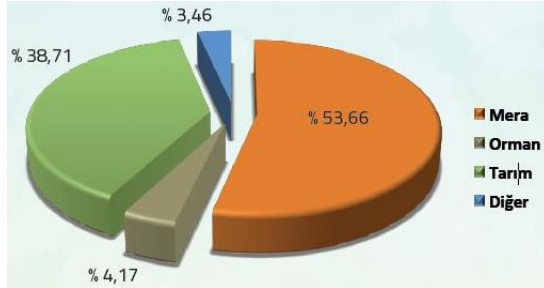


Harita 3.6. Kavaklıdere SGİ Havzasında LS Yayılım Haritası

3.4.3. Bitki örtüsü ve arazi kullanım faktörü (C)

Rüzgârın, suyun ve yerçekiminin eğim ile birleşerek toprağı taşıma kapasitesi toprağın bitki örtüsü ve toprakta yaşayan diğer canlıların varlığı ile yakından ilgilidir. Bitki örtüsü eğimli arazilerde bile toprak parçacıklarının önünde engel oluşturarak taşınımını önleyebilmektedir. Bitkiler, rüzgârın ve yağmurun sahip olduğu aşındırma enerjisini sönümleyerek aşınımı ve taşınımı yavaşlatmaktadır. Damla erozyonundan sonra oluşan kaymak tabakası, bitki örtüsü sayesinde önlenir, kökler ve toprakta yaşayan canlılar tarafından oluşturulan boşluklar suyun toprak içerisine sızmasını kolaylaştırmaktadır. Bitkiler, toprağı erozyondan korunmada kapasitelerine göre, devamlı bitki örtüsü (korunmuş ormanlar, devamlı meralar ve çayır örtüsü), baklagiller, küçük tohumlu baklagiller, tahıllar (buğday, arpa, yulaf vb.) ve çapa bitkileri (tütün, patates, mısır, soya vb.) şeklinde çoktan aza sıralanabilir. Bitkinin toprağı tutma kapasitesi, bitki türüne ve kök yapısına göre

farklılık gösterse de toprak taşınımını ve kayma oranını azaltan en önemli etmen bitki örtüsüdür (Musgrave,1955). Türkiye topraklarında erozyona etki eden en önemli etmenler topoğrafya ve bitki örtüsüdür (Şekil 3.5), (ÇEM, 2018).



Şekil 3.5 Ülkemizde Arazi Kullanımına Göre Su Erozyonunun Dağılımı (ÇEM, 2018)

Bu tez çalışmasında, arazi kullanım faktörü, başka bir ifadeyle bitki örtüsü faktörünün elde edilebilmesi için CORINE veri setinden faydalanılmıştır. CORINE; Avrupa Birliği GMES (Global Monitoring for the Environment and Security-Çevre ve Güvenlik için Küresel İzleme) programı kapsamındaki önemli arazi yönetimi projelerinden biridir. Çevre koruma amaçlı projede, uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü/arazi kullanımındaki değişikliklerin UA yardımıyla tespit edilmesi amaçlanmaktadır. SPOT-4 ve IRS-P6 uyduları görüntülerinden yararlanılarak üretilen CORINE arazi örtüsü sınıflama sistemi 5 temel sınıf, 44 alt sınıftan oluşmaktadır. Ayrıca Türkiye için 12 adet ek dizgi tanımlanmıştır. CORINE verilerine ait harita ölçeği 1/100.000 olup en küçük haritalama alanı 25 ha ve doğrusal elemanların en küçük genişliği ise 100 m’dir. CORINE veri seti, 20m x 20m çözünürlükteki uydu görüntülerinden üretilmektedir. Çalışma sahasına ait CORINE temel arazi sınıflarının dağılımı Çizelge 3.3’te görülmektedir.

Çizelge 3.3. CORINE 2018 Temel Arazi Kullanım Sınıflarının Dağılımı (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021)

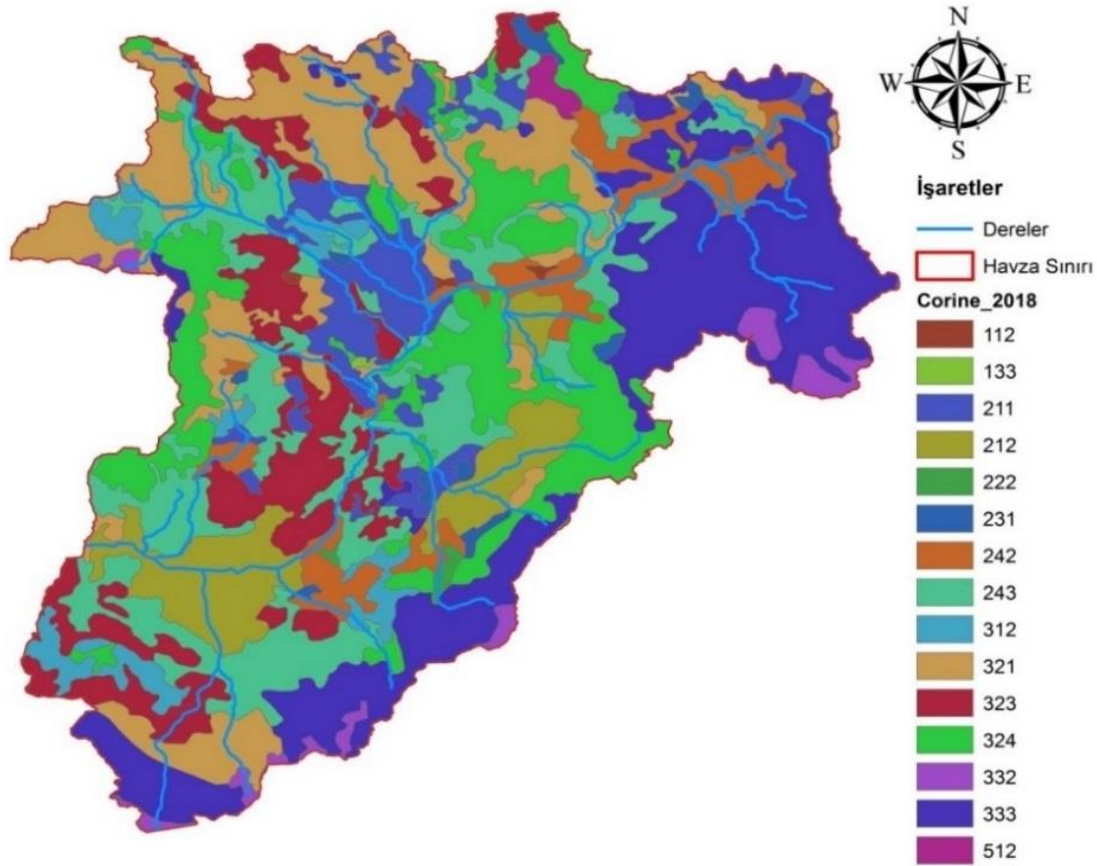
	Alan (ha)	Yüzde (%)
Yapay Bölgeler (1)	134.9	0.24
Tarımsal Alanlar (2)	20.060.6	36.41
Orman ve Yarı Doğal Alanlar (3)	34.653.4	62.89
Su Kütleleri (5)	252.07	0.46

Çizelge 3.4. CORINE 2018 Alt Arazi Kullanım Sınıflarının Dağılımı
(Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021)

CORINE Kodu	Katman	Alan (ha)	Yüzde (%)
333	Seyrek Bitki Alanları	10717.99	19.45
243	Doğal Bitki Örtüsü İle Karışık Tarım Alanları	8956.46	16.25
321	Doğal Çayırliklar	8020.26	14.56
324	Bitki Değişim Alanları	7274.04	13.2
323	Sklerofil Bitki Örtüsü	5968.44	10.83
2121	Sürekli Sulanan Alanlar	3806.76	6.91
2111	Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	3477.79	6.31
2422	Sulanın Karışık Tarım Alanları	1724.09	3.13
312	İğne Yapraklı Ormanlar	1686.07	3.06
2421	Sulanmayan Karışık Tarım Alanları	1401.42	2.54
3321	Çıplak Kayalık	986.63	1.79
231	Mera Alanları	546.98	0.99
512	Su Kütleleri	252.07	0.46
2221	Sulanmayan Meyve Alanları	116.84	0.21
1122	Sürekli Olmayan Yerleşim Alanları	108.36	0.2
2222	Sulanın Meyve Alanları	30.26	0.05
133	İnşaat Sahaları	26.53	0.05
TOPLAM		55 100	100

Bu verilere göre, havzanın % 62,89'u ormanlık alanlardan ve % 36,41'i tarım alanlarından oluşmaktadır (Çizelge 3.3). Havzada Akdeniz iklim özelliklerine bağlı olarak gelişen hâkim bitki örtüsü makilerdir. İç kesimlerde bozkırlar, yüksek kesimlerde iğne yapraklı ormanlar bulunmaktadır. Havza içerisinde, CORINE alt arazi kullanım sınıflarının dağılımı ise Çizelge 3.4 ve Harita 3.7'de gösterilmektedir. Buna veriler yağış alanının % 19,45'inin seyrek bitki alanlarından, % 16,25'inin doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanlarından ve % 14,56'sının ise doğal çayırliklardan oluştuğunu göstermektedir.

CORINE arazi örtüsünde (CORINE land cover 2018) tanımlanan poligonlara, Panagos, Borrelli, Poesen, Ballabio, Lugato, Meusbürger ve Alewell (2015) tarafından hazırlanan, Avrupa ölçeğinde toprak erozyonunun ortaya konulması için bitki örtüsü faktörünün hesaplandığı çalışmadaki C değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada yapay alanlar (1), tarımsal alanlar (2), orman yeri ve yarı-doğal alanlar (3), sulak alanlar (4) ve su yapıları için belirlenen toplam 33 adet arazi örtüsü türüne ait C değerleri verilmiştir (Çizelge 3.6). Bu değerlendirmede, yapay alanlar ile tuzlalar ve su depolama alanlarının C etmeni değerleri "0"dır. Yani bu tip alanlardan toprak kaybı oluşmamaktadır.



Harita 3.7. CORINE 2018 Arazi Kullanım Haritası

Çizelge 3.5. 1990-2012-2018 Arazi Kullanım Sınıfları Dağılımının Karşılaştırılması

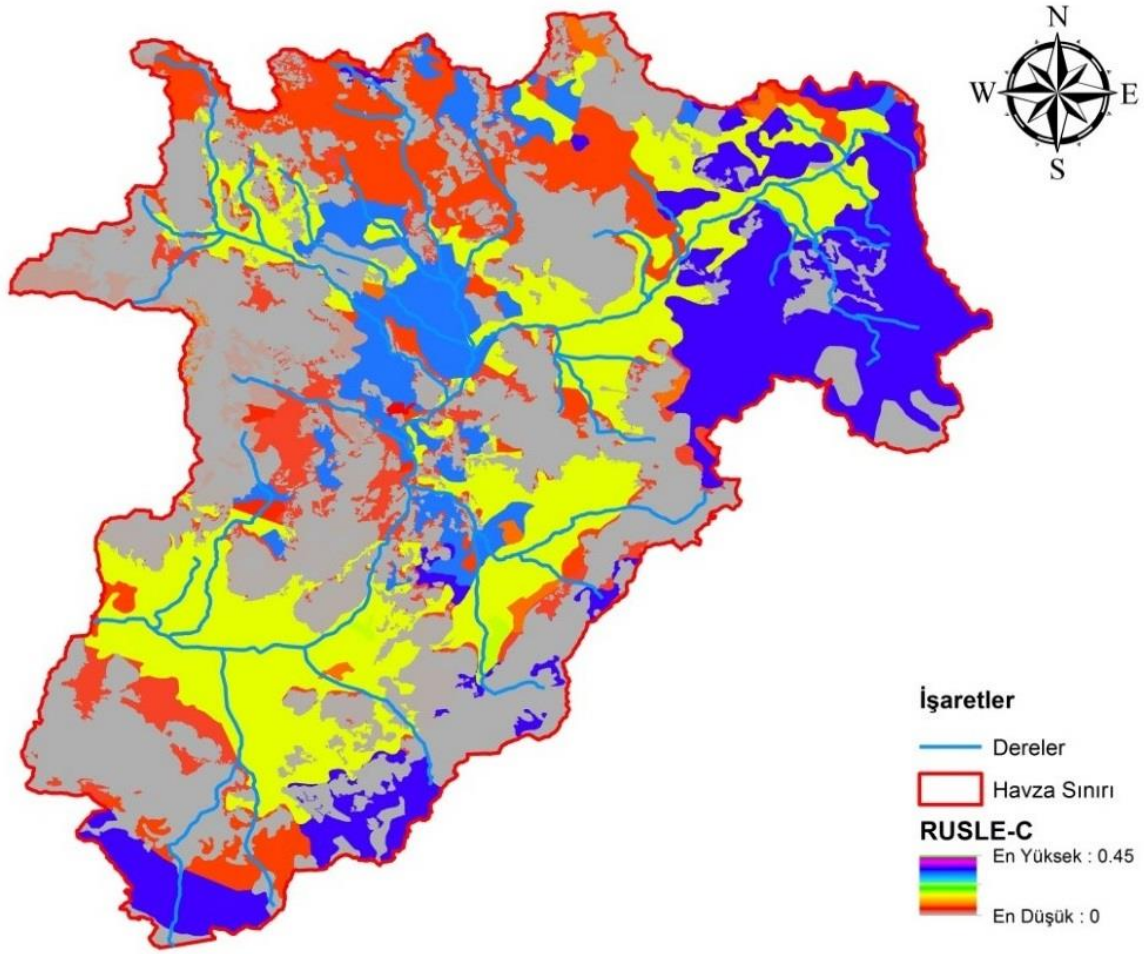
CORINE BÖLGESEL RAPORU	2018		2012		1990		1990-2012
KATMAN	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)	Değişim (%)
Seyrek Bitki Alanları (333)	10.717,99	19,45	10.717,99	19,45	16.972,08	30,8	11,35
Doğal Bitki Örtüsü İle Karışık Tarım Alanları (243)	8.956,46	16,25	8.956,46	16,25	4.149,65	7,53	-8,72
Doğal Çayırliklar (321)	8.020,26	14,56	8.020,26	14,56	1.135,95	2,06	-12,5
Bitki Değişim Alanları (324)	7.274,04	13,2	7.274,04	13,2	946,10	1,72	-11,48
Sklerofil Bitki Örtüsü (323)	5.968,44	10,83	5.968,44	10,83	11.224,33	20,37	9,54
Sürekli Sulanan Alanlar (2121)	3.806,76	6,91	3.806,76	6,91	3.983,92	7,23	0,32
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar (2111)	3.477,79	6,31	3.477,79	6,31	10.684,82	19,39	13,08
Sulan Karışık Tarım Alanları (2422)	1.724,09	3,13	1.724,09	3,13	1.469,70	2,67	-0,46
İğne Yapraklı Ormanlar (312)	1.686,07	3,06	1.686,07	3,06	1.409,99	2,56	-0,50
Sulanmayan Karışık Tarım Alanları (2421)	1.401,42	2,54	1.401,42	2,54	956,76	1,74	-0,80
Çıplak Kayalık (3321)	986,63	1,79	986,63	1,79	1.407,88	2,56	0,77
Mera Alanları (231)	546,98	0,99	546,98	0,99	229,29	0,42	-0,57
Su Kütelleri (512)	252,07	0,46	252,07	0,46	169,93	0,31	-0,15
Sulanmayan Meyve Alanları (2221)	116,84	0,21	116,84	0,21	0,60	0	-0,21
Sürekli Olmayan Yerleşim Alanları (1122)	108,36	0,2	108,36	0,2	302,92	0,55	0,35
Sulan Meyve Alanları (2222)	30,26	0,05	30,26	0,05			-0,05
İnşaat Sahaları (133)	26,53	0,05	26,53	0,05			-0,05
Bataklıklar (411)					57,09	0,1	0,10

Türkiye’de 1990, 2012 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi kullanım sınıfları verisi bulunmaktadır. Bu verilere göre; 1990 ile 2012 yıllarına ait veriler arasında az bir fark olsa da bu farkın sınıflandırmadaki isim değişikliklerinden kaynaklandığı ve değişen arazi kullanımlarının erozyona etki etmeyecek şekilde dengelendiği anlaşılmaktadır. 2012 ve 2018 yıllarına ait veriler arasında ise herhangi bir değişiklik olmadığı görülmektedir (Çizelge 3.5). Gerçekte incelenen zaman diliminde arazi kullanımında değişiklikler meydana gelmemesi mantıklı bir değerlendirme değildir. Ancak gerçekte meydana gelen değişimlerin verilere yansımaması, CORINE’de büyük ölçekli haritalar üzerinden, düşük çözünürlükte veri toplanıyor olması ile açıklanabilir. Ancak hâlihazırda arazi kullanımı ile ilgili daha detaylı bir çalışma mevcut olmadığından bu çalışmada CORINE verileri esas alınmıştır. Eldeki veriler, incelemeye esas alınan zaman diliminde arazi kullanımı açısından herhangi bir değişim olmadığını göstermektedir. Bu sebeple C katmanı sabit bir çarpan olarak hesaplara katılmaktadır.

Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan CORINE C-faktörü değerleri (Panagos vd, 2015)

GRUP	CLC SINIFI	DETAY SINIFI	C-FAKTÖR DEĞERLERİ (CLANDUSE)
Sürekli bitki örtüsü	221	Üzüm bağları	0.15-0.45
	222	Meyve ağaçları ve dut tarlaları	0.1-0.3
Otlaklar	223	Zeytinlikler	0.1-0.3
	231	Otlaklar	0.05-0.15
Heterojen tarım alanları	241	Kalıcı bitkiler ile ilişkili yıllık ürünler	0.07-0.35
	242	Kompleks ekim modelleri	0.07-0.2
	243	Temel olarak doğal bitki örtüsü ile tarım için kullanılan arazi	0.05-0.2
	244	Tarımsal ormancılık alanları	0.03-0.13
Ormanlar	311	Geniş yapraklı ormanlar	0.0001-0.003
	312	İğne yapraklı ormanlar	0.0001-0.003
	313	Karışık ormanlar	0.0001-0.003
Bodur ve/veya otsu bitki grupları	321	Doğal çayırlar	0.01-0.08
	322	Fundalık ve çalılık	0.01-0.1
	323	Sklerofil bitki örtüsü	0.01-0.1
	324	Ormandan fundalığa geçiş alanları	0.003-0.05
Çok az veya hiç bitki örtüsü olmayan alanlar	331	Plajlar, kumul tepeleri, kumlar	0
	332	Çıplak kayalar	0
	333	Seyrek bitki örtüsü alanları	0.1-0.45
	334	Yanmış alanlar	0.1-0.45
	335	Buzullar ve sürekli kar altındaki alanlar	0

Bu tez çalışmasında, çalışma sahasına ait CORINE-2018 arazi kullanım sınıflarını içeren vektör veri üzerindeki poligonlara uygun C atanarak, C faktörü katmanı elde edilmiştir. C faktörü katmanına ait yayılım haritası Harita 3.8’de verilmiştir.



Harita 3.8. Kavaklıdere SGİ Havzası C Yayılım Haritası

3.4.4. Toprak ve su koruma önlemleri faktörü (P)

Bitkilendirme dışında kalan teraslama, otlandırma, enine yapı vb. her türlü toprak koruma yöntemi bu parametreye girdi olarak değerlendirilmektedir. Hâlihazırda toprak koruma metotlarına ait dijital veri temin edilememektedir. İlerleyen dönemlerde P değerlerinin temel verisi OGM (Orman Genel Müdürlüğü) tarafından yürütülen Orman Bilgi Sistemi (ORBİS) verilerinden temin edilebilecektir (ÇEM, 2018).

Arazide toprakları korumaya yönelik önlemler alınmıyorsa, RUSLE erozyon modeline göre toprak koruma önlemleri faktörü “ $P=1.0$ ” olarak alınır (Wischmeier ve Smith, 1978; Çanga, 1985). P faktörü genellikle büyük havza çalışmalarında dikkate alınmadığından bu çalışmada da $P=1$ alınmıştır (Yılmaz ve Çiçek, 2006).

3.4.5. İklim ve yağışın aşındırma gücü faktörü (R)

Erozyona etki eden iklimsel parametreler oldukça çeşitlidir ve bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir. Sıcaklık, nem, rüzgâr, yağış şiddeti, yağışın konumsal ve zamansal dağılımı, yağış süresi, yağış şekilleri gibi iklimsel parametreler erozyon açısından oldukça önemlidir. Yağışın kinetik enerjisi su erozyonuna sebep olan en önemli faktördür. Yağmur, kar ve dolu gibi yağış şekilleri farklı kinetik enerjilere sahiptir. Bunlar içinde yağmur su erozyonuna en fazla katkıda bulunan yağış şeklidir. Yağışın şiddeti ve miktarı toprağa etki eden toplam enerji miktarını belirlemektedir.

Yağış şiddeti toprağın doymuş hale gelme sürecinde belirleyici bir etmendir. Yağış şiddeti, yağış süresi ile birlikte toprağın doymuş hale gelmesine ve yüzeysel akışa geçen yağışın miktarına etki eder. Yağış süresince erozyonun devam edeceği bilinmektedir. Buna göre yağış süresi uzadıkça taşınacak sediment miktarının artacağı anlaşılmaktadır. Yağışın şiddeti ve süresi gibi dağılımı da erozyonun seyrini belirleyen önemli bir faktördür. Bir yağış farklı zamanlarda farklı yoğunlukta olabilir, bu da diğer temel etkenlerle birlikte erozyonun nasıl olacağını gösterir.

Çalışma sahası, Batı Akdeniz Havzası içerisinde yer almaktadır. Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleri arasında bir geçit özelliği taşımakta olan Batı Akdeniz Havzasının iklimi yer yer farklılıklar göstermektedir.

Batı Akdeniz Havzasında dağların denize dik uzanması, deniz etkisinin iç kesimlere kadar ilerleyebileceğini düşündürse de, havzanın orta-iç kısımlarında yer alan çalışma sahası, kıyıdan uzak ve yüksek bir konumda bulunduğu için deniz etkisinin nispeten daha az olacağı anlaşılabılır. Ayrıca, çalışma sahasının güney ve batı kesimlerini çevreleyen Akdağlar ile Bey Dağları deniz etkisinin iç kısımlara ulaşmasını önlemektedir. Çalışma sahasının bu özellikleri göz önünde tutulduğunda kısmen Ege Bölgesi, kısmen de Göller Yöresi iklim özelliklerini göstereceği söylenebilir. Havza en çok yağışı Kasım, Aralık aylarında almaktadır.

Bu çalışmada aşağıda konumları gösterilen Fethiye (17296), Gölhisar (17891), Korkuteli (17926) ve Elmalı (17952) olmak üzere 4 adet OMGI'ye ait yağış verileri kullanılmıştır (Harita 3.9.).

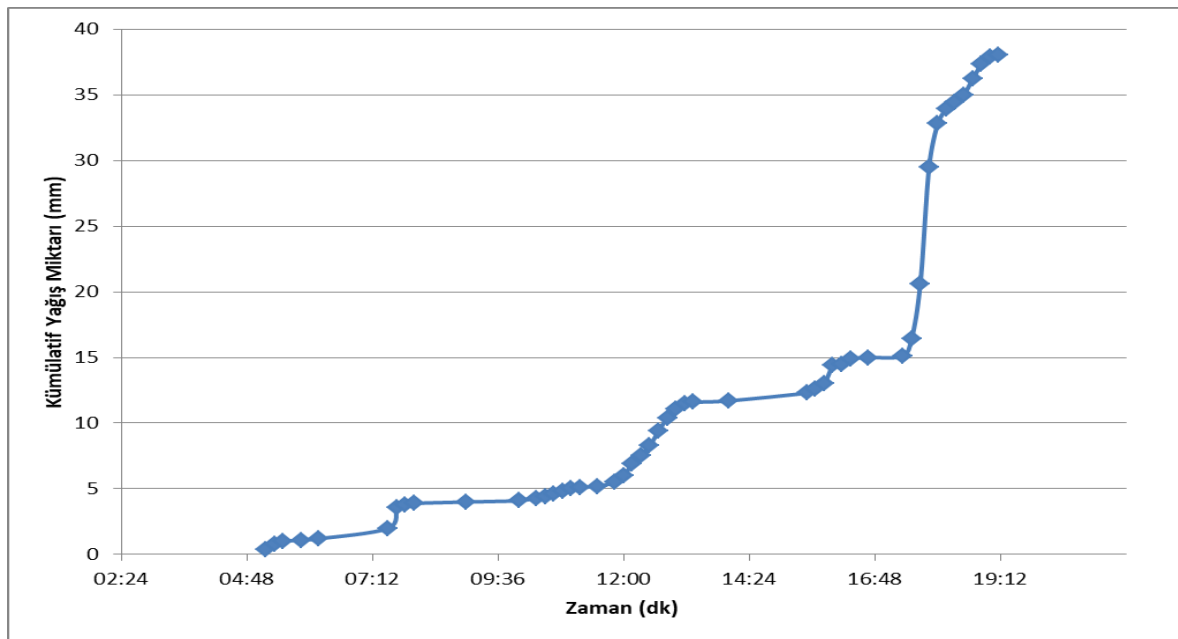


Harita 3.9. Yağış İstasyonları Haritası (Google, 2021)

R faktörü, I (yağış şiddeti) ve E (yağış enerjisinin) bir fonksiyonudur. Burada yağış şiddeti damla erozyonunu, yağış enerjisi ise yüzeysel akışlardan meydana gelen erozyonu temsil etmektedir.

R değişkeninin hesaplanabilmesi için, öncelikle bireysel yağışların ortaya konulması gerekmektedir. Bireysel yağış; ardışık yağışlar arasında, yağış miktarının 6 saat veya daha fazla süreyle 1,27 mm'nin altında kalmasıyla birbirinden ayrılan yağışlardır (Renard, 1997). Yağış miktarının, 6 saat veya daha fazla süreyle 1,27 mm'nin altında kalması halinde, ilk yağış sonraki yağışın eroziv gücünü arttırmayacaktır. Ayrıca, belli bir yağış şiddeti değerinin altında meydana gelen yağışlar buharlaşma ile tekrar atmosfere döneceğinden ve eroziv etki yapmayacaktır (Yılmaz ve Çiçek,2006).

Yağış verileri, OMGİ istasyonlarında "Tipping Bucket" adlı cihaz ile ölçülmektedir. Bu cihaz 0,2 mm doldur-boşalt haznesi ile dakikada 60 defa doldur-boşalt hareketi yapmaktadır (en fazla 12mm/dk). Isıtmalı olan bu cihazlar kar, dolu gibi farklı yağış tiplerini ayırma özelliğine sahip değildir (Erpul,2016). OMGİ'den gelen veriler cihazın teknik hassasiyetleri dikkate alınarak veri tabanına aktarılmıştır. 1 dk'lık ölçümlerden oluşan OMGİ yağış verileri bilgisayar ortamında analiz edilerek, bireysel yağışlar ve bu yağışlara ait yağış miktarı (mm) - zaman (dk) grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Bireysel Yağış Örneği

Yağışın erozyon oluşturabilmesi için toprak taneciklerinin parçalanması ve harekete geçmesi gerekmektedir, dolayısıyla yağışın şiddetine ve enerjisine bağlı olarak her yağış erozyon oluşturmamaktadır. Ayrıca, yağış miktarı toprağı doygunluk derecesine ulaştıramayacak seviyede ise yağış toprak altına sızacağı ve yüzey akışı oluşturmayacağı için eroziv etki yapmayacaktır (Yılmaz ve Çiçek,2006). Bu bağlamda 30 dakikalık maksimum yağış miktarı 12,7 mm'den küçük olan yağışlar analizlerin dışında bırakılmış, 12,7 mm'den büyük olanlar ise analizlerde dikkate alınmıştır. Toprak parçalanmasının en yüksek olduğu 30 dakikalık maksimum yağış şiddeti (I_{30}), bireysel yağışlara ait yağış miktarı-zaman grafikleri üzerinden hesaplanarak analizlere katılmıştır (Yılmaz ve Çiçek,2006), (Renard, 1997). Ancak, eğer bir yağış boyunca herhangi bir zaman diliminde yağış şiddeti 15 dakikada (I_{15}) 6,5 mm'ye ulaşmışsa (25 mm saat^{-1}), bu yağışın enerjisi ve şiddeti yüksek olacağından analizlere dâhil edilmiştir. Bu durumda 30 dakikalık maksimum yağış şiddetlerinin (I_{30}) yanında, 15 dakikalık maksimum yağış şiddetleri de (I_{15}) analizlerde dikkate alınmaktadır (Renard, 1997).

E (Yağışın toplam kinetik enerjisi) ile ilgili eşitlik (3.13)'te yağış enerjisine etki eden tek değişkenin I (Yağış Şiddeti) olduğu görülmektedir. Yağış şiddetinin (I); $I \leq 76 \text{ mm saat}^{-1}$ olduğu koşullar için, (3.13)'de verilen eşitlik geçerlidir; ancak yağış şiddeti belli bir değerin üstünde olduğunda, yağmur damlası büyüklüğü orta değeri artış göstermeyecektir. Bu sebeple, yağış şiddeti 76 mm saat^{-1} 'den büyük olduğunda eşitlik (3.14)'te verilen sabit enerji değeri ($E=0,293$) hesaplamalarda kullanılmaktadır (Carter, Greer, Braud ve Floyd,1974).

Yukarıdaki metodolojiden anlaşılabacağı üzere buradaki hesaplarda yalnızca kriterlere uygun özellikteki, erozyon oluşturabilen yüksek enerjili yağışlar dikkate alınmaktadır. Yağış, su erozyonunu tetikleyen döngünün başlangıç noktasıdır. Yağmur damlasının kazanmış olduğu kinetik enerjiyi toprak parçacıklarına aktarması sonucu hareket başlar. R faktörü için birçok araştırmacı farklı yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu çalışmada tüm bireysel yağışların enerjisi (E, MJ ha^{-1}) ve şiddeti (I, mm saat^{-1}) aşağıdaki eşitlikler (3.12)–(3.17) kullanılarak hesaplanmıştır. (Brown ve Foster,1987).

$$(I_{30})_i = \frac{(P_{30})_i}{t_i} \quad (3.12)$$

$$E = 0,29 \cdot (1 - 0,72 \cdot e^{0,05 \cdot (I_{30})_i}) \quad * I \leq 76 \text{ mm saat}^{-1} \quad (3.13)$$

$$E = 0,293 \quad * I > 76 \text{ mm saat}^{-1} \quad (3.14)$$

$$R_i = E_i \cdot (I_{30})_i \quad (3.15)$$

Bu eşitliklerde;

$(P_{30})_i$: i yağışına ait 30 dakikalık maksimum yağış miktarı (mm)

t : Yağış süresi (sa)

$(I_{30})_i$: i yağışına ait 30 dakikalık maksimum yağış şiddeti (mm/sa)

E : Yağışın toplam kinetik enerjisi (MJ ha^{-1})

E_i : i yağışına ait toplam kinetik enerji (MJ ha^{-1})

R_i : i yağışının birim zamanda birim yüzeyde oluşturduğu aşındırma gücü ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm sa}^{-1}$)

m : İnceleme süresince meydana gelen toplam yağış sayısı

i : Yağış numarası

olarak ifade edilmektedir.

R_y (yıllık toplam aşındırma gücü), birim yağış enerjisinin, birim zamanda belirli bir yüzey alanında meydana getirdiği aşındırma gücü faktörü (R_i) değerlerinin toplamından oluşur. Bir yıl içerisindeki yağışlardan meydana gelen yıllık aşındırma gücü değeri (R_y , $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ saat}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) ve uzun yıllar ortalaması (N yıl için, R , $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ saat}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$R_y = \sum_{i=1}^m R_i = \sum_{i=1}^m E_i \cdot (I_{30})_i \quad (3.16)$$

$$R = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [\sum_{i=1}^m (E_i \cdot I_{30})_i] \quad (3.17)$$

Bu eşitliklerde;

R_y : Yıllık toplam aşındırma gücü ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm sa}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$)

$(I_{30})_i$: i yağışına ait 30 dakikalık maksimum yağış şiddeti (mm/sa)

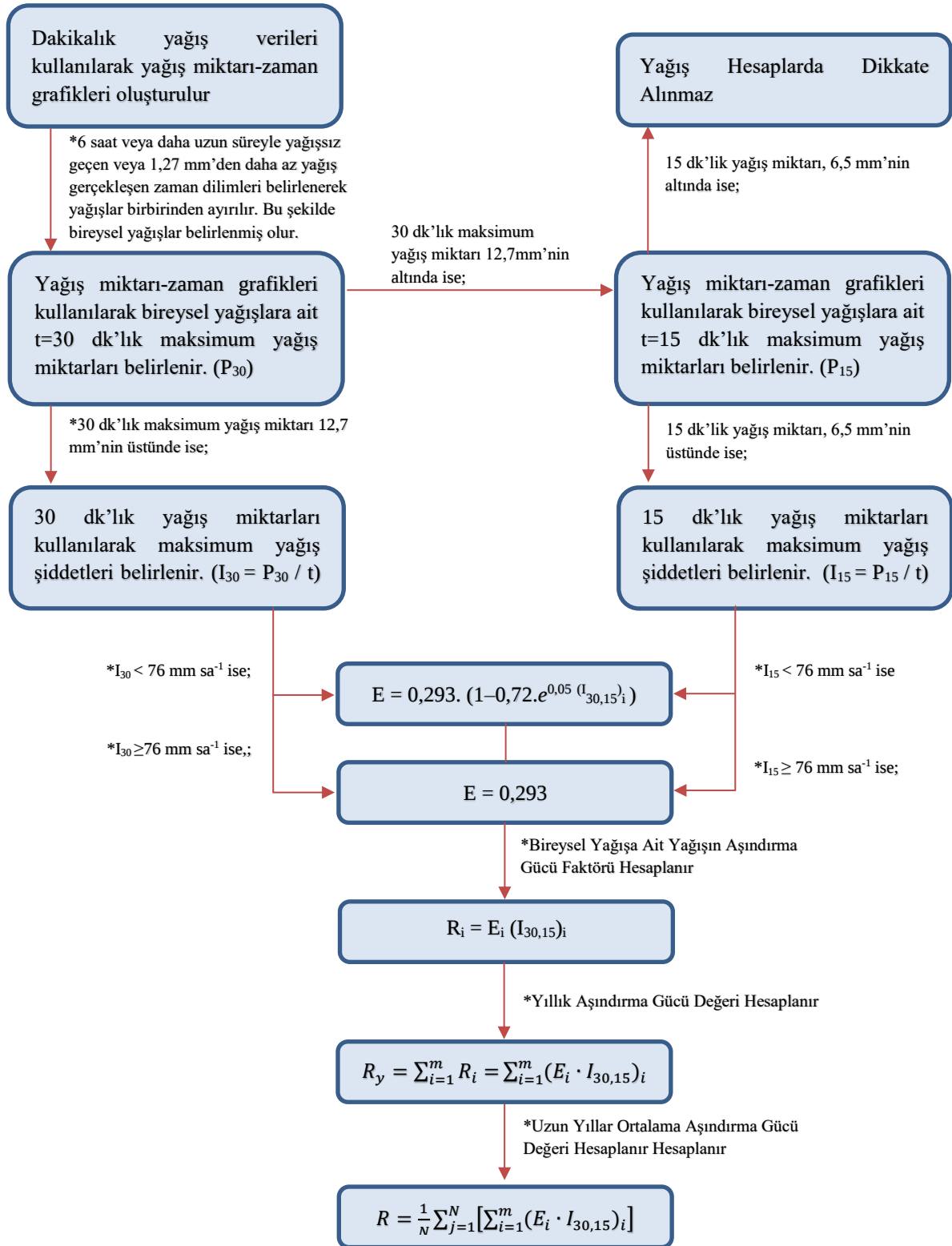
R : Ortalama yıllık yağışın aşındırma gücü faktörü

N : Ortalama hesabına katılan toplam inceleme süresi (yıl)

J : Yıl numarası

olarak ifade edilmektedir.

R faktörü hesaplanırken uygulanan işlem adımları özet olarak Şekil 3.5'te gösterilmiştir;



Şekil 3.7. R Faktörü Hesap Akış Şeması

RUSLE’de yer alan diğer parametrelerin aksine, yağış verileri incelemeye esas alınan yıllarda kaydadeğer değişimler göstermiştir. Bu tez çalışmasında; dört farklı OMGİ’na ait yağış verileri, “Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri” verilerine uygun olacak şekilde iki farklı zaman dilimine göre düzenlenmiştir. Yağış verileri her istasyon için 2006-2012 ve 2006-2018 yıllarına ait yağışları içerecek şekilde oluşturulmuştur. Her bir istasyon için bu zaman dilimlerine karşılık gelen R faktörü değerleri hesaplanmıştır.

2006-2012 yıllarına ait yağışın aşındırma gücü faktörü (R) değerleri

Fethiye, Gölhisar, Elmalı ve Korkuteli OMGİ ölçümleri üzerinden 2006-2012 yılları arasında için hesaplanan yıllık ortalama yağış miktarları ve yüksek enerjili yağış miktarları Çizelge 3.7.’de yer almaktadır.

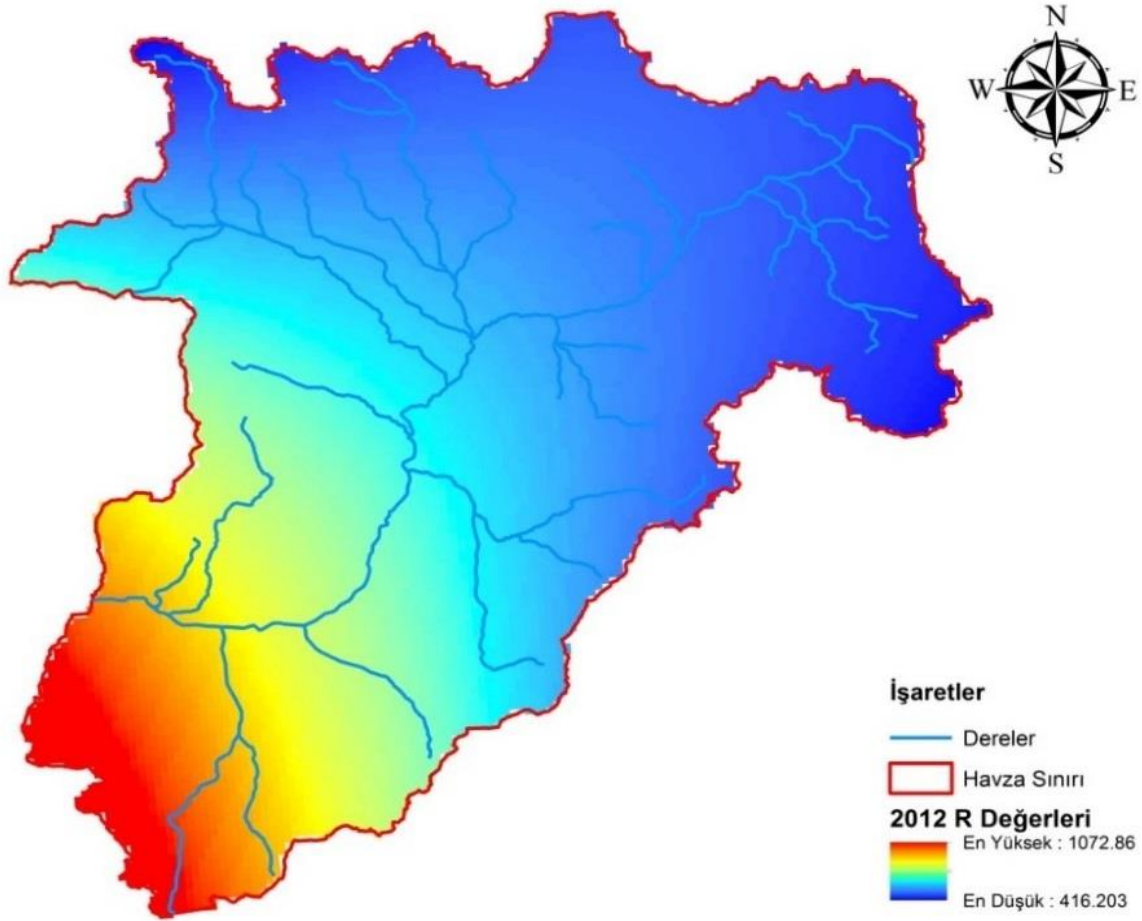
Çizelge 3.7. 2006-2012 Yıllarına Ait Ortalama Yıllık Yağış Miktarı ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarı Verileri

17296 Fethiye OMGİ			17297 Gölhisar OMGİ			17296 Korkuteli OMGİ			17952 Elmalı OMGİ		
Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)
2006	500.4	753.6	2006	133.5	287.2	2006	180	297	2006	169.4	348.2
2007	564.6	800	2007	120	243.2	2007	72.8	159.2	2007	44.8	73.8
2008	303.8	446.8	2008	110.2	182.6	2008	119.4	173	2008	50.2	134.2
2009	902.2	1399.4	2009	313.2	608	2009	53.6	119.6	2009	261.4	504.2
2010	663.4	923.4	2010	195.6	349.4	2010	102.8	266.2	2010	288.2	483.8
2011	567.6	971.8	2011	162.4	386.2	2011	108	238.2	2011	283.4	551.8
2012	730	1130.2	2012	157	389.6	2012	19.4	41	2012	164.6	358.4

Fethiye, Gölhisar, Elmalı ve Korkuteli OMGİ yağış verileri kullanılarak, 2006-2012 yılları için R (Yağışın Aşındırma Gücü Faktörü) hesaplanmıştır (Çizelge 3.8). Hesaplamalara göre; Fethiye OMGİ 3.603,35 MJ mm ha⁻¹/saat⁻¹/yıl⁻¹ ile en yüksek enerjili, Korkuteli OMGİ ise 216,62 MJ mm ha⁻¹/saat⁻¹/yıl⁻¹ ile en düşük enerjili yağışların düştüğü istasyonlar olmuşlardır. İstasyonlara ait noktasal R faktörü değerlerinin dağılımı için en doğru sonuçlar Kriging enterpolasyon yöntemi ile elde edilmiş ve R değerleri CBS ortamında Kriging enterpolasyon yöntemi ile havzasının tümüne yayılarak 2012 yılına ait R faktörü katmanı oluşturulmuştur. Bu katmana ait harita Harita 3.10’te verilmiştir.

Çizelge 3.8. 2006-2012 Yılları Arası Hesaplanan R Değerleri

İstasyon No	İl	İlçe	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	2006-2012 R Değeri (MJ mm ha ⁻¹ /saat ⁻¹ /yıl ⁻¹)
17296	Muğla	Fethiye	Fethiye	36,626611	29,123804	3	3603,3524
17891	Burdur	Göhlisar	Göhlisar	37,142743	29,526005	990	267,9977
17926	Antalya	Korkuteli	Korkuteli	37,056501	30,191029	1017	216,6204
17952	Antalya	Elmalı	Elmalı	36,737244	29,912100	1095	337,1459



Harita 3.10. 2006-2012 R Faktörü Yayılım Haritası

2006-2018 yılına ait yağışın aşındırma gücü faktörü (R) değerleri

Fethiye, Göhlisar, Elmalı ve Korkuteli OMGI ölçümleri üzerinden 2006-2018 yılları arasında için hesaplanan yıllık ortalama yağış miktarları ve yüksek enerjili yağış miktarları Çizelge 3.9.'de yer almaktadır

Çizelge 3.9. 2006-2018 Yıllarına Ait Ortalama Yıllık Yağış Miktarı ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarı Verileri

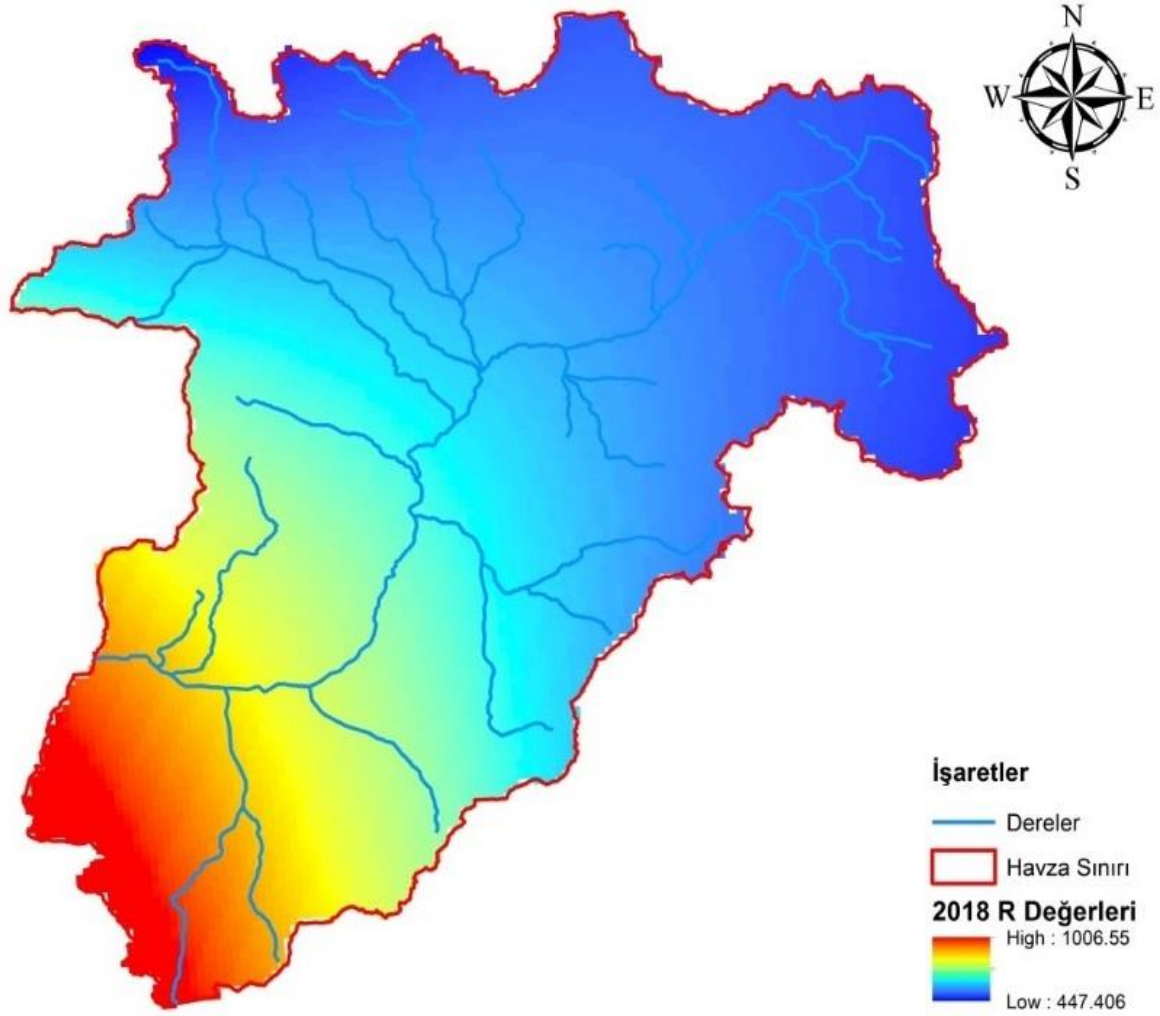
17296 Fethiye OMĞİ			17297 Gölhisar OMĞİ			17926 Korkuteli OMĞİ			17952 Elmalı OMĞİ		
Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yıllar	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)
2006	500.4	753.6	2006	133.5	287.2	2006	180	297	2006	169.4	348.2
2007	564.6	800	2007	120	243.2	2007	72.8	159.2	2007	44.8	73.8
2008	303.8	446.8	2008	110.2	182.6	2008	119.4	173	2008	50.2	134.2
2009	902.2	1399.4	2009	313.2	608	2009	53.6	119.6	2009	261.4	504.2
2010	663.4	923.4	2010	195.6	349.4	2010	102.8	266.2	2010	288.2	483.8
2011	567.6	971.8	2011	162.4	386.2	2011	108	238.2	2011	283.4	551.8
2012	730	1130.2	2012	157	389.6	2012	19.4	41	2012	164.6	358.4
2013	482.4	779.6	2013	174.2	381.4	2013	150	269.2	2013	175.2	408
2014	529.3	835.1	2014	226.8	404.6	2014	197.2	338.4	2014	218.4	326
2015	698.9	1054.8	2015	221.4	390.2	2015	272.6	388	2015	371.5	493
2016	429.4	682.2	2016	172.3	305.4	2016	142.5	295.5	2016	168.2	295.8
2017	337.7	573.7	2017	127.6	201	2017	53.6	100.6	2017	73	149.6
2018	384.3	637.4	2018	90.96	242.9	2018	155.2	225.6	2018	226.6	441.8

OMĞİ verilerine göre; 2006-2018 yılları arasında R faktörü değerleri tekrar hesaplanmıştır (Çizelge 3.10). Fethiye OMĞİ 3.115,95 MJ mm ha⁻¹/saat⁻¹/yıl⁻¹ ile en yüksek enerjili, Korkuteli OMĞİ ise 245,37 MJ mm ha⁻¹/saat⁻¹/yıl⁻¹ ile en düşük enerjili yağışların düştüğü istasyonlar olmuşlardır.

Çizelge 3.10. 2006-2018 Yılları Arası Hesaplanan R Değerleri

İstasyon No	İl	İlçe	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	2006-2018 R Değeri (MJ mm ha ⁻¹ /saat ⁻¹ /yıl ⁻¹)
17296	Muğla	Fethiye	Fethiye	36,626611	29,123804	3	3115,946
17891	Burdur	Gölhisar	Gölhisar	37,142743	29,526005	990	321,134
17926	Antalya	Korkuteli	Korkuteli	37,056501	30,191029	1017	245,369
17952	Antalya	Elmalı	Elmalı	36,737244	29,912100	1095	420.655

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen, 2006-2018 yıllarına ait R faktörü katmanı oluşturulmuş ve bu katmana ait harita Harita 3.11'de verilmiştir.



Harita 3.11. 2006-2018 R Faktörü Yayılım Haritası

2006-2012 ve 2006-2018 sediment ölçüm verilerine uygun olarak bölünen yağış verileri incelendiğinde tüm istasyonlara ait uzun yıllar yağış miktarı ve yüksek enerjili yağış miktarı ortalamalarının azaldığı Çizelge 3.11’de görülmektedir.

Çizelge 3.11. 2006-2012 ve 2006-2018 Uzun Yıllar Ortalama Yağış Miktarları ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarları (Tüm istasyonların ortalaması)

	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)
2006-2012 Genel Ortalama	262.21	450.71
2006-2018 Genel Ortalama	258.10	439.23

Aynı tarih aralıkları için istasyonlar bazında Çizelge 3.12’de verilen yağış miktarı ve yüksek enerjili yağış miktarı ortalamaları incelendiğinde yalnızca Fethiye OMGİ verilerinde kaydadeğer bir azalmanın olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 3.12. 2006-2012 ve 2006-2018 Uzun Yıllar Ortalama Yağış Miktarları ve Yüksek Enerjili Yağış Miktarları (Ayrı her istasyon için)

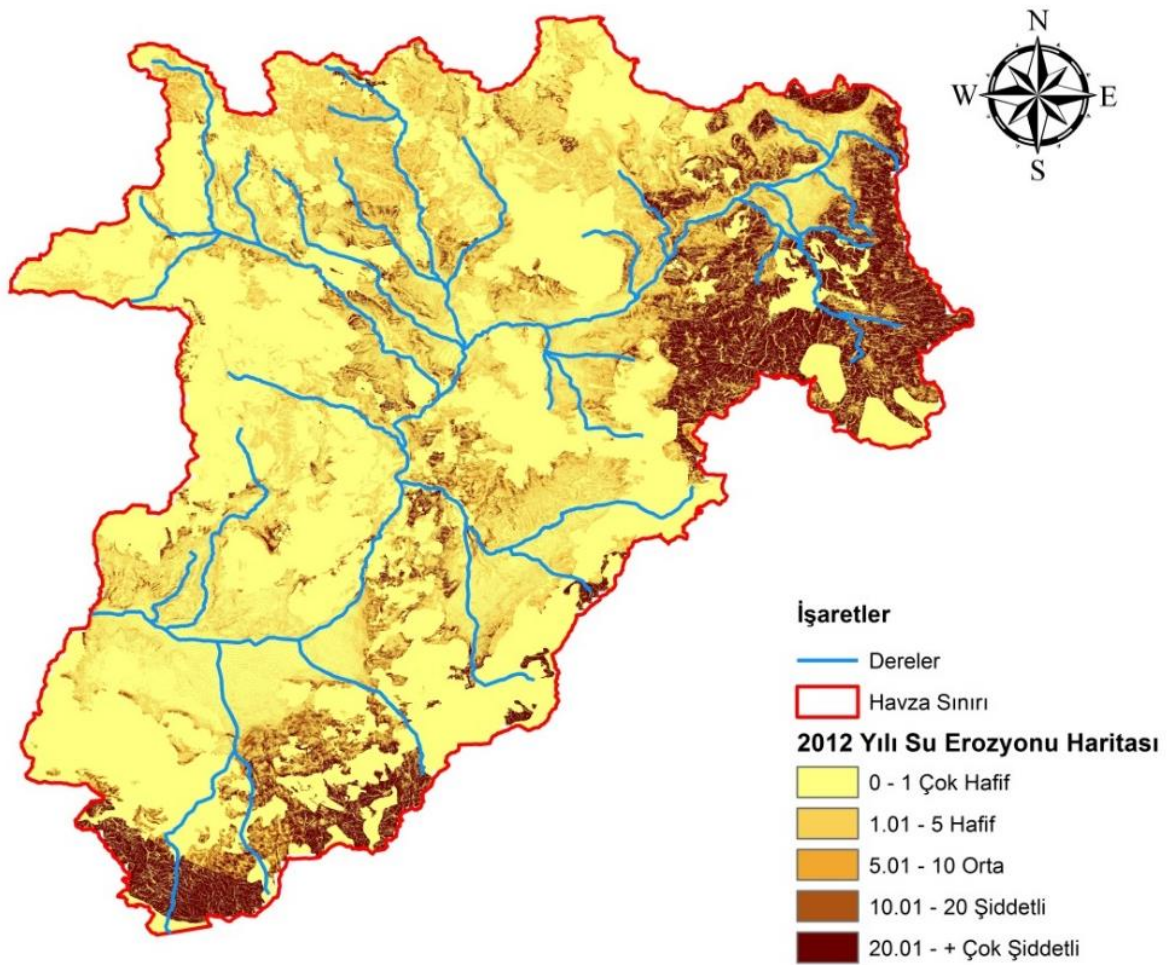
	17296 Fethiye OMGİ		17297 Gölhisar OMGİ		17926 Korkuteli OMGİ		17952 Elmalı OMGİ	
	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)	Yüksek Enerjili Yağış Miktarı (mm)	Yağış Miktarı (mm)
2006-2012 Ortalama	604.57	917.89	170.27	349.46	93.71	184.89	180.29	350.63
2006-2018 Ortalama	545.69	845.23	169.63	336.28	125.16	223.96	191.92	351.43

Yağış verileri incelendiğinde R faktörü değerinde meydana gelen azalmanın daha çok Fethiye OMGİ istasyonuna ait yağış verilerindeki azalmadan meydana geldiği anlaşılmaktadır.

3.5. 2006-2012 yılı için su erozyonu miktarının hesaplanması

CBS ortamında hazırlanan K, LS, C ve P faktörlerine ait tüm katmanlar, 2006-2012 yılları için hazırlanan R faktörü ile çarpılarak RUSLE eşitliği çözülmüştür. Modelden elde edilen sonuçlara göre, havzada yılda ortalama 579.439,94 ton toprak yerinden oynamaktadır.

Kavaklıdere SĞİ havzasında, 2006-2012 yılları için CBS ortamında oluşturulan su erozyonu katmanına ait harita Harita 3.12’de verilmiştir.

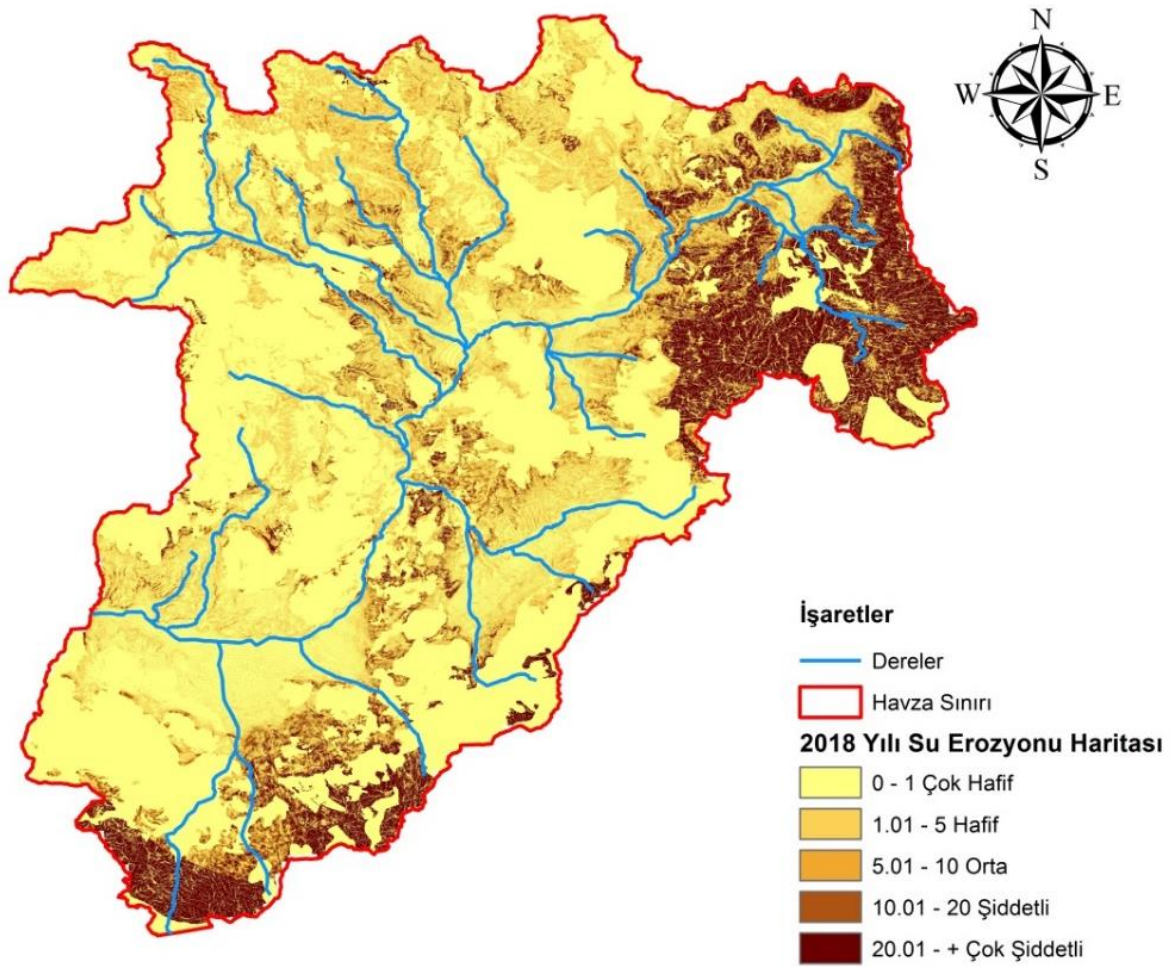


Harita 3.12. 2006-2012 Yılları Arası Ortalama Su Erozyonu Haritası

3.6. 2006-2018 yılı için su erozyonu miktarının hesaplanması

2006-2018 yılları arasında meydana gelen su erozyonu miktarını hesaplamak için, 2006-2018 yılları için yeniden hesaplanan R faktörü katmanı kullanılmıştır. Buna göre havzada yılda ortalama 536.638,42 ton toprak yerinden oynamaktadır.

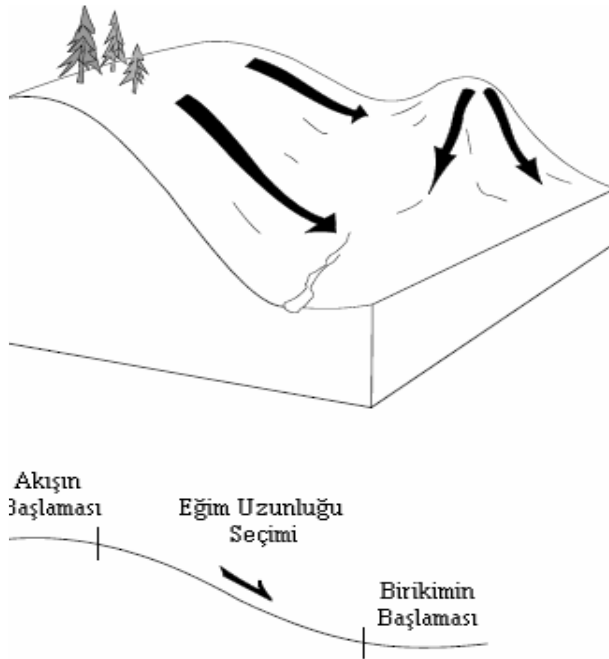
Kavaklıdere SĞİ havzasında 2006-2018 yılları için CBS ortamında elde edilen su erozyonu katmanına ait harita Harita 3.13'te verilmiştir.



Harita 3.13. 2006-2018 Yılları Arası Ortalama Su Erozyonu Haritası

3.7. Sediment iletim oranı (SİO)

Erozyon mekaniği gereği, yağış havzalarının bir kısmında aşınma oluşurken bir kısmı da birikme kapsamındadır (Birikim bölgeleri zaman zaman aşınma kapsamına girebilir). Genellikle dış bükey ve yüksek eğimli alanlarda aşınma şiddetli olurken iç bükey ve eğimin düşük olduğu kısımlarda ise birikmeler olur (Şekil 3.8),(Yılmaz ve Çiçek,2006).



Şekil 3.8. Aşınım ve Birikim Alanları (Yılmaz ve Çiçek,2006).

RUSLE yöntemi bu durumu dikkate almamakta ve havzanın tamamını aşınım alanı olarak görmektedir. Aşınımına uğrayan malzemelerin tamamı birikim alanlarına kadar taşınmaz. Yol kenarları, eğim kırıklıkları, düşük eğimi ara bölgeler vb. alanlarda birikir. Yerinden oynayarak akarsulara kadar ulaşabilen sediment miktarı SİO (Sediment İletim Oranı) adı verilen bir oran ile hesaplanmaktadır.

SİO araziye özgüdür, genellikle deney ve gözlemlere dayalı arazi çalışmalarıyla belirlenir. Ancak her zaman saha çalışması yapmak mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda SİO'nun belirlenmesi için istatistiksel yöntemler vardır. Bunlar var olan çalışmalara bağlı olarak bazı havza alanı, ana su yolu eğimi gibi parametrelerin SİO hesaplamaları için kullanılabileceği temeline dayanır. Havzadaki SİO'nun dağılışında belli bir düzen yoktur. Bunun nedeni oluşturulan tali havzaların alanlarının tesadüfi olmasıdır (Yılmaz ve Çiçek,2006). SİO

hesaplarında kullanılan amprik eşitliklerden en fazla tanınanları Roehl, Williams ve Bernth, Renfro, Vanoni, USDA-SCS ve Boyce tarafından geliştirilen eşitlikleridir (3.18) ~ (3.23).

Roehl'un geliştirdiği eşitlikte;

$$SIO = 36 \cdot (WA)^{-0,20} \quad (3.18)$$

Williams and Berndt'in geliştirdikleri eşitlikte;

$$SIO = 0,627 \cdot (SLP)^{0,403} \quad (3.19)$$

Renfro'nun (1975) geliştirdiği eşitliğe göre;

$$\log(SIO) = 1,7935 - 0,141941 \cdot \log(WA) \quad (3.20)$$

Vanoni'nin (1975) 300 havzanın incelenmesiyle oluşturduğu eşitlikte;

$$SIO = 0,42 \cdot (WA)^{-0,125} \quad (3.21)$$

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığının (USDA-SCS) geliştirdiği eşitlikte;

$$SIO = 0,51 \cdot (WA)^{-0,11} \quad (3.22)$$

Boyce'un (1975) geliştirdiği eşitlikte;

$$SIO = 0,41 \cdot (WA)^{-0,3} \quad (3.23)$$

verilen ampirik formüller ile SİO hesapları yapılmaktadır.

Bu eşitliklerde;

WA : Havza alanı (km^2)

L : Ana suyolu uzunluğu (m)

SLP : Ortalama suyolu eğimi (m/m)

olarak ifade edilmektedir.

SİO hesaplarında kullanılan parametreler ve çalışma sahasına ait değerleri Çizelge 3.13’de verilmiştir. Kavaklıdere SGİ drenaj alanı 551 km²’dir. Havzada tespit edilen en uzun dere yatağı, 2 411 m rakımdan doğmakta, 1 120 m’de havzayı terk etmektedir. Bu yatağa ait L (ana suyu uzunluğu) 45 500 m ve SLP (ana suyu eğimi) % 3,2 olarak CBS ortamında hesaplanmıştır.

Çizelge 3.13. SİO Hesaplarında Kullanılan Parametreler

Havza Alanı (A)	551 km ²
Ana Suyolu Uzunluğu (L)	45.500 m
Ana Suyolu Eğimi (SLP)	0.032

Akarsular tarafından taşınan toprak miktarları çeşitli SİO eşitlikleri ile hesaplanmış ve Çizelge 3.14’de verilmiştir. Buna göre Kavaklıdere havzasındaki SGİ yerinde en düşük SİO değeri % 6 olarak Boyce eşitliği ile en yüksek taşınım oranı ise % 26 olarak USDA-SCS eşitliği ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3.14. Farklı SİO Eşitliklerine Göre Sediment Miktarları

SİO Eşitliğinin Adı	Hesaplanan Değer	2006-2012 RUSLE Sonuçları (ton/yıl)	2006-2018 RUSLE Sonuçları (ton/yıl)	2006-2012 Süspanse Taşınan (ton/yıl)	2012-2018 Süspanse Taşınan (ton/yıl)
Roehl (%)	10,19	579.439,94	536.638,42	59.031,06	54.670,61
Williams and Berndt	0,15			86.489,47	80.100,75
Renfro (%)	25,38			147.061,86	136.198,83
Vanoni	0,19			110.564,01	102.396,97
USDA-SCS	0,26			147.588,30	136.686,39
Boyce	0,06			35.764,06	33.122,27

3.8. Sediment gözlemleri ve Kavaklıdere SGİ verileri

Ülkemizde sediment ölçümleri Mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılmaya başlanmıştır. Bu kurumun kapatılmasına müteakip söz konusu ölçümler DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

Eİİİ tarafından, Amerikan Jeoloji Araştırma Kurumu’nun “United States Geological Survey” yayınlarındaki standartlara göre askıda sediment gözlemleri yapılmış aynı metodoloji ile ölçümlere DSİ Genel Müdürlüğü tarafından devam edilmiştir.

Askıdaki sediment örnekleri “Derinlik Entegrasyon Yöntemi”ne göre, akarsuyun tüm en kesitini ve derinliğini temsil edecek şekilde alınmakta, sediment örneği alınmadan önce istasyonda akım ölçümü yapılmaktadır.



Şekil 3.9. US DH.48 ile yapılan ölçümlerden bir kare (Lewis ve Eads, 2009)

Nehir yatağına girilerek akım ölçüsü yapılan sularda US.DH-48 (Şekil 3.9), askıdan (teleferik, kren kullanarak) akım ölçüsü yapılan sularda ise askıda sediment örnek alma aletleri kullanılmaktadır. Aylık olarak alınan askıda sediment örnekleri analizler için laboratuvara gönderilmekte, elde edilen sonuçlar yıllık olarak yayınlanmaktadır.

Çalışmada, Eşen I Barajı’nın hemen membasında bulunan ve 1999 yılında ölçüm yapmaya başlayan Kavaklıdere SĞİ verileri kullanılmıştır. Bu veriler, DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 6 yılda bir yayımlanan “Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri” yıllıklarından temin edilmiştir. 2006-2012 yılları ve 2013-2018 yılları için yayınlanmış olan veriler ile gerekli hesaplamalar bilgisayar ortamında yapılmıştır.

DSİ Genel Müdürlüğü tarafından basılan 2006-2012 ve 2012-2018 yılları arasını kapsayan “Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri” yayınlarına göre; Kavaklıdere SGI’de, 1999-2012 yılları arası ölçüm sonuçlarına göre yıllık ortalama, 12.696 ton/yıl, 1999-2018 yılları arası ise 11.454 ton/yıl askıda toprak taşınımı söz konusudur (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15. Kavaklıdere SGI Ölçüm Sonuçları

Kavaklıdere SGI	ton/yıl
2012 Yılı Askıdaki Sediment Miktarı	12.696
2018 Yılı Askıdaki Sediment Miktarı	11.454

Çizelge 3.15’de farklı SİO eşitlikleri ile hesaplanan, akarsular tarafından taşınan sediment miktarı incelendiğinde, SGI ölçümlerine en yakın sonuçların; 2012 yılı için 35.764,06 ton/yıl, 2018 yılı için 33.122,27 ton/yıl olarak Boyce eşitliği ile elde edildiği görülmektedir. Hesap yapılan eşitlikler içinde en düşük SİO’yu veren Boyce eşitliği bile SGI ölçümlerinden çok daha yüksek değerler üretmiştir. Uzun süreli sediment ölçümlerinin en güvenilir verileri olduğu düşünüldüğünde, kullanılan SİO eşitlikleri ile hesaplanan askıda sediment miktarlarının gerçekte olması gerekenden çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.16. Ölçülen ve Hesaplanan Sediment Miktarlarının Yıllara Göre Oransal Değişimi

Metod/Yıllar	2012	2018	Oransal Değişim
Sediment Gözlem Yıllığı Verileri	12.696	11.454	-10,84%
Modelden Hesaplanan	35.764,06	33.122,27	-7,98%

Ölçülen sediment ile hesaplanan sediment miktarlarının 2012 ve 2018 yıllarına göre değişim oranları Çizelge 3.16’te gösterilmiştir. Bu verilere göre, hesaplanan ve ölçülen sediment miktarlarının oransal değişimlerin birbirine oranı ise %74,6 olmaktadır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

RUSLE eşitliğine ait değişkenler Bölüm 3'te detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen bulgulara dayanarak, yağışın aşındırma gücü faktörü dışındaki tüm parametrelerin inceleme yapılan zaman diliminde sabit kaldığı sonucunda varılmıştır. Bu sebeple, çalışma kapsamında RUSLE eşitliği ile yapılan hesaplamalarda diğer parametreler sabit alınarak *Yağışın Aşındırma Gücü Faktörünün* etkisi üzerinde durulmuştur. Diğer sabit parametreler ve yağış verileri kullanılarak, RUSLE yöntemi tabanında, modeller hazırlanarak 2006-2012 ve 2006-2018 yıllarına ait yerinden oynayan yıllık ortalama toprak miktarları belirlenmiştir. Akarsular tarafından taşınan toprak miktarı ise çeşitli ampirik SİO eşitlikleri kullanılarak elde edilmiş ve SGİ ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Gerek ölçümler gerekse RUSLE eşitliği ile yapılan hesaplamalar, su erozyonu miktarının azaldığını ortaya koymaktadır. Ancak bu hesaplamalar sonucunda elde edilen askıda sediment miktarı (akarsular tarafından taşınan) ölçüm istasyonu verilerine göre çok yüksek bulunmuştur. Bu nedenle, oransal bir değerlendirmenin yapılmasının, askıdaki sediment miktarındaki değişimi yağışların etkisi ile ilişkilendirmek açısından daha doğru olacağı düşünülmüştür.

Kavaklıdere SGİ ölçümlerinden elde edilen, 2006-2012 ve 2006-2018 yıllarına ait veriler incelendiğinde askıdaki sediment miktarlarının %10,84 oranında azaldığı görülmektedir. Modelden elde edilen sonuçlara göre ise su erozyonu miktarında %7,98 azalma meydana geldiği hesaplanmıştır. Hesaplanan ile ölçülen sediment miktarları arasındaki fark çok fazla olsa da değişim oranları açısından bakıldığında sonuçların tutarlı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar hesaplanan ve ölçülen askıdaki sediment miktarları arasındaki değişimin en büyük sebebinin yağışlar olduğunu doğrulamaktadır.

Bahsedildiği üzere ölçümlerden ve hesaplardan elde edilen sediment miktarları arasındaki fark oldukça fazladır. Bu tez çalışmasında çeşitli ampirik SİO eşitlikleri ile hesaplamalar yapılmış, Boyce eşitliği; SİO hesaplarında kullanılan ampirik eşitlikler arasında ölçümlere en yakın sonucu vermiştir. Buna rağmen, bu eşitlikle hesaplanan askıdaki sediment miktarı, SGİ ölçüm sonuçlarından yaklaşık 3 kat (2006-2012 yılları için %282, 2006-2018 yılları için %289) daha fazladır. Ayrıca bu eşitlikler ile hesaplanan SİO'lar arasında da büyük farklar bulunmaktadır. Bu durum hesaplanan sediment miktarı ile ölçülen sediment miktarı arasındaki farkın oluşmasının en büyük sebeplerinden birinin SİO olduğunu göstermektedir.

SİO dışında RUSLE yönteminin tahmin kabiliyetinin de bu büyük farka sebep olabileceği düşünülebilir. Ancak bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlara göre bu yönde bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. Ölçülen sediment miktarının batimetrik haritalarla desteklenmesiyle askıdaki sediment miktarı hakkında daha güçlü veriler elde edilebilir. Bunun yanında çalışma alanına ait SİO'nun arazi çalışmaları, deney ve gözlemlerle belirlenmesi sonucunda RUSLE yönteminin tahmin kabiliyeti ile ilgili çalışmalara ağırlık verilebilir. RUSLE eşitliği pratik ve yaygın bir kullanım alanına sahip olsa da birçok çalışma sediment miktarının doğru hesaplanması açısından geliştirilmeye muhtaç olduğunu göstermektedir. RUSLE yöntemine göre daha gelişmiş yöntemler günümüzde hâlihazırda bulunmaktadır. Ancak bu eşitliklerin kullanılabilmesi için çok daha kapsamlı verilere gerek duyulmaktadır. Toprak kayıplarının hesaplanması ile ilgili olarak seçilen yöntemin uygunluğu ulaşılmak istenen amaç ile yakından ilgilidir. Esas amaç sediment veriminin doğru tahmin edilmesi ise daha fazla veriye ihtiyaç duyan detaylı yöntemler tercih edilebilir. RUSLE gibi yöntemler ise havzada erozyon açısından riskli bölgelerin tespit edilmesi için pratik ve ekonomik bir araç olacaktır.

Kullanılan birçok parametreye ait veriler ile ilgili hassasiyet ve doğruluk açısından meydana gelen hatalar bulunabilmektedir. Konu mühendislik açısından incelendiğinde yapılan kabuller ve işlemlerin hassasiyeti iyi bilinmelidir. Örneğin; C faktörü birçok durumda bütün bir yıl boyunca sabit kalmamaktadır. Ayrıca, CORINE veri seti 20x20 m boyutlarındaki hücrelerden elde edildiğinden gerçekte meydana gelen birçok değişikliği yansıtamamaktadır. Bunun yanısıra yağış verileri en yakın istasyonlardan alınmıştır ve çalışma sahası içerisinde yağış istasyonu verisi yoktur. Yağış verilerinin temin edildiği OMGİ istasyonlarında verileri yağış tiplerine göre ayıran herhangi bir sistem de bulunmamaktadır.

Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar neticesinde; aşağıda belirtilen yeni çalışmaların yapılması yöntemin daha iyi sonuçlar üretmesi açısından öneri olarak sunulabilir:

- Havzalarda ölçülmüş sediment yıllıklarının kullanımının yanısıra mevcutsa aynı zaman dilimlerini içerecek rezervuar batimeri haritalarının kullanılması model sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

- SİO ile ilgili ampirik eşitlikler çok farklı sonuçlar üretmektedir. Dolayısıyla modellerde kullanılacak havzalara özel ek çalışmaların yapılması gereklidir.
- RUSLE eşitliğinin hesap kabiliyeti ancak birden fazla kaynaktan üretilen uzun süreli ölçümler ve havzaya özgü bir SİO belirlendikten sonra değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Altan, Z. (2010). *Şebinkarahisar (Giresun) ve çevresinin erozyon riskinin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arekhi, S., Shabani, A. and Alavipanah, S. K. (2011). Evaluation of integrated KW-GIUH and MUSLE models to predict sediment yield using geographic information system (GIS)(Case study: Kengir watershed, Iran). *African Journal of Agricultural Research*, 6 (18), 4185-4198.
- Arekhi, S. (2008). Evaluating long-term annual sediment yield estimating potential of GIS interfaced MUSLE model on two micro-watersheds. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(2), 270-274.
- Avcıoğlu, A., Bayrakdar, C., Erol, S. A. R. I. and Kaya, T. N. A. (2020). TanDEM-X12m Sayısal Yükselti Verisine Dayalı Toprak Erozyonu Tespiti (Rusle). *Coğrafya Dergisi*, (41), 93-107.
- Bouyoucos, G. J. (1935). Clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *Journal of the American Society of Agronomy*, 27, 738-741.
- Brown, L. C. and Foster, G. R. (1987). Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE*, 30(2), 379-0386.
- Carter, C. E., Greer, J. D., Braud, H. J. and Floyd, J. M. (1974). Raindrop characteristics in south central United States. *Transactions of the ASAE*, 17(6), 1033-1037.
- CORINE. (1992). Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. *EUR 13233*, Luxembourg, Belgium, 32-48.
- ÇEM. (2018). *DEMİS Türkiye Su Erozyonu İstatistikleri, Teknik Özet*. Ankara: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, 5-13.
- Demirkıran, O. (2007). Ankara Yenimahalle Güvenç Gölet Havzası sediment verimi. *Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Ankara, Proje No: TAGEM-BBTOPRAKSU-2007/48*.
- Doğan, O. ve Küçükçakar, N. (1996). *Ankara Şartlarında Ünlversal Toprak Kaybı Eşitliği Parametreleri*, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Genel Yayınları, 203, 25-32
- Erel, A. (2007). Samsun-Havza-Kuşkunağı reservoir basin sediment amount. *FAO*
- Erpul, G. ve Saygın, S. D. (2012). Ülkemizdeki toprak erozyonu sorunu üzerine: Ne yapmalı. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 26-32.

- Erpul, G. (2016). *Türkiye yağışlarının özellikleri ve yenilenmiş evrensel toprak kayıpları eşitliği (YETKE) R faktörü*. Ankara, TC Orman Su İşleri Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M. A., Demirtaş, İ. ve Çetin, E. (2018). *Türkiye su erozyonu atlası*. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara, 18-25
- Göksu, E., (1978). Havza Yüzey Erozyonunun Hesaplanması ve Köy Deresi Barajı için Bulunan Sonuçlar, *I.Ulusal Erozyon ve Sedimentasyon Sempozyumu Tebliğleri*, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 3-8.
- Haan, C. T., Barfield, B. J. and Hayes, J. C. (1994). *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. (1st Edition), San Diego, California: Academic Press, 242-243
- Irvem, A. ve Tülücü, K. (2004). Coğrafi bilgi sistemi ile toprak kaybı ve sediment verimi tahmin modelinin (EST) oluşturulması ve Seyhan-Körkün Alt Havzasına uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 450.
- Irvem, A., Topaloğlu, F. ve Uygur, V. (2007). Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336(1-2), 30-37.
- İlker, A., Terzi, Ö. ve Şener, E. (2019). Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği. *Teknik Dergi*, 30(3), 9213-9219.
- İnternet: ÇEM. (2021). İzleme Sistemleri, *Tarım ve Orman Bakanlığı*. URL:<https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Link/9/Izleme-Sistemleri>, Son Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- İnternet: Google (2021), *Google*. URL: <https://earth.google.com>, Son Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). Türkiye CORINE Haritası. *Tarım ve Orman Bakanlığı*. URL:<http://corinecbbs.tarimorman.gov.tr/corine>, Son Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- İnternet: Saygın, Y. (2019). Erozyon Nedir? Nedenleri, Sonuçları, Çeşitleri ve Önleme Yolları Nelerdir?. *Bilgihanem*. URL:<https://bilgihanem.com/erozyon-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 11.03.2012.
- Jackson, W. L., Gebhardt, K. and Van Haveren, B. P. (1986). Use of the modified universal soil loss equation for average annual sediment yield estimates on small rangeland drainage basins. *IAHS-AISH publication*, 159, 413-423.
- Jetten, V. and Favis-Mortlock, D. (2006). Modelling soil erosion in Europe. In: J. Boardman, & J. Poesen (Eds.), *Soil erosion in Europe*, Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd. 695-716.

- Kızılkaya, T. (1988). *Sulama ve drenaj*. Ankara: DSI Basım ve Foto Film İşletme Müdürlüğü Matbaası. 10-15
- Koç, G. (2014). *Modifiye Edilmiş Ünlversal Toprak Kayıpları Eşitliğı (Musle) Kullanılarak Tarsus (Mersin)–Topçu Deresi Alt Havzası'nda Erozyon Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Lewis, J., and Eads, R. (2009). Implementation guide for turbidity threshold sampling: principles, procedures, and analysis. *Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-212*. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 86, 212.
- McGee, W. J. (1896). Sheetflood erosion. *Bulletin of the Geological Society of America*, 8(1), 87-112.
- McKenna, G. T. (2004). *Sustainable mine reclamation and landscape engineering*. Ph.D. Dissertation, University of Alberta, Edmonton, SK, Canada.
- Miller, C. R. (1951). *Analysis of flow-duration: Sediment-rating curve method of computing sediment yield*. United States Department of Interior, Bureau of Reclamation.
- Molnár, D. K., and Julien, P. Y. (1998). Estimation of upland erosion using GIS. *Computers & Geosciences*, 24(2), 183-192.
- Moore, I. D., and Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294-1298.
- Moore, I. D., and Burch, G. J. (1986). Modelling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1624-1630.
- Musgrave, G. W. (1947). The quantitative evaluation of factors in water erosion: a first approximation. *Journal of soil and water conservation*, 2, 133-138
- Musgrave, G. W. (1955). *How much of the rain enters the soil?* USDA Publications, 151-160
- Mülga TOPRAKSU Genel Müdürlüğü, *Büyük Toprak Grupları Haritası*, Ankara, Türkiye
- Ogawa, S., Saito, G., Mino, N., Uchida, S., Khan, N. M., and Shafiq, M. (1997, October). *Estimation of soil erosion using USLE and Landsat TM in Pakistan*. In Asian Conference for Remote Sensing (ACRS), Kuala Lumpur, Malaysia. 112-115
- Ölgen, M. K., Filiz, F. G., Yavaşlı, D. D., ve Tarakçı, M. (2018). Kıyı Erozyonunun Belirlenmesinde 137Cs Radyonüklidinin Kullanımı: Urla Yarımadası Kıyıları Örneğı. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(2), 195-205.

- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., and Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 54, 438-447.
- Renard, K. G. and Stone, J. J. (1982, June). Sediment yield from small semiarid rangeland watersheds. In Proceedings of the Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands, *USDA-ARS Agric. Rev. Manuals ARM-W*, 26, 129-144.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. and Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture handbook*, 703, 25-28.
- Renwick, W. H., Smith, S. V., Bartley, J. D. and Buddemeier, R. W. (2005). The role of impoundments in the sediment budget of the conterminous United States. *Geomorphology*, 71(1-2), 99-111.
- Sadeghi, S. H. (2004). *Application of MUSLE in prediction of sediment yield in Iranian conditions*. ISCO2004-13th International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane, 1-4
- Sadeghi, S. H. R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2007). Is MUSLE apt to small steeply reforested watershed?. *Journal of Forest Research*, 12(4), 270-277.
- Sadeghi, S. H. R. and Mizuyama, T. (2007). Applicability of the Modified Universal Soil Loss Equation for prediction of sediment yield in Khanmirza watershed, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5), 1068-1075.
- Sevinç, A. N. (1990). *Eskişehir-Sivrihisar-Mercan Köyü Yağrı Göleti Havzası Sediment Verimi Araştırması*. Eskişehir: Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın, (214).
- Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Wang, T. W. and Chow, T. L. (2004). Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. *Catena*, 55(1), 33-48.
- Smith, S. J., Williams, J. R., Menzel, R. G. and Coleman, G. A. (1984). Prediction of sediment yield from southern plains grasslands with the modified universal soil loss equation. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 37(4), 295-297.
- Şahin, S., Erpul, G., İnce, K., Çetin, E., Küçümen, A., Akdağ, M. A. ve Demirtaş, İ. (2019, October). *Dynamic Erosion Model and Monitoring System (DEMIS) at the National Scale in Turkey*. *Global Symposium On Soil Erosion*, Rome, Italy, 217.
- Torri, D., Poesen, J. and Borselli, L. (1997). Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, 31(1-2), 1-22

- Vanoni, V. A. (1975). Sedimentation Engineering, Manual No. 54, ASCE, New York.
- Williams, J. R. (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources*, 40, 244.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1960). *A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning*. 1st ed.; International Society of Soil Science: Madison, WI, USA, 418–425.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Yamanlar, O. (1957). *Kızılırmak Nehri Yağış Havzası Yukarı Mıntıkalarında Vukuu Bulan Toprak Erozyonu ve Hirfanlı Barajı'nın Siltasyondan Korunması İmkanlarına Dair Etüdler*. E.İ.E.İ, Ankara, 15-21
- Yaprak, S. ve Arslan, E. (2008). Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerin Enterpolasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 98, 36-42
- Yurtsever, Y., (1978). Türkiye Akarsu Havzalarının Ortalama Sediment Verimi Üzerine Bir Etüt ve Bulunan Sonuçlar, *I. Ulusal Erozyon ve Sedimentasyon Sempozyumu Tebliğleri*, DSİ Genel Müdürlüğü, Yayın No: 922.
- Yılmaz, E. Y. ve Çiçek, İ. T. D. (2006). *Çamlidere Barajı Havzasında Erozyon Problemi Ve Risk Analizi (Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya (Fiziki Coğrafya) Anabilim Dalı), Ankara*
- Zingg, A. W. (1940). Degree and length of land slope as it affects soil loss in run-off. *Agric. Engng.*, 21, 59-64.
- Zhang, Y., Degroote, J., Wolter, C. and Sugumaran, R. (2009). Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. *Land Degradation & Development*, 20(1), 84-91.



GAZİ GELECEKTİR..