

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI**

**MUDURNU ÇAYI HAVZASI'NIN
EROZYON DUYARLILIK ANALİZİ**

Çağlar YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Doç. Dr. CERCİS İKİEL

MAYIS - 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

MUDURNU ÇAYI HAVZASI'NIN
EROZYON DUYARLILIK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağlar YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı: Coğrafya

“Bu tez 22/05/2024 tarihinde online olarak savunulmuş olup aşağıdaki isimleri bulunan jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.”

JÜRİ ÜYESİ	KANAATİ
Doç. Dr. Cercis İKİEL	Başarılı
Doç. Dr. Derya Evrim KOÇ	Başarılı
Dr. Öğr. Üyesi Selin YILDIZ GÖRENTAŞ	Başarılı

ETİK BEYAN FORMU

Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının benzerlik oranının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve Etik Kurul Onayı gerektiği takdirde onay belgesini aldığımı beyan ederim.

Etik kurul onay belgesine ihtiyaç var mıdır?

Evet ☐

Hayır ☒

(Etik Kurul izni gerektiren araştırmalar aşağıdaki gibidir:

- Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar,
- İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmalar.)

Çağlar YILMAZ

22/05/2024

ÖN SÖZ

Ülkemizde artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tarıma verilen önem artmaktadır. Bununla birlikte toprak üzerinde insan faaliyetlerinin etkisi görülür. Bu antropojenik etkilere bağlı olarak doğal toprak erozyonu hızlandırılmış toprak erozyonuna dönüşmektedir. Bu durum ise en üstte yer alan verimli toprak katmanlarının kaybı ile sonuçlanmaktadır. Bu çerçevede Mudurnu Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık analizi çalışılarak mevcut durum ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalında yapılmış, araştırmacılara ve konuya ilgi duyanlara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında bilgi ve akademik yaklaşımlarıyla bilimsel araştırma sürecinde emeği geçen değerli hocalarım Doç. Dr. Cercis İKİEL'e, Doç. Dr. Mehmet Fatih DÖKER'e ve Doç. Dr. Derya Evrim KOÇ'a teşekkür ederim.

Ayrıca her şeye rağmen yanımda olan, girdiğim her yolda beni destekleyen ve motive eden, hayatımda bana güç veren aileme teşekkür ederim.

Çağlar YILMAZ

22/05/2024

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
GÖRSEL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
HARİTA LİSTESİ.....	viii
GRAFİK LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi

GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM: EROZYON TANIMI VE TAHMİN MODELLERİ.....	8
1.1. Erozyon Tanımı	8
1.2. Türkiye’de Erozyon Durumu.....	8
1.3. Erozyon Tipleri.....	10
1.3.1. Jeolojik Erozyon	10
1.3.2. Hızlandırılmış Erozyon	11
1.3.3. Su Erozyonu.....	11
1.3.3.1. Damla Erozyonu	13
1.3.3.2. Yüzey (Tabaka) Erozyonu	13
1.3.3.3. Parmak (Oluk) Erozyonu	14
1.3.3.4. Sel (Yarıntı) Erozyonu	14
1.3.3.5. Akarsu Yatak Erozyonu	15
1.3.4. Rüzgâr Erozyonu	15
1.3.5. Diğer Erozyonlar.....	15
1.4. Erozyon Tahmin Modelleri	16
1.4.1. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)	16
1.4.2. Agricultural Non-Point Source Pollution Model (AGNPS)	17
1.4.3. Morgan-Morgan-Finey Model (MMF)	17
1.4.4. Soil And Water Assement Tool (SWAT)	17
1.4.5. Water Erosion Prediction Project (WEPP)	17

1.4.6. Pan European Soil Erosion Risk Assesment (PESERA)	18
1.4.7. Limburg Soil Erosion Model (LISEM).....	18
1.4.8. Universal Soil Loss Equation (USLE)	18
1.4.9. Modified Universal Soil Loss Equation (USLE-M)	18
2. BÖLÜM: ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ	19
2.1. Coğrafi Konum ve Sınırları	19
2.2. Topoğrafik Özellikler	20
2.3. İklim Özellikleri	28
2.4. Doğal Bitki Örtüsü	32
2.5. Toprak Özellikleri.....	36
2.5.1. Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları.....	38
2.5.2. Kahverengi Orman Toprakları.....	39
2.5.3. Alüvyal Topraklar.....	39
2.6. Jeolojik ve Jeomorfolojik Gelişim Özellikleri	40
2.7. Arazi Örtüsü	42
3. BÖLÜM: VERİ VE YÖNTEM	45
4. BÖLÜM: BULGULAR	46
4.1. Revize Edilmiş Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE).....	46
4.1.1. Yağış Eroziyon (R) Faktörü	47
4.1.2. Toprak Erozyon (K) Faktörü (Erodibilite)	50
4.1.3. Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü	53
4.1.4. Arazi Örtüsü ve Zemin Kullanımı (C) Faktörü	56
4.1.5. Toprak Koruma (P) Faktörü	61
4.1.6. Erozyon Duyarlılığı	61
SONUÇ	64
KAYNAKÇA	68
ÖZ GEÇMİŞ	75

KISALTMALAR

AGNPS	: Agricultural Non-point Source Pollution Model
BOE	: Boekel Oranı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CM	: Santimetre
CORINE	: Coordination Of Information On The Environment
ÇEM	: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
°C	: Santigrat
DEMİS	: Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi
DEM	: Digital Elevation Model
DK	: Dakika
DO	: Dispersiyon Oranı
EO	: Erozyon Oranı
GIS	: Geographic Information System
GLOREDA	: Global Rainfall Erosivity Database
HA	: Hektar
KM	: Kilometre
KO	: Kil Oranı
LISEM	: Limburg Soil Erosion Model
M	: Metre
MFI	: Modified Fournier Index
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MM	: Milimetre
MMF	: Morgan-Morgan-Finey Model
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
OAC	: Ortalama Ağırlıklı Çap
PESERA	: Pan European Soil Erosion Risk Assessment
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation
SSI	: Strüktür Stabilite İndeksi
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TRMM	: Tropical Rainfall Measuring Mission

TURTEM	: Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli
UA	: Uzaktan Algılama
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
USLE	: Universal Soil Loss Equation
USLE-M	: Modified Universal Soil Loss Equation
WEPP	: Water Erosion Prediction Project
WGS 84	: World Geodetic System 1984



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Yöntemi Akış Şeması.....47



GÖRSEL LİSTESİ

Görsel 1: Erozyona Uğramış Bazı Alanlar	16
Görsel 2: Mudurnu Çayı Havzası Akyazı Güzlek Mahallesi Bir Kesit (Akova)	20
Görsel 3: Mudurnu Çayı Akyazı Salihye Mahallesi Bir Kesit	21
Görsel 4: Mudurnu Çayı Havzası Mudurnu Bekdemirler Köyünden Bir Kesit.....	24
Görsel 5: Sakarya-Mudurnu Yolu Bekdemirler Köyü Mevki Doğal Bitki Örtüsü	27
Görsel 6: Çalışma Alanında Görülen Bazı Bitki Türleri	36
Görsel 7: Çalışma Alanında Görülen Bazı Toprak Türleri	39
Görsel 8: Mudurnu Çayı Havzası Jeolojik Yapılardan Kesitler	42
Görsel 9: Mudurnu Çayı Havzası Mudurnu Karamurat Köyü Yakınları Bir Kesit.....	65
Görsel 10: Mudurnu Çayı Havzası Mudurnu Durmuşlar Köyü Yakınları Bir Kesit.....	66
Görsel 11: Mudurnu Çayı Havzası'ndan Bir Kesit.....	66
Görsel 12: Mudurnu Çayı Havzası'ndan Bir Kesit.....	67
Görsel 13: Mudurnu Çayı Havzası'ndan Bir Kesit.....	67

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Grupları-Morfolojik Birimlerin Alansal ve Oransal Dağılımı.....	24
Tablo 2: Mudurnu Çayı Havzası Bakı Yönleri Alansal ve Oransal Dağılımı.....	27
Tablo 3: Mudurnu Çayı Havzası Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tutarları.....	29
Tablo 4: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı.....	33
Tablo 5: Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları Alansal ve Oransal Dağılımı.....	38
Tablo 6: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı (Düzey 1)	44
Tablo 7: Mudurnu Çayı Havzası Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tutarları.....	48
Tablo 8: Mudurnu Çayı Havzası Yükselti Basamaklarına (M) Göre Yağış Erozyon (R) Faktörü	49
Tablo 9: Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları ve Toprak Erozyon (K) Faktörü Alansal, Oransal Dağılımı	52
Tablo 10: Mudurnu Çayı Havzası Toprak Erozyon (K) Faktörü Alansal ve Oransal Dağılımı	53
Tablo 11: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü Alansal ve Oransal Dağılımı	56
Tablo 12: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı.....	59
Tablo 13: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Yöntemine Göre Erozyon Duyarlılık Değerleri Alansal ve Oransal Dağılımı	63

HARİTA LİSTESİ

Harita 1: Türkiye Su Erozyonu Haritası	9
Harita 2: İnsan Kaynaklı Erozyon Risk Dağılışı.....	12
Harita 3: Dünyada Su Erozyonu Risk Dağılışı.....	12
Harita 4: Mudurnu Çayı Havzası Lokasyon Haritası	19
Harita 5: Mudurnu Çayı Havzası Topoğrafya Haritası	21
Harita 6: Mudurnu Çayı Havzası Topoğrafik / Profil Kesitler Haritası.....	22
Harita 7: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Sınıfları	23
Harita 8: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Grupları-Morfolojik Birimler Haritası.....	25
Harita 9: Mudurnu Çayı Havzası Bakı Yönlerinin Dağılışı.....	26
Harita 10: Mudurnu Çayı Havzası Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası	31
Harita 11: Mudurnu Çayı Havzası Yıllık Ortalama Yağış Haritası	32
Harita 12: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları	35
Harita 13: Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları Dağılışı.....	37
Harita 14: Mudurnu Çayı Havzası Jeoloji Haritası	41
Harita 15: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları.....	43
Harita 16: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Yağış Eroziyon (R) Faktörü Haritası.....	50
Harita 17: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Toprak Erozyon (K) Faktörü Haritası.....	53
Harita 18: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü Haritası	55
Harita 19: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Haritası.....	58
Harita 20: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım (C) Faktörü Haritası.....	60
Harita 21: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Toprak Erozyon Duyarlılık Haritası.....	62

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 1: Türkiye’de Su Erozyonu Dağılım Oranı.....	9
Grafik 2: Türkiye’de Arazi Kullanımına Göre Erozyon Oranı.....	9
Grafik 3: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Grupları Oransal Dağılımı.....	25
Grafik 4: Mudurnu Çayı Havzası Bakı Yönleri Oransal Dağılımı.....	28
Grafik 5: Aylık Göre Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tutarları.....	30
Grafik 6: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Oransal Dağılımı...	44
Grafik 7: Mudurnu Çayı Havzası Toprak Erozyon (K) Faktörü Oransal Dağılımı.....	53
Grafik 8: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü Oransal Dağılımı	56
Grafik 9: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal Oransal Dağılımı	61
Grafik 10: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Yöntemine Göre Toprak Erozyon Duyarlılık Değerleri Oransal Dağılımı	63

ÖZET	
Başlık: Mudurnu Çayı Havzası'nın Erozyon Duyarlılık Analizi	
Yazar: Çağlar YILMAZ	
Danışman: Doç. Dr. Cercis İKİEL	
Kabul Tarihi: 22/05/2024	Sayfa Sayısı: xii (ön kısım) + 75 (ana kısım)
Erozyon, ortaya çıkardığı problemler nedeniyle önemli doğal afetler içerisinde yer alır. Bu problemlerin çözümü için erozyon duyarlılık analizi yapılarak, erozyon duyarlılığını belirlemek ve önlemler almak gerekir. Bu çalışmaya konu olan saha, Sakarya Havza'sının ikinci büyük su kaynağı ve Sakarya Nehri'nin önemli kollarından Mudurnu Çayı Havza'sıdır. Çalışma sahası yerleşme, yol çalışmaları, tarım alanları, bitki örtüsü tahribi gibi antropojenik etkilere maruz kalan bir alandır. Mudurnu Çayı Havzası'nın coğrafi özellikleri incelenerek havzanın toprak erozyonu duyarlılık analizi yapılarak araştırmacılara ve araştırma sahası ile konuya ilgi duyanlara katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma gerçekleştirilirken araştırma alanıyla ilgili literatür taraması ve saha çalışmaları yapılarak inceleme alanının fiziki coğrafya özelliklerine ait veriler hazırlanmıştır. Bu verilerden topoğrafik, jeolojik, hidrografik, klimatolojik ve arazi örtüsü haritaları oluşturulmuş, daha sonra ArcGIS yazılımı kullanılıp RUSLE (Revize Edilmiş Ünlversal Toprak Kayıpları Eşitliği) yöntemine göre analiz edilerek toprak erozyon duyarlılık sınıfları belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, bitki örtüsü, yağış ve eğim faktörlerinin erozyona doğrudan etkili olduğu, yağışın ve eğimin arttığı seyrek bitki örtüsüne sahip alanlarda toprak erozyonunun şiddetinin ve duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, havzada beşerî etmenlerin, özellikle orman tahribi, yerleşme ve tarım alanlarının bilinçsiz kullanımının, erozyon üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Havzada toprak erozyonunun şiddetini ve riskini azaltmak adına mevcut bitki örtüsünün korunması, çiftçilere tarımsal faaliyetler konusunda eğitim verilmesi, yerleşim alanlarında planlama ve ağaçlandırma faaliyetleri ile ıslah çalışmalarının yapılması önemlidir.	
Anahtar Kelimeler: Mudurnu Çayı Havzası, Erozyon, Jeomorfoloji, RUSLE, CBS	

ABSTRACT	
Title of Thesis: The Mudurnu Stream Basin Erosion Sensitivity Analysis	
Author of Thesis: Çağlar YILMAZ	
Supervisor: Assoc. Prof. Cercis İKİEL	
Accepted Date: 22/05/2024	Number of Pages: xii (pre text) + 75 (main body)
Erosion is among the important natural disasters due to the problems it poses. To solve these problems, it is necessary to conduct erosion sensitivity analysis, determine erosion sensitivity, and take precautions. The area under study is the Mudurnu Stream Basin, the second-largest water source of the Sakarya Basin and one of the important tributaries of the Sakarya River. The study area is an area exposed to anthropogenic effects such as settlement, road works, agricultural areas, and vegetation destruction. It is aimed to contribute to researchers and those who are interested in both the research field and the subject by examining the geographical features of the Mudurnu Stream Basin and making a soil erosion sensitivity analysis of the basin. While carrying out the study, data on the physical geography characteristics of the study area were prepared by conducting a literature review and field studies related to the research area. Topographic, geological, hydrographic, climatological, and land cover maps were created from these data, and then soil erosion sensitivity classes were determined by using ArcGIS software and analysing them according to the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) method. According to the results of the study, it was determined that vegetation cover, rainfall, and slope factors directly affect erosion, and the severity and sensitivity of soil erosion are high in areas with sparse vegetation where rainfall and slope increase. Furthermore, it has been observed that human factors, especially forest destruction, settlement, and unconscious use of agricultural areas, have significant effects on erosion in the basin. To mitigate the severity and the risk of soil erosion in the basin, it is crucial to protect the existing vegetation, provide training to farmers on agricultural activities, and carry out planning and afforestation activities and reclamation works in residential areas.	
Keywords: Mudurnu Stream Basin, Erosion, Geomorphology, GIS, RUSLE	

GİRİŞ

Yeryüzü, oluşumundan bugüne çeşitli dış ve iç faktörlerin etkisi ile sürekli değişim halinde bulunur. Bu çerçevede doğal çevrenin önemli unsurlarından biri olan toprak örtüsü de oluşum, gelişim ve değişim sürecine devam etmektedir. Karalardaki canlı yaşamı için önemli olan toprak örtüsü bu doğal değişimin dışında giderek artan insan faaliyetleri nedeniyle dış etmenler tarafından hızla aşındırılıp taşınmaktadır. Bu hızlandırılmış toprak erozyonu da önemi yadsınamaz bir doğal zenginliğin kaybı ile sonuçlanmaktadır.

Erozyonun oluşumunda birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında litoloji, iklim, topoğrafya ve bitki örtüsü gibi doğal faktörlerin yanı sıra, insan kaynaklı yanlış arazi kullanımına dayanan beşerî etmenler de erozyonun şiddetini ve boyutunu etkiler (Cürebal & Ekinci, 2006).

Dünyada her yıl yaklaşık 75 milyar ton toprak erozyon sonucu kaybolmaktadır. Türkiye'de ise 500 milyon ton toprak kaybı meydana gelmektedir (Türker & Yüksel 1989; İrvem vd., 2007). Türkiye'nin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı ile iklim özellikleri, erozyon oluşumuna uygundur. Ülkemizde erozyon oluşumunda ayrıca arazinin yanlış kullanımı ve doğal bitki örtüsünün bozulması da etkilidir. Bu duruma bağlı olarak doğal denge bozulmuş ve erozyonun şiddeti artmıştır. (Dutkuner & Fakir, 1999; Çepel 1997).

Bu çalışmaya konu olan saha, Sakarya Havza'sının ikinci büyük su kaynağı ve Sakarya Nehri'nin önemli kollarından Mudurnu Çayı Havza'sıdır. Çalışma sahası yerleşme, yol çalışmaları, tarım alanları, bitki örtüsü tahribi gibi antropojenik etkilere maruz kalan bir alandır. Erozyon duyarlılık durumunun analiz edilmesi için Türkiye'de erozyonla mücadele kapsamında havza araştırmalarında çoğunlukla Revize Edilmiş Universal Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) yöntemi kullanılmıştır. Birçok faktörün aynı anda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojisi yardımıyla analiz edildiği bu yöntem ile (İkiel vd.,2020, Mutlu & Soykan, 2018, Cürebal & Ekinci, 2006) Mudurnu Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık analizi yapılarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Araştırmanın Konusu

Bu araştırmanın konusu; Mudurnu Çayı Havzası'nda toprak erozyon duyarlılık sahalarının belirlenmesi, haritalandırılması ve mevcut arazi örtüsü ile arasındaki ilişkinin açıklanmasıdır.

Çalışma alanının batı sınırını Adapazarı Ovası, kuzey sınırını Elmacık Dağı su bölümü çizgisi, kuzeydoğu kesimini Abant-Bolu Dağları su bölümü çizgisi, doğu ve güney sınırını Köroğlu Dağları ile güneybatı kesimini Kapıorman Dağları su bölümü çizgisi oluşturmaktadır.

Ayrıca, araştırma Sakarya Nehri, Abant-Bolu Dağları, Köroğlu Dağları ve Kapıorman Dağları gibi önemli coğrafi unsurların etkileşimini içermektedir. Bu bölgeler arasındaki toprak erozyon duyarlılık ilişkisi, arazi örtüsü ve bitki örtüsü tahribi, tarım alanları, yerleşme gibi antropojenik etkiler araştırmanın geniş kapsamını oluşturmaktadır.

Araştırmanın Amacı

Araştırma kapsamında, coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Mudurnu Çayı Havzası'nda toprak erozyon duyarlılık durumunun analiz edilmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma ile coğrafi bilgi sistemleri ve modern analitik yöntemlerin entegrasyonu ile Mudurnu Çayı Havzası'ndaki toprak erozyon duyarlılık durumunu anlamak, bu konuda etkili çözümler geliştirilmesi adına önemli bir adım atmak ve literatüre katkı sağlamaya çalışılmıştır.

Bu amaca yönelik olarak yağış, erozyon, eğim, bakı, arazi örtüsü gibi temel faktörleri içeren haritalar oluşturulacaktır. Bu haritalar, havzadaki toprak erozyon duyarlılık durumunu belirlemek ve erozyon riskini değerlendirmek adına önemli bir araç sağlayacaktır.

Araştırmanın Yöntemi

Araştırma sürecinde, literatür taraması ve saha çalışmaları gerçekleştirilerek inceleme alanına ait coğrafi özelliklere dair detaylı bilgiler elde edilecektir. Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak topoğrafik, jeolojik, çevresel, hidrografik ve iklimik özelliklere ait envanter haritalar oluşturularak araştırma alanının genel karakteristiği belirlenecektir.

Toprak erozyon duyarlılık durumunun belirlenmesi için RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) tahmin yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntem, yağış, toprak, eğim, zemin örtüsü ve erozyon kontrol etkenlerini değerlendirerek erozyon riskini tahmin eder. Yapılacak erozyon duyarlılık analizi ile havzadaki alanlar farklı duyarlılık sınıflarına ayrılacak ve erozyon potansiyeli yüksek bölgeler belirlenecektir.

Araştırmanın Önemi

Mudurnu Çayı Havzası'nın coğrafi özelliklerinin detaylı bir şekilde incelendiği bu araştırmanın temel amacı, havzanın toprak erozyon duyarlılık analizini gerçekleştirmektir. Çalışma; havzanın topografyası, iklimi, toprak özellikleri gibi coğrafi faktörleri ele alarak, erozyon duyarlılık durumunu belirlemeyi amaçlamaktadır.

Araştırmanın önemi, elde edilecek sonuçların Mudurnu Çayı Havzası'ndaki toprak erozyon sorunlarına dair bilgi sağlamasıdır. Bu bilgiler, bölgede yaşanan toprak erozyonunun tarımsal ve beşerî faaliyetler üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya çıkarmak adına önemlidir. Araştırma sonuçları, tarım alanlarının sürdürülebilirliği, su kaynaklarının korunması ve yerel ekosistemin dengesinin sağlanması gibi konularda karar alıcıları bilgilendirecek ve bölgesel çözüm stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Bu bağlamda, elde edilecek bilgilerin akademik literatüre katkı sağlaması da hedeflenmektedir. Araştırma, erozyon duyarlılık analizleri konusunda geniş bir perspektif sunarak benzer coğrafi bölgelerde uygulanabilecek yöntemlere dair bir referans oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, benzer çalışmaların yaygınlaşmasına ve toprak erozyonuyla mücadelede etkili stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Önceki Çalışmalar

Baştürk (1995), "Bozkır-Hadim-Belören Arasındaki Bölgenin (Konya) Fiziki Coğrafyası ile Erozyon İlişkilerinin Araştırılması" adlı çalışmada, bölgedeki erozyonun bitki örtüsünün tahribatına bağlı olarak arttığını vurgulamaktadır. Çalışmada, bitki örtüsünün tahrip olmasının bölgeyi şiddetli yağmur erozyonuna karşı duyarlı hale getirdiği belirtilmiştir. Bu nedenle, bölgedeki erozyonun kontrol altına alınabilmesi için bitki örtüsünün korunması ve bu doğrultuda alınacak önlemlere vurgu yapılmıştır. Bu tedbirlerin uygulanmasıyla erozyonun etkilerinin azaltılabileceği ve bölgenin bu sorunla mücadelede daha dirençli hale gelebileceği üzerinde durulmuştur.

Cürebal & Ekinci (2006), "Kızılkeçeli Deresi Havzası CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi" adlı çalışmada, RUSLE yöntemi kullanılmış ve erozyon risk derecesinin tespiti ile yıllık toprak kayıp miktarının belirlenmesi amacıyla iki farklı sonuç elde edilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, dört farklı erozyon risk sınıfına

göre; %91,37 sinde erozyon riski fazla olamadığı, %8,67'sinde erozyon riskinin fazla olduğu ve havzanın tamamında ortalama yıllık 44.16 ton toprak kaybı tespit edilmiştir.

Yılmaz (2006), "Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi" adlı çalışmada çalışma sahasının erozyon miktarını ve şiddetini belirlemek amacıyla USLE yöntemini kullanmayı tercih etmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, bölgenin yılda 716 bin ton toprak kaybına uğradığı belirtilmiş ve bu kaybın %34'ünün ormanlardan, %28'inin meralardan, %19'unun tarım alanlarından, %16'sının kırgıbayırlardan, %3'ünün ise yerleşmelerden kaynaklandığı ileri sürülmüştür.

Karaburun, Demirci, Karakuyu (2009), "Erozyon Tahmininde CBS Tabanlı RUSLE Metodunun Kullanılması: Büyükçekmece Örneği" adlı çalışmalarında uzun dönemli toprak kayıplarının hesaplanması ve devam eden erozyon riskine sahip olan alanların belirlenmesini amaçlamıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, havza erozyon riskinin hektar başına yıllık ortalama 2,4 ton olduğu tespit edilmiştir.

Yurtcan (2009), "Erozyon Tahmin Analizi Yöntemleri, Erozyon Kontrolü ve Önlenmesi Kapsamında Yapılan Çalışmalar Hakkında Kapsamlı Bir İnceleme" adlı çalışmada USLE yönteminden yararlanarak sahanın analizini gerçekleştirmiştir. Ayrıca, erozyon kavramıyla ilgili alınabilecek tedbirlere de çalışmada yer vermiştir.

Yılmaz (2010), "Kürk Çayı'nın Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi" adlı çalışmada RUSLE yöntemini kullanarak erozyon riskini belirlemeye çalışmıştır.

Çelik (2011), "Değirmen Deresi Havzasında Toprak Erozyon Risk Analizi" adlı çalışmada erozyonun görüldüğü sahaları, erozyon miktarları ve şiddeti ortaya konulmuştur. Çalışmada RUSLE yöntemi kullanılmış ve bunun sonucunda toprak kaybı değerleri beş sınıfa bölünmüştür. Çalışma sonucunda havzada bulunan yüksek eğimli alanların erozyon riskinin de yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Kızılelma (2013), "Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mut Havzasında Erozyon Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi" adlı çalışmada RUSLE yöntemini tercih etmiştir. Çalışması alanında üç ayrı erozyon duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu haritalardan yola çıkarak eğimin azaldığı sahalarda erozyon duyarlılığının da düşük olduğu sonucuna varmıştır.

Abız (2014), "Kahramanmaraş Halfalı Deresi Yağış Havzasında Uzaktan Algılama Teknikleri ve RUSLE Yöntemi Kullanılarak Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması"

adlı çalışmasında RUSLE yönteminin bütün parametrelerini bir araya getirerek, çalışma alanını 5 sınıfa ayırıp alanın risk haritasını oluşturmuştur. Elde edilen veriler ışığında çalışma alanının %60'ı çok hafif, %2'si hafif, %6'sı orta, %10'u şiddetli ve %20'si çok şiddetli erozyon riski taşıdığını tespit etmiştir. Çalışma sonucunda araştırma alanının topraklarının 5 ayrı erozibilite indeksine göre erozyona karşı duyarlı olduğunu belirlemiştir.

Karagöktaş (2014), “Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi İçerisinde Pilot Alanda Yayılım Gösteren Toprakların Erozyona Duyarlılıklarının Belirlenmesi” adlı çalışmasında USLE-K yöntemini kullanmayı tercih etmiştir. Ayrıca ortalama ağırlıklı çap (OAÇ), dispersiyon oranı (DO), erozyon oranı (EO), strüktür stabilite indeksi (SSI), boekel oranları (BOE-I ve BOE-II), kil oranı (KO) gibi parametreler de yöntemde dâhil edilmiştir. Kullanılan bu parametreler doğrultusunda elde edilen veriler sonucunda, peyzaj özellikleri ile arazinin birtakım kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından toprakların birbirinden farklı olduğu sonucuna varmıştır.

Yüksel (2015), “Borçka Barajı Yağış Havzasında Meydana Gelen Toprak Erozyonu ve Sediment Veriminin WEPP Erozyon Tahmin Modeli ve CBS Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi” adlı çalışmasında ana kaya, arazi kullanımı, eğim ve baki faktörlerini de hesaba katarak havzanın erozyon değerlendirilmesini yapmıştır. Tüm bu değerlendirme sonucunda havzayı 15 modele ayırmıştır. Çalışma sahasından toplanan toprak örneklerini belli analizlere tabi tutmuştur. Bu çalışmanın sonucunda 86576.83 ha'lık havzada yıllık toplam sediment miktarı 360431.70 ton olarak belirlenmiştir.

İmamoğlu (2016), “Alaca Havzası'nda Erozyon Risk Değerlendirmesi ve Planlaması” adlı çalışmasında farklı disiplinlerin ortak kullanımı ile farklı erozyon modellerini kullanmıştır. Çalışmada temel olarak RUSLE yöntemine bağlı kalmıştır. Çalışma alanının güneyindeki dağlık alanlar, eğim ve yükselti etkisinin fazla olması sebebiyle erozyonun etkisinin de arttırdığını belirtmiştir. Bu sahanın oval görünümü ile birlikte yüzeysel akışın etkili olduğu, yarıлма derecesinin fazlaca görüldüğü, taşınımın yüksek seviyede seyrettiğini ifade etmiştir. Tüm bunlara bakılarak Eber Havzası'nın erozyon açısından yüksek riskli bir saha olduğu sonucuna varmıştır.

İlay (2016), “Gökçeada Topraklarının Bazı Kalite Parametreleri ve Erozyon Riskinin Belirlenmesi” adlı çalışmasında RUSLE-K yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada 248 konumdan toprak örnekleri almış, 2006 yılı uydu görüntüsünden arazi sınıflandırması

yaparak bazı parametreler oluşturmuştur. Çalışma alanının %48,17'sinde düşük, %51,83'nde ise orta, yüksek ve çok yüksek risk olduğunu ifade etmiştir.

Fıçıcı (2016), "Kapıdağ Yarımadası'nda Erozyon ve Arazi Kullanma İlişkisi" adlı çalışmasında 1978-2015 yılları arasında yarımadaanın arazi kullanımının değişmesine bağlı olarak toprak erozyonunun ne boyutta olduğunu belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda bu değişimlerin arazi örtüsüne ve doğal olarak toprak erozyonuna neden olduğu anlaşılmıştır. Çalışma alanında toprak erozyonunun 1978 yılında yıllık ortalama 2,3 ton/ha/yıl, 2015 yılında bu değerin 2,5 ton/ha/yıl olduğu saptanmıştır.

Gündüzoğlu (2019), "Kıyı Ege Bölümü'nde Erozyon Risk Modeli Tasarımına Coğrafi Yaklaşım" adlı çalışmasında erozyon riskine tesir eden doğal ortam özelliklerinin hala kullanılan modeller çerçevesinde belirlenmesi ve erozyon riskinin etki yüzdesinin hesaplanmasını amaçlamıştır. Bu alışmada CBS ve uzaktan algılama metotlarından faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda araştırma alanının %26'lık kısmında yüksek derecede erozyon riskinin olduğu, ayrıca sahada eğimli araziler üstünde yer alan zeytinliklerin %55 oranda orta şiddette erozyon riski taşıdığını tespit etmiştir.

Celilov (2019), "İlgaz Milli Park Topraklarının Erozyon Duyarlılık Parametrelerinin Farklı Enterpolasyon Yöntemleriyle Meknsal Dağılımlarının Belirlenmesi" adlı çalışmasında alanının topraklarının aşınım faktörü, dispersiyon, kil oranı gibi erozyon duyarlılık değişkenlerinin CBS yardımıyla belirlenmesi ve farklı enterpolasyon metotlarını kullanarak mekânsal dağılımları haritalandırmıştır. Çalışma alanın büyük bölümünde erozyon duyarlılığının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Halis (2020), "Samanlı Dağları Kütlesinde Uzun Dönemli Erozyonu Kontrol Eden Faktörlerin Havza Tabanlı Değerlendirilmesi" adlı çalışmasında jeomorfolojinin erozyon çalışmaların da ölçülebilen metotların çalışmalarındaki önemi ve erozyon oranlarının tahmin edilmesiyle yeni metotların tanıtımını amaçlamıştır. Çalışma doğrultusunda öncelikli olarak dört akarsu havzasının uzun dönemli asgari malzeme kayıpları incelenmiş ve bu havzaların jeomorforloji ile tektonik ilişkisi ele alınmıştır. Ayrıca erozyon oranlarının dağılışını belirlemek ve malzeme kayıplarını etkileyen etmenlerin aktifliğini tespit etmek amacıyla kütlenin tamamını kapsayacak biçimde analizler uygulamıştır. Araştırma kütlesinin batı ve kuzey bölümünde 7,83 km³'lik alan erozyon oranıyla ilk sırada yer almaktadır. Bu alanı sırasıyla 3,83 km³ ile kütlenin batı ve güney

bölümü, 3,33 km³ ile doğu ve kuzey bölümü, 2,82 km³ ile orta ve güney bölümü takip ettiği tespit edilmiştir.

Alparslan (2021), “Kaman Deresi Havzasının (Pütürge/Malatya) Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi” adlı çalışmasında RUSLE tekniğini kullanarak erozyon duyarlılığını tespit etmiştir. Yaklaşık 110 km² yer kaplayan çalışma alanı, RUSLE yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yağış aşındırma parametresi TRMM 3B43 verilerinden üretilerek GloREDA verileri ile karşılaştırarak elde edilen sonuçlar ışığında GloREDA topografya ile ilişkili yüksek eğimli alanlarda %1,43 alanın şiddetli erozyon gösterdiğini belirtirken, TRMM 3B43’den elde edilen %0,79’luk düşük C faktörüne sahip alanlarda şiddetli erozyon olduğu sonucuna varmıştır.

Ülkemizde erozyon duyarlılık analizi çalışmalarının bazıları incelenmiş olup bölgede yaşanan toprak erozyonunun tarımsal ve beşerî faaliyetler üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya çıkarmak, tarım alanlarının sürdürülebilirliği, su kaynaklarının korunması ve yerel ekosistemin dengesinin sağlanması gibi konularda karar alıcıları bilgilendirecek ve bölgesel çözüm stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlanması amacıyla coğrafi bilgi sistemleri ve modern analitik yöntemlerin entegrasyonu ile Mudurnu Çayı Havzası’ndaki toprak erozyon duyarlılık durumunu anlamak bu konuda etkili çözümler geliştirmek, literatüre katkı sağlamak için sıklıkla kullanılan RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) tahmin yönteminin çalışma için uygun model olduğu kanaatine varılmıştır.

1. BÖLÜM: EROZYON TANIMI VE TAHMİN MODELLERİ

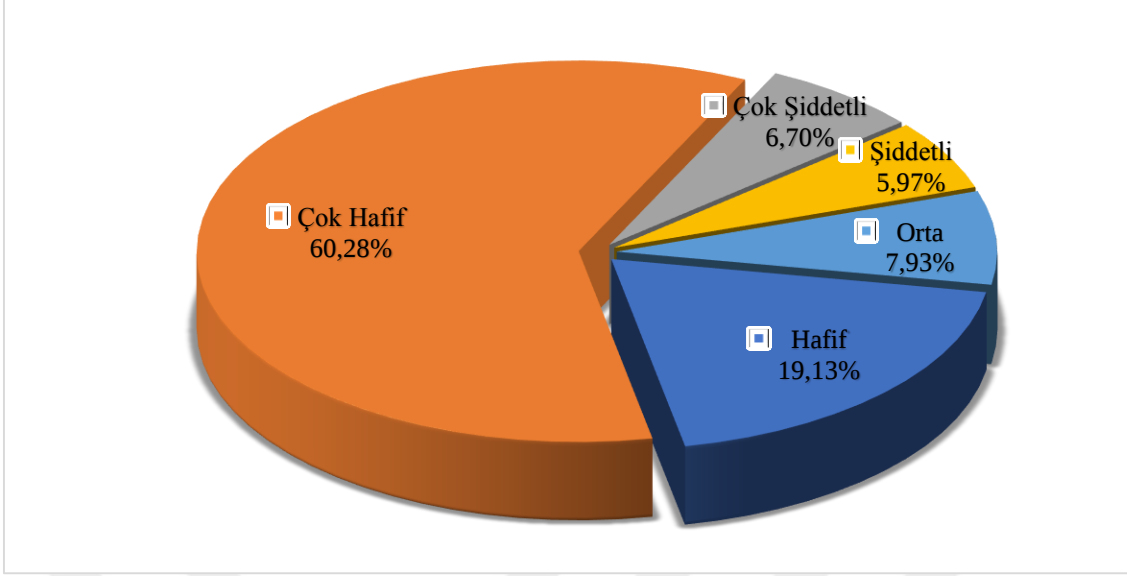
1.1. Erozyon Tanımı

Erozyon, Latince kökenli olup kemirme ve aşınma anlamlarına gelir. Toprak erozyonu ise toprağın bulunduğu konumdan su ve rüzgâr etkisiyle hareket ettirilip taşınması olayını ifade eder (Mater, 1998, Çelebi, 1963). Tanımına bakıldığında, erozyon basit gibi görünen bir kavramdır ancak aslında oldukça karmaşık bir süreçtir. Doğal erozyon, antropojenik (insan kaynaklı) etkiler nedeniyle kontrolsüz bir şekilde artmaktadır. Jeolojik bağlamda erozyon terimi; doğada bulunan toprak materyallerinin su, rüzgâr, çığ, buzul, dalga ve yer çekimi gibi doğal güçlerin etkisiyle toprak materyallerinin parçalanarak bulunduğu yerden başka bir yere taşınması ve biriktirilmesi sürecini ifade eder (Çevik, 2003).

1.2. Türkiye’de Erozyon Durumu

Ülkemizde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ile Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda Türkiye’nin coğrafi konumunun, topoğrafya ve iklim şartlarının erozyonu arttırıcı sebepler arasında yer aldığını ve bunun sonucunda erozyonla mücadelenin zorlaştığı belirtilmiştir. Buna bağlı olarak doğal kaynakların devamlılığını sağlamak ve gıda güvenliği açısından tedbirler almak için erozyonla mücadelenin zorunluluğu açısından bazı veriler üretilmiştir. Bu veriler doğrultusunda Türkiye topraklarının %59’unun, %12’den fazla eğime sahip olduğunu %11,5’inde şiddetli ve çok şiddetli erozyonun görüldüğü ifade edilmiştir.

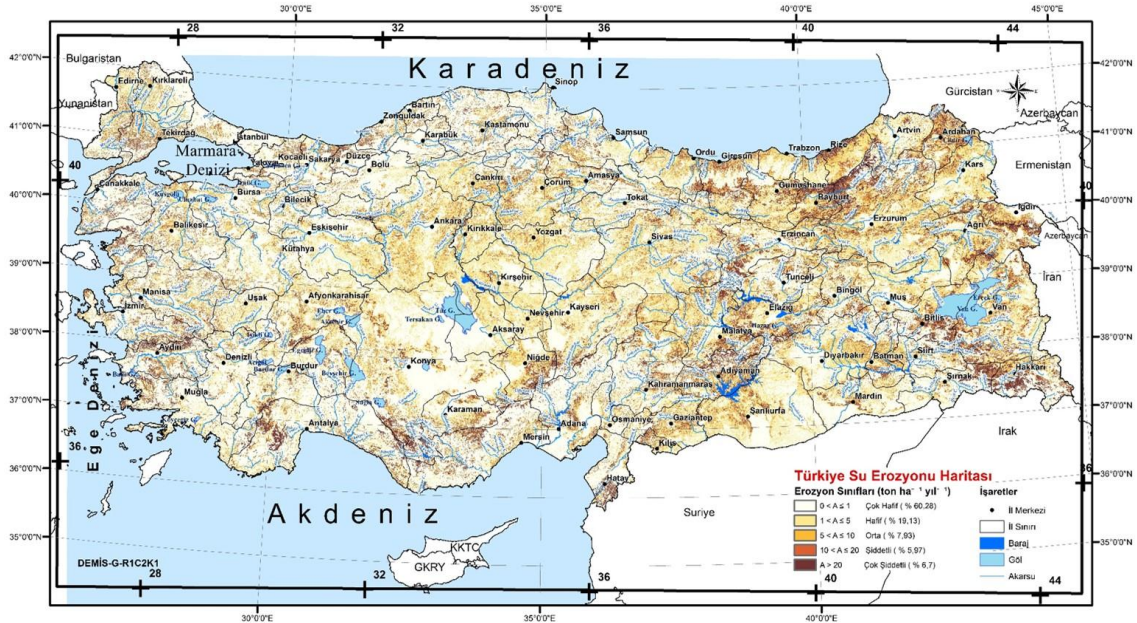
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından toprağın korunması, erozyonla mücadele edilmesi ve bu kapsamda değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) sonucunda ulaşılan verilere göre; ülke yüzölçümünün %60,28’inde çok hafif, %19,13’ünde hafif, %7,93’ünde orta, %5,97’inde şiddetli ve %6,7’inde çok şiddetli su erozyonun görüldüğü ortaya konulmuştur (Grafik 1).



Grafik 1: Türkiye’de Su Erozyonu Dağılım Oranı (2020)

Kaynak: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

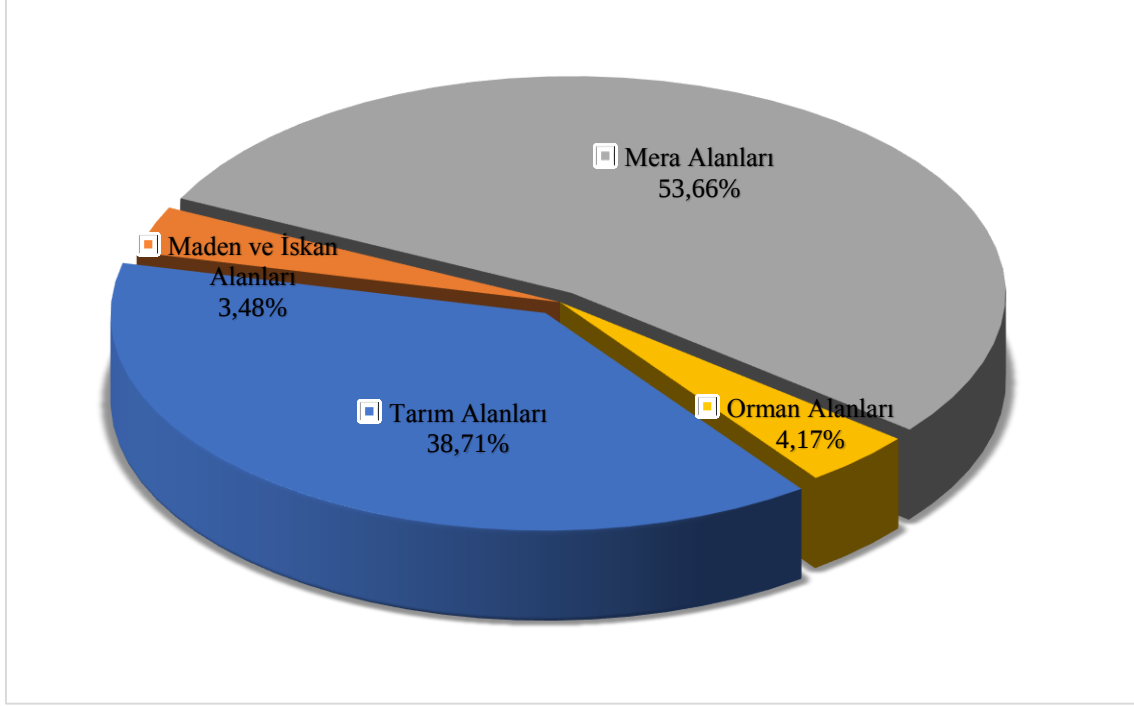
Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan, Türkiye su erozyonu haritasını incelediğinde, ülkemizde Karadeniz Bölgesi’nin doğusu, Doğu Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde su erozyonunun şiddetli olduğu görülmektedir (Harita 1).



Harita 1: Türkiye Su Erozyonu Haritası

Kaynak: tarimormman.gov.tr. E.T. 10/12/2023

Ülkemizde, arazi kullanımına bağlı olarak tarım alanlarında %38,71, orman alanlarında %4,17, maden ve iskân alanlarında %3,46 ve mera alanlarında %53,66 oranında erozyon görülmektedir (Grafik 2). Ülkemizde her yıl ortalama 642 milyon ton toprak bulunduğu yerden başka bir yere taşınmaktadır (Erpul vd.,2018).



Grafik 2: Türkiye’de Arazi Kullanımına Göre Erozyon Oranı (2020)

Kaynak: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

1.3. Erozyon Tipleri

Erozyon, oluşum mekanizmaları (su, rüzgâr vb.) ve morfolojik (yüzey, oyuntu vb.) özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır.

1.3.1. Jeolojik Erozyon

Jeolojik erozyon; insan faaliyetleri sonucu bozulmaya uğramamış arazinin doğal çevre koşulları altında yıllardan beri devam eden ve vadilerin, kanyonların, deltaların, sahil düzlüklerinin, ovaların, platoların oluşmasına sebep olan jeolojik bir olaydır (Balcı, 1996). Özetle jeolojik erozyon, tamamen doğal faktörlerin etkisi altında ayrıışmış partiküllerin yer çekimi etkisi ile taşıyıcı ajanlardan yararlanarak gelişen ve en önemlisi insan faaliyetleri ile oluşmayan erozyon tipidir.

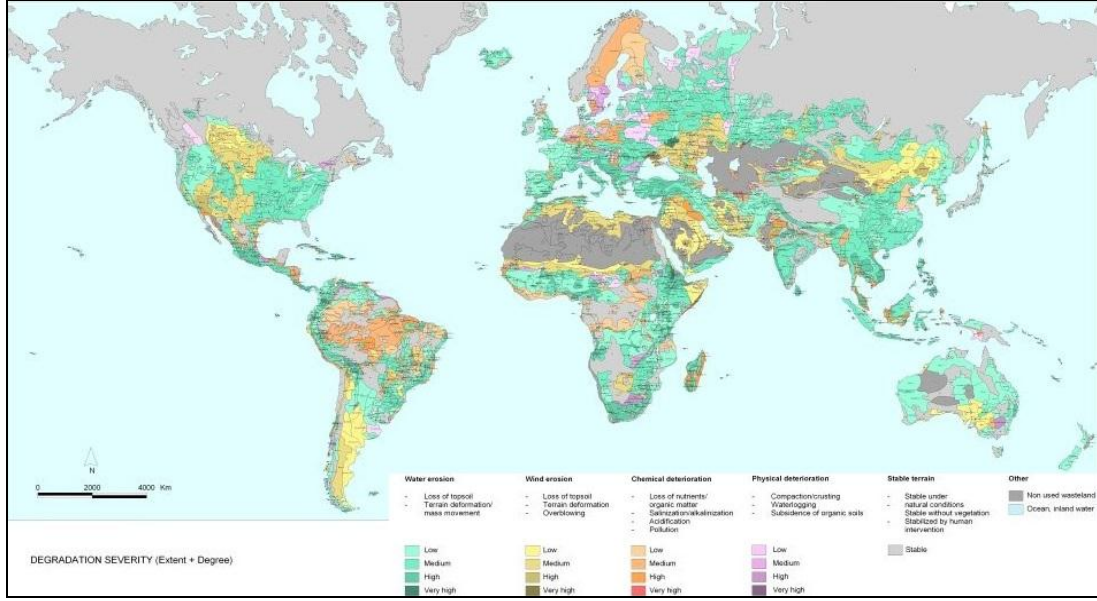
1.3.2. Hızlandırılmış Erozyon

Hızlandırılmış erozyon; insan faaliyetleri sonucunda iklim, toprak ve vejetasyon birlikteliğinden doğan dengenin bozulması sonucunda ekosistemde meydana gelen toprak erozyonunu ifade etmektedir (Balcı, 1996). Toprak oluşma süresinden daha hızlı meydana gelen bir olaydır. Doğal bitki örtüsünün zayıflamasına ve doğal dengenin bozulmasına sebep olmaktadır (Akgül, 1979).

1.3.3. Su Erozyonu

Su erozyonu, bitki örtüsünün bulunmadığı dik ve eğimli arazilerde eriyen kar ve yağmur sularının toprağı aşındırıp taşıması sonucunda oluşmaktadır. Ülkemizin morfolojik özellikleri düşünüldüğünde su erozyonunun toprak kayıplarına etkisi büyük olmaktadır. Yağmur damlalarının eğimin olmadığı arazilerde toprağın yüzeyine çarpması sonucunda toprağı yerden 0,6 m yukarıya ve 1,5 m yanlara sıçratmaktadır. Bu sıçratma ile beraber toprak da yukarıya ve yanlara doğru hareket etmektedir. Fakat buna karşın yağmur damlacıklarının etkisi eğimli arazilerde daha şiddetli olmaktadır. Örneğin; 10 dk. boyunca devam eden sağanak yağışın etkisiyle eğimli bir arazide 90 mm/saat şiddetinde 1 ha'lık toprağın yüzeyinde bir yılda 27.5 ton yağışın darbe etkisiyle toprak yok olmaktadır (Günay, 1997).

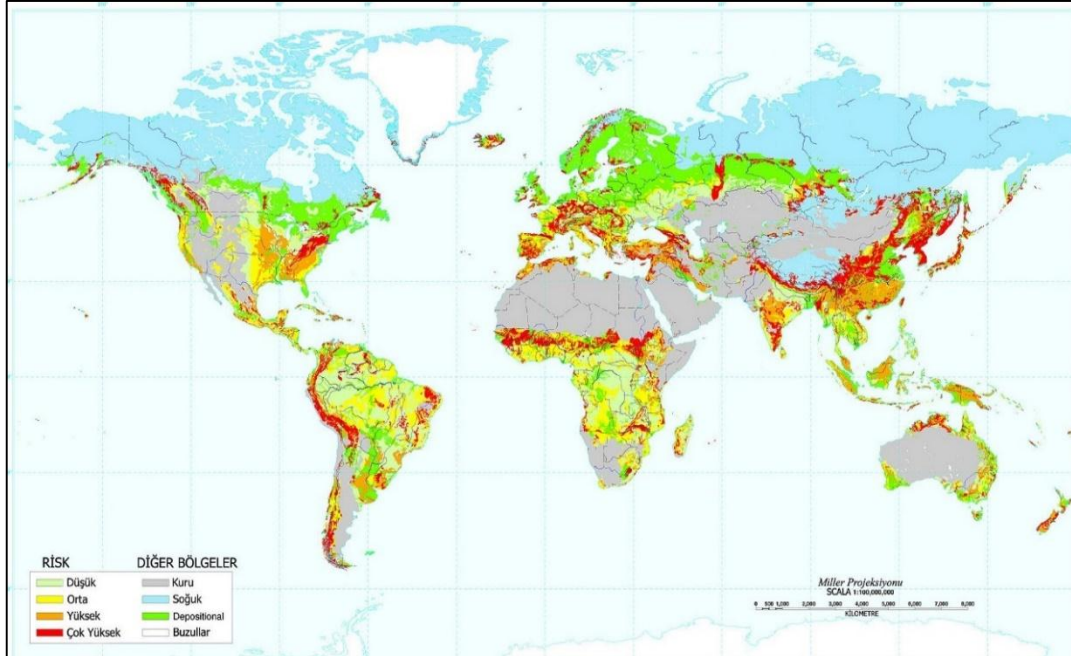
1990 yılında, ISRIC (Dünya Toprak Bilgileri-Uluslararası Toprak Referans ve Bilgi Merkezi) tarafından koordine edilen, UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) tarafından finanse edilen GLASOD (İnsan Kaynaklı Toprak Bozulmasının Küresel Değerlendirmesi) projesi ile uzman temelli bir yaklaşım kullanarak insan kaynaklı toprak bozulmasına ilişkin ilk dünya haritası üretilmiştir. Haritanın amacı, 1992 yılında Rio de Janeiro'da düzenlenen UNCED (Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı) vesilesiyle toprak bozulması sorunlarına ilişkin farkındalık oluşturulmasıydı. Veriler, dünya çapında çok sayıda toprak bilimcinin iş birliğiyle, tek tip yönergeler ve uluslararası korelasyon kullanılarak bozulmanın türü, kapsamı, derecesi, oranı ve ana nedenleri, ortalama 1:10 milyon ölçeğinde (Mercator projeksiyonu) küresel bir harita hazırlanmıştır (Harita 2).



Harita 2: İnsan Kaynaklı Erozyon Risk Dağılışı (1991)

Kaynak: isric.org. E.T. 10/12/2023

Projede, Dünya'nın buzsuz arazi yüzeyinin yaklaşık %15'inin her türlü arazi bozulmasından etkilendiği tahmin edilmektedir. Bunun yaklaşık %56'sının su kaynaklı hızlandırılmış toprak erozyonu olduğu ve Dünya çapında su erozyonundan etkilenen alanın kabaca 11 milyon km² olduğu belirtilmiştir (Harita 3).



Harita 3: Dünyada Su Erozyonu Risk Dağılışı (2002)

Kaynak: isric.org. E.T. 10/12/2023

Dünyada su erozyonu risk dağılımı haritasını incelediğimizde Asya'nın güneyi ve güney doğusunda, Avrupa'nın güneyinde, Afrika'nın orta bölümünde, Kuzey Amerika'nın batı ve doğu kesiminde, Güney Amerika'nın genelinde su erozyonu riskinin yüksek olduğu görülmektedir.

1.3.3.1. Damla Erozyonu

Damla erozyonu, genelde yağmur damlalarının toprak yüzeyine şiddetli biçimde çarptığı bitki örtüsünden yoksun sahalarda oluşmaktadır. Toprağın strüktürünü oluşturan küme şeklindeki yapıları yağmur damlalarının çarpmasıyla bozulmaya uğramakta ve dağılan agregatlardan açığa çıkan küçük boyutlu parçacıklar toprakların yüzeyinden başlayıp bütün profilleri boyunca görülen boşlukların tıkanmasına sebep olmaktadır. Boşlukları dolan toprakların zamanla infiltrasyon özellikleri azalmaya uğramakta ve giderek tamamen yok olmaktadır. Toprağın infiltrasyon özelliğini kaybetmesi sonucunda toprakların yüzeyine düşen yağmur sularının büyük bir çoğunluğu derinlere sızmayarak yüzeysel akışa sebep olmaktadır. Bu süreç sonrasında yağmur damlalarının etkisiyle toprak yüzeyinden koparılan ve dağıtılan parçaların yüzeysel akışa karışması sonucunda taşınmaktadır. İlk başta basit gibi görünen yağmur damlalarının bu hareketi su erozyonunun meydana gelmesinde etkili olan olumsuz koşulların ilk ve en önemli faktörünü oluşturmaktadır (Sarı, 1998).

1.3.3.2. Yüzey (Tabaka) Erozyonu

Yüzey erozyonu, yağmur damlalarının sıçratması sonucunda yüzeysel akışa geçen toprak hareketine denilmektedir. Yüzeyde oluşan akışın hızı 0,3-0,6 m/sn'yi geçmesiyle meydana gelmektedir. Bu hız farklı kaynaklarca 1m/sn'yi bulmaktadır. Bu hareketin oluşmasında sadece hız etkili değildir. Aynı zamanda diğer faktörlerin de etkisiyle değişik hızlarda erozyon oluşabilmektedir. Yüzey erozyonu sonucunda hafif olan toprak parçacıkları, organik madde ve eriyebilen bitki ve besin maddeleri araziden taşınmaktadır. Bundan dolayı arazinin verimliliğinde önemli derecede düşüş yaşanmaktadır. Bu verim azalmasının sebebi eğim boyunca tekdüze bir şekilde meydana gelen yüzeysel erozyonun toprağın verimli olan üst kısmını taşıması olarak gösterilmektedir. Bütün bu olumsuzluklardan dolayı yüzey erozyonu en tehlikeli erozyon olarak bilinmektedir (Alparslan,2021).

1.3.3.3. Parmak (Oluk) Erozyonu

Eğimli arazilerin bulunduğu sahalarda oluşan yağışların ve yağmur taneciklerinin toprak yüzeyine çarpmasıyla toprakların yüzey özellikleri bozulmaktadır. Bununla birlikte toprağın infiltrasyon özelliği azalmakta ve yağış sularının büyük bir kısmı yüzeysel akışa geçmektedir. Bu akışı hızlandıran diğer bir faktör ise yanlış arazi kullanımıdır. Yüzeysel akışa geçen bu sular zamanla arazinin yüzeyinde irili ufaklı kanallar ve oluklar oluşturmaktadır. Bu kanallarda akmaya başlayan yüzey suları eğimin sebep olduğu ivme hareketi ile kendi etrafında dönerek türbülans oluşturmaktadır. Su, oluşan bu türbülans ile koparma, oyma ve taşıma enerjisi kazanmaktadır. Bu türbülans hareketi, toprak kümelerinin gevşemesine neden olmakta ve dağılarak kopmaya uğramaktadır. Kopan bu parçacıklar akış halindeki suyun içinde aşağı doğru inmektedir. Bu olayların sonucunda arazinin yüzeyinde derinlikleri birkaç santimetreyi bulan çok sayıda oluk ve kanal oluşturmaktadır. Toprakların bu şekilde aşınması ve taşınması olayına parmak veya oluk erozyonu denilmektedir. Parmak erozyonu, tabaka erozyonuna göre arazide daha geç fark edilmekte ve yüzey erozyonunun ilerlemiş halini ifade etmektedir. Bu sebeple parmak erozyonu gözlemlendiğinde toprakların üst katmanı çoktan kaybetmiş olacaktır (Sarı, 1998).

1.3.3.4. Sel (Yarıntı) Erozyonu

Parmak erozyonu ile arazide oluşan oluklara karşı önlem alınmaması ve zamanla derinleşip genişlemesi sonucunda sel yarıntıları meydana gelmektedir. Oluşan bu sel yarıntılarının büyüklükleri, yağışın miktarına, şiddetine, sıklığına, toprağın erozyona karşı gösterdiği dirence, toprağın derinliğine, arazinin eğimine, toprağın altındaki sert ve geçirimsiz tabakanın yüzeye yakınlığına, alt toprağın gevşekliğine ve yüzeysel akış ile suyun taşıdığı materyalin cins ve miktarına göre değişmektedir. Sel yarıntısı sonucunda arazide birkaç metre ile onlarca metre büyüklüğünde ve derinliğinde oyuklar oluşabilmektedir. Bunun sonucunda önemli derecede toprak kayıpları oluşmaktadır. Bunun yanında sel yarıntı erozyonu ile arazilerin yüksek kesimlerinden taşınan materyaller eğimin azaldığı kısımlarda bulunan verimli toprakların üstünü örterek arazinin verimini ve değerini azaltmaktadır (Sarı, 1998).

1.3.3.5. Akarsu Yatak Erozyonu

Akarsuların yatağının içinde ve kenarlarında meydana gelen erozyondur. Bu erozyon türünde oyuntularda görülen erozyonun aksine, akarsu kenarlarında görülen yüzey akışları ile akarsu yatağının içindeki suyun akışı sebebiyle sürekli yaşanan bir erozyon görülmektedir. Kenar erozyonu, akarsu kenarlarında görülen beşerî etmenler, bitki örtüsü tahribi, yapılaşma, tarımsal faaliyetler gibi nedenlerden artış göstermektedir. Akarsu yatak erozyonunda, akarsu yatağının derinliği, genişliği, yağın üzerinden akan malzeme türü, eğimi gibi etmenlerin önemi bulunmaktadır.

1.3.4. Rüzgâr Erozyonu

Rüzgârların kuvvetli estiği zamanlarda toprağın gevşek, kuru, çıplak olması sonucunda görülen fiziksel bir oluşumdur. Toprağın yüzeyinde bulunan ince verimli toprak tanelerinin rüzgârlar tarafından taşınması sonucunda verim azalır ve taşındığı bölgede ciddi problemler oluşturmaktadır (Zobeck & Van Pelt, 2005).

Rüzgâr erozyonunun görüldüğü sahalarda toprağın erozyon sorununun çözümü oldukça zordur. Ayrıca tarım üzerindeki etkisi de toprağın derinliğine, yetiştirilen tarım ürününe ve mevcut su miktarına bağlıdır. Rüzgâr erozyonunun potansiyelinde iklim olaylarının şiddeti, toprağın korunma faktörleri ve duyarlılığı etkili olmaktadır (Fryrear, 1995).

1.3.5. Diğer Erozyonlar

Su ve rüzgâr erozyonunun dışında genellikle yer çekimine bağlı olarak oluşan diğer türlerde erozyonlar da vardır. Bunlar yamaç akmaları, çığ ve heyelanların neden olduğu aşınma ve taşınmalardır (Akgül, 1979).

Yamaç akmaları, bu tip toprak hareketleri özellikle eğimli yamaç araziler üzerinde doğal ve yapay nedenlerden denge koşulların bozulmasıyla oluşur. Tabaka halinde kaymalar, toprak akmaları, moloz hareketleri genellikle dik yamaçlarda görülen yamaç akmalarıdır.



Görsel 1: Erozyona Uğramış Bazı Alanlar (2022)

Kaynak: tema.org.tr. E.T. 10/12/2023

1.4. Erozyon Tahmin Modelleri

Toprak kaybı miktarlarının mekânsal olarak belirlenebilmesi için gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda çeşitli toprak kaybı modelleri ortaya çıkmıştır. Erozyon duyarlılığını belirlemek adına Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak birçok model uygulanmaktadır.

1.4.1. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

RUSLE yöntemi, Renard vd. tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntemin uygulanabilirliği kolay olduğu için çok fazla kullanılmaktadır. USLE metodu geliştirilerek bozulmuş sahaları, mera alanlarını ile ormanları da parametrelere dâhil edilmiştir. (Renard vd., 1997). Bu metotla araştırılan havzanın yıllık kaybedebileceği toprak tutarı gerçeğe yakın olarak bulunmuştur (Beskow vd., 2009). RUSLE yönteminde; bitki örtüsü (C faktör), yağış (R faktör), toprak özellikleri (K faktör), eğim ve yamaç

uzunluğu (LS faktör) ve toprak koruma tedbirleri (P faktör) gibi değişkenler kullanılmaktadır.

1.4.2. Agricultural Non-point Source Pollution Model (AGNPS)

1989 yılında Young ve arkadaşları tarafından ABD Tarımsal Araştırma Merkezi (USDA-ARS) bünyesinde geliştirilmiştir. Bu model tek bir olaydaki yüzey akışı, sediment ve kimyasal madde taşınımını hesaplamaya çalışmaktadır. En fazla 20 bin ha olmak koşuluyla büyüklüğü 0.4 ile 16 ha arasında değişen hücrelerde hesaplama yapılmaktadır (Öztürk vd., 2003).

1.4.3. Morgan-Morgan-Finey Model (MMF)

1984 yılında Morgan ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu model, su fazı ve sediment fazı olarak iki aşamadan oluşur.

Su fazında toprak kütlesi ile yüzeysel akışa geçen suyun toprak zerrecilerinin parçalanması sonucunda yağışın oluşturduğu etkiyi ele almaktadır.

Sediment fazında ise yağışın etkisiyle yüzeysel akışa geçen suyun toprak kütlesi içerisindeki zerrecilerin suyu taşıma kapasitesi olarak hesaplanmaktadır (Başyigit, 2002).

1.4.4. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

1998 yılında Arnold ve arkadaşları tarafından ABD Tarımsal Araştırma Merkezi (USDA-ARS) bünyesinde geliştirilmiştir. Bu model yağış, toprak özellikleri, bitki örtüsü, arazi kullanımı, topoğrafya şartları gibi verilere dayanarak değerlendirme yapmaktadır.

1.4.5. Water Erosion Prediction Project (WEPP)

Flanagan ve Nearing tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir. Temelde su ve rüzgâr erozyonunu tahmin etmektedir. Matematiksel denklemlerle oluşturulan bu model intersepsiyon, yüzeysel akış, yağmur damlası, bitki gelişimi, sediment taşınımını gibi fiziksel faktörleri ifade etmektedir.

1.4.6. Pan European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA)

Kirkby ve arkadaşları tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir. Bu modelde aşınabilirlik (K), yüksekliğin standart sapmasındaki topografya potansiyeli (L), iklim verileri, bitki örtüsü, su dengesi ve bitki büyüme modelinden hesaplanan yüzey akışı, iklim ve bitki örtüsü (W) gibi parametreler hesaplanmaktadır (Kirkby vd., 2003).

1.4.7. Limburg Soil Erosion Model (LISEM)

Dee Ro vd. tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir. Bu model CBS ile entegre çalışmaktadır. Bu entegre model, alan olarak geniş havzalara uygulanmaktadır. Ayrıca uzaktan algılama verilerini de kullanmaktadır. Yağış, bitkileri tarafından tutulan su, sızma ve yüzeysel akış gibi faktörleri hesaplamaktadır (De Roo vd., 1996).

1.4.8. Universal Soil Loss Equation (USLE)

Smith ve Wischmeier tarafından 1978 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Tarım Bakanlığı Toprak Koruma Departmanı bünyesinde geliştirilmiştir. Uzun yıllar boyunca yıllık ortalama toprak kaybını hesaplamak için üretilmiş ve verimli sonuçlar elde edilmiştir. USLE yönteminde; yağış (R faktör), toprak özellikleri (K faktör), bitki örtüsü (C faktör), eğim ve yamaç uzunluğu (LS faktör) ve toprak koruma tedbirleri (P faktör) gibi değişkenler kullanılmaktadır (Wischmeier & Smith, 1978).

1.4.9. Modified Universal Soil Loss Equation (USLE-M)

Kinnel ve Risse tarafından 1998 yılında USLE yönteminin geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu yöntemdeki parametreler; yüzey akış hacmi (Q faktör), toprak aşınımı duyarlılık faktörü (K faktör), topoğrafik faktör (LS faktör), bitki faktörü (C faktör) ve toprak koruma önlemleri (P faktör) şeklinde hesaplanmaktadır (Kinnel & Risse, 1998).

Mudurnu Çayı Havzası'nın batı sınırını Adapazarı Ovası, kuzey sınırını Elmacık Dağı su bölümü çizgisi, kuzeydoğu kesimini Abant-Bolu Dağları su bölümü çizgisi, doğu ve güney sınırını Koroğlu Dağları ile güneybatı kesiminde Kapıorman Dağları'nın su bölümü çizgisi havza sınırını oluşturmaktadır.

Mudurnu Çayı'nın en büyüğü, Dinsiz Çayı olmak üzere Köy Dere, Ulu Dere, Kanlı Dere, Karapınar Deresi, Akdere, Küçücek Deresi gibi birçok kolu vardır. Bu sınırlar içerisinde kalan havza yaklaşık 2296,3 km² yüzölçümüne sahiptir.

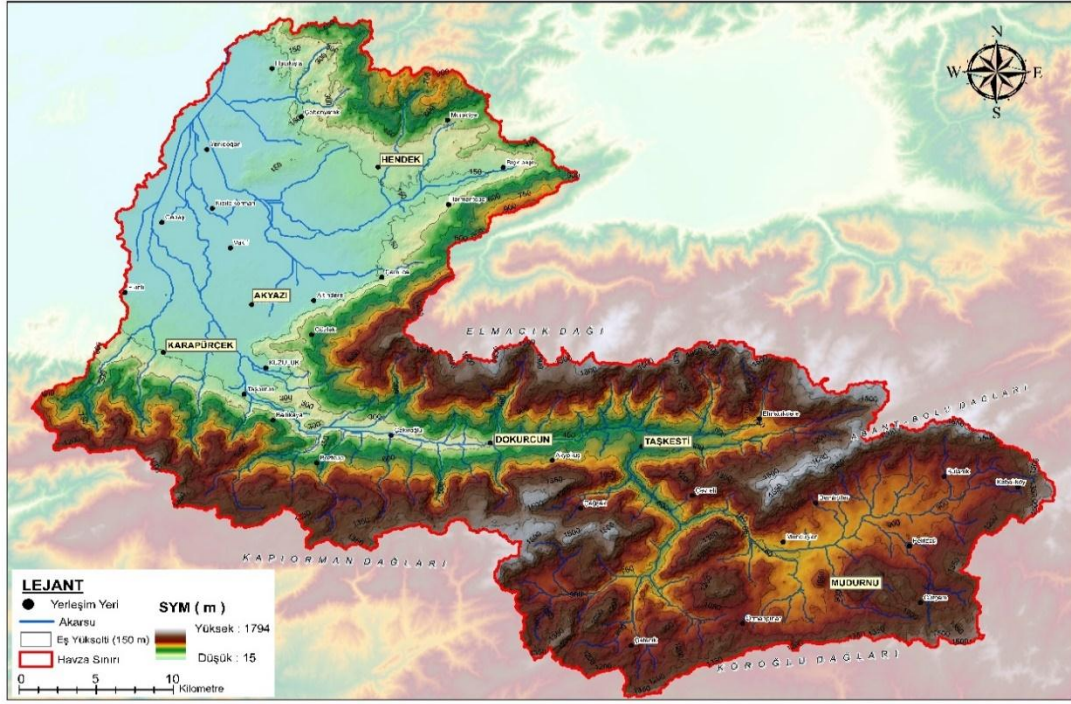


Görsel 2: Mudurnu Çayı Havzası Akyazı Güzlek Mahallesi Bir Kesit (Akova)

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023

2.2. Topoğrafik Özellikler

Mudurnu Çayı Havzası önemli topoğrafik yükseltilerle çevrilidir. Kuzeyde Elmacık Dağı (1830 m.), Dikmen Tepesi (1722 m.), Keremali Tepesi (1543 m.) kuzeydoğu kesiminde Abant-Bolu Dağları, (1760 m.) havzanın güney ve güneydoğu kesiminde Koroğlu Dağları ile güney ve güneybatı kesiminde Kapıorman Dağları (1590 m.) yer almaktadır. Ayrıca kuzeybatıda Akova düzlüğünde ilerleyerek genel olarak parçalı görünüme sahip olmuştur (Harita 5).



Harita 5: Mudurnu Çayı Havzası Topoğrafya Haritası

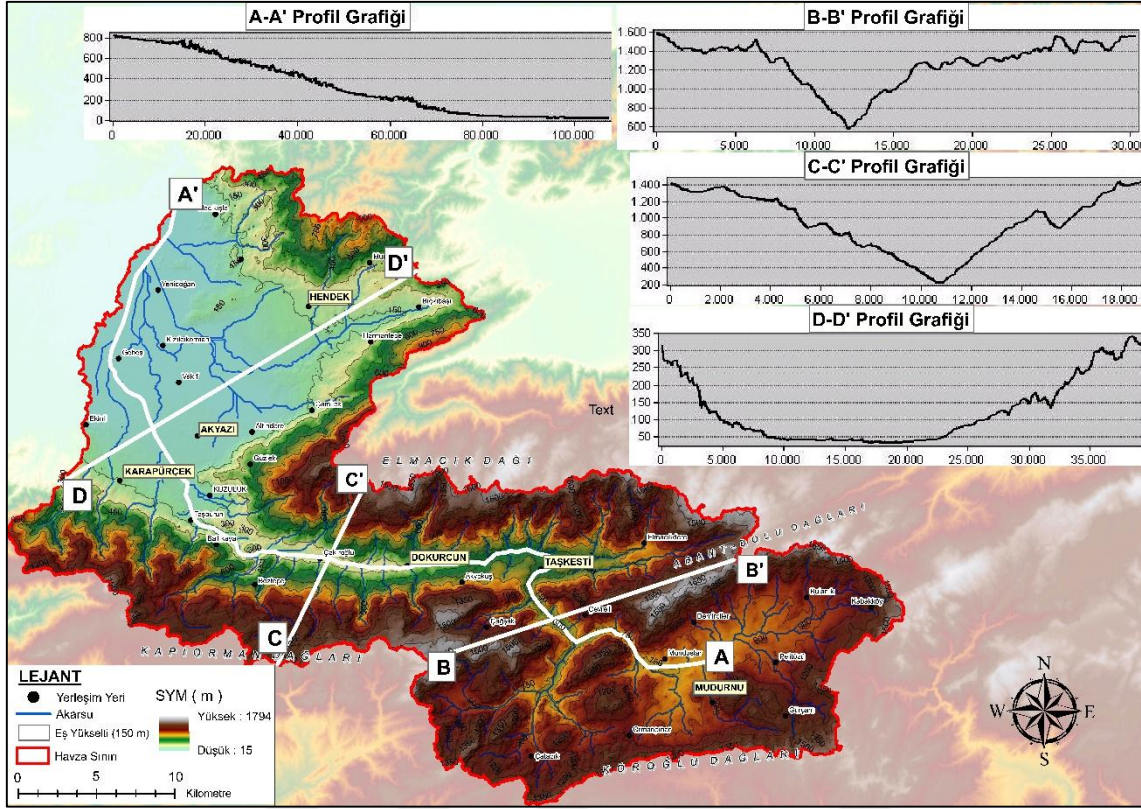
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Mudurnu Çayı Havzası'ndan elde edilen profil kesitler sonucuna bakıldığında akarsuların havzanın üst kesiminde “V” profil oluşturduğu, Akova kesimine yaklaştıkça geniş tabanlı vadi oluşturduğu, Akova düzlüğünde ilerleyerek Sakarya Nehri ile birleştiği görülmektedir (Harita 6).



Görsel 3: Mudurnu Çayı Akvazi Salihye Mahallesi Bir Kesit

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023



Harita 6: Mudurnu Çayı Havzası Topoğrafik / Profil Kesitler Haritası

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

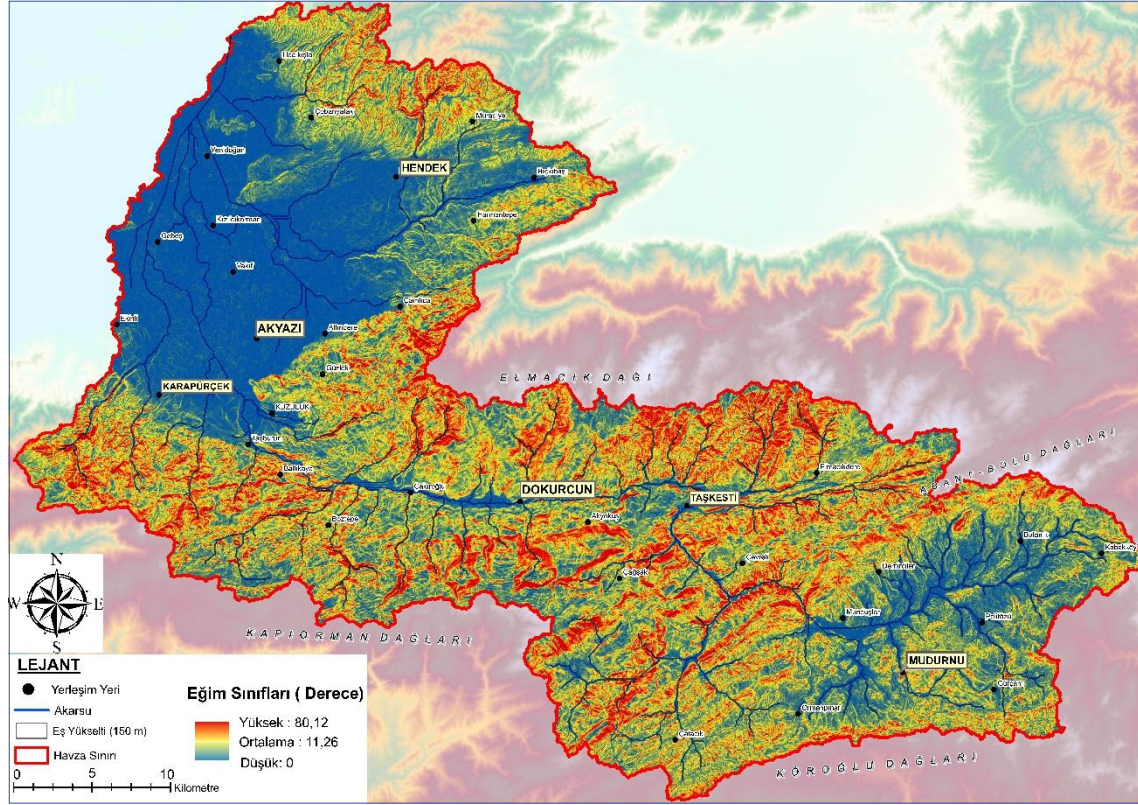
A-A^I doğrultusunda çıkarılan profil kesitinde Mudurnu Çayı'nın aktığı vadinin doğu-güneydoğusunda yer alan Abant-Bolu Dağları ile Koroğlu Dağlarının yamaçlarından kaynağını alır. Kuzeybatı yönüne doğru eğim doğrultusunda ilerleyen Mudurnu Çayı'nın, Sakarya Nehri'yle birleştiği noktada 32 metre yüksekliğe kadar indiği görülmektedir (Harita 6).

B-B^I profil kesitinde Kapıorman Dağları ile Abant-Bolu Dağları arasında en yüksek 1600 metre, en alçak 500 metre rakıma, C-C^I profil kesitinde Kapıorman Dağları ile Elmamacık Dağı arasında en yüksek 1400 metre, en alçak 200 metre rakıma inerek “V” profil oluşturduğu, akarsuyun derine ve yana doğru aşınımının devam ettiği görülmektedir (Harita 6).

D-D^I profil kesitini incelediğimizde en yüksek 350 metre, en alçak 32 metre ile akarsuyun Akova'da geniş düzlüklerde aktığını diğer kesitlere göre derine ve yana aşınım oranının azalarak, geniş bir vadi tabanı oluşturduğu görülmektedir (Harita 6).

Mudurnu Çayı Havzası'nın eğim grupları-morfolojik birimler haritasına bakıldığında Mudurnu Çayı'nın ve kollarının büyük bölümünün aktığı vadi boyunca eğim

derecelerinin yüksek ve yükseğe yakın olduğu görülmektedir. Araştırma alanında gözlenen en yüksek eğim derecesi 80,12 olarak hesaplanmış ve havzanın genel topoğrafik şartlarına bağlı olarak ortalama eğim derecesi ise 11,14 olarak hesaplanmıştır (Harita 7).



Harita 7: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Sınıfları

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Eğimin vadi yamaçlarında yüksek olmasının sebebi “V” profile sahip olmasıdır. Havzanın orta ve yukarı kesimi, aşağı kesimine göre daha fazla eğime sahiptir. Havzada eğimin arttığı alanların ortak özelliği genel olarak yüksek tepe ve dağlık alanları yaran vadinin genç oluşumlu olmasıdır. Akova ve Mudurnu Ovası, eğim açısından en az değere sahip alanlar içerisinde yer alır (Görsel 4).



Görsel 4: Mudurnu Çayı Havzası Mudurnu Bekdemirler Köyünden Bir Kesit

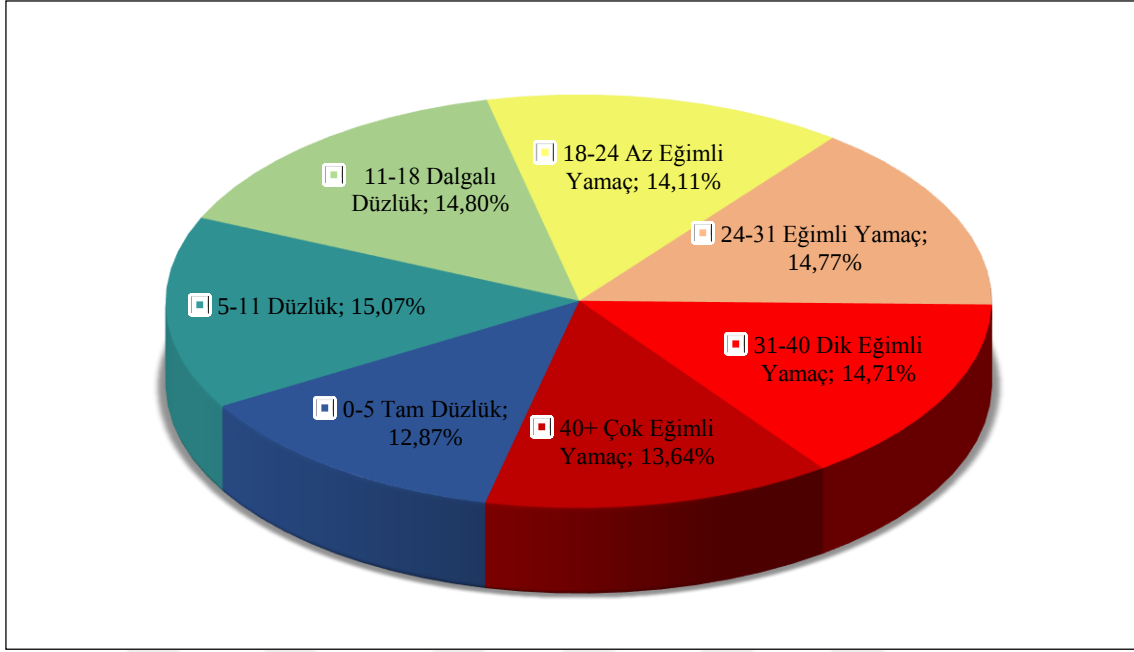
Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023

Mudurnu Çayı Havzası'nın eğim grupları-morfolojik birimlerin alansal ve oransal dağılımını ele aldığımızda, tam düzlük %12,87, düzlük %15,07, dalgalı düzlük %14,80, az eğimli yamaç %14,11, eğimli yamaç %14,77, dik eğimli yamaç %14,71, çok eğimli yamaç %13,64 oranla birbirine yakın değerlerde dağılış gösterdiği görülmektedir (Tablo 1, Grafik 3, Harita 8).

Eğim Grupları	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılımı (%)
0-5 Tam Düzlük	295,56	12,87
5-11 Düzlük	346,15	15,07
11-18 Dalgalı Düzlük	339,87	14,80
18-24 Az Eğimli Yamaç	324,24	14,11
24-31 Eğimli Yamaç	339,23	14,77
31-40 Dik Eğimli Yamaç	337,84	14,71
40+ Çok Eğimli Yamaç	313,45	13,64
Toplam	2296,34	100

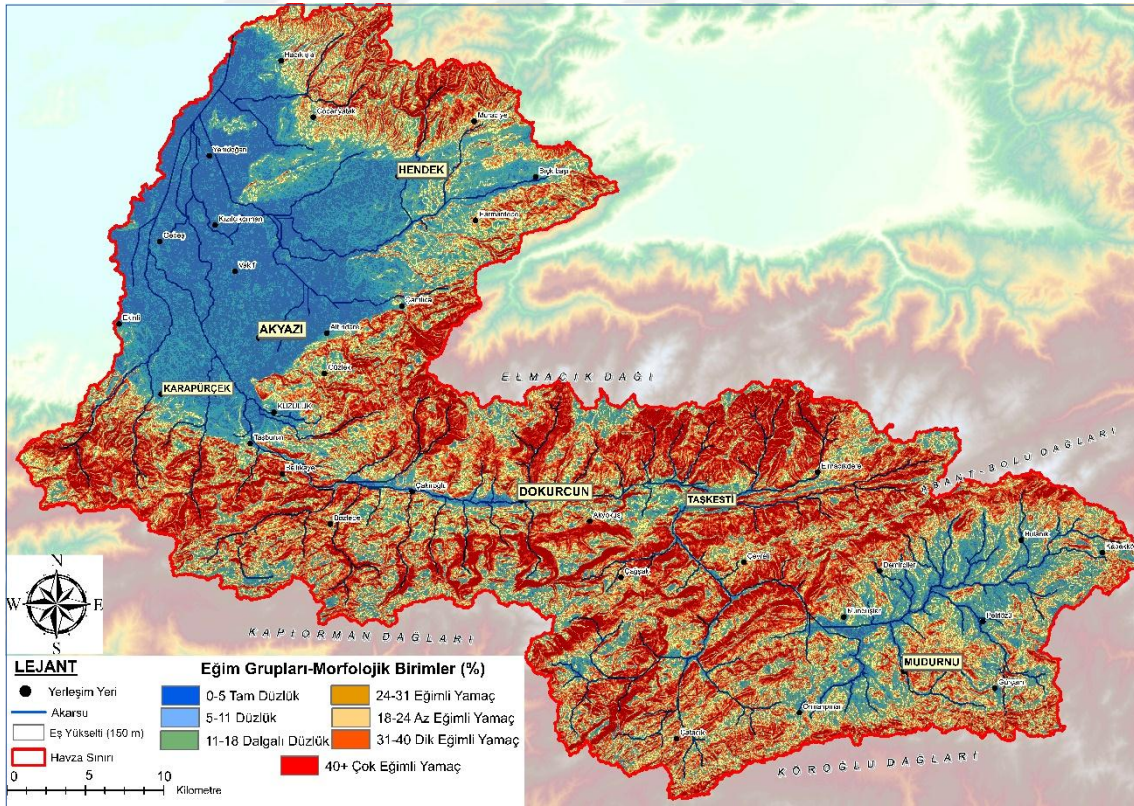
Tablo 1: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Grupları-Morfolojik Birimlerin Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Grafik 3: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Grupları Oransal Dağılımı

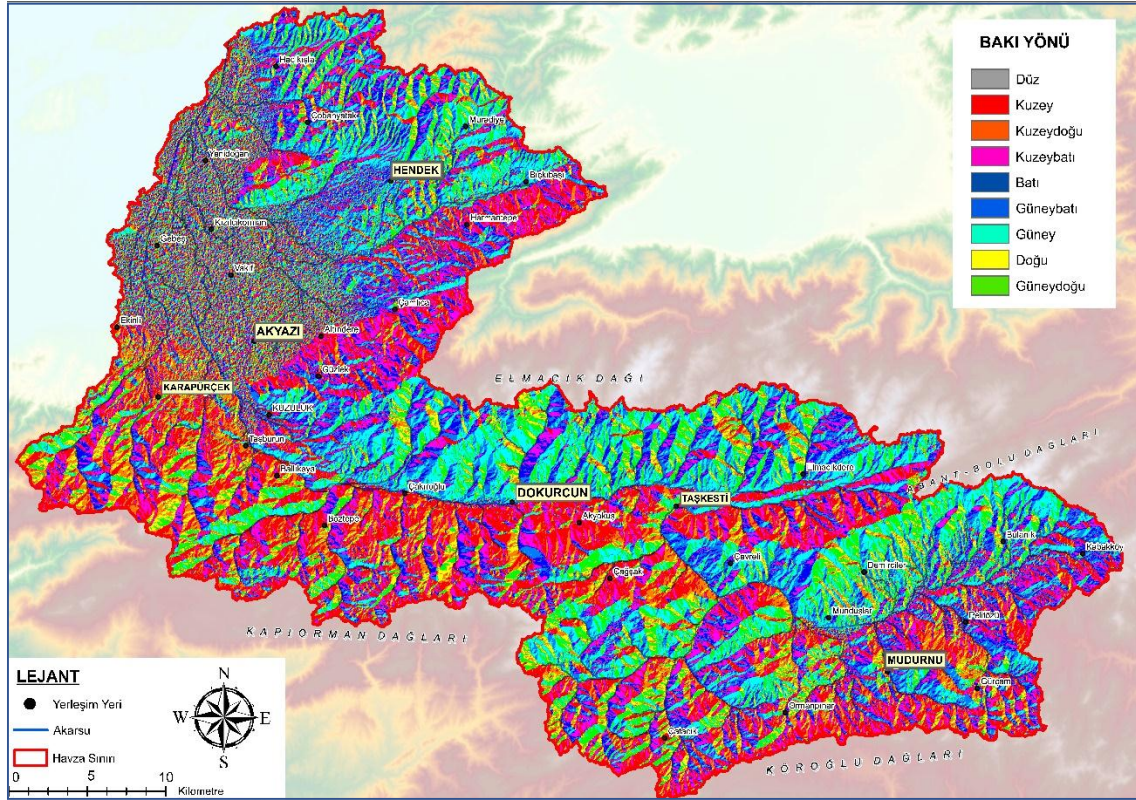
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Harita 8: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Grupları-Morfolojik Birimler Haritası (%)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Bakı; iklim koşulları, doğal bitki örtüsü ve insan faaliyetleri için önemlidir. Çalışma alanının kuzeyinde yer alan Elmacık Dağı yamaçları genellikle güneye bakarken, güney ve güneydoğusunda bulunan Kapıorman ve Köroğlu Dağlarının yamaçları boyunca kuzeye bakar (Harita 9). Temelde iklim üzerine etki eden bakı faktörü; bitki örtüsü, toprak oluşumu ve erozyona da doğrudan etki etmektedir (Görsel 5).



Harita 9: Mudurnu Çayı Havzası Bakı Yönlerinin Dağılışı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Görsel 5: Sakarya-Mudurnu Yolu Bekdemirler Köyü Mevki Doğal Bitki Örtüsü

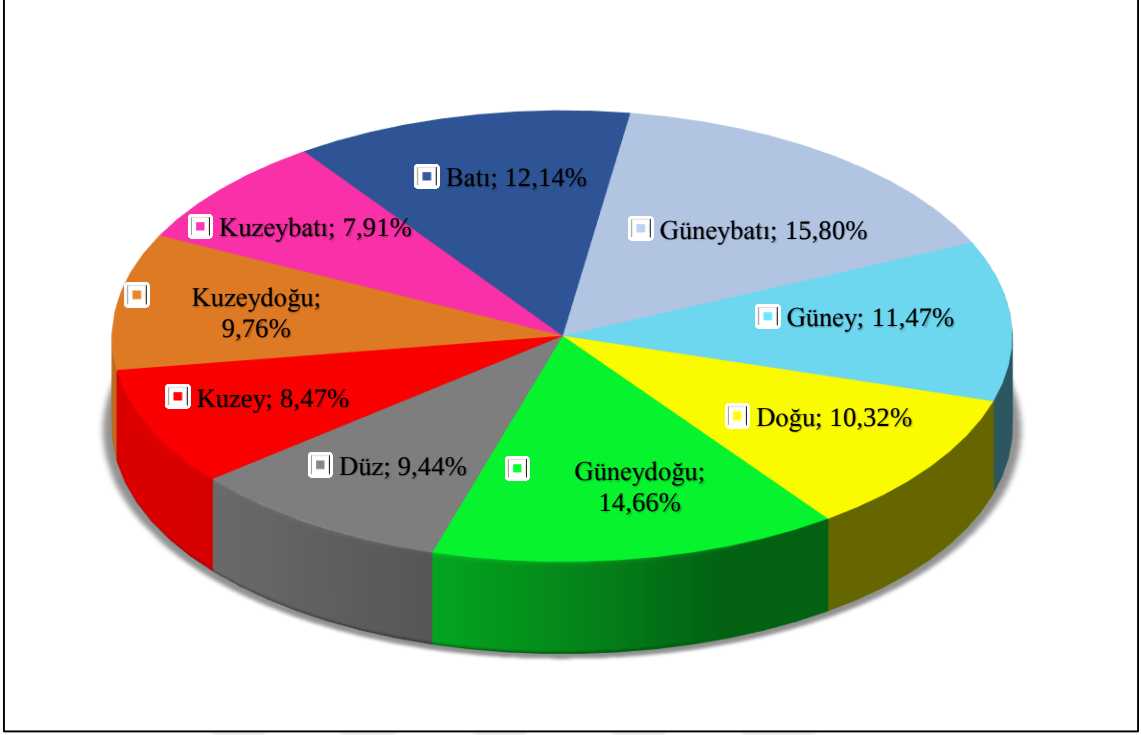
Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023

Çalışma sahasının bakı analizine bakıldığında; yaklaşık %9,5 düzlük, %42 güneye yönelimli iken %27’i kuzey yönelimli yamaçlardan oluştuğu görülmektedir (Tablo 2, Grafik 4).

Bakı Yönleri	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılımı (%)
Düz	216,71	9,44
Kuzey	194,43	8,47
Kuzeydoğu	224,20	9,76
Kuzeybatı	181,72	7,91
Batı	278,87	12,14
Güneybatı	363,37	15,82
Güney	263,45	11,47
Doğu	236,99	10,32
Güneydoğu	336,60	14,66
Toplam	2296,34	100

Tablo 2: Mudurnu Çayı Havzası Bakı Yönleri Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Grafik 4: Mudurnu Çayı Havzası Bakı Yönleri Oransal Dağılımı (%)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

2.3. İklim Özellikleri

Bir bölgenin ikliminin ve iklim özelliklerinin oluşmasında, o bölgede görülen atmosfer sirkülasyonu, coğrafi konum, yer şekilleri, nem, yağış, sıcaklık durumu, denizellik, karasallık, yükselti gibi bileşenlerin yıllar içinde benzerlik göstermesi etkilidir (Ustaoğlu,2018).

Türkiye’de birçok bölgesel alt iklim tipleri görülmesine rağmen egemen iklim tipi; yazı kurak ve sıcak/çok sıcak subtropikal Akdeniz iklimidir (Türkeş, 2014).

Bu araştırmada Mudurnu Çayı Havza sınırlarında bulunan meteoroloji gözlem istasyonlarına kayıtlı iklim verileri analiz edilmiş, arazi çalışmaları ve literatüre bağlı olarak yorumlanıp açıklanmıştır.

Çalışma için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Adapazarı, Akyazı, Hendek, Mudurnu gözlem istasyonlarına ait 2000-2020 yıllarının iklim verileri alınarak sıcaklık, yağış ortalamaları analiz edilmiştir (Tablo 3, Grafik 5).

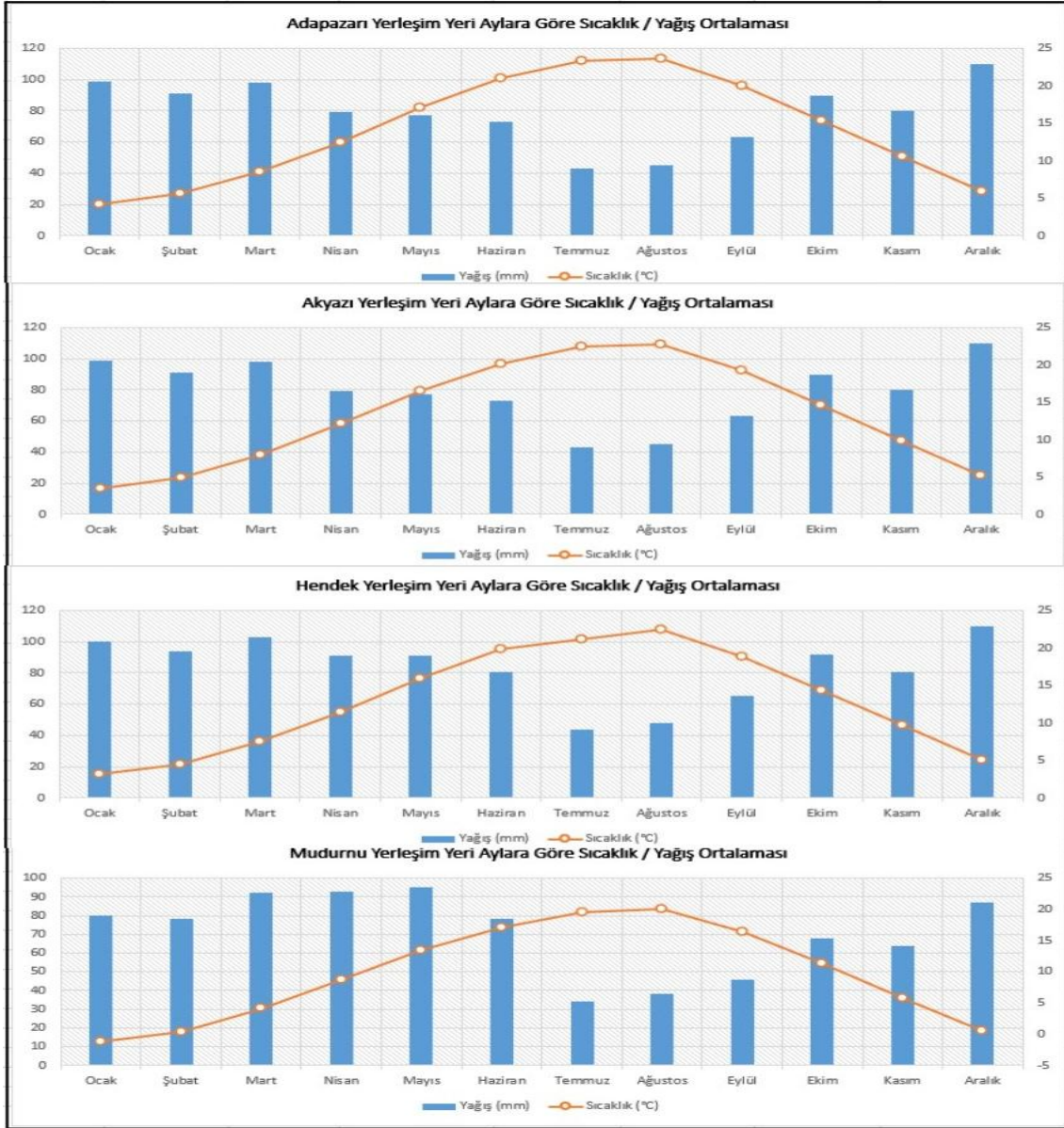
İstasyon	Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Adapazarı	Sıcaklık	4,1	5,6	8,5	12,5	17,1	21	23,3	23,6	20	15,3	10,6	5,9
	Yağış (mm)	99	91	98	79	77	73	43	45	63	90	80	110
Akyazı	Sıcaklık	3,5	4,9	7,9	12,1	16,5	20,2	22,5	22,8	19,3	14,6	9,9	5,2
	Yağış (mm)	99	91	98	79	77	73	43	45	63	90	80	110
Hendek	Sıcaklık	3,2	4,5	7,5	11,5	16	19,8	22,1	22,4	18,9	14,3	9,7	5
	Yağış (mm)	100	94	103	91	91	81	44	48	65	92	81	110
Mudurnu	Sıcaklık	-1,2	0,4	4,1	8,8	13,5	17	19,6	20	16,4	11,4	5,7	0,6
	Yağış (mm)	80	78	92	93	95	78	34	38	46	68	64	87

Tablo 3: Mudurnu Çayı Havzası Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tutarları

Kaynak: MGM 2000-2020 yılları verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Mudurnu Havzası sınırları gereği, Sakarya ve Bolu ilinin iklim özelliklerine sahiptir. Bu nedenle havzada hem Marmara Bölgesi'nin hem de Karadeniz Bölgesi'nin iklim özellikleri görülmektedir. Kuzeyden Karadeniz'in batıdan Marmara Denizi'nin etkisiyle bölge çoğunlukla bol yağış almaktadır. Yağışlar kış mevsiminde yüksek kesimlerde kar şeklindedir. Yağışın en düşük olduğu mevsim yaz, en yüksek olduğu mevsim ise kıştır. (Tablo 3, Grafik 5).

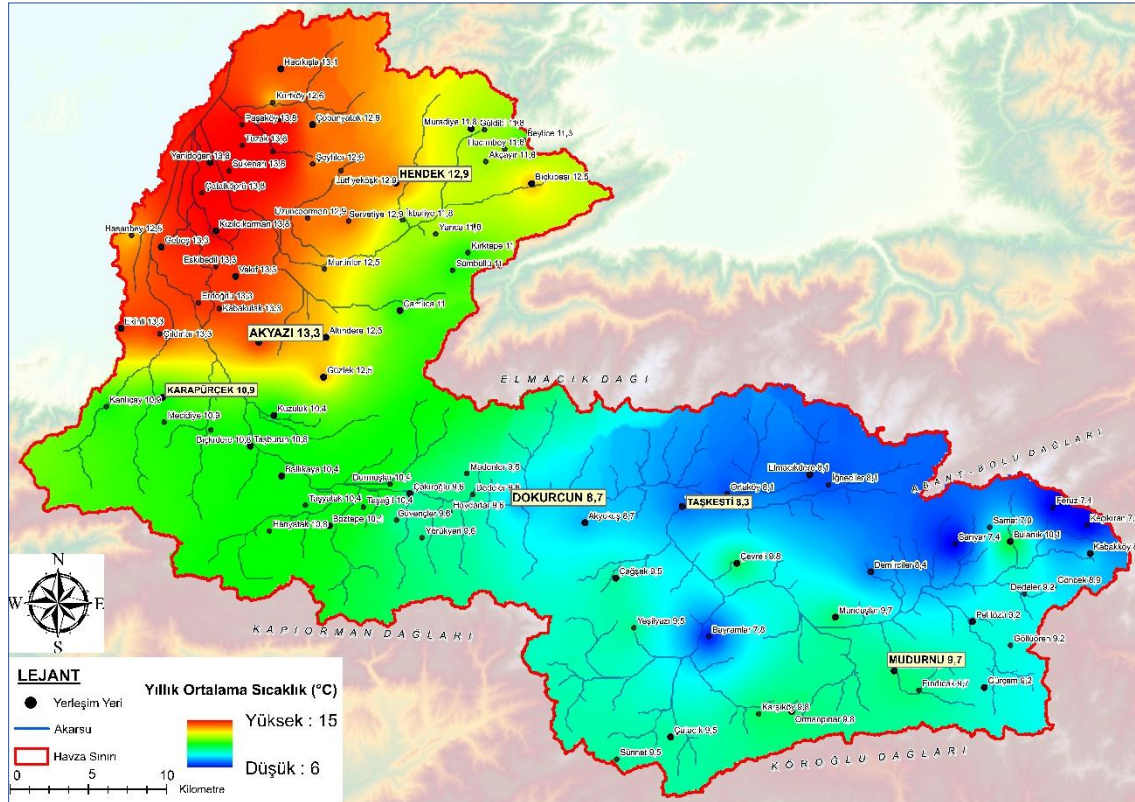
Ortalama yıllık yağış miktarı 930 mm'dir. Sıcaklık ortalamalarının en yüksek olduğu ay mevsime ve bölgenin iklimine uygun olarak ağustos en düşük olduğu ay ise ocak ayıdır. Havzanın yıllık ortalama sıcaklığı 10,9 °C'dir. Elde edilen istasyon verilerine göre Adapazarı istasyonu, yıllık ortalama sıcaklık 14,0 °C, en sıcak 21,6 °C ile ağustos ayı, en düşük sıcaklık 4,1 °C ile ocak ayı, yıllık ortalama yağış 948 mm, en kurak at 43 mm ile temmuz ayı, 110 mm ile aralık ayı, Akyazı istasyonu, yıllık ortalama sıcaklık 13,3 °C, en sıcak 22,8 °C ile ağustos ayı, en düşük sıcaklık 3,5 °C ile ocak ayı, yıllık ortalama yağış 948 mm, en kurak at 43 mm ile temmuz ayı, 110 mm ile en yağışlı aralık ayı, Hendek istasyonu, yıllık ortalama sıcaklık 12,9 °C, en sıcak 22,4 °C ile ağustos ayı, en düşük sıcaklık 3,2 °C ile ocak ayı, yıllık ortalama yağış 1000 mm, en kurak at 44 mm ile temmuz ayı, 110 mm ile en yağışlı aralık ayı, Mudurnu istasyonu, yıllık ortalama sıcaklık 9,7 °C, en sıcak 20,0 °C ile ağustos ayı, en düşük sıcaklık -1,2 °C ile ocak ayı, yıllık ortalama yağış 853 mm, en kurak ay 34 mm ile temmuz ayı, 95 mm ile en yağışlı aralık ayı olmuştur (Tablo 3, Grafik 5).



Grafik 5: Aylık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tutarları (2000-2020)

Kaynak: MGM 2000-2020 yılları verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

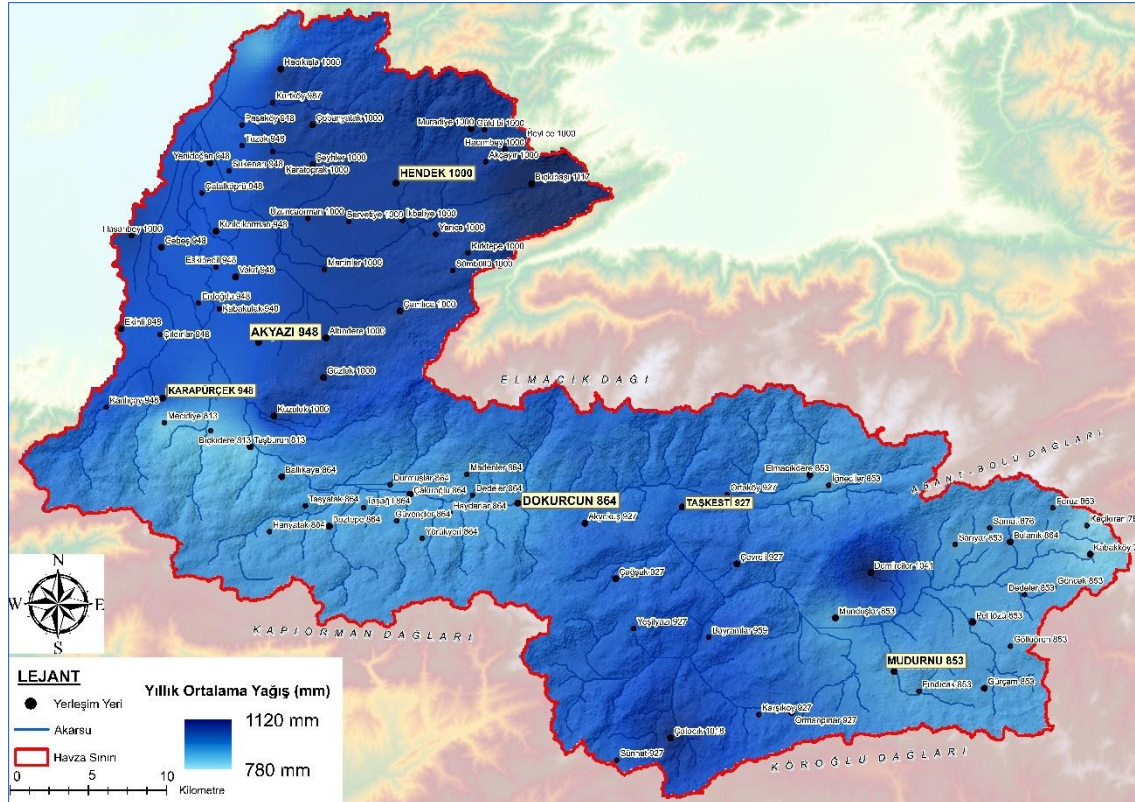
Sıcaklık dağılımını belirlemek için hazırlanan haritalarda Adapazarı, Akyazı, Hendek, Mudurnu yerleşim yerlerine ait meteoroloji gözlem istasyonlarının ortalama sıcaklık, yağış verileri ve climate-data internet sitesinde yer alan havzada bulunan 80 konumun meteoroloji verisi referans olarak kullanılmıştır. Sıcaklığın alansal dağılımında ArcGIS yazılımı Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) ile değerlendirilmiştir (Harita 10-11).



Harita 10: Mudurnu Çayı Havzası Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Elde edilen veriler ve çalışmalar doğrultusunda Mudurnu Çayı Havzası yıllık ortalama sıcaklık haritasını incelediğimizde, çalışma alanının yükselti ve bakı koşulları nedeniyle sıcaklık tutarlarının farklı dağıldığı görülmektedir. Havzanın batısında yıllık ortalama sıcaklıklar 15 °C civarındayken, havzanın doğu yönüne ilerledikçe yükseltinin artışına bağlı olarak yıllık ortalama sıcaklık değerleri 6 °C kadar düşmektedir (Harita 10).



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Elde edilen veriler ve çalışmalar ışığında Mudurnu Çayı Havzası'nın yıllık ortalama yağış haritasını incelediğimizde; çalışma alanının jeomorfolojik özellikleri, konumu, Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesinin iklim özelliklerine paralel şekilde dağılış gösterdiği görülmektedir. Bölgede yer alan yerleşim yerlerinin yıllık ortalama yağış miktarının birbirine yakın olduğu saptanmıştır (Harita 11).

2.4. Doğal Bitki Örtüsü

Bitkiler, ekosistemin temel elemanlarından birini oluşturur. Bitkiler fotosentez yaparak birçok tüketicinin(canlının) doğrudan beslenmesini sağlayarak enerji-madde sirkülasyonunda önemli rol oynamaktadır (Atalay, 1994). Bitkiler, yeryüzünde coğrafi koşullara bağlı olarak tek tek bulunabilmekle beraber genellikle topluluklar halinde yayılım gösterir (Dönmez, 1985).

Türkiye; Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan flora bölgelerinin birleştiği yerde, Avrupa ile Güneybatı Asya arasında geçiş alanı olduğundan birçok bitki cinsi ve türünün gen merkezidir. Bu nedenle floristik bakımdan oldukça zengindir. Ülkemizin coğrafî

konumu ve yerel ekolojik şartlarının etkisiyle meydana gelen floristik zenginlik bitki topluluklarına da yansır (Koç, 2018).

Mudurnu Çayı Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinden kaynaklanan yükselti farkı, dağların uzanış yönü, bakı, eğim gibi topoğrafik elemanlar iklim, toprak ve beşerî faaliyetleri etkilediğinden bitki örtüsünün floristik kompozisyonunu, tür zenginliğini ve bitki topluluklarını doğrudan ve dolaylı olarak etkilenmektedir. Bu durumun başlıca sebeplerinden biri kuzeyden Karadeniz'in, batıdan Marmara Denizi'nin etkisiyle yağışın fazlalığı, sıcaklık şartlarının elverişliliği ve etkili bir kurak dönemin olmayışdır.

ArcGIS yazılımı kullanılarak, Avrupa Çevre Ajansı CORINE sınıflandırmasına göre arazi zemin kullanımının tespiti amacıyla 2018 yılına ait Landsat uydu verileri kullanılarak bilgisayar destekli oluşturulan Mudurnu Çayı havzası arazi örtüsü/zemin kullanım sınıfları alansal ve oransal dağılımı tablosunu incelediğimizde, havza alanının %1,13'ünü şehir yapıları, %0,36'sını endüstriyel, ticari ve taşıma birimleri, %0,07'sini maden alanları, 0,01'ini tarım dışı yapay yeşil alanlar, % 9,09'unu ekilebilir alanlar, %8,59'unu sürekli ürünler, %0,61'ini meralar, %21,04'ünü heterojen tarım alanları, %51,11'ini ormanlar, %7,4'ünü fundalık veya otsu bitkilerin karışım alanları, %0,53'ünü az veya hiç bitki içermeyen çıplak alanlar, %0,07'sini su yüzeyleri oluşturmaktadır (Tablo 4).

Arazi Örtüsü / Zemin Kullanım Sınıfları	Alansal Dağılım (km²)	Oransal Dağılımı (%)
1.1. Şehir Yapısı	25,92	1,13
1.2. Endüstriyel, Ticari ve Taşıma Birimleri	8,25	0,36
1.3. Maden Alanları	1,58	0,07
1.4. Tarım Dışı Yapay Yeşil Alanlar	0,21	0,01
2.1. Ekilebilir Alanlar	208,56	9,09
2.2. Sürekli Ürünler	197,35	8,59
2.3. Meralar	13,96	0,61
2.4. Heterojen Tarım Alanları	483,23	21,04
3.1. Ormanlar	1.173,58	51,11
3.2. Fundalık veya Otsu Bitki Karışım Alanları	169,82	7,40
3.3. Az veya Hiç Bitki İçermeyen Çıplak Alanlar	12,24	0,53
5.1. Su Alanları	1,53	0,07
TOPLAM	2296,34	100,00

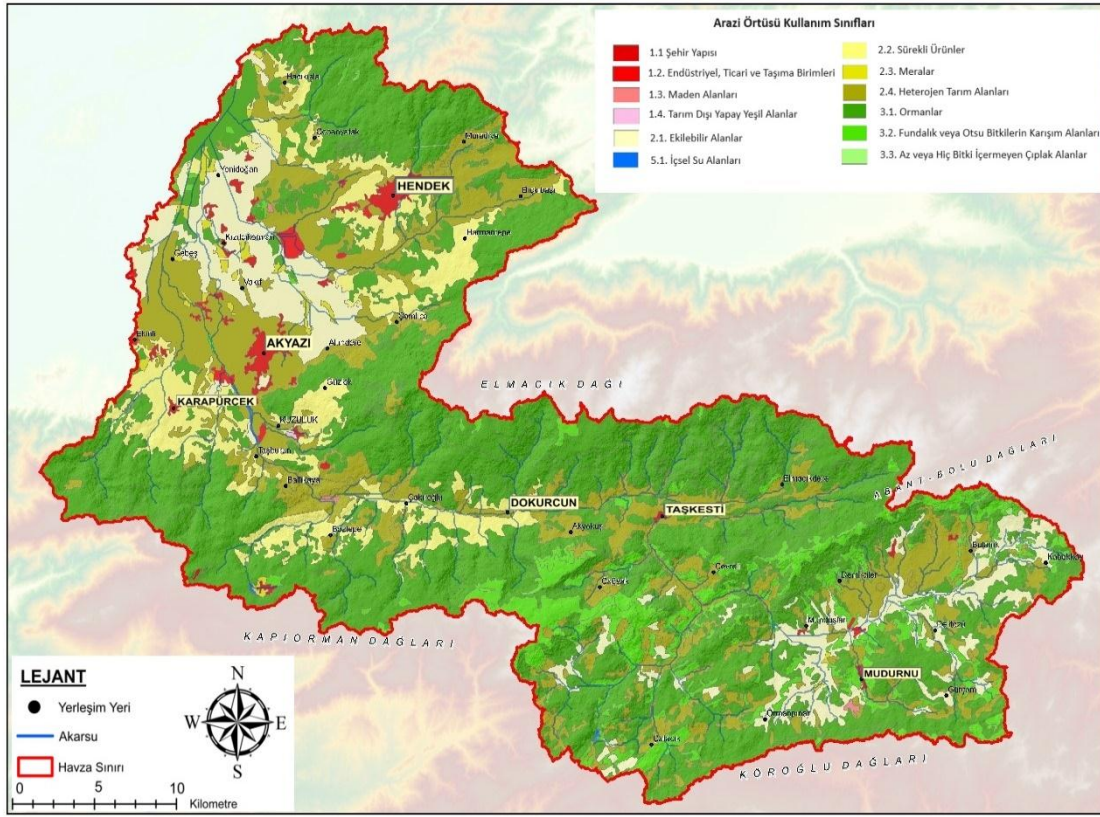
Tablo 4: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Topografyanın çeşitlilik gösterdiği sahalarda diğer ekolojik özelliklerde meydana gelen değişimler nedeniyle bitki örtüsü çeşitlilik gösterir. Dağlık bölgelerde, yükseltinin artmasıyla birlikte sıcaklık ve yağış koşullarında meydana gelen değişimler bitki örtüsünde belirgin bir kademelenmeye yol açar. Sıcaklık isteyen bitkilerin alt kesimlerde, sıcaklığa daha az ihtiyaç duyan bitkilerin ise üst kesimlerde yayılış gösterdiği görülmektedir. Yükseltinin artmasına bağlı olarak orman katı yerini ağaçlık alanların seyrek görüldüğü Alpin katına bırakır. Daha da yükseklerde bitkiye rastlanmaması bitki yetişecek şartların uygun olmamasıdır. Bu bilgilerden hareketle bitki örtüsü üzerinde dağların büyük bir etkisi olduğu söylenilebilir. Dağlardan sonra bitki örtüsünü bariz bir şekilde etkileyen faktörler vadiler ve depresyonlardır. Farklı morfolojik birimlerin olduğu sahalarda makroklima alanların oluşmasına zemin hazırlar. Bu gibi makroklima alanları relik ve endemik bitki türlerine ev sahipliği yapar (Atalay, 2014, Dönmez, 1985, Erinç, 1977, Koç, 2018).

Kuzey sektörlü rüzgârlar vasıtasıyla Karadeniz üzerinden gelen nemli hava, Adapazarı Ovası boyunca içeri doğru sokulur. Bu durum sahada nemli ormanların hâkim olmasında etkilidir. Ayrıca sahadaki Kapıorman, Abant-Bolu, Köroğlu Dağları ve Elmacık Dağı gibi dağlık sahalarda yükseldikçe sıcaklığın azalması ve yağışın artmasına bağlı olarak bitki örtüsünün yatay ve dikey yönde dağılışı çeşitlilik gösterir (Harita 12).

Havzanın büyük kısmında orman ve yarı doğal alanlar etkilidir. Havzanın güneydoğu kısmı olan Köroğlu Dağları'nda yükselti ve sıcaklık etkisiyle kozalaklı ağaç ormanları, doğal bitki örtüsüyle birlikte tarım alanları ve sulanmayan tarımsal araziler, güney kısmı olan Kapıorman Dağları'nda karışık ormanlar, geniş yapraklı ormanlar ile doğal bitki örtüsüyle birlikte tarım alanları, kuzeydoğu kısmı olan Elmacık Dağı kısmında Kapıorman Dağları kısmıyla benzer özellikte bitki örtüsü, havzanın Akova, Adapazarı Ovası kısmı olan bölgelerde ise şehirleşmenin de etkisiyle bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlar ve tarım alanları geniş yer kaplamaktadır.



Harita 12: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları (Düzey 2)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Mudurnu Çayı Havzası'nda kayın, meşe, göknar, karaçam, kızılğaç, ıhlamur, kestane, çınar gibi orman formasyonuna ait ağaç türleri, ormanların tahrip edilmesi sonucu akçağaç, kavak, fındık nemcil çalı toplulukları (funda, kocayemiş, muşmula, çiçekli dişbudak vb.) gibi bitkiler görülür (Görsel 6).



Görsel 6: Çalışma Alanında Görülen Bazı Bitki Türleri (a:kayın, b:meşe, c:gökknar, d:ıhlamur, d:karaçam, e:ıhlamur,f:kestane g:ceviz, h:çınar, i:fındık, j:kavak, k:kocayemiş, l:muşmula)

Kaynak: pixabay.com sitesinden fotoğraflar alınarak yazar tarafından oluşturulmuştur. E.T:15.12.2023

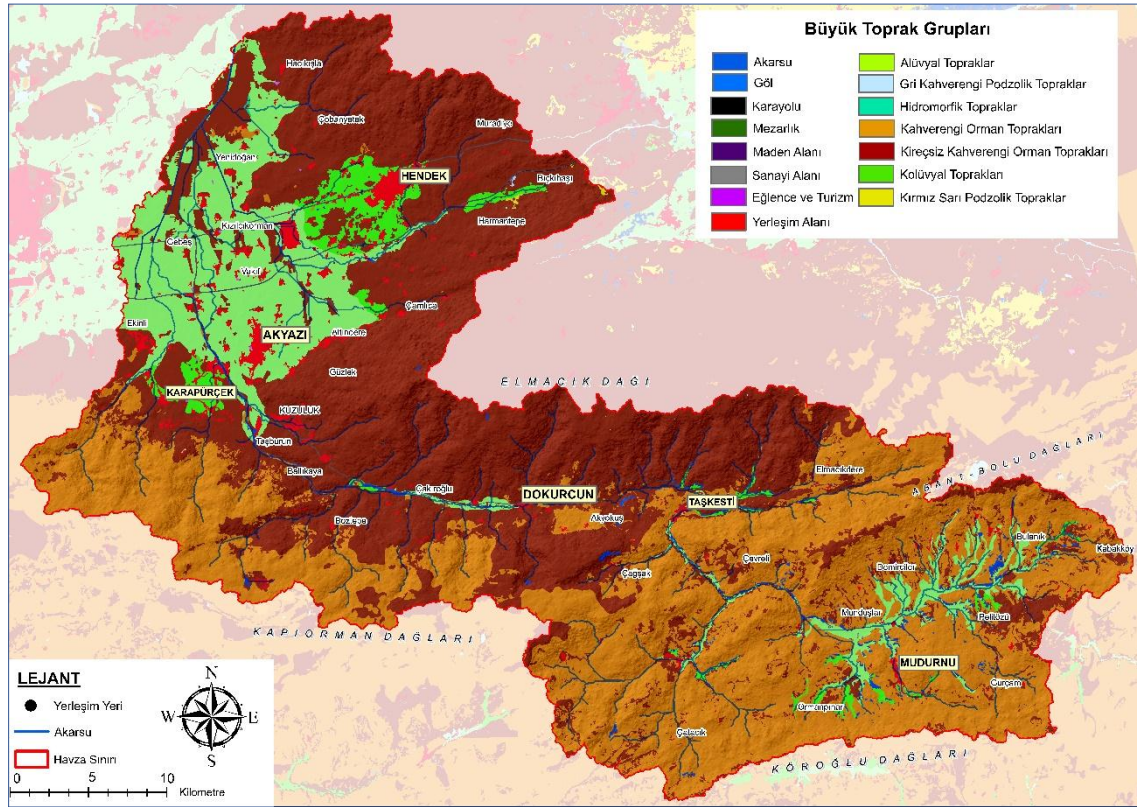
2.5 Toprak Özellikleri

Ana kayanın fiziksel parçalanmasıyla başlayan toprak oluşumu, çeşitli fiziksel ve kimyasal çözülme, organik maddenin ayrışarak toprağa karışması ve yer değiştirme olayları ile devam eden bir toprak profili meydana gelir. Toprakların horizonlaşmasında birçok etken vardır. Bu etkenlerden birkaçının hatta birinin bile etkili olmaması durumunda toprak, oluşumunu tam anlamıyla tamamlayamaz. Toprağın oluşumunda, Jenny'nin (1941) "The Factors of Soil Formation" kitabında belirttiği gibi; ana kaya (materyal) (p), iklim (cl), topografya (r), organizmalar (o) ve zaman (t) etkili faktörlerdendir.

Toprağın oluşumunda önde gelen faktör iklim koşullarıdır (Erinç, 1965, Mater, 1998, Atalay, 2006). Çünkü iklim koşulları; çözülme süreci, vejetasyon, mikroorganizma ve

diğer canlı faaliyetlerini kontrol ederek, sahanın iklim özelliklerine göre toprak tipini oluşturur. İklim koşullarını, topoğrafik özellikler ve zaman izler (Atalay, 2006).

Tarım ve Orman Bakanlığında elde edilen verilerden yararlanılarak, ArcGIS yazılımı kullanılarak oluşturulan Mudurnu Çayı Havzası büyük toprak grupları (BTG) haritasını incelediğimizde alüvyal, gri kahverengi podzolik, hidromorfik, kahverengi orman, kireçsiz kahverengi orman, kolüvyal ve sarı podzolik topraklar yayılış gösterir (Harita 13).



Harita 13: Mudurnu Çayı Havzası'nda Büyük Toprak Gruplarının Dağılışı

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışma alanında %45,21 oranla kireçsiz kahverengi orman topraklarının havzanın kuzey kesiminde ve Akova'nın doğu kesimi olan Elmacık Dağları kesiminde, %37,35 oranla kahverengi orman toprakları havzanın güney kesimi olan Kapiorman Dağları ve Köroğlu Dağları ile Abant- Bolu Dağları kesiminde, %11,37 oranla alüvyal toprakların ise Akova ile Mudurnu Ovası kesiminde görülmektedir (Harita 13) (Tablo 5).

Büyük Toprak Grupları	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılımı (%)
Alüvyal Topraklar	261,17	11,37
Gri Kahverengi Podzolik Topraklar	0,16	0,01
Hidromorfik Topraklar	0,29	0,01
Kahverengi Orman Toprakları	857,77	37,35
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	1038,09	45,21
Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar	0,64	0,03
Kolüvyal Toprakları	58,21	2,53
Göl	0,93	0,04
Akarsu	20,70	0,90
Maden Alanı	0,02	0,00
Mezarlık	0,20	0,01
Eğlence ve Turizm	0,46	0,02
Yerleşim Alanı	51,20	2,23
Sanayi Alanı	0,56	0,02
Karayolu	5,94	0,26
TOPLAM	2296,34	100,00

Tablo 5: Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

2.5.1 Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları

Kireçsiz kahverengi orman toprakları günümüzde ormanların tahribatı sonucunda antropojen bozkırların yerini aldığı eski bir toprak türünü oluşturmaktadır. Atalay (1989), yaptığı çalışmada günümüzden yaklaşık 75-80 yıl öncesine kadar oldukça gür olan meşe ormanlarının bulunduğu bu alanda asit reaksiyon gösteren podzolik karakterli kahverengi orman topraklarının geliştiğini vurgulamıştır. Bahsedilen bu ormanların tahribatı sonucunda ayrışmaya uğramış C horizonunun aşınma sonucunda derin yarıklar ve oyuntular ile parçalanması erozyon için ortam hazırlamıştır. Meşe ormanlarının altında bulunan bu topraklar daha çok bitki örtüsünün tahribatıyla birlikte eğimli arazi ve yağışların etkisiyle yarıntı erozyonuna maruz kalmaktadırlar. Bunun sonucunda toprağın üst horizonları taşınmaya uğramaktadır. A horizonunun direkt C horizonuna geçtiği bu toprak tipindeki en büyük sorun erozyon olarak belirlenmiştir (Özdemir, 1994).

2.5.2 Kahverengi Orman Toprakları

Kahverengi orman toprakları, yeryüzü üzerinde orta enlem üzerinde ve genellikle ormanlık alanlarda yayılış göstermektedir. Toprak oluşumunda henüz başlangıç, erken yaşta olan kahverengi orman toprakları genelde A ve B katmanlarından oluşur. Toprak

profili incelendiğinde calcic (kireç birikimli) ve gypsic (sodyum sülfat birikimi) horizonları görülebilir. Tropikal alanlarda ise şiddetli ayrışma nedeniyle kırmızı- sarı podzolik topraklara benzer (Mater, 1998).

2.5.3. Alüvyal Topraklar

Bu topraklar deltalar, haliçler ve kıyılardaki genç alüvyal depolar üzerinde oluşur ve görülür. Genellikle genç, taze toprak olarak da tanımlanabilir. Toprak katmanları belirgin olmamakla beraber genel olarak A katmanı ve en üstte organik madde katmanlarına sahiptir. Dünyanın neredeyse her bölgesinde farklı doğal bitki örtüsü altında çeşitli toprak türleri bulunabilir. Bu topraklar, tanecik boyutları yanında tabakalaşma gibi çeşitli özellikler gösterebilir. Bu tabakalaşma, farklı doğal süreçlerin etkisiyle oluşabilir ve toprağın bileşimi, mineral içeriği ve diğer özelliklerinde belirgin farklılıklar gösterir. Oluşum süresi bakımından genç yaşıdır. Akarsu birikim sürecinin süreklilik gösterdiği alanlarda bulunur (Mater,1998).



Görsel 7: Çalışma Alanında Görülen Toprak Türleri (a: kirecsiz kahverengi orman toprağı, b: kahverengi orman toprağı, c: alüvyal toprak)

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023

2.6. Jeolojik ve Jeomorfolojik Gelişim Özellikleri

Mudurnu Çayı Havzası'nın genel jeomorfolojik görünümü, tektonik geçmişi, farklı özelliklere sahip kayaçların etkisi ve akarsu aşındırması ile oluşmuştur.

Havzanın kuzeyinde 1830 metre yükseltiye sahip Elmacık Dağı, kuzeydoğu kesiminde 1760 metre yükseklikte Abant-Bolu Dağları, güney ve güneydoğu kesiminde Koroğlu Dağları ile güney ve güneybatı kesiminde 1590 metre yüksekliğe sahip Kapıorman Dağları bulunmaktadır. Havzanın kuzeybatı sınırını oluşturan Adapazarı Ovası, Mudurnu Çayı Havzası'nın aşağı kısmını oluşturan Akova geniş düzlüklere sahiptir.

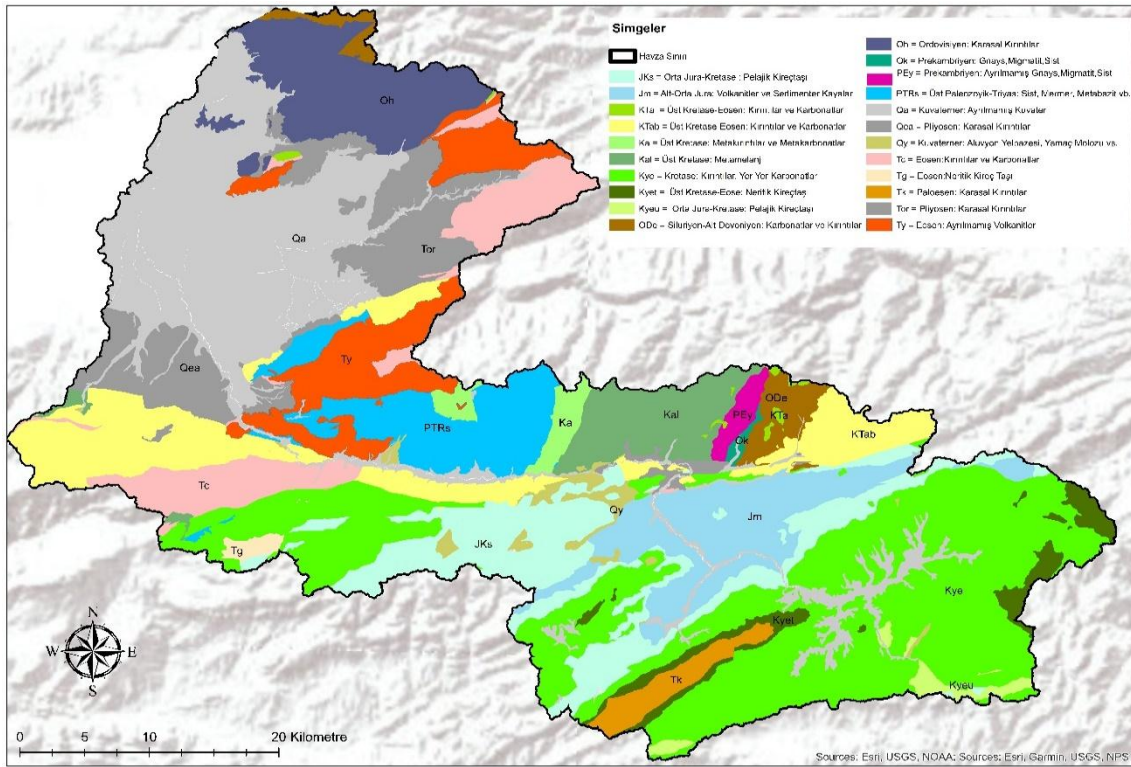
Çalışma alanının erozyona sebep olan etkenleri belirleme aşamasında, erozyon görülen alanın litolojik geçmişi önemli bir role sahiptir. Litolojik formasyonların dağılışı ile fiziksel ve kimyasal yapısı toprak gelişiminde etkili olmaktadır.

Çalışma alanında Yedigöller Formasyonu, Prekambriyen yaşında ve üzerinde Alt Ordovisiyen yaşlı Kurtköy Formasyonu bulunmaktadır. Bu durum, sahanın Ordovisiyen'in başlarında kara olduğunu gösterir. Sahanın güneyinde Liyasyen Dönemi'nde riftleşme başlamış ve Üst Jura Dönemi'nin sonuna doğru bir karbonat platformu oluşmuştur. Kampaniyen'de devam eden yavaş alçalım, fliş istifine çekim kayması yoluyla ofiyolit, metaofiyolit ve mavi şist bloklarının yerleşmesiyle sürmüştür. Sakarya Kıtası ile Batı Pontidler arasındaki sıkışma rejimi, retroşaryajlar oluşturarak Pontidler'in ön ucundaki dilimleri yükseltmiş ve geriye doğru ilerletmiştir. Eosen sonunda, Pontidler ve Sakarya Kıtası'nın çarpışmasıyla bölge tamamen karaya dönüşmüştür. Orta Miyosen sonu-Üst Miyosen'de, Arabistan levhası ile Anadolu levhası arasındaki kıta-kıta çarpışması Neotektonik Dönemi başlatmıştır. Geç Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayı'nın gelişimiyle birlikte drenaj ağı da gelişmeye başlamıştır. Elmacık-Kapıorman Dağları'nın yükselme tarihi 34-18 milyon yıl arasına sınırlanmıştır ve güncel yükselme hızı 0.65 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1981, Abdüsselamoğlu, 1959, Emre vd., 1998, Paluska vd., 1989, Erturaç, 2012).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünden (MTA) temin edilen sayısal jeoloji verisi ArcGIS yazılımına aktararak düzenlenen ve çalışma alanına ait oluşturulan jeoloji haritası şekil 26'da gösterilmiştir.

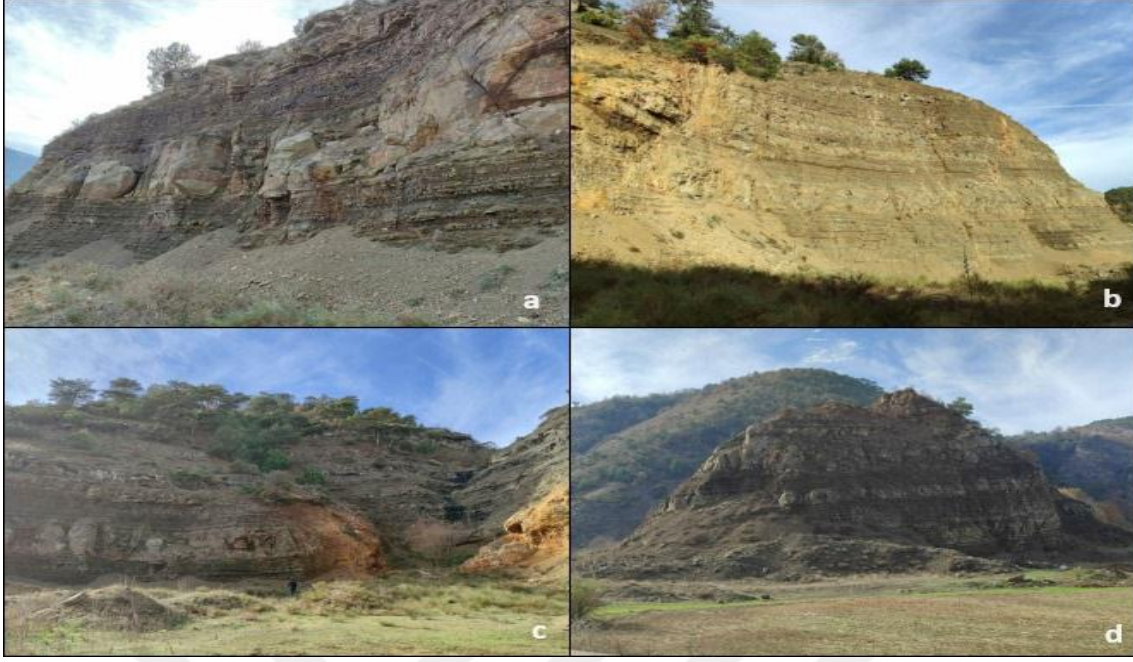
Çalışma alanına ait jeoloji haritası incelendiğinde; Adapazarı, Erenler, Hendek, Akyazı, Karapürçek ilçelerinde yer alan Akova/Adapazarı Ovası'nda Kuvaterner Dönemi'ne ait ayrılmamış Kuvaterner tortulları ve alüvyon yelpazesi ile pliyosen Dönemi'ne ait karasal

kırıntılar bulunmaktadır. Havzanın orta kesimi olan Elmacık Dağı ve Kapıorman Dağları arasında kalan kısımda ise Üst Paleozoyik-Trias Dönemi'ne ait sist, mermer, metebazit gibi kayalar görülmektedir. Üst Kretase Dönemi'nden metakırıntılar, metakarbonatlar ve metemelanj oluşumları da bu bölgede yer almaktadır. Havzanın güneydoğu kesiminde, Abant-Bolu ve Köroğlu Dağları kısmında ise Alt-Orta Jura Dönemi'nden pelajik kireçtaşı, volkanitler, sedimenter kayalar, Prekambriyen Dönemi'nden gneys, migmatit, sist ve Kretase Dönemi'ne ait kayalar ile yer yer karbonat oluşumları gözlemlenmektedir (Harita 14).



Harita 14: Mudurnu Çayı Havzası Jeoloji Haritası

Kaynak: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.



Görsel 8: Mudurnu Çayı Havzası Jeolojik Yapılardan Kesitler (a: ekinören köyü mevki, b: ekinören köyü mevki, c: güventepe köyü mevki, d: çavuşdere köyü mevki)

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023

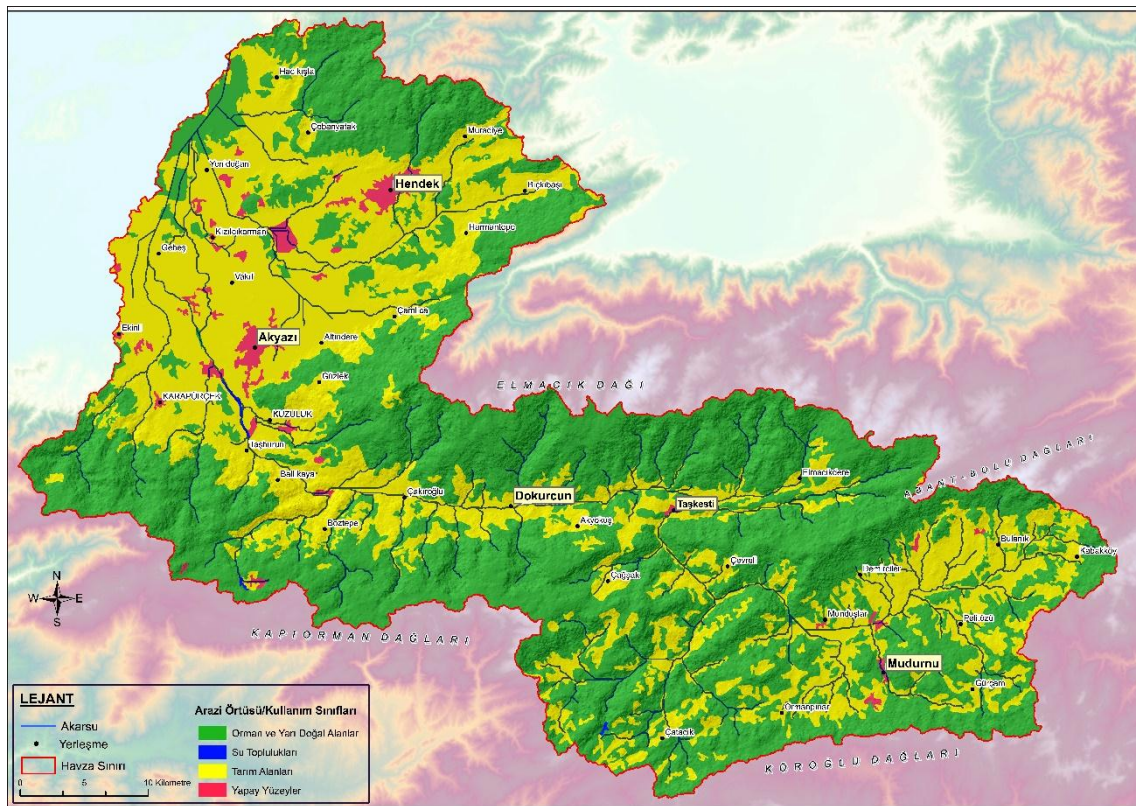
2.7. Arazi Örtüsü

Her arazi parçası bulunduğu bölgenin iklim, topoğrafya (eğim, yükseklik, bakı), toprak ve ana materyal özelliklerine bağlı olarak birtakım sınıflara ayrılmaktadır. ArcGIS yazılımı kullanılarak, Avrupa Çevre Ajansı CORINE sınıflandırmasına göre arazi kullanımını belirlemek 2018 yılına ait Landsat uydu verileri kullanılarak bilgisayar destekli Mudurnu Çayı Havzası arazi örtüsü/zemin kullanım sınıfları haritası oluşturulmuştur (Harita 12). Oluşturulan arazi örtüsü/zemin kullanım sınıfları haritası düzey 1 arazi örtüsü sınıflamasına göre dört gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar;

- ✓ Yapay Yüzeyler; şehir yapıları, sürekli şehir yapıları, kesikli ve süreksiz şehir yapıları, endüstri, ticaret ve ulaşım birimleri, endüstriyel ve ticari birimler, karayolları, demiryolları ve ilgili alanlar, limanlar, havaalanları, maden ocağı, boşaltım ve inşaat sahaları, maden çıkarım sahaları, boşaltım sahaları, inşaat sahaları, yapay, tarımsal olmayan yeşil alanlar, yeşil şehir alanları, spor ve eğlence alanlarını kapsamaktadır.
- ✓ Tarım Alanları; Ekilebilir alan, sulanmayan ekilebilir alanlar, sürekli sulanan alanlar, pirinç tarlaları, sürekli ürün alanları, üzüm bağları, meyve bahçeleri, zeytinlikler, meralar, mera alanları, karışık tarımsal alanlar, sürekli ürünlerle birlikte bulunan

senelik ürünler, karışık tarım alanları, doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları, ormanla karışık tarım alanlarını kapsamaktadır.

- ✓ Orman ve Yarı Doğal Alanlar; Geniş yapraklı ormanlar, iğne yapraklı ormanlar, karışık ormanlar, maki ve otsu bitkiler, doğal çayırliklar, fundaliklar, bitki değişim alanları, bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kaplı alanlar, Sahiller, kumsal ve kumluklar, çıplak kayaliklar, seyrek bitki alanlarını kapsamaktadır.
- ✓ Sulak Alanlar; Su yolları, göller, akarsular, deniz suları, deltalar, okyanus gibi alanları kapsamaktadır.



Harita 15: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları (Düzey 1)

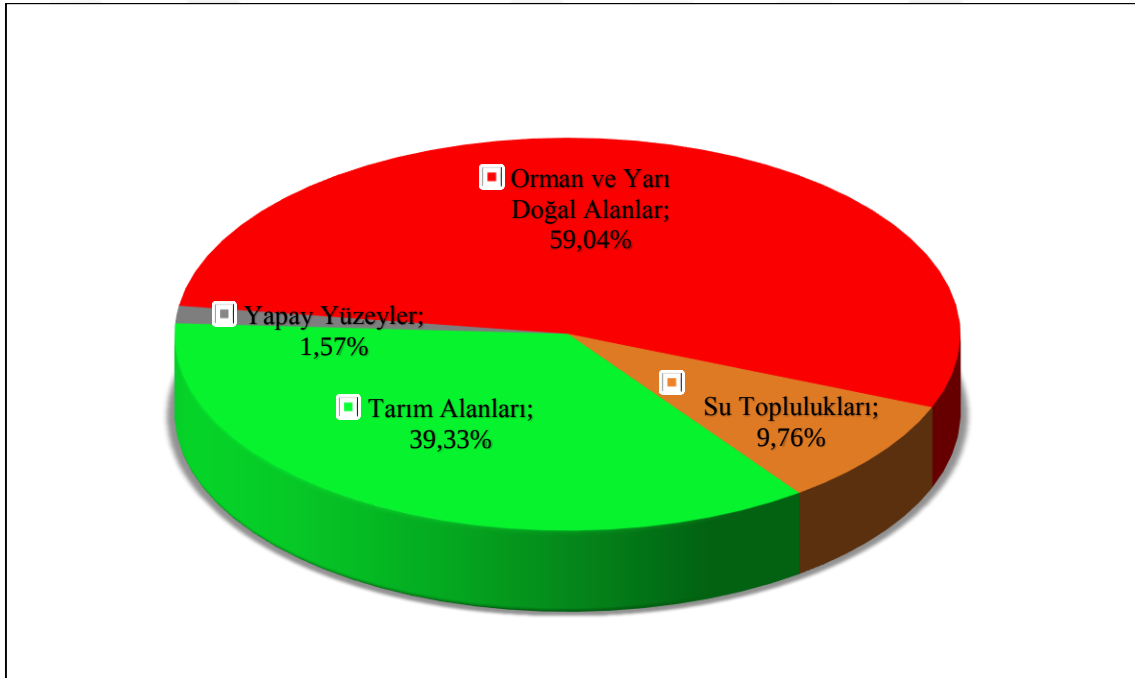
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Oluşturulan arazi örtüsü kullanım sınıfları alansal ve oransal dağılım haritasını incelediğimizde, havza alanının %1,57'sini şehir yapıları, endüstriyel ve karayolu, demiryolu gibi yapay yüzeyler, %39,33'ünü karışık, doğal bitki örtüsü ile birlikte tarım yapılan alanlar, meyve bahçeleri gibi tarım alanları, %59,04'ünü geniş yapraklı, kozalaklı ağaç, karışık ormanlar, çalılık, seyrek bitkili alanlar gibi orman ve yarı doğal alanlar, %1,57'sini su yüzeyleri oluşturmaktadır (Tablo 6, Harita 15).

Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfları	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılımı (%)
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	1355,65	59,04
Su Toplulukları	1,53	0,07
Tarım Alanları	903,09	39,33
Yapay Yüzeyler	36,07	1,57
TOPLAM	2296,34	100,00

Tablo 6: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı (Düzey 1)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Grafik 6: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Oransal Dağılımı (Düzey 1)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3. BÖLÜM: VERİ VE YÖNTEM

İnsan çevre ilişkilerini incelemeyi kendine konu edinen coğrafya bilimi, insan faaliyetlerinin doğal ortam üzerindeki etkilerine bağlı olarak gelişen toprak erozyonu konusuna ilgi duyar ve araştırır. Toprak erozyonu araştırmaları gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çeşitli dijital tahmin modelleri ile incelenmektedir.

Çalışma sahasının sınırları belirlendikten sonra tezler, dergiler, makaleler araştırılarak çalışmanın ilk aşaması meydana getirilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda önceki araştırmalarda kullanılan erozyon modelleri incelenmiştir. Bu incelemeye bağlı olarak CBS teknolojilerine uygun ve veri temin edebildiğimiz RUSLE yönteminin en uygun model olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada; RUSLE yöntemi ile erozyon duyarlılık tahmini için gerekli jeolojik, topoğrafik, iklimik, hidrografik ve çevresel olmak üzere beş temel veri grubu hazırlanmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından sağlanan uydu, radar, hava görüntüleri içerisinden SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükselti (SYM)-Digital Elevation (DEM) verisi ve Harita Genel Komutanlığı'na ait 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritaları, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından hazırlanan sayısal toprak verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2000-2020 yıllarına ait meteoroloji verileri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden temin edilen jeoloji verileri, Avrupa Çevre Ajansı CORINE sınıflandırmasına göre arazi zemin kullanımının tespiti amacıyla 2018 yılına ait Landsat uydu görüntüleri gibi elde edilen tüm veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamına aktarılmıştır.

Üretilen tüm veri ve parametreler birlikte analiz edilebilmesi için mekânsal referansları eşitlenmiştir. Ortak standartlara dönüştürülen veriler çalışma alanına ait haritaların (lokasyon, topoğrafya, eğim, bakı, sıcaklık, yağış, arazi örtüsü, toprak grupları, jeoloji vb.) oluşturulması ve RUSLE yöntemine göre analizlerin gerçekleştirilmesinde ve haritaların (R Faktörü, K Faktörü, LS Faktörü, C Faktörü, Erozyon Duyarlılık) oluşturulmasında kullanılmıştır.

Bu veriler ArcGIS yazılımında RUSLE yöntemine göre analiz edilmiş olup ayrıca detaylı arazi çalışmaları ile üretilen bulgular desteklenmiştir.

4. BÖLÜM: BULGULAR

4.1. Revize Edilmiş Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE)

Erozyon üzerine yapılan tahmin çalışmaları 1930'lu yıllarda başlamış olup ilk olarak ABD'nin Mısır Kuşağı olarak bilinen sahada bazı araştırmacılar tarafından kantitatif bir yöntem olarak gelişme göstermiştir. 1946 yılında Ohio'da bir grup erozyon uzmanı kantitatif yaklaşımda kullandıkları parametrelere yağış faktörünü de ekleyerek daha pratik ve uygulanabilir bir denklem geliştirmeyi başarmışlardır. ABD Tarımsal Araştırma Servisi erozyon durumunu güncellemek, verileri kayıt altında tutmak ve bir araya getirmek amacıyla Purdue Üniversitesinde Ulusal Yüzey Akış ve Toprak Kaybı Bilgi Merkezi'ni 1954 yılında kurmuşlardır. 1965 yılına gelene kadar birçok pilot bölgede uygulanan toprak erozyonu çalışmaları sonucunda Evrensel Toprak Kaybı Denklemi olarak bilinen USLE denklemi oluşturulmuştur.

USLE denklemi ilk olarak tarımsal sahalarda kullanılmış 1970'li yıllarda mera ve ormanlık sahalara da uygulanmıştır. Gelişen teknolojiye paralel olarak 1987 yılında ortaya çıkan erozyonu revize etme çalışmaları da bir yandan gelişme göstermiştir. USLE denklemine yağış ve eğim-uzunluk faktörleri de eklenerek denklem geliştirilmiştir (Şekil 30). Bu denklemin güncel hali RUSLE denklemi olarak bilinmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$\text{RUSLE denklemi: } A = R \times K \times LS \times C \times P$$

A= Yıllık toplam toprak kaybı (ton/ha/yıl)

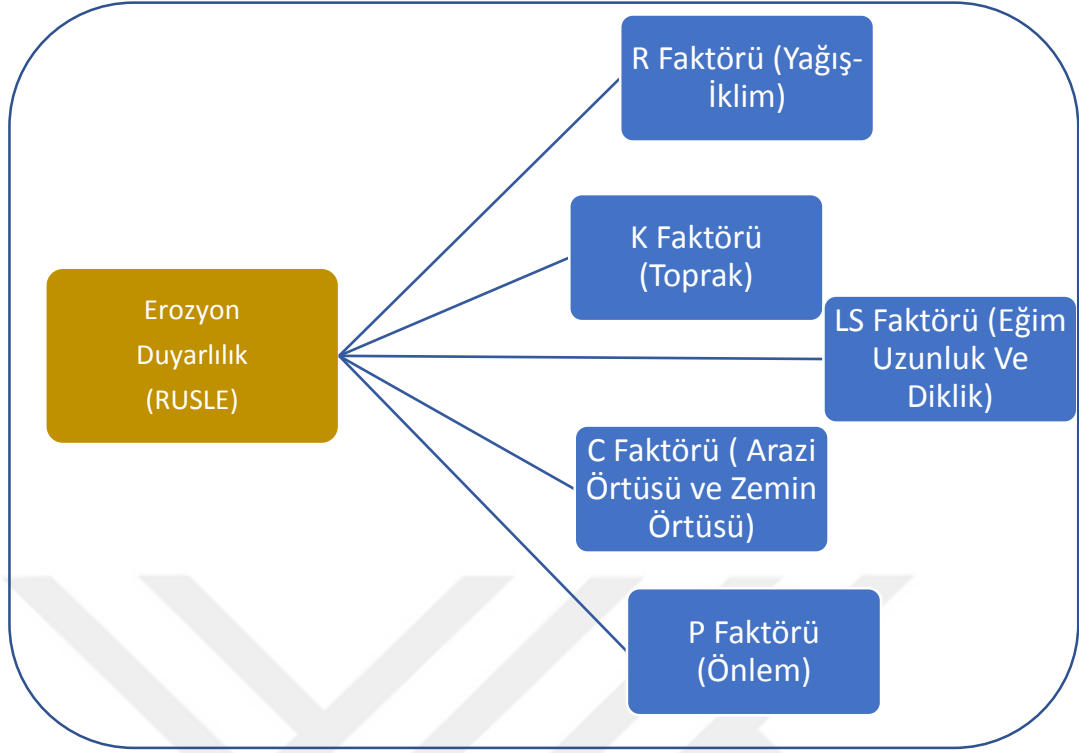
R=Yağış Eroziyon Faktörü

K= Toprak Erozyon Faktörü (Erodibilite)

LS= Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü

C= Arazi Örtüsü ve Zemin Kullanım Faktörü

P= Toprak Koruma Faktörü



Şekil 1: Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Yöntemi Akış Şeması

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.1.1. Yağış Erozi (R) Faktörü

İklimin en temel özelliklerinden birisi olan yağış, toprak gibi yeryüzünde canlı yaşamını ve toprak oluşumunu ve erozyonu etkileyen en önemli faktörlerdendir. Yağışın türü, hızı, miktarı, boyutu vb. özellikleri toprak örtüsü üzerinde aşındırıcı ve eğime göre taşıyıcı etkiye sahiptir. Bu etkilerin ortaya konmasında ve hesaplanmasında birçok araştırmacının farklı metotları bulunmaktadır. RUSLE yönteminde yağışın toplam kinetik enerjileri (E) ile 30 dakikalık maksimum yoğunluklarının (I) çarpımıyla ($R = E \times I / 100$) elde edilen Erozyon İndeksi (E.I) toprak erozyonunun hesaplanmasında belirleyici rol oynamaktadır. (Wischmeier & Smith, 1978, Cürebal & Ekinci, 2006).

Gerçekleştirilen çalışmada bu metotlardan biri olan, aylık ve yıllık yağış ortalamalarının hesaplandığı Modified Fournier Index (MFI) metodu kullanılmıştır (Arnoldous, 1977).

Yağış Erozi faktörünün (R) hesaplanabilmesi için;

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{Pi^2}{p_i}$$

Pi = Aylık ortalama yağış verisi (mm)

P = Yıllık ortalama yağış

Yağışın erozitif faktörü ise R= (4.17 MFI) – 152 eşitliğinden olarak hesaplanmıştır.

Belirtilen R faktörü formülü çalışma alanında yer alan meteoroloji istasyonlarının (Akyazı, Hendek, Dokurcun, Mudurnu) 2000-2020 yıllarına ait aylık ortalama yağış verileri hesaplanarak Microsoft Excel programına aktarılmıştır (Tablo 7)

İstasyon	Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Adapazarı	Sıcaklık	4,1	5,6	8,5	12,5	17,1	21	23,3	23,6	20	15,3	10,6	5,9
	Yağış	99	91	98	79	77	73	43	45	63	90	80	110
Akyazı	Sıcaklık	3,5	4,9	7,9	12,1	16,5	20,2	22,5	22,8	19,3	14,6	9,9	5,2
	Yağış	99	91	98	79	77	73	43	45	63	90	80	110
Hendek	Sıcaklık	3,2	4,5	7,5	11,5	16	19,8	22,1	22,4	18,9	14,3	9,7	5
	Yağış	100	94	103	91	91	81	44	48	65	92	81	110
Mudurnu	Sıcaklık	-1,2	0,4	4,1	8,8	13,5	17	19,6	20	16,4	11,4	5,7	0,6
	Yağış	80	78	92	93	95	78	34	38	46	68	64	87

Tablo 7: Mudurnu Çayı Havzası Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tutarları

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Aktarılan yağış verilerinden mekânsal korelasyona göre çalışma alanını temsil etmesi için Schreiber Formülü ($Ph = Po + 54h$) kullanılarak gözlem verisi olmayan alanların yağış tutarı hesaplanmıştır. (Ardel,1969; Dönmez,1979; Ustaoglu,2012; Ustaoglu & Karaca,2014).

Bu formülde ‘Ph’ bilinen noktanın yüksekliğini temsil eder ve bu noktada yağış miktarı bulunmak istenir. ‘Po’ ise yağış miktarının ölçüldüğü istasyonun yüksekliğini ve yağış miktarını ifade eder. Formülde kullanılan 54 rakamı, 100 metrelik yükseklik artışına denk gelen yağışın 54 mm arttığını gösteren bir katsayıdır. ‘H’ ise yağış miktarı bulunacak nokta ile ölçüm yapılan nokta arasındaki yükseklik farkını hektometre cinsinden ifade eder. (Ardel, 1969; Dönmez, 1979; Cürebal & Ekinci, 2006)

Schreiber formülüne göre 0-1800 metre arasında 100 metrelik aralıklar için MFI formülü uygulanmış olup R faktör değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler ArcGIS yazılımı kullanılarak analizi gerçekleştirilmiş ve yağış erozif (R) faktörü haritası oluşturulmuştur (Harita 16).

Yükselti (m)	Alan(km ²)	Oransal Dağılım (%)	Pj Değer	MFI	R Faktör Değerleri
0-100	376,2	16,4	367	44,42	33,22
100-200	150,8	6,6	421	47,14	44,58
200-300	116,7	5,1	475	50,27	57,63
300-400	96,0	4,2	529	53,68	71,85
400-500	85,0	3,7	583	57,29	86,91
500-600	94,0	4,1	637	61,05	102,59
600-700	96,9	4,2	691	64,93	118,76
700-800	128,4	5,6	745	68,90	135,30
800-900	193,9	8,4	799	72,94	152,15
900-1000	200,6	8,7	853	77,04	169,24
1000-1100	184,3	8,0	907	81,18	186,52
1100-1200	183,9	8,0	961	85,37	203,98
1200-1300	149,5	6,5	1015	89,59	221,57
1300-1400	104,6	4,6	1069	93,83	239,28
1400-1500	74,9	3,3	1123	98,10	257,09
1500-1600	45,8	2,0	1177	102,40	274,99
1600-1700	12,8	0,6	1231	106,71	292,97
1700-1800	1,9	0,1	1285	111,03	311,01

Tablo 8: Mudurnu Çayı Havzası Yükselti Basamaklarına (M) Göre Yağış Eroziyon (R) Faktörü

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmalar sonrasında Mudurnu Çayı Havzası Yağış (R) Faktörü dağılım haritası (Harita 16) ve yağış haritasıyla benzerlik göstermiştir. Tablo 8. yorumlandığında yükselti arttıkça yağış miktarının da arttığı, buna bağlı olarak MFI değerleri ve R faktör değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.

diğerlerinden farklı olmasına denir. (Wischmeier-Smith, 1978). K faktörü arazide bulunan toprak türlerinin fiziki özelliklerine bağlı olarak ayrışma ve taşınmaya karşı direncini ifade eder (Balcı, 1996, Özden & Özden, 1997).

Toprak Erozyon Faktörünün (K) belirlenmesi için;

- ✓ Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından hazırlanan sayısal toprak verileri ArcGIS yazılımına aktarılmıştır.
- ✓ Harita oluşturulurken, Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli (TURTEM) tarafından belirtilen (Özden & Özden, 1997) K faktörü değerleri eklenmiştir.
- ✓ Toprak haritasına K faktör değerleri eklendikten sonra K faktörü raster formata dönüştürülmüş ve elde edilen veri ile Toprak Erozyon (K) faktörü haritası elde edilmiştir (Harita 17).

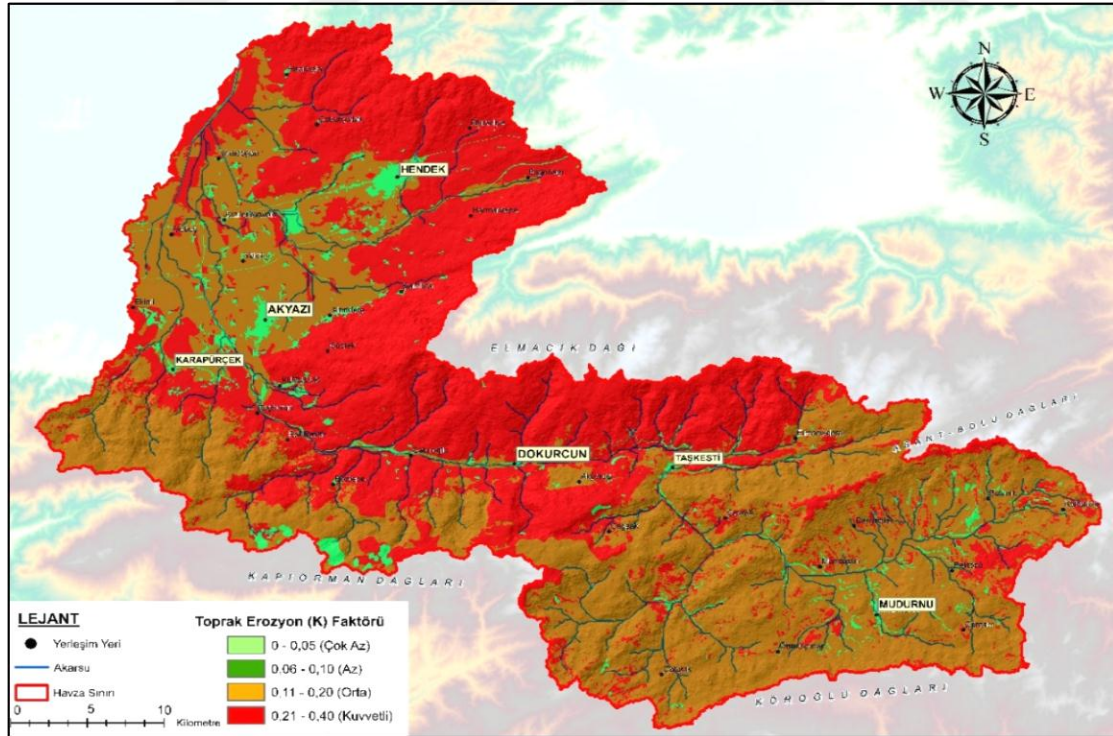
Yapılan çalışmalar sonrasında Mudurnu Çayı Havzası Toprak Erozyon (K) Faktörü haritası incelendiğinde, Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları Haritası ile uyumlu olarak havzanın kuzey kesimlerinde kireçsiz kahverengi orman toprakları, güney kesiminde kahverengi orman toprakları, vadi tabanları ve ova kesimlerinde alüvyal toprak dağılımı olduğu görülmektedir (Harita 17).

Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları ve Toprak Erozyon (K) Faktörü Alansal, Oransal Dağılım tablosunu ile karşılaştırdığımızda havzada kireçsiz kahverengi orman topraklarının 1038,09 km² ile %45,21', kahverengi orman topraklarının 857,77 km² ile %37,35'i, alüvyal toprakların 261,17 km² ile %11,37'sini kapladığı görülmektedir (Tablo 9).

Büyük Toprak Grupları	RUSLE 'K' Faktörü	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılım (%)
Alüvyal Topraklar	0,15	261,17	11,37
Gri Kahverengi Podzolik Topraklar	0,25	0,16	0,01
Hidromorfik Topraklar	0,18	0,29	0,01
Kahverengi Orman Toprakları	0,20	857,77	37,35
Kireçsiz Kahverengi Orman	0,29	1038,09	45,21
Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar	0,25	0,64	0,03
Kolüvyal Toprakları	0,18	58,21	2,53
Göl	0,001	0,93	0,04
Akarsu	0,001	20,70	0,90
Maden Alanı	0,001	0,02	0,01
Mezarlık	0,001	0,20	0,01
Eğlence ve Turizm	0,001	0,46	0,02
Yerleşim Alanı	0,001	51,20	2,23
Sanayi Alanı	0,001	0,56	0,02
Karayolu	0,001	5,94	0,25
TOPLAM		2296,34	100,00

Tablo 9: Mudurnu Çayı Havzası Büyük Toprak Grupları ve Toprak Erozyon (K) Faktörü Alansal, Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Harita 17: Mudurnu Çayı Havzası Rusle Toprak Erozyon (K) Faktörü Haritası

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

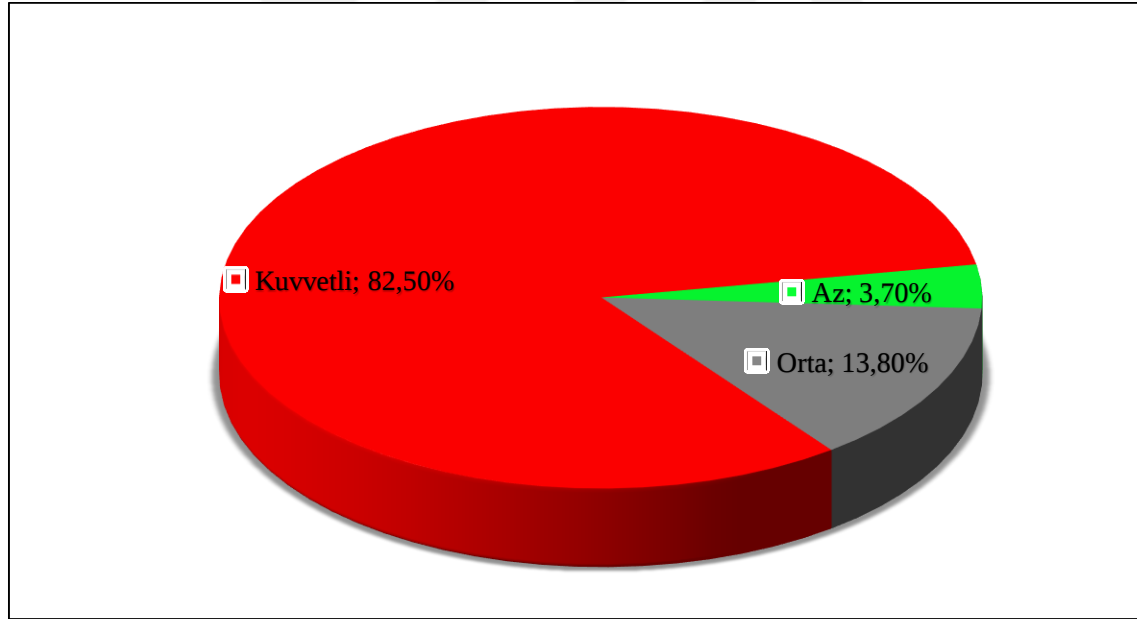
Mudurnu Çayı Havzası'nın kuzeyi Elmacık Dağı ve Akova Ovası'nın doğu kesiminde kuvvetli toprak erozyonu, havzanın güney ve Akova Ovası'nda orta kuvvette, havza genelinde küçük alanlarda az ve çok az toprak erozyonun olduğu görülmektedir.

Toprak Erozyon (K) Faktörü	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılım (%)	
0 – 0,10	Az	80,01	3,7
0,10 – 0, 20	Orta	319,67	13,8
0,20 – 0, 40	Kuvvetli	1896,66	82,5

Tablo 10: Mudurnu Çayı Havzası Toprak Erozyon (K) Faktörü Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Mudurnu Çayı Havzası Toprak Erozyon (K) Faktörü alansal ve oransal dağılımı incelendiğinde 80,01 km² alan ile %3,7 oranında az, 319,67 km² alan ile %13,8 oranında orta, 1896,66 km² alan ile %82,5 oranında toprak erozyon (K) faktörü etkisi görülmektedir (Tablo 10).



Grafik 7: Mudurnu Çayı Havzası Toprak Erozyon (K) Faktörü Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.1.3. Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü

Eğim, uzunluk, yükselti özellikleri toprak erozyonunun şiddetini ve boyutunu belirleyen en önemli faktörlerdir. (Efe vd.,2008; İkiel vd.,2020). Eğim ile toprak erozyonu arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Bu nedenle eğim değerleri arttıkça erozyon miktarı artar,

eğim değerleri düştükçe de erozyon miktarı azalmaktadır (Ekinci,2005; Hoşgören,2004). RUSLE yöntemine göre eğim uzunluk ve eğim diklik (LS) faktörünü hesaplamak için birçok formül bulunmaktadır (Cürebal & Ekinci, 2006; Pandey vd.,2009; Mutlu & Soykan, 2018; İkiel vd.,2020). RUSLE yöntemi ile yapılan erozyon çalışmalarında LS faktörü, 22,13 m uzunluğunda ve %9 eğimli bir arazideki toprak kaybı oranını temsil etmektedir ve bu özelliklere sahip bir arazideki LS değeri 1'dir (Wischmeier & Smith 1978); Özden ve Özden, 1997).

Mudurnu Çayı Havzası'nın toprak erozyon duyarlılık çalışmasında, eğim uzunluk ve eğim diklik (LS) faktörünün coğrafi bilgi sistemi yazılımı kullanılarak hesaplanması için aşağıdaki yöntem izlenmiştir.

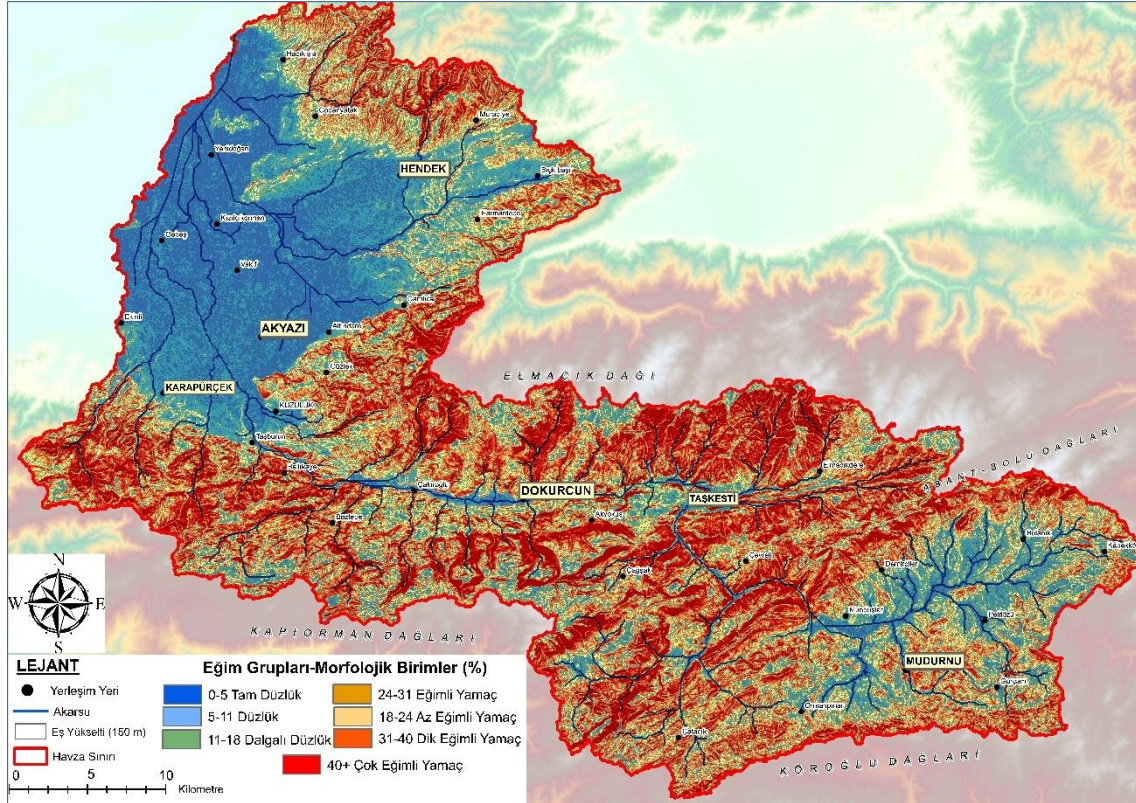
Erozyon üzerine etki eden LS faktörü hesaplanırken, ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle sayısal yükseklik modeli (SYM) verileriyle havzanın eğim analizi yapılmıştır. Daha sonra yüzeysel akışı engelleyen ve küçük boşlukları dolduran fill analizi yapılmıştır. Fill analizinin ardından havzanın akış yönünü belirlemek için flow direction analizi elde edilmiştir. Bu analiz havzaya düşen yağışın hangi yöne doğru hareket edeceğini belirlemektedir. Ardından flow accumulation analiziyle akış toplamı oluşturulmuştur. Raster calculator aracıyla aşağıdaki formül kullanılarak hesaplama yapılmıştır. LS faktör denklemi McCool vd. (1989) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra Zhang vd. (2013) yaptıkları çalışmada bu denklemi kullanmışlardır.

$$LS = \text{Pow}((\text{fac}) \times \text{resolution} / 22.1, 0.6) \times \text{Pow}(\text{Sin}((\text{slope}) \times 0.01745) / 0.09, 1.3)$$

Mudurnu Çayı Havzası, Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü belirlenmesi için:

- ✓ Mudurnu Çayı Havzası'nın sayısal yükselti modeli (SYM) verisi kullanılarak havzanın eğim (slope) haritası oluşturulmuştur.
- ✓ Elde edilen haritalarda fill analizi, flow direction (akış yönü) ve flow accumulation (akış toplamı) işlemleri yapıldıktan sonra raster calculaor aracılığıyla formül hesaplaması yapılarak Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktör haritası oluşturulmuştur. (Desmet & Gover, 1996; Mutlu & Soykan, 2018; İkiel vd., 2020).

Yapılan çalışmalar sonrasında Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü dağılım haritası (Harita18), incelendiğinde, çalışma alanının Adapazarı Ovası/ Akova ve Mudurnu Ovası kesiminde düşük LS değerleri, dağlık alanların olduğu diğer kesimlerde (Elmacık, Abant-Bolu, Köroğlu, Kapıorman Dağları) yüksek LS değerleri tespit edilmiştir.



Harita 18: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü Haritası

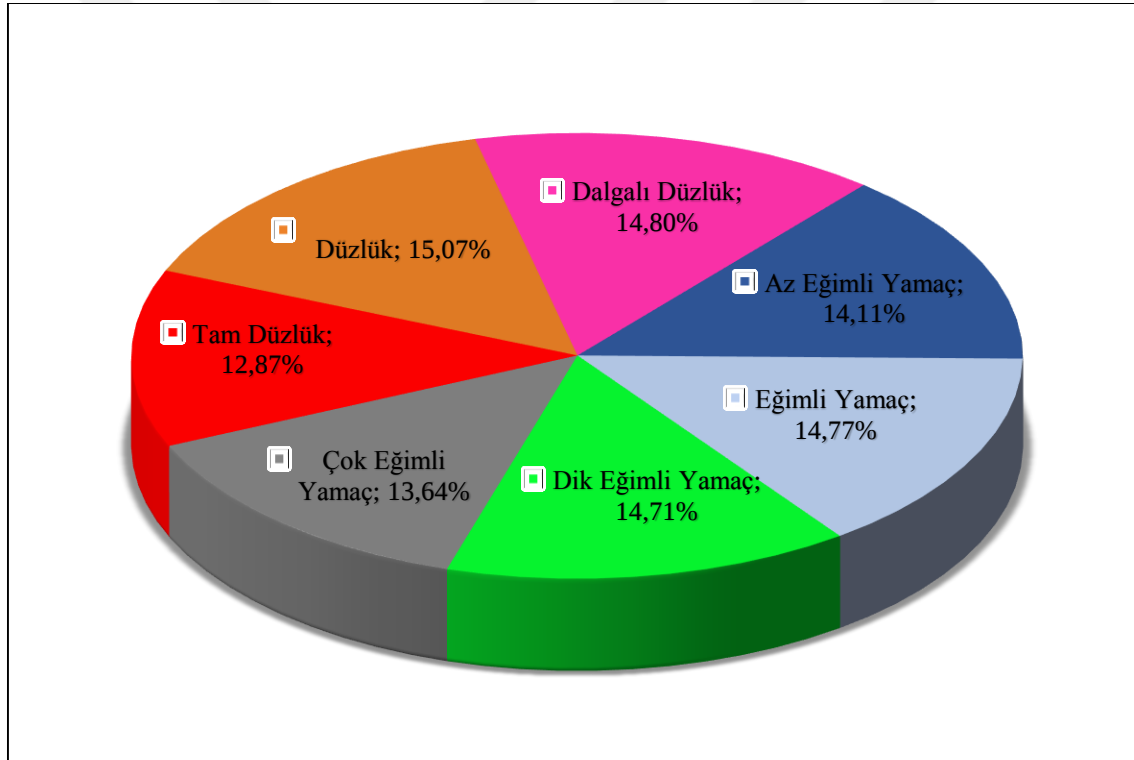
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Araştırma alanında eğim uzunluk ve eğim diklik (LS) faktörü dağılım tablosu (Tablo 11), incelendiğinde havzanın düzlük alanları 981,58 km² ile %42,74'ünü, eğimli alanları 663,47 km² ile %28,88'ini, dik ve LS faktörünün en fazla görüldüğü alanları 651,29 km² ile havzanın %28,35 'ini kaplamaktadır.

Eğim Grupları	Alansal Dağılım (km ²)	Oransal Dağılımı (%)
0-5 Tam Düzlük	295,56	12,87
5-11 Düzlük	346,15	15,07
11-18 Dalgali Düzlük	339,87	14,80
18-24 Az Eğimli Yamaç	324,24	14,11
34-31 Eğimli Yamaç	339,23	14,77
31-40 Dik Eğimli Yamaç	337,84	14,71
40+ Çok Eğimli Yamaç	313,45	13,64
Toplam	2296,34	100

Tablo 11: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Grafik 8: Mudurnu Çayı Havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.1.4. Arazi Örtüsü ve Zemin Kullanımı (C) Faktörü

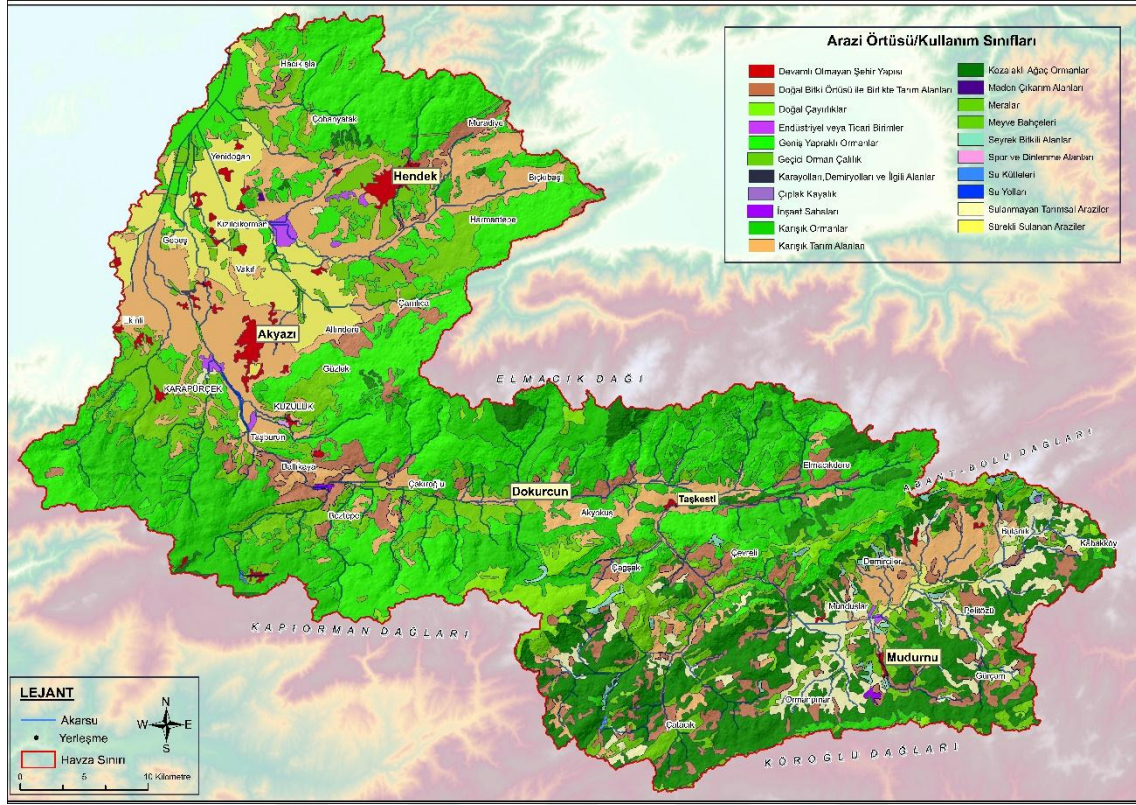
Arazi kullanımı ve bitki örtüsü faktörü (C), arazinin hangi amaçla kullanıldığına ve bitki örtüsünün türüne bağlı olarak erozyon üzerinde etkilerini belirlemek ve erozyona etkisini açıklamak için kullanılır. Bitki örtüsü, mevsimsel değişikliklere tabi olduğundan, erozyon

üzerindeki etkisi de dönemsel olarak değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, bu faktör sabit değildir ve zaman içinde değişebilir. (Renard K. G., 1997).

Arazi örtüsü ve zemin kullanımı (C) faktörü erozyonu etkileyen önemli faktörlerdendir. Orman örtüsünün yoğun olduğu alanlarda, ağaçların kökleri aracılığıyla toprağı tutması, toprağın aşındırılmasını ve taşınmasını büyük ölçüde engeller. Wu & Wang (2011) yaptıkları çalışmada, erozyon oluşumunu tetikleyen en önemli faktörün eğim olduğunu ifade etmiş ve eğimden sonra arazi örtüsü ve zemin kullanımı olduğunu belirtmişlerdir.

Arazi örtüsü ve zemin kullanımı (C) faktörü, erozyonun etkilerini açıklamak için önemlidir. Bu faktör, bitki örtüsü, tarım uygulamaları ve alan düzenlemelerinin erozyon üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Gelecekteki planlama için sürekli arazi değişikliklerinin izlenmesi zorunludur (Yıldız & Döker, 2016). Özellikle uydu görüntüleri ve uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen veriler, toprak erozyonu çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde çeşitli uydulardan alınan görüntüler, uzaktan algılama yazılımları aracılığıyla işlenerek geniş alanlar için hızlı, doğru ve ekonomik bilgilere erişimi sağlamaktadır.

Sentinel-1 ve Sentinel-2 ve Landsat uyduları, geniş zaman aralıklarını kapsayan veri arşivleri ve geniş kapsama alanları, radyometrik özellikleri nedeniyle arazi örtüsü ve kullanımı izleme çalışmalarında tercih edilir. Ayrıca, IKONOS, IRS ve SPOT gibi diğer uydu sistemlerinden elde edilen veriler de erozyon çalışmalarında kullanılmaktadır. (Haboudane vd., 2002; Parıngıt ve Nadaoka, 2003; Singh vd., 2004; Tateishi vd., 2004). Çalışmada, Avrupa Çevre Ajansı CORINE sınıflandırmasına göre arazi zemin kullanımının tespiti amacıyla 2018 yılına ait Landsat uydu verileri kullanılarak bilgisayar destekli yorum yapılmış ve arazi örtüsü zemin kullanımı (C) faktörü haritası oluşturulmuştur (Harita 19).



Harita 19: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Haritası (Düzey3)

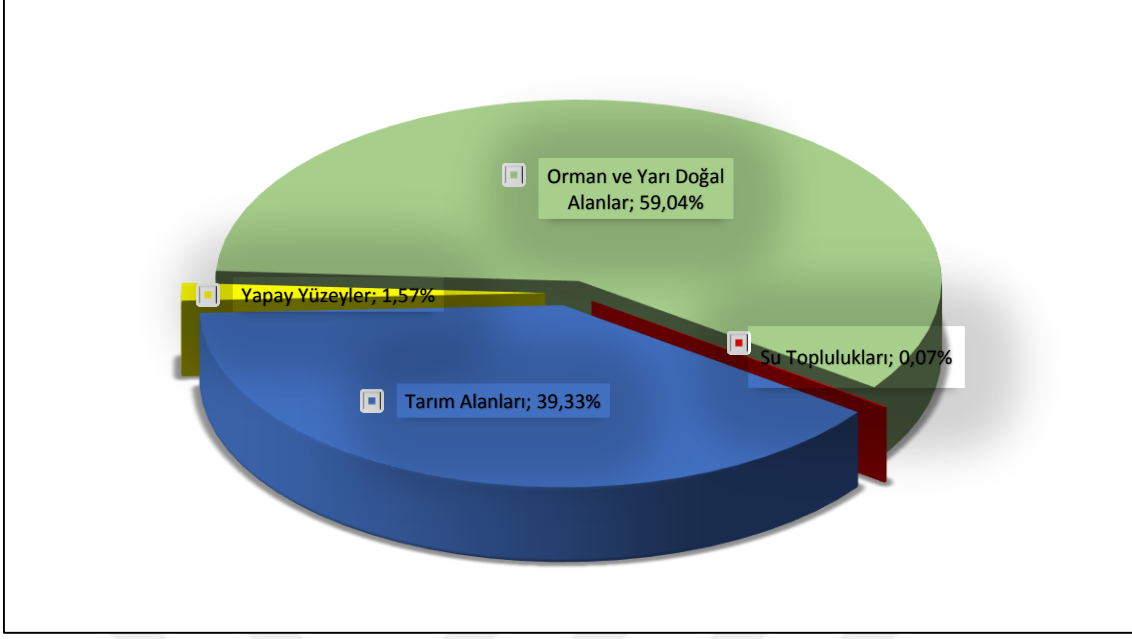
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Oluşturulan arazi örtüsü ve zemin kullanımı haritasına C faktör değerlerinin eklenebilmesi için raster veri formatı vektör veriye dönüştürülerek C faktör değerleri eklenmiştir. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda alansal ve oransal dağılımın yüksekliğine bağlı olarak tarım alanları ile orman ve yarı doğal alanlarda C faktörünün yüksekliği tespit edilmiştir.

Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfları Corine- Düzy 1	Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfları Corine- Düzy 2	Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfları Corine- Düzy 3	Alansal Dağılım (km²)	Oransal Dağılımı (%)	C Faktörü
1.Yapay Yüzeyler	1.1.Şehir Yapısı	112. Devamlı Olmayan Şehir	25,92	1,13	0,002
	1.2.Endüstriyel, Ticari ve Taşıma Birimleri	121. Endüstriyel veya Ticari Birimler	7,9	0,34	0,002
		122. Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar	0,35	0,02	0,002
	1.3.Maden Alanları	131. Maden Çıkarım Alanları	0,25	0,01	0,002
		133. İnşaat Sahaları	1,33	0,06	0,002
	1.4.Tarım Dışı Yapay Yeşil Alanları	142. Spor ve Dinlenme Alanları	0,32	0,01	0,002
2. Tarım Alanları	2.1. Ekilebilir Alanlar	211. Sulanmayan Tarımsal Araziler	89,91	3,92	0,280
		212. Sürekli Sulanan Araziler	118,65	5,17	0,280
	2.2. Sürekli Ürünler	222. Meyve Bahçeleri	197,35	8,59	0,050
	2.3. Meralar	231. Meralar	13,96	0,61	0,090
	2.4. Heterojen Tarım Alanları	242. Karışık Tarım Alanları	325,63	14,18	0,050
		243. Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Tarım Alanları	157,6	6,86	0,500
3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3.1. Ormanlar	311. Geniş Yapraklı Ormanlar	551,33	24,01	0,001
		312. Kozalaklı Ağaç Ormanlar	283,88	12,36	0,010
		313. Karışık	338,37	14,74	0,050
	3.2. Fundalık veya Otsu Bitkilerin Karışım Alanları	321. Doğal Çayırliklar	52,34	2,28	0,090
		324. Geçici Orman Çalılık	117,48	5,12	0,038
	3.3. Az veya Hiç Bitki İçermeyen Çıplak Alanlar	332. Çıplak Kayalık	0,25	0,01	1,000
333. Seyrek Bitkili Alanlar		11,99	0,52	1,000	
5. Su Yüzeyi	5.1. İçsel Su Alanları	511. Su Yolları	0,95	0,04	0,001
		512. Su Kütleleri	0,58	0,03	0,001
		TOPLAM	2296,34	100,00	

Tablo 12: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Grafik 9: Mudurnu Çayı Havzası Arazi Örtüsü Kullanım Sınıfları Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.1.5. Toprak Koruma (P) Faktörü

RUSLE yönteminde toprak koruma (P) faktörü, çalışma alanında toprak erozyonunun olmaması için alınan bir önlemin, çalışmanın varlığı durumunda hesaba katılır. Çeşitli nedenlerden dolayı herhangi bir önlemin olmaması vb. durumlarda 1 değeri olarak hesaplamaya katılır (Renard vd., 1991). Çalışmada toprak koruma (P) faktörü 1 olarak kullanılmıştır.

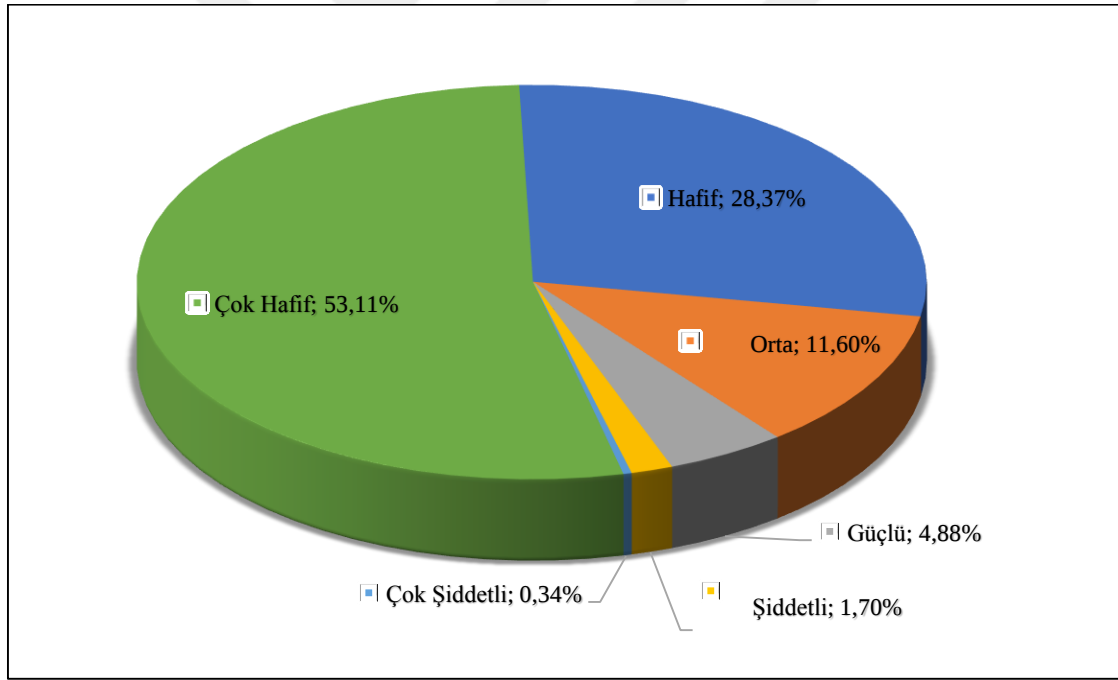
4.1.6 Erozyon Duyarlılığı

Revize Edilmiş Ünlversal Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) yöntemine göre; Yağış Eroziyon Faktörü (R), Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü (LS), Toprak Erozyon Faktörü (K), Arazi Zemin Örtüsü Faktörü (C), ArcGIS yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve haritalandırılmıştır (Harita 21).

Toprak Erozyon Risk Sınıfları	Toprak Erozyon Risk Değerleri	Alan (km ²)	Oran (%)
Çok hafif	<5	1219,69	53,11
Hafif	5-12	651,38	28,37
Orta	12-35	266,40	11,60
Güçlü	35-60	112,06	4,88
Şiddetli	60-150	39,07	1,70
Çok Şiddetli	150+	7,74	0,34
TOPLAM		2296,34	100,00

Tablo 13: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Yöntemine Göre Erozyon Duyarlılık Değerleri Alansal ve Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Grafik 10: Mudurnu Çayı Havzası RUSLE Yöntemine Göre Erozyon Duyarlılık Değerleri Oransal Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

SONUÇ

Mudurnu Çayı Havzası'nda toprak erozyon duyarlılık durumunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, öncelikle çalışma alanının sınırlarının belirlenmesi için havza sınırı oluşturulmuştur. Oluşturulan sınırlar kullanılarak, kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve çalışma alanının topoğrafik özellikleri, iklim şartları, doğal bitki örtüsü, toprak özellikleri, jeolojik ve jeomorfolojik gelişim özellikleri ve arazi örtüsü hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir.

Toplanan bu bilgiler, RUSLE yöntemi kullanılarak toprak erozyon duyarlılık analizi için coğrafi bilgi sistemine aktarılmıştır. Aktarılan veriler üzerinde çeşitli metotlar ve analizler uygulanarak, çalışma alanının yağış, toprak, eğim uzunluğu ve diklik, arazi ve zemin örtüsü haritaları ve analiz bulguları elde edilmiştir.

Elde edilen analiz bulgularına göre;

Yükselti arttıkça yağış miktarının da arttığı, buna bağlı olarak MFİ değerleri ve R faktör değerlerinin de arttığı, Yağış erozif (R) faktörü değerlerinin yüksek olduğu kısımlar Elmacık Dağı, Bolu-Abant Dağları, Köroğlu Dağı ve Kapıorman Dağları'nın yüksek kesimlerinde yağış erozif (R) faktörünün etkili, düzlük alanlarda yağış erozif (R) faktörünün azaldığı tespit edilmiştir.

Türkiye Toprak Erozyon Tahmin (TURTEM) tarafından belirlenen toprak erozyon (K) faktörü değerleri kullanılarak oluşturulan toprak erozyon (K) faktörü haritasına göre, Mudurnu Çayı havzasının kuzeyi Elmacık Dağı ve Akova Ovası'nın doğu kesiminde kuvvetli toprak erozyonu, havzanın güney ve Akova Ovası'nda orta kuvvette, havza genelinde küçük alanlarda az ve çok az toprak erozyonun olduğu tespit edilmiştir.

Mudurnu Çayı havzası Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS) Faktörü dağılım haritası incelendiğinde, çalışma alanının Adapazarı Ovası, Akova ve Mudurnu Ovası kesiminde düşük LS değerleri, dağlık alanların olduğu diğer kesimlerde ise (Elmacık, Abant-Bolu, Köroğlu, Kapıorman Dağları) yüksek LS değerleri tespit edilmiştir.

Avrupa Çevre Ajansı CORINE (Coordination of Information on the Environment) sınıflandırmasına göre arazi zemin kullanımının tespiti amacıyla 2018 yılına ait Landsat uydu verileri kullanılarak yapılan analizler sonrasında havzada, alansal ve oransal dağılımın yüksekliğine bağlı olarak tarım alanları ile orman ve yarı doğal alanlarda C faktörünün yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Bütün erozyon duyarlılık faktörlerinin analizi yapıldıktan sonra Revize Edilmiş Ünlversal Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) yöntemine göre Mudurnu Çayı Havzası'nın Erozyon duyarlılık analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, Mudurnu Çayı Havzası'nda %0,34'ünde çok şiddetli, %1,70'inde şiddetli, %4,88'inde güçlü, %11,60'ında orta, %28,37'inde hafif, %53,11'inde çok hafif erozyon riski tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre, bitki örtüsü, yağış ve eğim faktörlerinin erozyona doğrudan etkili olduğu, yağışın ve eğimin arttığı seyrek bitki örtüsüne sahip alanlarda toprak erozyonunun şiddetinin ve duyarlılığının arttığı belirlenmiştir. Havzada beşerî etmenlerin, özellikle orman tahribi, yerleşme ve tarım alanlarının bilinçsiz kullanımının, erozyon üzerinde önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca ortaya çıkan sonucun doğruluğu arazi çalışmaları ile teyit edilmiştir (Şekil 9-13).

Bu çerçevede, havzada erozyonun şiddetini ve riskini azaltmak adına mevcut bitki örtüsünün korunması, çiftçilere tarımsal faaliyetler konusunda eğitim verilmesi, yerleşim alanlarında planlamalara ve ağaçlandırmalara önem verilmesi, yüksek erozyon riskine sahip alanlarda toprak kaybını önlemek amacıyla ıslah çalışmalarının yapılması önerilmektedir.



Görsel 9: Mudurnu Çayı Havzası Mudurnu Karamurat Köyü Yakınları Bir Kesit

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023



Görsel 10: Mudurnu Çayı Havzası Mudurnu Durmuşlar Köyü Yakınları Bir Kesit

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023



Görsel 11: Mudurnu Çayı Havzası'ndan Bir Kesit

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023



Görsel 12: Mudurnu Çayı Havzası'ndan Bir Kesit

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023



Görsel 13: Mudurnu Çayı Havzası'ndan Bir Kesit

Kaynak: Yazar tarafından çekilmiştir. Ç.T 03/12/2023

KAYNAKÇA

- Abdüsselamoğlu, M.Ş. (1959). *Almacık Dağı ile Mudurnu ve Göynük Civarının Jeolojisi*. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri (Tabi İlimler Kısımı), Sayı: 14, İstanbul.
- Abız, B. (2014). *Kahramanmaraş Halfalı Deresi Yağış Havzasında Uzaktan Algılama Teknikleri ve RUSLE Yöntemi Kullanılarak Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması* (Yüksek lisans tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Akalan, İ. (1983). *Toprak ve Su Muhafazası* (A.Ü. Zir. Fak. Yay. No: 873, Ders Kitap No: 238). Ankara.
- Atalay, İ. (2013). *Uygulamalı Klimatoloji* (2. baskı). Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- Akgül, H. (1979). *Toprak Aşınımı*. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı ve Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Alparslan, K. (2021). *Kaman Deresi Havzasının (Pütürge/Malatya) Erozyon Duyarlılık Değerlendirmesi* (Yüksek lisans tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Ardel, A. (1957). *Trakya'nın Jeomorfolojisi*. Türk Coğrafya Dergisi, (17), s.152-158.
- Arnoldous, H.M.J. (1977). *Methodology Used To Determine The Maximum Potential Average Annual Soil Loss Due To Sheet And Rill Erosion In Morocco*. FAO Soils Bulletin, s.39-44.
- Atalay, İ. (1986). *Uygulamalı Hidrografya*. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No: 38, İzmir.
- Atalay, İ. (2011). *Toprak Oluşumu Sınıflandırılması ve Coğrafyası*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık.
- Atalay, İ. (2014). *Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri*, İzmir, Meta Basım.
- Balcı, A. N. (1996). *Toprak Koruması* (180s). İstanbul: Orman Fakültesi Yayınları.
- Baştürk, K. (1995). *Bozkır-Hadim-Belören Arasındaki Bölgenin (Konya) Fiziki Coğrafyası ile Erozyon İlişkilerinin Araştırılması* (Yüksek Lisans tezi). Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Konya.
- Başayığıt, L. (2002). *Eğirdir Gölü Havzasında Erozyon Riskinin Saptanması Üzerine Araştırmalar*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Beskow, S., Mello, C. R., Norton, L. D., Curi, N., Viola, M. R., & Avanzi, J. C. (2009). *Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modelling*. Catena, 79, s.49-59.

- Bilgin, T. (1984). *Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluğunun Alüvyal Morfolojisi ve Kuaternerdeki Jeomorfolojik Tekamülü*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No: 2572, İstanbul.
- Celilov, C. (2019). *İlgaz Milli Park Topraklarının Erozyon Duyarlılık Parametrelerinin Farklı Enterpolasyon Yöntemleriyle Konumsal Dağılımlarının Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Samsun.
- Cürebal, İ., & Ekinci, D. (2006). *Kızılkeçili Dere Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi*. Türk Coğrafya Dergisi, 47, s.115-129.
- Cürebal, İ., & Atalay, İ. (2018). *Türkiye’de Erozyonu Önleme ve Erozyon Miktarını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar*. İçinde: Atalay, İ. (Editör), Uygulamalı Hidrografia, s. 296-327. İzmir: Meta Basım Matbaacılık.
- Çelebi, H. (1963). "Hızlandırılmış Toprak Erozyonu" (Soil Survey Manual’dan tercüme edilmiştir). *Topraksu Dergisi*, 16, s.32-37. Ankara.
- Çelik, V. (2011). *Değirmen Deresi Havzası’nda (Bolvadin/Afyonkarahisar) Toprak Erozyon Risk Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- ÇEM, (2020). Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü*.
- Çepel, N. (1997). *Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar* (Tema Vakfı Yayın No: 14).
- Çevik, B. (2003). *Toprak ve Su Koruma Mühendisliği Ders Notları*. Adana: Çukurova Üniversitesi Basımevi.
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., & Ritsema, C.J. (1996). *LISEM: A Single Event Physically Based Hydrological And Soil Erosion Model For Drainage Basins, I: Theory, Input And Output*. Hydrological Processes, 10(8), s.1107-1117.
- Desmet, P.J.J., & Govers, G. (1996). *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5), s.427-433.
- Doğan, O., & Denli, Ö. (1999). *Türkiye’nin Yağış-Kuraklık-Erozyon İndisleri ve Kurak Dönemleri*. KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Genel Yayın No: 215, Teknik Yayın No: 60, Ankara.
- Dönmez, Y. (1968). *Trakya’nın Bitki Coğrafyası*. İstanbul İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Dutkuner, İ., & Fakir, H. (1999). *Erozyon Kontrolü ve Ağaçlandırma*. Ekoloji Çevre Dergisi, s.14-16.

- Efe, R., Ekinci, D., & Cürebal, İ. (2008). *Erosion Analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey)*. Journal of Applied Science, s.49-58.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tcepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, N., & Ünay, E. (1998). *Doğu Marmara Bölgesi'nin Neojen-Kuvaterner'deki Evrimi*. MTA Dergisi, Sayı: 120, s.233-258. Ankara.
- Ekinci, D. (2005). *CBS Tabanlı Uyarlanmış RUSLE Yöntemi ile Kozlu Deresi Havzası'nda Erozyon Analizi*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, s.109-119.
- Erinç, S. (1996). *Klimatoloji ve Metotları*. İstanbul: Alfa Yayınevi.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M. A., Demirtaş, İ., & Çetin, E. (2018). *Türkiye Su Erozyonu Atlası*. Ankara: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Erkal, T., & Taş, B. (2013). *Jeomorfoloji ve İnsan*. İstanbul: Yeditepe Yayınevi.
- Erturaç, K. M. (2018). *Sakarya'nın Fiziki, Beşerî ve İktisadi Coğrafya Özellikleri içinde*. İkiel, C. (Editör), *Sakarya'nın Jeomorfolojik Özellikleri*, s.127-150. Sakarya Üniversitesi Yayını.
- Erinç, S. (1977). *Vejetasyon Coğrafyası*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Fıçırcı, M. (2016). *Kapıdağ Yarımadası'nda Erozyon ve Arazi Kullanma İlişkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Fryrear, D.W. (1995). *Soil losses by wind erosion*. Soil Science Society of America Journal, s. 668-672.
- Gündüzoğlu, G. (2019). *Kıyı Ege Bölümü'nde Erozyon Risk Modeli Tasarımına Coğrafi Yaklaşım* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ortaöğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Anabilim Dalı, İzmir.
- Günay, T. (1997). *Erozyon* s.286s. İstanbul: Tema Vakfı Yayınları.
- Güney, Y. (2017). *Selendi Çayı Havzası (Manisa) Erozyon Duyarlılık Analizi ve İklim Değişikliğinin Erozyon Duyarlılığına Etkilerinin Modellenmesi* (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Halis, O. (2020). *Samanlı Dağları Kütesinde Uzun Dönemli Erozyonu Kontrol Eden Faktörlerin Havza Tabanlı Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hickey, R. (2000). *Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS*. Cartography,

- Hoşgören, M. Y. (2004). *Hidroğrafya'nın Ana Çizgileri, Yeraltı Suları, Kaynaklar, Akarsular*. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, s. 50-66. İstanbul.
- İkiel, C. (1998). *Türkiye Fiziki Coğrafyasına Genel Bir Bakış*. Yeni Türkiye Dergisi, s. 104-115. Ankara.
- İkiel, C. (2005). *Muğla Yöresinde İklim Koşullarının İnsan ve Çevre Üzerine Etkileri*. Ulusal Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı. İstanbul.
- İkiel, C., Ustaoglu, B., & Koç, D. E. (2020). *Trakya Yarımadası'nda Erozyon Duyarlılık Analizi / Erosion Susceptibility Analysis of Thrace Peninsula*. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, s. 1-14.
- İlay, R. (2016). *Gökçeada Topraklarının Bazı Kalite Parametreleri ve Erozyon Riskinin Belirlenmesi* (Doktora Tezi). Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Beslenme Anabilim Dalı, Çanakkale.
- İmamoğlu, A. (2016). *Alaca Havzasında Erozyon Risk Değerlendirmesi ve Planlaması* (Doktora Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Samsun.
- İnandık, H. (1955). *Adapazarı Bölgesinin İklim ve Bitki Örtüsü*. Türk Coğrafya Dergisi, s. 125-137.
- İrem, A., Topaloğlu, F., & Uygur, V. (2007). *Estimating Spatial Distribution of Soil Loss over Seyhan River Basin in Turkey*. Journal of Hydrology, s. 30-37.
- Karaburun, A., Demirci, A., & Karakuyu, M. (2009). *Erozyon Tahmininde CBS Tabanlı RUSLE Metodunun Kullanılması: Büyükçekmece Örneği*. DEUCBS Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 43-49.
- Karagöktaş, D. (2014). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi İçerisinde Pilot Alanda Yayılım Gösteren Toprakların Erozyona Duyarlılıklarının Belirlenmesi*. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Kahramanmaraş, Türkiye.
- Kızılelma, Y. (2013). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mut Havzası'nda (Pirinçsuyu ve Kutsuyu Dereleri) Erozyon Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı. Kahramanmaraş, Türkiye.
- Kinnell, P.I.A., & Risse, L.M. (1998). *USLE-M: Empirical Modelling Rainfall Erosion Through Runoff And Sediment Concentration*. Soil Science Society of America Journal, s. 1667-1672.
- Koç, D.E. (2018). *Sakarya'nın Fiziki, Beşerî ve İktisadi Coğrafya Özellikleri İçinde İkiel, C. (Editör), Sakarya'nın Bitki Örtüsü Özellikleri*, s. 289-314. Sakarya Üniversitesi Yayını.

- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmî Web Sitesi. Erişim tarihi: 27 Eylül 2022, www.mgm.gov.tr
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2022). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Resmi Web Sitesi. Erişim tarihi: 27 Eylül 2022, <https://yerbilimleri.mta.gov.tr>
- Mater, B., (1998), *Toprak Coğrafyası*. Çantay Kitabevi, İstanbul, s.271.
- McCool, D. K., Brown, L. C., & Foster, G. R. (1987). *Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation*. Transactions of the ASAE, s 30.
- McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1989). *Revised Slope Length Factor For The Universal Soil Loss Equation*. Transactions of the ASAE, s 32.
- McCool, D. K., Foster, G. R., & Weesies, G. A. (1997). *Slope Length And Steepness Factors (LS), Prediction Of Soil Erosion By Water: A Guide To Conservation Planning With The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA, Washington D.C.
- Mutlu, Y. E., & Soykan, A. (2018). *Rusle (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini: Havran Çayı Örneği*. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, s. 50-66.
- Özden, Ş., & Özden, M. (1997). *Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli, TURTEM*. Ankara: Başbakanlık Türkiye Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitü Müdürlüğü Yayınları.
- Paluska, A., Poetsch, T., & Bargu, S. (1989). *Tectonics, Paleoseismic Activity and Recent Deformation Mechanisms in the Sapanca-Abant Region (NW Turkey, North Anatolian Fault Zone)*. Proceedings of the Turkish-German Earthquake Research Project, s. 18-32.
- Pandey, A., Mathur, A., Mishra, S. K., & Mal, B. C. (2009). *Soil Erosion Modeling of a Himalayan Watershed Using RS and GIS*. Environmental Earth Sciences, s. 399-410.
- Pektezel, H. (2013). *Mekece-İznik-Gemlik Fay Zonu'nun Tektonik Jeomorfoloji İncelemesi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Doktora Tezi, İstanbul.
- Pektezel, H. (2015). *Gelibolu Yarımadası'nda CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Duyarlılık Analizi*. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, s. 131-151.
- Renard, K. G., & Foster, G. R. (1983). *Soil conservation: Principles of erosion by water*. In H. E. Dregne & W. O. Willis (Eds.), *Dryland Agriculture*, s. 155-176. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McColl, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the*

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture Handbook.

- Renard, K. G., Foster, G. R., Weeies, G. A., & Porter, J. P. (1991). *RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation*. Journal of Soil and Water Conservation, 46, s. 30-33.
- Renard, K. G., Laflen, J. M., Foster, G. R., & Mccool, D. K. (1994). *The Revised Universal Soil Loss Equation*. In Lal, R. (Ed.), Soil Erosion Research Methods (s. 105-124). Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society.
- Sarı, M. (1998). *Erozyon ve Toprak Erozyonunun Oluşumu*. Çevre ve İnsan Ders Kitabı Ünite 4, s 61-63. Açıköğretim Fakültesi Yayın No: 560. Eskişehir.
- Skidmore, E. L. (2000). *Air, Soil, And Water Quality As Influenced By Wind Erosion And Strategies For Mitigation*. In AGRONENVIRON 2000: Second International Symposium of New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications Proceedings, s 216–222.
- Şengör, A. M. C. (1980). *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları*. Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını, s. 40.
- T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. (2004). *Sakarya İli Sayısal Toprak Verileri*.
- T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, (2004). *Bolu İli Sayısal Toprak Verileri*.
- T.C. Tarım ve Ormancılık Bakanlığı. (2022). *CORINE Arazi Kullanımı Veri tabanı*. Erişim tarihi: 27.09.2022, <https://corine.tarimorman.gov.tr>
- Türkeş, M., & Yıldız, D. (2014). *Gözlenen Bugünkü ve Benzeştirilen Gelecek Yağış Değişimleri ve Kuraklık Olayları Perspektifinde Türkiye'de Hidroelektrik Santrallerin Geleceği*. Hidropolitik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları, Ankara.
- Türker, F., & Yüksel, O. (1989). *Erozyon ve Ekonomik Önemi*. Orman Mühendisliği Dergisi, s. 16-19.
- Ustaoglu, B., & İkiel, C. (2007). *Geyve'nin İklimi ve İklim Koşullarının Tarımsal Faaliyetlere Etkisi*. Akademik İncelemeler Dergisi, s. 208-229.
- Ustaoglu, B. (2012). *Matlab'da İklim Veri Analizi ve Uygulamaları*. İstanbul: Anka Matbaa.
- Ustaoglu, B., & Karaca, M. (2014). *The Effects of Climate Change on Spatiotemporal Changes of Hazelnut (Corylus avellana) Cultivation Areas in the Black Sea Region, Turkey*. Applied Ecology and Environmental Research, s. 309-324.
- Ustaoglu, B. (2018). *Sakarya'nın Fiziki, Beşerî ve İktisadi Coğrafya Özellikleri İçinde*. İkiel, C. (Editör). *Sakarya'nın İklim Özellikleri*, s. 165-216. Sakarya Üniversitesi Yayını.

- Van Remortel, R. D., Hamilton, M. E., Hickey, R.J. (2001). *Estimating the LS Factor for RUSLE Through Iterative Slope Length Processing of Digital Elevation Data Within ArcInfo Grid*. Cartography, s.30(1).
- Ustaoglu, B., Koç, D. E. (2018). *Sakarya'nın Fiziki, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri*. İçinde İkiel, C. (Editör), *Sakarya'nın Toprak Özellikleri*, s.265-285. Sakarya Üniversitesi Yayını.
- Van Remortel, R. D., Hamilton, M. E., & Hickey, R. J. (2001). *Estimating the LS Factor for RUSLE Through Iterative Slope Length Processing of Digital Elevation Data Within ArcInfo Grid*. Cartography, s. 30.
- Yıldız, S., & Doker, M. F. (2016). *Monitoring Urban Growth By Using Segmentation-Classification Of Multispectral Landsat Images In Izmit, Turkey*. Environmental Monitoring and Assessment, s.188-393.
- Yılmaz, E. (2006). *Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi*. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Yılmaz, H. (2010). *Kürk Çayının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi*. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. M., & Yiğitbaş, E. (1981). *Abant (Bolu)-Dokurcun (Sakarya) Arsında ki Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kuzey ve Güneyinde Kalan Tektonik Birliklerin Jeolojik Evrimi*. MTA Jeoloji Dairesi.
- Yurtcan, U. E. (2009). *Erozyon Tahmin Analizi Yöntemleri, Erozyon Kontrolü ve Önlenmesi Kapsamında Yapılan Çalışmalar Hakkında Kapsamlı Bir İnceleme*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Yüksel, E. E. (2015). *Borçka Barajı Yağış Havzasında Meydana Gelen Toprak Erozyonu ve Sediment Veriminin WEPP Erozyon Tahmin Modeli ve CBS Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi*. Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Artvin.
- Zobeck, T. M., & Van Pelt, R. S. (2005). *Erosion/Wind-Induced*. Encyclopedia of Soils in the Environment s. 470-478. Oxford, UK.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. USDA Agricultural Handbook, No. 537, Maryland.
- Wu, X., & Wang, X. (2011). *Spatial Influence of Geographical Factors on Soil Erosion in Fuyang County*. Procedia Environmental Sciences, s. 2128-2133.
- Zhang, H., Yang, Q., Li, R., Liu, Q., Moore, D., He, P., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2013). *Extension of a GIS Procedure for Calculating the RUSLE Equation LS Factor*. Computers & Geosciences, s. 177-188.

ÖZ GEÇMİŞ

Ad Soyad: Çağlar YILMAZ	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Fen Edebiyat Fakültesi
Bölümü	Coğrafya
1. Yılmaz, Ç., & İkiel, C. (2024). <i>Mudurnu Çayı Havzası'nın Erozyon Duyarlılık Analizi</i>. İ. Kıransan, K. (Ed.), Fiziki Coğrafya Alanında Uluslararası Araştırmalar I içinde, s 19-32. Eğitim Yayınevi	