



T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

TOPRAK EROZYONUNA DUYARLI ALANLARIN
DEĞERLENDİRİLMESİ: YARIŞLI GÖLÜ ALT HAVZASI ÖRNEĞİ

Bedran ABİ
2130223002

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Çağan ALEVKAYALI

ISPARTA-2024

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI





T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “*Toprak Erozyonuna Duyarlı Alanların Değerlendirilmesi: Yarışlı Gölü Alt Havzası Örneği*” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

BEDRAN ABİ
28.02.2024



T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU
BEYAN BELGESİ



SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
Adı-SOYADI	Bedran ABİ
Öğrenci Numarası	2130223002
Enstitü Ana Bilim Dalı	Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı
Programı	Coğrafya
Programın Türü	(X) Tezli Yüksek Lisans () Doktora
Danışmanının Unvanı, Adı-SOYADI	Dr. Öğr. Üyesi Çağan ALEV KAYALI
Tez Başlığı	Toprak Erozyonuna Duyarlı Alanların Değerlendirilmesi: Yarışlı Gölü Alt Havzası Örneği
Turnitin Ödev Numarası	2256669022

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmasının a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana Bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 140 sayfalık kısmına ilişkin olarak, **28/02/2024** tarihinde tarafımdan Turnitin adlı intihal tespit programından Üniversitemiz Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin 14 üncü maddesinde yer alan filtrelemeler uygulanarak alınmış olan ve ekte sunulan rapora göre, tezin/dönem projesinin benzerlik oranı;

Kaynakçalar hariç, alıntılar dahil, 10 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç;

% **9** 'dur.

Danışman tarafından uygun olan seçenek işaretlenmelidir:

(X) Benzerlik oranları belirlenen limitleri aşmıyor ise;

Yukarıda yer alan beyanın ve ekte sunulan Tez Çalışması Orijinallik Raporu'nun doğruluğunu onaylarım.

() Benzerlik oranları belirlenen limitleri aşıyor, ancak tez/dönem projesi danışmanı intihal yapılmadığı kanısında ise;

Yukarıda yer alan beyanın ve ekte sunulan Tez Çalışması Orijinallik Raporu'nun doğruluğunu onaylar ve Uygulama Esasları'nda öngörülen yüzdelik sınırlarının aşılmasına karşın, aşağıda belirtilen gerekçe ile intihal yapılmadığı kanısında olduğumu beyan ederim.

Gerekçe:

Benzerlik taraması yukarıda verilen ölçütlerin ışığı altında tarafımda yapılmıştır. İlgili tezin orijinallik raporunun uygun olduğunu beyan ederim.

28/02/2024
Dr. Öğr. Üyesi. Çağan
ALEV KAYALI

(Abi, B, *Toprak Erozyonuna Duyarlı Alanların Değerlendirilmesi: Yarışlı Gölü Alt Havzası Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2024)

ÖZET

Doğal ve jeomorfolojik bir süreç olan toprak erozyonu, bugün dünyada tarım, doğal kaynaklar ve çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratan önemli problemlerden biridir. Sürdürülebilirliğin temel ilkesi, arazi bozulunun engellenmesine yönelik çalışmaların yapılmasıdır. Çalışma alanı genel olarak gözlemlendiğinde arazi planlama anlayışından kaynaklanan sorunların doğal ortam üzerinde baskı yarattığı anlaşılmaktadır. Yarışlı Gölü alt havzası dik ve eğimli yamaçlara sahip olması nedeniyle arazi bozuluma ve toprak erozyonuna duyarlı bir alan olduğundan yanlış arazi kullanımlarının sonucunda uzun vadede yıpratıcı sonuçlara yol açan toprak kayıplarına sebebiyet verebileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada Yarışlı Gölü alt havzasındaki yanlış arazi kullanımının yıllar içerisinde geçirdiği değişimin jeomorfolojik birimler üzerinde oluşturduğu etkilerin erozyon duyarlılığı ile değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma alanında farklı çevresel koşullardaki hidrolojik olayları detaylandırarak canlandırma yeteneğine sahip bir hidrolojik model olan SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Model kullanılarak arazi simule edilmiştir. Modellenen arazi, çalışma sahasında elde edilen yersel ölçümlerle desteklenerek sınıflandırılmış ve birçok harita üretilmiştir.

Erozyon değerlendirme çalışmaları, toprak kaybının boyutunu belirlemek, erozyona duyarlı bölgeleri tanımlamak ve uygun koruma ve yenileme stratejileri geliştirmek için temelini oluşturmaktadır. Bu çalışma ile yapılmak istenen, Türkiye’de ve Dünya’da doğal bir tahribat olarak karşımıza çıkan erozyonun sonuçlarını Yarışlı Gölü Alt Havzasında değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Yarışlı Gölü, Erozyon, SWAT Model, Erozyon Çubuk Yöntemi

ABSTRACT

Soil erosion, a natural and geomorphological process, is one of the important problems in the world today that creates negative effects on agriculture, natural resources and the environment. The basic principle of sustainability is to work to prevent land degradation. When the study area is observed in general, it is understood that the problems arising from the land planning approach create pressure on the natural environment. Since the Yarisli Lake sub-basin is an area sensitive to land degradation and soil erosion due to its steep and sloping slopes, it is predicted that incorrect land use may cause soil losses that lead to devastating results in the long term.

In this study, it is aimed to evaluate the effects of the changes in incorrect land use in the sub-basin of Yarisli Lake over the years on geomorphological units with erosion sensitivity. In the study area, the land was simulated using the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Model, which is a hydrological model capable of simulating hydrological events in different environmental conditions in detail. The modeled land was classified, supported by terrestrial measurements obtained in the study area, and many maps were produced.

Erosion assessment studies form the basis for determining the extent of soil loss, identifying areas susceptible to erosion, and developing appropriate conservation and restoration strategies. What is intended to be done with this study is to evaluate the results of erosion, which we encounter as a natural destruction in Turkey and in the world, in the Yarisli Lake Sub-Basin.

Keywords: Yarıslı Lake, Erosion, SWAT Model, Erosion Pin Method

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI.....	i
YEMİN METNİ	ii
ORJİNALLİK BEYAN RAPORU.....	iii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
GRAFİKLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM ARAŞTIRMANIN GENEL ÇERÇEVESİ

1. ARAŞTIRMAYA DAİR BİLGİLER	5
1.1. Araştırmanın Problemi	5
1.2. Araştırmanın Amacı	5
1.3. Araştırmanın Önemi	6
1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları	7
1.5. Tanımlar	8
1.5.1. Erozyon Tipleri	8
1.5.1.1. Su Erozyonu	9
1.5.1.2. Damla Erozyonu.....	11
1.5.1.3. Yüzey Erozyonu.....	11
1.5.1.4. Parmak Erozyonu	13
1.5.1.5. Oyuntu Erozyonu	14
1.5.1.6. Akarsu Yatak Erozyonu	15
1.5.1.7. Rüzgâr Erozyonu.....	15

2. BÖLÜM KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kuramsal Çerçeve	17
2.2. Literatür Taraması.....	19
2.2.1. Araştırma Alanı ile İlgili Alanyazın.....	19
2.2.2. Araştırma Konusu ile İlgili Alanyazın	22

3. BÖLÜM

VERİ VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Temel Özellikleri ve Sınırları	31
3.2. Veri.....	34
3.2.1. Evren ve Örneklem	34
3.2.2. Verilerin Toplanması	35
3.2.2.1. Yersel Ölçümler	37
3.2.2.2. Arazi Kullanımı.....	43
3.2.2.3. İklim Verileri.....	45
3.2.2.3. Yağış Verilerinin Temini.....	45
3.2.2.4. Sıcaklık Verilerinin Temini.....	45
3.2.2.4. Veri Kalitesi ve İşlenmesi	45
3.3. Yöntem.....	47
3.3.1. SWAT Modeli.....	47
3.3.2. Destek Vektör Makineleri (DVM).....	52
3.3.3. Erozyon Çubuk Yöntemi (Erosion Pin Method).....	54
3.3.4. Karar Ağaç	56
3.3.5. Doğrulama Yöntemleri.....	57
3.3.5.1. AOC-ROC Doğrulama.....	57
3.3.5.2. Kappa Katsayısı	59
3.3.5.3. SWAT CUP Kalibrasyonu ve Doğrulaması.....	60

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Jeolojik Özellikleri	61
4.1.1. Paleozoik	64
4.1.1.1. Permian	64
4.1.2. Mesozoik	64
4.1.2.1. Trias	64
4.1.2.2. Jura	65
4.1.2.3. Kretase.....	65
4.1.3. Senozoik.....	66
4.1.3.1. Paleosen	66
4.1.3.2. Pliosen.....	66
4.1.4. Kuaterner.....	66
4.1.5. Tektonik	67
4.2. Topoğrafya Özellikleri	68
4.2.1. Jeomorfolojik Birimlerin Dağılımı	68
4.2.2. Dağlık Araziler.....	70
4.2.3. Plato Yüzeyleri.....	74

4.2.4. Yarışlı Gölü ve Yakın Çevresi	75
4.2.5. Topoğrafya Faktörü.....	76
4.3. Klimatik Koşullar.....	78
4.3.1. Yağış	78
4.3.2. Sıcaklık.....	80
4.3.3. Buharlaşma.....	83
4.3.4. Basınç ve Rüzgârlar	86
4.3.5. Bakı	88
4.4. Bitki Örtüsü.....	91
4.5. Hidroğrafya Özellikleri	93
4.5.1. Akarsu	95
4.5.2. Göl.....	95
4.6. Toprak Özellikleri	97
4.6.1. Zonal Topraklar.....	99
4.6.1.1. Kestane Renkli Topraklar	99
4.6.1.2. Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları.....	100
4.6.2. Azonal Topraklar	100
4.6.2.1. Alüvyal Topraklar	101
4.6.2.2. Kolüvyal Topraklar	102
4.6.3. İntrazonal Topraklar.....	102
4.6.3.1. Hidromorfik Topraklar.....	103
4.7. 1990-2023 Yıllarında SWAT Modeline Göre Toprak Erozyon Sonuçları ...	104
4.8. Yersel Ölçümlere Göre Toprak Erozyon Sonuçları	111
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	117
KAYNAKÇA	119
ÖZGEÇMİŞ.....	132

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Araştırma sürecinde cevabı bulunması planlanan sorular.....	6
Tablo 2. Çalışmada kullanılan veriler	36
Tablo 3. Burdur Meteoroloji İstasyonuna ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verileri (MGM)	46
Tablo 4. SWAT Model kalibrasyonunda kullanılan parametreler	50
Tablo 5. NSE, RSR ve PBIAS amaç fonksiyonlarına ait formüller.....	51
Tablo 6. SWAT Modeli kalibrasyon ve validasyon performanslarının değerlendirilme kriteri (Moriasi vd. 2007).....	52
Tablo 7. Burdur merkez ilçe meteoroloji istasyonunun 1960-2023 yılları arasındaki, mevsimlere göre kar örtülü gün ve kar yağışlı günlerin dağılışı ve % değerleri (MGM)	80
Tablo 8. Thornthwaite metoduna göre Burdur'un su bilançosu (Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)	85
Tablo 9. Burdur Merkez ilçe ve Tefenni İstasyonlarının ortalama aylık ve yıllık ortalama basınç değerleri (mb) (MGM)	86
Tablo 10. Burdur Merkez ilçe ve Tefenni İstasyonlarının ortalama aylık ve yıllık hâkim rüzgâr yönleri (MGM).....	88
Tablo 11. Kalibrasyon ve validasyon sürecindeki SWAT modelinin hidrolojik performans sonuçları	110

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Yağmur damlası erozyonu ve erozyon başlangıcı (Kaynak: NVIDIA Canvas yapay zekâ uygulaması ile hazırlanmıştır.).....	10
Şekil 2. Erozyon olayının gelişim aşamaları (Kaynak: Özşahin, 2016'dan yeniden düzenlenerek hazırlanmıştır.).....	11
Şekil 3. Rüzgâr erozyonunun gelişim aşamaları (Kaynak: NVIDIA Canvas yapay zekâ uygulaması ile hazırlanmıştır.)	16
Şekil 4. ICONA modeli akış diyagramı (Kaynak: Ediş vd. 2021'den yeniden düzenlenerek hazırlanmıştır.).....	30
Şekil 5. Çalışma alanı konum haritası.....	32
Şekil 6. Çalışma alanında 2x2 km kareler yardımı ile random belirlenmiş örneklem noktaları	38
Şekil 7. Yersel ölçüm verilerinin çalışma sahasındaki konumları ve sonuçları	42
Şekil 8. (a) 1990 yılına ait arazi kullanım sınıflandırılma haritası, (b) 2023 yılına ait arazi kullanım sınıflandırılma haritası (Kaynak: https://earthexplorer.usgs.gov).....	44
Şekil 9. SWAT Model işleyiş şeması (Kaynak: Neitsch vd. 2002'den düzenlenerek alınmıştır.).....	48
Şekil 10. SWAT modelinde dikkate alınan fiziksel süreçler (Kaynak: Neitsch vd. 2011 düzenlenerek alınmıştır).	49
Şekil 11. a) İki sınıflı bir problem için hiper-düzlemler, (b) Optimum hiper-düzlem ve destek vektörleri (Kaynak: Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır)	53
Şekil 12. (a) Erozyon çubuk ölçümü, (b) zemin üzerindeki görünümü.....	55
Şekil 13. Örnek bir karar ağacı yapısı ((Kaynak: Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır.)	56
Şekil 14. Çalışma alanı jeoloji haritası (Kaynak: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nden yararlanılarak hazırlanmıştır.)	62
Şekil 15. Çalışma alanı jeomorfoloji haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)	69
Şekil 16. Çalışma alanı yükselti haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)	71
Şekil 17. Çalışma alanı eğim (%) haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)	73
Şekil 18. Çalışma alanı yamaç şekli haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)	77
Şekil 19. Çalışma alanı ortalama sıcaklık haritası (Kaynak: https://www.worldclim.org adresinden elde edilen verilerle Lapse rate metoduna göre hazırlanmıştır.).....	82
Şekil 20. Çalışma alanı bakı haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)	90

Şekil 21. Çalışma alanı bitki örtüsü haritası (Kaynak: Orman Genel Müdürlüğünce eski kaynaklı veriler temin edilmiştir.).....	92
Şekil 22. Çalışma alanı hidrografi haritası (Kaynak: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nden elde edilen verilerle hazırlanmıştır.).....	94
Şekil 23. Çalışma alanı toprak sınıfları haritası (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nden elde edilen verilerle hazırlanmıştır.).....	98
Şekil 24. SWAT Modeline göre 1990 yılına ait akım ve tortu tahmin sonuçları	106
Şekil 25. SWAT Modeline göre 2023 yılına ait akım ve tortu tahmin sonuçları	107
Şekil 26. SWAT Modeline göre 1990 yılına ait toplam alt havza yükü sonuçları ..	108
Şekil 27. SWAT Modeline göre 2023 yılına ait toplam alt havza yükü sonuçları ..	108
Şekil 28. SWAT Modeline göre 1990 yılına ait hidrolojik çevrim sonuçları.....	109
Şekil 29. SWAT Modeline göre 2023 yılına ait hidrolojik çevrim sonuçları.....	110
Şekil 30. Yersel ölçüm verilerinin çalışma sahasındaki konumları ve sonuçları	112
Şekil 31. Çalışma alanına ait karar ağaç yöntemiyle hazırlanmış toprak erozyon sınıfları.....	114

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 1. Burdur meteoroloji istasyonu verilerine göre hazırlanan yağış ve sıcaklık dağılımı.....	83
Grafik 2. Burdur meteoroloji istasyonu verilerine göre hazırlanan ortalama, minimum ve maximum sıcaklık dağılımı.....	83
Grafik 3. Çalışma alanı bakı sınıflarının oransal dağılım grafiği (%)	91



FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1. GPS tarafından girilen konum verileri	39
Fotoğraf 2. Numaralandırılmış örneklemeler	39
Fotoğraf 3. Erozyon çubuğunun sahaya yerleştirilme aşaması.....	40
Fotoğraf 4. Erozyon çubuğu sonuç ölçüm aşaması; (a) aşınan toprak ölçümü, (b) biriken toprak ölçümü	41
Fotoğraf 5. Yarışlı Gölü etrafındaki dağlık alanlardaki mermer ocakları.....	72
Fotoğraf 6. Çalışma alanında tarım arazisine çevrilmiş plato yüzeyi	75
Fotoğraf 7. Yarışlı gölünün kuzeyindeki yüksek tepelerden çekilmiş görüntü	76
Fotoğraf 8. Çalışma alanındaki makilik alandan bir görüntü.....	93
Fotoğraf 9. Yarışlı gölünün su kaybının kıyından görüntüsü	96

ÖNSÖZ

Türkiye'nin coğrafi yapısı, iklim koşulları ve tarımsal faaliyetler göz önüne alındığında, erozyonun ülke genelinde önemli bir sorun olduğunu görmekteyiz. Toprak erozyonu, tarımsal alanlarda verimliliği azaltabilir, su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir ve ekosistemlerde ciddi dengesizliklere yol açabilmektedir. Ülkemizdeki erozyonun sadece doğal faktörlerden kaynaklanan bir sorun olmaması, aynı zamanda insan etkisinin de büyük bir rol oynadığını göstermektedir. Türkiye'nin topraklarını, tarımsal alanlarını ve ekosistemlerini korumak için erozyonun önlenmesi veya azaltılması için yapılacak çalışmalar, sürdürülebilir bir çevre ve sağlıklı bir gelecek için kritik bir adımdır. “Toprak Erozyonuna Duyarlı Alanların Değerlendirilmesi: Yarışlı Gölü Alt Havzası Örneği” adlı bu çalışmada erozyon riski ve değerlendirmesi adına önemli tahmin çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın hazırlanma sürecinde, ilk günden bugüne kadar maddi, manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Çağan ALEVKAYALI'ya bana kattığı her bir tecrübe ve bilgi desteği için sonsuz teşekkür ediyorum. Çalışmanın şekillenmesine katkı sunan ve her anlamda bizleri bilgiye, dürüstlüğe ve doğruluğa sevk eden, lisans hayatımın başından beri omzumdan elini çekmeyen Prof. Dr. Yıldırım ATAYETER'e sonsuz teşekkür ediyorum. Çalışmaya sunduğu katkı ve emeklerinden ötürü Araş. Gör. Onur YAYLA, Araş. Gör. Dr. Mustafa DOĞAN hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Bu tezin tamamlanması sürecinde en büyük motivasyon kaynağım olan aileme teşekkür etmek istiyorum. Onların sonsuz destekleri, sabırları ve anlayışları olmadan bu çalışmanın tamamlanması mümkün olmazdı. Zorlu anlarda bile benim yanımda oldular ve bu süreçte beni cesaretlendirerek, çalışmalarımı sürdürmemde büyük rol oynadılar. Onların inancı ve sevgisi, her zaman beni ileriye taşıdı ve bu tezin tamamlanmasında bana büyük bir güç ve motivasyon verdi. Çalışmanın her aşamasında yanımda olan sevgili anneme, babama ve kardeşlerime çok teşekkür ediyorum.

Bedran ABİ

Isparta-2024

GİRİŞ

Jeomorfolojik bir süreç olan toprak erozyonu tarım, doğal kaynaklar ve çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratan doğal bir olaydır (Kanar ve Dengiz, 2015). Toprak erozyonu yer yüzeyinin akarsu, rüzgâr, buzul, dalga ve biyolojik sebepler gibi dış etmenlerle aşındırılması ve taşınması şeklinde ifade edilmektedir (İmamoğlu vd. 2015).

İnsanın yeryüzüne olan müdahaleleri bu sürecin değişmesine ve hızlanmasına neden olup toprak erozyonunun bir çevre sorunu olmasına neden olmaktadır (Dengiz vd. 2014). Erozyon sürecinin derinleşmesi durumunda, toprağın kaybedilmesi, yapay ortamlarda besin üretimi yapılmasına rağmen temel üretim kaynağı olan toprağın yerine geçmesini mümkün kılmamaktadır (Karaş ve Oğuz, 2009). Son yıllarda toprak erozyonu araziye müdahaleler sonucunda hızlanmakta ve ekosistem üzerinde baskılar yaratarak önemli bir çevre problemi haline gelmiştir (Karabulut ve Küçükönder, 2008). Bu durumun en önemli itici gücü orman ve otlakların (mera) farklı amaçlarla tahrip edilmesi karasal sistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Tüfekçioğlu ve Tüfekçioğlu, 2018). Toprak erozyonun yavaşlaması ile karasal ekosistemler üzerindeki baskıların hafifletilmesi mümkündür.

Toprak erozyonu Türkiye için ciddi boyutlara ulaşmıştır. Demir ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada ülke topraklarının %7 sinde hafif, %20 sinde orta, %63 ünde şiddetli ve çok şiddetli erozyona maruz kaldığı ifade edilmektedir. Türkiye’de her yıl km² başına yaklaşık 600-800 ton verimli toprak, akarsularla denizlere, göllere ve barajlara taşınmaktadır (Demir vd. 2017). Bu rakamlar tarım arazilerinin yaklaşık üçte birinin erozyona maruz kaldığı yapılan toprak su koruma çalışmalarında görülmektedir (Demir vd. 2017). Toprağın aşınması, toprağın kendini yenilemesinden 10 ila 40 kez daha hızlı gerçekleşmektedir. Dünyada yaygın olarak görülen bu etkiler, Türkiye’de de ciddi boyutlara ulaşmıştır.

Çeşitli etkenlerden dolayı Türkiye'nin geniş bir coğrafi bölümü, iklim, arazi yapısı ve uygulanan yanlış yöntemlerin etkisiyle erozyona karşı oldukça hassas hale gelmiştir (Dengiz vd. 2016). Ayrıca, arazi ve toprakların doğal oluşum süreçlerine uygun olmayan kullanım şekilleri altında işletilmesi ve yanlış tarım tekniklerinin

benimsenmesi, doğal toprak erozyon sürecinden daha fazla kayba sebep olmaktadır. (Everest ve Özcan, 2016). Bundan dolayı toprak erozyonunun mekânsal ve zamansal büyüklüğünün belirlenmesi önlemler alınması bakımından önem taşımaktadır (Özyuvacı, 1971). Toprak erozyonunun doğrudan ölçümü, hem yüksek maliyetli hem de zaman alıcı bir süreç olduğundan, genellikle farklı araçlar kullanılarak değerlendirilmektedir (Alkharabsheh vd. 2013). Toprak erozyonu miktarını belirlemeye yönelik ilk çalışmalar deneysel nitelikte olup, 20. yüzyılın başından günümüze kadar yoğun bir şekilde devam etmiştir (Alevkayalı ve Abi, 2023). Bu yoğunlaşmanın temelinde bilgisayar tabanlı sistemlerin yani Coğrafi Bilgi Sistemlerinin toprak erozyonu konusunda kullanımının yaygınlaşmasıdır (Özdemir ve Tatar Dönmez, 2016). Bu yöntemlerle yapılan uygulamaların temelinde toprak erozyon miktarının ve erozyona duyarlı alanların belirlendiği çalışmalar yer almaktadır.

Toprak erozyonunu etkileyen parametreleri dikkate alan birçok model geliştirilmiştir. Bu modeller genellikle deneysel-ampirik, kavramsal ve fiziksel tabanlı olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır (Lane vd. 1988). Son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılan toprak erozyonu modelleri, metodolojik olarak 1970'lerdeki deneysel yaklaşımlardan uzaklaşıp daha çok fiziksel temelli ve kavramsal yaklaşımlara doğru bir eğilim sergilemektedir (Uludağ ve Fıçıcı, 2018). Erozyon modellerinin gün geçtikçe daha çok kullanılması mekân tabanlı teknolojilerin yani CBS'nin gelişmesi ile toprak erozyonundan kaynaklanan problemlerin anlaşılmasına ve arazi koruma planlarının etkin bir yapıya ulaşmasını sağlamıştır (Souksakoun, 2008; Çilek, 2013).

Toprak erozyonu alanında sıkça kullanılan modeller şunlardır: RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), SWAT (Soil And Water Assessment Tool) (Arnold vd. 1993), AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution) (Young vd. 1989), ANSWERS (Areal Non Point Source Watershed Environment Response Simulation) (Beasley vd. 1980) ve WEPP (Water Erosion Prediction Project) (Lafren vd. 1991) şeklinde sıralanmaktadır (Alevkayalı ve Abi, 2023). Bu modeller, erozyona hassas alanların görüntülenmesi ve toprak kayıplarını miktar olarak tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu modeller arasında SWAT modeli toprak erozyonu konusunda

kullanılan araçlardan biridir. SWAT modeli CBS alanının gelişmesi ile mekânsal uygulamalar düzeyinde çalıştırılmaktadır (Özdemir ve Güngör, 2019). Model, yüzeysel akış ve yağış baskısı ile toprakta gerçekleşen kopma, taşınma ve birikim olaylarını incelemektedir (Nietsch vd. 2009). Böylece yeryüzünde hareket eden tortunun ayrılması ve taşınmasında kullanılan enerjiyi temsil eden yağış-akış ilişkisini bir eşitliğe çevirerek her bir piksel için tortu verimini hesaplamakta ve bu değerleri alt havza seviyesinde tahmin etmektedir (Demirağ Turan ve Dengiz, 2017).

Bu uygulamalara bakıldığında veri temini ve oluşturulması ile ilgili ayrı bir parantez açılmalıdır. Son 20 yılda Uzaktan Algılama (UA) ve uydu teknolojileri yardımı ile mekânsal çözünürlüğü santimetre boyutlarına ulaşan yüksek kalitede mekânsal veri üretilerek bu konuda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Akay, Özcan ve Şen, 2019; L1ena, Vericat, Smith ve Wheaton, 2020).

Erozyon çalışmalarında başta UA olmak üzere girdi olarak kullanılan verilerin yanında yersel ölçümlerle desteklenmesi bu konudaki çalışmaların başarısını arttırmaktadır (Llena vd. 2020). Bu görüntüleme işleminde ise noktasal ölçümler sürekli yüzey şekline getirilmektedir (Özyazıcı vd. 2015). Bu yöntemlerden biri erozyon çubuk yöntemidir (Tufekçioğlu, 2006). Bu yöntemle özellikle eğimli sahalardaki yamaç erozyonunda, yüzey erozyonu, kanal erozyonu ve oyuntu (gully) erozyonunun belirlenmesinde yaygın bir kullanıma sahiptir. Erozyon çubukları genellikle demir ya da benzeri sert materyalden yapılmaktadır (Tufekçioğlu vd. 2020). Bu teknik, toprağa dikey olarak yerleştirilen bir veya birden fazla çubuğun, toprak yüzeyine göre üst kısımlarındaki seviye değişimlerinin ölçülmesi prensibine dayanır (Hudson, 1993). Bu yöntem özellikle yüzey erozyonu ve oyuntu (gully) erozyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda oldukça yararlı sonuçlar vermektedir. Toprak erozyonu gibi kesikli yüzey olarak adlandırılan ortamların yüksek doğrulukta sınıflandırılması ile güvenilir sonuçlar üretilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (İmamoğlu vd. 2016). Son yıllarda mekânsal modellerin yanında yersel ölçümlerle desteklenen yapay zekâ uygulamaları (makine öğrenmesi ve derin öğrenme) yaygınlaşmıştır (Alevkayalı ve Abi, 2023). Böylece yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak verilerin sınıflandırılmasıyla yüksek doğrulukta modelleme haritaları üretilmektedir. Toprak erozyonunda sıkça kullanılan makine öğrenimi yöntemleri genellikle Karar Ağaçları,

Destek Vektör Makineleri, Rasgele Orman ve Yapay Sinir Ağları olarak sıralanmaktadır (Alevkayalı ve Abi, 2023). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri arasında karar ağaçları toprak erozyonuna hassas bölgelerin görüntülenmesinde etkili yaklaşımlardan biridir.

Bu çalışmanın temel motivasyonu yıllar içerisinde arazi kullanımının geçirdiği değişimden kaynaklanan arazi bozulumu ve değişen iklim koşulları doğrultusunda toprak erozyon sürecinin nasıl etkili olduğunun ortaya konulmasıdır. Bundan dolayı bu çalışmada 1990 ve 2023 yılları kapsamında SWAT modeli kullanılarak farklı yıllardaki erozyon miktarları tahmin edilmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın diğer bir hedefi toprak erozyonunun fazla ve az olduğu bölgelerin görüntülenmesidir.

Toprak erozyonun miktarının ve erozyona duyarlı alanların belirlenmesi konusunda yürütülen bu çalışmada Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan Yarışlı Gölü Alt Havzası seçilmiştir. Bu alanda erozyon miktarının belirlenmesinde SWAT yönteminden, erozyona duyarlı alanların sınıflandırılmasında ise Karar Ağacı yaklaşımından yararlanılmıştır.

1. BÖLÜM

ARAŞTIRMANIN GENEL ÇERÇEVESİ

1. ARAŞTIRMAYA DAİR BİLGİLER

1.1. Araştırmanın Problemi

Sürdürülebilir doğal ortamın temel ilkesi, arazi bozulmasının engellenmesidir (Alevkayalı, 2020). Arazi bozulmasının engellenmeye çalıştığı ve bütünlüğü korumayı amaçlayan bu çalışmalar, çeşitli kriterlerin değerlendirilmeye alındığı karmaşık bir süreçtir (Weerakoon, 2002). Arazi bozulma sürecini inceleyen analiz çalışmalarının temel amacı, arazi biriminin doğal yeteneklerini belirleyerek, uzun vadede bu yetenekleri bozmadan koruyacak ve sürdürebilecek arazi kullanımlarını tanımlamak ve desteklemektir (Cengiz vd. 2013b, Alevkayalı, 2018). Doğal ortamın en önemli öğelerinden biri olan toprak, binlerce yılın ardından geri dönüşü olmayan bir duruma gelmektedir (Tağıl, 2007). Çalışma alanı olan Yarışlı Gölü Havzası'nın genel analizi, arazi planlama yaklaşımlarından kaynaklanan sorunların doğal ortamı olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu süreç doğrultusunda aşınan ve taşınan malzemeler özellikle açık mermer ocakları nedeniyle değişime uğramaktadır (Yılmaz ve Caran, 2019). Yarışlı Gölü havzasında artan erozyonun kontrol altında tutulması Yarışlı Gölü'nün varlığı ve tarımsal üretimin devamlılığı açısından oldukça önemlidir. Bu sebeple jeomorfolojik birimler üzerinde yanlış arazi kullanımının toprak erozyonunun duyarlılığına etkisi çalışmada açıklamaya çalışılan temel araştırma problemidir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Toprak erozyonunun görüntülenmesi için uzun yıllık rasatların bulunması gerekmektedir. Bunun yanında arazideki ve iklimdeki değişimler erozyon sürecini etkilemektedir. Bundan dolayı bu süreçleri dikkate alan bir modelin kullanılması çalışmanın amacına ulaşması açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada Yarışlı

Gölü alt havzasındaki yanlış arazi kullanımının yıllar içerisinde (1990-2023) geçirdiği değişimin jeomorfolojik birimler üzerinde oluşturduğu etkilerin erozyon duyarlılığı açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca erozyonun boyutlarını yersel ölçümler ve modellerle belirleyerek geçmişle ilişkilendirmek, ardından gelecekle ilgili söz konusu alanın durumu hakkında tahminlerde bulunulması hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanında doğal ve beşeri nedenlerle değişim gösteren toprak erozyonu, doğal ve beşeri süreçlerin işleyişini açıklanması planlanmaktadır. Bu sayede çalışmada elde edilen verilerin arazi kullanım uygulamaları ile söz konusu sahada erozyona yönelik tahminlere dayalı gelecekteki gidişatının manzarası tasarlanacaktır. Bu çalışmada cevabı aranan araştırma soruları:

Tablo 1. Araştırma sürecinde cevabı bulunması planlanan sorular

1	Toprak erozyonun havza genelinde ne şekilde yayılım göstermiştir?
2	Meydana gelen erozyonda akışa geçen sediman nerelerde depolanmaktadır?
3	Erozyon tahribatı açısından yüksek riskli sahalarda nerelerdir?
4	SWAT modeli toprak erozyonunun belirlenmesinde ne kadar etkilidir?
5	1990 ile 2023 yılları arasında arazi kullanımı değişiminin toprak erozyonu miktarına etkisi nasıl olmuştur?
6	Yarışlı Gölü alt havzasında hangi jeomorfolojik birimler üzerinde toprak erozyonuna duyarlılık daha fazladır?

1.3. Araştırmanın Önemi

Küresel bir sorun teşkil eden toprak erozyonu mekânsal modellerle tahmin edilmesi Yarışlı Gölü Alt Havzasında ortaya koyulması arazi bozulmasının duyarlılığının belirlenmesi açısından önemlidir. Türkiye’de de toprak erozyonu önemli bir arazi problemi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma Yarışlı Gölü Alt Havzasında erozyon sürecinin zamansal ve mekânsal değişiminin nasıl gerçekleştiği konusunda bulgular sunması toprak erozyon sürecinin arazide nasıl etkili olduğunun anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Dahası bu çalışma ile Göller Yöresi olarak adlandırılan bölgede sediman aşınma ve taşınma süreçlerinin gerçekleşme alanlarının anlaşılması kapalı havzalarda toprak erozyonu süreçlerinin açıklanmasına katkı sağlayacaktır.

1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Veri Erişimi ve Zaman Sınırlılıklar

- Araştırma sürecinde elde edilebilen veri kaynaklarının sınırlı olması veya bazı dönemler için eksik veri noktalarının bulunması, analizlerin kapsamlılığını etkilemektedir. Arazi kullanımı verilerinin 1990 ve 2023 yıllarını kapsayan 30 metre çözünürlükle Landsat görüntüleriyle sınırlıdır. Ayrıca iklim verilerinin temini için çalışma sahası kapsamında yeterli meteoroloji istasyonunun olmamasından dolayı 17238 no'lu Burdur merkez ilçesi meteoroloji istasyonu verileri kullanılmıştır.

- Topografyanın belirlenmesinde 10 metre çözünürlükte İzohipsler (eş yükseklik eğrileri) kullanılmıştır.

- Araştırma için gereken finansal kaynakların sınırlı olması, saha çalışmaları veya veri toplama faaliyetleri için yeterli kaynağın sağlanmasını engellemektedir. Bu yüzden yersel ölçümlere dayalı örneklem adedi 100 ile sınırlandırılmıştır.

Coğrafi Kapsam Sınırlılıkları:

- Çalışmanın odaklandığı Yarışlı Gölü Alt Havzası'nın belirli coğrafi sınırları içindeki uygulamalar genel bir analiz sonucu sunsa da çalışma alanı dışındaki bölgelerin erozyon miktarı açısından farklılık göstermesi kuvvetle muhtemeldir. Bu çalışmanın sahası Yarışlı Gölü Alt Havzası olarak sınırlandırılmıştır.

Yöntemsel Sınırlılıklar:

- Kullanılan model ve analiz tekniklerinin belirli kısıtlamalar olabilmektedir. Bu konu kapsamında çeşitli modeller ve yersel ölçüm yöntemleri olmasına karşın bu çalışma mekânsal modellemede SWAT modeli, yersel ölçümler için erozyon çubuk yöntemi ve erozyona duyarlı alanların sınıflandırılmasında Karar Ağacı yöntemleri ile sınırlandırılmıştır.

1.5. Tanımlar

Arazi Degradasyonu

Arazi bozulumu, doğal süreçler veya insan faaliyetleri sonucu toprak örtüsünün, arazi verimliliğin veya yapısının bozulması durumunu ifade etmektedir (Conancher, 2009).

Toprak Erozyonu

Toprak erozyonu, su, rüzgâr veya insan etkisiyle toprak tabakasının aşındırılması ve taşınması sürecidir. Bu süreç, tarım alanlarını, ekosistemleri ve toprak verimliliğini olumsuz etkilemektedir (Kanar ve Dengiz, 2015).

Çölleşme

Çölleşme, kuraklık, insan etkisi veya iklim değişiklikleri gibi faktörlerin etkisiyle verimli toprakların ve su kaynaklarının kaybıyla birlikte, iklimsel ve ekolojik dengenin bozulması sürecidir (Reynolds ve Stafford Smith, 2002)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi verilerin toplanması, saklanması, analiz edilmesi, yönetilmesi ve haritalar ile diğer görsel çıktılar aracılığıyla sunulması için kullanılan bilgi tabanlı bir teknolojidir (Aronoff, 1989).

Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bir algoritma veya modelin belirli bir görevi veya problemi, verilerden öğrenme yoluyla gerçekleştirebilme yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır (Hastie vd. 2009).

1.5.1. Erozyon Tipleri

Dünya var olduğundan bu yana ana kayanın fiziksel ve kimyasal yollar aracılığıyla çözülmektedir (Bahtiyar, 2003). Bu çözülme daha sonra taşınmakta ve

belirli alanlarda birikmektedir. Çok az miktarda toprak tabakasının oluşması için binlerce yıla ihtiyaç duyulmaktadır (Yılmaz, 2010). Arazi yüzeyinin bitki örtüsünden yoksun kalması ile bir çevre problemi olarak toprak erozyonu, topraktaki verimli üst yüzeyin taşınması olayıdır. Uygulamalı jeomorfoloji problemlerinden birisi olan toprak erozyonu, kütle hareketleri ile ilişkilendiğinden yavaş gelişme gösteren bir özelliğe sahiptir ve bu sebeple teşhis koyulması diğer sorunlara göre daha zordur. Toprakta meydana gelen erozyonun oluşumunda önemli olan dış etkenler incelendiğinde bu süreçte başrol oynayan iki unsurun bulunduğu görülmektedir. Bunlar; doğal (jeolojik) ve hızlandırılmış (doğal olmayan/beşeri) erozyondur.

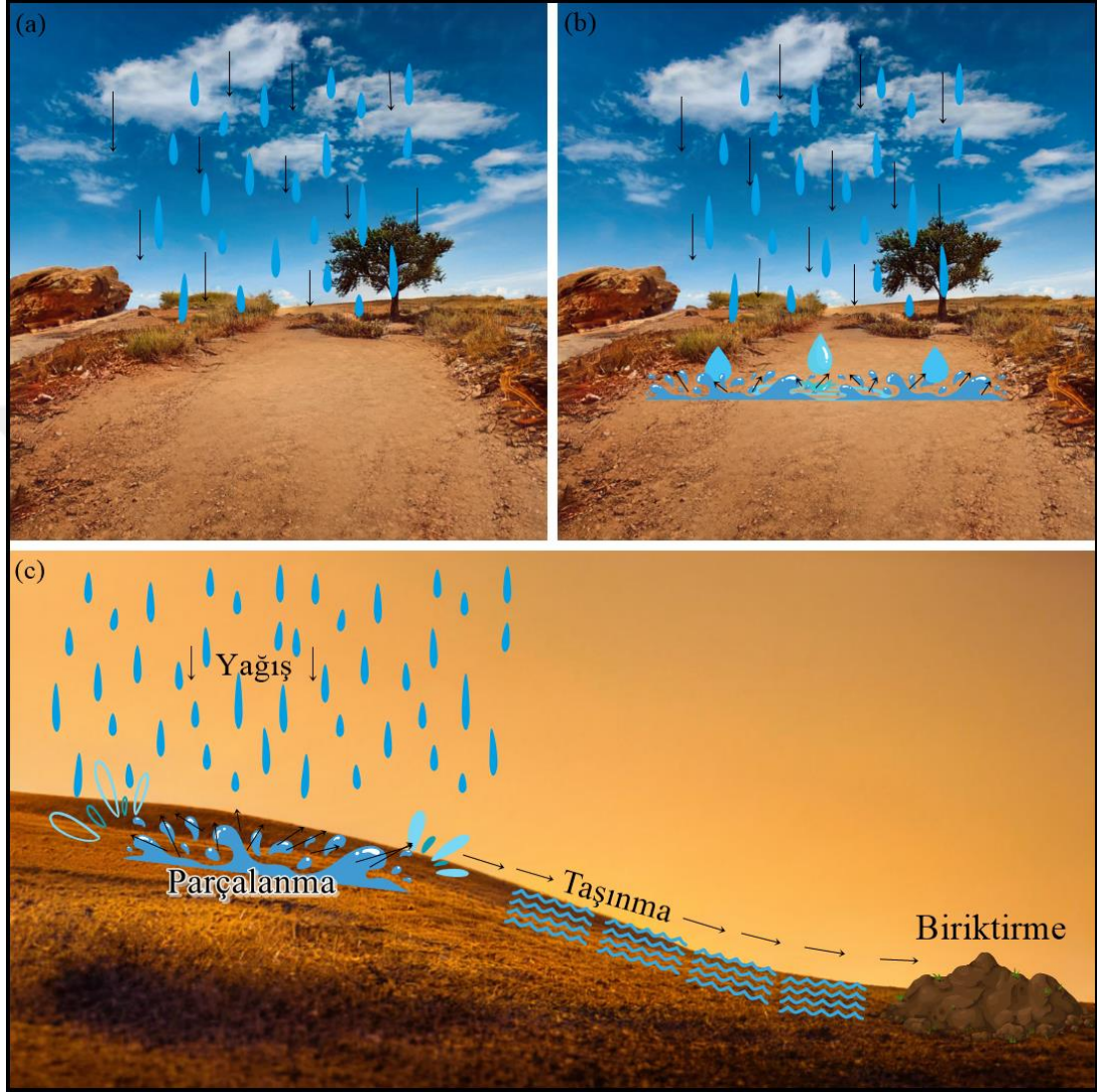
Son iki yüzyıl öncesinde artan nüfus artışını önlemek amacıyla yaygınlaşan ormanlaştırma çalışmaları bu sorunun daha geç görülmesini sağlasa da geçen yılların ardından tahrip edilen ormanlık alanlar, tarım alanlarına çevrilen meralar nedeniyle erozyon tehlikesi kendini göstermeye başlamıştır. Ancak üzerinde hayatlarımızı sürdürdüğümüz toprakta meydana gelen erozyonu engelleyebilecek doğal unsurlara zarar vermek bu tehlikeye katkı sağlamaktadır. Bunun dışında, toprakta meydana gelen erozyonun insan olmaksızın doğal şartlarda süreci tamamlaması, yerinde kalan toprak için yenilenme fırsatı sunmaktadır. Bu durum, doğal etkenlerin etkisiyle kendi kendini yenileyebildiği için doğal erozyon olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca beşeri faaliyetlerden ötürü toprak üst yüzeyi taşındığından toprağın kendisini yenileyebilmesi için gerekli zaman uzadığından erozyon süreci hızlanmakta ve bu durum hızlandırılmış erozyon olarak tanımlanmaktadır.

Toprakta meydana gelen erozyon çeşitleri oluşum koşullarına göre sınıflandırılmaktadır;

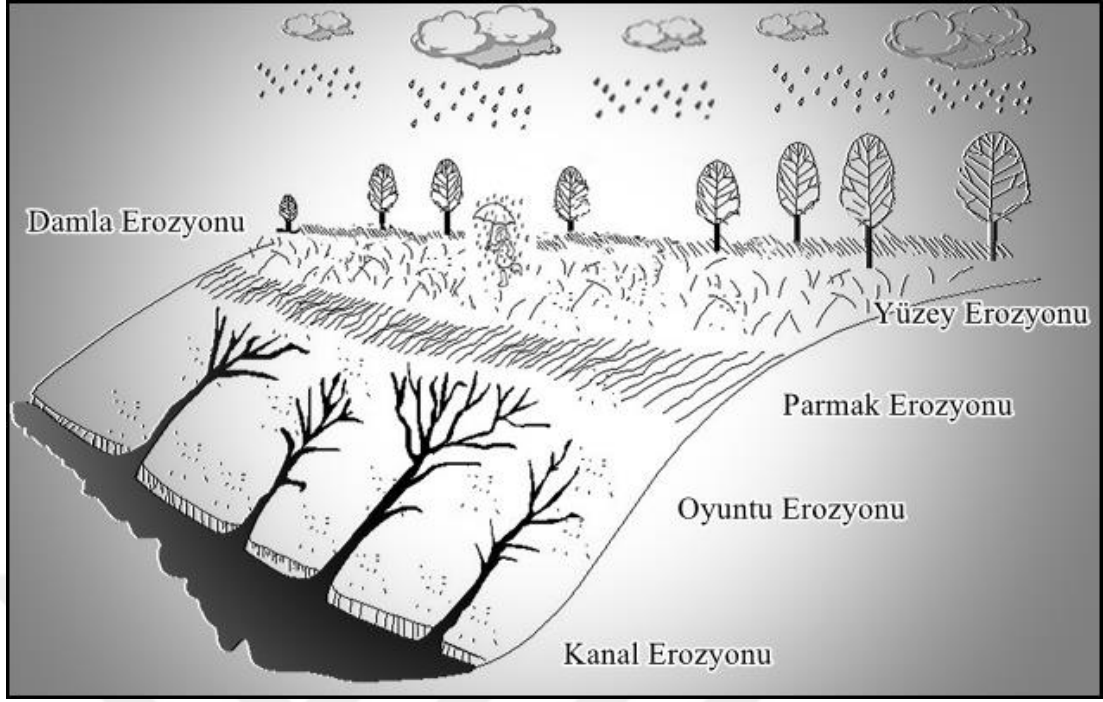
1.5.1.1. Su Erozyonu

Su erozyonu, bitki örtüsünün bulunmadığı eğimli arazilerde eriyen kar ve yağmur sularının toprağı aşındırıp taşıması sonucunda oluşmaktadır (Çelebi, 1971). Su erozyonunun meydana geldiği sahalarda yüzeye düşen yağmur damlalarının topoğrafyaya uyguladığı şiddet yüzünden toprak taneleri sıçrar ve parçalara ayrılır (Şekil 1c). Hareketlenmeye maruz kalan toprak, topoğrafya üzerinde akışa geçen suyun oluşturduğu sel kısa zaman içerisinde erozyonu meydana getirmektedir. Yağışın hızlanmasıyla birlikte topoğrafyaya düşen yağmur tanelerinin uyguladığı şiddetin etkisi öncelikle toprak gözeneklerini tıkayarak sızdırmanın azalmasına, ardından

zemine hızlı çarpan yağmur damlalarının toprak parçalarını eğimle birlikte yüzeysel akışa geçirmesine sebep olmaktadır (Şekil 1a). Yüzeysel akışa geçen topraklar ise başka sahalara birikmek üzere taşınmaktadır (Yılmaz, 2010).



Şekil 1. Yağmur damlası erozyonu ve erozyon başlangıcı (Kaynak: NVIDIA Canvas yapay zekâ uygulaması ile hazırlanmıştır.)



Şekil 2. Erozyon olayının gelişim aşamaları (Kaynak: Özşahin, 2016'dan yeniden düzenlenerek hazırlanmıştır.)

1.5.1.2. Damla Erozyonu

Yağmur damlalarının eğimin olmadığı arazilerde toprağın yüzeyine çarpması sonucunda 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 dakika boyunca devam eden sağanak yağışın etkisiyle eğimli bir arazide 90 mm/saat şiddetinde 1 ha'lık toprağın yüzeyinde bir yılda 27.5 ton toprak yağışın darbe etkisiyle yok olmaktadır (Günay, 1997).

Yağışın şiddetli ve yağmur damlalarının boyutunun büyük olduğu durumlarda yere çarptıktan sonra sıçrayan damlalar yere tekrar düşerken birleşerek erozyon şiddetini arttırmaktadır. Toprağa uygulanan etkiyle birlikte erozyonun hızlanma oranı, damlanın kinetik enerjisi ve zeminin yapısıyla doğrudan ilgilidir (Şekil 1b) (Erinç, 2000).

1.5.1.3. Yüzey Erozyonu

Tabiatı bozulmuş ve dik eğime sahip alanlarda, yağmur veya yüzey sularının etkisiyle toprak zerrecelerinin ayrılarak taşınması olayına, satıh veya yüzey erozyonu

adı verilmektedir (Çepel, 1977). Dalgalandırılmış arazilerde, tepe bölgelerinde ve dik eğimli alanlarda, topraklar genellikle hafif eğimli bölgelere göre daha hızlı bir şekilde taşınma eğilimi gösterir (Şekil 2). Bu durumda, sıklıkla açık renkli alt tabakalar yüzeye çıkar. Su ve toprak karışımı, eğimin aşağısına doğru katmanlar halinde hareket ederek üst toprak katmanlarını sürükler. Bu erozyon tipinde, toprağın ince parçacıkları taşınır ve bu durum bitki gelişimini engelleyerek besin maddelerinin azalmasına ve toprağın su tutma kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır (Doğan, 1976).

Yüzey erozyonu, genellikle yamaçların tabanlarında, drenaj kanallarında, tarla sınırlarında ve daha az eğimli arazi kesimlerinde yeni taşınan malzemenin birikmesiyle kendini gösteren alt tabakanın üst tabakaya karışması olayıdır. Bu erozyon tipi, ince dokulu, su geçirgenliği düşük, organik madde açısından fakir ve sıkışmamış topraklarda daha belirgin hale gelebilir. Tedbir alınmaması durumunda, %1-2 eğime sahip, su geçirgenliği düşük podsol ve rendzina gibi toprak tiplerinde yüzey akışı oldukça etkilidir (Browan vd, 1996).

Yüzeyel erozyonun belirtilerini gösteren renk değişimleri, genellikle çıplak topraklarda ve yeni işlenmiş arazilerde daha belirgin bir şekilde gözlemlenir. Bununla birlikte, kurak mevsimlerde üst tabakadaki renk değişiklikleri daha kolay fark edilebilmektedir (Margon, 2005).

Yüzeyde akan su, arazi eğimine bağlı olarak kinetik bir enerji kazanır. Bu su, taşıdığı kinetik enerjinin bir kısmını yüzeyi aşındırmak için kullanırken, büyük bir kısmını da taşıdığı parçacıkları hareket ettirmek için harcar. Toprak parçalarını taşımak ve çözmek için harcadığı enerji dengelendiğinde, erozyon en üst seviyeye ulaşır. Organik madde açısından zayıf, tanecik yapıya sahip ve ince taneli topraklar yüzeyel erozyonla daha kolay taşınabilir hale gelir (Çepel, 1977).

Kil büyüklüğünde ve kolloidal yapıda olan maddeler, çözünmeleri zor olmasına rağmen, boyutlarının son derece küçük olması nedeniyle çözüldükten sonra kolaylıkla süspansiyon halinde taşınabilmektedirler (Yurtcan, 2009).

Tarım arazilerinde oluk veya çukur benzeri hasarların görülmesiyle birlikte, bulanık akıntıların varlığı ve eğimin alt kısımlarında birikintilerin oluşması, bu tarlalarda yüzeyel erozyonun etkili olduğunu gösterir. Eğim boyunca sürekli akan sular, kendilerine uygun bir yatak bulur ve oluklar oluştururlar. Böylelikle oluk erozyonu ortaya çıkar (Saç, 2003).

Musgrave (1947), Amerika'nın iç eyaletlerinde gerçekleştirilen çalışmaların sonuçlarını sentezleyerek, araştırma sahasındaki toprak kaybı ve erozyon miktarını hesaplamak için aşağıdaki denklemden yararlanmıştır.

$E = F \cdot C \cdot P \cdot K$ formülünde:

E: Yüzey erozyonu (mm/yıl)

F: Toprak faktörü (mm/yıl)

C: Bitki örtüsü faktörü (%)

P: Yağış faktörü (mm/saat)

K: Arazi eğimi ve uzunluğu faktörü.

1.5.1.4. Parmak Erozyonu

Tabakalanmış erozyon, yüzeysel aşınma ile oyuntu erozyonu arasında bir geçiş oluşturur. Bu erozyon türü, genellikle yüzey aşınma önlemlerinin alınmamasından kaynaklanır. Dik eğimli arazilerde, suyun yüzeyde hareket etmesiyle, erozyona hassas topraklar aşınarak 3-5 cm derinlik ve genişlikte küçük oluklar oluşturmaktadır. Bu oluklar, tarım araçlarıyla düzeltilmeye uygun olmaktadır. Ancak ihmal edildiklerinde, bu oluklar zamanla büyüyerek derin çukurlar oluşturabilmektedirler (Şekil 2). Arazi yapısının eğimi ve yapısal özelliklerine bağlı olarak, bu olukların derinlik ve genişliği farklılık gösterebilmektedir (Mater, 1986). Yağış sularının toprak sathında akmaları sonucu teşekkül eden oluklarda toprak tanelerinin kopmaları ve taşınmaları yüzeysel erozyondan daha belirgin olarak görülür. Bu olay suların kanalcık içerisindeki akış hızının, şeklinin ve su miktarı ile yatak özelliklerinin bir fonksiyonudur (Doğan vd, 1976).

Kanallarda akan suyun genellikle iki farklı hareket biçimi bulunur: Düzgün akış (laminer akış) ve dönüşlü akış (türbülanslı akış). Su akışı, dönüşlü hareketiyle toprak parçacıklarını ayrıştırır ve ardından düzgün akımla taşıyarak meyil boyunca ilerletir. Yığılma olayı ise stokastik (rastlantısal) bir süreç olan Stok Kanunu'na bağlı olarak gerçekleşir. Suyun taşıma gücü, akış hızı, suyun derinliği, bulanıklığı ve taşınan toprak zerreciklerinin boyutlarına bağlı olarak değişir. Akış hızı ise, eğim, uzunluk ve meyil derecesi ile doğru orantılıdır; yani eğim ve uzunluk arttıkça, suyun hızı da artar (Salih, 2017). Toprak taneleri ya süspansiyon halde yahut da yatak yükü olarak kanal

mecra tabanında sürüklenerek taşınırlar. Daha çok kil, kum ve kolloid maddelerin suspansiyon şeklinde, iri materyallerin de yatak yükü halinde taşındıkları bir gerçektir. Toprak taneleri, kanal yatağında sürüklenerek ya süspansiyon halinde taşınır ya da yatak yükü olarak ilerler. Bu, genellikle kil, kum ve kolloidal maddelerin süspansiyon halinde, daha büyük malzemelerin ise yatak yükü şeklinde taşındığı bir gerçektir. Yüzeysel veya tabaka erozyonunda, sadece tarım yapılan alanlarda, oluk erozyonuyla toprak tabakası sürüklenir ve toprağın alt katmanlarına kadar zarar verebilmektedir. Arazi üzerinde çamurlu bir akış ve parmak şeklinde oluşan kanalcıklar, oluk erozyonunun belirtileridir ve uygun önlemler alınarak tarım araçlarıyla zamanında engellenebilmektedir (Çomaklı, 2013).

1.5.1.5. Oyuntu Erozyonu

Oluk erozyonunun ihmal edilmesi sonucunda kanalcıkların derinleşmesiyle oluşan oyuntular, bazen 60-90 cm derinliğe ve 3-5 m genişliğe kadar ulaşabilir; hatta bazı durumlarda evleri bile içlerinde gizleyebilecek büyüklüğe erişebilirler. Doğal drenaj yollarından, düzensiz çöküntü bölgelerinden, tarım araçlarının oluşturduğu izlerden, hayvan ve araba tekerleklerinin geçtiği yollardan kaynaklanan oyuntuların boyutunu etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Oyuntular, ilk oluşumlarında genellikle V şeklinde olabilirken, zamanla sürekli derinleşerek U şeklini alırlar. Bu oyuntuların şekillerini belirlemede özellikle alt toprak yapısının rolü büyüktür (Çomaklı, 2013).

Marn veya killi topraklar, A ve B horizonlarına sahip oldukları için hızla U tipi oyuntulara dönüşebilirler. Eğer alt toprak sert bir yapıya sahipse, oyuntular genellikle V şeklini alır (Şekil 2). Löss toprakları veya alüvyon ovalarında ise U şekilli oyuntular kolayca oluşabilmektedir. Bununla birlikte granit kayalar, özellikle bol yağış alan bölgelerde derin parçalanma ve dağılma eğilimi gösterirler. Granit veya gnays kayalıklardan oluşmuş alanlar, bitki örtüsünden yoksunsa genellikle U kesitli derin oyuntulara karşı direnç gösteremezler (Roe, 1967).

Oyuntu erozyonu, birçok alanın topoğrafyasını etkileyerek birkaç doğal su yatağında birikmeye ve yoğunlaşmaya neden olur. Bu kanallar veya geçici alanlar, birincil drenaj sistemleri olarak hizmet eder ve her yıl aynı bölgelerde oluşma

eğilimindedir. Ancak, geçici toprak işleme operasyonları tarafından doldurulacak kadar küçük oldukları için kalıcı değil geçici niteliktedirler (Leach vd., 2013).

1.5.1.6. Akarsu Yatak Erozyonu

Oyuntulardan oluşan yarıntılar, zaman içinde büyüyerek akarsu yataklarını oluşturur (Çanga, 2011). Oyuntular sadece su akışı olduğu zamanlarda erozyona maruz kalırken, akarsularda sürekli bir erozyon meydana gelir. Akarsular, yatak boyunca sürtünme etkisiyle kıyıları aşındırır ve sel sularıyla taşıdığı malzemelerle birlikte ilerler (Şekil 2). Taşınan malzemenin boyutu, akarsunun debisiyle doğru orantılıdır. Debisi yüksek olan akarsularda taşınan malzemenin boyutu da büyüktür. Bu nedenle akarsu erozyonunun sürekli olması, önleyici tedbirlerin alınmasını gerektirir (Çanga, 2011).

Kanal erozyonu genellikle üç şekilde gerçekleşir. Bunlar; suyun sürtünme etkisiyle toprağın kanal yüzeyinden aşınması ve erozyona uğraması, toprak kitlelerinin parçalar halinde kopması veya düşmesi ve toprak yüzeyindeki malzemenin iklimsel değişimlerle (donma ve çözülme) ayrılarak erozyona daha yatkın hale gelmesidir (Çanga, 2011).

Kütle hareketi olarak bilinen kanal (şev) erozyonu özellikle killi topraklarda daha yaygın olarak meydana gelir. Kil tanecikleri arasındaki kohezyon kuvveti yüksek olduğundan, suyun bu kitleleri koparması zordur. Kütle hareketi ile oluşan erozyonlarda, su toprağın içine doğru hareket eder ve geçirimsiz bir tabakaya ulaştığında, toprak içinde yüzeyel akışa yol açarak alt tabakanın kayganlaşmasını sağlar ve yerçekimine yenik düşen kitleler koparak erozyona uğrar. Kumlu topraklarda ise su etkisiyle toprak taşınması daha fazladır. Kumlu topraklarda tanecikler arası çekim kuvveti düşük olduğundan, sürtünme sonucu aşınarak erozyona uğrarlar (Akalan, 1983).

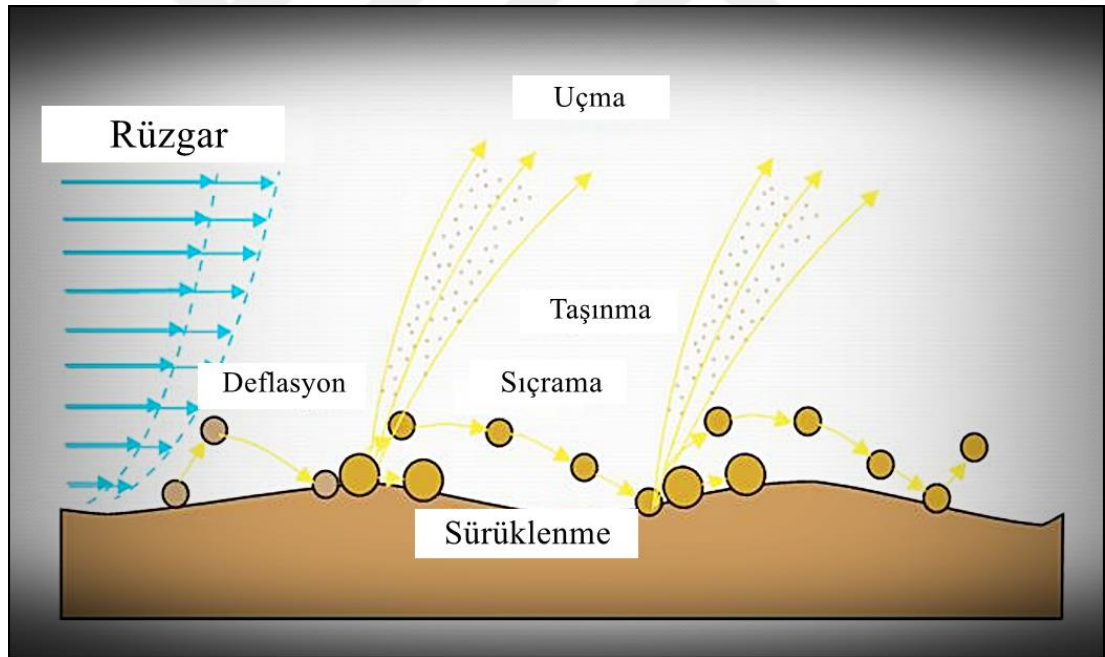
1.5.1.7. Rüzgâr Erozyonu

Rüzgâr erozyonu, rüzgârların kuvvetli estiği zamanlarda toprağın gevşek, kuru, çıplak olması sonucunda tanelerin havalanması şeklinde gerçekleşen fiziksel bir olaydır. Rüzgârların etkisiyle toprağın yüzeyinde bulunan ince ve verimli toprak

tanelerinin taşınması, verimin azalmasına yol açmakta ve taşındığı bölgede solunum problemlerine neden olmaktadır. (Zobeck ve Van Pelt, 2005). Rüzgâr erozyonu, dünya genelinde kurak ve yarı kurak bölgelerde ciddi bir erozyon sorununu oluşturmakta ve dünya nüfusunun yaklaşık 1,2 milyar kişisi için geçim kaynağı oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. (Skidmore, 2000).

Rüzgâr erozyonunun görüldüğü sahalarda toprağın erozyon sorununun çözümü oldukça zordur (Şekil 3). Rüzgâr erozyonunun potansiyelinde iklim olaylarının şiddeti, toprağın korunma faktörleri ve duyarlılığı etkili olmaktadır (Fryrear, 1995). Rüzgâr erozyonunun oluşması için:

1. Rüzgârın yeterince şiddetli olması (en az hız 2 m/sn).
2. Arazinin oldukça düz ve geniş bir yapıya sahip olması.
3. Toprağın gevşek, kuru ve ince tanecikli bir yapıda olması.
4. Toprağı sabitleyebilecek bitki örtüsünün bulunmaması veya bitki örtüsünün zayıf olması gerekmektedir.



Şekil 3. Rüzgâr erozyonunun gelişim aşamaları (Kaynak: NVIDIA Canvas yapay zekâ uygulaması ile hazırlanmıştır.)

2. BÖLÜM

KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kuramsal Çerçeve

Toprak erozyonu, dünya genelinde çevresel dengenin bozulmasına ve tarımsal üretimde verim kayıplarına yol açan önemli bir doğal kayıp sürecidir (Montgomery, 2007). Erozyon, doğal kaynakların tahrip olmasına ve verimli toprakların kaybına neden olurken, tarım, çevre ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Wischmeier ve Smith, 1978). Bu fenomen, su ve rüzgar gibi etkenlerin etkisiyle toprak tabakasının aşınması ve taşınması sonucu oluşur (Boardman, 2006).

Toprak erozyonu, tarım alanlarının verimliliğini azaltarak gıda güvenliği konusunda önemli bir tehdit oluşturur (Govers vd. 2007). Aynı zamanda, erozyonun yol açtığı sedimantasyon su kaynaklarını kirletir ve alüvyonlu taşkınlar gibi çevresel riskleri artırabilmektedir (Panagos vd. 2015). İnsan faaliyetlerinin etkisiyle artan erozyon, ormansızlaşma, tarım uygulamaları ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir (Van Oost vd. 2007).

Toprak erozyonu, sadece yerel değil, aynı zamanda küresel düzeyde önemli bir endişe kaynağıdır (Montanarella vd. 2016). Bu sorunla mücadele etmek için bilimsel araştırmalar, çevresel politikalar ve sürdürülebilir tarım uygulamaları gibi çeşitli alanlarda önlemler alınmaktadır (Pimentel, 2006). Bu bağlamda, toprak erozyonunun etkilerini azaltmaya yönelik bilimsel ve toplumsal çabaların hızla artması gerekmektedir (Boardman vd. Poesen, 2006).

Yarışlı Gölü Alt Havzası'ndaki toprak erozyonunun analizi için kullanılan yöntemler, bu bölgedeki çevresel duyarlılığın ve toprak erozyonunun anlaşılması için önemli bir araç setini oluşturmaktadır. SWAT modeli, su ve toprak analizi aracı olarak hidrolojik süreçleri simüle etmek ve toprak erozyonu riskini belirlemek için geniş bir kullanım alanına sahiptir (Arnold ve Fohrer, 2005).

Bu model, yağış, akış, sediman taşınımı, bitki örtüsü değişiklikleri gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak erozyon riskini değerlendirmektedir (Gassman vd, 2007).

Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda, bu modelin kullanılması, erozyon riskinin tahmini ve doğal kaynakların korunması için stratejiler geliştirilmesi açısından önemlidir.

Karar ağacı ve destek vektör makineleri gibi veri madenciliği ve makine öğrenimi teknikleri, toprak erozyonu riskini belirlemek ve sınıflandırmak için kullanılır (Güner, 2015). Bu teknikler, bölgedeki çeşitli parametreler arasındaki ilişkileri inceleyerek, hangi alanların daha yüksek erozyon riskine sahip olduğunu belirlemekte yardımcı olmaktadır (Saitoğlu, 2015). Örneğin, tarım uygulamaları veya arazi kullanımı gibi faktörlerin toprak erozyonu üzerindeki etkilerini analiz ederken karar ağaçları ve destek vektör makineleri önemli bir rehberlik sağlayabilmektedir (Demirel ve Giray, 2019).

Ayrıca, pinleme metodu, saha çalışmaları ve coğrafi bilgi sistemleriyle entegre olarak gerçek verilerin toplanması ve analiz edilmesinde kullanılır (Zaimes, 2004). Bu metodoloji, yerinde veri toplama ve saha çalışmaları yoluyla elde edilen gerçek verilerin CBS üzerinde haritalanmasını sağlar (Bear, 2011). Bu sayede, modelleme süreçlerinde kullanılan verilerin doğruluğu artırılır ve elde edilen sonuçların saha koşullarıyla uyumlu olması sağlanmaktadır (Tüfekçioğlu, 2006).

Bu yöntemlerin çalışma alanında kullanımı, Yarışlı Gölü Alt Havzası'ndaki toprak erozyonunun değerlendirilmesi için bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bu analitik araçlar, saha çalışmaları ve modelleme süreçlerinde gerçek verilerle entegre olarak bölgedeki doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirlik için stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Çevresel duyarlılık, toprak erozyonu gibi önemli bir konuda analiz ve değerlendirme yapılırken temel bir odak noktası olmalıdır (Eitner, 2016). Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda toprak erozyonunun değerlendirilmesi sırasında çevresel duyarlılık, doğal kaynakların korunması ve gelecek nesiller için sürdürülebilir bir çevre oluşturulması gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu çalışma sadece toprak erozyonu ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda bölgedeki ekosistemlerin, biyolojik çeşitliliğin ve doğal kaynakların korunması için gereken çabayı da ortaya koymaktadır.

Çevresel duyarlılık, arazi kullanımı, tarım uygulamaları, su kaynaklarının yönetimi gibi alanlarda yapılan kararların ekolojik etkilerini değerlendirme ve anlama sürecini içermektedir (Karakurt Tosun, 2013). Yapılan bu tür çalışmalar, doğal

kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve korunması için yol gösterici olabilmektedirler. Aynı zamanda, çevresel duyarlılık kavramı, toplumda çevre bilincinin artırılması ve doğa ile uyumlu yaşamı teşvik etmek için önemli bir rol oynar (Salvati vd. 2014).

Çalışmanın içinde çevresel duyarlılık, toprak erozyonunu önlemek ve bölgedeki doğal dengeleri korumak için alınacak önlemleri değerlendirmek adına temel bir kılavuz oluşturmaktadır. Bu çerçevede, bölgedeki hassas alanların belirlenmesi, doğal yaşam alanlarının korunması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesi gibi adımlar, çevresel duyarlılığın sağlanması için hayati önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, toprak erozyonu analizi yapılırken çevresel duyarlılık, doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve çevrenin korunması açısından geniş bir bakış açısını temsil etmektedir. Bu yaklaşım, toprak erozyonuyla mücadelede uygulanacak stratejilerin ve politikaların çevresel etkilerini ve uzun vadeli sürdürülebilirliklerini göz önünde bulundurmayı amaçlamaktadır.

2.2. Literatür Taraması

2.2.1. Araştırma Alanı ile İlgili Alanyazın

Burdur Havzasının alt havzalarından olan Yarışlı Gölü Alt Havzası kültürel değerleri ve doğasıyla dikkat çeken önemli bir değer oluşturmaktadır (Atayeter vd. 2018). Yarışlı Gölü Alt Havzası ve çevresini konu alan beşeri ve fiziki birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Alan ile ilgili literatür incelendiğinde yapılan çalışmaların başında doğa turizmi ve jeomorfolojik incelemelerin geldiği ve geri kalanında ise arazi kullanımı, kuraklık yönetimi, peyzaj değerlendirmesi, mermer sahalarının jeolojik özellikleri, sulak alanının hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemesi ve ağır metal kirliliğinin dağılışı gibi birçok konuda katkı sunulduğu görülmektedir.

Yarışlı Gölü'nde Kesici ve Kesici (2007) tarafından yapılan çalışmaya göre, bu alanın birçok kuşa ev sahipliği yaptığı vurgulanmaktadır. Flamingolar için bir konaklama ve yaşam alanı olan Yarışlı Gölü, aynı zamanda angıt, boz ördek,

kaşıkga, kızkuşu, sakarmeke, suna ve dikkuyruk gibi kuş türleri için önemli bir kışlama bölgesi olduğu bilinmektedir (Ongun vd. 2015). Yarışlı Gölü ve çevresi, yüksek kuş çeşitliliği ve zenginliği ile ön plana çıkar, özellikle sonbahar aylarında kuş gözlemciliği ve fotoğrafçılık gibi kırsal turizm faaliyetleri için önemli bir turistik değere sahip olduğu bilinmektedir (DKMP Yarışlı Gölü; Atayeter vd. 2018, Arslan, 2019). Bu özelliklerinin yanında Yarışlı Gölü çevresinde birçok faal mermer ocağı bulunmaktadır (Yılmaz ve Caran, 2019).

Son yıllarda Yarışlı Gölü çevresinde artan mermer ocaklarının sayısı nedeniyle birçok kuş türünün göç yollarını değiştirmek zorunda kaldığı belirtilmektedir (Yılmaz ve Caran, 2019). Yarışlı Gölü, göçmen kuşlar kadar orada kuluçkaya yatan onlarca yerli kuş türü için de önemli bir sığınak görevi üstlenmiş durumdadır. Ancak, mermer ocaklarının neden olduğu doğa tahribatı, özellikle bu kuşlar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Ongun vd. 2016). Mermer ocaklarından kaynaklanan ses ve tozlar, yaban hayatı ile ornitofaunayı olumsuz etkileyebilmektedir. Yarışlı Gölü, iklimsel ve antropojenik etkiler sonucunda su kütlesinin büyük bir kısmını kaybetmiştir.

Yarışlı Gölü, su seviyesinin mevsimsel olarak azaldığı veya tamamen çekildiği birçok irili ufaklı gölden biri olup, bu göller, yaban hayatı ve doğal peyzajın korunması açısından önem taşıdığı gibi aynı zamanda yöre insanının yaşamını da oldukça etkilemektedir (Kaplan ve Özücü, 2019). Yarışlı Gölü, en derin noktasının 2 metre olduğu ve özellikle kuş gözlemciliği açısından büyük bir öneme sahip olduğu için güvenilir bir hedef olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, ulaşılabilir olması, yayla ve mesire alanlarına yakınlığı ve jeomorfolojik yapısının uygunluğu sayesinde turizm ve rekreasyon potansiyeli yüksek bir profili ifade etmektedir (Kaplan ve Özücü, 2019). Yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olan bu göl, sığ sularda barınmayı ve beslenmeyi tercih eden birçok kuş türü için önemli bir sulak alan konumundadır (Öztürk ve Tavuç, 2022).

Su yenilenebilir bir kaynak olsa da sürdürülebilirliğinin sağlanması son derece önemlidir. Burdur Gölü'nün güneybatısında konumlanan Yarışlı Gölü, yüksek konsantrasyonda sodyum fosfat, sodyum klorür ve sodyum sülfat gibi bileşenleri içeren sığ bir göldür. Göl çevresi tarım arazileri ile çevrili olup, genellikle hububat ve afyon ekimi için kullanılmaktadır. Tarım arazilerinde uygun yöntemlerle tarım

yapılmaması sonucunda, rüzgâr ve su erozyonu sorunları göl çevresindeki tarım alanlarında ortaya çıkmakta ve son 30 yıl içerisinde su seviyesi neredeyse yok olma durumuna gelmiştir. (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017; Tulan Işıldar ve Yalçın Ercoşkun, 2021).

Demir (2019) tarafından yapılan havza yönetimi üzerine yapılan çalışmada, göl suyunun sodalı yapısı nedeniyle tarımsal sulama için uygun olmadığı, ancak göle yönlendirilen tatlı su kaynaklarının bilinçsizce yöre halkı ve maden ocakları tarafından kullanıldığı belirtilmiştir. Bu bilinçsiz kullanım sonucunda göle yeterince su ulaştırılamamakta ve bu durum, Yarışlı Gölü'nün giderek daha da kurumasına neden olmaktadır. Gölün kuruması, bölgedeki sosyo-ekonomik yapıya zarar verdiği gibi, sulak alanlarda varlığını sürdüren bitki ve hayvan türlerinin azalmasına hatta yok olmasına da yol açacaktır. Bu nedenle, Yarışlı Gölü'nün, yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu ifadeleri kullanılmıştır.

Türkiye'deki göllerde yaşanan seviye değişiklikleriyle ilgili ulusal düzeyde birçok araştırma mevcuttur. Bu çalışmaların içerisinde Yarışlı Gölü su seviyesi değişiminin ne derecede olduğunu da görebilmek mümkündür. Taş ve Akpınar (2021) tarafından yapılan çalışmaya göre, Burdur Havzası'ndaki önemli göller arasında (Burdur Gölü, Acıgöl, Akgöl, Yarışlı Gölü, Karataş Gölü, Salda Gölü), oransal bakımdan en fazla su kaybına uğrayan ikinci gölün Yarışlı Gölü olduğu belirtilmektedir (%49,7). İlk sıradaki göl ise Karataş Gölü'dür ve burada %64,8 oranında su kaybı yaşandığı ifade edilmektedir. Jeolojik ve Jeomorfolojik özellikler incelendiğinde Tuncer ve Deniz (2023) tarafından yapılan çalışmada Yarışlı Gölü'nün alt havzası arazileri, genel olarak engebeli ve dağlık bir manzara sunmakta olduğu bu dağlar arasında, genellikle alçak eşiklerle birbirlerine bağlanan geniş ovalık veya çukur alanlar da bulunduğu açıklanmıştır. Ayrıca morfolojik birimlerinin, neotektonik dönemde son şeklini almış olduğu ve günümüzde bu şekillenme sürecinin devam etmekte olduğu ifade edilmiştir.

Çapan'ın (1980) araştırmasında vurgulandığı üzere, Yarışlı Gölü'nün kuzeybatısında dört ayrı bölgede bulunan oluşum Marmaris peridotiti (Kmo) olarak isimlendirilmiştir. Marmaris ofiyolit bölgesine ait olan Marmaris Peridotiti, tipik olarak peridotit, serpantin ve serpantinleşmiş peridotitlerden meydana gelir (Sarıkaya

ve Seyrek, 1976; Sarp, 1976; Çapan, 1980). Doru Tepesi ile Karabelen Tepesi arasında, Harmanlı köyünün kuzeybatısında, yaklaşık 1,5 kilometre mesafede bir örnek alan bulunmaktadır (Yılmaz ve Caran, 2019). Çalışma alanında, kil, silt, kum ve çakıldan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, altındaki en genç oluşukları uyumsuz bir şekilde örttüğü söylenmektedir (Davraz ve Çakmak, 2016).

Davraz ve Çakmak (2016) tarafından gerçekleştirilen hidrojeolojik araştırmada, alüvyon ve yamaç molozunun bölgede 'Taneli Ortam Akiferi' olarak adlandırılan yüksek verimli bir su birikim sistemini temsil ettiği ortaya konmuştur. Alüvyon materyalinin genellikle güncel akarsuların ve yamaç döküntülerinin birikimi sonucu meydana geldiği ve allokton birimler arasındaki çukurluk bölgelerinde ve Yarışlı Gölü çevresinde yaygın olduğu ifade edilmiştir. Havza içinde açılan kuyuların çoğunluğu alüvyon akifer içinde bulunmaktadır. En kalın alüvyon akifer tabakasına sahip bölge ise Yarışlı, Sazak ve Düğer köylerinin bulunduğu Yarışlı Gölü çevresidir.

Yarışlı Gölü alt havzasında Oruçoğlu ve Beyhan (2019) tarafından yapılan yerüstü sularının ağır metal kirliliğinin değerlendirildiği çalışmada Yarışlı Gölü Göller Bölgesi gölleri arasından Molibden (Mo) (Sülfür), oranı en fazla göl olduğu ifade edilmiştir. Bu gibi bazı elementlerin suları kirletip tahrip etmesiyle birlikte Yarışlı Gölü Alt Havzası dördüncü sınıf su kalitesinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Yarışlı Gölü ve havzasının doğal özellikleri üzerinde tehlike oluşturan beşeri ve doğal pek çok unsurun ele alındığı ancak havzada meydana gelen değişimlerin toprak erozyonu ve arazi bozulumuna etkisinin incelendiği bir çalışmaya bulunmamaktadır.

2.2.2. Araştırma Konusu ile İlgili Alanyazın

Yeryüzü, suyun akışı, yağmur damlaları, rüzgâr, dalga ve buzul gibi doğal etkilerle zaman içinde doğal olarak aşınır (Danacıoğlu ve Tağıl, 2017). Tüm bu doğal süreçler dışında, arazi kullanımını etkileyen beşeri faktörler toprak kaybını ve riskini fazlasıyla arttırmaktadır. Bu durum, toprak kaybının doğal işleyişini bozarak erozyon miktarının tolerans sınırını aşmasına neden olmaktadır (Bennet, 1939). Erozyonun toprak üzerindeki etkisi sonucunda A horizonu'nun taşındığı bölgelerde, humus

bakımından fakir olan B horizonu belirgin hale gelmekte ve toprak verimliliği %50 ila 80 arasında azalmaktadır (Cebel ve Akgül, 2011).

Toprak erozyonunun miktarını belirlemeye yönelik deneysel çalışmaların 20. yüzyılın ikinci yarısına doğru hız kazandığı ve günümüze doğru artan bir yoğunlukla devam ettiği ifade edilebilir. Bu bağlamda, erozyonu etkileyen çeşitli parametreleri göz önünde bulunduran birçok model geliştirilmiştir (Uludağ ve Fıçıcı, 2018). Bu modeller, deneysel (ampirik), kavramsal ve fiziksel temelli olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılabilir (Lane vd 1988). Bu modellerden en yaygın kullanılanları şu şekilde sıralanmaktadır:

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Arnold ve diğerleri (1988) tarafından geliştirilen önemli bir hidrolojik modeldir. SWAT, su, sediman, besin elementleri ve pestisitlerin taşınımı ile bu etkilerin havza yönetimi açısından incelenmesi amacıyla geliştirilmiş bir hidroloji ve su kalitesi modelidir (Özdemir ve Güngör, 2019).

Havza içindeki çeşitli fiziksel süreçleri simüle edebilen bu model, meteorolojik verileri, yüzey akışını, derine sızmayı (perkolasyon), buharlaşmayı, göl ve rezervuar depolamalarını, tarım ve bitkilerin su gereksinimlerini, yeraltı akışını hesaplayarak hidrolojik süreçleri modelleyebilmektedir. Ayrıca, besin elementi ve pestisit yüklerini de tahmin edebilme özelliğine sahiptir.

SWAT modeli, çalışma havzasını birden çok alt havzaya ayırma ve bu alt havzaları ayrı ayrı modelleyebilme özelliğine sahiptir. Bu sayede farklı toprak özellikleri ve arazi kullanımına sahip alt havzalara ait hidrolojik süreçler daha hassas bir şekilde simüle edilebilmektedir.

SWAT, günlük ve daha uzun vadeli simülasyonlar gerçekleştirebilmektedir. Program, farklı alt havzalar için ayrı meteorolojik veriler, topoğrafik bilgiler, çeşitli jeolojik yapılar, hidrolojik işlem birimleri ve yetiştirilen bitkiler gibi bilgileri tanımlayabilmektedir. Hidrolojik işlem birimi, arazi kullanımı, topografi ve toprak türüne göre belirlenen birimin hidrolojik süreçlere nasıl tepki vereceğini gösteren bir tanımlamadır.

SWAT, genellikle birkaç yüz kilometrekarelik ya da daha geniş alanlarda kullanılabilen bir modeldir. Bu program, yüzlerce hücre ve alt havzayı modele entegre etme kapasitesine sahiptir. Ayrıca yeraltı suyunu modelleyebilir ve yeraltı sularını yüzey suları ile ilişkilendirebilmektedir. Kanallar ve rezervuarlardan gelen su verileri, modele dahil edildiğinde, program bu verileri kullanarak hesaplamalar yapabilmektedir.

SWAT modelinde, herhangi bir problem üzerinde çalışılırken en önemli mekanizma, su dengesidir. Hidrolojik döngüyü SWAT modeli iki adımda simüle edebilmektedir. İlk adım arazi düzenidir ve burada su dengesi hesaplanır. Yüzeysel akış, yeraltı akışı, buharlaşma gibi parametreler, alt havza düzeyinde hesaplanarak bir su bütçesi oluşturulur. İkinci adım, akışın bir kanal içinde modellenmesidir. Bu süreç sonunda, akış havzanın çıkış noktasına kadar modellenebilmektedir.

SWAT, gelişmiş bir model olup CBS yazılımlarıyla uyumludur. Su bütçeleri ve akışlarının yanı sıra, belirli kirleticilerin dağılımları da bu program aracılığıyla izlenebilmektedir.

CORINE (Coordination of Information on the Environment)

Avrupa Birliği'nin GMES (Global Monitoring for the Environment and Security) kapsamındaki CORINE projesi, çevre ve güvenlik için küresel izleme programları arasında yer alır (Özcan, 2021). Bu proje, bilinçli kullanımı temel alarak, yeryüzündeki hava, su, toprak ve canlı ortamlarının sürdürülebilir ve refah içinde nasıl yönetileceğini ele almaktadır (European Environment Agency, 2018).

Avrupa Birliği, üye ülkeler arasında ekonomik, toplumsal ve idari konularda standartlar oluşturarak bütünleşmeyi hedeflemektedir. CORINE, erozyon modellemesi için toprakların aşınabilirlik faktörünün hesaplanmasında kullanılan verileri içermektedir. Bu veriler; sayısal toprak haritaları, aşındırma faktörü için çok yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verileri, eğim faktörü için sayısal yükseklik modelleri ve potansiyel toprak erozyon riskinin belirlenmesinde kullanılan bitki örtüsü verilerini içermektedir. Bu yöntem, veri gereksinimleri ve kolay uygulanabilirliği açısından avantajlıdır, özellikle de bitki örtüsü verileri sayısal olarak sağlanabildiği durumlarda.

1985 yılında Avrupa Birliği Komisyonu tarafından başlatılan proje, 1990 yılına kadar komisyon tarafından yönetilmiştir. Bu dönemde, çevre bilgi sistemi oluşturulmuş, terminoloji ve metodoloji geliştirilerek sistem Avrupa Birliği çapında

kabul görmüştür. 1991'deki Dobris Konferansı'nda, Orta ve Doğu Avrupa ülkelerinde Avrupa Çevre Bakanları tarafından bu programın Avrupa Birliği Yardım Programı çerçevesinde uygulanması talep edilmiş ve bu destekle 13 ülkede CORINE veri tabanı oluşturulmuştur. Avrupa Çevre Ajansı üye ülkelerdeki CORINE veri setini 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarını kapsayacak şekilde oluşturmuştur (Özcan, 2021).

CORINE erozyon modeli, CORINE projesi altında üretilen yıllara ait arazi örtü/kullanım verilerini kullanarak kıyaslamalı bir analiz sunmaktadır. Bu analiz, arazilerdeki bozulmaları ve arazi örtü/kullanım türlerindeki olumsuz değişimleri değerlendirirken, gerçek erozyon riskinin boyutlarını ve alınacak önlemleri hızlı ve doğru bir şekilde belirleme imkânı sunmaktadır.

CORINE projesi, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen üç farklı hiyerarşik seviyede arazi örtü sınıflandırması sağlar. Birinci hiyerarşik seviyede, 5 ana sınıf 1/1.000.000 ölçeğinde sunulurken, ikinci seviyede 15 sınıf 1/500.000 ölçeğinde yer alır. Üçüncü seviyede ise arazi örtüsü ve kullanımları için 44 sınıf 1/100.000 ölçeğinde bulunmaktadır. Üçüncü seviyeden türetilen ek ulusal sınıflar da mevcuttur. Bu projede CLC (CORINE Arazi Örtüsü) ve LCC (Arazi Örtüsü Değişimi) olmak üzere iki farklı veri üretilmektedir. Haritalama birimleri, CLC için minimum 25 hektar, LCC için ise 5 hektardır. Harita çözünürlüğü ise minimum 100 metredir. CORINE arazi örtüsü bazı ülkelerde daha yüksek çözünürlükte oluşturulsa da, sonuç ürün 1/100.000 ölçekte 25 hektar çözünürlükte sunulmaktadır (Büttner vd. 2002).

WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Bu model, yağış havzaları veya yamaç arazilerinden kaynaklanan toprak kayıplarının hangi bölgelerde, hangi zaman dilimlerinde ve nerede depolanacağını belirler. Bu da, hangi bölgelerde toprak koruma tedbirlerinin alınması gerektiğini ve en uygun yöntemlerin seçilmesinde nasıl etkili olabileceğini göstermektedir.

WEPP erozyon modeli, yüzeysel akışla birlikte yamaçlardan kaynaklanan toprak kayıplarını ve birikmiş sedimanı, ayrıca derelerden kaynaklanan toprak kaybını ve sediman taşınımını tahmin etmektedir. Bu erozyon faktörlerine ek olarak, iklim verileri, infiltrasyon durumu, günlük su-toprak-bitki dengesi, bitki büyümesi, ölü örtü durumu ve sulama işlemlerini de içermektedir (Aydın, 2009).

WEPP modeli, yağış havzaları veya yamaç arazilerinde meydana gelen toprak kayıplarının ne zaman ve nerede oluşacağını belirleyerek, hangi bölgelerde ve hangi

toprak koruma önlemlerinin alınması gerektiğini ve en uygun yöntemlerin seçilmesinde nasıl etkili olabileceğini göstermektedir (Aydın, 2009).

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

RUSLE erozyon risk tahmini modeli, toprak kaybını birim alanda t.ha-1.yıl -1 olarak belirlemek amacıyla geliştirilen bir modeldir. USLE erozyon modelinin 1987'de yapılan revizyonları ve bir dizi araştırmanın katkılarıyla oluşturulan bu model, Türkiye'de çeşitli araştırma alanlarında uygulanmış ve incelenmiştir (Ekinci, 2005; Ekinci, 2007; Cürebal ve Ekinci, 2006; İrvem ve Tülücü, 2004; Değerliyurt, 2013).

RUSLE modeli, USLE'ye göre daha gelişmiş bir yöntem olarak öne çıkmaktadır ve bu gelişmişlik, daha geniş bir uygulama alanı ve daha kapsamlı bir veri setine dayanmaktadır (Mutlu ve Soykan, 2018). Bu durum, RUSLE'nin daha doğru sonuçlar sunmasını sağlamaktadır.

Wischmeier ve ekibinin geliştirdiği USLE modeli aslında başlangıçta tarım alanları için geliştirilmiş olup, daha sonraları 1972'de inşaat alanlarına ve sonraki yıllarda da mera ile orman alanları gibi diğer alanlara genişletilmiştir (Erkal, 2012). RUSLE modeline ait her bir parametre, aşağıda Wischmeier ve Smith (1978) tarafından açıklanmıştır.

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

A: Yıllık toprak kaybı [t/ha/yıl]

R: Yağış erosivitesi (yağışın erozyon oluşturma gücü) [MJ mm ha⁻¹ saat⁻¹]

K: Toprak erodibilitesi (erozyona karşı duyarlılığı) [ton ha saat ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹]

L: Eğim uzunluğu (birimsiz)

S: Eğim dikliği (birimsiz)

C: Ürün (bitkisel örtü) yönetimi (birimsiz)

P: Toprak koruma yöntemleri (birimsiz)

Yağışın Erozyon Oluşturma Faktörü (R)

RUSLE modelinin ilk parametresi olan R faktörü, yağışın şiddetiyle ilişkili olarak topraklardaki olası erozyon riskini ifade eder; yani, yağışın gücüne bağlı olarak ortaya çıkan toprak kaybını temsil eder (Chen vd. 2009).

Özsoy'un araştırması, RUSLE modeline göre, işlemeli tarım alanlarında toprak erozyonunun, R faktörü dışındaki diğer tüm parametreler sabit tutulduğunda, doğrudan yağış faktörüyle ilişkili olduğunu göstermiştir (Özsoy, 2007). R faktörü ise yağışın

süresi, şiddeti, yağmur damlalarının çapı, kütlesi ve düşme hızı gibi faktörlere bağlı bir değerdir (Renard vd. 1997). Yıllık yağış miktarındaki artış R faktörünün aşındırma etkisini arttırmaktadır. R faktörü bir yılda gerçekleşen tüm yağışların fırtına kinetik enerjisi ve maksimum 30 dakikalık fırtına süresi yağış yoğunluğu işleme alınarak hesaplanır. Yağışa ait süre ve yağışın yoğunluk değerleri biliniyorsa aşağıdaki formül yardımıyla hesaplama yapılmaktadır.

$$R = E \times I30 / 100$$

R= Yağışın erozyon oluşturma faktörü (MJ ha-1 yıl -1 × mm h-1)

E= Erozyon oluşturan yağışların toplam kinetik enerjisi (MJ ha-1 yıl -1)

I30= 30 dakikalık maksimum yağış şiddeti (mm h-1)

Formülde yer alan bazı değerler, Türkiye'deki birçok meteoroloji istasyonunda ölçülmeyen değerlerdir. Bu durum, R faktörünün hesaplanmasını zorlaştırmaktadır ve bu nedenle farklı çalışmalarda R faktörünü belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan Modifiye Fournier İndeksi (MFI) yöntemi, genellikle tercih edilen ve kullanılan bir yöntemdir. Bu indeksin hesaplanmasında aylık ve yıllık yağış değerleri kullanılmaktadır.

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i}{P}$$

MFI= Her bir meteorolojik istasyonuna ait MFI değerleri

P_i= Aylık yağış miktarı (mm)

P= Yıllık yağış ortalaması (mm)

Çalışmada, Burdur meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Formülasyon kullanılarak her bir meteoroloji istasyonunun Modifiye Fournier İndeksi (MFI) değeri hesaplanmıştır. MFI değerleri belirlenen istasyonların R değerlerini tespit etmek için ise belirli bir denklem kullanılmıştır (Özsoy, 2007).

$$R = 0,1215 \times MFI^{2,421}$$

Özsoy'un (2007) çalışmasında hesaplanan R değerleri, meteoroloji istasyonlarına ait verilerden elde edilmiştir. Bu veriler, çalışma alanında noktasal verilerin elde edilebilmesi ve topoğrafya yüzeyine yayılabilmesi için farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen çeşitli yöntemlerle kullanılmıştır. Örneğin, $R_y = R_b \cdot (P_y)^{1.75} / P_b$ denklemi, bu tür çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir eşitliktir (Toy ve Foster, 1998; Erkal, 2012). Denklemden, R_y bilinmeyen noktanın

hesaplanan R değerini ifade ederken, Pb bilinen referans istasyonunun yıllık yağış miktarını temsil etmektedir.

Toprağın Erozyona Duyarlılık Faktörü (K)

Toprağın aşınabilirlik faktörü (K), toprakların dokusundan kaynaklanan çeşitli etkenlere karşı direncini ve erozyona maruz kalma oranını belirtir. Bu faktör, standart bir alanda (%9 eğim ve 22.1 metre uzunluğa sahip devamlı nadas alanında) ölçülen toprak erozyonu sonucu ortaya çıkan toprak kaybını ifade eder (Fernandez ve Nunez, 2011; Değerliyurt, 2013).

Eğim Uzunluğu ve Eğim Derecesi Faktörü (LS)

LS değerleri, kesin sayısal değerler değildir; bu sebeple, %9 eğim ve 22.1 metre uzunluğundaki bir arazide LS değeri 1 olarak kabul edilir (Wischmeier ve Smith, 1978). Eğim ve uzunluk oranı, diğer tüm arazi özellikleri eşit olduğunda LS faktörü için genellikle 1 olarak alınır. Eğim faktörü, erozyonun yoğunluğu ile yakından ilişkilidir; özellikle dik eğimli bölgelerde toprak aşınma ve taşınma oranının yüksek olduğu bilinir.

Eğim uzunluğu değerleri sayısal olarak belirlenir ve bu amaçla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Kinnell'in (2001) önerdiği yöntem, bu değerleri hesaplamak için kullanılmıştır. Bu yöntemin uygulanması için ArcGIS programı içindeki hidroloji araçları kullanılmıştır. İlk olarak, çalışma alanının 10m x 10m çözünürlüğünde Dijital Yükselti Modeli (DEM) elde edilmiştir. Bu DEM daha sonra sırasıyla Toplama Yönü, Akış Yönü ve Akış Toplamı işlemlerine tabi tutulmuştur. Akış toplamı, eğim uzunluğu değerine karşılık gelir. Araştırmada kullanılan formül Wischmeier ve Smith (1978) tarafından belirtilmiştir.

$$LS=1.6*Pow([(facc]*resolution)/22.1*0.6)*Pow(Sin([slope]*0.01745)/0.09x \\ 1.3)$$

Pow= üs

Resolution= çözünürlük

Sin= sinüs

Slope= eğim 32

Yukarıdaki formülün uygulanmasında, Dijital Yükselti Modeli'nin (DEM) çözünürlüğüne dikkat edilmesi önemlidir. Bu çalışmada kullanılan DEM görüntüsü, 10 metre çözünürlüğe sahiptir; bu nedenle, çözünürlük değeri için '10' değeri

kullanılmıştır. Çözünürlük değeri, başka araştırma çalışmalarında farklı ölçülerde olabilmektedir.

Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Faktörü (C)

RUSLE modelindeki ürün yönetimi faktörü, bir bitki örtüsünün varlığında oluşan toprak kaybının, aynı alanda bitki örtüsü olmayan veya devamlı nadasa bırakılan zamanda oluşan toprak kaybına oranını gösteren bir değerdir. Bitki örtüsü, bölgenin özelliklerine, mevsimlere ve bitkinin yetiştirme şartlarına bağlı olarak değişir. C faktörü, her bölgedeki ürün yetiştirme durumu, yağış miktarı ve bitkinin büyüme evresi gibi farklı etmenlerin analitik olarak dikkate alınarak hesaplanması gereken bir parametredir (Özsoy, 2007).

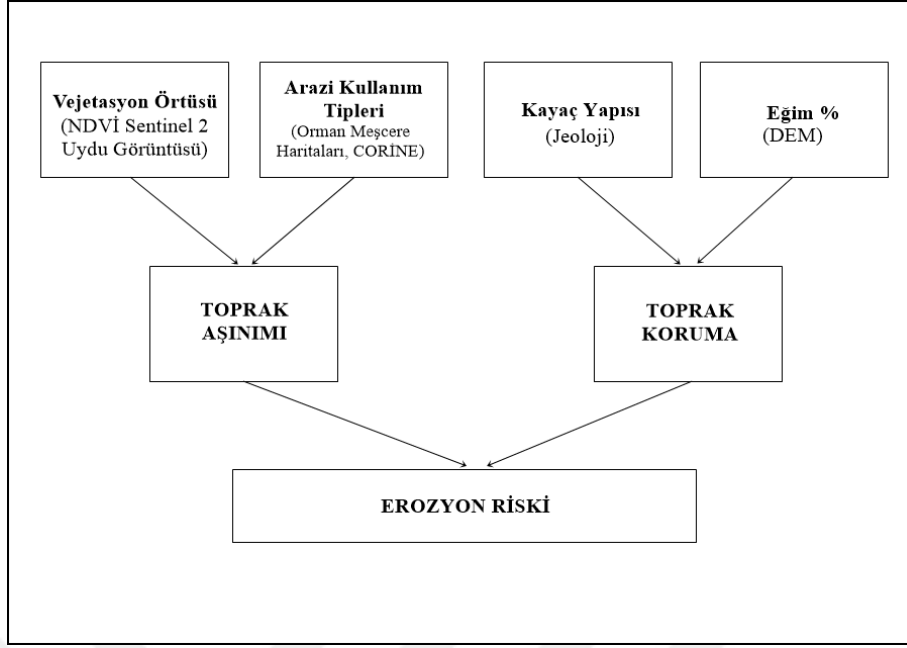
Toprak Koruma Önlemleri Faktörü (P)

RUSLE modeline göre toprak koruma önlemleri faktörü (P), özel bir yönetim uygulamasının toprak kayıplarına ne kadar destek sağladığını belirten bir parametredir. Bu uygulamalar, yüzey akışını ve toprak erozyonunu azaltarak toprağın bozulmasını etkileyen yöntemlerdir (Renard ve Foster, 1983). RUSLE erozyon modeline göre, toprak koruma önlemleri alınmazsa, P faktörü 1.0 olarak kabul edilir (Wischmeier ve Smith, 1978; Çanga, 1985).

ICONA (Instituto para la Conservación de la Naturaleza)

UNEP (United Nations Environment Programme) tarafından revize edilerek standart oluşturulabilmesi için İspanya Çevre Bakanlığı (DGCONA) tarafından geliştirilen yöntem, haritaların üretiminde ve erozyon seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. İcona erozyon risk modellemesi, 7 aşamada 4 ana katmanın entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu model, tahmin aşamasında yedi adımdan oluşmaktadır (Şekil 4). İlk aşamada, Dijital Yükseklik Modeli (DEM) raster verisi kullanılarak eğim analizi gerçekleştirilir. ICONA modeline göre, genellikle alan eğimi 0 ± 3 , 3 ± 12 , 12 ± 20 , 20 ± 35 ve %35'ten büyük olmak üzere 5 sınıfa ayrılmaktadır.

İkinci aşamada, alan içindeki farklı kayaç türleri, toprak aşınımına olan etkileri dikkate alınarak beş jeolojik formasyon altında gruplanır (Bayramin vd., 2003; Tombuş vd., 2012).



Şekil 4. ICONA modeli akış diyagramı (Kaynak: Ediş vd. 2021'den yeniden düzenlenerek hazırlanmıştır.)

Üçüncü aşamada, eğim ve jeoloji (kayaç yapısı) katmanları, ICONA karar matrisine göre birleştirilerek toprak aşınımı haritası oluşturulur.

Dördüncü aşamada, çalışma alanındaki arazi kullanım tipleri, CORINE haritaları kullanılarak ICONA modeline uygun olarak 6 farklı kategoriye (kuru tarım, meyve bahçeleri, sulama tarımı, orman, çalılık, mera ve diğer alanlar) sınıflandırılır.

Beşinci aşamada, arazi örtüsü kapallılığı, NDVI analizi (Carlson ve Ripley, 1997) kullanılarak modeldeki 4 farklı kapallılık sınıfına göre hesaplanır.

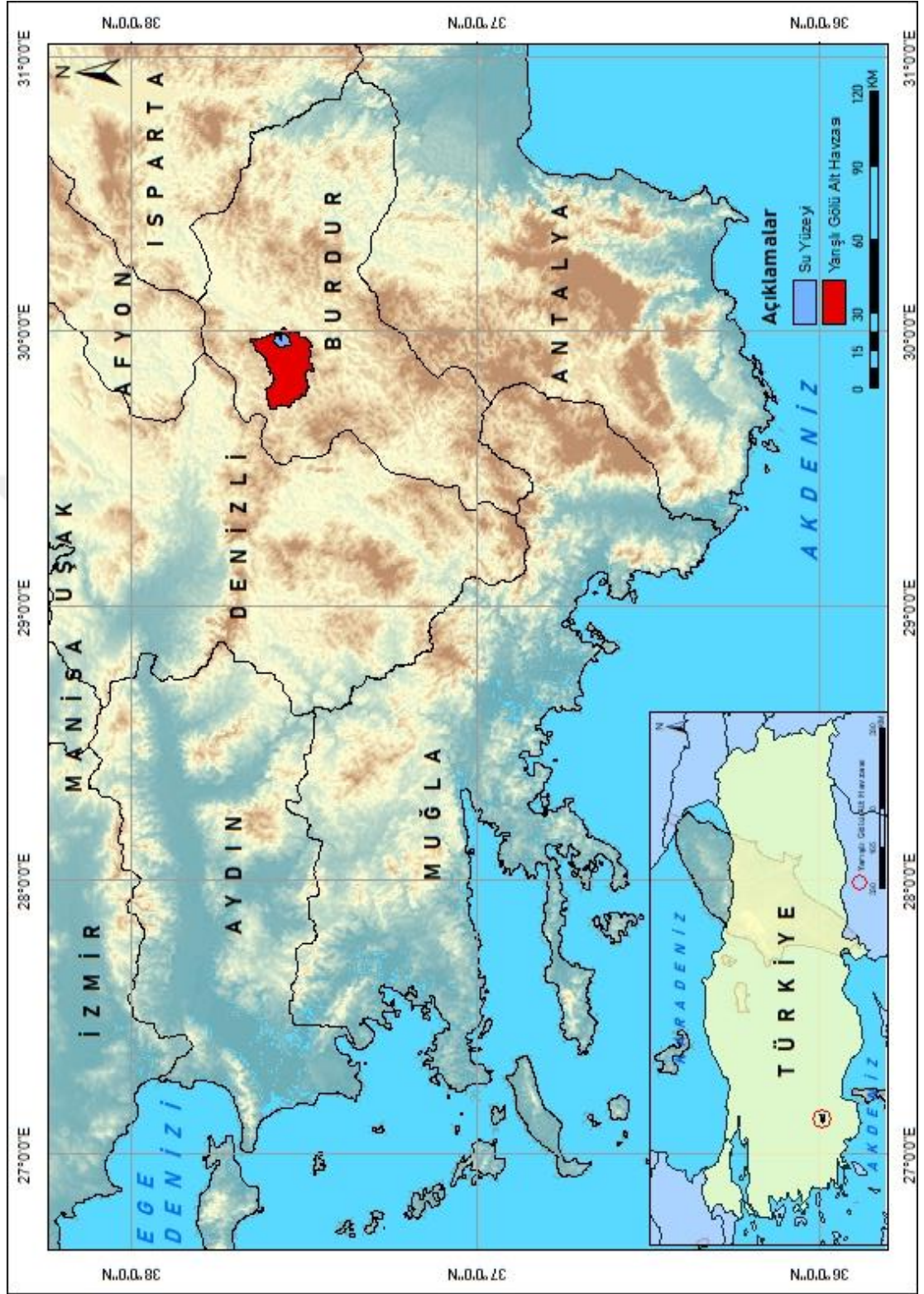
Altıncı aşamada, arazi kullanım tipleri ve arazi örtüsü kapallılığı katmanları, toprak koruma derecelerini elde etmek için birleştirilir. Bu katmanlar, ICONA karar matrisine göre değerlendirilerek toprak koruma dereceleri hesaplanır. Son aşamada, toprak aşınımı ve toprak koruma dereceleri, ICONA erozyon risk karar matrisine göre çakıştırılarak erozyon risk haritası oluşturulur.

3. BÖLÜM

VERİ VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Temel Özellikleri ve Sınırları

Göller bölgesinde konumlanan Yarışlı Gölü Alt Havzası, Batı Torosların orta kesimlerinde yer alır ve sınırları 37°33'59,2" Kuzey enlemi ile 29°27'53,1" Doğu boylamı arasında, Burdur'un kapalı havzası içerisinde (Şekil 5). Yarışlı Gölü alt havzasının çoğu Yeşilova sınırları içinde bulunurken, bir kısmı ise Burdur Merkez İlçesi sınırları içinde konumlanmıştır. Bu havza, Salda ve Burdur gölleri arasında yer almakta olup yaklaşık 324 km²'lik bir alanı kaplar. Ortalama deniz seviyesinden yüksekliği 1184 m olan bu havzanın maksimum yüksekliği 1760 m, minimum yüksekliği ise 912 m'dir.



Şekil 5. Çalışma alanı konum haritası

Yarışlı Gölü, çalışma alanında yer alan en büyük yüzey suyu kaynağıdır ve yaklaşık 14.6 km²'lik bir alana sahip olan tektonik ve kartstik süreçlerin etkili olduğu bir göldür. Gölün en derin noktası 2 metre olarak kaydedilmiştir. Göl seviyesinin yükselmesi, Yarışlı ve Kirse Çayı'nın kuzey kesiminde, Kümbet Çayı'nın güneybatısında, Başkuyu Çayı ve Kocapınar kaynağı gibi göl çevresindeki kaynaklarla birlikte havzadaki mevsimsel dereler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Göl ve havza çevresinde, Devlet Su İşleri (DSİ) ve bireyler tarafından açılmış birçok derin kuyu bulunmaktadır.

Çalışma alanı, genellikle dağlık ve arızalı bir yapıya sahiptir. Yarışlı Gölü, çevresi yüksek dağlarla çevrili olan bir bölgeye sahiptir. Gölün çevresi ile Gencali, Çeltek, Başkuyu, Çuvallı, Bayırbaşı, Karaatlı, Harmanlı ve Işıklar bölgelerinin bulunduğu kısımlar arasında iki ayrı bölgeyi içine alacak şekilde ayrılabilir.

Yarışlı Gölü çevresinde Kaymakamyurdu Tepesi (1065 m.), Kara Tepe (1206 m), Alataş Tepesi (1417 m), Laleli Tepesi (1368 m), Kokar Tepe (1437 m), Kartal Tepe (1347 m), Soğuk Tepe (1318 m), Yavşanlı Tepesi (1494 m), Sarıcaalan Tepesi (1331 m) ve Kartal Tepesi (1764 m) gibi belirgin yükseklikler bulunmaktadır (Şekil 3). Harmanlı, Sazak, Yarışlı, Kocapınar ve Düğerköyleri de bu bölgedeki önemli yerleşim yerleridir (Şekil 5).

Yarışlı Gölü alt havzasında çeşitli habitatlar mevcuttur: sulak alanlar, sazlık ve ıslak çayırliklar, dereler, kayalık alanlar, iğne yapraklı ormanlar, ağaçlık alanlar, ağaçlandırılmış bölgeler, dağlık bozkırlar, tarım alanları ve yerleşim bölgeleri bulunmaktadır. Bu habitatlar arasında en geniş alanı tarım alanları oluşturmakta ve onu meşe ağaçlarının oluşturduğu ağaçlık habitat izlemektedir.

Gölün kuzeyinde bulunan ıslak çayırlik alanı ile güney kıyılarında yoğunlaşan sazlık alanları, sucul ve tuzcul bitkiler için önemli yaşam alanları olarak kabul edilmektedir (OSİB, 2013).

Çalışma alanı, Akdeniz iklimi ile karasal İç Anadolu iklimi arasındaki geçiş bölgesinde konumlanmaktadır. Yarışlı Gölü Havzası içinde, hem Akdeniz hem de karasal iklim özelliklerinin belirgin etkileri hissedilmektedir (OSİB, 2013). Ancak, adına rağmen, saha üzerinde Akdeniz kıyılarında tipik olan yüksek sıcaklık ve yağış

yoğunluğu gibi belirgin özellikler tam anlamıyla gözlenmez. Bu geçiş iklimi, alanın bitki örtüsünü de zenginleştirir. Kış aylarında zaman zaman kar yağışı gözlenir ve kar, hava şartlarına bağlı olarak birkaç gün boyunca erimez. Alan, etrafındaki engebeli araziler ve Yarışlı Gölü'nün etkisiyle, çevre köylere kıyasla mevsimsel sıcaklık farklarıyla dikkat çeker. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün yaptığı araştırmalarda, bu bölgede 72 aileye ait 350 bitki türü tespit edilmiştir (OSİB, 2013).

Çalışma alanındaki hayvan türleriyle ilgili mevcut araştırmalar oldukça kısıtlıdır. Göldeki su seviyesinin değişkenliği ve yüksek tuzluluk seviyesi nedeniyle göl, sadece ekonomik açıdan değer taşımayan bir tür balık olan dişli sazancığın yaşadığı oldukça sınırlı bir sucul yaşam alanına sahiptir. Bununla birlikte, göl ve çevresindeki diğer hayvan türleri hakkında ayrıntılı bilgi mevcut değildir.

Bölgenin ekonomisi temel olarak tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Ancak, günümüzde iklim avantajlarından faydalanarak özellikle sebze ve meyve yetiştiriciliği gelişmiş durumdadır. Tarımsal üretim, genellikle yonca, yulaf, mısır ve yeşil arpa gibi ürünlerin yetiştirildiği alanlara odaklanmıştır. 2000'li yıllardan itibaren mermer ocaklarının açılması, özellikle Denizli bölgesinden olan taş ocaklarının faaliyetleriyle birlikte genç nüfusa istihdam sağlamıştır. Bölgedeki yerleşimler, madencilik faaliyetlerinin etkisiyle nüfus yoğunluğunu korumakta ve göç vermemektedir. Bu durum, köylerin mevcut nüfuslarını muhafaza etmelerini sağlamaktadır.

3.2. Veri

3.2.1. Evren ve Örneklem

Bu çalışmanın evreni, Yarışlı Gölü'nün alt havzası olarak belirlenmiştir. Yarışlı Gölü ve çevresindeki topraklar, erozyon riski ve duyarlılık açısından incelenen bölgenin evrenini oluşturmaktadır. Bu evren, coğrafi, hidrolojik ve iklimsel özellikleriyle belirlenmiş olan belirli bir bölgeyi kapsamaktadır.

Örneklem, Yarışlı Gölü Alt Havzası içerisinde belirli noktalarda ve farklı alanlarda yapılan ölçümler, veri toplama ve analizler yoluyla belirlenmiştir. Bu örneklem, farklı toprak tipleri, arazi kullanımı modelleri ve jeolojik yapılar gibi

değişkenleri içeren ve erozyon riski açısından çeşitlilik gösteren alanları temsil etmektedir.

Belirli noktalarda gerçekleştirilen saha çalışmaları, rastgele örnekleme veya belirli kriterlere göre seçilen bölgeleri içermektedir. Bu örneklem, Yarışlı Gölü Alt Havzası'ndaki toprak erozyonunun çeşitli yönlerini ve farklılık gösteren özelliklerini temsil etmek üzere planlanmıştır.

Bu evren ve örneklem tanımları, çalışmanın odaklandığı belirli coğrafi alana ve bu alandan alınan örneklem verilerine işaret etmektedir. Bu veriler ışığında, toprak erozyonuyla ilgili riskleri ve duyarlılık göstergelerini analiz etmek için kullanılmıştır.

3.2.2. Verilerin Toplanması

Arazi yapısal özellikleri, iklim, toprak ve arazi kullanımı gibi çalışma sahasının fiziki yapısını belirlemek için gereken veriler, Tablo 2'de kaynaklarla birlikte belirtilen çeşitli kaynaklardan ve saha çalışmalarından elde edilmelidir. Bu temel veriler, çalışma sahasının detaylı bir fiziksel analizini gerçekleştirmek için hayati öneme sahiptir ve Tablo 1'de bu kaynaklar ve sağladıkları bilgiler belirtilmektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan veriler

Kaynak	İçerik	Veri Türü
Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	Rasatlar (1960-2023)	Klimatolojik Veriler (Sıcaklık, Yağış, Nem, Rüzgâr, Basınç)
Harita Genel Komutanlığı	1/25.000’lik Topoğrafya Haritası	Çalışma Sahasına Ait SYM Modeli Oluşturulması, (SYM Modeli Kullanılarak Eğim, Bakı, Morfometrik İndeks Haritalarının Oluşturulması)
Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü	1/100.000’lik Jeoloji Haritası	Ana Kaya Özelliklerinin Belirlenmesi
United States Geological Survey (https://earthexplorer.usgs.gov)	1990 ve 2023 Yıllarına Ait Landsat 30x30 Uydu Görüntüsü	1990 ve 2023 Yılları Arasında Arazi Kullanımı Değişimi
Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü	1/25.000’lik Toprak Haritası	Çalışma Sahasında Büyük Toprak Gruplarının Tanımlanması
Yersel Ölçümler (Pinleme)	---	Çalışma Sahasındaki Toprak Aşınım ve Birikim Miktarının Tespit Edilmesi

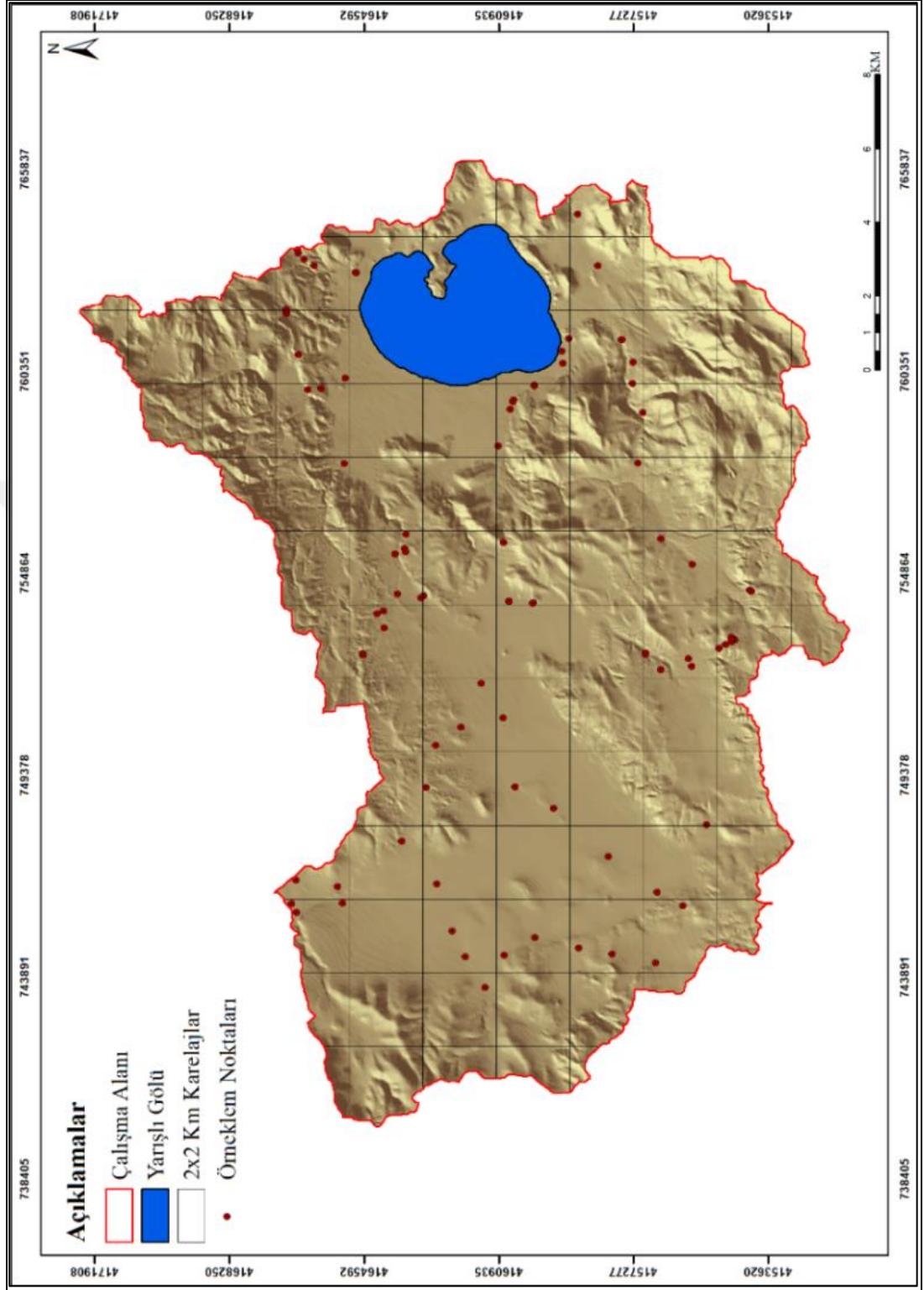
İklim Verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’ne bağlı Burdur Meteoroloji İstasyonuna ait geçmiş ve güncel verilerden elde edilmiştir. Bu veri setleri, günlük, aylık ve yıllık yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi parametrelerden oluşmaktadır. Bu veriler, bölgenin yağış miktarı, kuraklık durumu ve potansiyel evapotranspirasyon gibi değerlerinin coğrafi dağılımını belirlemek için kullanılmıştır.

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yeryüzü topoğrafyasını temsil ederken sadece çıplak yeryüzü yüksekliklerini içeren bir sayısal modeldir. Bu model, yeryüzünün kabaca çıplak yüzeyinin yükseklik verilerini barındırır ve genellikle ağaçlar, binalar veya diğer yapılar gibi örtü unsurlarının yüksekliklerini içermez. Bu nedenle, arazinin detaylı fiziksel özelliklerini tam olarak yansıtmak yerine, yalnızca açık alanların yüksekliklerini gösterir ve genellikle topoğrafik analizler, coğrafi bilgi sistemleri ve benzeri uygulamalarda kullanılır (Sefercik, 2007). Oluşturulan bu model ile çalışma sahasına ait eğim ve bakı haritaları yapılmıştır.

Haritalar arasındaki analiz süreçlerini desteklemek amacıyla Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden elde edilen jeoloji haritaları 1/100.000 ölçekli olarak temin edilmiştir. Toprağın erozyon riski ve aşınabilirlik durumunu belirlemek için Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden dijitalleştirilmiş toprak haritaları, 1/25.000 ölçekli olarak elde edilmiştir. Analizler için ArcGIS 10.5 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları, özellikle ArcMAP/MapInfo yazılımı tercih edilerek kullanılmıştır.

3.2.2.1. Yersel Ölçümler

Çalışma planlamasında kullanılacak verilerden bazıları da çalışma sahasından elde edilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi için çalışma alanı karelaj plan şekliyle 2x2 km aralıklarla bölünmüştür. Bölünen bu karelajlara 100 adet rastgele (dağılık) örneklem noktası tanımlanmıştır. Arazinin her noktası için en doğru sonuca ulaşmak için örneklem noktaları dağılık bir şekilde atanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanında 2x2 km kareler yardımı ile random belirlenmiş örneklem noktaları

Çalışma sahasına random tanımlanan 100 adet noktanın koordinatları sigortalı bir konum sağlayıcı (GPS) tarafından taranmış, arazi çalışması sırasında bulunmuş ve gerekli tüm bilgiler kaydedilmiştir (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1. GPS tarafından girilen konum verileri

Koordinatı bulunan noktaya gelindiğinde uzunluğu 60 cm, genişliği 0.8 cm olan erozyon çubukları 1’den 100’e kadar numaralandırılarak güvenliğinden ve toprak aşınım/birikim bilgisinin ulaşılabileceği noktalara işaretli bir şekilde (ucu boyalı) yerleştirilmiştir (Fotoğraf 2,3).

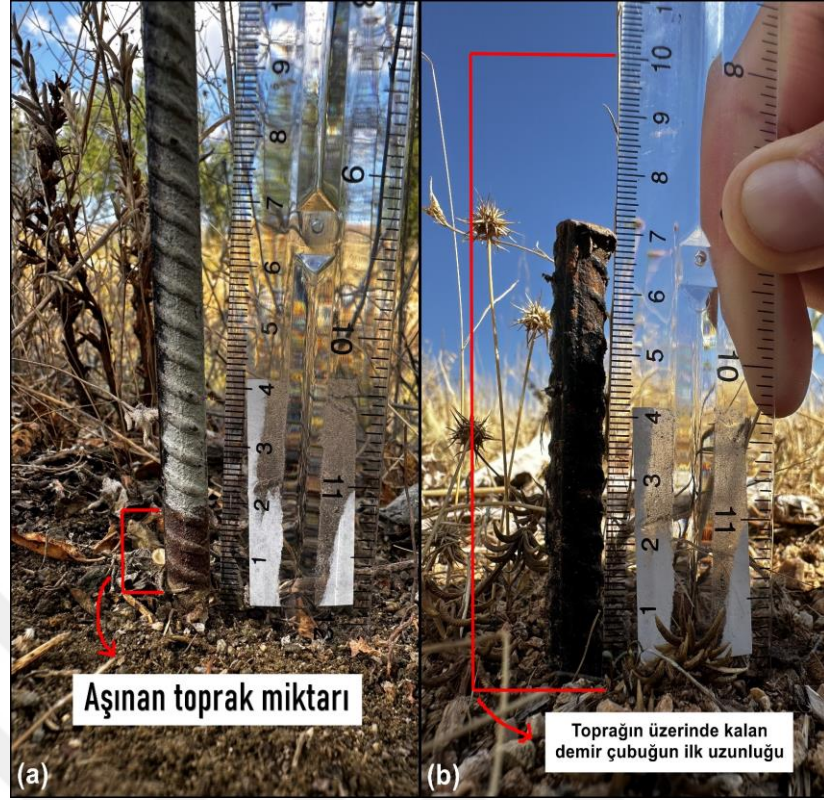


Fotoğraf 2. Numaralandırılmış örnekler



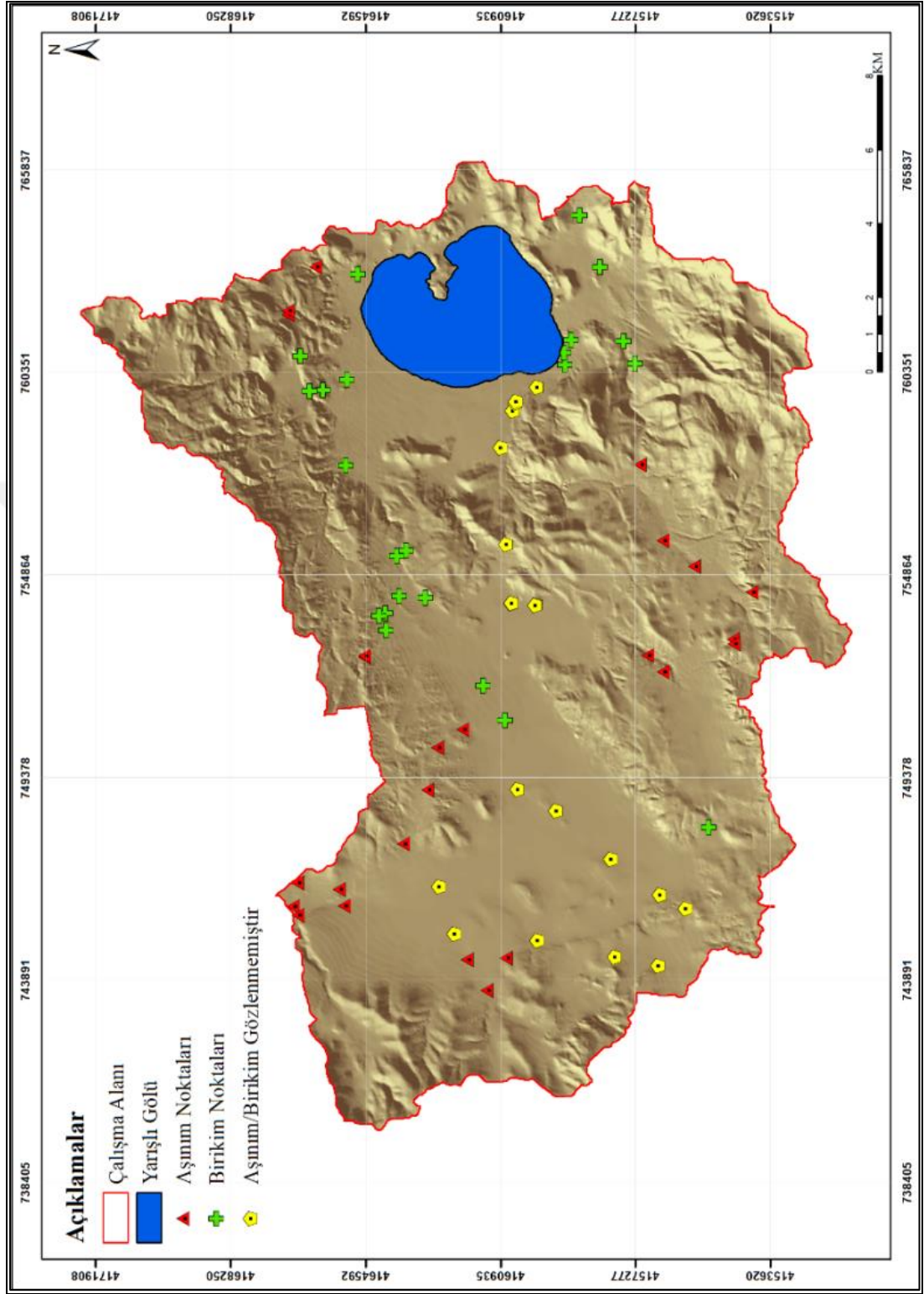
Fotoğraf 3. Erozyon çubuğunun sahaya yerleştirilme aşaması

Çubuklar işaretlenmiş kısma kadar toprakla titiz bir şekilde buluştuktan 1 sene içerisinde düzenli aralıklarla kontrol edilmiştir. 1 senenin ardından tüm çalışma sahasında genel durumun ne olduğu kontrol edilmiştir. Bazı örneklem çubukları fiziki ve beşeri etkenler dâhilinde kaybolursa da çalışma akıbeti açısından yeterli örnekleme ulaşılmıştır. Tüm çubuklar araziden numara sırasına göre toplanırken elde edilen veriler de sırasıyla not edilmiştir (Fotoğraf 4a-b).



Fotoğraf 4. Erozyon çubuğu sonuç ölçüm aşaması; (a) aşınan toprak ölçümü, (b) biriken toprak ölçümü

Bazı noktalarda aşınma, bazı noktalarda birikmeler meydana gelmişken bazı kısımlarda ise iki durum söz konusu olmaksızın bir değişim yaşanmadığı tespit edilmiştir (Şekil 7).

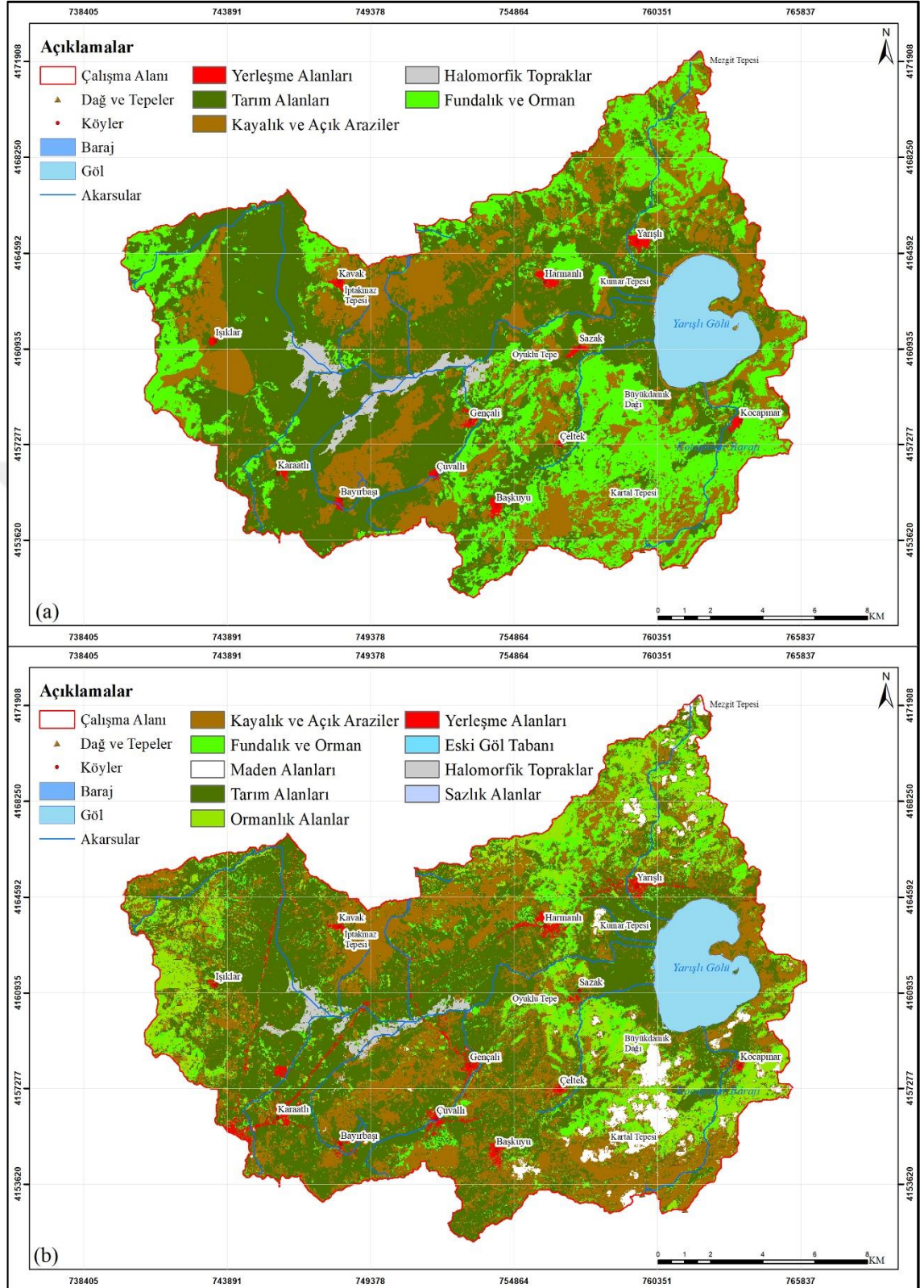


Şekil 7. Yersel ölçüm verilerinin çalışma sahasındaki konumları ve sonuçları

3.2.2.2. Arazi Kullanımı

Var olan doğal toprakların doğal yapısını bozmadan, sürdürülebilir ve en büyük faydayı sağlayacak şekilde arazi kullanım planlaması oluşturulmalıdır (Dağlı ve Çağlayan, 2016). Bu kapsamda çalışma sahasına ait 1990 ve 2023 yılları arasındaki arazi kullanımı değişiminin ne yönde olduğunu tespit edebilmek adına United States Geological Survey (USGS) internet sitesinden 06.06.1990/2022 tarihli Landsat 8 ETM uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uydu görüntüsünün bu tarihlerde alınmasının nedeni elde edilmesi beklenen değişim görüntülerinin daha net bir şekilde gözler önüne serilmesidir. Bu sayede karşılaştırmaların daha rahat yapılması sağlanmaktadır.

Elde edilen uydu görüntüleri ile 1990 ve 2023 yılları arasındaki değişimi ArcGIS programında somut hale getirilmiştir (Şekil 8). Söz konusu yıllar arasında açık kaya yüzeylerinin, orman ve bataklıklara, yerleşmelerin ise açık toprak yüzeylerine dönüştüğü gözlemlenmiştir.



3.2.2.3. İklim Verileri

Bu çalışma, erozyonun etkileri ve süreçleri üzerine odaklanarak, yağış ve sıcaklık verilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Erozyon, toprak kaybı ve çevresel değişimler üzerinde doğrudan etkisi olan kritik bir fenomendir (Türkeş, 2000). Bu bağlamda, çalışmanın temelini oluşturan erozyon verilerinin temin edilebilmesi için yağış ve sıcaklık verilerine ve veri kaynakları işleme sürecine ihtiyaç duyulmaktadır (Karabulut, 2012).

3.2.2.3. Yağış Verilerinin Temini

Yağış verileri genellikle meteorolojik gözlem istasyonlarından elde edilmektedir (Doğan ve Güçer 1976). Bu istasyonlar, yağış ölçümlerini gerçek zamanlı olarak veya belirli periyotlarla kaydeden özel cihazlar ile donatılmıştır. Bu çalışmada, Burdur meteoroloji istasyonundan gelen yağış verileri kullanılmıştır. Ayrıca, uzun dönemli yağış eğilimlerini analiz etmek amacıyla uzun vadeli veri setleri de temin edilmiştir (Tablo 3).

3.2.2.4. Sıcaklık Verilerinin Temini

Sıcaklık verileri de benzer şekilde meteorolojik gözlem istasyonlarından elde edilmektedir. Bu istasyonlar, atmosferin sıcaklık değişimlerini sürekli olarak kaydeden termometrelerle donatılmıştır. Bu çalışma kapsamında, yağış verilerinde olduğu gibi Burdur meteoroloji istasyonundan elde edilen sıcaklık verileri titizlikle temin edilmiş ve analiz edilmiştir. Ayrıca, belirli zaman dilimlerinde veya mevsimsel olarak sıcaklık değişimlerini incelemek için veri setleri incelenmiştir (Tablo 3).

3.2.2.4. Veri Kalitesi ve İşlenmesi

Bu çalışmada kullanılan verilerin doğruluğu ve kalitesi, analizlerin güvenilirliği açısından hayati öneme sahiptir (Çanga ve Erpul 1994). Bu nedenle, temin edilen veri setleri detaylı bir kalite kontrol sürecinden geçirilmiş, eksik veya hatalı veriler tespit edilmiş ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Ayrıca, zaman serisi analizleri için verilerin zaman damgaları ve formatları uygun şekilde işlenmiş ve düzenlenmiştir. Bu çalışma, erozyon üzerine odaklanarak yağış ve sıcaklık verilerinin

titizlikle temin edilmesi, işlenmesi ve analiz edilmesi sürecini vurgulamaktadır. Elde edilen veri setleri, erozyonun etkilerini anlamak ve önlem almak için önemli bir temel oluşturacaktır. Bu veriler, çalışmanın temel bileşenlerinden birini oluşturarak, çevresel değişimlerin izlenmesine katkı sağlayacak ve daha derinlemesine sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Tablo 3. Burdur Meteoroloji İstasyonuna ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verileri (MGM)

Yıllar	Yağış (mm)	Sıcaklık (C°)	Yıllar	Yağış (mm)	Sıcaklık (C°)
1990	303.2	13,1	2006	472.1	13,3
1991	463.7	11,7	2007	368.3	12,8
1992	280.9	23,4	2008	276.4	14
1993	377.4	12,4	2009	529.7	13,9
1994	450.6	13,6	2010	472.3	15,1
1995	363.5	13	2011	466.2	12,9
1996	455.3	13	2012	355.7	13,3
1997	516.4	10,6	2013	346.5	14
1998	535.7	13,6	2014	451.7	14,3
1999	310.7	12	2015	458,8	13,7
2000	444.9	12,7	2016	375,8	14,5
2001	547.6	14,1	2017	307,7	13,8
2002	501.0	12,8	2018	489	14,4
2003	594.2	12,2	2019	356,7	14,2
2004	439.7	13,1	2020	420,3	14,2
2005	417.9	13	2021	270	14,2

3.3. Yöntem

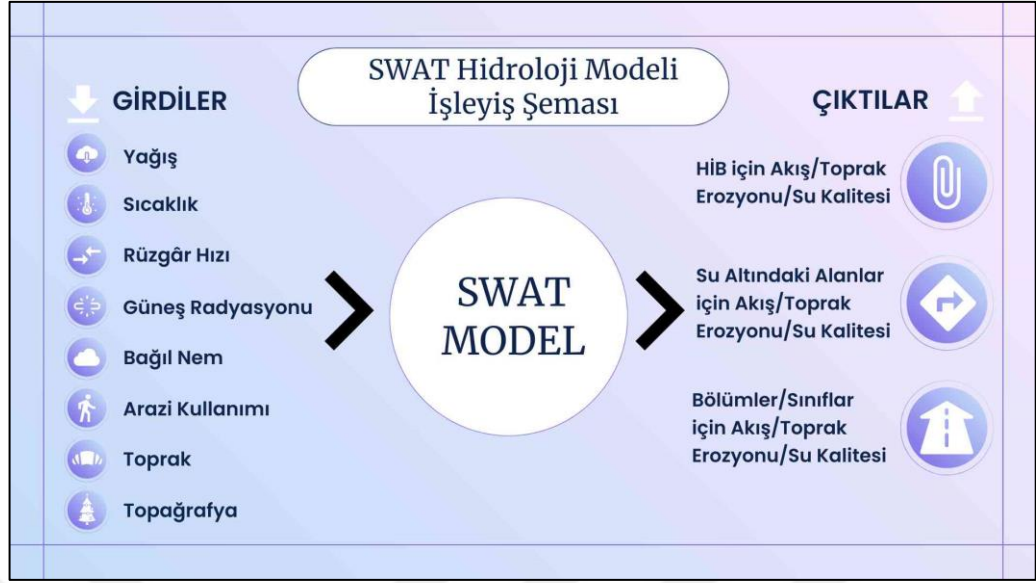
3.3.1. SWAT Modeli

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli, Arnold ve diğerleri (1988) tarafından geliştirilen ve günümüzde geniş çapta kullanılan önemli hidrolojik modellerden biri olarak öne çıkmaktadır (Arnold ve Fohrer, 2005)

SWAT, suyun, sedimanın, besin elementlerinin ve pestisitlerin taşınımını ve bu etkileri analiz etmek amacıyla geliştirilmiş bir hidroloji ve su kalitesi modelidir. Bu model, bir havza içindeki çeşitli fiziksel süreçlerin simülasyonunda kullanılabilmektedir (Özdemir ve Güngör, 2019). Hidrolojik süreçleri modelleyebilen bu sistem, meteorolojik verileri, yüzey akışını, derin sızmayı (perkolasyonu), evapotranspirasyonu, göl ve rezervuar depolamasını, tarımın ve bitkilerin su gereksinimini, yeraltı akışını analiz edebilmektedir (Neitsch vd. 2011). Ayrıca, besin elementi ve pestisit yüklerini hesaplamak da bu modelle birlikte mümkün kılınmaktadır (Özdemir ve Güngör, 2019)

Bu yöntem, çalışılan havzayı birden çok alt havzaya bölebilmekte ve bu alt havzaları ayrı ayrı modellenebilmektedir. Bu özellik sayesinde, farklı toprak tipleri ve arazi kullanımları olan alt havzaların hidrolojik süreçleri daha hassas ve doğru bir şekilde simüle edilebilmektedir (Gassman vd, 2007).

Model birden fazla havzayı modelleyebildiği gibi günlük veya daha uzun süreli simülasyonlar da yapabilmektedir. Buna ek olarak programa söz konusu alt havzalar için ayrı meteorolojik veriler ve topoğrafya bilgileri, hidrolojik işlem birimleri, farklı jeolojik yapılar ve yetiştirilen bitkiler tanımlanabilmesiyle çıktı verilerinin doğruluğu daha yüksek çıkmaktadır (Peker ve Cüceloğlu, 2022). Çok sayıda işlenen veri girişiyle avantaj sağlanan bu modelde verilerin sonuç çıktısından önce işlendiği kısma Hidrolojik İşlem Birimleri (HİB) adı verilmektedir (Bieger vd. 2017). Bu birim, çalışılan alanla ilgili girdi verilerinin işlem anı veya sonrasında ne tür tepkiler verildiğini gösteren ana kapılardan biridir (Özdemir ve Güngör, 2019)

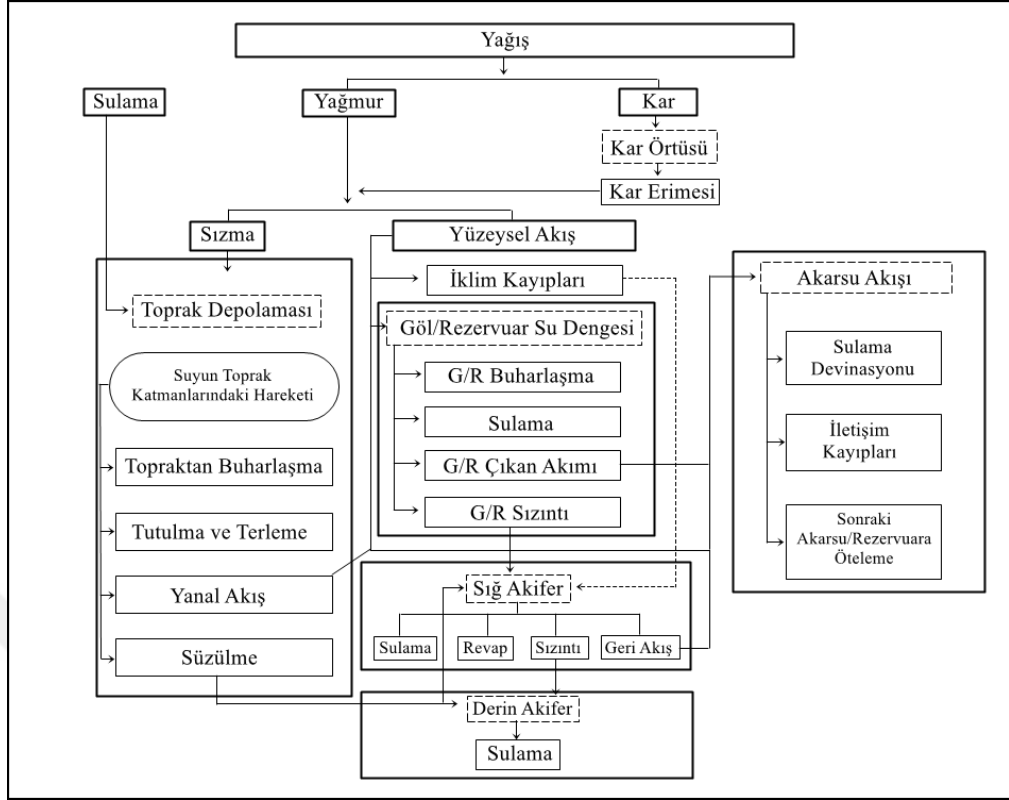


Şekil 9. SWAT Model işleyiş şeması (Kaynak: Neitsch vd. 2002’den düzenlenerek alınmıştır.)

Çoğu hidrolojik modelde çalışılan alanlar ya çok büyük ya da çok küçük ölçekli olabilmektedir (Masih vd. 2011). Bunun aksine SWAT model aynı anda hem yüzlerce kilometrelik bir alanda hem de dar bir alanda çalışabilmektedir (Cüceloğlu vd. 2017). Hidrolojik bir model olması sebebiyle bu yöntemde yüzey sularıyla birlikte yer altı suları da modellenmektedir (Güneş ve Kuşak, 2023). Ayrıca modellenen bu sular birbirleriyle ilişkilendirilip havza içerisinde tanıtılabilmektedir (Güneş ve Kuşak, 2023). Bunlara ek olarak modele kanal ve rezervuarlardan gelen sular tanıtıldığında modelleme girişlerine bu veriler de eklenebilmektedir (Williams, 1995).

SWAT modelinde, herhangi bir sorun üzerinde çalışılıyor olsa bile, model için en temel mekanizma su dengesidir (Arnold, 1988). Bu dengeyi korumak adına SWAT model, iki adımda hidrolojik döngüyü modellemektedir. İlk adım arazi düzeyindedir ve su dengesi burada hesaplanır (Liu vd. 2014).

Yüzey akışı, yeraltı akışı ve buharlaşma gibi parametreler alt havza düzeyinde hesaplanarak bir su bütçesi oluşturulur (Alevkayalı ve Abi, 2023). İkinci adım ise bu akışın kanallarda nasıl ilerlediğinin modellenmesidir ve bu süreç sayesinde akış, havzanın çıkış noktasına kadar takip edilebilir hale gelir (Peker ve Cüceloğlu, 2022). Modelde dikkate alınan hidrolojik döngüye ait fiziksel süreçler Şekil 10’da gösterilmektedir.



Şekil 10. SWAT modelinde dikkate alınan fiziksel süreçler (Kaynak: Neitsch vd. 2011 düzenlenerek alınmıştır).

Model kalibrasyonu sırasında kullanılacak parametrelerin model çıktıları üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla hassasiyet analizi yapmak gerekmektedir. Bu analiz, çalışma alanının içindeki süreçleri daha doğru temsil eden parametrelerin belirlenmesi ve bu süreçlere önemli ölçüde etki eden parametrelerin belirlenmesini hedefler. Bu sayede, etkisiz veya az etkili parametreler eleayarak kalibrasyon prosedürü sırasında daha az sayıda parametre ile çalışma imkânı sağlanır (Abbaspour vd. 2017). Bu amaçla, havza modeli için 25 parametre, önceki literatürde akım kalibrasyonu için belirlenmiş yüksek hassasiyetli parametreler arasından seçilmiştir (Tablo 4). Global hassasiyet analizinde, parametrelerin duyarlılığını belirlemede önemli olan t-statistik ve p-değerleri kullanılır. t-statistik, bir parametrenin katsayısının standart hatasıyla oranlanmasıyla elde edilirken, p-değerleri her bir parametre katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemektedir. Analiz sırasında, bir parametrenin hassas olduğunu belirtmek için ideal olarak yüksek t-statistik değerleri ve düşük p-değerleri gözlemlenir (Abbaspour, 2015b).

Tablo 4. SWAT Model kalibrasyonunda kullanılan parametreler

Sıralama	Parametre	Açıklaması	<i>t-stat</i>	<i>p-value</i>
1	CN2	SCS Eğri Numarası	47.319	0.0000
2	ESCO	Topraktan buharlaşma dengeleme faktörü	-5.100	0.0000
3	ALPHA_BF	Taban akımı alfa faktörü	-4.882	0.0011
4	CANMX	Maksimum kanopi katsayısı	3.068	0.0378
5	CH_K2	Ana kanalın efektif hidrolik iletkenliği	2.043	0.0298
6	OV_N	Manning akış pürüzlülüğü	1.853	0.0587
7	CH_N2	Nehir için Manning katsayısı	1.7671	0.0574
8	RCHRG_DP	Dip akifer sızma katsayısı	-2.735	0.0029
9	SOL_Z	Toprak derinliği	1.480	0.2143
10	GW_DELAY	Yer altı suyu gecikme süresi	1.463	0.1465
11	EPCO	Bitki su alım dengeleme faktörü	0.176	0.2291
12	SOL_AWC	Kullanılabilir su kapasitesi	0.911	0.3354
13	FFCB	Başlangıçtaki toprak su depolaması	0.854	0.2464
14	SURLAG	Yüzey akışı gecikme katsayısı	-0.121	0.1124
15	SLSOIL	Yanal yüzey altı akışın eğim uzunluğu	0.656	0.3569
16	REVAPMN	“Revap” oluşabilmesi için sığ akiferdeki eşik su derinliği	0.801	0.4784
17	DEEPST	Derin akiferin başlangıç derinliği	0.575	0.4245
18	SOL_K	Doygun hidrolik iletkenlik	-0.124	0.3256
19	SHALLST	Sığ akiferdeki suyun başlangıçtaki derinliği	0.499	0.6173
20	GW_REVAP	Yer altı suyu revap katsayısı	0.414	0.6791
21	LAT_TIME	Yanal akış ulaşım süresi	-0.329	0.7419
22	GWQMN	Geri akışın oluşabilmesi için sığ akiferdeki eşik su derinliği	-0.247	0.8051
23	SOL_ZMX	Toprak yüzeyinden itibaren maksimum kök derinliği	0.210	0.8338
24	HRU_SLP	Ortalama yamaç eğimi	0.059	0.9526
25	SOL_BD	Toprak hacimsel yoğunluğu	0.014	0.9884

SWAT modelinin kalibrasyon sürecinde aylık performans ölçütleri olarak Nash-Sutcliffe Etkinlik (NSE), Ölçülen Veri Standart Sapması (RSR) ve Yüzde Hata (PBIAS) belirlenmektedir. Bu performans göstergeleri, Tablo 5'teki formüller aracılığıyla hesaplanmaktadır.

Tablo 5. NSE, RSR ve PBIAS amaç fonksiyonlarına ait formüller

Amaç Fonksiyonu	Formülü	En iyi performans*
NSE	$1 - \frac{\sum(Q_{göz} - Q_{mod})^2}{\sum(Q_{göz} - \bar{Q}_{göz})^2}$	1
RSR	$\frac{[\sum(Q_{göz} - \bar{Q}_{göz})(Q_{mod} - \bar{Q}_{mod})]^2}{\sum(Q_{göz} - \bar{Q}_{göz})^2 \sum(Q_{mod} - \bar{Q}_{mod})^2}$	1
PBIAS	$100 * \frac{\sum(Q_{göz} - Q_{mod})}{\sum Q_{göz}}$	0

NSE (Nash-Sutcliffe Etkinlik) model değerlendirmesinde sıkça kullanılan bir ölçüttür; ölçülen verilerin varyansı ile model tahminlerinin varyansı arasındaki karşılaştırmayı normalleştiren bir istatistiksel metriktir. NSE, akarsu gözlem debisi (Q_{obs}), model tarafından hesaplanan akarsu debisi (Q_{sim}), ve incelenen zaman aralığındaki ortalama akarsu gözlem debisi (Q_{min}) arasındaki ilişkiyi temsil eder. Bu katsayı $-\infty$ ile 1 arasında değer alabilmektedir. Genellikle, NSE için en iyi sonuç 1'dir; 0 ile 1 arasındaki değerler kabul edilebilir performansı ifade ederken, NSE'nin ≤ 0 olması durumunda modelin performansı kabul edilemez olarak değerlendirilmektedir.

PBIAS (Percentage Bias) ise simülasyon sonuçlarının ortalamadan ne kadar sapma gösterdiğini ifade eden bir istatistiksel ölçüttür. PBIAS, akarsu gözlem debisi (Q_{obs}) ve model tarafından üretilen akarsu debisi (Q_{sim}) arasındaki farkı yüzde olarak ifade eder. PBIAS için ideal değer sıfırdır. Eğer PBIAS sıfırdan büyükse, modelin tahmini gözlem verilerinden daha düşük, sıfırdan küçükse, modelin tahmini gözlem verilerinden daha yüksek olmaktadır. Bu ölçüt, modelin doğruluğunu değerlendirmede kullanılmaktadır.

RSR (Relative Standardized Residual) ise bir hata indeksi istatistiğidir. RMSE (Root Mean Square Error) ile gözlem verilerinin standart sapması arasındaki oranı

ifade eder. RSR, akarsu gözlem debisi (Qobs) ve model tarafından üretilen akarsu debisi (Qsim) arasındaki hata istatistiği katsayısını temsil eder.

Bu indeks, SWAT modeli çalışmalarında yaygın olarak kullanılır ve Moriasi ve diğerleri tarafından geliştirilen performans kriter tablosu ile değerlendirme sonuçlarını ortaya koymak için kullanılır (Tablo 6). Bu kriterler, modelin kalibrasyon ve doğrulama süreçlerindeki performansını ölçmek için değerlendirme sağlar.

Tablo 6. SWAT Modeli kalibrasyon ve validasyon performanslarının değerlendirilme kriteri (Moriiasi vd. 2007)

Performans Derecelendirmesi	NSE	RSR	PBIAS (%)
<i>Çok iyi</i>	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$0,00 \leq RSR \leq 0,50$	$PBIAS < \pm 10$
<i>İyi</i>	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,50 < RSR \leq 0,60$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
<i>Yeterli</i>	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$0,60 < RSR \leq 0,70$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
<i>Yetersiz</i>	$NSE \leq 0,50$	$RSR > 0,70$	$PBIAS \geq \pm 15$

Sediman taşınımını etkileyen jeolojik, topoğrafik ve klimatolojik faktörlerin karmaşıklığı ve birbirleriyle olan ilişkileri, herhangi bir nehir tarafından taşınan sediman miktarının analitik olarak hesaplanmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, çeşitli tahmin yöntemlerinin geliştirilmiş olmasına rağmen sediman miktarının hesaplanmasında mümkün olduğunca uzun vadeli ölçüm verilerinin kullanılması daha güvenilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Miller, 1951).

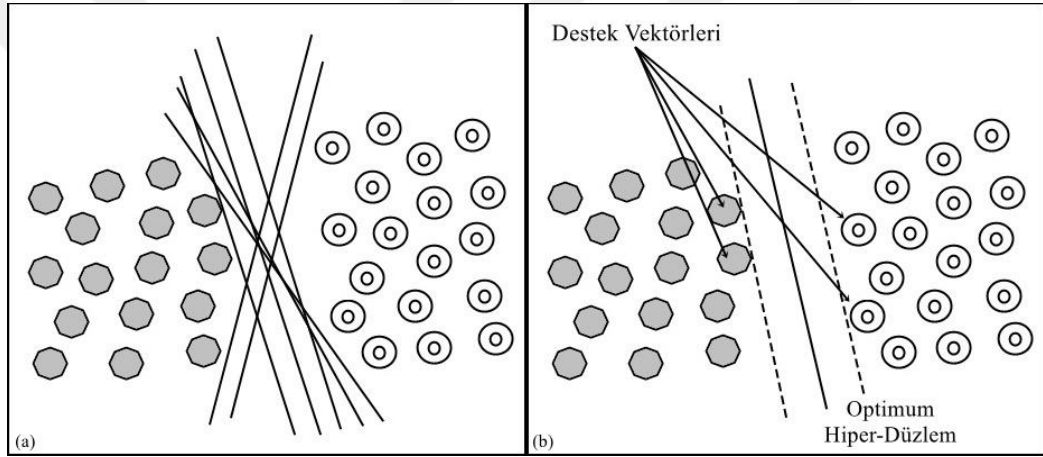
3.3.2. Destek Vektör Makineleri (DVM)

Vampik (1988) tarafından geliştirilen model, temelde yapısal riski minimum seviyede tutma prensibine dayalı çalışmaktadır. İstatistiksel öğrenme teorisi alanında ortaya çıkmış bir öğrenme metodu olan DVM, dış bükey optimizasyona dayalı makine öğrenmesi algoritmalarından biridir (Soman vd. 2011).

İstatistiksel öğrenme teorisine göre, makine öğrenmesindeki öğrenme sürecinin tutarlılık sorunu, deneyimsel riskin gerçek riski doğru bir şekilde yansıtmasıdır (Tolun, 2008). İyi bir genelleme performansı elde etmek için, yani düşük

bir gerçek risk elde etmek için, istatistiksel öğrenme teorisi; öğrenme kapasitesi ile deneysel risk arasında dengeli bir ilişkinin olması gerektiğini belirtmektedir (Demirci, 2007).

Destek Vektör Makinesi (DVM), sınıfları birbirinden ayıracak en uygun ayırma hiper düzleminin oluşturulmasını hedefler. Bu, farklı sınıflara ait destek vektörleri arasındaki mesafeyi maksimize etmeyi amaçlamaktadır (Şekil 10) (Ayhan ve Erdoğan, 2014). DVM, iki sınıflı ve çok sınıflı sınıflandırma problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir makine öğrenimi algoritmasıdır (Soman vd. 2011). Bu algoritma, veri noktalarını bir hiper düzlemde böler ve sınıfları en iyi şekilde ayıran bir karar sınırı belirlemeye çalışmaktadır.



Şekil 11. a) İki sınıflı bir problem için hiper-düzlemler, (b) Optimum hiper-düzlem ve destek vektörleri (Kaynak: Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır)

Bu öğrenme yöntemi, denetimli öğrenme kategorisi içinde yer almaktadır. Denetimli öğrenmede, eğitim sürecinde verilerin hangi sınıfa ait olduğu bilinen sınıf etiketleri bulunmaktadır. Bu sınıf etiketleri, algoritmaların öğrenme ve doğru sınıflandırma için kullanıldığı eğitim veri setlerinde mevcuttur. Bu şekilde, DVM gibi algoritmalar, önceden etiketlenmiş veriye dayanarak yeni, henüz etiketlenmemiş verileri sınıflandırmak için eğitilmektedirler (Küçüksille ve Ateş, 2013). Bu çalışmada DVM, 1990 ve 2023 yıllarına ait arazi kullanımı verilerinin sınıflandırılmasında kullanılmıştır (Şekil 8). Model sayesinde uzun yıllar arasındaki arazi kullanım değişiminin ne yönde olduğu anlaşılıp haritalandırılmıştır.

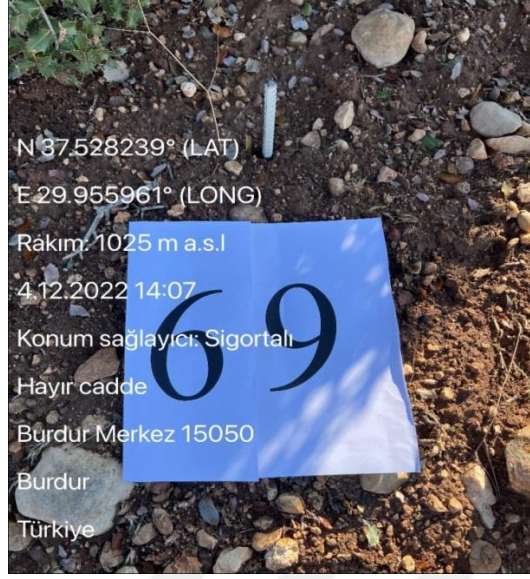
3.3.3. Erozyon Çubuk Yöntemi (Erosion Pin Method)

Erozyon Çubuk Yöntemi, maliyeti düşük olması, pratik uygulanabilirliği ve yüksek doğruluk oranıyla öne çıkarak, erozyon çalışmalarında sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem, kısa ve orta vadeli (örneğin, 1-3-5 yıl gibi) araştırmalar için kullanılmaktadır ve Zaines (2004), Tufekçioğlu (2006, 2010) ve Bear (2011) gibi araştırmacılar başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için bazı araç ve gereçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Onlar şunlardır; konum bilgisi için GPS, çalışma sahasını kapsayan ülke ve havza/alt havza haritası, erozyon çubukları, ölçümlerin not edilmesi için kalem ve kâğıt, erozyon çubuğunun zemine sıkıca yerleştirilebilmesi için çekiç, toprak üzerinde kalan kısmın net bir şekilde belli olabilmesini sağlamak için boya ve ölçüm hesabı için cetvel kullanılmaktadır. Araştırmada kullanılan erozyon çubuk özellikleri ise şunlardır; 60 cm. uzunluğunda ve 0.8 cm. genişliğinde demir çubuklar tercih edilmiştir.

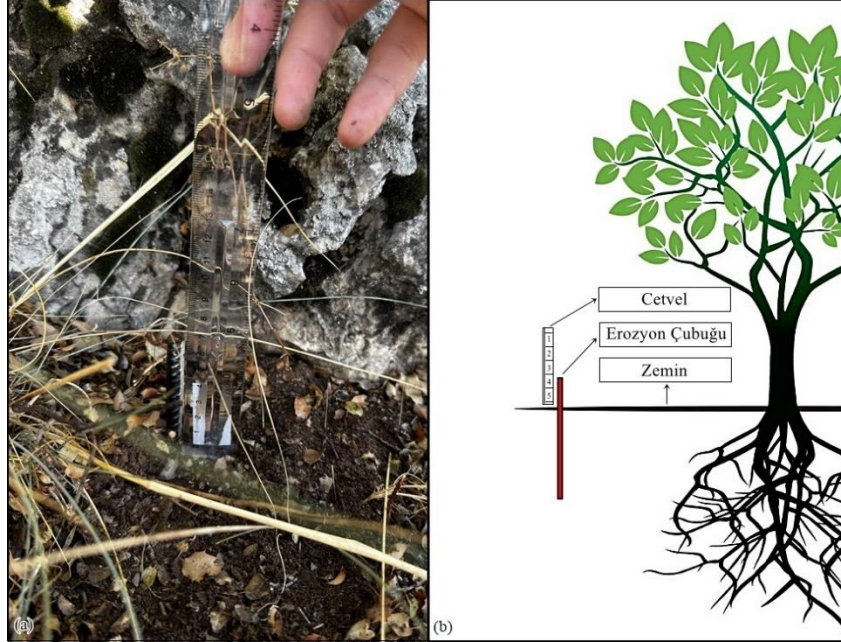
Bu yöntemin kullanılması sırasında örneklem noktalarının yakınlığı ve sayısı ile ilgili birçok farklı senaryo tercih edilebilmektedir (Tufekçioğlu vd. 2020). Bu çalışmada, erozyon çubuklarının alana yerleştirilmesinde vertikal (dikine kesit/düzlem) yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle göre; çalışma alanı karele plan şekliyle 2x2 km aralıklarla bölünmüştür. Bölünen bu karelelere 100 adet rastgele (dağınık) örneklem noktası tanımlanmıştır. Arazinin her noktası için en doğru sonuca ulaşmak için örneklem noktaları dağınık bir şekilde atanmıştır (Şekil 8).

100 adet örneklem noktasına arazinin fiziksel yapısı göz önünde bulundurularak demir çubuğun 50 cm.'lik kısmı toprağa çakılmıştır. Yüzeyde kalan 10 cm.'lik kısım koyu toprakta belirgin gözükmesi açısından gri renge boyanmıştır (Fotoğraf 5). Ardından tüm örneklemeler, daha sonra tekrar bulunabilmesi için sırasıyla numaralandırılıp, konum bilgisiyle birlikte fotoğraflanmıştır (Fotoğraf 4).



Fotoğraf 4. Numaralandırılmış örneklem

Yerleştirilen demir çubuklar 1 senenin ardından tüm çalışma sahasında genel durumun ne olduğu kontrol edilmiştir. Bazı örneklem çubukları fiziki ve beşeri etkenler dâhilinde kaybolsa da çalışma akıbeti açısından yeterli denebilecek seviyede (% 65) örnekleme ulaşılmıştır. Ulaşılan çubuklara titizlikle yaklaşıp bir cetvel ile aşınım veya birikim miktarı ölçülmüştür (Şekil 10). Tüm çubuklar araziden numara sırasına göre toplanırken elde edilen veriler de sırasıyla not edilmiştir.



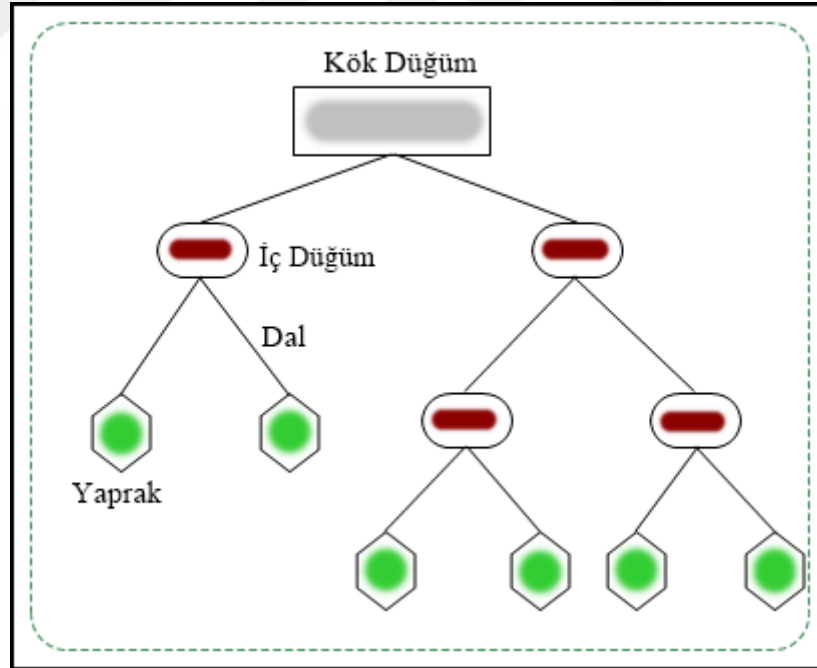
Şekil 12. (a) Erozyon çubuk ölçümü, (b) zemin üzerindeki görünümü

3.3.4. Karar Ağaç

Karar ağaçları, makine öğrenimi ve istatistiksel modelleme alanında yaygın olarak kullanılan önemli bir tekniktir (Güner, 2015). Bu yöntem, veri setlerini analiz ederek sınıflandırma veya regresyon görevlerini yerine getirmek için kullanılmaktadır (Saitoğlu, 2015). Bir karar ağacı, birçok karar düğümü ve yaprak düğümünden oluşan bir yapıya sahiptir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010).

Her bir karar düğümü, belirli bir özelliği veya değişkeni kullanarak veri setini bölerek alt kümeler ayırır. Bu bölme işlemi, veri kümesini daha küçük alt gruplara ayırarak sonuçları daha anlamlı hale getirmektedir (Pehlivan, 2006).

Karar ağaçları, kolayca anlaşılabilir bir yapıya sahiptir (Oğuzlar, 2004). Bu nedenle, karmaşık veri kümelerini yorumlama ve açıklama konusunda oldukça faydalıdır (Demirel ve Giray, 2019). Ayrıca, bu ağaçlar genellikle insanların anlayabileceği kurallar şeklinde sunulabilir, bu da karar sürecini şeffaf hale getirmektedir (Özekes, 2003).



Şekil 13. Örnek bir karar ağacı yapısı ((Kaynak: Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010'dan düzenlenerek alınmıştır.)

Bir diğerk avantajlarından biri de karar ağaçlarının diğerk makine öğrenimi modelleriyle kolayca entegre edilebilmesidir (Alevkayalı ve Abi, 2023). Özellikle ensemble teknikleri (toplu öğrenme teknikleri) ile birleştirilerek daha güçlü modeller oluşturabilmektedir (Lezki, 2014). Ayrıca, veri ön işleme aşamalarıyla daha az zaman harcamaları ve doğrusal olmayan ilişkileri tanımlama yetenekleri, karar ağaçlarını tercih edilebilir kılan özellikler arasındadır (Lezki, 2014). Ancak, karar ağaçları bazen aşırı uyum (overfitting) eğiliminde olabilir, yani eğitim verilerine aşırı derecede uyum sağlayabilirler ve genelleme yapma yetenekleri azalabilmektedir (Demirel ve Giray, 2019). Bu durum, ağacın derinliği, düğüm bölme kriterleri ve yaprak düğümü sayısı gibi parametrelerin dikkatlice ayarlanmasıyla nlenebilir (Kavzoğlu, lkesen, 2010).

Sonuç olarak, karar ağaçları, veri analizi ve makine öğrenimi projelerinde kullanılan etkili ve esnek bir yöntemdir (Onan, 2014). Anlaşılabilirlik, entegrasyon kolaylığı ve esneklik gibi avantajlarıyla birçok uygulama alanında tercih edilmektedir. Söz konusu uygulama alanlarındaki araştırma kollarından biri de toprak erozyon çeşitliliği sınırlamak için yersel ölçümlerle birlikte hızlı ve basit sınıflandırmalar yapılmasıdır (Demirel ve Giray, 2019).

Bu araştırmada, karar ağacı yöntemi, sahadaki ölçümleri sınıflandırarak model oluştırmada kullanılmıştır. Performans değerlendirme faktörleri olarak birden fazla ölçüt ele alınmış ve 100 örneklem noktasının performans düzeylerini sıralamak için karar ağacı tekniği uygulanmıştır. Oluşturulan karar ağacı, zm aşamasına geçmek için kullanılmıştır. Sonuç düğümlerinden başlayarak geriye doğru hareket edilerek beklenen değer (BD) hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

3.3.5. Doğrulama Yöntemleri

3.3.5.1. AOC-ROC Doğrulama

AOC-ROC (Alan Altında Kalan - Receiver Operating Characteristic) doğrulama, sınıflandırma modellerinin performansını ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir metriktir (Fawcett, 2006). Bu doğrulama tekniği, modelin farklı eşik değerlerindeki duyarlılık ve özgüllük oranlarını değerlendirerek, sınıflandırma performansını ayrıntılı bir şekilde analiz etmeyi sağlamaktadır.

ROC eğrisi, sınıflandırma modelinin duyarlılık ve özgüllük arasındaki ilişkiyi görselleştiren bir grafikdir (Green ve Swets, 1966). Duyarlılık, gerçek pozitiflerin tespit edilme oranını, özgüllük ise gerçek negatiflerin doğru bir şekilde sınıflandırılma oranını temsil eder (Fawcett, 2006). Bu eğri, farklı sınıflandırma eşik değerlerinde modelin performansını gösterir ve AOC, ROC eğrisinin altında kalan alanı ifade etmektedir.

AOC değeri, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve modelin sınıflandırma yeteneğini tek bir ölçüde özetler (Fawcett, 2006). Yüksek bir AUC değeri, modelin pozitif ve negatif örnekleri daha iyi ayırt ettiğini gösterirken, 0.5'e yakın bir değer ise rastgele sınıflandırmaya işaret eder (Fawcett, 2006). Dolayısıyla, AUC-ROC doğrulaması, sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmek ve farklı modeller arasında karşılaştırma yapmak için yaygın bir metriktir.

Literatürde, AOC-ROC doğrulamasının özellikle dengesiz sınıflandırma problemlerinde model performansının değerlendirilmesi için kullanılan önemli bir ölçüt olduğu gösterilmiştir (Fawcett, 2006; Hand ve Till, 2001). Bu metrik, özellikle nadir sınıfların olduğu durumlarda modelin performansını objektif bir şekilde değerlendirmek için etkili bir araç olarak kabul edilmektedir.

Makine öğrenmesi sınıflandırma problemlerinde AOC-ROC doğrulaması, model performansının değerlendirilmesinde önemli bir metriktir.

1. Veri Setinin Hazırlanması: İlk adım, modelin eğitileceği veri setinin hazırlanmasıdır. Bu veri seti, özelliklerin (features) ve hedef değişkenin (label veya sınıf) olduğu bir yapıya sahiptir. Veri seti genellikle eğitim ve test setleri olarak bölünmektedir.

2. Model Eğitimi: Bir sınıflandırma modeli seçilir ve eğitim veri seti üzerinde eğitilir. Örneğin, destek vektör makineleri (SVM), karar ağaçları, lojistik regresyon, k-NN (k en yakın komşu) gibi algoritmalar kullanılabilir.

3. Modelin Tahmin Yapması: Eğitilen model, test veri seti üzerinde tahminler yapar. Test veri seti, modelin daha önce görmediği verilerden oluşur ve gerçek hedef değişkenleri bilinmektedir.

4. AOC-ROC Değerinin Hesaplanması: Modelin tahminleri ve gerçek hedef değerleri kullanılarak AOC-ROC değeri hesaplanır. Bu değer, ROC eğrisinin altında kalan alanı ifade eder. Farklı sınıflandırma eşik değerlerinde modelin duyarlılık ve özgüllüğünü gösteren bu metrik, modelin performansını tek bir sayısal değerle özetlemektedir.

5. Performansın Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması: Elde edilen AOC-ROC değeri, modelin performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Yüksek bir AOC değeri, modelin iyi bir sınıflandırma performansı sergilediğini, yani pozitif ve negatif örnekleri doğru bir şekilde ayırt ettiğini gösterir. Farklı modeller arasında karşılaştırma yapmak için AUC-ROC değerleri kullanılabilir; daha yüksek AOC değeri olan model genellikle daha iyi performans sergiler.

6. Modelin Ayarlanması ve İyileştirilmesi: AOC-ROC değerinin düşük olması durumunda, model parametreleri veya özellik seçimi gibi faktörler üzerinde çalışarak modelin performansını artırmak için çeşitli iyileştirmeler yapılabilmektedir. Sonuç olarak, AOC-ROC değeri, sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek ve farklı modeller arasında karşılaştırma yapmak için önemli bir metriktir. Bu değer, modelin sınıflandırma yeteneğini tek bir sayısal ölçüde özetler ve modelin doğruluğunu objektif bir şekilde değerlendirmektedir (Hand ve Till, 2001).

3.3.5.2. Kappa Katsayısı

Toprak erozyonu çalışmalarında, SWAT (Su, Toprak ve Tarımın Yönetimi) modeli gibi hidrolojik ve toprak erozyon modellerinde, kappa (κ) katsayısı, yüzey akışı ve erozyon süreçlerini modellerken kullanılan bir parametredir (Gohel vd. 2020). Kappa katsayısı, toprak erozyonu potansiyelini belirlemek için kullanılır ve yüzey akışının ve erozyonun derecesini etkileyen faktörleri içermektedir (Yavuz vd. 2022). SWAT modeli gibi erozyon modelleri, yağış, toprak özellikleri, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve diğer çevresel faktörlerle ilişkilendirilmiş bir dizi denklem ve parametre kullanır (Andre vd. 2013). Kappa katsayısı, bu denklemlerde toprak erozyonu için önemli bir parametredir ve genellikle yüzey akışının hızını ve erozyon potansiyelini belirlemede kullanılır (Arena vd. 2022).

SWAT modelinde kappa katsayısı, çeşitli toprak tipleri ve arazi kullanımı için belirlenmiş olan değerlerle ilişkilendirilmektedir (Safavian ve Landgrebe, 1991). Bu değerler, toprak erozyonu potansiyelini karakterize etmek için kullanılmaktadır. Farklı toprak tipleri, eğimler, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi faktörler, farklı kappa katsayısı değerlerine sahip olabilir ve bu değerler, erozyon süreçlerinin modellenmesinde önemlidir (Safavian ve Landgrebe, 1991).

Bu modellerde kappa katsayısının doğru bir şekilde belirlenmesi, erozyon süreçlerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine ve toprak erozyonuyla mücadele için stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Çınar vd. 2020). Bu nedenle, kappa katsayısı, toprak erozyonunu anlamak ve tahmin etmek için kullanılan modellerde önemli bir parametredir (Savaş, 2022).

3.3.5.3. SWAT CUP Kalibrasyonu ve Doğrulaması

SWAT-CUP yazılımı, SUFI-2 algoritmasını kullanarak kalibre edilmiştir. Bu yazılım, duyarlılık analizi, çok alanlı kalibrasyon ve belirsizlik analizi için kullanılmaktadır (Arnold vd. 2012). SUFI-2, tekrarlamalı (iteratif) bir algoritma olup, tüm model belirsizliklerini parametre aralıklarına eşler. Sonuçtaki toplam belirsizlik, çıktı değişkenlerinin kümülatif dağılımının %2,5 ve %97,5 seviyelerinde hesaplanan %95 öngörü belirsizliği (95PPU) ile belirlenir. SWAT girdi parametreleri süreç tabanlıdır ve gerçekçi bir belirsizlik aralığında tutulmalıdır. Ayrıca, SWAT modeli kalibrasyon dönemi için aylık Nash-Sutcliffe (NSE), Standard Deviation of the Measured Data (RSR) ve Percentage Bias (PBIAS) performans göstergeleri de kullanılmıştır (Abbaspour vd. 1997; Abbaspour, 2015).

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Jeolojik Özellikleri

Yarışlı Gölü alt havzasının jeolojik özellikleri, karmaşık ve çok katmanlı bir jeolojik evrimin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Meşhur vd. 1989). Bölgenin jeolojik yapısı, çeşitli litolojik birimlerden oluşmakta olup, bu birimler arasında kireçtaşları, kilitaşları, kumtaşları, bazaltlar gibi farklı kayaç türleri yer almaktadır (Şekil 14).

Ayrıca, gölün alt havzasının yapısal özellikleri, çeşitli tortul, volkanik ve metamorfik kayalardan oluşmuş jeolojik formasyonları içermektedir. Bu formasyonlar arasındaki çeşitlilik, bölgenin jeolojik çeşitliliğini ve zenginliğini vurgulamaktadır (Meşhur vd. 1989).

Jeolojik süreçler, bu bölgenin evriminde önemli bir rol oynamıştır. Tektonik faaliyetler, fay hatları ve yer altı sularının hareketleri, gölün oluşumu ve şekillenmesi üzerinde uzun süreçler boyunca etkili olmuştur (Ersoy vd. 1989).

Özellikle, tektonik hareketlerin neden olduğu fay hatları, bölgedeki jeolojik yapıyı etkileyerek yer altı sularının gölü beslemesine ve şekillendirmesine önemli katkılarda bulunmuştur. Bu karmaşık jeolojik evrim, Yarışlı Gölü alt havzasının benzersiz özelliklerini oluşturmuş ve bölgenin coğrafi, hidrolojik ve ekolojik karakteristiğini belirlemiştir. Bu nedenle, jeolojik faktörlerin anlaşılması, bölgenin doğal yapısının ve çevresel süreçlerin anlaşılmasına önemli bir katkı sağlamaktadır.

Sediman yatakları, gölün alt havzasının önemli bir parçasını oluşturur. Tortul malzemelerin birikimiyle oluşan bu sedimanlar, gölün oluşum süreci ve çevresindeki jeolojik aktivitelerin bir sonucudur (Meşhur vd. 1989). Ayrıca jeotermal aktivitelerin varlığı da bölgenin jeolojik yapısını etkilemiştir. Jeotermal kaynaklar, yer altı sularının bileşimini değiştirerek göl ve çevresindeki jeolojik özellikleri şekillendirebilmektedir (Davraz ve Çakmak, 2016).

Sonuç olarak, Burdur Yarışlı Gölü'nün alt havzasının jeolojik özellikleri, farklı jeolojik formasyonlardan oluşan karmaşık yapılarla karakterize olmuş bir bileşeni sunmaktadır (Şenel vd. 1989).

Burdur Yarışlı Gölü'nün alt havzası, Batı Anadolu'nun jeolojik yapısı içerisinde yer alır ve karmaşık jeolojik süreçlerin etkisi altında şekillenmiştir. Bu bölgenin jeolojik özellikleri, çeşitli litolojik birimler, tektonik unsurlar ve jeolojik olaylarla belirlenmiştir (Erakman vd. 1982).

Litolojik yapı, bölgenin temel kayaç bileşimini oluşturan unsurlardan biridir. Burdur Yarışlı Gölü'nün alt havzası, farklı jeolojik formasyonlardan oluşmuş çok çeşitli kayaç türlerini barındırır. Bu kayaçlar içinde kireçtaşları, kıltaşları, kumtaşları, bazaltlar ve volkanik tüfler gibi çeşitli litolojik bileşenler bulundurmaktadır. Bunlar, uzun süreçler boyunca tortul, volkanik ve metamorfik süreçler sonucunda oluşmuştur (Ersoy vd. 1989).

Yapısal özellikler, bölgenin jeolojik yapısında önemli bir rol oynamaktadır. Tektonik aktiviteler ve fay hatları, bölgenin jeolojik evriminde belirleyici bir etkiye sahiptir. Yer kabuğundaki hareketler, fay hatlarının oluşumunu teşvik eder ve zamanla bu fay hatları gölün konumunu ve şeklini etkileyebilmektedir (Davraz ve Çakmak, 2016).

Sediman yatakları, gölün alt havzasının önemli bir parçasını oluşturmakta ve tortul malzemelerin birikimiyle oluşan bu sedimanlar, gölün geçmiş jeolojik süreçleri ve çevresindeki jeolojik etkileşimleri yansıtmaktadır. Bunlar arasında göl çökelleri, alüvyonlar ve çeşitli tortul kayaçlar da yer almaktadır.

Jeotermal etkiler, bölgenin jeolojik yapısını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Jeotermal kaynaklar, yer altı sularının kimyasal bileşimini değiştirerek göl ve

çevresindeki jeolojik özellikleri etkileyebilmektedir. Bu tür etkileşimler, jeolojik yapıyı şekillendiren ve yer altı sularının akışını ve bileşimini etkileyen karmaşık bir dinamizm oluşturabilmektedir.

4.1.1. Paleozoik

4.1.1.1. Permien

Paleozoik yaşlı birimler, Yarışlı Gölü Alt Havzası'nın önemli bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Bu birimler, genellikle Permien Kireçtaşları (Pm) ve Dolomit olarak temsil edilir ve bölgenin jeolojik yapısının önemli bir parçasıdır. Özellikle Kızılcadağ melanj ve olistostrom içindeki bloklar ve klipler, belirgin bir şekilde Permien yaşlı birimleri sergilemektedir. Havzanın iç kısımlarında, bu Permien yaşlı birimler, Yarışlı Gölü'nün doğusunda Kayrak Tepesi eteklerinde ve batısında Çeltek Pınarı civarında klipler halinde gözlemlenmektedir. Bu birimlerin varlığı, bölgenin jeolojik geçmişi ve yapısal oluşumu hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

Permien yaşlı birimlerin bu konumları, yerel jeolojik süreçler ve tektonik hareketlerle ilişkilendirilmektedir. Bölgedeki bu kliplerin varlığı, jeolojik formasyonların farklı dağılımlarına ve yapısal özelliklerine işaret edebilmektedir. Bu durum, bölgenin jeolojik evrimi ve tortul birikim süreçleri hakkında daha derin bir anlayış sağlamaktadır. Permien yaşlı dolomitler Sazak'ın güneybatısında ve Oyutlu Tepe'nin güneydoğusundaki bazı alanlarda mostra vermektedir.

4.1.2. Mesozoik

4.1.2.1. Trias

Dutdere Kireçtaşı (TRJd);

Domuzdağ Napı, kireçtaşlarından meydana gelen bir formasyondur ve Ersoy (1989) tarafından Dutdere Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Bu birim, Orta Triyas dönemine ait bir yaşa sahiptir. Birim alanda çeşitli renkli ve fasiyesli, masif kireçtaşları barınmaktadır. Havzanın birçok kesiminde görülmekle birlikte Yarışlı gölünün kuzeyindeki Büyük Yaka köyünün güney batısında oldukça fazla yayılım

sergilemektedir. Ayrıca gölün batısında ve güneyinde geniş alanlarda açıklık vermektedir.

Orhaniye Formasyonu (JKo);

Bu formasyon, Meşhur vd. (1989) tarafından tanımlanmış olup Orta-Geç Triyas dönemine aittir. Yapısında bazik volkanit, radyolarit, ara düzeyli mikrit ve çörtlü mikritler bulunmaktadır. Yarışlı gölünün kuzeydoğusunda ve doğusunda yayılım göstermektedir. Özellikle Kara Tepe ve Seyit Tepe eteklerinde yayılmaktadır. Orhaniye Formasyonu, ince ve orta tabakalı yapıya sahip olup, aşınma yüzeyi genellikle gri tonlarında iken kırılma yüzeyi gri, yeşil-gri, bej, pembe, sarı renklerde ve çok kıvrımlı radyolarit, çört ve şeyllerden meydana gelir. Bu birim, zaman zaman bazik volkanizmanın etkili olduğu havza ortamında birikmiştir.

4.1.2.2. Jura

Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu (Kkzm);

Poisson (1977) tarafından adlandırılan ofiyolitli melanj ve olistostromlardan oluşan birim, özellikle dikkate değerdir. Yarışlı Gölü çevresinde yayılım gösteren serpantinize harzburjit, dünit gibi kaya çeşitlerinden oluşur. Bu yapı, bazik volkanit ve metamorfik dilimler de içermesinin yanında Jura yaşlı karbonatlar ve yaşı tanımlanmamış radyolaritleri de bünyesinde barındırmaktadır. Havzanın geniş bir kısmında bulunan bu yapı, özellikle batı ve güneyde konumlanmıştır.

4.1.2.3. Kretase

Marmaris Peridotiti (Kmo);

Marmaris Peridotiti, genellikle serpantinleşmiş ultramafik kayalardan oluşan bir yapıya sahiptir ve Marmaris Ofiyolit Napına aittir. Bu oluşum, Kretase dönemine aittir. Bu birim içinde serpantinleşme yoğun bir şekilde gerçekleşmiş olup, baskın kaya türü Harzburjittir (Davraz ve Çakmak, 2016). Harzburjitler genellikle kırmızı, kırmızı kahve, yeşilimsi gri, siyahımsı yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri ve koyu yeşil tonlarında renklere sahiptir. Bu oluşum, Yarışlı Gölü'nün kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde yayılmıştır.

Özellikle Doru tepesi ile Karabelen tepesi arasında ve Harmanlı köyünün kuzeybatısında yer almaktadır.

4.1.3. Senozoik

4.1.3.1. Paleosen

Mamatlar Formasyonu (Tpm);

Mamatlar Formasyonu, Şenel vd. (1989) tarafından adlandırılmış olup üst Paleosen yaşlı ve paraallokton konumlu bir birimdir. Bu formasyon, genellikle kireçtaşlarından oluşmuş olup bazen kumtaşı ve silttaşı ara tabakaları içerir. Genellikle açık kahve, sarımsı kahve, gri, bej, krem renkleriyle karakterizedir. Likya Napları üzerinde açısız uyumsuzluk gösteren bu formasyonun kalınlığı çalışma alanında büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir.

4.1.3.2. Pliyosen

Çameli Formasyonu (plç);

Erakman vd. (1982) tarafından Çameli Formasyonu olarak adlandırılan bu birim, ağırlıklı olarak ince, orta ve kalın tabakalardan oluşan çeşitli renklerde kilaşı, kumtaşı, marn, konglomera ve kumtaşlarından meydana gelir. Renk skalası genellikle beyaz, kirli beyaz, kirli sarı, açık gri ve yeşil tonlarıdır. Formasyon içinde tuf ve tufit düzeylerinin varlığı gözlemlenirken, bazen manyezitli dolomit ve/veya killi kireçtaşı tabakaları görülebilmektedir. Bu formasyon, Likya napları üzerinde açısız uyumsuzluk sergiler ve Kuaterner yaşlı çökellerle örtülmüştür. Gölsel çökelleri temsil eden bu birim, göl ortamında çökelen sedimanlarla bataklık koşullarını yansıtmakta ve alüvyon yelpazeleri, göl kenarı fasiyesleri, yelpaze deltası ve delta çevresi gibi çeşitli ortamları kapsamaktadır (MTA, 2010).

4.1.4. Kuaterner

Kuaterner Yamaç Molozu (Qym);

Dağ yamaçlarında ve eteklerinde, yamaç molozları ve birikinti konileri ile karakterize olan bir birim söz konusudur (MTA, 2010). Bu birim, blok ve çakıl

birikintilerinden oluşur ve Yarışlı Gölü'nün güneyi ile alt havza'nın kuzeybatısı ve güneybatısında, özellikle de Kızıltepe'nin eteklerinde gözlemlenmektedir.

Alüvyon (Qal);

Yataklarda, düzlüklerde ve göl kenarlarında çakıl, kum ve çamur birikimleri gözlemlenmektedir. Yarışlı Gölü'nün çevresinde, geniş alüvyonlar bulunmaktadır. Ayrıca, dağ yamaçlarında ve eteklerinde yığılmış yamaç molozları ve birikinti konileri gözlemlenir. Bu birim, çakıl ve blok birikintilerinden meydana gelir ve bazı bölgelerde sıkışmışken, çoğunlukla gevşek bir yapıya sahiptir.

4.1.5. Tektonik

Bölge, Türkiye'nin güneybatısında, Göller Bölgesi'nde konumlanmış olup jeolojik açıdan Isparta Büklümü içerisinde yer almaktadır (Şenel vd. (1989). Isparta Büklümü'nün batı bölümüne denk gelmektedir (Sarı 1997). Akdeniz'e yönelik bir geçit oluşturan bu alanda, dağlar genellikle batıda kuzeydoğu-güneybatı, doğuda ise kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanmaktadır (Ersoy vd. 1989).. Bölgenin bugünkü jeolojik ve jeomorfolojik yapısını şekillendirmede, paleotektonik dönem (Alpin orojenezi) ve neotektonik dönem (aktif tektonik hareketlerin olduğu dönem) etkili olmuştur (Davraz ve Çakmak, 2016).

Çalışma alanı yakın çevresindeki Likya napları, Antalya napları ve Hoyran-Beyşehir-Hadım napları bu yerleşimin bir sonucudur (Şekil 12). Otokton Toros karbonat platformu kayaçları ve bu kayaçların üzerine yerleşmiş büyük nap dilimleri, merkezi, batı Toroslar'da bulunarak Isparta büklümünün oluşumunda etkili olmuştur (Sarı 1997). Paleotektonik dönemde sıkışma gerilmelerinin etkili olduğu Isparta büklümü içinde birçok kırıklı, kıvrımlı, bindirmeli ve faylı yapılar gelişmiştir (Davraz ve Çakmak, 2016).

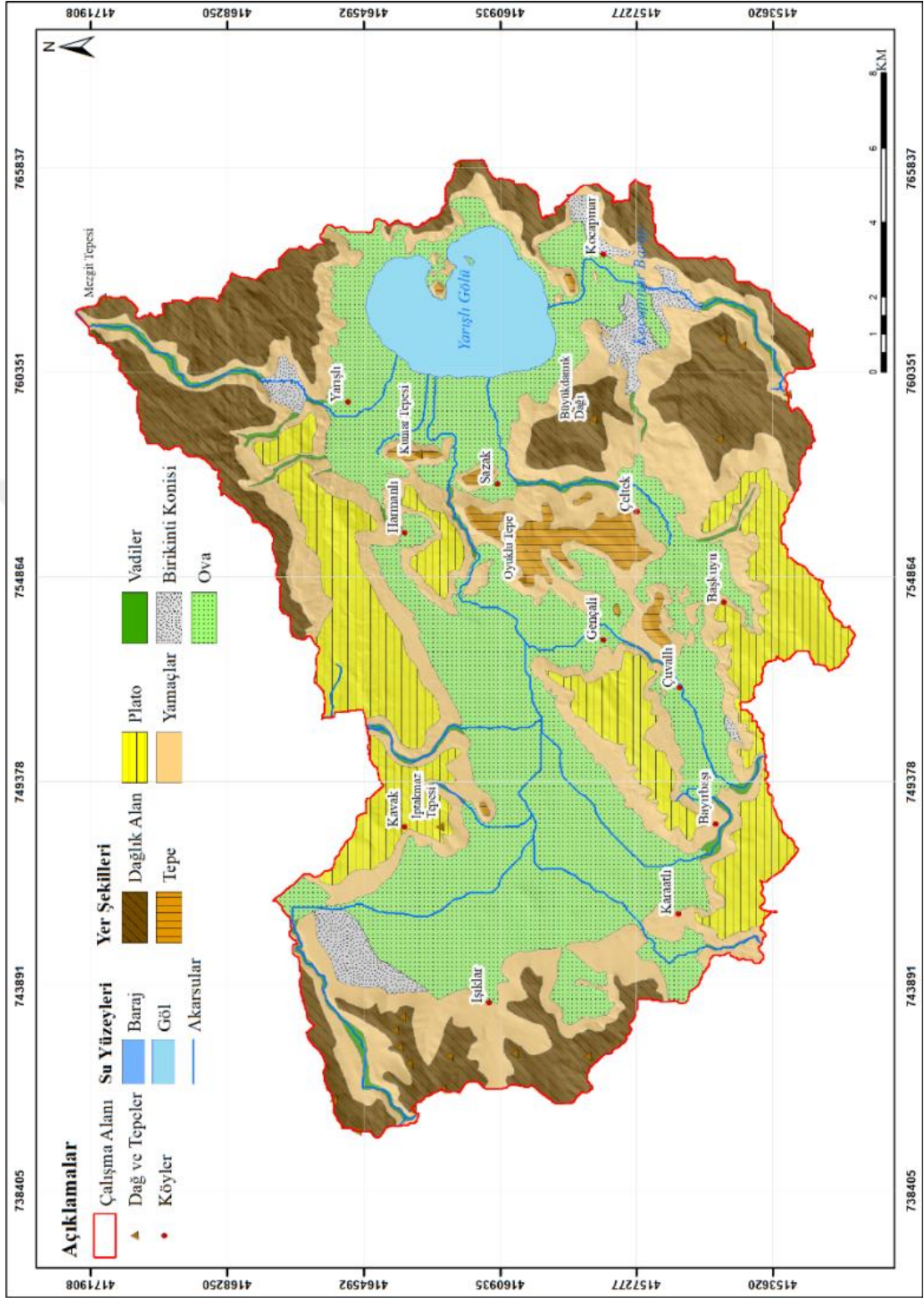
4.2. Topoğraya Özellikler

4.2.1. Jeomorfolojik Birimlerin Dağılımı

Toprak erozyonu üzerindeki etkisi yağış miktarıyla birlikte arazinin topografik şeklinin de önemli olduğu bilinmektedir (Petermann 1993). Jeomorfolojik olarak, dağlık bölgeler ve dik yamaçlar, yağışın erozyon faktörünü tetikleyen unsurlardır (Sarı 1997). Bu tür alanlar, toprak erozyonunda arttırıcı bir rol oynarlar çünkü yüksek eğim değerlerine sahiptirler. Dolayısıyla, bitki örtüsü veya toprak kalitesi ne olursa olsun, toprak erozyonunun başlangıç noktası genellikle yüksek eğimli jeomorfolojik birimlerdir (Hagos 1998). Arazi yüzeylerinin eğimi, uzunluğu ve konumu, erozyonun taşıdığı toprağın miktarı ve kalitesi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Nanna 1996).

Yarışlı Gölü Alt havzasında, jeomorfolojik olarak, dağlık ve yüksek kesimlerden başlayarak eğimin azaldığı yamaçlara, daha düşük eğimli platolara ve toprak erozyonuyla taşınan sedimanların biriktiği dağ içi ovalara kadar çeşitli topografik yapılar görülmektedir (Şekil 15). Bu bağlamda, havzanın yüksek eğimli kesimlerinden düzlük araziye doğru sediman taşınımı meydana gelmektedir. Ayrıca, ovalık araziye oluşturan akarsu ağı, taşıdığı sedimanların sadece düzlük arazi oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda daha alçak bölgelere, örneğin Oyuklu Tepe'nin batısına ve Yarışlı Gölü çevresine de depo eder (Sarı 1997).

Yarışlı Gölü Alt Havzasının jeomorfolojik evrimini anlamak için öncelikle içerisinde bulunduğu üst havzayı anlamak gerekmektedir. Burdur Gölü Havzası, Yarışlı Gölü'nü içeren ve büyük olasılıkla plüviyal dönemde var olduğu bilinen, su kimyası açısından bugünkünden çok farklı olan geniş alanlara yayılan devasa bir göl havzasını ifade eder. Jeolojik ve jeomorfolojik gelişimi değerlendirirken tektonizmanın Burdur Gölü Havzası üzerindeki etkisi önemli olmakla birlikte, karstlaşma, volkanizma gibi diğer faktörlerin de bu havzanın oluşumunda etkili olduğu gözlemlenmektedir (Sarı 1997).



Şekil 15. Çalışma alanı jeomorfoloji haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı’ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

Yarışlı Gölü Alt Havzası, oluşum açısından farklı özelliklere sahip olarak Burdur Gölü Havzası'ndan ayrılır. Yarışlı Gölü Havzası'nın oluşumunda da tektonizmanın etkisi bulunmakla birlikte, gelişiminde karstlaşmanın daha belirgin bir rol oynadığı bilinmektedir. Yarışlı Gölü Havzası, konum olarak Burdur Gölü Havzası'nın güneybatısında yer alır ve bu alan, Burdur Gölü havzasında karstlaşmaya daha uygun kayaçların daha fazla açığa çıktığı bir bölge olarak öne çıkar. Bu çevrede farklı jeolojik çağlara ait kalkerler yüzeyde görülür. Diğer yandan, Burdur Gölü havzasının diğer bölgelerinde, özellikle Burdur Gölü çukurunun kuzey kesimlerinde, volkanik kayaçlar daha yaygın bir litoloji oluşturur.

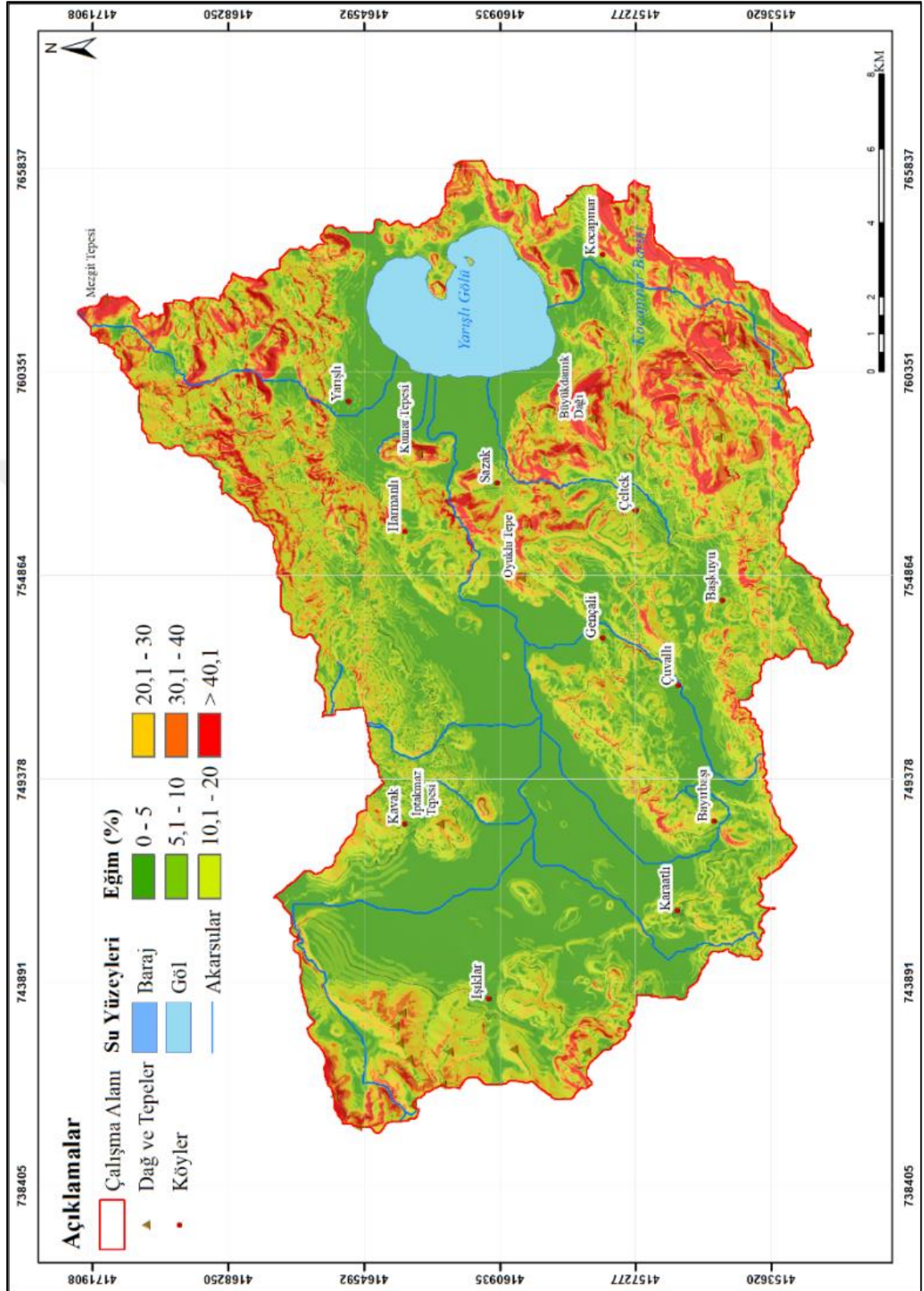
4.2.2. Dağlık Araziler

Yarışlı Gölü Alt Havzası'ndaki toprak erozyonunun kaynak noktasını ve su bölümünü oluşturan dağlık arazi yüzeyleri, 895 metreden başlayıp 1.915 metreye kadar uzanan yüksekliklerden oluşmaktadır. Havza, genel olarak yüksek dağlarla çevrili ovalık bir arazi görünümündedir. Çalışma alanı içerisindeki en yüksek noktalar Yarışlı Gölünün kuzeyindeki Mezgit tepesi (1.915 m) ve Kartal tepesi (1.761 m)'dir (Şekil 16).

Alt havzada, çeşitli büyüklükte birçok tepe ve dağ bulunmaktadır. Bu dağlık bölgelerde, karstik yapılar metamorfizmanın belirtisi olarak mermer yataklarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu nedenle, Yarışlı Gölü çevresinde birçok dağlık alanda mermer ocakları bulunmaktadır (Fotoğraf 5). Yükseldikçe yağışın arttığı dağlık bölgeler, araştırma alanında yağışın erozyon etkisi ve ana kayanın aşınmasında en yüksek bozunumun olduğu arazi yüzeylerini oluşturmaktadır (Nanna 1996). Bu dağlık bölgelerin kuzeydoğu-güneydoğu yönünde akış gösterdiği araziler, son derece dik eğimlere sahiptir. Sonuç olarak, yağışın erozyon etkisi ve tektonik deformasyonların etkileşimi sonucunda, bazı bölgelerde genişliği 1,5 metreye ve derinliği 1,25 metreye kadar olan oyuntu erozyonlarının geliştiği durumlar meydana gelmektedir (Şekil 17).



Fotoğraf 5. Yarışlı Gölü etrafındaki dağlık alanlardaki mermer ocakları



Şekil 17. Çalışma alanı eğim (%) haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

4.2.3. Plato Yüzeyleri

Genel olarak plato yüzeyleri, geniş alanlarda düz ve nispeten yüksek araziler olarak tanımlanır (Nanna 1996). Bunlar tipik olarak dağlık bölgelerin zirvelerinden sonra gelen düzlük alanlardır (Petter 1992). Bu bölgeler, yükseklik bakımından belirgin bir düzeyde olabilir ve çevresindeki araziye göre daha düz bir topografyaya sahiptir (Hudson 1995).

Plato yüzeyleri, jeomorfoloji, coğrafya, jeoloji ve çevre bilimleri gibi disiplinlerde araştırma konusu olmuştur (Petter 1992). Bu alanlarda yapılan çalışmalar, plato oluşumunun ve evrimin jeolojik süreçleri, yüksekliklerinin belirlenmesi, iklim değişikliklerinin etkileri, erozyon süreçleri ve plato alanlarının biyolojik çeşitliliği gibi konuları içerebilmektedir (Morgan 1995).

Plato yüzeylerinin oluşumu genellikle jeolojik süreçlerle ilişkilidir. Kayaçların farklı direnç özelliklerine sahip olması, tektonik hareketler, erozyon, buzul hareketleri gibi etkenler plato oluşumunu etkileyebilmektedir (Mkhonta 2000). Bu yüzeyler aynı zamanda su kaynakları, tarım alanları veya habitatlar gibi insanlar için önemli alanları oluşturmaktadır (Fotoğraf 6).

Yarışlı Gölü Havzası yakınında, farklı jeolojik zamanlarda oluşmuş olan plato yüzeyleri mevcuttur. Bu yüzeyler, çeşitli yüksekliklerle karakterize edilmiştir. Yarışlı Gölü Alt Havzası ve civarında, son plüviyal dönemde meydana gelmiş olan 930-945 metre arasındaki eski göl seviyeleri, daha yüksek seviyelerde yer almaktadır ve bu seviyelerde göle ait izler bulunmaktadır. Aşağıda kalan seviyeler ise 845-915 metreler arasında değişmekte olup, çoğunlukla kıyı izleriyle şekillenmiştir.



Fotoğraf 6. Çalışma alanında tarım arazisine çevrilmiş plato yüzeyi

4.2.4. Yarışlı Gölü ve Yakın Çevresi

Burdur Yarışlı Gölü ve çevresi, genellikle dağlık ve tepelik bölgelerden oluşan bir topoğrafyaya sahiptir. Bu bölge, Batı Anadolu'nun iç kesimlerinde yer alır ve çevresindeki alanlar genellikle yüksek tepeler, düzlükler ve vadi sistemleriyle karakterizedir.

Yarışlı Gölü'nün çevresinde, dağlık alanlar önemli bir yer tutar. Bölgede yükseltisi yüksek tepeler ve dağlar bulunmaktadır (Fotoğraf 7). Bu dağlık bölgeler, genellikle bitki örtüsüyle kaplı olup, tarımsal faaliyetlere pek elverişli olmayan alanlar olarak bilinir. Ayrıca, bölgede vadiler ve akarsu sistemleri de mevcuttur. Bu vadiler genellikle su kaynakları ve sulak alanlarla ilişkilendirilir. Yarışlı Gölü çevresindeki topoğrafya, gölün etrafında genellikle kırsal ve doğal alanlardan oluşan bir manzara sunar. Topoğrafik yapının genelinde, gölün çevresindeki alanlarda tarım, hayvancılık ve doğal yaşam bir arada bulunur. Bu bölge, doğal güzellikleri ve çeşitli ekosistemleriyle bilinirken, aynı zamanda yerel tarım ve hayvancılık faaliyetlerine de ev sahipliği yapar. Ancak, belirtmek gerekir ki, bu bölgenin topografyası ve özellikleri, zamanla değişebilir ve coğrafi olarak çeşitlilik gösterebilmektedir.

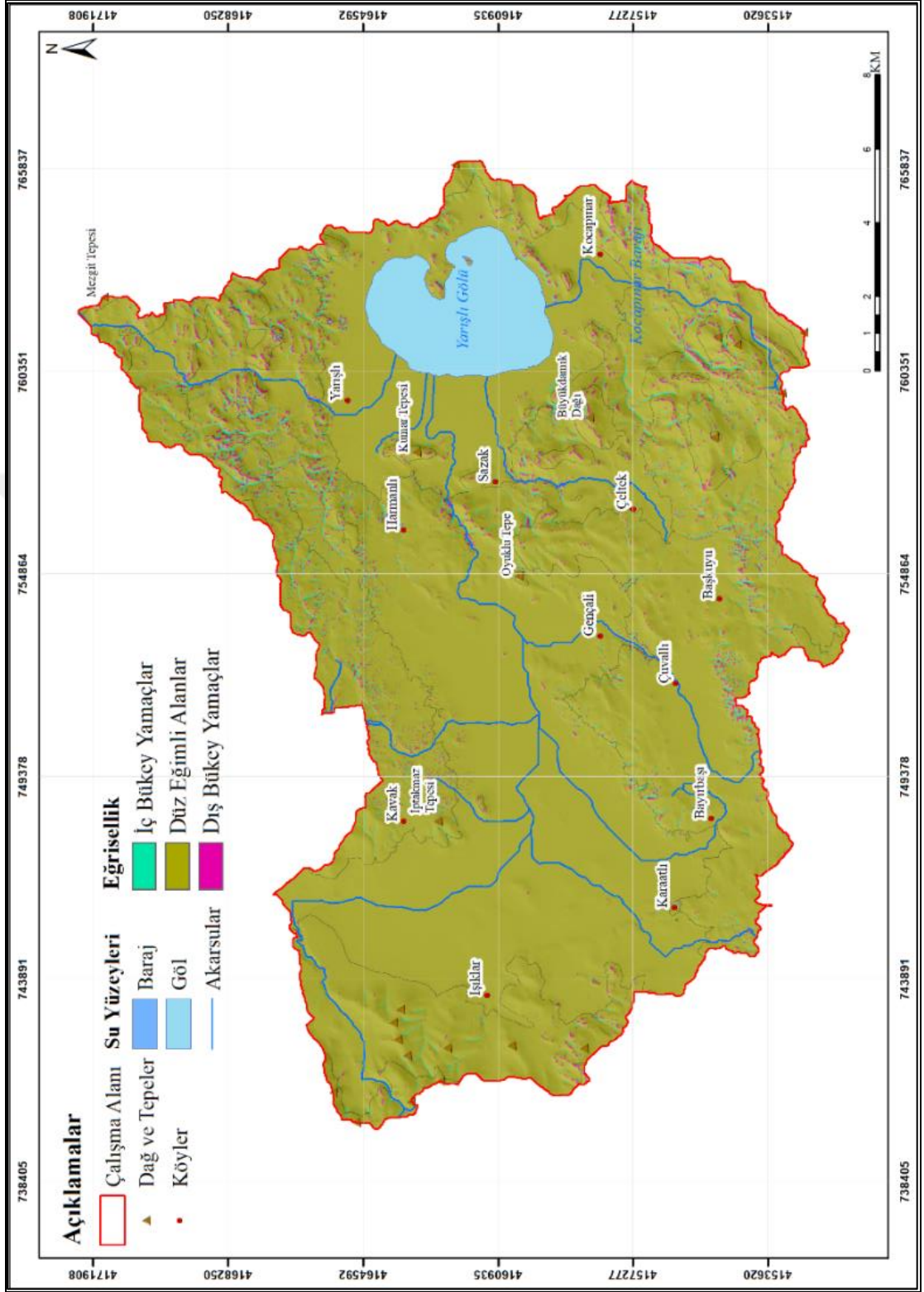


Fotoğraf 7. Yarışlı gölünün kuzeyindeki yüksek tepelerden çekilmiş görüntü

Yarışlı Gölü Havzası'nın oluşumunda karstik oluşumlar etkili olduğundan, bu bölgede karstik şekiller gözlemlenmektedir. Karstik depresyonların iç kısımları genellikle tarım arazisi olarak kullanılırken, bu depresyonları çevreleyen yamaçlar ile yamaçların altındaki düzlükler arasında birikinti konileri bulunmaktadır.

4.2.5. Topoğrafya Faktörü

Toprak erozyonunu etkileyen suyun potansiyel gücü, yamaç eğimi ve şekline bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Mkhonta 2000). Dışbükey yamaç yapıları, toprak erozyonu riskini en yüksek seviyede barındırır (Hagos 1998). Bu durum, yamaç boyunca akan yüzey sularının taban kısımda herhangi bir birikim alanına sahip olmamasından kaynaklanmaktadır (Petermann 1993). Sutaşıma potansiyeli, düz yamaçlarda içbükey konkav yapıya sahip alanlara göre daha yükseken, dışbükey konveks yapıların oluşturduğu alanlarda daha düşüktür (Şekil 18).



Şekil 18. Çalışma alanı yamaç şekli haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı’ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

4.3. Klimatik Koşullar

Sulak alanın yer aldığı hidrolojik sistemin ayrıntılı bir şekilde tanımlanabilmesi için, havza içinde ve çevresindeki Devlet Meteoroloji İstasyonları'ndan elde edilen ölçüm verileri titizlikle incelenmiştir. Doğru bir hidrolojik sistem belirlenmesi, bir sulak alan ekosisteminin en uygun ve sürdürülebilir yönetim planının oluşturulmasında kilit bir rol oynamaktadır.

4.3.1. Yağış

Yağış, toprak erozyonu üzerinde belirgin etkilere sahip olan önemli bir doğal faktördür (Çanga ve Erpul 1994). Yağış miktarı, şiddeti ve süresi, erozyon sürecini doğrudan etkileyen faktörlerdir (Doğan ve Güçer 1976). Şiddetli yağışlar, toprak yüzeyinde suyun birikmesine ve akış hızının artmasına neden olarak erozyonun hızını artırmaktadır. Bu durum özellikle eğimli arazilerde daha belirgindir; çünkü eğim, suyun hızla hareket etmesine ve toprak parçacıklarını taşımaya olanak tanımaktadır (Petter 1992). Uzun süreli yağışlar ise toprak nemini artırarak toprak yapısını zayıflatabilir ve bitki örtüsünü olumsuz etkilemektedir (Doğan ve Güçer 1976). Bitki örtüsü olmadığında, yağışın etkisiyle toprak daha kolay bir şekilde taşınabilir hale gelir. Bu da erozyonun artmasına ve tarım alanlarının verimliliğinin azalmasına yol açar. Toprak erozyonunu önlemek için suyun yönlendirilmesi, erozyon kontrollü tarım tekniklerinin kullanılması ve bitki örtüsünün korunması gibi önlemler alınabilmektedir. Bu sayede, yağışın toprak erozyonu üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmaktadır.

Yarışlı Gölü Havzası'nın iklim özelliklerini daha kapsamlı bir şekilde analiz edebilmek adına, Burdur merkezi, Yeşilova, Tefenni ve Karamanlı meteoroloji istasyonlarından elde edilen veriler incelenmiştir. Burdur merkezi ve Tefenni istasyonları, faaliyetlerine en uzun süredir devam eden istasyonlardır. Ancak Yeşilova ve Karamanlı istasyonları, uzun bir süre boyunca veri üretmedikleri için, iklim özelliklerinin belirlenmesinde daha çok Tefenni ve Burdur merkezi meteoroloji istasyonlarından elde edilen verilere odaklanılmıştır.

Burdur Meteoroloji İstasyonu'nun 33 yıllık (1990 – 2022) yağış değerleri ortalaması 419,5 mm'dir (Tablo 3).

Kar yağışlı gün sayısı ve karla örtülü gün sayısı, erozyon üzerinde önemli etkilere sahip olmaktadır. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde, kar örtüsü toprak erozyonunu azaltabilir. Kar, yüzey suyunun doğrudan toprağa etkimesini sınırlar ve yağışın toprak yüzeyini yumuşatmasını sağlar. Bu durum, yağış sularının toprak tarafından daha etkili bir şekilde emilmesine ve erozyonun önlenmesine yardımcı olabilmektedir.

Ancak, karın erozyonu azaltıcı etkisi, karla örtülü gün sayısının yanı sıra kar yağışlı gün sayısı ile de bağlantılıdır. Düşük kar yağışlı gün sayıları, kar örtüsünün oluşumunu sınırlayabilir ve toprak yüzeyini koruma potansiyelini azaltabilir. Karla kaplı gün sayısının azalması, toprak yüzeyini erozyona karşı daha savunmasız hale getirebilmektedir. Ayrıca, karın erimesi sırasında oluşan suların hızlı bir şekilde toprağa nüfuz etmesi, erozyonu artırabilir. Kar erimesi sırasında ortaya çıkan yüksek su akışları, toprak parçacıklarını taşımakta ve erozyon riskini artırmaktadır.

Sonuç olarak, kar yağışlı gün sayısı ve karla örtülü gün sayısı, toprak erozyonunu etkileyen önemli faktörlerdendir. İyi bir kar örtüsü, erozyonu azaltabilirken, az miktarda kar yağışı ve kısa süreli karla kaplı günler, erozyon riskini artırabilmektedir. Bu nedenle, iklim değişiklikleri ve bu değişikliklerin kar yağışı rejimine etkisi, erozyonla mücadele stratejilerinin planlanması ve uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda kar örtülü gün sayısı ve kar yağışlı günler sayısı, yıllık periyoda ek olarak yaz ayları hariç diğer üç mevsimde meydana gelen değişimin anlamlılık düzeylerine göre tablolandırılmıştır (Tablo 7). Değişimlerin mevsimsel olarak toprak erozyonu üzerindeki etki büyüklüğünü görmek için her iki parametrede uzun yıllar ortalama gün sayıları alınarak % cinsinden hesaplanmıştır. Böylece Burdur merkez ilçe meteoroloji istasyonunda herhangi bir mevsimde meydana gelen anlamlı değişimin o bölge için ne kadar önemli olduğu hakkında fikir edinilebilir (Tablo 7). Söz konusu istasyon için yaz mevsimi ve içerdiği aylar hariç olmak üzere yıllık, mevsimlik ve aylık eğilimleri hesaplanmıştır.

Tablo 7. Burdur merkez ilçe meteoroloji istasyonunun 1960-2023 yılları arasındaki, mevsimlere göre kar örtülü gün ve kar yağışlı günlerin dağılışı ve % değerleri (MGM)

İstasyon	Burdur Merkez İlçe Meteoroloji İstasyonu		Burdur Merkez İlçe Meteoroloji İstasyonu
Yıllık ortalama kar örtülü günler sayısı ve (%değeri)	25(%100)	Yıllık ortalama kar yağışlı günler sayısı ve (%değeri)	21(%100)
Kış ortalama kar örtülü günler sayısı ve (% değeri)	22(%88,5)	Kış ortalama kar yağışlı günler sayısı ve (%değeri)	17,3(82,6)
İlkbahar ortalama kar örtülü günler sayısı ve (%değeri)	2(%7,6)	İlkbahar ortalama kar yağışlı günler sayısı ve (%değeri)	2,5(%11,9)
Sonbahar ortalama kar örtülü günler sayısı ve (%değeri)	1(%3,9)	Sonbahar ortalama kar yağışlı günler sayısı ve (%değeri)	1,2 (%5,6)

1960-2023 yılları arası toplam 63 yıllık periyotta Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda yıllık ortalama 25 gün kar örtülü gün sayısı olup bunun 22 günü (yaklaşık % 89'u) kış aylarında gerçekleşmiştir. İlkbahar mevsiminde yıllık ortalama 2 gün; sonbahar mevsiminde ise 1 gün ortalama kar örtülü gün sayısı yaşanmıştır. 1960 yılından 2023 yılına kadar veriler incelendiğinde ortalama yıllık toplam 21 olan kar yağışlı günler sayısının 17,3'ü kış (% 82.2), 2.5'i İlkbahar (% 5.6) , 1.2'si Sonbahar (% 5.6) mevsimindedir. Erinç (1953), Malatya'da yıllık ortalama kar örtülü günler sayısını 32,1 gün olarak belirtmiştir. Bu değer, 1960-2023 yılları arası ortalaması olan 25 günden 7,1 gün daha yüksektir. Diğer bir ifadeyle 63 yıllık bir süreçte Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda kar örtülü günler sayısı 7,1 gün azalmıştır.

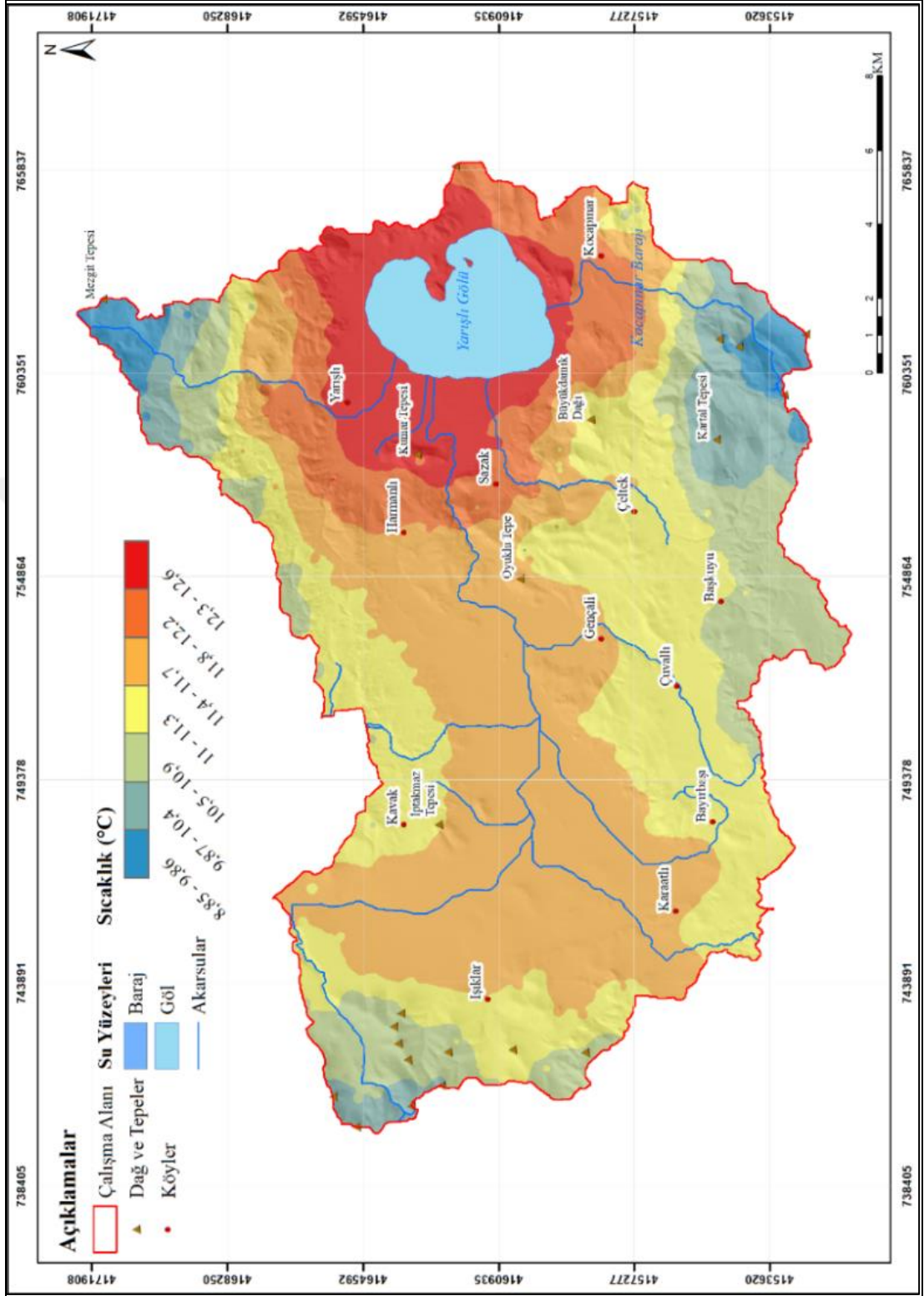
4.3.2. Sıcaklık

Sıcaklık, toprak erozyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Nearing vd. 2004). Yüksek sıcaklık seviyeleri, erozyon süreçlerini hızlandırabilir ve toprak

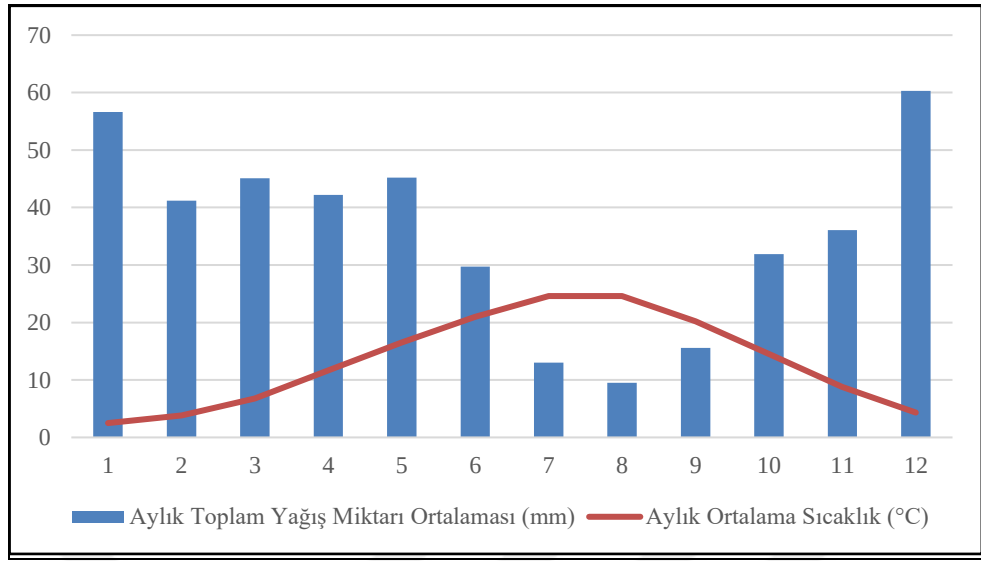
verimliliğini azaltabilmektedir (Nudes ve Nearing, 2011). Isı, toprak yapısını değiştirerek toprakta nemin buharlaşmasını artırabilmektedir (Türkeş, 1999). Bu durum, toprakta kuraklık oluşumuna neden olabilir ve toprakta su tutma kapasitesini azaltabilmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklar bitki örtüsünün kurumasına ve azalmasına yol açarak toprak yüzeyini doğrudan erozyona karşı daha savunmasız hale getirebilmektedir (Cengiz, 2003). Özellikle aşırı sıcak hava koşulları, erozyon süreçlerini hızlandırabilir ve toprak verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir (Yıldız, 2006). Bu nedenle, sıcaklık değişiklikleri, toprak yönetimi ve erozyon kontrolü açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Zengin, 2007).

Yarıklı Gölü Alt Havzası'nın sıcaklık verileri, Tefenni ve Burdur Merkez meteoroloji istasyonlarında kaydedilen verilere dayanmaktadır. Burdur Meteoroloji İstasyonu verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık 13,3° olarak belirlenmiştir (Grafik 1). Yıllık minimum sıcaklık -16,7°, yıllık maximum sıcaklık ise 41,0°'dir (Grafik 2).

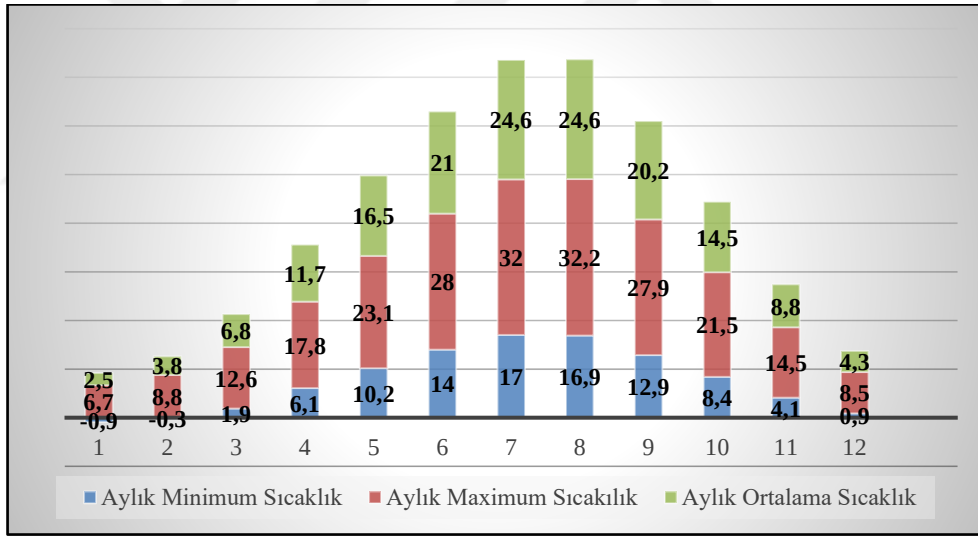
Havza içerisindeki 62 yıllık (1960-2022) yağış ve sıcaklık verileri incelendiğinde bu durumun genel olarak topoğrafya ile ilgisi olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sınırlarının uç kısımlarından merkeze doğru azalan yükselti, beraberinde yağış ve sıcaklığı da paralel olarak değiştirmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Çalışma alanı ortalama sıcaklık haritası (Kaynak: <https://www.worldclim.org> adresinden elde edilen verilerle Lapse rate metoduna göre hazırlanmıştır.)



Grafik 1. Burdur meteoroloji istasyonu verilerine göre hazırlanan yağış ve sıcaklık dağılımı



Grafik 2. Burdur meteoroloji istasyonu verilerine göre hazırlanan ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık dağılımı

4.3.3. Buharlaşma

Buharlaşma, suyun yüzeyden atmosfere geçiş sürecidir ve toprak erozyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Ataol, 2010). İklim koşulları, toprak yapısı ve bitki örtüsü gibi faktörler bu süreci etkilemektedir (Erinç, 1996). Buharlaşma, suyun

doğrudan yüzeyden buharlaşarak kaybolmasına neden olur ve bu, toprakta nemin azalmasına yol açar. Nem kaybı, toprak yapısını kurutur ve toprakta çatlaklar oluşmasına sebebiyet verebilmektedir. Kurumuş toprak daha az tutucu ve erozyona daha yatkın hale gelir. Bitki örtüsü azaldıkça veya yok olduğunda, buharlaşma hızlanabilir çünkü bitkilerin su tutma kapasitesi azalır. Bu durumda, yağmur veya sulama sırasında toprak üzerindeki suyun buharlaşarak kaybolma olasılığı artar. Sonuç olarak, artan buharlaşma toprak erozyonunu artırabilir ve verimli toprak tabakasının kaybına yol açarak tarımsal üretimi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, buharlaşmanın kontrol altına alınması ve su tutma kapasitesini artırmak için erozyon önleme yöntemleri ve bitki örtüsünün korunması önemlidir.

Havza ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalarda, buharlaşmanın hesaplanmasında en önemli parametrelerden biri olan Thornthwaite yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havza sınırları içerisindeki DMİ istasyonu eksikliği nedeniyle, havza genelinde hesaplanan ortalama yağış miktarına en yakın değer, Burdur DMİ istasyonunda kaydedilen aylık yağış ve sıcaklık verileri ile belirlenmiştir. Burdur DMİ'na ait Thornthwaite su dengesi verileri, 1990-2023 dönemi için incelenmiş ve bu dönemde toplam ortalama yıllık yağış miktarı (P) 424.9 mm, potansiyel evapotranspirasyon (Etp) değeri 716,7 mm ve gerçek evapotranspirasyon (Etr) değeri ise 346,6 mm olarak hesaplanmıştır. Yağış ve Etp değişim grafiğine bakıldığında, genellikle yağış miktarları nisan ayı sonuna kadar Etp değerlerinden daha yüksek seyretmiştir (Tablo 8). Bu durumda, bu dönemde Etp değeri, gerçekleşen buharlaşmadan sonra geriye kalan su miktarını ifade ederek su fazlası olarak kaydedilmiştir. Mayıs ayında yağış miktarı Etp miktarından az olmuş ve Mayıs ayının başlarında zemin nem rezervi olarak kabul edilen 100 mm su kullanılmaya başlanmıştır. Zemin nem rezervi Kasım ayından itibaren tekrar tamamlanmaya başlamıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Thornthwaite metoduna göre Burdur'un su bilançosu (Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
Sıcaklık	2,5	3,7	7,1	11,7	16,4	21,2	24,9	24,8	20,3	14,4	8,3	4,1	13,3
Sıcaklık ındisi	0.4	0,6	1,7	3,6	6,0	8,9	11,4	11,3	8,3	5.0	2,2	0,7	60,1
Düzeltilmemiş PE	4.1	7,3	18,8	39,0	63,8	92,8	117,4	116,7	87,1	52,8	23,6	8,4	0
Düzeltilmiş PE	3,5	6,1	19,4	43,0	78,3	114,7	147,0	136,8	90,2	50,9	19,9	7,0	716,7
Yağış	49,7	37,5	48,3	47,6	43,3	28,2	16,6	10,7	16,4	32,6	40,8	53,2	424,9
Depo Değişikliği	32,9	0	0	0	35,0	65,0	0	0	0	0	20,9	46,2	0
Depolama	100	100	100	100	65,0	0	0	0	0	0	20,9	67,1	0
Gerçek Evapotranspirasyon	3,5	6,1	19,4	43,0	78,3	93,2	16,6	10,7	16,4	32,6	19,9	7,0	346,6
Su noksanı	0	0	0	0	0	21,5	130,4	126,1	73,8	18,3	0	0	370,1
Su fazlası	13,3	31,4	28,9	4,6	0	0	0	0	0	0	0	0	78,3
Yüzeysel akış	6,7	22,4	30,2	16,8	23,8	0	0	0	0	0	0	0	78,3
Nemlilik oranı	13,2	5,1	1,5	0,1	-0,4	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,4	1,0	6,6	0

4.3.4. Basınç ve Rüzgârlar

Burdur ve Tefenni istasyonlarının uzun yıllar boyunca incelenen basınç değerleri, Burdur'da Şubat ve Eylül aylarında, Tefenni'de ise Ekim ve Kasım aylarında belirgin bir şekilde yıllık ortalama basınç değerlerine yakın seyrettiğini göstermektedir (Tablo 8). Özellikle Burdur'da, basınç değeri Kasım ayında zirveye ulaşarak 909 mb seviyesine çıkmıştır. Tefenni istasyonunda ise Ekim ve Kasım aylarında ulaşılan 888 mb'lık basınç değerleri dikkat çekmektedir. Bu gözlemler, belirli aylarda benzer basınç eğilimlerinin ortaya çıkabileceğini ve bu durumun uzun vadeli meteorolojik modelleri anlamak açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 9. Burdur Merkez ilçe ve Tefenni İstasyonlarının ortalama aylık ve yıllık ortalama basınç değerleri (mb) (MGM)

Aylar	Burdur	Tefenni
1	907	886
2	906	884
3	905	884
4	904	883
5	905	884
6	905	884
7	903	883
8	904	884
9	906	886
10	908	888
11	909	888
12	908	887
<i>Yıllık Ortalama Basınç</i>	906	885

Rüzgâr durumuna odaklandığımızda, Burdur ve Tefenni istasyonları ile çevrelerindeki alanlardaki aylık ve yıllık rüzgâr durumları, topoğrafik faktörlerin etkisiyle belirgin bir şekilde şekillenmektedir. Bu bölgelerdeki rüzgâr rejimleri, istasyonların konumları ve çevresel özelliklerle ilişkilidir (Tablo 10).

Burdur'da, genellikle güney sektöründen esen rüzgârlar etkili olurken, Tefenni'de batı sektöründen esen rüzgârlar baskındır. Bu farklı rüzgâr yönleri, bölgenin topoğrafik şartlarına ve yerel iklim özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Topoğrafik faktörler, dağlar, vadiler ve diğer yükseltiler gibi arazi şekillerinin rüzgârın hareketini etkileyebileceği anlamına gelmektedir. Örneğin, bir vadideki daralmalar veya dağlık alanlardaki geçişler, rüzgârın yönünü ve hızını değiştirebilir. Bu nedenle, Burdur ve Tefenni'deki farklı topoğrafik özellikler, rüzgârın karakteristiğini belirleyen önemli faktörlerden biridir.

Bu bilgiler, bölgedeki iklim modellerini anlamak, enerji üretimi planlamak ve tarım gibi sektörlerle yönelik stratejiler geliştirmek için önemli bir temel sağlar.

Tablo 10. Burdur Merkez ilçe ve Tefenni İstasyonlarının ortalama aylık ve yıllık hâkim rüzgâr yönleri (MGM)

Aylar	Burdur	Tefenni
1	SSE	N
2	SSE	N
3	SE	W
4	SE	W
5	SE	W
6	SE	N
7	SE	N
8	SE	N
9	SE	W
10	SE	W
11	SE	W
12	SSE	W
<i>Yıllık Ortalama Rüzgâr Yönleri</i>	SE	W

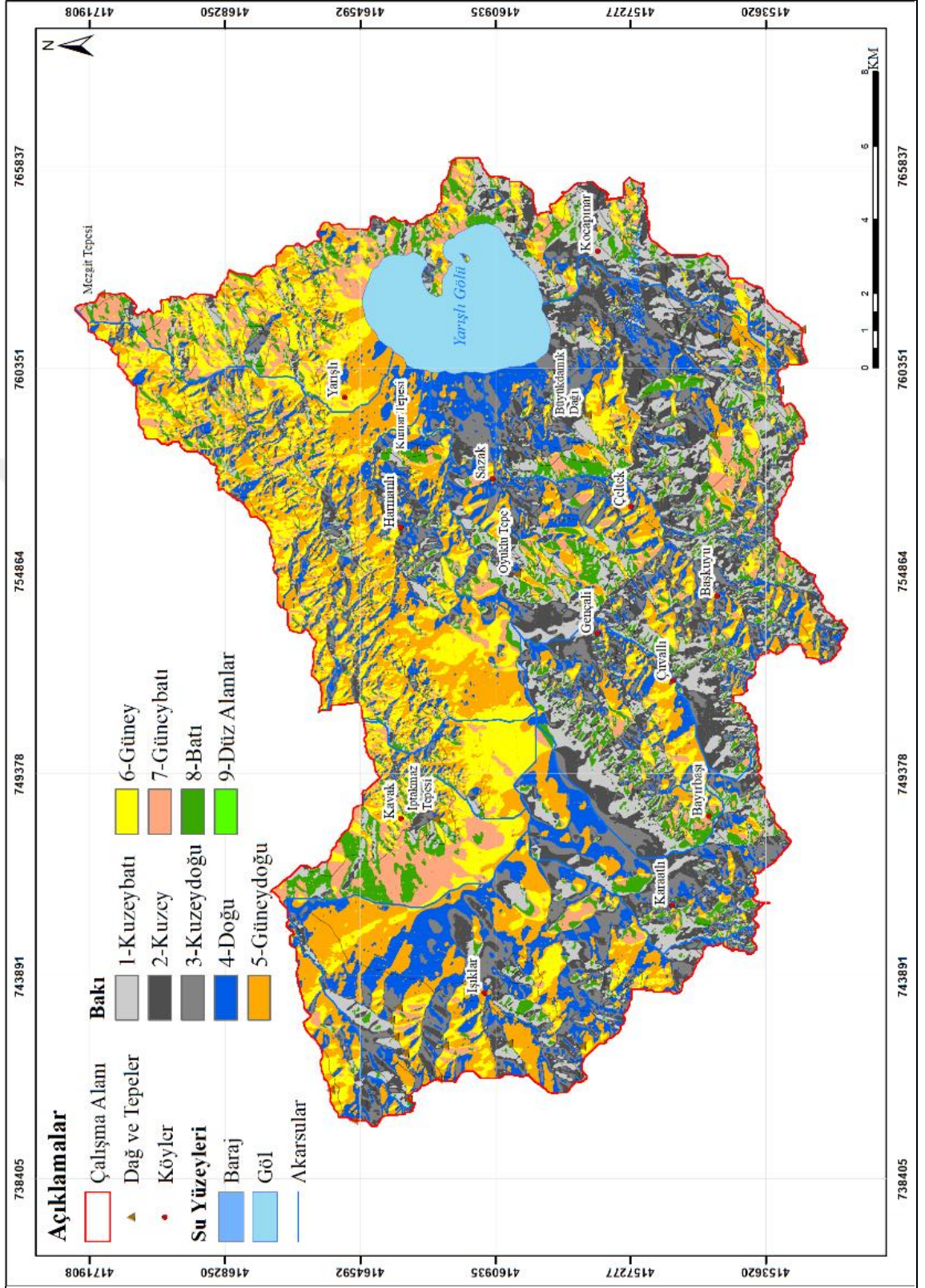
4.3.5. Bakı

Bakı, bir bölgenin güneş ışınlarına maruz kalma durumunu ve bu durumun iklim özellikleri üzerindeki etkilerini ifade etmektedir (Carrara vd. 1991). İklimin oluşumu, bir bölgenin yeryüzündeki konumu, enlemi, deniz seviyesinden yüksekliği, topografik yapıları ve bitki örtüsü gibi faktörlerden etkilenmektedir (Maharaj, 1993). Bu faktörler, bir bölgenin güneş ışınlarından ne kadarını alacağını, ne kadarını yansıtacağını ve ne kadarını absorbe edeceğini belirlemektedir (Guzzetti vd. 1999). Bakı, bir bölgenin iklim özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Nagarajan vd. 2000). İklim, bir bölgedeki hava durumu desenlerinin uzun vadeli ortalamasıdır ve bakı, bu hava desenlerinin oluşumunu etkileyen faktörlerden biridir (Dai vd. 2001).

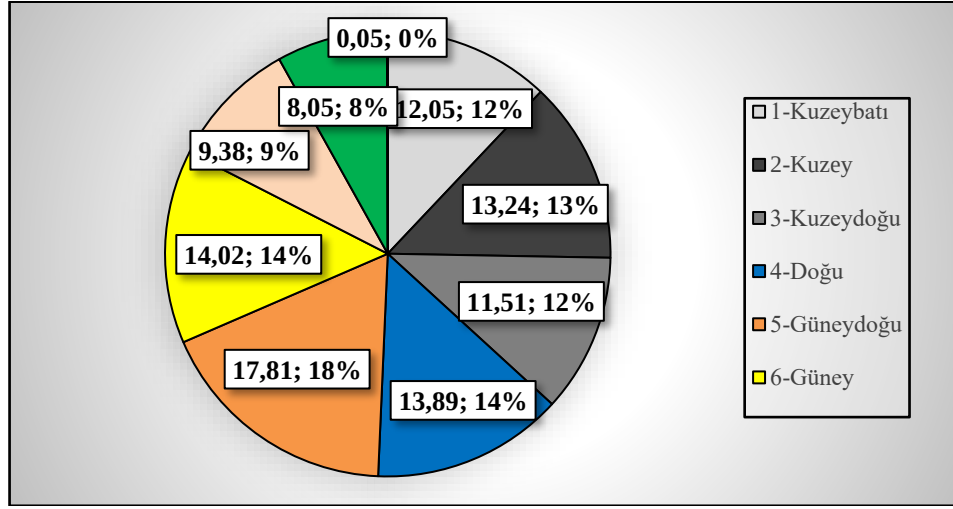
İklimdeki değişiklikler, güneş ışınlarının düşme açısı, sıcaklık, yağış miktarı, rüzgâr desenleri ve nem dağılımı gibi faktörlerle ilişkilidir (Çevik ve Topal, 2003). Bakı, güneş ışınlarının yüzeye düşme açısını belirleyerek bölgenin ısınma sürecini etkilemektedir (Pulice vd. 2009). Düşen güneş ışınlarının açısı, bir bölgenin mevsimler arasındaki sıcaklık değişimlerini etkilemektedir.

Dağlık bölgelerdeki bakı, yağış miktarını etkileyerek yamaçlarda farklı mikro iklimlerin oluşmasına neden olabilmektedir (Çevik ve Topal, 2003). Bitki örtüsü ve toprak verimliliği gibi faktörler de bakıya bağlıdır (Nagarajan vd. 2000). Güneş ışığının yoğunluğu, bitki büyümesi ve fotosentez için kritiktir. Yeterli güneş ışığı olmaması, bitki örtüsünün ve tarımsal üretkenliğin azalmasına yol açabilmektedir. Sonuç olarak, bakı, bir bölgenin iklimini ve iklimsel özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı, sıcaklık, yağış, bitki örtüsü ve tarım gibi birçok alan üzerinde belirleyici bir rol oynar (Carrara vd. 1991). Bu nedenle, bakı, bir bölgenin iklimini anlamak ve iklim değişikliklerini değerlendirmek için önemli bir faktördür. Bu faktörlerin karmaşık bir etkileşimi, bir bölgenin iklimini belirlerken göz önünde bulundurulmalıdır (Guzzetti vd. 1999).

Araştırma alanının bakı haritası kuzeybatı, kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı ve düz alanlar olmak üzere 9 sınıflı olarak hazırlanmıştır (Şekil 20). Yarışlı gölü alt havzasında bakı sınıflarının kapladıkları alanların oranı arasında çok büyük fark yoktur. Alansal dağılımın zirvesinde %17,81 ile güneydoğu yamaçları bulunurken devamında ise güney yamaçlar olduğu görülmektedir (Grafik 3). Kuzey yarımküre'deki araştırma alanlarında, güneydoğu ve güney yamaçların ayrışma ve erozyon süreçleri açısından daha uygun şartlara sahip olduğu düşünöldüğünde, erozyon yüzeylerinin genellikle bu bölgelere daha çok rastlaması doğaldır. Bunun sebebi, Kuzey yarımküre'deki araştırma alanlarının güney yamaçlarının, güneşlenme süresi, toprak nem tutma kapasitesi ve bitki örtüsü bakımından ayrışma ve erozyon için daha elverişli koşullara sahip olmasıdır.



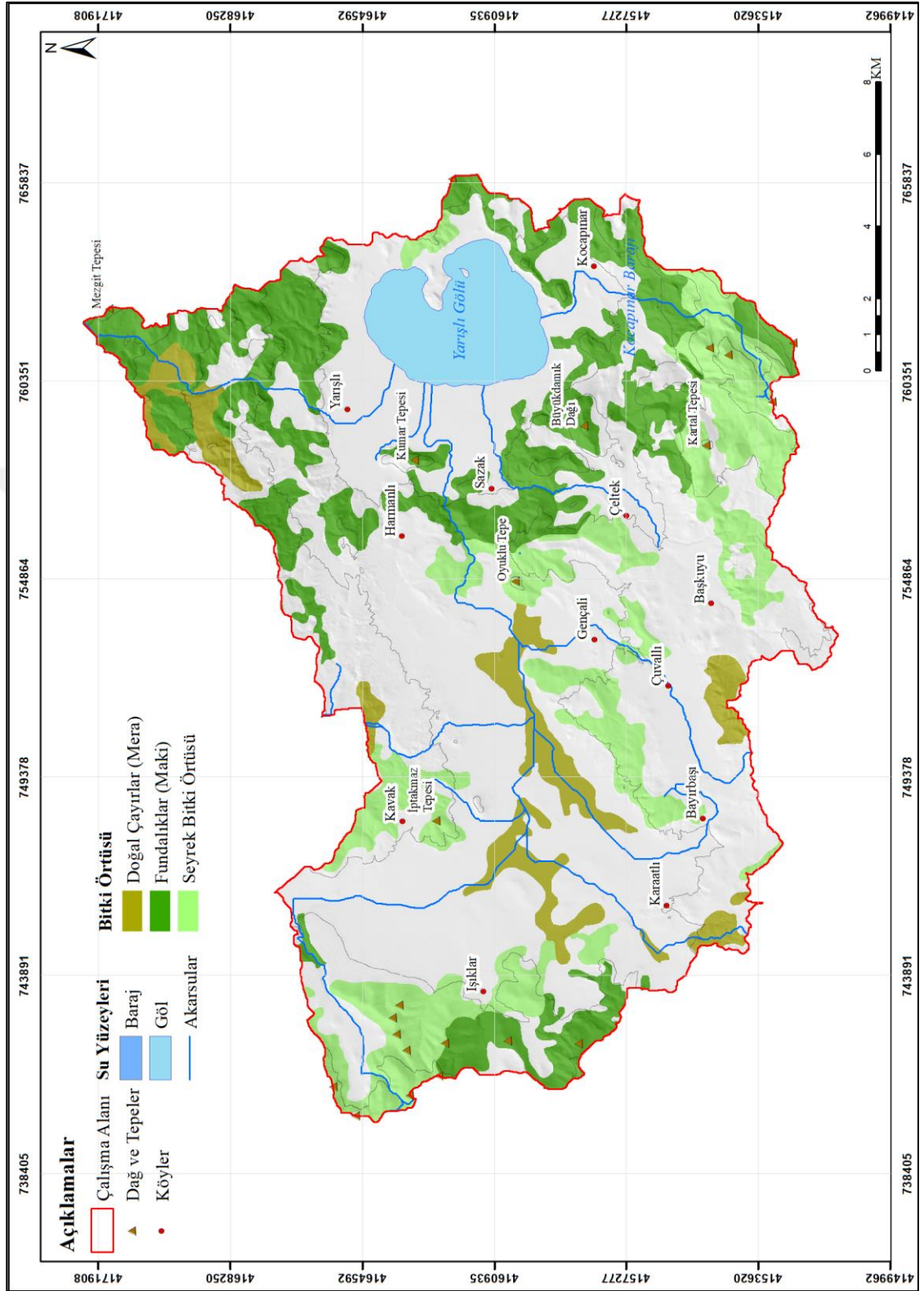
Şekil 20. Çalışma alanı bakı haritası (Kaynak: Harita Genel Komutanlığı'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.)



Grafik 3. Çalışma alanı bakı sınıflarının oransal dağılım grafiği (%)

4.4. Bitki Örtüsü

Yarışlı Gölü Alt Havzası, genellikle çevresel ve iklimsel faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösteren bir bitki örtüsüne sahiptir. Alt havzanın bitki örtüsü, göl ve çevresindeki sulak alanların özelliklerine, su rejimine, toprak yapısına ve iklim koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bölgede görülen bitki örtüsü genellikle sazlık alanlar, kamışlar, fundalıklar, sucul bitkiler ve çalılıklardan oluşmaktadır (Şekil 21-Fotoğraf 8). Bu bitki türleri, sulak alan ekosistemlerine özgüdür ve su seviyesindeki değişimlere oldukça hassastır. Sazlık alanlar, genellikle göl kenarlarında ve sulak bölgelerde yaygın olarak bulunur. Kamışlar ve sazlar, bu sulak alanlarda toprakta kök salar ve suyun kenarlarında büyüebilmektedir. Fundalıklar ve çalılıklar da göl çevresinde ve alt havza alanlarında rastlanabilen bitki türlerindendir. Bu bitkiler, sulak alanın kenarlarında ve nemli bölgelerde yetişebilmektedir. Sulak alanlardaki bitki örtüsü, çevresel koşullara bağlı olarak zamanla değişebilmektedir (Petter, 1992). İklmsel faktörler, su seviyesindeki dalgalanmalar, insan etkisi gibi etmenler, bitki örtüsü üzerinde etkili olabilmektedir. Özellikle sulak alanların korunması, bu bitki türlerinin varlığını sürdürebilmesi için önemlidir. Bu ekosistemler, çeşitli hayvan türlerine ev sahipliği yapar ve biyoçeşitliliğin korunması açısından kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 21. Çalışma alanı bitki örtüsü haritası (Kaynak: Orman Genel Müdürlüğünce eski kaynaklı veriler temin edilmiştir.)

Bitki örtüsü, göl ve çevresindeki sulak alan ekosistemlerini koruma altına almak ve sürdürülebilir bir biçimde yönetmek için önemli bir doğal kaynaktır. Bu alanların korunması, bitki örtüsünün ve ekosistemin sağlıklı devamlılığını sağlamak için büyük önem taşır.



Fotoğraf 8. Çalışma alanındaki makilik alandan bir görüntü

4.5. Hidrografiya Özellikleri

Yarışlı Gölü Havzası'nın hidrolojik sistemi, bölgedeki ve çevresindeki Devlet Meteoroloji İstasyonları'ndan elde edilen ölçüm verileri değerlendirilerek incelendiğinde, suyun temel kaynağının yağışlar olduğu görülmektedir. Bu kapalı hidrolojik sistem içerisinde, yağışlarla birlikte yaz mevsiminde kuruyan birçok akarsu, Yarışlı Gölü çanağına doğru su taşımaktadır (Şekil 22). Bu durum, sentripetal drenaj özelliğini ortaya koymaktadır. Sentripetal drenaj, hidrolojik bir terim olup, suyun belirli bir alanda merkeze doğru akışını ifade eder (Nanna 1996). Genellikle bir havzanın veya bir alandaki suyun, çevresinden merkeze doğru hareket etmesini tanımlar. Bu drenaj tipi, yağış sularının veya yeraltı sularının bir havzanın çevresindeki yüksek noktalardan aşağıya, merkezi bir noktaya doğru hareket ettiği durumlarda

4.5.1. Akarsu

Yarışlı Gölü, akarsuların yanı sıra grabenin kuzeydoğu ve güneybatısındaki yeraltı sularıyla, havzaya düşen yağışlarının süzölme ve buharlaşma gibi ortam koşullarına bağlı olarak yüzeysel akıma dönüşmesiyle beslenir. Bu süreçte su kaybı, evapotranspirasyon yoluyla yaşanmaktadır. Göle gelen su miktarı ile evaporasyon sonucu kaybolan su miktarı, benzer değerlere sahip olduğunda göl ekosistemi sağlıklı bir şekilde varlığını sürdürmektedir. Yarışlı Gölü'nün başlıca beslenme kaynağı Sazak Deresi'dir ve yapılan saha incelemeleri sırasında bu derede hala suyun aktığı gözlemlenmiştir. Ancak, tarım arazilerinin sulanması için akarsu yatağına bir sulama havuzu yapılmıştır, bu da göle akan su miktarında önemli bir azalmaya yol açmaktadır. Ayrıca, Sazak Deresi yakınlarında bulunan Kümbet Pınarı ise Sazak Köyü'nde bulunan bir fay hattından kaynaklanmaktadır. Yarışlı Gölü, Suuçtuğun deresi, Sazak deresi, Karanlık dere, Bostan deresi, Uyuzun deresi, Kocaöldüğü deresi, Yılanlıboğaz deresi gibi birçok sürekli ve mevsimlik akarsu ile göl çevresinde bulunan birçok kaynaktan beslenmektedir.

4.5.2. Göl

Burdur Yarışlı Gölü, Türkiye'nin Batı Akdeniz bölgesinde yer alan önemli iç su kaynaklarından biridir. Yarışlı Gölü'nün hidrolojisi, çevresel faktörler ve suyun beslendiği kaynaklar üzerinde yoğunlaşır. Göl, yağış ve yeraltı suları ile beslenir. Göl çevresindeki akarsular ve yeraltı kaynakları, Yarışlı Gölü'nün su dengesini sağlamada önemli rol oynar. Gölün hidrolojisi, çevresel koşullar, yağış rejimi, su beslenmesi ve buharlaşma gibi faktörlerle etkilenir. Yarışlı Gölü'nün su seviyesi, yağış miktarı ve suyun buharlaşması gibi doğal etmenlerin yanı sıra, çevresel müdahalelerle de değişebilmektedir. Sulama amaçlı su kullanımı, tarımsal faaliyetler ve endüstriyel ihtiyaçlar gibi insan etkileri, gölün su dengesini etkileyebilmektedir. Gölün hidrolojisi, suyun beslendiği kaynakların korunması, sürdürülebilir su kullanımı ve çevresel faktörlerin izlenmesiyle ilgili birçok faktöre bağlıdır. Ekosistemi korumak ve su kaynaklarını sürdürülebilir şekilde kullanmak, Yarışlı Gölü'nün hidrolojik dengesinin devamlılığını sağlamak için önemlidir.

Bu göl, Göller Bölgesi'ndeki en büyük göllerden biridir ve yaklaşık 14.6 km²'lik bir alana sahip olan sığ bir göldür (Şekil 22). Yarışlı Gölü, küçük kaynaklarla beslenen bir göldür ve geçmişte 317 hektarlık bir alanı kaplayan Gencali Gölü'nün sularını taşıyan bir dere tarafından beslenmekteydi. Ancak Gencali Gölü 1960'larda kurutulduğunda, Yarışlı Gölü'nün su seviyesi yükselmiştir. Göl, yıl boyunca belirgin değişimler gösteren su seviyesine sahiptir. Özellikle yaz aylarında, büyük ölçüde kuruyarak geniş tuzcul bataklıklar ve çamur düzlükleri oluşturabilmektedir.

Göl, çıkışı olmayan bir yapıdadır ve çevresi tarım alanları, küçük kayalık tepeler ve sınırlı bitki örtüsüyle çevrilidir. Su kaynaklarının göle karıştığı yerlerde ise sınırlı bir bitki örtüsü bulunmaktadır. Su kalitesi, sodyum fosfat, sodyum klorür ve sodyum sülfat konsantrasyonu yüksek olan bir yapıya sahiptir.

Göldeki su seviyesi, su kaynaklarına yapılan müdahalelere bağlı olarak değişkenlik gösterir ve mevsimlere göre %50'ye varan oranlarda değişim gösterebilmektedir. Özellikle son 33 yılda (1990-2023) gözlenen su seviyesi değişimi oldukça ciddi seviyelerdedir (Fotoğraf 9). Bu göl, bahar aylarında göçmen kuşlara ev sahipliği yapar ve sucul yaşam açısından sınırlıdır, sadece belirli bir tür balığın yaşadığı bilinmektedir.

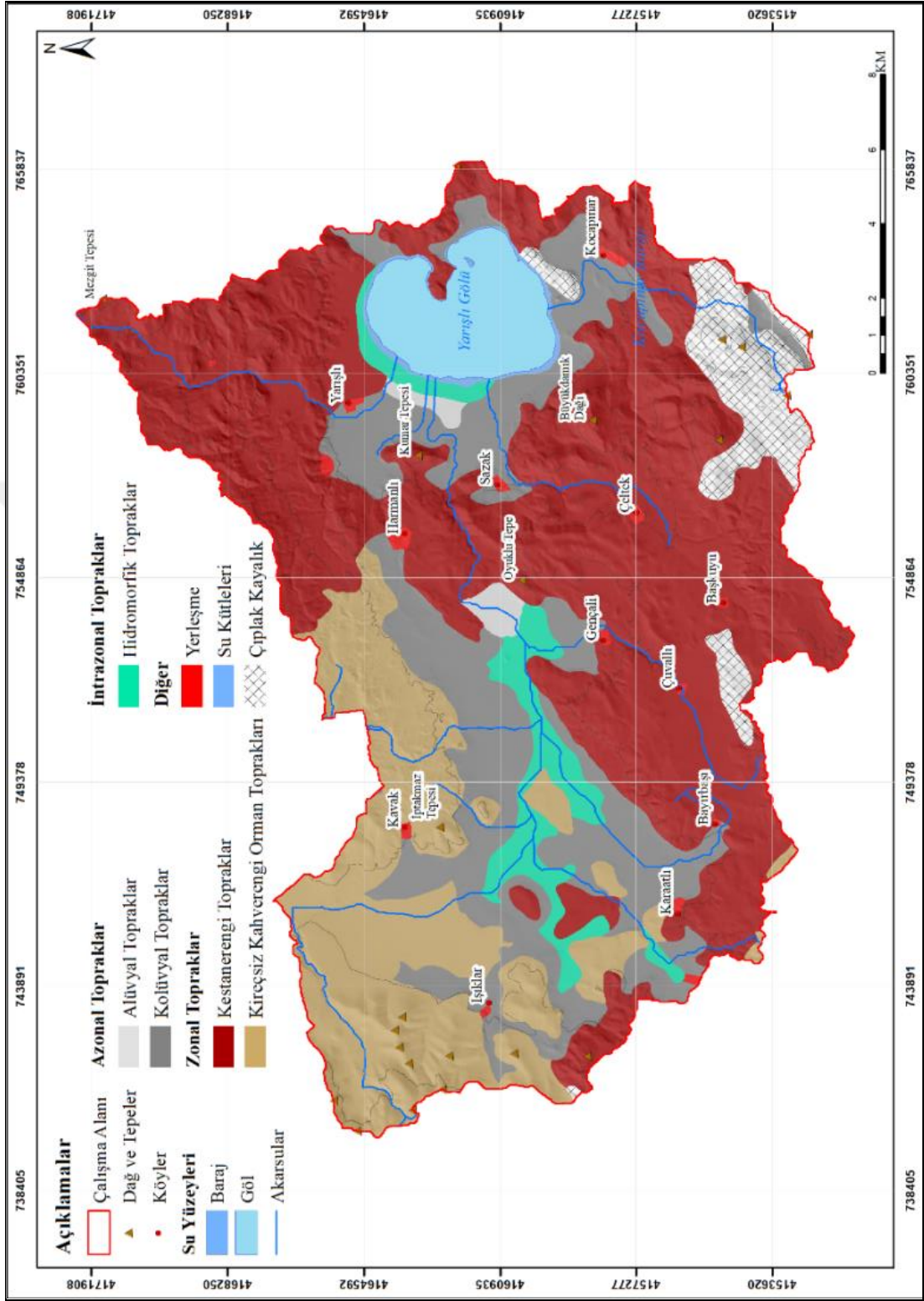


Fotoğraf 9. Yarışlı gölünün su kaybının kıyıda görüntüsü

4.6. Toprak Özellikleri

Toprak, fiziki coğrafyanın önemli bir unsuru olarak, doğal süreçlerin ve çevresel etkileşimlerin bir sonucu olarak oluşmaktadır (Fazekašová, 2012). Toprak özelliklerinden biri olan toprak tekstürü, toprağın fiziksel yapısını belirleyen unsurlardan biridir (Pierce vd. 1984). Bu özellikler yer yüzeyinde değişim göstermektedir. Toprak özelliklerindeki farklılık, bitki yetiştirme, su tutma kapasitesi ve drenaj gibi tarımsal ve ekolojik süreçleri etkilemektedir (Haberern, 1992). Toprak tipleri, farklı coğrafi bölgelerde iklim, bitki örtüsü, jeolojik süreçler ve insan faaliyetleri gibi etkenlerin bir araya gelmesiyle oluşur (Karlen vd. 2003). Toprak, bitkilerin yetişmesi ve beslenmesi için temel bir kaynaktır. Toprak, bitki örtüsünün yanı sıra habitatların oluşumunda ve ekosistemlerin sağlıklı işleyişinde önemli bir rol oynamaktadır (Doran ve Parkin, 1994). Toprakların korunması ve sürdürülebilir kullanımı, erozyonun önlenmesi, tarımsal verimlilik, su kaynaklarının korunması ve doğal habitatların devamı gibi konularda büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, toprakların özellikleri ve coğrafi faktörlerle olan ilişkisi, fiziki coğrafyanın ve doğal ekosistemlerin anlaşılmasında kritik bir rol oynar (Larson ve Pierce, 1991, 1994).

Yarışlı Gölü çevresindeki topraklar genellikle tuzlu veya alkali özellikler göstermektedir. Bu tuzlu topraklar, gölün çevresindeki sulak alanlarda ve bataklıklarda yaygın olarak bulunmaktadır (Şekil 23). Yarışlı Gölü'nün etrafındaki topraklar, gölün suyuyla etkileşim içinde olabilir ve suyun tuzluluk seviyesi nedeniyle tuzlu, alkali veya tuzluluk oranı yüksek olan toprakları barındırmaktadır. Bu topraklar genellikle bitki yetişimini kısıtlamakta ve tarımsal üretim için uygun olmamaktadır. Tuzluluğun yüksek olduğu bölgelerde bitki örtüsü genellikle sınırlı olmakla birlikte belirli tuz toleransı olan bitki türleri bulunmaktadır. Bu tuzlu topraklar, göl çevresindeki ekosistemde belirli bitki ve hayvan türlerinin varlığını etkilemektedir. Bu nedenle, göl çevresindeki toprak özellikleri ve su kalitesi, bölgenin ekolojik yapısını etkileyen önemli faktörlerden biridir.



Çalışma alanı toprak sınıfları bakımından 3 kısma ayrılmıştır. Zonal topraklardan kestane renkli topraklar ve kireçsiz kahverengi orman toprakları; intrazonal topraklardan hidromorfik topraklar; azonal topraklardan ise alüvyal ve kolüvyal topraklar ve çıplak kayalık alanlar görülmektedir (Şekil 23).

4.6.1. Zonal Topraklar

Zonal topraklar, iklim ve bitki örtüsünün etkisi altında oluşan topraklardır. Genellikle belirli bir iklim kuşağında oluşan ve o bölgedeki bitki örtüsüyle ilişkilendirilen topraklardır (Atalay, 2005). Örneğin, tropikal yağmur ormanlarının bulunduğu yerlerde oluşan laterit toprakları veya bozkır alanlarında oluşan kara topraklar zonal topraklara örnek olarak verilebilmektedir. Yarışlı gölü havzasında zonal topraklar bünyesinde kestane renkli topraklar ve kireçsiz kahverengi orman toprakları bulunmaktadır.

4.6.1.1. Kestane Renkli Topraklar

Kestane renkli topraklar genellikle ılıman bölgelerde bulunan toprak türleridir (Atalay, 2011). Bu topraklar, genellikle belirli iklim koşullarına, bitki örtüsüne ve jeolojik süreçlere bağlı olarak oluşur. Kestane rengi, bu toprakların rengini veren, içerdikleri oksitler ve minerallerle ilişkilendirilen bir renk tonudur. Kestane renkli topraklar, sağladıkları verimlilikleriyle tarım için önemlidir. Bununla birlikte, uygun şekilde kullanılmadığında erozyona karşı hassas olabilmektedirler, bu nedenle toprak yönetimi ve erozyon kontrolü bu tür toprakların sürdürülebilir kullanımı açısından önemlidir.

Havzanın kuzeydoğu bölgesi, güneyi ve Yarışlı Gölü'nün doğu ve batı kısımlarında yer alan kestane renkli topraklar, Kayrak tepesi (1059 m) ve Kazan tepesi (1987 m) eteklerinde, Gençali köyü ile Çuvallı köyü arasında görülmektedir. Bu topraklar, havzanın genel toprak yapısının %51,40'ını oluşturarak 15.550 hektarlık bir alanı kapsar. Havza içerisinde en geniş yayılıma sahip olan toprak türüdür (Şekil 23).

4.6.1.2. Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları

Kireçsiz kahverengi orman toprakları, çoğunlukla ılıman bölgelerde bulunan ve bitki örtüsünün ormanlar olduğu toprak türleridir (Atalay, 2011). Bu topraklar, bitki döküntüleri, organik madde ve mineral partiküllerin ayrışması ve birleşmesiyle oluşur. Kahverengi renkleri, toprak içinde bulunan organik maddenin ayrışması ve mineralleşmesi sonucunda ortaya çıkar. Kireçsiz kahverengi orman toprakları, A ve B horizonları olarak adlandırılan katmanlardan oluşur. A horizonu, organik madde bakımından zengin ve bitki köklerinin bulunduğu üst katmandır. B horizonu ise, organik maddenin parçalanarak mineralleştiği ve bu minerallerin biriktiği alt katmandır. Bu toprak türü, genellikle ormanlarda bulunur ve orman ekosistemlerinin önemli bir parçasıdır. Bu topraklar, genellikle ağaçların ve diğer bitki türlerinin yetişmesi için uygun bir ortam sağlar. Ormanlık bölgelerde bulundukları için bu topraklar, ormanların sağlıklı gelişimi ve bitki örtüsünün devamlılığı açısından önemlidir. Ayrıca tarım için uygun olan topraklardan biridir ve bu topraklar tarım faaliyetleri için kullanılabilir (Şekil 23).

Ancak, tarımsal amaçlarla kullanıldıklarında, uzun süreli tarımsal uygulamalar ve aşırı kullanım, bu toprak türünün verimliliğini azaltabilir ve erozyona neden olabilmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir toprak yönetimi ve tarım uygulamalarıyla bu toprak türünün korunması önemlidir. Kireçsiz kahverengi orman toprakları, sahanın kuzeybatı bölgesinde konumlanmıştır. Bu toprak türü, Tınaz tepesi (1228 m), Kızıl tepe, Kocakum tepesi (1268 m) ve Keklik tepesi (1253 m) eteklerinde gözlemlenir. Havzanın toplam alanının %17,42'sini oluşturarak 5660 hektarlık bir alana yayılmıştır.

4.6.2. Azonal Topraklar

Azonal topraklar, genellikle yerel faktörlerin etkisi altında oluşan ve belirli bir iklim, bitki örtüsü veya jeolojik süreçlerle ilişkilendirilmeyen toprak türleridir (Atalay, 2005). Bu topraklar, genellikle yerel koşulların etkisiyle oluşur ve zonal toprakların aksine, belli bir bölgeye özgü değildirler. Azonal topraklar, genellikle su, rüzgâr, buzul, yeraltı suyu, erozyon veya insan faaliyetleri gibi faktörlerin etkisi altında gelişmektedir. Örneğin, alüvyon, volkanik kül, taşkın ovaları, çöller, sahil kumulları, jeolojik kayaların üzerinde oluşan topraklar gibi çeşitli azonal toprak türleri

bulunmaktadır. Bu tür topraklar, zonal toprakların aksine belirli bir iklim bölgesine bağlı olmadığı için çeşitli bölgelerde farklı çeşitlilik gösterebilmektedir. Örneğin, alüvyon topraklar, nehirlerin taşıdığı malzemelerin birikmesiyle oluşur ve genellikle verimli tarım alanları olarak kullanılırken, çöl toprakları çöllerde bulunur ve bitki örtüsü açısından fakirdir. Azonal topraklar, tarım, yerleşim planlaması ve çevre koruma açısından önemlidir. Bu toprak türlerinin özellikleri, üzerinde bulunduğu alanın kullanımı ve sürdürülebilirliği açısından dikkate alınmalıdır. Azonal topraklar, üzerlerinde bulundukları alanın jeolojik, hidrolojik ve coğrafi özelliklerini yansıttığından, bu alanların ekosistemlerinin korunması ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için önemlidir. Yarışlı Gölü Havzasında azonal topraklar bünyesinde alüvyal topraklar ve kolüvyal topraklar bulunmaktadır.

4.6.2.1. Alüvyal Topraklar

Alüvyal topraklar, genellikle akarsular, nehirler, dere yatakları ve vadiler tarafından taşınan tortul materyallerin birikimiyle oluşan toprak türleridir (Atalay, 2011). Bu topraklar, suyun taşıdığı mineraller, çamur, kum, killi malzemeler ve organik materyallerin birikmesiyle meydana gelmektedir. Bu topraklar, genellikle nehirlerin taşıdığı malzemelerin biriktirilmesi sonucunda vadi tabanlarında, nehir yataklarında ve nehir deltalarında bulunmaktadır. Bu topraklar, nehirlerin taşıdığı mineraller ve organik maddelerin birikmesiyle oldukça verimli olabilmekte ve tarım için elverişli alanlar oluşturabilmektedirler. Bu toprak türü, genellikle hafif, gevşek yapıda ve iyi drene olan yapılara sahiptir. Bunun yanı sıra alüvyal topraklar, suyun taşıdığı mineraller ve organik maddelerle zenginleştiği için tarım için çok uygundur. Ancak, alüvyal topraklar aynı zamanda taşkın riski taşıyan alanlarda bulunabilmektedirler. Yüksek yağış veya nehirlerin taşıdığı su miktarındaki ani artışlar, bu toprak türlerinin taşkın riskini artırabilmektedir. Bu nedenle, bu tür alanlarda tarım yaparken ve yerleşim planlaması yaparken taşkın risklerinin dikkate alınması önemlidir. Bu toprak türü çalışma alanında Yarışlı Gölü'nün batısında ve Oyuklu tepesinin batısındaki orta kısımda bulunmaktadır (Şekil 23).

4.6.2.2. Kolüvyal Topraklar

Kolüvyal topraklar, genellikle eğimli arazilerdeki yamaçlarda oluşan toprak türleridir (Atalay, 2011). Bu topraklar, yüksek eğimli alanlarda, yamaçların alt kısımlarında birikmiş materyallerden oluşmaktadır. Genellikle yamaçlardan aşağı doğru kayan ve birikim gösteren kaya parçaları, taşlar, çakıllar, çamurlar ve diğer tortul malzemelerin birikimi sonucunda oluşurlar. Yağmur, rüzgâr ve yerçekimi gibi faktörlerle hareket eden materyaller, yamaçlarda aşağı doğru kayar ve toprak tabakasını oluşturmaktadır. Bu toprak türü, yamaçlarda bulunan materyallerin birikmesiyle oluştuğu için, yerel jeolojik yapı, ana kaya türü ve eğim gibi faktörlere bağlı olarak çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu toprak türü, genellikle verimli olabilir ancak bunlar daha çok ormanlık veya yüksek eğimli bölgelerde bulundukları için tarımsal üretimde pek tercih edilmeyebilirler. Aynı zamanda, bu tür topraklar erozyona karşı hassas olabilirler ve yamaçlarda bulunmaları nedeniyle, su ve rüzgâr erozyonuna karşı duyarlıdırlar. Bu toprak türleri, genellikle tarım açısından uygun olmayan bölgelerde bulunur ve eğimli arazilerde yapılan tarımsal faaliyetlerde erozyon kontrolü ve toprak yönetimi açısından dikkate alınması gereken unsurlardandır. Yarışlı gölü havzasında ise adeta bir çember gibi bulunur; doğusunda, güneyinde, batısında ve kuzeybatısında yer almaktadırlar. Havzanın iç kesimlerine doğru ilerledikçe, Suuçtuğun Deresi'nin orta kesimlerinin kuzey ve güneyinde bu toprak türleri görülür. Ayrıca, havzanın batı bölgelerinde de zaman zaman rastlanmaktadır (Şekil 23).

4.6.3. İntrazonal Topraklar

İklim etkileri ile oluşmuş olsa da, iklimsel faktörlerin belirgin olmadığı veya karmaşık bir iklimin etkileri altında oluşmuş topraklardır (Atalay, 2011). İklimin etkileri daha az belirgin olduğu için, genellikle zonal topraklarla azonal topraklar arasında bir geçiş bölgesinde yer almaktadırlar. Örneğin, bataklık veya tuzluluk gibi toprak tipleri intrazonal topraklara örnektir, çünkü bunlar hem iklim hem de topoğrafik faktörlerin etkisi altında oluşmuşlardır. İntrazonal topraklar, zonal topraklara veya azonal topraklara benzemez; çünkü iklimsel faktörlerin etkileri belirgin olmasına rağmen, bir bölgeyi tek bir iklim tipine bağlayacak kadar belirgin değildirler. Bunun yerine, bu toprak türleri, farklı iklimsel özelliklerin veya süreçlerin etkileşimleri

sonucunda oluşur. Örneğin, bir bölge belirli bir iklime sahip olabilir, ancak özellikle topoğrafik unsurlar, nem rejimi veya yeraltı sularının etkisiyle toprak özellikleri üzerinde değişiklikler gösterebilmektedir. Bu tür topraklar genellikle zonal topraklar ile azonal topraklar arasındaki geçiş bölgelerinde bulunmaktadır. Bu nedenle, toprakların sınıflandırılmasında iklim faktörüne bağlı olmalarına rağmen, diğer faktörlerin etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. İntrazonal topraklar, tarım, bitki yetiştirme ve çevresel koşulların anlaşılması açısından önemli özelliklere sahiptir. Yarışlı Gölü Havzasında intrazonal topraklar bünyesinde hidromorfik topraklar bulunmaktadır.

4.6.1.1. Hidromorfik Topraklar

Hidromorfik topraklar, genellikle aşırı suya doymunluk veya sürekli su birikimi nedeniyle oluşan ve aşırı nem koşullarında gelişen toprak türleridir (Atalay, 2005). Bu topraklar, genellikle yüksek yer altı suyu seviyeleri, sık sık su birikimi, yoğun yağışlar veya sulama uygulamaları sonucunda oluşmaktadır. Hidromorfik topraklar, genellikle tarım için uygun olmayabilirler çünkü aşırı su doymunluğu bitki kökleri için zararlı olabilmekte ve toprakta oksijen eksikliği bitki gelişimini engelleyebilmektedir. Bununla birlikte, bu tür topraklar su filtrasyonu ve su kaynaklarının yeniden doldurulması gibi su döngüsü süreçleri açısından önemli bir rol oynamaktadır. Hidromorfik topraklar, su rejimi ve toprak özellikleri açısından incelenerek, su drenajı sağlamak veya sulak alanların korunması gibi su yönetimi uygulamalarında dikkate alınmalıdır (Atalay, 2011). Bu tür topraklar, sulama sistemleri, tarım alanlarının düzenlenmesi ve çevresel planlamada suyun etkilerini anlamak için önemli bir rol oynamaktadır. Havzada bulunan bu topraklar, Yarışlı Gölü'nün kuzeyi, Çayır (Çatalöz) deresi'nin orta kesimleri, Ballıköz deresi ve Harmanyeri deresi çevresinde yer almaktadır. Toplamda 1170 hektarlık bir alana yayılmış olup, havzanın %4,02'sini oluşturmaktadır (Şekil 23).

4.7. 1990-2023 Yıllarında SWAT Modeline Göre Toprak Erozyon Sonuçları

SWAT, çevresel faktörlerin hidrolojik olaylarını ayrıntılı bir şekilde simüle edebilen bir modeldir (Arnold vd. 1998). Arazi kullanımı, toprak özellikleri, yüzey akışı, tortu birikimi ve nitrat konsantrasyonları gibi temel bileşenlerin zaman içindeki değişimlerini gösterebilmektedir (Neitsch vd. 2002a,b). Havza içerisindeki alt bölgelere bölünmesini sağlayan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), havzanın her özelliğini ve arazi yapısını ayrıntılı bir şekilde tanımlamaktadır (Arnold, 1994). SWAT modelinde toprak haritası, iklim değişkenleri ve arazi kullanım bilgileri gibi faktörler özellikle dikkate alınarak kullanılmaktadır (Bian vd. 1996).

1990 ve 2023 yılları Landsat 8 ETM görüntülerinin kullanıldığı araştırmada uydu görüntülerine kontrollü sınıflandırma ile arazi kullanım haritaları elde edilmiştir (Şekil 8a-b). Sınıflandırılan görüntüler, ilk etapta 20 sınıftan oluşturulmuştur. Daha sonra, recode edilen görüntüler 1990 yılı için 12, 2023 yılı için 13 sınıfa indirgenmiştir. 34 ayrı noktadan veri girişi ile oluşturulan arazi kullanım haritalarında 1990 ve 2023 yılları arasındaki görüntüler kayalık alanlar, orman ve bataklıklar, fundalık-çalılık araziler, su yüzeyleri, tarım alanları şeklinde sınıflandırılmıştır. Elde edilen sınıfladın doğrulanması için istatistiksel bir yöntem olan kappa katsayısı tercih edilmiştir. Bu test sonucunda hata matrisinin satır-sütun toplamaları üzerindeki elemanlar farklı elemanlar karşılaştırılarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, 1990 yılına ait arazi kullanım haritası için hesaplanan kappa katsayısı 0,85 olarak belirlenirken, 2023 yılına ait arazi kullanım haritası için hesaplanan kappa katsayısı 0,89 olarak bulunmuştur. İstatistiksel olarak değerlendirilen bu sınıflandırma işlemlerinin başarı seviyeleri oldukça **yüksek** olarak değerlendirilmiştir.

SWAT, birçok parametrenin kullanıldığı karmaşık bir model olduğundan, kalibrasyon süreci genellikle zorlu ve zaman alıcıdır (Bian vd. 1996). Gözlem akım değerlerine dayalı olarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemleri için SWAT-CUP (SWAT Kalibrasyon ve Belirsizlik Programı) adlı otomatik kalibrasyon programı tercih edilmiştir. SWAT-CUP, ArcSWAT'tan ayrı bir yazılım olup, SWAT kullanıcıları tarafından tercih edilen rahat ve etkin bir kalibrasyon programıdır (Arnold vd. 2012). Programın dahilinde, kalibrasyon, hassasiyet analizi, belirsizlik analizi ve

doğrulama için tasarlanmış beş farklı algoritma bulunmaktadır: SUFI-2 (Sequences Uncertainty and Fitting-2), PSO (Particle Swarm Optimization) ve GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), ParaSOL (Parameter Solution). Bu çalışmada, sınırlı sayıda iterasyonla başarılı kalibrasyon sonuçları veren bir algoritma olduğu için SUFI-2 tercih edilmiştir.

SWAT (Soil and Water Assessment Tool), sulama projeleri, su kaynakları yönetimi, çevresel planlama ve erozyon kontrolü gibi hidrolojik çalışmalar için tasarlanmış bir modeldir (Arnold, 1994). Bu model, suyun yağıştan akarsuya hareket ettiği karmaşık hidrolojik döngüleri simüle etmektedir (Arnold, 1994).

Hidrolojik çevrim, yağıştan kaynaklanan suyun toprağa nüfuz etmesi, buharlaşma ve süzülme yoluyla geri dönmesi sürecini içerir. Bu döngü, suyun toprakla etkileşimi, yeraltı su tabakalarına sızma, akarsulara akış ve nihayetinde buharlaşma ve yağışla geri dönüşüm aşamalarını kapsar.

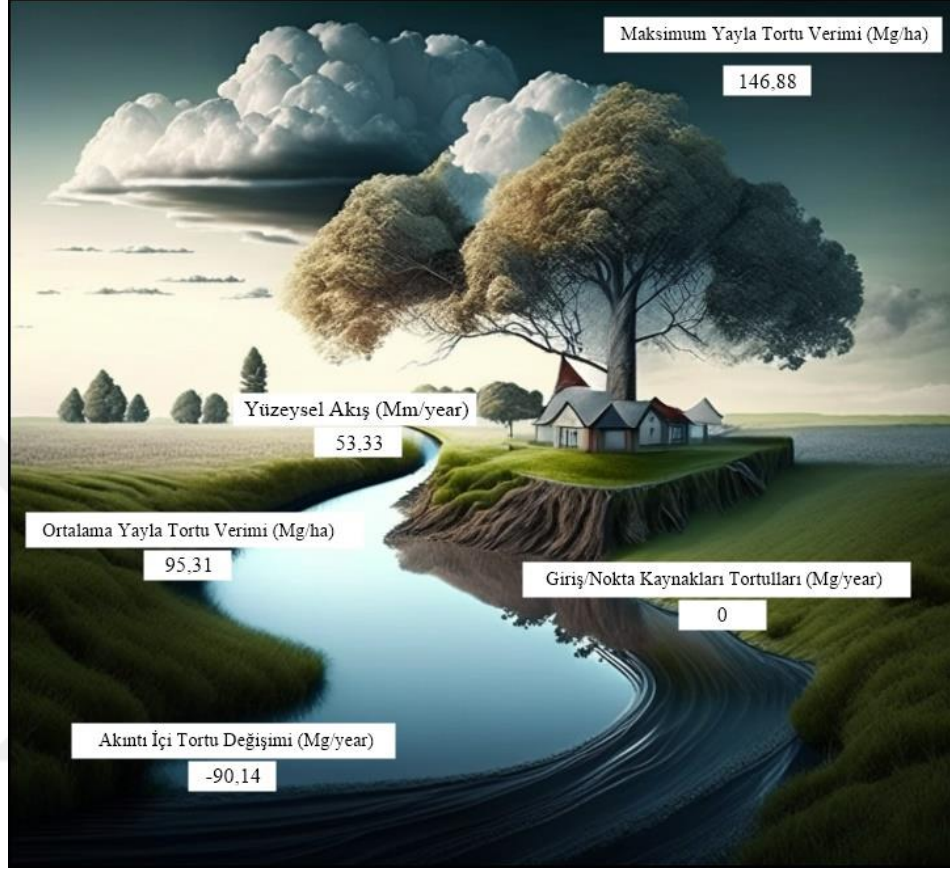
SWAT modeli, çevresel değişkenlerin (örneğin toprak özellikleri, bitki örtüsü, iklim verileri vb.) suyun hareketi üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılır. Bu model, yağışın toprakta emilmesi, yüzey akışı, yeraltı suyu hareketi ve bitki transpirasyonu gibi süreçleri simüle ederek, su kaynakları yönetimi ve erozyon kontrolü gibi alanlarda öngörülerde bulunmak için kullanılmaktadır.

Hidrolojik çevrimin anlaşılması, suyun doğal döngüsünü kavramak için hayati önem taşır. SWAT modeli, yağıştan başlayarak suyun toprak içindeki hareketini, buharlaşmayı, yüzey akışını, yeraltı suyu seviyelerini ve akarsu debilerini simüle ederek bu döngünün karmaşıklığını anlamada kritik bir rol oynar. Bu bilgiler, su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi, erozyon kontrolü ve çevresel planlama gibi alanlarda stratejiler geliştirmek ve uygulamak için gereklidir.

Havza özelindeki giriş verilerinin kullanılmasıyla hidrolojik model oluşturulmuş ve daha sonra iklim verileri de modele entegre edilerek analiz aşamasına geçilmiştir. Modelin çalışma periyodu olarak 1990 ile 2023 arası, yani toplamda 33 yıl süre seçilmiştir.

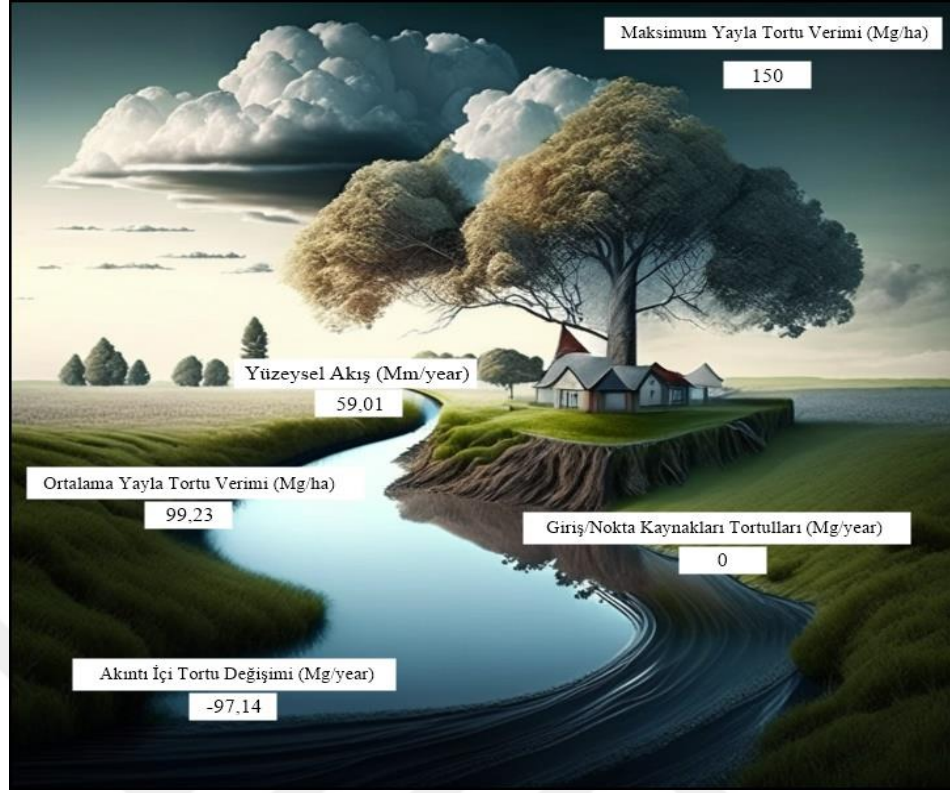
1990 yılı boyunca meydana gelen yağış etkinliğinin akarsuya etkisinin tahmin edilmeye çalışılmasıyla modelleme sonucu akarsuya karışan yüzeysel akışın yıllık

ortalama 53,33 mm olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 24). Yıllık ortalama tortu miktarı 95,31 (Mg/ha) iken araştırılan sahanın şimdiye kadar en yüksek birikimi 146,88 (Mg/ha) olduğu SWAT ile modelleme sonucu tahmin edilmektedir.



Şekil 24. SWAT Modeline göre 1990 yılına ait akım ve tortu tahmin sonuçları

2023 yılı veri girişlerinin ardından gelen çıktılar incelendiğinde modelleme sonucu akarsuya karışan yüzeysel akışın yıllık ortalama 59,01 mm olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 25). Yıllık ortalama tortu miktarı 95,31 (Mg/ha) iken araştırılan sahanın şimdiye kadar en yüksek birikimi 150 (Mg/ha) olduğu SWAT ile modelleme sonucu tahmin edilmektedir.



Şekil 25. SWAT Modeline göre 2023 yılına ait akım ve tortu tahmin sonuçları

Bitkilerde, yıllık ortalama stresli gün sayıları büyüme üzerinde etkili olabilmektedir. Bitkilerin nitrojen ve fosfor döngüsü içinde, stresli gün sayılarındaki değişimler genellikle gübreleme düzeyleri hakkında bilgi verir. Nitrojen ve fosfor stresli gün sayılarındaki yükseklik, yetersiz gübrelemenin işareti olabilirken, düşük stres gün sayıları ise aşırı gübrelemenin bir göstergesi olabilmektedir. Su stres gün sayılarının yüksekliği genellikle yetersiz sulamayı gösterirken, düşük su stres gün sayıları aşırı veya yeterli sulamayı işaret eder. Benzer şekilde, sıcaklık stres gün sayıları da benzer bir dinamiğe sahip olabilmektedir. 1990 yılında, havzada nitrojen oranı oldukça yüksekken, fosfor oranı, tortu miktarı ve akış değerleri daha ideal seviyelerdedir (Şekil 26). 2023 yılında ise nitrojen değerlerinin azalarak neredeyse fosfor oranına yaklaştığı görülmektedir. Buna karşın akış ile birlikte gelen malzemenin de arttığı görülmektedir (Şekil 27).

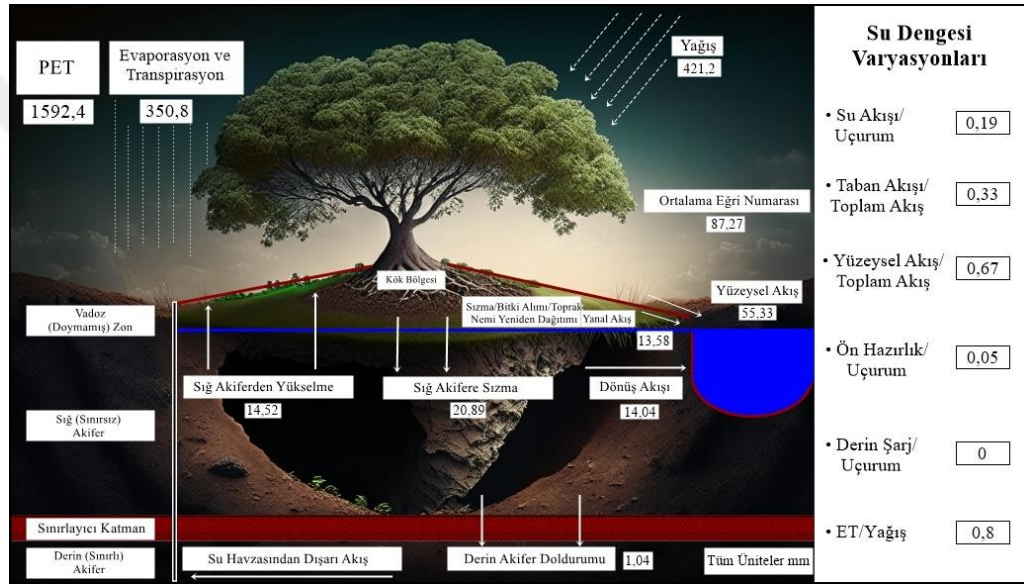


Şekil 26. SWAT Modeline göre 1990 yılına ait toplam alt havza yüğü sonuçları



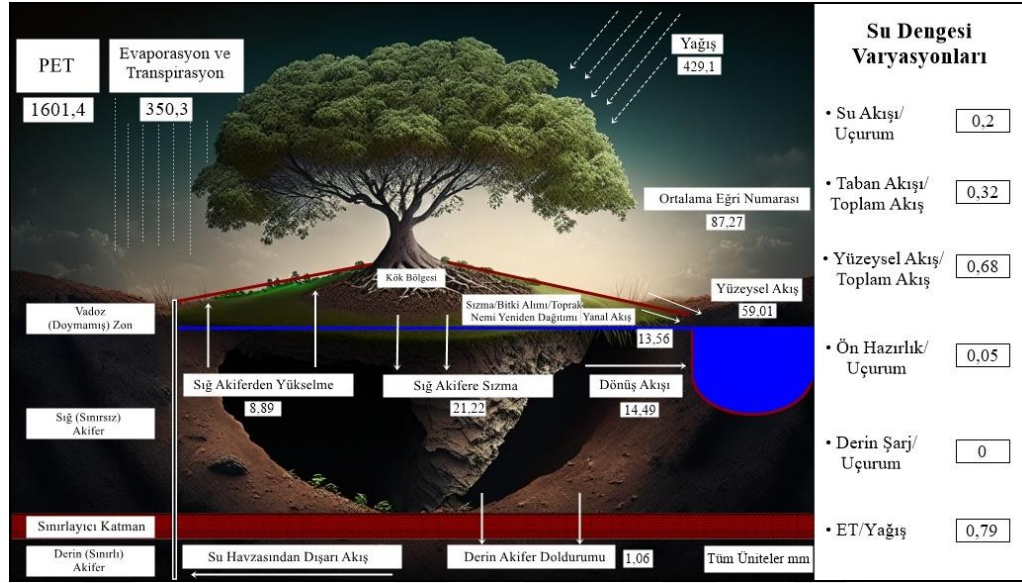
Şekil 27. SWAT Modeline göre 2023 yılına ait toplam alt havza yüğü sonuçları

Evapotranspirasyon (ET) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) hidrolojik bileşenler arasında önemli faktörlerdir. ET, bir alandaki buharlaşma ve bitkilerin terleme süreçlerinin toplamını ifade ederken, PET ise su kısıtlaması olmayan ve düzenli bitki örtüsüne sahip bir alandaki maksimum buharlaşma ve terleme miktarını temsil eder. 1990 yılı çalışma alanı için PET ve ET miktarları Şekil 27’de gösterildiği üzere 1592 ve 350 mm olarak tahmin edilmiştir. Toprak içerisinde kalan nem ve yüzey akışı gibi unsurlar hariç tutulduğunda, yeraltı suyunun derin akiferlere ulaşan miktarı oldukça önemlidir. Yıllık toplam yeraltı suyu miktarı 14,04 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. SWAT Modeline göre 1990 yılına ait hidrolojik çevrim sonuçları

Çalışma alanı için girilen verilerini sonucunda 1990 yılında tahmin edilen PET 1592,4 ve ET 350,8 iken 2023 yılı verilerinde ise değerlerin çok fazla değişmediği görülmektedir. 2023 yılında bu değerler PET 1601,4 ve ET 350,3 çıktığı görülmektedir (Şekil 29). 1990 ve 2023 yıllarında tahmin edilen su döngüsünde en önemli fark sızma oranlarının 2023 yılında azalma eğilimine girmesidir.



Şekil 29. SWAT Modeline göre 2023 yılına ait hidrolojik çevrim sonuçları

Parametrelerin bu kullanımıyla 500 simülasyondan oluşan iterasyonlar gerçekleştirilmiş ve Tablo 11'de sunulan değerlere ulaşılmıştır. Kalibrasyon için akım gözlem yıllıklarından yararlanılmıştır. Yarışlı Gölüne ait akım gözlem istasyonu olmadığından Burdur Suludere akım gözlem istasyonundan yararlanılmıştır. Akım verilerinin kalibrasyonunda bu arazinin seçilmesinin sebebi çalışma alanına yakın olması ve benzer topografya koşullarının bulunmasıdır. Akım verileri <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/744> adresinden alınmıştır. İncelenen bu değerler, modelin tatmin edici bir performans sergilediğini göstermektedir.

Tablo 11. Kalibrasyon ve validasyon sürecindeki SWAT modelinin hidrolojik performans sonuçları

Değer	NSE	RSR	PBIAS (%)
Kalibrasyon	0,63	0,55	-19,3
Validasyon	0,67	0,58	-21,9

Her iki tablodaki NSE, RSR ve PBIAS değerlerinin analizi, Yarışlı Gölü Alt Havzası için SWAT modelinin kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin yüksek bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu durum, SWAT modelinin Yarışlı Gölü alt

havzasındaki hidrolojik süreçlerin tahmininde güvenilir ve etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

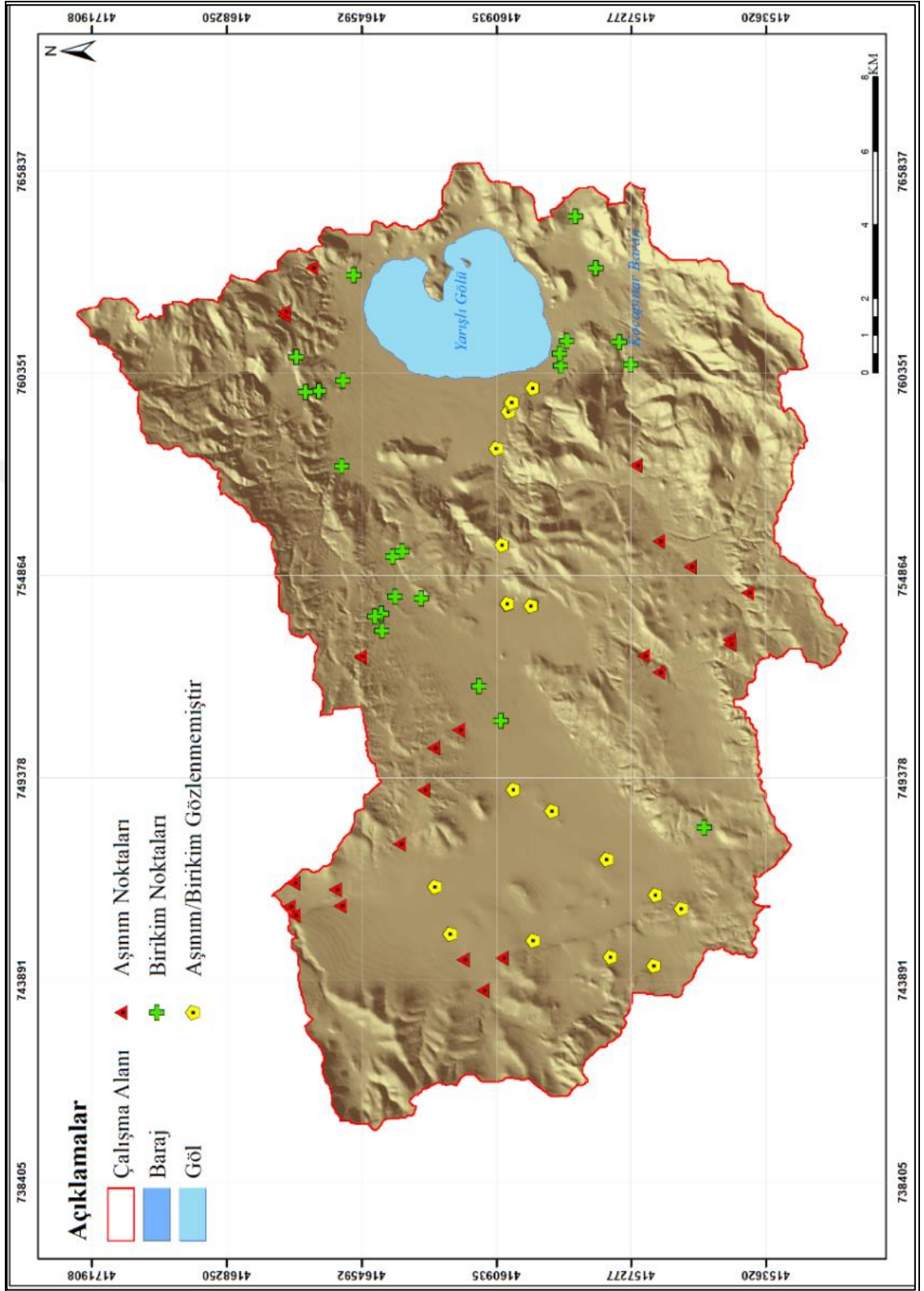
4.8. Yersel Ölçümlere Göre Toprak Erozyon Sonuçları

Erozyon, toprak, su veya rüzgâr gibi dış etkenlerin etkisiyle toprak yüzeyinin aşındırılması sürecidir (Nanna 1996). Erozyonun ölçümü ve izlenmesi, çevresel etkileri değerlendirmek ve erozyonla mücadele stratejileri geliştirmek için önemlidir (Morgan 1995). Bu bağlamda, Erozyon Çubuk Yöntemi (ECY) yersel ölçümlerle erozyonun değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Erozyon Çubuk Yöntemi, sahada erozyonun ölçülmesi ve izlenmesi için tasarlanmış bir yöntemdir (Tüfekçioğlu vd. 2020). Bu yöntemle, erozyonun yüzeydeki toprak kaybı olarak nasıl ölçülebileceğini belirlemek amacıyla, erozyona maruz kalan belirli bir alanın düzenli aralıklarla ölçümlerini içermektedir (Tufekcioglu, 2018). Bu ölçümler, erozyonun neden olduğu toprak kaybını takip etmek ve erozyonla mücadele stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek için yapılmıştır (Zaimes, 2004).

Yersel ölçümler, ECY'nin temelini oluşturur ve erozyonun neden olduğu toprak kaybını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu ölçümler, erozyonla mücadele stratejilerinin geliştirilmesinde ve bu stratejilerin etkinliğinin izlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. ECY, saha çalışmalarında pratik bir araç olarak kullanılarak, erozyonla mücadelede veri tabanlı ve kanıta dayalı kararların alınmasına yardımcı olur. Bu sayede erozyonun etkilerini azaltmak için daha etkili stratejiler geliştirilmesine ve uygulanmasına yardımcı olmaktadır.

Çalışma planlamasında kullanılacak verilerden bazıları da çalışma sahasından elde edilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi için çalışma alanı karelej plan şekliyle 2x2 km aralıklarla bölünmüştür. Bölünen bu karelejlara 100 adet rastgele (dağınık) örneklem noktası tanımlanmıştır. Arazinin her noktası için en doğru sonuca ulaşmak için örneklem noktaları dağınık bir şekilde atanmıştır (Şekil 4). Bazı noktalarda aşınma, bazı noktalarda birikmeler meydana gelmişken bazı kısımlarda ise iki durum söz konusu olmaksızın bir değişim gözlemlenmediği tespit edilmiştir (Şekil 30).

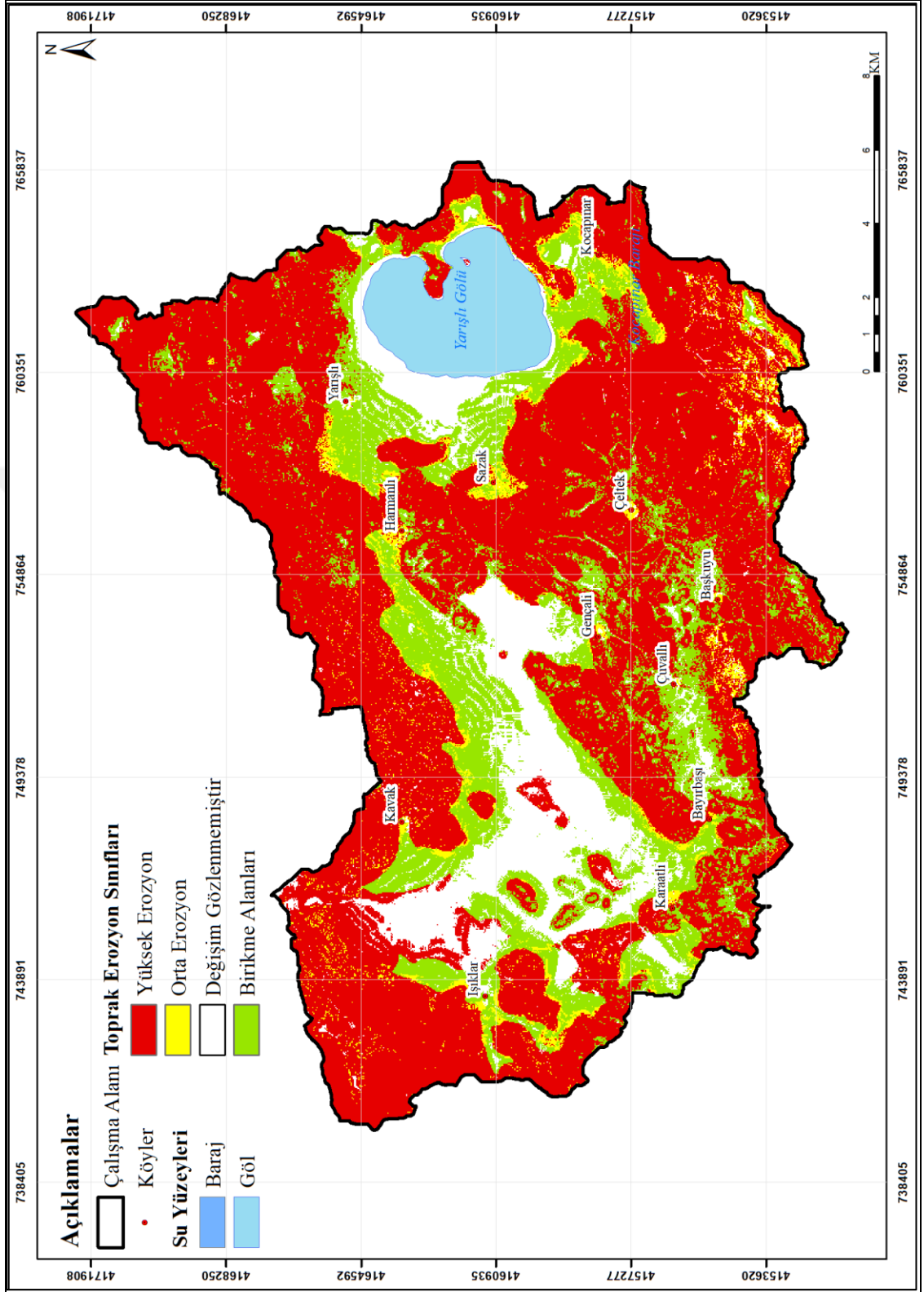


Şekil 30. Yersel ölçüm verilerinin çalışma sahasındaki konumları ve sonuçları

Karar ağaçları, makine öğrenimi alanında sıkça kullanılan bir sınıflandırma ve regresyon yöntemidir (Goodman, 1995). Bu algoritma, veri setlerindeki özellikleri analiz ederek, belirli koşullarda veri noktalarını sınıflandıran veya sayısal değerler tahmin eden bir yapı oluşturmaktadır (Gökçeoğlu, vd. 2003). Erozyonla ilgili olarak, karar ağaçları erozyon süreçlerini anlamak, tahmin etmek ve yönetmek için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Yağız, 2009). Karar ağaçları, erozyon süreçlerini anlamada ve bu süreçler üzerinde etkili olan faktörleri belirlemede yardımcı olmaktadır (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2006).

Yarışlı Gölü Alt Havzasında bu yöntemle erozyonla ilgili faktörleri belirlemek için veri setlerindeki değişkenler incelenerek, erozyon riskini etkileyen önemli parametreleri belirlemede kullanılmıştır. Bu parametreler, yağış miktarı, eğim, toprak türü, bitki örtüsü gibi çeşitli çevresel faktörleri oluşturmaktadır. Karar ağacı modeli, bu faktörler arasındaki ilişkileri görsel olarak sunmakta ve hangi faktörlerin erozyon sürecinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu anlamak için kullanılmaktadır.

Karar ağacı algoritması ile birlikte Yarışlı Gölü Alt Havzasının erozyon süreçlerini anlama ve belirli faktörlerin erozyon üzerindeki etkisini belirleme konusunda erozyon sınıfları ortaya konmuştur. Bu algoritma, erozyonla mücadelede daha etkili stratejiler geliştirmek ve erozyon riski taşıyan alanları belirlemede bilimsel bir yaklaşım olarak kullanılmıştır. Elde edilen haritada görüneceği üzere havza merkezinin bir kısmı genel olarak birikme özelliği gösterirken Yarışlı Gölü'nün kuzeyi, güneyi ve havza sınırı genel olarak yüksek erozyon hassasiyetine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 31).



Şekil 31. Çalışma alanına ait karar ağaç yöntemiyle hazırlanmış toprak erozyon sınıfları

Elde edilen sınıflama ve verilerin doğruluğu ise AOC-ROC doğruluk yöntemi ile test edilmiştir. AOC (Area Over the Curve) ve ROC (Receiver Operating Characteristic), istatistiksel sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan grafiksel yöntemlerdir. Bunlar, modelin doğruluğunu ve ayırt ediciliğini ölçmek için sıkça kullanılan araçlardır. Erozyonla ilgili olarak, ROC ve AOC analizleri erozyon modellerinin performansını ölçmek ve bu modellerin tahmin yeteneklerini değerlendirmek için kullanılmıştır.

ROC eğrisi, duyarlılık ve özgüllük arasındaki ilişkiyi görselleştiren bir grafikdir (Rosset, 2004). Erozyon modeli üzerinde çalışılırken, bu eğri modelin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. ROC eğrisi, erozyon modelinin doğruluğunu ölçmek ve farklı eşik değerlerinde duyarlılık ve özgüllük arasındaki dengeyi göstermek için kullanılmıştır.

AOC ise ROC eğrisinin altındaki alanı ifade etmektedir (Metz, 1978). Bu değer, modelin sınıflandırma performansını tek bir ölçüde özetlemektedir (Bradley, 1997). AOC'nin değeri 0 ile 1 arasında olmakta ve 1'e ne kadar yakınsa, modelin tahmin yeteneği o kadar iyi olduğu anlaşılmaktadır (Vickers ve Elkin, 2006). Erozyon modelleri için AOC analizi, modelin farklı eşik değerlerindeki performansını tek bir ölçüde ifade ederek değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Yarışlı Gölü Alt Havzasının AOC-ROC metriği ile sınıflandırma performansı değerlendirildiğinde 0,95 değeri bulunmuştur. Bu değer, karar ağaç ile sınıflandırılması yapılan toprak erozyon haritasının oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak erozyonu ile hareket eden sediman miktarı bu çalışma kapsamında Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda 1990 yılı ve 2023 yılı olmak üzere farklı dönemlerde SWAT modeli ile tahminler yapılmıştır. Bu çalışmada 1990 yılına ait tahminlerde çalışma sahasında ortalama 5 cm'lik yüzey katmanının aşınıp taşındığı, eğimin arttığı yükseltinin daha fazla olduğu bölgelerde ise sediman hareketinin hektar alanda 95 tona ulaştığı hesaplanmıştır. Çalışma sahasında 2023 yılı kapsamında yapılan incelemelerde değişen arazi kullanımı ve yağış ortalamalarındaki çok az bir artış nedeniyle daha önceki sediman hareketlerinin yüzeyde 6 cm'ye ulaştığı ve eğimin arttığı sahalarda aşınmanın hektar alanda 99 tona yükseldiğine yönelik tahminler yürütülmüştür. Bu değerler 2023 yılında çalışma sahasının %3'ne karşılık gelen maden sahalarının erozyon miktarını arttırdığını desteklemektedir. Bu tespitler ışığında elde edilen en önemli çıkarım insan müdahaleleri sonucunda toprak erozyonunun hızlanmasıdır. Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda 2022 Kasım- 2023 Kasım dönemleri arasında toprak erozyon belirleme süreci yersel ölçümlerle destekleniş ve ortaya çıkan sonuçlar modelleme yaklaşımları ile belirlenen erozyon miktarları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada yersel ölçümlere dayalı uygulamalarla görüntülenen erozyona duyarlı alanların genellikle eğimin fazla olduğu ve bitki örtüsünün zayıfladığı bölgelerde karşılık geldiği belirlenmiştir. Dahası bu alanların jeomorfolojik birimler açısından dağlık tepelik birimlerle ve yamaçlarla uyumlu olduğu ortaya konulmuştur. Son olarak Yarışlı Gölü Alt Havzası'nda ekosistem üzerinde toprak erozyonu kaynaklı baskıların azaltılması için yüksek kesimlerde ağaçlandırma çalışmalarının hızlandırılması ve kontrollü hayvancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Burdur'un Yarışlı Gölü alt havzasındaki maden sahalarının toprak erozyonu üzerindeki etkisi önemli bir çevresel konu olup, bu etkiler genellikle karmaşık ve çok katmanlı bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Maden faaliyetleri, doğal toprak yapısını ve bitki örtüsünü değiştirebilmekte, bu da toprak erozyonunu tetiklemektedir. Özellikle açık maden ocakları, maden atıkları ve işleme sularının çevreye salınması, toprak erozyonunun hızlanmasına neden olmaktadır.

Maden sahalarında yapılan kazı işlemleri, doğal bitki örtüsünün yok olmasına ve toprak yüzeyinin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durum, yağış sularının doğrudan toprağa çarpmasına ve erozyonun artmasına yol açmaktadır. Ayrıca, maden faaliyetleri sırasında ortaya çıkan toprak kaymaları ve erozyon, göl ve çevresindeki su sistemlerine zarar vermektedir.

Maden sahalarından sızan kimyasal maddeler ve atıklar, toprak kalitesini bozabilir ve erozyon sürecini hızlandırmaktadır. Bu durum, hem su kaynaklarının hem de toprak verimliliğinin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Ayrıca, erozyonla birlikte taşınan çamur ve tortular, su yollarını tıkararak ekosistem üzerinde negatif etkiler yaratmaktadır.

Bu nedenle, Burdur'un Yarışlı Gölü alt havzasındaki maden sahalarının toprak erozyonu üzerindeki etkisi, çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı açısından dikkate alınması gereken bir konudur. Etkili çevresel yönetim ve sürdürülebilir madencilik uygulamaları, bu etkileri en aza indirme ve doğal kaynakları koruma açısından önemlidir. Burdur Yarışlı Gölü alt havzasındaki maden sahalarının toprak erozyonu üzerindeki etkisi, önemli bir çevresel endişe kaynağıdır. Maden faaliyetleri, doğal toprak örtüsünün bozulmasına, bitki örtüsünün azalmasına ve su yollarındaki sedimentasyon artışına neden olmaktadır. Bu etkiler, ekosistem dengesini olumsuz yönde etkileyerek su kalitesini düşürmekte ve biyoçeşitliliği tehlikeye atmaktadır.

Bu durumları hafifletmek ve toprak erozyonunu minimize etmek için çeşitli öneriler geliştirilebilir. İlk olarak, maden sahalarında doğal toprak örtüsünün korunması ve restorasyonu için etkili stratejiler uygulanmalıdır. Erozyona karşı dirençli bitki türlerinin yeniden ekimi ve bakımı, toprak stabilitesini artırılmalıdır. Ayrıca, erozyon kontrolü için yeşil örtü ve sedimentasyon havuzları gibi su yönetimi önlemleri alınmalıdır. Maden sahalarında çevresel etkilerin izlenmesi ve değerlendirilmesi için sürekli bir izleme programı kurulmalıdır. Bu, olası sorunları önceden tespit etmek ve uygun önlemleri almak için önemli bir araç sağlar. Ayrıca, maden faaliyetlerine ilişkin çevresel düzenlemelerin güçlendirilmesi ve sıkı bir denetim mekanizması kurulması, çevresel etkilerin kontrol altında tutulmasına katkı sağlamaktadır. Toplumsal katılım ve yerel paydaşların görüşleri de göz önüne alınarak bölgesel bir kalkınma planı oluşturulmalıdır. Bu plan, maden faaliyetlerinin çevresel

etkilerini en aza indirirken, yerel ekonomiyi destekleyen ve sürdürülebilirlik ilkesini benimseyen stratejilere odaklanmalıdır. Sonuç olarak, bu tür maden sahalarındaki toprak erozyonu sorunlarına karşı çözüm önerileri, bilimsel, ekonomik ve sosyal faktörleri içeren bütünlükçü bir yaklaşımla geliştirilmelidir.



KAYNAKÇA

Ackoff, R.L. (1964). General systems theory and systems research: contrasting conceptions of systems science. In M. D. Mesarovic (Ed.), Views on general systems theory, New York: John Wiley & Sons.

Akpınar H. ve Atayeter Y. (2023). Kır dağları (Denizli) batısının jeomorfolojik ve morfometrik görünümü. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(2), 691-712.

Alevkayalı Ç. (2018). Edremit Körfezi'nde Arazi Degradasyonu ve Arazi Kullanım Planlaması, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.

Alevkayalı, Ç., Abi, B. (2023). Mekân Tabanlı Toprak Erozyonu Tahmin Modelleri: Bildiklerimiz Değişiyor Mu? Coğrafi Bilimler Dergisi/ Turkish Journal of Geographical Sciences, 21(2), 696-725. doi: 10.33688/aucbd.1265625

Andre, A.B., Beltrame, E. and Wainer, J. (2013). A combination of support vector machine and k-nearest neighbors for machine fault detection. Applied Artificial Intelligence, 27(1), 36-49. <http://dx.doi.org/10.1080/08839514.2013.747370>

Arena, F., Collotta, M., Luca, L., Ruggieri, M. and Termine, F.G. (2022). Predictive maintenance in the automotive sector: A literature review. Mathematical and Computational Applications, 27(1), 2. <https://doi.org/10.3390/mca27010002>

Arnold, J.G. and Williams, J.R. (1987) Validation of SWRRB— Simulator for Water Resources in Rural Basins. Journal of Water Resources Planning and Management, 113(2), 243-256. doi:10.1061/(ASCE)07339496(1987)113:2(243).

Arnold, J. G. and Fohrer, N. (2005). Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. Hydrol. Process., 19(3), 563-572. doi: 10.1002/hyp.5611

Arnold, J.G. and Williams, J.R. (1987) Validation of SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basin). Journal of Water Resources Planning and Management, 113(2), 243-256. doi:10.1061/(ASCE)07339496(1987)113:2(243).

Arnold, J.G. Fohrer, N. (2005). Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrol. Process.*, 19(3), 563-572. doi: 10.1002/hyp.5611

Arnold, J.G, Srinivasan, R. Muttiah, R.S. and Williams, J.R. (1998). Large Area Hydrologic Modeling and Assessment – Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 34(1):73-89.

Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, Kanada. 294 p.

Arslan, E. S. (2019). Burdur'da doğa turizmine ilişkin alternatif rotaların belirlenmesi. *Uluslararası Coğrafya ve Coğrafya Eğitimi Dergisi*, 40(3), 332-346.

Atalay, İ. (1987). *Türkiye Jeomorfolojisine Giriş*. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.

Atalay, İ. (2005). *Genel Fiziki Coğrafya*. İzmir: Meta Basım.

Atalay, İ. (2011). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık.

Ataol, M. (2010). Burdur Gölü'nde Seviye Değişimleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(8), 77-92.

Atayeter, Y., Kanten, S. ve Kanten, P. (2013). Burdur İli Turizm Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Rekabet Analizi, *Fakülte Kitabevi: Isparta*.

Atayeter, Y., Tokoparan, U., Yayla, O. ve Sakar, T. (2018). Coğrafi bir mekân olarak Burdur ilinin doğa turizmi potansiyelinin değerlendirilmesi. B. Eryılmaz, K. Özlü, Y.B. Kesin ve C. Yücetürk (Editörler), *Sosyal Bilimlerde Güncel Akademik Çalışmalar 2018* (s. 683-719). Ankara: Gece Kitaplığı.

Ayhan, S. ve Erdoğmuş, Ş. (2014). Destek Vektör Makineleriyle Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Çekirdek Fonksiyonu Seçimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 9(1), 175- 198.

Bennet, H.H. (1939). *Soil Conservation*, McGraw-Hill Book Company Inc, New York.

Bian, L., Sun, H. Blodgett, C. Egbert, S. WeiPing, L. LiMei, R. and Koussis, A. (1996). An Integrated Interface System to Couple the SWAT Model and ARC/INFO. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling. U.S. National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Fe, New Mexico, CD-ROM.

Bieger, K., Arnold, J.G., Rathjens, H., White, M.J., Bosch, D.D., Allen, P.M., Volk, M. and Srinivasan, R. (2017). Introduction to SWAT+, a Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. Journal of the American Water Resources Association, 53(1), 115–130. doi:10.1111/1752-1688.12482

Bradley, A. P. (1997). The use of the area under the {ROC} curve in the evaluation of machine learning algorithms, Pattern Recognit., 30, 1145-1159.

Carrara, A. Cardinali, M. Detti, R. Guzzetti, F. Pasqui, V. Reichenbach, P. (1991). GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard, Earth Surf Processes and Landforms, 16(5), 427-445.

Metz, C. E. (1978). Basic principles of roc analysis, in Seminars in Nuclear Medicine. New York, NY, USA: Elsevier, 283–298.

Cebel, H., ve Akgül, S. (2011). Toprak Oluşumu ve Koruyucu Önlemler, Bilim ve Aklın Aydınlanlığında Eğitim, 134, 57-6.

Cengiz, T. (2003). Peyzaj Değerlerinin Korunmasına Yönelik Kırsal Kalkınma Modeli Üzerine Bir Araştırma: Seben ilçesi (Bolu) Alpagut Köyü Örneği, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara.

Creswell, J. W. (2013). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage Publications

Çalışkan, O., Türkoğlu, N. ve Yılmaz, E. (2012). Ankara'nın biyoklimatik özellikleri ve şehirleşmenin biyoklimatik koşullar üzerine etkisi. I. Ulusal Coğrafya Sempozyumu 28-30 Mayıs 2012, Bildiriler Kitabı içinde (28-30). Erzurum.

Çakmak, M. (2016). Yarışlı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Çanga, M.R. ve Erpul, G. (1994). Toprak İşlemeli Tarım Alanlarında Erozyon

ve Kontrolü. En Büyük Tehlike Erozyon 1. Türkiye Konferansı. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, 42-57, Ankara.

Çapan, U., (1980). Toros Kuşağı Ofiyolit Masiflerinin (Marmaris, Mersin, Pozantı, Pınarbaşı ve Divriği) iç yapıları, petrolojisi ve petrokimyalarına yaklaşımlar. Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çepel, N. (1997). Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar. TEMA yayınları 14, İstanbul.

Çepel, N., Yüksel, M., Işık K, Altın, M., Orak, A., Neyişçi, T., Sarı, M. ve Ergün, C. (2006). Erozyon, Doğa ve Çevre. Tema Yayınları, İstanbul.

Çevik, E. ve Topal, T. (2003). GIS-based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, 44(8), 949-962.

Çınar, Z.M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M. ve Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. Sustainability, 12(19), 8211.

Cüceloğlu, G., Abbaspour K. C. ve Öztürk, I. (2017) Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model. Water, 9(10), 814. doi:10.3390/w9100814

Dağlı, D., ve Çağlayan, A. (2016). Analitik hiyerarşi süreci ile optimal arazi kullanımının belirlenmesi: Melendiz Çayı havzası örneği. Türk Coğrafya Dergisi 66(7), 83-92.

Dai, F.C, Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W. (2001). Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong, Environmental Geology, 40(3), 381-391.

Danacıoğlu, Ş. ve Tağıl, Ş. (2017). Bakırçay Havzası'nda Rusle Modeli Kullanarak Erozyon Riskinin Değerlendirmesi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20(37). 1-17.

Demir, B. (2019). Yarıslı Gölü Havzası'nın Fiziki Coğrafyası ve Havza Yönetimi Önerileri, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Coğrafya Anabilim Dalı, Isparta.

Demirağ Turan, İ. ve Dengiz, O. (2017). Çok Kriterli Değerlendirme ile Ankara Güvenç Havzası'nda Erozyon Risk Tahminlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi 23, 285-297.

Demirci, D. A. (2007). Destek Vektör Makineleri ile Karakter Tanıma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demirel, Ş., Giray, S. (2019). Karar Ağacı Algoritmaları ve Çocuk İşçiliği Üzerine Bir Uygulama. Social Sciences Research Journal, 8(4), 52-65.

Doğan, O. ve Güçer. C. (1976). Su Erozyonunun Nedenleri, Oluşumu ve Ünlü Denklemler İle Toprak Kayıplarının Saptanması. T.C. Köy İşleri Bak. Topraksu Genel Müd. TOPRAKSU Araş. Enst. Müd. Yay. No.41. Ankara.

Doran J.W. and Parkin T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. In: Defining Soil Quality for A Sustainable Environment. Soil Science Society of America Special Publication No: 35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, 3-21.

Ediş, S., Aytaş, İ., Özcan, A.U., (2021). ICONA modeli kullanarak toprak erozyon riskinin değerlendirilmesi: Meşeli Çubuk/Ankara) Havzası Örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 7(1): 15-22.

Erinç, S. (1977). Vegetasyon Coğrafyası. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları.

Erinç, S. (1996). Klimatoloji ve Metodları. İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.

Fazekasová D. (2012). Evaluation of Soil Quality Parameters Development In Terms of Sustainable Land Use. Sustainable Development - Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management, Dr. Sime Curkovic. Isbn: 978-953- 51 0682-1, Intech, Doi: 10.5772/48686. Available From: <http://Www.Intechopen.Com/Books/Sustainable-Development-Authoritative-And-Leading-Edge-Content-For-Environmental-Management/Evaluation-Of-Soil-Quality-Parameters-Development-In-Terms-Of-Sustainable-Land-Use>

Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), 861-874.

Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H. and Arnold, J.G. (2007) The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 40(4). doi:10.13031/2013.23637

Gatrell, A.C., Bailey T.C., Diggle P.J. ve Rowlingson B.S. (1996). Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 21(1), 256-274.

Güner, Z. B. (2015). Veri Madenciliğinde Cart ve Lojistik Regresyon Analizinin Yeri: İlaç Provizyon Sistemi Verileri Üzerinde Örnek Bir Uygulama. *Sosyal Güvence* (6), 53-99.

Güneş, Z., & Kuşak, L. (2023). SWAT modelinin uygulanması- Tarsus (Berdan) Çayı. *İçel Dergisi*, 3(2), 58-64.

Gohel, H.A., Upadhyay, H., Lagos, L., Cooper, K. ve Sanzetenea, A. (2020). Predictive maintenance architecture development for nuclear infrastructure using machine learning. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(7), 1436-1442.

Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. ve Kayabaşı, A. (2003). Predicting the deformation moduli of rock masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 701-710.

Green, D. M., ve Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. Wiley.

Haberer, J. (1992). Coming Full Circle-The New Emphasis on Soil Quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1), 3-4.

Hand, D. J., and Till, R. J. (2001). A simple generalisation of the area under the ROC curve for multiple class classification problems. *Machine Learning*, 45(2), 171-186.

Hastie, T., Tibshirani, R., ve Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer Science & Business Media.

Hagos, D.W. (1998). Assessment of the Effect of Present Land Use on Soil Degradation, a Case Study in Lom Kao Area, Central Thailand. Msc, ITC, Enschede.

İmamoğlu, A., Muhammed, B. ve Dengiz, O. (2016). Çorum Alaca havzasında toprak erozyon duyarlılık faktörünün farklı enterpolasyon modeller kullanılarak konumsal dağılımlarının belirlenmesi. Toprak Su Dergisi, 5(1), (8-15). doi: 10.21657/tsd.15185

Karabacak, K. (2015). Karpaz Yarımadası'nın (KKTC) arazi kullanımı. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya (Türkiye Coğrafyası) Anabilim Dalı, Basılmamış Doktora Tezi, Ankara.

Karabulut, M., Gürbüz, M., Karakoç, A. ve Kızılelma, Y., (2012). Göksu Deltası Gölleri Sulak Alan Kültürel Ekolojisi, 3. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, 4-6 Ekim, 589-599, Hatay.

Kavzoğlu, T. ve Çölkesen, İ. (2010). Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(1), 36-45.

Karlen D.L., Ditzler C.A. and Andrews S.S. (2003). Soil Quality: Why and How? Geoderma, 114, 145-156.

Kesici, E. ve Kesici, C., (2007). Yarışlı Gölü (Yeşilova-Burdur) Makrohidrofitleri. <http://www.akademi.net/USG/USG2007/CK/ck25.pdf>. (28.12.2015).

Küçüksille, E. U. ve Ateş, N. (2013). Destek Vektör Makineleri ile Yaramaz Elektronik Postaların Filtrelenmesi.

Larson W.E. and Pierce F.J. (1991). Conservation and Enhancement of Soil Quality. In: Dumanski, J. Evaluation for Sustainable Land Management In The Developing World. Proceedings of The International Workshop, Chiang Rai, Thailand. Technical Papers. Int. Board for Soil Res. and Management, Bangkok, Thailand. 175(2), 203. 105

Larson W.E., Pierce F.J. (1994). The Dynamics of Soil Quality As A Measure of Sustainable Management. In: Doran, J.W. Defining Soil Quality for A Sustainable

Environment. Soil Science Society of America Special Publication No:35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, 37-51.

Lezki, Ş. (2014). Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Karar Ağacı Kullanımı, Siirt Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisadi Yenilik Dergisi, 2(1), 16-31.

Liu, Y., Yang, W., Yu, Z., Lung, I., Yarotski, J., Elliott, J. and Tiessen, K., (2014). Assessing Effects of Small Dams on Stream Flow and Water Quality in an Agricultural Watershed. Journal of Hydrologic Engineering, 19 (10), 501-504.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., and Rhind, D. W. (2005). Geographic Information Systems and Science (2nd edition ed.): John Wiley & Sons, Ltd.

Llena, M., Vericat, D., Smith, M. W., & Wheaton, J. M. (2020). Geomorphic process signatures reshaping sub-humid Mediterranean badlands: 1. Methodological development based on High Resolution Topography. In Earth Surface Processes and Landforms. <https://doi.org/10.1002/esp.4821>.

Maharaj, R.J. (1993). Landslide Processes and Landslide Susceptibility Analysis from an Upland Watershed: A Case Study from St Andrew, Jamaica, West Indies. Engineering Geology, 34(1-2), 53-79.

Mann, M. E. (2013). The Hockey Stick and the Climate Wars: Dispatches from the Front Lines. Columbia University Press.

Martin, Y. and Bertazzon, S. (2010). Modeling Gomez, B. & Jones, J.P III. (Eds.), Modeling, research methods in geography: A Critical Introduction. (pp. 354-375). Wiley-Blackwell.

Masih, I., Maskey, S., Uhlenbrook, S. And Smakhtin, V. (2011). Assessing the impact of areal precipitation input on streamflow simulations using the SWAT model. J. Am. Water Resour. Assoc. 47(1), 179–195.

Morgan, R.P. (1995). Soil Erosion and Conservation, Second Edit. Longman Group, Cranfield.

Mkhonta, M.M. (2000). Use of Remote Sensing and Geographic Information

System (GIS) in the Assessment of Soil Erosion in the Gwayimane and Mahhuku Catchment Areas with Special Attention on Soil Erodibility K-Factor. Msc Thesis, Int. Inst. For Geo-inform. Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.

Nagarajan, R., Roy, A., Kumar, R., Mukherjee, A. and Khire, M.V. (2000) Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 58(4), 275-287.

Nanna, S. (1996). A Geo-information Theoretical Approach to Inductive Erosion Modelling Based on Terrain Mapping Units. PhD, Wageningen Agricultural University, Wageningen.

Nearing, M.A., Prusk, F.F. and O'neal, M.R. (2004). Expected Climate Change Impacts on Soil Erosion Rates: A Review", *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 43-50.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G. Kiniry, J.R. Williams, J.R. and K.W. King, (2002a). Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation – Version 2000. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G. Kiniry, J.R. Srinivasan, R. and J.R. Williams, (2002b). Soil and Water Assessment Tool – User's Manual – Version 2000. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, and R. Srinivasan, (2002c). Pesticides Fate and Transport Predicted by the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) – Atrazine, Metolachlor and Trifluralin in the Sugar Creek Watershed. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Temple, Texas 76502: USDA-153 ARS

Grassland Soil and Water Research Laboratory, and Texas A&M University, Blackland Research and Extension Center

Oğuzlar, A. (2004). CART Analizi ile Hanehalkı İşgücü anketi Sonuçlarının Özetlenmesi. Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 18(3-4), 79-90.

Onan, A. (2015). Şirket İflaslarının Tahmin Edilmesinde Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi. Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, 9-19.

Ongun, U., Gövdere, B., ve Kaygısız Durgun, A., (2015). Burdur İlinin Kırsal Turizm Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Sorunları ve Çözüm Önerileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(12), 99-116.

Ongun, U., Gövdere, B., ve Çiçek, U. (2016). Yeşilova'nın Kırsal Turizm Potansiyelinin Swot Analizi İle Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 7(16), 75-88.

Özdemir, K. ve Güngör, Ö. (2019). Filyos Çayı Havzasında SWAT Modelinin Uygulaması, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 1(2), 90-102.

Özyazıcı, M.A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö., Yıldız, H. ve Ünal, E. (2015). Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının bazı makro ve mikro bitki besin maddesi konsantrasyonları ve ters mesafe ağırlık yöntemi (IDW) ile haritalanması. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 16(2), 187-202.

Pehlivan, G. (2006). CHAID Analizi ve Bir Uygulama. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Peker, İ.B. ve Cüceloğlu, G., (2022), Makale Başlığı, Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik, 1(1) 9–26.

Petter, P. (1992). GIS and Remote Sensing for Soil Erosion Studies in Semi-arid Environments. PhD, University of Lund, Lund.

Petermann, T. (1993). Irrigation and the Environment: A Review of Environmental Issues, Part I, Influence of Irrigation on the Environment and vice-

versa, Internal Working Document, deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Germany.

Pierce F.J., Larson W.E. and Dowdy R.H. (1984). Soil Loss Tolerance: Maintenance of Long Term Soil Productivity. Journal of Soil and Water Conservation, 39(2), 136–138.

Raper, S. C. B., and Braithwaite, R. J. (Eds.). (2010). The Warming Papers: The Scientific Foundation for the Climate Change Forecast. John Wiley & Sons.

R.E. Goodman, (1995). Block theory and its applications, Geotechnique, 45(3), 383-423.

Reynolds, J.F. and Stafford, D.M. (2002). Do humans cause deserts? In: Reynolds JF, Stafford Smith DM Global Desertification: Do Humans Cause Deserts, Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University Press, Berlin, 1-21.

Safavian, S.R. and Landgrebe, D. (1991). A survey of decision tree classifier methodology. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 21(3), 660-674.

Saitoğlu, Y. S. (2015). Sınıflama ve Regresyon Ağaçları. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, SBE.

Sarı, M. (1997). Türkiye’deki Hatalı ve Yanlış Arazi Kullanımının Boyutları ve Erozyonla Olan İlişkileri. TEMA Vakfı Eğitim Kursları.

Sarıkaya, A.R. ve Seyrek, T. (1976). Yeşilova- Tefenni Peridotit Masifindeki Krom ve Nikel Zenginleşmeleri prospeksiyon Raporu, MTA Rap: 5764, Ankara.

Sarp, H. (1976). Etude géologique et pétrographique du cortège ophiolitique de la région située au nord-ouest de Yesilova (Burdur, Turquie). Borrow from Universität Regensburg, Bibliothek.

Savaş, S. (2022). Naive Bayes Sınıflandırıcısı. Teori ve Uygulamada Makine Öğrenmesi, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara. 69-92.

Sefercik U. G. (2007). Radar İnterferometri Tekniği ile Sym Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmeleri. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2-6 Nisan 2007, Ankara.

Soman, K.P., Loganathan, R. and Ajay, V. (2011). Machine learning with SVM and other kernel methods. PHI Learning Pvt. Ltd.

Sönmez, H. Gökceoğlu, C. Nefeslioğlu, H.A. ve Kayabasi, A. (2006). Estimation of rock modulus: For intact rock with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43(2), 224-235.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017). Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı 2017-2023.

Tolun, S. (2008). Destek Vektör Makineleri: Banka Başarısızlığının Tahmini Üzerine Bir Uygulama, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı.

Tulan, H. ve Yalçiner Ercoşkun, Ö. (2021). Göller Yöresinde Sürdürülebilirlik ve Dirençlilik. Journal of Management Theory and Practices Research, 2(2), 89-116.

Tuncer, K., ve Deniz, K. (2023). Yeşilova (Burdur) İlçesinde Arazi Kabiliyet Sınıflaması ve Corine Verilerine Göre 2018 Yılı Arazi Kullanım Özellikleri. Doğu Coğrafya Dergisi, 28(49), 82-93.

Turoğlu, H. (2008). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları. (Genişletilmiş 2. Baskı) İstanbul: Çantay Kitabevi.

Tüfekçiöğlu, M., Yıldırım, C. ve Duman, A. (2020). Çoruh Nehri havzasına bağlı Oltu mikro havzasında kanal ve oyuntu erozyonuyla gerçekleşen toprak kaybının “erozyon çubuk yöntemiyle belirlenmesi, Turkish Journal of Forest Science, 4(2), 333-350.

Tufekcioglu, M. (2018). Gully and Stream Bank Erosion and the Effectiveness of Control Measures in a Semi-Arid Watershed. Fresenius Environmental Bulletin, 27(12), 8233-8243.

Türkeş, M. (1999). Vulnerability of Turkey to Desertification With Respect to Precipitation and Aridity Conditions, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 23(5), 363-380.

Uludağ, M. ve Fıçıcı, M. (2018). Saray ilçesinde (Tekirdağ) toprak

erozyonunun RUSLE yöntemiyle değerlendirilmesi. Turk Coğrafya Dergisi (70) 29-36.

Vickers, A. J. and Elkin, E. B. (2006). Decision curve analysis: A novel method for evaluating prediction models, Med. Decis. Mak., vol. 26, no. 6, pp. 565–574.

Yağız, S. (2009). Assesment of brittleness using rock strength and density with punch penetration test. Tunneling and Underground Space Technology, 24(1), 64-77.

Yavuz, Ö.Ç., Karaman, E. ve Yeşilyaprak, C. (2022). Makine öğrenmesi algoritmalarıyla astronomik gözlem kalitesi tahminine yönelik karar destek sistemi geliştirilmesi ve uygulanması. Trends in Business and Economics, 36(3), 289-303. <http://doi.org/10.5152/TBE.2022.1049957>

Yıldız, N. D. (2006). Tortum Çayı Havzasının Uygun Alan Kullanımlarının CBS ile Belirlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Yılmaz, M., ve Caran, Ş. (2019). Yarışlı Gölü (Burdur) Yakın Çevresindeki Mermer Sahalarının Jeolojik Özelliklerinin ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 2(1), 57-67.

Zaimes, G. N. (2004). Riparian Land-Use Impacts On Stream And Gully Bank Soil And Phosphorus Losses With An Emphasis On Grazing Practices, Iowa State University, Ames, Iowa. USA.

Zaimes, G. N., Tufekçioğlu, M., Schultz, R. C. (2019) Riparian Land-Use Impacts on Stream Bank and Gully Erosion in Agricultural Watersheds: What We Have Learned. Water, 11(7), 1343.

Zengin, M. (2007). Ardahan Kura Nehri ve Yakın Çevresi Alan Kullanımlarının Belirlenmesi ve Optimal Alan Kullanım Önerileri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Williams, J.R. (1995), The EPIC model In: V. P. Singh, Computer Models of Watershed Hydrology, 6(5), 909-1000, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı – Soyadı : Bedran ABİ

Doğum Yeri ve Yılı:

Medeni Hali :

Eğitim Durumu

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Coğrafya (2017 – 2021)

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Coğrafya (2021 – 2023)

Yabancı Dil : İngilizce

Katıldığı Projeler :

Abi, B. (2023). Bendimahı Çayı (Van) Havzasında Su-Toprak İlişkisinin SWAT Modeli İle İncelenmesi. V. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi (UCEK-2023). Antalya.

Alevkayalı, Ç., Abi, B. (2023). Mekân Tabanlı Toprak Erozyonu Tahmin Modelleri: Bildiklerimiz Değişiyor Mu? Coğrafi Bilimler Dergisi/ Turkish Journal of Geographical Sciences, 21 (2), 696-725, doi: 10.33688/aucbd.1265625