



**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN
JEOMORFOMETRİK PARAMETRELERİN
İKLİM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doktora Tezi

Hasan Burak ÖZMEN

Eskişehir 2024

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ
KULLANILARAK ÜRETİLEN JEOMORFOMETRİK PARAMETRELERİN
İKLİM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hasan Burak ÖZMEN

Doktora Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Temmuz 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hasan Burak ÖZMEN'in UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN JEOMORFOMETRİK PARAMETRELERİN İKLİM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ başlıklı çalışması 03/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Üye

: Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Üye

: Prof. Dr. Uğur AVDAN

Üye

: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Üye

: Doç. Dr. Olgü AYDIN

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

03/07/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi Hasan Burak ÖZMEN, UZAKTAN ALGILAMA VE COğRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN JEOMORFOMETRİK PARAMETRELERİN İKLİM AÇISINDAN DEğERLENDİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

ÖZET

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN JEOMORFOMETRİK PARAMETRELERİN İKLİM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hasan Burak ÖZMEN

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Yeryüzü; Dünya'nın oluşumundan günümüze kadar geçen süreçte iklim koşullarında meydana gelen ani ve uzun süreli değişiklikler, meteorolojik olaylar, tektonizma, yer kabuğunun sürekli hareket halinde olması gibi nedenlerle şekillenmiş ve şekillenmeye devam etmektedir. Küresel ya da bölgesel ölçekte yaşanan ani ve uzun süreli iklim değişiklikleri, yeryüzü şekillerini fiziksel ve kimyasal süreçlerin etkisiyle şekillendiren önemli faktörlerdendir. Yaşanan bu süreçler, yeryüzünde farklı aşındırma ve depolama şekilleri meydana getirmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, yeryüzü şekillerinin iklim sınıfları ile ilişkisini jeomorfometrik parametreleri kullanarak ortaya koymaktır. Bu kapsamda, Türkiye'de Köppen-Geiger iklim sınıflarının tipik olarak gözlemlendiği çalışma alanlarına ait jeomorfometrik parametreler ve iklim sınıfları kullanılarak Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma modelleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında eğitim veri seti kullanılarak rastgele orman, destek vektör makineleri ve k-en yakın komşular sınıflandırma algoritmaları ile makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ve test verileri kullanılarak sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Sonuç olarak rastgele orman modeli, destek vektör makineleri modeli ve k-en yakın komşular modelleri için genel doğruluklar sırasıyla %98,80, %99,70 ve %99,30 elde edilirken kappa istatistiği değerleri 0,98, 0,99 ve 0,99 olarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında iklim sınıflarını ayırt etmede öneme sahip olan jeomorfometrik parametrelerin yükseklik, maksimum yükseklik ve vadi derinliği olduğu belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Jeomorfoloji, Jeomorfometrik parametre, İklim değişikliği, İklim sınıflandırma, Denetimli makine öğrenmesi

ABSTRACT

EVALUATION OF GEOMORPHOMETRIC PARAMETERS PRODUCED USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN TERMS OF CLIMATE

Hasan Burak ÖZMEN

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, July 2024

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Emrah PEKKAN

Since the formation the Earth, has been shaped and continues to be shaped due to sudden and long-term changes in climatic conditions, meteorological events, tectonism, and the constant movement of the earth's crust. Sudden and long-term climate changes experienced on a global or regional scale are among the important factors that shape landforms under the influence of physical and chemical processes. These processes create different erosion and storage patterns on the earth.

The aim of this thesis is to investigation the relationship between landforms and climate classes by using geomorphometric parameters. In this context, Supervised Machine Learning Classification models were developed using geomorphometric parameters and climate classes of the study areas where Köppen-Geiger climate classes are typically observed in Turkey. Within the scope of the study, machine learning models were developed with random forest, support vector machines and k-nearest neighbors classification algorithms using the training data set. Classification results were obtained using the developed models and test data. As a result, the overall accuracies for the random forest model, support vector machines model and k-nearest neighbors models were obtained as %98,80, %99,70 and %99,30, respectively, while the kappa statistic values were obtained as 0,98, 0,99 and 0,99. Within the scope of the study, it was determined and evaluated that the geomorphometric parameters that are important in distinguishing climate classes are height, maximum height and valley depth.

Keywords: Geomorphology, Geomorphometric parameter, Climate change, Climate classification, Supervised machine learning.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam süresince bilgi birikimini benimle paylaşan, her konuda desteklerini esirgemeyen, tecrübe ve deneyimleri paylaşan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN'a; bilimsel bakış açımın yanı sıra hayata bakış açımı değiştiren, her an kıymetli vaktini ayırarak yol gösteren Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU'na; tez izleme komitelerinde ve tüm tez sürecim boyunca tezimin şekillenmesinde önemli katkılar sunan Prof. Uğur AVDAN'a ve Doç. Dr. Olgı AYDIN'a; tez çalışmamı inceleyip bilgi birikimini ve katkılarını paylaşan Prof. Dr. Bekir Taner SAN'a; tez çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Resul ÇÖMERT, Serhan TUNCER, Sunay MUTLU, Onur KAPLAN, Gordana KAPLAN, Canberk BOLAT'a ve tez çalışmalarım süresince kullanmış olduğum tüm imkanları sağlayan Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Doktora eğitimim sırasında YÖK 100/2000 programı kapsamında doktora bursiyerlik imkânı sağladığı için Yükseköğretim Kurulu Başkanlığına ve Eskişehir Teknik Üniversitesi'ndeki ilgili birimlere teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Burak ÖZMEN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hasan Burak ÖZMEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırma Soruları.....	7
1.2. Önceki Çalışmalar.....	7
1.3. Tez Metninin Ana Hatları	20
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
2.1. Çalışmada Kullanılan Veriler	21
2.1.1. İklim ve iklim sınıfları.....	21
2.1.2. Jeomorfometrik parametreler.....	25
2.2. İklim Sınıflarına Göre Çalışma Alanlarının Belirlenmesi	34
2.2.1. Kurak iklim koşullarının etkili olduğu alanlar	35
2.2.1.1. Tuz Gölü havzası.....	35
2.2.1.2. Akşehir-Eber Gölleri havzası	37
2.2.2. Ilıman iklim koşullarının etkili olduğu alanlar	38
2.2.2.1. Kızılırmak Deltası	39
2.2.2.2. Yeşilirmak Deltası.....	40
2.2.3. Soğuk iklim koşullarının etkili olduğu alanlar	41

2.2.3.1. Cilo (Buzul) Dağları	42
2.2.3.2. Giresun Karagöl Dağları ve çevresi	43
2.2.4. Örneklem noktalarının oluşturulması, veri normalizasyonu ve veri setlerinin hazırlanması	45
2.2.4.1. Örneklem noktalarının oluşturulması	45
2.2.4.2. Veri normalizasyonu	50
2.2.4.3. Veri setlerinin hazırlanması	54
2.3. Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Yöntemi	57
2.3.1. Model eğitimi ve optimizasyonu	59
2.3.1.1. Rastgele orman algoritması	61
2.3.1.2. Destek vektör makineleri algoritması	62
2.3.1.3. K en yakın komşular algoritması	64
2.3.2. Eğitim sonuçlarının değerlendirilmesi	66
2.3.3. Modelin test edilmesi	67
2.3.3.1. Model (sınıflandırma) performans ölçütlerinin değerlendirilmesi	68
2.3.3.2. Jeomorfometrik parametrelerin değerlendirilmesi	70
3. BULGULAR	72
3.1. Model Eğitimi ve Eğitim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
3.1.1. Rastgele orman algoritması eğitimi ve optimizasyonu	73
3.1.2. Destek vektör makineleri algoritması eğitimi ve optimizasyonu	74
3.1.3. K-en yakın komşular algoritması eğitimi ve optimizasyonu	75
3.2. Modelin Test Edilmesi	77
3.2.1. Rastgele orman algoritması test (sınıflandırma) sonuçları	77
3.2.2. Destek vektör makineleri algoritması test (sınıflandırma) sonuçları	80
3.2.3. K-en yakın komşular algoritması test (sınıflandırma) sonuçları	82
3.2.4. Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesi	85
3.2.5. Jeomorfometrik parametrelerin değerlendirilmesi	86
4. SONUÇLAR	90
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	92
KAYNAKÇA	97

ÖZGEÇMİŞ



TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre ana iklim sınıfları (Peel vd., 2007; Öztürk vd., 2017; Rohli ve Vega, 2018; Beck vd., 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019; Beck vd., 2023).....	23
Tablo 2.2. Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıfları	25
Tablo 2.3. ALOS PALSAR Radyometrik Arazi Düzeltmeli SYM veri özellikleri ve içerikleri (http-1)	29
Tablo 2.4. Çalışma kapsamında kullanılan jeomorfometrik parametreler	30
Tablo 2.5. Jeomorfometrik parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel değerleri	52
Tablo 2.6. Jeomorfometrik parametrelerin normalizasyon işlemi yapıldıktan sonraki tanımlayıcı istatistiksel değerleri.....	53
Tablo 2.7. Jeomorfometrik parametreler üretilirken kullanılan modüller.....	55
Tablo 2.8. Sınıflandırma analizi sonuçlarından elde edilen Karşıtlık (Hata) Matrisi tanımları.....	68
Tablo 3.1. RF algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri	74
Tablo 3.2. SVM algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri	75
Tablo 3.3. KNN algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri	76
Tablo 3.4. RF, SVM ve KNN algoritmaları doğruluk ve kappa istatistik değerleri genel bakış	77
Tablo 3.5. RF algoritması sınıflandırma sonuçlarına ait hata matrisi	77
Tablo 3.6. RF algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri	78
Tablo 3.7. RF modeli performans ölçütleri.....	78
Tablo 3.8. SVM algoritması sınıflandırma sonuçlarına ait performans metrikleri.	80
Tablo 3.9. SVM algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri	80
Tablo 3.10. SVM modeli performans ölçütleri	80
Tablo 3.11. KNN algoritması sınıflandırma sonuçlarına ait performans metrikleri.	82
Tablo 3.12. SVM algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri	83
Tablo 3.13. KNN modeli performans ölçütleri	83
Tablo 3.14. RF, SVM ve KNN algoritmaları sınıflandırma sonuçlarının doğruluk ve kappa istatistik değerleri genel bakış	85
Tablo 3.15. Tüm algoritma modellerinin diğer performans ölçütleri	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıfları (Öztürk vd., 2017’den değiştirilmiştir.).....	23
Şekil 2.2. Grid hücre yapısı, düzensiz üçgen ağları yapısı ve kontur çizgileri yapısı (Wilson ve Gallant, 2000; Wilson, 2018).	28
Şekil 2.3. ALOS PALSAR Radyometrik Arazi Düzeltmeli SYM hazırlanırken kullanılan SAR görüntüleri (http-2).....	29
Şekil 2.4. Farklı iklim koşullarının etkili olduğu çalışma alanları	35
Şekil 2.5. Tuz Gölü Havzası.....	37
Şekil 2.6. Akşehir-Eber Gölleri Havzası	38
Şekil 2.7. Kızılırmak Bafra Deltası	40
Şekil 2.8. Yeşilirmak Deltası.....	41
Şekil 2.9. Cilo (Buzul) Dağları.....	43
Şekil 2.10. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi	44
Şekil 2.11. Tuz Gölü Havzası örneklem noktaları.....	47
Şekil 2.12. Akşehir-Eber Gölleri Havzası örneklem noktaları.....	47
Şekil 2.13. Kızılırmak örneklem noktaları	48
Şekil 2.14. Yeşilirmak Deltası örneklem noktaları.....	48
Şekil 2.15. Cilo (Buzul) Dağları örneklem noktaları.....	49
Şekil 2.16. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi örneklem noktaları	49
Şekil 2.17. Analiz yöntemi iş akış şeması	59
Şekil 2.18. $k = 5$ için k-katlı çapraz doğrulama yöntemi şematik gösterimi	60
Şekil 2.19. RF algoritması karar ağaçları	62
Şekil 2.20. Destek vektör makineleri hiper düzlem ve destek vektörleri	63
Şekil 2.21. K-en yakın komşuları $k = 4$ için en kısa mesafeler	65
Şekil 3.1. RF algoritması için optimum ntree ve mtry değeri seçimi	74
Şekil 3.2. SVM modeli için optimum C değeri seçimi.....	75
Şekil 3.3. KNN modeli için optimum K değeri grafiği	76
Şekil 3.4. Akşehir-Eber Gölleri Havzası RF sınıflandırma haritası	78
Şekil 3.5. Yeşilirmak Deltası RF sınıflandırma haritası.....	79
Şekil 3.6. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi RF sınıflandırma haritası	79
Şekil 3.7. Akşehir-Eber Gölleri Havzası SVM sınıflandırma haritası	81

Şekil 3.8. Yeşilırmak Deltası SVM sınıflandırma haritası	81
Şekil 3.9. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi SVM sınıflandırma haritası.....	82
Şekil 3.10. Akşehir-Eber Gölleri Havzası KNN sınıflandırma haritası	83
Şekil 3.11. Yeşilırmak Deltası KNN sınıflandırma haritası	84
Şekil 3.12. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi KNN sınıflandırma haritası.....	84
Şekil 3.13. Tüm jeomorfometrik parametrelerin ortalama doğruluk azalımına göre özellik önemi.....	86
Şekil 3.14. Tüm jeomorfometrik parametrelerin ortalama gini indeksi azalımına göre özellik önemi.....	87
Şekil 3.15. Yükseklik ve maksimum yükseklik jeomorfometrik parametreleri olmadan ortalama doğruluk azalımına göre özellik önemi	88
Şekil 3.16. Yükseklik ve maksimum yükseklik jeomorfometrik parametreleri olmadan ortalama gini indeksi azalımına göre özellik önemi	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
UA	: Uzaktan Algılama
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
LGM	: Son Buzul Maksimumu (Late Glacial Maximum)
OSL	: Optik Uyarımlı Lüminesans
TPI	: Topografik Pozisyon İndeksi
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ALOS	: The Advanced Land Observing Satellite
PALSAR	: The Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar
RTC	: System for Automated Geoscientific Analyses
JAXA	: Japonya Uzay Araştırma Ajansı
SAR	: Basit Rastgele Örnekleme
RF	: Rastgele Orman (Random Forest-RF)
SVM	: Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine-SVM)
KNN	: K En Yakın Komşular (K-Nearest Neighbors-KNN)
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
BRÖ	: Basit Rastgele Örnekleme
DP	: Doğru Pozitif
DN	: Doğru Negatif
YP	: Yanlış Pozitif
YN	: Yanlış Negatif
SAGA	: System for Automated Geoscientific Analyses

1. GİRİŞ

Yeryüzü Dünya'nın var oluşundan günümüze kadar geçen süreçte fiziksel ve kimyasal süreçlerin etkisiyle şekillenmiş ve şekillenmeye devam etmektedir. Yaşanan iklim koşulları, yeryüzünün şekillenmesinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Jeolojik zaman boyunca ve günümüzde yeryüzünde farklı iklim koşulları etkili olmuştur. Yeryüzünün şekillenmesinde etkili olan süreçlerin araştırılması, yeryüzünü oluşturan yeryüzü şekillerinin hangi koşullar altında şekillendiğinin belirlenmesini sağlar. Diğer taraftan geçmişte yaşanan iklim koşullarına bağlı olarak gelişen yeryüzü şekilleri iklim koşullarında meydana gelen değişiklikler ile yeniden şekillenmiştir. Yaşanan iklim koşulları geçmiş iklim koşullarına ait izleri ya tamamen ortadan kaldırmış ya da birtakım izler halen gözlemlenmektedir. Yeryüzünde güncel olarak gözlemlenen yeryüzü şekilleri, Kuvaterner dönemi ve günümüz iklim koşullarının izlerini taşımaktadır.

Yeryüzü şekillerine ait jeomorfolojik özellikler, bölgesel olarak şekillenen yeryüzü şekillerinin hangi süreçler altında meydana geldiğini araştırmaya olanak sağlamaktadır. Jeomorfoloji; yükseklik verilerinden faydalanan arazi yüzeyini sayısal olarak modelleyen, analiz eden ve haritalandıran bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır (Tobler, 1976; Tobler, 2000; Pike, 1995; Pike, 2000; Rasemann vd., 2004). Jeomorfoloji araştırmalarında kullanılan en önemli veri kaynaklarından biri jeomorfometrik parametrelerdir.

Jeomorfometrik parametrelerin üretilmesinde temel veri kaynağı, sayısal yükseklik modelleridir. Sayısal yükseklik modeli (SYM), yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi, topografik pozisyon indeksi gibi jeomorfometrik parametrelerin üretilmesini sağlamaktadır. Jeomorfometri, yeryüzüne ait yüzey parametrelerinin elde edilmesine ve yüzey şekillerinin bölgesel özelliklerine göre, modellemelerin ve sınıflandırmaların yapılmasına odaklanmaktadır (Evans, 1972).

Jeomorfoloji araştırmalarında kullanılan jeomorfometrik parametreler, yeryüzü şekillerinin oluşum süreçlerinin araştırılması, farklı iklim koşullarında meydana gelen jeomorfolojik yeryüzü şekillerinin araştırılması, yeryüzü şekillerinin jeomorfometrik özelliklerine göre sınıflandırılması, akarsu süreçlerinin anlaşılması, akarsu havza modellerinin oluşturulması, tektonizma çalışmaları gibi birçok konuya altlık oluşturmaktadır (Shary vd., 2002; Böhner ve AntoniĆ, 2009; Pike vd., 2009; Erol, 2003;

Prasicek vd, 2014; Skentos, 2017; Elbaşı vd., 2018; Kılıç Gül, 2018; Aykut ve Turoğlu, 2020).

Jeolojik zaman boyunca ve güncel olarak etkili olan iklim koşulları yeryüzünde farklı yeryüzü şekillerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yeryüzü şekilleri, yaşanan iklim koşullarının izlerini taşımaktadır. Kuvaterner dönemde etkili olan iklim koşulları, yeryüzünde bölgesel olarak belirgin jeomorfolojik yeryüzü şekilleri ve izler meydana getirmiştir. Örneğin, Kuvaterner dönemde yaşanan buzul dönemleri boyunca etkili olan soğuk iklim koşulları, yeryüzünde U tipi vadilerin, sirklerin, sirk göllerinin, morenlerin ve farklı jeomorfolojik izlerin oluşmasına neden olmuştur. Plüvyal dönemlerde, yaşanan nemli iklim koşulları, göl seviyelerinin yükselmesini, yeni göllerin oluşmasını, akarsu vadilerinde yaşanan aşındırmalar ve akarsu taraça sistemlerinin gelişmesini, yağış etkisiyle akarsuların taşıdığı sedimanların artmasıyla akarsu deltalarının oluşmasını sağlamıştır. Kurak iklim koşullarında; göl seviyeleri alçalmış, göllere ait eski göl seviye izleri ve gölsel taraçalar meydana gelmiştir. Sıcaklığın yüksek olduğu kurak iklim koşulları, bölgesel olarak oluşan evaporitik kayaçların ve evaporit minerallerin oluşmasında etkili olmuştur.

Yeryüzünün herhangi bir bölgesinde güncel olarak buzulların gözlemlenmesi, U tipi vadilerin varlığı soğuk iklim koşullarının, akarsu yüzey aşındırmasının hızlı olduğu akarsular tarafından taşınan sedimanlar ile oluşan deltaların varlığı nemli iklim koşullarının, evaporitik kayaçların gözlemlendiği alanların ve güncel olarak evaporitlerin oluşumunun varlığı kurak iklim koşullarının etkili olduğunun önemli göstergeleridir (Erinç, 1971; Erinç, 2010; Türkeş, 2013).

İklim sınıflarının benzer özellik gösterdiği alanlarda, topografya benzer erozyon ve depolama süreçleri göstermektedir. Bu sebeple, bu alanlar jeomorfolojik özellikler bakımından benzerdir. Bu bağlamda, jeolojik zaman boyunca özellikle Kuvaterner dönemi ve günümüz iklim koşulları etkisiyle şekillenen yeryüzüne ait jeomorfometrik parametreler kullanılarak, belirli alanların iklim sınıfları belirlenebilmektedir.

Szypula, (2019); jeomorfolojik çalışmalarda sayısal yükseklik modellerin kaynakları, çeşitleri, nasıl üretildikleri, kullanım alanları hakkında bilgi vermiştir. Bundan başka, jeomorfolojik yeryüzü şekilleri ve özellikleri, jeomorfometrik parametreler, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde (CBS) kullanılan jeomorfometrik araçların

kullanımına ait örnekler vermiştir. Arazi şekillerinin sınıflandırılmasında, arazi şekillerine ait yüzeylerin sayısal yükseklik modelleri tanımlanırken, verinin çözünürlüğü, detay seviyesi, elde edilecek yüzey özelliklerinin doğruluğunun ne kadar önemli olduğunu vurgulamıştır. Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle, Sayısal Yükseklik Modellerinden birçok jeomorfometrik parametre elde edilebilmektedir. Jeolojik zaman boyunca etkili olan farklı iklim koşulları yeryüzünde farklı yeryüzü şekillerinin meydana gelmesine neden olmakta ve yüzey şekilleri iklim koşullarının izlerini taşımaktadır. İklim koşullarına bağlı gelişen yeryüzü şekilleri, genel olarak buzul, buzul çevresi, kurak, rüzgâr, tropikal alanlardaki yeryüzü şekilleri olarak sınıflandırılmaktadır (Gutierrez ve Benito, 2005). Sonuç olarak, aynı iklim koşullarına sahip bölgelerde, benzer jeomorfolojik parametrelerin olması beklenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, jeolojik zaman boyunca özellikle Kuvaterner dönemi ve günümüz iklim koşulları etkisiyle oluşan yeryüzü şekillerinin etkili olduğu alanlara ait iklim sınıflarının, jeomorfometrik parametreler ile iklim ilişkisini ortaya koymaktır. Bu amaçla, bu alanlara ait jeomorfometrik parametreler ve iklim sınıflarından faydalanılarak, Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma yöntemi algoritmaları ile sınıflandırma analizleri yapılmıştır. Sınıflandırma analizleri kapsamında farklı alanlar için geliştirilen makine öğrenmesi modelleri test edilerek, sınıflandırma sonuçlarının performans ölçütleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, yeryüzü şekillerine ait jeomorfometrik parametreler; günümüz Köppen-Geiger iklim sınıfları üzerinden ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir.

Kuvaterner zaman dilimi, günümüzden 2,58 milyon yıl öncesinden başlamaktadır. Günümüzden 2,58 milyon yıl öncesi ve 11 bin yıl öncesi arasında kalan zaman dilimi Pleyistosen olarak tanımlanmaktadır. Günümüz ve 11.000 yıl öncesi arası, Kuvaterner, Holosen dönemi olarak bilinmektedir (Gradstein vd., 2012.; Walker vd., 2012; Cohen vd., 2013, Türkeş, 2013). Kuvaterner dönemi içerisinde Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde farklı iklim koşullarının egemen olduğu bilinmektedir. Pleyistosen döneminde yaşanan iklim değişiklikleri genel olarak buzul dönemleri ve buzul arası dönemler olarak tanımlanmaktadır. Pleyistosen dönemine ait bilinen en şiddetli buzullaşma dönemi günümüzden yaklaşık olarak 20-22 bin yıl önce yaşanan Würm Maksimumu, Son Glasiyel Maksimum (Son Buzul Maksimumu, LGM) olarak bilinir. LGM'de yüksek enlemlerde yer alan anakaraların çoğu buzullarla kaplanmıştır. Kuzey Amerika, Avrupa

ve Asya topografik olarak uygun olan bölgelerde buzullar, güney enlemlere yayılmıştır. Aynı zaman dilimlerinde, Türkiye’de yükseltinin fazla olduğu dağlık bölgelerde, Doğu Karadeniz Dağlarında, Toroslar Sıra Dağlarında, Uludağ, Erciyes, Süphan, Ağrı Dağı doruklarında Alpin tipi vadi buzulları ve takke buzulları geniş alanlar kaplamaktadır. Bu dağların kalıcı kar sınırları, günümüze göre aşağı sınırlardadır (Akçar ve Schlüchter, 2005; Bayrakdar ve Özdemir, 2010; Çiner, 2004; Doğu vd., 1993; Erinç, 1952a; Erinç, 1953; Erinç, 1978; Erlat, 2010; Erol, 1981; İzbirak, 1951; Kurter, 1991; Sarıkaya vd., 2011; Sarıkaya ve Çiner, 2015; Çiner, 2017; Turoğlu, 2011; Türkeş, 2013).

Holosen döneminde, LGM’ye göre daha sıcak iklim koşullarının etkisiyle buzulların geri çekilmeye başlaması sıcaklıkların daha yüksek olduğunu göstermektedir. Erken Holosen döneminde kuzey yarımkürede, sıcaklıklar düşük değerlerdeyken, sıcaklıkların arttığı zaman dilimlerine de rastlanılmıştır. Sıcaklıkların Erken Holosen dönemine göre daha yüksek olduğu dönem, Holosen Klimatik Optimum dönemi olarak adlandırılmaktadır (Türkeş, 2013). Geç Holosen döneminde kuzey yarım kürede daha ılıman koşulların etkili olduğu yaklaşık olarak milattan sonra 900-1450 yılları arasında Orta Çağ Sıcak Dönemi ve sonrasında 1450-1850 yılları arasında soğuk koşulların etkili olduğu Küçük Buzul Çağı dönemi gözlemlenmiştir (Türkeş, 2013).

Yapılan çalışmalara göre, günümüzde etkili olan kalıcı kar sınırı 3200-4000 m’lerde iken, LGM’de Türkiye’nin kıyı bölgelerinde 2200 m’lere, iç bölgelerinde 2800 m’lere, Doğu Anadolu bölgesinde 3200 m’lere kadar inmiştir (Erinç, 1971; Erinç, 1978; Çiner, 2003; Zreda vd., 2005; Sarıkaya vd., 2008a; Zreda vd., 2011; Sarıkaya, 2012; Turoğlu, 2015). İlerleyen zamanlarda kalıcı kar sınırının 2200 m’lere kadar alçalması, buharlaşmanın az olması, düşük sıcaklıklar, yağış miktarının artması, soğuk iklim koşullarının etkili olması ve topografik özelliklerle ilişkilidir (Flint, 1971; Turoğlu, 2011; Turoğlu, 2015).

LGM ve Holosen döneminde soğuk iklim koşullarının yaşanmasında günümüzden daha nemli iklim koşullarının varlığı, düşük sıcaklıkların etkili olması ve buharlaşmanın oldukça az olması etkili olmuştur. Düşük sıcaklık koşulları ve kış koşullarının yıl/yıllar boyu etkili olması ve buharlaşmanın oldukça az olması plüviyal süreçlerin yaşanmasında etkili olmuştur (Turoğlu, 2015).

Pleyistosen döneminde meydana gelen buzul ve buzul arası dönemlerde meydana gelen uzun süreli sıcaklık değişimleri, küresel iklim değişikliklerine neden olmuştur. Bu iklim değişikliklerinin şiddetleri ve etkileri yeryüzünün her tarafında aynı derecede meydana gelmemiştir. Sıcaklıklarda meydana gelen değişiklikler; bu alanların enlem derecelerine, jeomorfolojik farklılıklarına, karasallık koşulları gibi özelliklere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Alçak enlem bölgelerinin kurak ve yarı kurak alanlarında, soğuk iklim koşullarının etkili olduğu buzularası dönemlerinde atmosferik olayların değişmesi ile yağışın arttığı ve buharlaşmanın azaldığı koşullarda Plüviyal Devre olarak tanımlanmış nemli iklim koşulları etkili olmuştur (Turoğlu, 2015).

Genellikle plüviyal dönemlerde, buharlaşmanın azaldığı ve daha ılıman iklim koşulları nedeniyle yağış miktarının arttığı gözlenir. Bu durum kar erimesi veya artan yağış nedeniyle yeryüzünde artan su miktarının, buharlaşma ile azalan su miktarından daha fazla olmasına bağlı gelişen iklim koşullarının etkisiyle gerçekleşir (Erinç, 1971; Flint, 1971; Turoğlu, 2011; Turoğlu, 2015).

Türkiye'de buharlaşma ile su kaybının en az olduğu bölgelerde, yağış ve kar erimelerinin artmasıyla soğuk ve nemli iklim koşulları etkili olmuş, mevcut göl seviyeleri yükselmiş ve kapalı havzalarda yeni göller oluşmuştur. LGM'de, Kuzey Anadolu Dağları ve Torosların yüksek bölgeleri ile yüksek dağların olduğu alanlarda yağışlar kar şeklindedir. Ancak Türkiye'de genel olarak kış yağışları yağmur şeklinde meydana gelmiştir. Tüm bu yaşanan iklim koşullarının etkisi ile Türkiye'de yer alan mevcut göllerde su seviyesi yükselmiş ve farklı bölgelerde yeni göller meydana gelmiştir (Erinç, 1971; Flint, 1971; Erinç, 1978; Erol, 1972; Kuzucuoğlu ve Roberts, 1998; Roberts vd., 1999; Jones vd., 2007; Doğan, 2010; Turoğlu, 2011; Turoğlu, 2015).

Tuz Gölü, Van Gölü, Burdur Gölü, Suğla Gölü, Akşehir-Eber Gölleri, İznik Gölü, Acıgöl, Eğirdir Gölü, Beyşehir Gölü, Eski Konya Plüviyal Gölü Pleyistosen döneminin en büyük gölleri olarak bilinir. Bu göllerdeki tıraş seviyeleri, Geç Pleyistosen döneminde Türkiye'de minimum buharlaşma ve yüksek göl seviyelerine işaret eden soğuk ve nemli iklim koşullarının jeomorfolojik kanıtlarıdır (Bilgin, 1959; Sungur, 1967; Cohen ve Erol, 1969; Erinç, 1969; Erinç, 1971; Erol, 1972; Sungur, 1978; Erinç, 1978; Erol, 1979; Roberts vd. 1979; Erol, 1981; Turoğlu, 2015).

Günümüz iklim koşullarının belirlenmesi ve iklimin bölgesel değişiminin değerlendirilmesi için çeşitli parametreler ve tanımlamalar kullanılarak birçok araştırmacı tarafından çeşitli İklim Sınıflandırma Yöntemleri geliştirilmiştir. İklim sınıflandırma araştırmaları 1870 yılında botanikçi Vladimir Köppen tarafından sıcaklık, yağış ve bitki örtüsüne bağlı olarak Köppen İklim Sınıflandırma Sistemi olarak adlandırılan sınıflandırma yöntemi ile başlamıştır (Rohli ve Vega, 2018). İlerleyen dönemlerde farklı iklim sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Köppen tarafından 1918 yılında geliştirilen ve Rudolf Geiger tarafından güncellenen iklim sınıflandırma yöntemi Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemi olarak bilinmektedir (Köppen, 1918; Köppen, 1936; Köppen ve Geiger, 1954; Yılmaz ve Çiçek, 2019). İlerleyen zamanlarda; De Martonne (1942), Thornthwaite (1948), Strahler (1951), Emberger (1955), Holdridge (1947) ve Trewartha (1954) gibi birçok araştırmacı da çeşitli iklim parametrelerini kullanarak, farklı iklim sınıflandırma yöntemleri geliştirmişlerdir (Yılmaz ve Çiçek, 2018; Baykal ve Çolak, 2022).

Türkiye'nin iklim koşulları farklı araştırmacılar tarafından Köppen, Köppen-Geiger, Thornthwaite, Trewartha yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır (Erinç, 1949; Erinç, 1950; Erinç, 1965; Ertürk ve Bayar, 1984; Aydeniz, 1985; Sezer, 1988; Çiçek, 1996). Yakın zaman diliminde Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemi kullanılarak, Türkiye'nin iklim koşullarının detaylı olarak sınıflandırıldığı ve bu iklim sınıflarındaki zamansal değişimlerin araştırıldığı çalışmalar yapılmıştır (MGM, 2016; Bölük, 2016; Yılmaz ve Çiçek, 2016; Öztürk vd., 2017; Yılmaz ve Çiçek, 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019).

Öztürk vd. (2017) çalışmalarında, Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre, Türkiye'nin iklim sınıflarını belirlemişlerdir. Bu çalışmaya göre, Türkiye'de Köppen-Geiger iklim sınıflarından Kurak (B), Ilıman (C) ve Soğuk (D) olmak üzere üç ana iklim sınıfı gözlemlenmektedir. Bu iklim tipleri arasında en yaygın olarak C iklim sınıfı, ikinci sırada D iklim sınıfı gelirken, daha az gözlemlenen ise B iklim sınıfıdır. Bu iklim tiplerinin bölgesel olarak dağılımları incelendiğinde, C iklim sınıfı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde; D iklim sınıfı, Orta Toroslar, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nin yüksek kesimlerinde, B iklim tipi, İç Anadolu Bölgesi'nde geniş bölgelerde gözlemlenmektedir (Öztürk vd., 2017; Yılmaz ve Çiçek, 2018).

Bu tez kapsamında; Türkiye’de tipik olarak gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıflarının etkili olduğu alanların jeomorfolojik özelliklerini temsil eden jeomorfometrik parametreler kullanılarak iklim koşulları, Rastgele Orman (Random Forest-RF), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine-SVM) ve K En Yakın Komşular (K-Nearest Neighbors-KNN) denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır (Breiman, 2001; Cortes ve Vapnik, 1995; Cover ve Hart, 1967). Bu sınıflandırma algoritmaları kullanılarak, jeomorfometrik parametreler yardımıyla makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. Böylelikle farklı iklim koşullarının etkili olduğu alanlardan seçilen örneklem noktalarına ait iklim sınıfları belirlenmiştir. Bu iklim sınıfları ve jeomorfometrik parametreler kullanılarak makine öğrenmesi sınıflandırma analizleri yapılmıştır. Jeomorfometrik parametreler kullanılarak iklim sınıflarının ayırt edilebilirliği elde edilen sınıflandırma sonuçlarının başarı ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

1.1. Araştırma Soruları

Bu çalışmanın araştırma sorularını;

- ✓ Jeomorfometrik parametreler yardımıyla, iklim sınıfları ayırt edilebilir mi?
- ✓ Jeomorfometrik parametreler kullanılarak Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma yöntemi ile iklim sınıfları gruplandırılabilir mi?
- ✓ İklim sınıfları bilinmeyen alanlar için, jeomorfometrik parametreler kullanılarak eğitilen makine öğrenmesi modelleri ile iklim sınıfları belirlenebilir mi? oluşturmaktadır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Tez kapsamında kullanılan iklim sınıflandırma yöntemi, Kuvaterner dönemi iklim koşulları ve jeomorfolojik süreçlerle ilgili yapılan araştırmalar ile önceki çalışmalarda kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ele alınmıştır.

Lasantha vd., (2022); veri odaklı yöntemler kullanarak tanımlanan iklim bölgeleri ile Köppen-Geiger kural tabanlı sınıflandırma yöntemini karşılaştırılmıştır. Dünya’nın iklim bölgelerini objektif olarak tanımlamak için kümeleme analiz yöntemini kullanmışlardır. Çalışmaları kapsamında k-ortalamalar, ISODATA ve RF üç farklı kümeleme algoritması yöntemlerini 10 iklim değişkeni ve yükseklikten oluşan bir veri setine uygulamışlar ve elde ettikleri sonuçları, Köppen-Geiger sınıflandırma sisteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Elde edilen iki farklı sonuca göre, bazı iklim bölgelerinin özellikle tropik bölgeler, çöller ve kutup bölgeleri benzer sonuçlar vermiştir.

Kullandıkları sınıflandırma yöntemiyle, Köppen-Geiger sınıflandırma yönteminde tanımlanamayan yeni iklim bölgeleri tanımlamışlar ve Köppen-Geiger sınıflandırmasında iyileştirmeler yapılması gerektiğini önermişlerdir.

Kottek vd., (2006); Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemini sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak, Dünya geneli iklim sınıflandırma haritası güncellemişlerdir. Güncelledikleri iklim sınıflandırma haritası 1951-2000 yılları arasındaki dönemi kapsayan ve aylık olarak meteoroloji istasyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağış verilerini kapsamaktadır.

Rubel ve Kottek, (2010); meteoroloji istasyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak global ölçekte Köppen-Geiger iklim sınıflandırma haritasını güncellemişlerdir. Önceki global sınıflandırmalar ile hazırlamış oldukları haritayı karşılaştırmışlar ve genel olarak Köppen-Geiger iklim sınıflarındaki değişimleri değerlendirmişlerdir.

Bir başka çalışma, uzun süreli aylık yağış ve sıcaklık istasyonlarına ait zaman serilerini içeren küresel bir veri seti ve Köppen Geiger iklim sınıflandırma sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş iklim sınıflandırmasıdır. Sıcaklık ve yağış verilerine göre çalışmalarında kullandıkları meteoroloji istasyonlarının konumları için Köppen-Geiger iklim sınıflarını hesaplamışlardır. Meteoroloji istasyonları için hesaplamış oldukları iklim sınıflarını enterpolasyon yöntemlerini kullanarak tüm Dünya geneli iklim sınıflandırmasını yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada meteoroloji istasyonlarının az olduğu bölgeler ve dağlık bölgeler için enterpolasyon yöntemini kullanırken sıcaklık ve yağış parametrelerine ek olarak yükseklik parametresinin eklenmesini önermişlerdir. Eklenecek yükseklik parametresi Köppen-Geiger iklim sınıflarının sınıflandırılmasında daha iyi sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, küresel ölçekli ve yüksek çözünürlüklü iklim sınıfları haritası elde edilmiştir (Peel vd., 2007).

Beck vd., (2018); Köppen Geiger iklim sınıflandırma yöntemi ile sıcaklık ve yağış verileri kullanarak, 1980-2016 yılları arası yüksek çözünürlüklü iklim sınıfı haritasını ve gelecekteki 2071-2100 yılları arasındaki iklim sınıflarını sınıflandırmışlardır. 1980-2016 yılları arasındaki iklim sınıflandırma haritasını topografik düzeltmesi yapılmış iklim sınıfları haritasından elde etmişlerdir. 2071-2100 yılları arası iklim sınıfı haritasını farklı 32 adet iklim modeli projeksiyonuna göre tahmin edilen iklim değişikliği farklılıklarını

içeren iklim sınıfı haritalarını kullanarak elde etmişlerdir. Daha sonra, Beck vd., (2018) çalışmalarında elde ettikleri iklim sınıflandırma haritasını, 2023 yılında geçmiş tarih aralıkları Köppen-Geiger iklim sınıflarını topografik olarak düzeltilmiş iklim veri setlerini kullanarak hazırlamışlardır. Geçmiş sınıflandırma haritalarına ek olarak projeksiyon aralıkları ile gelecek zaman dilimleri için Köppen-Geiger iklim sınıflandırma haritalarını hazırlamışlardır (Beck vd., 2023).

Chen ve Chen, (2013); Köppen iklim sınıflandırma yöntemini çeşitli farklı iklim koşullarında meydana gelen değişiklikleri belirlemek için kullanılabilecek bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları analiz sonuçlarına göre 1901-2010 yılları arasında meydana gelen iklim değişikliğinin en belirgin olduğu iklim sınıfının E sınıfı iklim sınıfı olduğunu belirtmişlerdir. 1980'li yılların başlangıcından itibaren E sınıfı iklim sınıfında, alansal olarak azalma gerçekleşmiş ve B sınıfı iklimlerde belirgin bir şekilde artış gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Belirli zaman aralıklarında, alansal olarak çok değişim göstermeyen iklim sınıflarını da belirlemişlerdir. E sınıfı iklim koşullarının etkili olduğu alanlarının azalmasını, B sınıfı iklim sınıfı koşullarının etkili olduğu alanların artmasının nedenlerini, yağış rejiminde meydana gelen bölgesel değişiklikler ve küresel iklim değişikliği etkisi ile küresel ısınma koşullarına bağlı olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Ünal vd., (2003); kümelenme analiz yöntemini kullanarak, Türkiye'nin iklim bölgelerini sınıflandırmışlardır. 113 ölçüm noktasına ait 1951-1998 yılları arasında ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinden ve toplam yağış değerlerinden hiyerarşik kümelenme analiz yöntemi kullanarak, yedi farklı iklim bölgesi belirlemişlerdir. Belirlenen iklim bölgeleri bölgesel iklim bölgelerine ait sınırlardan oldukça farklılıklar gösterdiği sonucunu elde etmişlerdir.

Erturaç ve Kıyak, (2017); Yeşilirmak Nehri'nin Çekerek Irmağı ile birleştiği Geldingen Ovası'nın (Amasya) güney kesiminde yer alan iki akarsuyun kenarında bulunan üç basamaktan oluşan taraça sisteminin gelişim sürecini araştırmışlardır. Bu taraçalara ait depolanma/aşınma dönemlerinin, Türkiye ve yakın çevresinde gerçekleştirilen iklim değişikliği kayıtlarına ve Karadeniz seviye değişimleri ile karşılaştırarak, inceleme alanındaki taraça oluşumunun LGM içerisinde Doğu Akdeniz için tanımlanan yağışlı/kurak dönemlerle uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada, Yeşilirmak ve Çekerek taraça sistemlerinden alınan örnekler Optik Uyarımlı Lüminesans

(OSL) yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. OSL yöntemine göre, hesaplanan örnek yaşları farklı zaman dilimlerindeki aşınma, depolanma dönemlerine karşılık geldiği bulunmuştur. Ayrıca, taşkın ovasının aşınma dönemi belirlenmiştir.

Türkmenoğlu, (2020); Meriç Nehri'nin Kapıkule'den Ege Denizinin döküldüğü deltasına kadar olan bölümünde, 1947-2018 yılları arasında akarsu yatağında meydana gelen değişimleri Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile belirlenmesine yönelik analizler yapmıştır. Çalışma kapsamında, veri kaynağı olarak farklı tarihli uydu görüntüleri ve haritaları dere yatağında 1947-1975 yılları arasında önemli değişimler olduğunu, 1975 yılından sonraki verilere göre yapılan analizlerde ise yatak değişiminin azaldığını belirlemiştir. Yapılan analizler sonucunda, 2009-2018 yılları arasında değişim farkının yok denecek kadar az olduğunu belirlemiştir.

Görendağlı, (2011); Sarıhıdır-Çiftedam yerleşmeleri ile sınırlandırılmış Kızılırmak nehrine ait taraçaların oluşumunda iklim ve tektoniğin rollünü açıklamıştır. Bölgede bulunan taraçaların alansal, morfometrik dağılışılarının yanı sıra, sedimantolojik ve stratigrafik özelliklerini değerlendirmiş ve bölgede yapılan araştırma sonuçlarından yararlanarak taraçalara ait yaş korelasyonu yapılmış ve vadinin gelişim süreci değerlendirilmiştir. Çalışma alanında toplam altı taraça tespit edilmiş en üst seviye dışındaki taraçaların Orta ve Geç Pleyistosen'e ait olduğu ve taraçaların yaşlarının karşılık geldiği oksijen izotop kronolojisindeki konumları değerlendirilerek nehir yatağının sıcak-soğuk iklim geçişlerinde ve/veya soğuk dönemlerde gerçekleştiği belirtilmiştir. Bölgenin tektonizmaya bağlı olarak yükselirken bir taraftan da sıcak soğuk iklimsel değişimlerinin neden olduğu kazılma-birikme döngülerinin nehrin taşımış olduğu sediman miktarı ve su potansiyelini etkileyerek flüvyal depoları şekillendirdiğini belirtmiştir.

Doğan vd., (2020); Kızılırmak vadisinin Kapadokya yöresinde Gülşehir-Tuzköy arasında kalan T1'den (en yaşlı) T15'e (en genç) kadar numaralandırılan 15 seki basamağından T13 sekisini Denizel İzotop Katı (DİK) 6 sırasında Kızılırmak Nehri'nin iklim değişimlerine karşı davranışlarını saptamayı amaçlamışlardır. Sekiden alınan kum örnekleri pIRIR290 yöntemiyle yaşlandırılarak yaklaşık olarak 148, 154, 159 bin yıl öncesi olarak tarihlendirilmiştir. Elde ettikleri verilere göre T13 sekisinin seki depolarının birikimi öncesinde ana vadi oluşumunun DİK 7 ve 6 (sıcak-soğuk) iklim geçişinde olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada T13 sekisine ait depolanmaların yarılması DİK 6'nın

sıcak periyodu sonunda başlamış ve DİK 6'nın tam glasyal periyodunda tamamlanmış olduğu belirlenmiştir.

Gürgen, (2019); Kuzey Anadolu Dağları'nın doğu kesiminin, Pleyistosen buzullaşmalarının en etkili olduğu ve özellikle 2500 metreden yüksek kısımlarda kayda değer bir buzullaşma alanının olduğunu belirtmiştir. Doğa Karadeniz Dağları'nın yüksek dorukları; Kaçkar, Verçenik, Tatos (Dilek), Bulut-Altıparmak ve Göller (Hunut) dağlarında özellikle kuzeye bakan yamaçlarda bulunan buzullar ve buzul topoğrafyası gözlemlenmekte olduğunu belirtmiştir. Bu yamaçların güneye bakan yamaçlarında da dikkat çekici bir buzullaşma etkisi ve buzul topoğrafya, hatta sirk buzulları gözlemlenmekte olduğunu ve Pleyistosen döneminde Tatos Dağı'nın (3350 m.) güney kesiminde önemli bir buzullaşmanın meydana geldiğini belirtmiştir.

Hughes ve Woodward, (2017); Akdeniz dağlarında Pleistosen döneminde meydana gelen buzullaşma süreçleri üzerine yapılan çalışmaların tarihçesini, son zamanlarda yapılan ayrıntılı jeomorfolojik haritalama ve jeokronolojik veri setleri dahil olmak üzere bu çalışmaların derlemesini yapmışlardır. Bu çalışmada, yapılan buzul araştırmalarının geçmişte meydana gelen iklim koşullarının araştırılmasına önemli katkılar sağlayacağı belirtilmiştir. Ayrıca buzullaşmaya bağlı gelişen yeryüzü şekillerinin araştırılması bu süreçte yaşanan iklim koşullarının araştırılması için önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Şimşek vd., (2019); büyük bölümü Jura-Kretase ve Permien karbonatlı kayalardan oluşan Geyik Dağı, Pleyistosen buzullaşmalarından büyük oranda etkilenmesine bağlı olarak buzullaşma ve karstlaşma ilişkisine göre kütle üzerinde polijenik jeomorfolojinin ortaya konulmasını amaçlamışlardır. Bölge de en önemli yüzey kart şekilleri dolin ve uvalalar, en önemli buzul şekillerini ise sirkler ve moren depoları oluşturmaktadır.

Berndt vd., (2018); Kızılırmak nehrinin Karadeniz'e döküldüğü Bafra ve çevresinde Karadeniz'deki deniz seviyesi değişimleri ile meydana gelen denizel ve akarsu taraçalarını yaşlandırarak bölgede halen devam eden Pontid orojenik kuşağının evrimini ve Orta Anadolu Platosunun kuzey kenarının büyümesini yorumlamışlardır. Çalışmalarında yüksek çözünürlüklü topografik verileri, taraça yaşlandırmalarını ve geçmiş deniz seviyesi verilerini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında Pontitler boyunca belirli bir yükselme oranı belirlemişlerdir. Bölgedeki yükselmeye en uygun model son

545 bin yıl içerisinde 0,28 m/bin yıl olarak modellenmiştir. Bu yükselme modeli aktif tektonik süreçler ile iklim kontrolünde olan deniz seviyesi değişimlerinin birbirleri ile oluşturdukları döngüleri doğrultusunda meydana gelen taraçaların evrimini açıklamaktadır.

Siler ve Şengül, (2016); çalışma alanında bulunan yapısal yeryüzü şekillerinin özelliklerini ve İdil kuzeyinde yer alan Dicle Nehri ve Cehennem Deresi vadilerinin jeomorfolojik özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında bölgenin yeryüzü şekillerinin oluşumunda etkin rol oynayan süreçlerin açıklanması için çeşitli arazi gözlemleri ile bölgenin jeolojik özelliklerini göz önünde bulundurarak bölgenin jeomorfolojik gelişimi hakkında farklı çıkarımlar yapmışlardır.

Özpolat vd., (2020); Büyük Menderes Graben Sistemi için Kuvaterner arazi haritasını, 12,5 m çözünürlükte uydu görüntüsü, bölgenin kırmızı kabartma görüntü haritası, insansız hava aracı ölçümleri, Google earth görüntüleri ve saha çalışmaları ile ilişkilendirerek hazırlamışlardır. Elde edilen arazi haritası ile alüvyal fanlar, akarsu taraçaları ve taşkın yatakları yaygın olarak gözlemlenmiştir. Alüvyal yelpaze kalıntıları, modern alüvyal yelpazeler, akarsu taraçaları, koliviyal yelpazeler, taşkın yatakları ve mendereslerin kıvrımlı yapıları, heyelanlar, kıyı kumulları, bataklıklar ve eski kıyı çizgileri çalışma alanında gözlemlenmiştir.

Erturaç vd., (2019); Güney Karadeniz Havzasının en büyük akarsu sistemlerinden biri olan Sakarya Nehrinin, KAF'nın güneyinde meydana gelen sürekli yükselmeden ve nehrin aşındırmasından kaynaklanan üç basamaklı taraça sisteminin yaşlandırılarak Adapazarı Havzası güneyinde yer alan çalışma alanında Sakarya Nehrinin yatağında meydana gelen erozyon ve çökme dönemlerini belirlemişlerdir. Yaptıkları yaşlandırmalar sonucunda Geç Pleyistosen boyunca Karadeniz'in deniz seviyesindeki ve hidrolojik sistemlerde meydana gelen değişiklikleri tanımlamışlardır. LGM'de çökmeyi tanımlayan en yüksek taraçayı tanımlamışlar. LGM döneminden önce başlayan uzun vadeli erozyon aşınma döneminin ardından çökelmenin başlaması Holosen boyunca günümüzden 1,8 bin yıl öncesine kadar devam etmiştir. Çalışma alanının Holosenden günümüze kadar geçirdiği morfolojik evrimi, hidrolojik sistemi etkileyen tarihsel iklim değişimleri ile ilişkilendirmişlerdir.

Çiner, (2003); Türkiye'nin güncel buzulları ve Geç Kuvaterner buzullaşmasına bağlı olarak gelişen çökellerin Toros Dağları, Doğu Karadeniz Dağları, Volkanik ve Anadolu'nun bağımsız dağları olmak üzere üç ana gruptan oluştuğunu belirtmiştir. Türkiye'nin güncel buzulları, buzul tipleri ve buzul çökellerine ait daimî kar sınırları yeniden belirlenmiştir. Türkiye'de bulunan güncel buzullar, tekne vadiler ve moren depolarının varlığı Kuvaterner dönemi buzullaşmasının göstergesi olduğunu belirtmiştir. Az aşınma, toprak örtüsü, yüksek eğim gibi nedenlerle, nispeten genç olduğu anlaşılan moren depolarının LGM çökellerini üzerlemesi ve daha da aşağı kotlara inmesi iklim koşullarının çok daha nemli olduğu iklim koşullarında gerçekleştiği söylenmiştir. Çalışmada güncel buzulların yer aldığı önemli dağlara ait bilgilerde paylaşılmıştır.

Sarıkaya vd., (2008b); Türkiye'nin güneybatısındaki en eski buzul dağı olan Sandıras Dağında oluşan morenlerden numuneler alınarak yapılan yaşlandırmalar ile çalışma alanının buzul kronolojisini belirlemişlerdir. Sandıras Dağındaki buzul faaliyeti LGM dönemi ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma alanındaki maksimum buzullaşmanın günümüzden 20,47 bin yıl önce buzulların geriye çekilmeye başladığı ve bölgedeki en geniş morenlerin çökmeye başladığı zaman meydana geldiğini tanımlamışlardır. Bölgedeki buzulların 19,67 bin yıl önce tekrar ilerlemişler ve 16,27 bin yıl önce geri çekildiklerini belirtmişlerdir. Doğu Akdeniz'deki buzul modellemeleri ve paleoiklim verileri kullanılarak LGM dönemi sırasında sıcaklıklar 8,5-11,5 °C olduğunu ve yağışın günümüzden 1,9 kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Sarıkaya vd., (2009); Erciyes Dağında yer alan iki buzul vadinde bulunan morenlerden almış oldukları 44 adet numuneyi kozmojonik yaşlandırma yöntemlerini kullanarak yaşlandırmışlar ve bölgenin 22 bin yıllık zaman diliminde dört farklı buzul faaliyeti olduğunu belirtmişlerdir. LGM dönemine ait buzullarının 6 km uzunluğa kadar ulaşmış ve deniz seviyesinden 2150 m yüksekliklere kadar inmiştir. Bu buzullar günümüzden 21,3 bin yıl öncesinde geri çekilmeye başlamışlardır. Bu buzullar 14,5 bin yıl öncesinde Geç Buzul döneminde ve 9,3 bin yıl öncesinde Erken Holosen'de yeniden ilerlemiş ve geri çekilmişlerdir. En son buzul ilerlemesi ise 3,8 bin yıl önce Geç Holosen'de gerçekleşmiştir. Bölgede yapmış oldukları buzul modellemesi ve paleoiklim kayıtları ile dört farklı zaman diliminde bölgenin paleo iklimini yeniden yapılandırmışlardır. LGM'de bölgenin günümüzden 8-11 °C soğuk olduğu, Geç Buzul Döneminin günümüzden 1,5 kat kadar daha yağışlı olduğu ve 4.5-6.4 °C daha soğuk

olduğunu, Erken Holosende 2,1-4,9 °C daha soğuk olduğunu ve günümüzden iki kat kadar nemli olduğunu ve Geç Holosende ise 2,4-3 °C daha soğuk ve yağış miktarının günümüz koşulları ile benzer olduğunu belirtmişlerdir.

Sarıkaya ve Çiner, (2015); son yıllarda Türkiye dağlarındaki eski buzul çökellerinden kozmojenik yüzey tarihlendirmesiyle elde edilen Geç Pleyistosen buzul kronolojilerini ele almışlardır. Yapılan çalışmalara genel bir bakış açısı getirerek, buzullaşma zamanları ve paleoiklim hakkında bölgesel çıkarımlar sunmuşlardır. Türkiye’de toplam 27 bölgede buzullar gelişmiş ve bu alanlardan şimdiye kadar 9 farklı dağlık bölgeden 364 adet kozmojenik yüzey örneği alınımı ve yaşlandırılmıştır. Geç Pleyistosen MIS 4 (71 bin yıl önce) başlayarak MIS 3 (29-35 bin yıl önce) sonuna kadar devam ettiği düşünülmekte olup bu zaman diliminden sonra buzulların daha da ilerleyerek en geniş boyutlarını 21 bin yıl önceki LGM sırasında ulaşmışlardır. Bu zaman diliminden sonraki zaman dilimlerinde iklim koşullarında meydana gelen ısınmalar nedeniyle artmasıyla buzullar küçülmüştür. Geç Buzul ve Genç Dryas dönemlerinde zaman zaman duraksamışlar ve bazen de ilerleyerek ait oldukları dönemlerde oluşturdukları morenleri yapılarını oluşturduklarını belirtmişlerdir. İklimin günümüz koşullarına yaklaştığı Holosen’de ise (son 11,7 bin yıl) sadece çok yüksek dağlarda (>3500 m) buzulları görmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Bu değerlendirmelerle jeolojik süreçlerdeki hava sıcaklıklarını günümüz hava sıcaklıklarıyla ilişkilendirmişlerdir.

Çiner vd., (2015); Doğu Akdeniz’de yer alan Geyik Dağında bulunan Susam Vadisi ve Namaras Vadisinden alınan otuz dört örnek kozmojenik yaşlandırmaları yapılmış ve elde edilen yaşlar sonucunda Geç Pleyistosen meydana gelen üç buzullaşma dönemini yansıtmaktadır. Morenlerden alınan numunelerin yaşlarına göre en eski buzul gerilemesi Namaras Vadisinde LGM döneminin sonlarına doğru 18 bin yıl önce meydana geldiğini, bölgede bulunan yanal morenler aynı bölgesel geç buzul döneminin sonlarını temsil etmelerine rağmen yanal morenler Geç Buzul döneminde 14 bin yıl öncesinde geri çekilmeye başlamış ve Holosen dönemi ortalarında yavaş yavaş ortadan kaybolmuşlardır. Susam Vadisinden alınan numunelerden en yaşlı numuneye ait yaş dikkate alındığında Susam Vadisi buzulunun LGM döneminin sonlarından 17 bin yıl öncesi ve Geç Buzul Dönemi 14 bin yıl öncesi olarak tanımlamışlardır. Geyik Dağı bölgesinde yaptıkları

çalışmadan elde ettikleri buzul kronoloji Türkiye ve Akdeniz de yaşanan buzul kronolojisi ile uyumluluk göstermiştir.

Çiner ve Sarıkaya, (2017); Türkiye'nin güneyinde yer alan Bolkar Dağlarında yapmış oldukları çalışmalarında Kuvaterner buzul jeokronolojisini tanımlamışlardır. Çalışma alanlarında yer alan üç buzul vadisinden otuz örneğin kozmojenik yaşlandırmaları sonucunda dört farklı buzul dönemi tanımlamışlardır. Bu buzul dönemlerinden en yaşlısı olan 46 bin yıl yaşlı Karagöl vadisidir. Sonrasında günümüzden 18,9 bin yıl öncesinde LGM dönemi sırasında buzulların maksimum ilerlemeleri gerçekleşmiştir. Alagöl ve Elmalı vadilerinde yer alan LGM morenleri günümüzden 15,2-12,6 yılları arasında yaşlıdır. Çalışma alanındaki son buzullaşma erken Holosen döneminde Karagöl vadisinde 9 bin ve Elmalı vadisinde ise 8,5 bin yıl öncesinde başladığını belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalarından elde edilen bölgesel buzul dönemi tarihsel sıralaması Türkiye ve Akdeniz de yaşanan buzul dönemi tarihsel sıralaması ile uyumlu çıkmıştır.

Akçar vd., (2014); Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Uludağ'ın doğusunda yer alan Karagöl Vadi sisteminde yer alan buzul çökellerinin buzul tarihlendirmesini alınan 42 adet numuneyi yaşlandırarak gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada buzulların 20,4 bin yıl öncesi LGM dönemi ilerlemesini ve 18,6 bin yıl öncesine kadar üç yeni buzul ilerlemesini tanımlamışlardır. Uludağ Karagöl Vadisinde meydana gelen buzullaşmaların yaşları ile Anadolu, Akdeniz dağlarında ve Alplerde meydana gelen buzullaşma süreçleri ile ilişkili olduğunu tanımlamışlar ve bu buzul dalgalanmalarının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) kış indekslerinin farklı evrelerinde meydana gelen atmosferik değişim modelindeki değişikliklerle açıklamışlardır.

Sarıkaya vd., (2014); Türkiye'nin güneybatı kıyısında yer alan Akdağ Dağında bulunan üç buzul vadisinden almış oldukları 41 adet moren numunesini yaşlandırarak Akdağ Dağı'nın buzullaşma sürecini tanımlamışlardır. Bölgedeki buzullar deniz seviyesinden yaklaşık olarak 2000 m yükseklikte yer almaktadır. Bu buzullar günümüzden 35,1 bin yıl önce LGM öncesinde en geniş konumlarına ulaşmışlardır. Bölgedeki buzullar global LGM sırasında yeniden ilerlemişler ve en uzak konumlarına günümüzden yaklaşık olarak 21,7 bin yıl öncesinde ulaşmıştır. Bu evreden sonra buzullar günümüzden 15,1 bin yıl önce Geç Buzul Çağı sırasında geri çekilmişler ve belirli bir dönemde sabit koşullarda kalmışlardır. Doğu Akdeniz'de etkili olan buzul modellemesi

ve paleoiklim verileri ile LGM sırasındaki sıcaklığın günümüz sıcaklığından 8-11 °C daha soğuk olduğu durumda yağışların günümüzden iki kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Bayrakdar, (2018); Tekeli Dağı ve çevresinde meydana gelen buzullaşma alanının jeomorfolojik, klimatolojik özelliklerini ve Tekeli Dağı'nın Pleyistosen döneminden sonra gerçekleşen jeomorfoloji gelişimi açıklamaya çalışmıştır. Çalışma alanında meydana gelen buzullaşmanın rekonstrüksiyonunu bölgede bulunan buzul vadileri, sirk yapıları gibi buzul aşınımı şekilleri ve farklı moren yapılarla morfolojik temelli yöntem kullanmıştır.

Yalçın, (2017); Geçmişten bu yana, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanarak Ağrı Dağı'ndaki iklim parametreleri ve buzul takkesi sınırları ilişkisinin incelenmesini ve gelecek için buzul değişim tahminleri ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada Landsat uydu görüntüleri ve farklı bant oranlama teknikleri kullanılarak buzul değişiminin kapladığı alanı belirlemiştir. Yapmış olduğu analizler sonucunda buzul alan değişimlerini belirlemişler ve gelecekte buzulda meydana gelecek azalmanın tahminine yönelik bilgiler ortaya çıkartmıştır.

Geçen ve Varol, (2017); Cilo Dağı üzerinde yer alan aktif buzul kütlesinin alansal değişimini UA ve CBS kullanarak incelemişlerdir. Çalışma kapsamında Landsat uydu görüntüleri bant oranlama tekniklerini kullanılarak 1937-2016 yılları arasında Cilo Dağındaki farklı buzul kütlelerinin alansal değişimini belirlemişlerdir.

Öztürk vd., (2021); Anadolu'da bulunan buzul jeomorfolojisine ait sirk göllerinin belirlenmesine yönelik literatür eksikliğini gidermek amacı ile Anadolu'da bulunan sirk göllerinin dağılımlarını UA ve CBS yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. 28 farklı bölgede toplamda 660 adet sirk gölü belirlemişlerdir. Belirledikleri sirk göllerinin %77'si Doğu Karadeniz dağlarında olup sirk gölü/sirk sayısı oranını ise %30 olarak belirlemişlerdir. Batı ve Orta Toroslarda ise buzullaşmaya uğramış birçok kütle ve sirk yapısı olmasına rağmen sirk gölü sayısının az olduğunu ve birçok kütle üzerinde sirk gölünün bulunmadığını belirlemişlerdir. Bu farklılığın litolojik koşullardan kaynaklandığını Batı ve Orta Toroslar'daki buzullaşmaya uğrayan alanların karstik birimlerden oluştuğu Doğu Karadeniz Dağlarında ise karstik olmayan volkanik ve intrusif birimlerden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Geçen vd., (2018); Ülkemizde aktif buzulların bulunduğu Karadeniz Dağları Türkiye’de buzullaşmanın görüldüğü sahlardan biridir ve Pleyistosen’de buzullar tarafından meydana getirilen birçok buzul şekli (buzul vadileri, buzul gölleri, sirkler vb.) yer almaktadır. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Dağlarında yer alan buzul gölleri ve temel özellikleri konu alınmış ve çalışma alanında yer alan buzul gölleri tespit edilerek haritalandırılmıştır. Haritalandırılan göllerin dağılışı ve yoğunluğu, yükselti, bakı ve litolojik birimlere göre dağılışı, göllerin morfometrik özellikleri (alan, çevre, dairesellik vb.) hesaplanmıştır.

Çılğın ve Bayrakdar, (2017); Sivas Kızıldağ’ın kuzeybatı-güneydoğu bölgesinde uzanan bölgede sirk ve morenlerin varlığını belirleyerek buzullaşmanın delillerini açıklamışlardır. Yaptıkları çalışmada 9 adet sirk ve bu sirklerin önlerinde cephe ve yan morenleri belirlemişlerdir. Kızıldağ’da meydana gelen buzullaşmanın vadi buzullaşması olmadığını sirklerle karakterize olmuş ve Pirene Tipi Buzullaşma tipi karakteristik özelliklerine sahip olduğunu açıklamışlardır. Aynı zamanda Kızıldağ içi kalıcı kar sınırının 2655 m olduğunu belirlemişlerdir.

Yeşilyurt vd., (2018); Türkiye’nin beşinci büyük buzullaşma alanı olana Kavuşşahap Dağları’nın merkezinde bulunan Narlıca Vadisinin morfolojik özelliklerini, vadi morfolojisini, moren yapılarını arazi çalışmaları, uzaktan algılama ve sayısal fotogrametriyi kullanarak belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında Narlıca Vadisi’nin paleo buzul modelini oluşturmuşlar ve maksimum buzullaşma döneminde bölgenin kalıcı kar sınırını hesaplamışlardır. Bölgede bulunan morenleri 9 gruba ayırmışlar ve bu morenlerin 30’dan fazla ardışık sırttan oluştuğunu belirlemişlerdir. Narlıca paleo buzulunun maksimum genişliğine ulaştığında kalıcı kar sınırının günümüzden 900-1250 m düşük olduğunu ve iklim koşullarının 8-11 °C daha soğuk olduğunu belirlemişlerdir.

Turoğlu, (2015); Anadolu’nun Kuvaterner dönemini jeomorfolojik verilerden iklimik çıkarımların yapılması ve sonuçları Anadolu’nun Kuvaterner paleo klimatolojisini anlamaya yönelik olarak birbirleri ile ilişkilendirilmesini yaparak Anadolu’da meydana gelen iklim değişikliklerinin genel olarak atmosfer sirkülasyonu, basınç sistemleri ve diğer hava olaylarının yanı sıra, Anadolu’nun bulunduğu enlem aralığı, denizsellik ve karasallık derecesi, yükselti, bakı ve engebelilik gibi coğrafi özellikleri ile belirlenmiş olduğunu açıklamıştır. Çalışma kapsamında buzullar, plüviyal

göller ve flüviyal jeomorfolojik verilerden yararlanarak Anadolu'nun paleoiklimi hakkında çıkarımlarda bulunmuştur.

Gözükara vd., (2019); Burdur Gölünde 1975-2017 yılları arasında kuraklığa bağlı meydana gelen seviye değişimlerini belirleyerek göl seviyesinde meydana gelen değişimin iklimsel parametreler ile ilişkilendirmişlerdir. Göl seviyesinde meydana gelen değişimi için en güçlü ilişkinin sıcaklık ve buharlaşma arasında olduğunu belirlemişlerdir.

Karadoğan ve Kavak, (2017); yeryüzü şekillerinin bölgesel olarak iklimde meydana getirecekleri değişiklikleri belirlemek amacıyla Diyarbakır havzasında söz konusu koşulların iklim üzerindeki etkilerini belirlenmesi amacıyla UA tekniklerini kullanarak litolojik faktörlerin ve baskın hava kütleleriyle birlikte orografik faktörlerin farklı yer ışıması ve fön olaylarına bağlı olarak Diyarbakır havzasında kısa mesafeler içinde farklı iklim koşullarının ortaya çıkmasına neden olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında 7 Nisan 2010 tarihli gece ve gündüz saatlerine ait MODIS uydu görüntüsünü kullanarak yüzey sıcaklık haritalarını arazi modeli ve jeolojik birimlerle ilişkilendirerek iklim üzerindeki etkisini araştırmışlardır. SYM kullanarak Diyarbakır ve çevresinin topografik özelliklerine ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak bölgesel jeoloji ve jeomorfolojinin bölgesel iklim koşullarında oldukça etkili bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Kılıç Gül, (2018); farklı araştırmacılar tarafından yeryüzü şekillerinin otomatik belirlenmesine yönelik geliştirilen yöntemler ve uygulamaları incelemiş, yöntemler farklı parametrelerin kombinasyonları ile yapılan denetimsiz sınıflandırma, piksel tabanlı denetimli/denetimsiz sınıflandırma ve obje tabanlı sınıflandırma şeklinde ayrıştırarak örüntüler, öğrenme tabanlı modeller vb. algoritmalar ile her tür araziye uygulanabilecek modellerin geliştirilmesinin önemini vurgulamıştır.

Ege vd., (2019); Büyük Menderes Grabeni'nin Baklan-Dinar bölümünde yer alan yeni ve genç bir oluşuma sahip olan Özdemirci Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerini morfometrik analizlerle belirlemeye çalışmışlardır. Yapılan çalışma ile bölgenin jeolojik yapı, tektonizma, diğer etken ve süreçlerin etkisi ile oluşan Özdemirci Havzası'nın jeomorfolojik özellikleri kantitatif verilerle ortaya konulmuştur. Çalışmada morfometrik indisler olan; hipsometrik eğri (Hc), hipsometrik integral (Hi), akarsu uzunluk gradyan

indeksi (SI), vadi genişliği, üçgen yüzey (feçeta) indeksi (Pf), dağ önü sinüslük oranı (Smf) değerleri hesaplanarak havzanın jeomorfolojik gelişim süreci ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda ise havzanın jeomorfolojik gelişimi ve şekillenmesinde litolojinin, fayların, tektonizmanın ve flüvyal süreçlerin oldukça etkili olduğu belirlenmiştir.

Çilek vd., (2019); Ege Denizi'ne akan Büyük Menderes Nehri'nin ana kollarından olan Banaz çayı ve Ulubey Deresi'nin geçtiği alanı kapsayan Ulubey kanyonlarında yer alan arazi yapılarını CBS aracılığıyla Topografik Pozisyon İndeksi (TPI) kullanılarak morfolojik analizler ve sınıflandırmalar yapmışlardır. Morfolojik sınıflandırma da 30 m çözünürlüğe sahip olan ASTER SYM'ni kullanmışlardır. Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda 10 farklı morfolojik sınıf tanımlaması yapılmıştır. Morfolojik sınıflandırmalar yapılırken 30 m çözünürlüğe sahip ASTER uyduna ait yükseklik modeli kullanılmıştır. Morfolojik sınıflar oluşturulurken yükseklik modelinden oluşturulan eğim, eğrisellik, yükseklik farkı, topografik açıklık vb. morfolojik veriler kullanılmıştır.

Rao, (2002); doğal afetleri en aza indirmek amacıyla jeomorfolojik yapıların belirlenmesinin oldukça önemli olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda saha çalışmaları ile UA teknolojilerinin jeomorfolojik yapıların özelliklerini belirlemede oldukça öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışma kapsamında farklı arazi koşullarında jeomorfoloji çalışmaları ile UA teknolojilerinin ve yöntemlerinin uygulamasını gerçekleştirmiştir.

Rhee vd., (2008); farklı iklimsel bölgeler için yerinde ve UA verileri kullanarak hem ortalama bağlantı hiyerarşik ve k-ortalamlar hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen yağış ve sıcaklık kümelerini eğitim verileri olarak kullanmışlar ve beş yağış sınıfını ve yedi sıcaklık sınıfını haritalamak için makine öğrenmesi karar ağacı sınıflandırması yöntemini kullanmışlardır. İklim bölgelerini hem yerinde hem de UA verileri için küme içi ve kümeler arası standart sapmaları kullanarak mevcut bölgeleri ile karşılaştırmışlardır.

Mahlstein ve Knutti, (2010); yapmış oldukları çalışmada iklim özelliklerine bağlı benzer bölgeleri ve benzer iklim değişikliği öngörülen bölgeleri belirlemek için kümeleme algoritması kullanmışlardır. Benzer bölgelerin sayısı ve büyüklüğü, kullanılan değişkenlere, bölgesel iklim modellerine ve modellerin birbirleri ile uyuşmamasından kaynaklanan belirsizlik değerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları kümelenme analizleri sonucunda belirlenen yeni bölgeler küçük ölçekli bölgesel iklim özellikleri

hakkında da bilgiler verebileceği sonucunu elde etmişlerdir. Büyük ölçekli bölgesel iklim değişikliği sonuçlarına göre önceden kullanılan iklim bölgeleri ile elde ettikleri iklim bölgelerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırma sonucuna, ortalama iklimin ve beklenen iklim değişikliklerinin bölgesel olarak daha tutarlı olduğunu ve yerel etkiler için temsil edici olduğunu gösterebileceğini belirtmişlerdir.

Sathiaraj vd., (2018); çalışmalarında makine öğrenmesi kümelenme algoritmaları kullanarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bölgelere ait iklim tiplerini sınıflandırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında 3 bin'den fazla iklim gözlem noktasına ait iklim verilerini zamansal olarak analiz etmişlerdir. 1946-2015 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak günlük iklim verilerini kullanmışlardır. Bu veri seti ile üç farklı kümelenme algoritmasını kullanarak elde ettikleri kümelere ait standartlaştırılmış kümeleme endekslerini elde etmişlerdir. El edilen sonuçlara göre kullandıkları algoritmaların iklim bölgelerine uygunluğunu ve uygulanabilirliğini belirlemişlerdir. Analiz sonuçlarından elde ettikleri iklim kümelenmeleri ile mevcut iklim sınıfları ile karşılaştırmışlardır.

1.3. Tez Metninin Ana Hatları

Tez çalışması kapsamında çalışmanın birinci bölümü, araştırma konusu hakkındaki genel bilgileri, çalışmanın amaç ve kapsamını, araştırma soruları ve literatür taramasını içeren giriş bölümü ile başlamaktadır. İkinci bölümde tez kapsamında kullanılan veriler, çalışma alanlarının özellikleri, kullanılacak verilerin hazırlanması süreci, çalışmanın yöntemi ve yöntem aşamaları verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan jeomorfometrik parametreler, iklim sınıflandırma yöntemi ve iklim sınıfları, veri hazırlama aşamaları, çalışma alanlarının seçimi ve özellikleri, denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemi ve bu aşamalarda tez kapsamında neler yapıldığı açıklanmıştır. Üçüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan jeomorfometrik parametreler ve iklim sınıfları kullanılarak yapılan denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma sonuçlarına ait bulgular sunulmuştur. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar verilmiştir. Beşinci bölümde araştırma sonuçları tartışılmış ve önerilere yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, ilk olarak jeomorfometrik parametreler kullanılarak Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma ile iklim sınıfları gruplandırılabilir mi? araştırma sorusu değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılacak iklim sınıfları için Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yönteminin Türkiye’de gözlemlenen Kurak (B), Ilıman (C) ve Soğuk (D) iklim sınıfları araştırma kapsamında seçilmiştir. Çalışmada kullanılacak jeomorfometrik parametreler, SYM’leri kullanılarak üretilen yeryüzü parametrelerini oluşturmaktadır. Kuvaterner dönemde meydana gelen iklim değişikliklerinin etkisiyle şekillenen yeryüzü şekillerinin ve Türkiye’de güncel olarak gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıflarının tipik olarak gözlemlendiği alanlar, çalışma alanları olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan iklim sınıfları, SYM’lerin özellikleri, jeomorfometrik parametreler ve bu parametrelerin özellikleri, iklim sınıflarına bağlı seçilen çalışma alanları ve özellikleri, çalışmada kullanılacak veri setlerine ait örneklem noktalarının oluşturulması, veri normalizasyonu ve veri setlerinin hazırlanması, analizlerde kullanılan Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma yöntemi ve aşamaları çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.1. Çalışmada Kullanılan Veriler

Bölgesel olarak farklılık gösteren iklim koşullarının etkisiyle, yeryüzünde farklı yüzey şekilleri meydana gelmektedir. İklim koşullarının etkisiyle meydana gelen yeryüzü şekillerine ait jeomorfometrik parametreler ve bu bölgelerin iklim koşulları çalışmada kullanılacak temel veri kaynaklarını oluşturmaktadır.

Çalışmada kullanılan iklim sınıflandırma yöntemi, iklim sınıfları, çalışma alanlarına ait jeomorfometrik parametrelerin elde edilmesinde kullanılan SYM’nin özellikleri, jeomorfometrik parametreler bu bölüm içerisinde alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

2.1.1. İklim ve iklim sınıfları

İklim, belirli bir bölgede atmosferik öğelerin değişkenliklerini ve ortalama değerlerini uzun süre (30 yıl veya daha fazla) boyunca değerlendirerek tanımlanan bir kavramdır. İklim değişikliği, bir bölgede iklim koşullarının ortalama durumundaki veya ortalama durumundaki uzun yıllar boyunca gözlemlenen istatistiksel olarak önemli değişiklikler olarak tanımlanır (Türkeş, 2013).

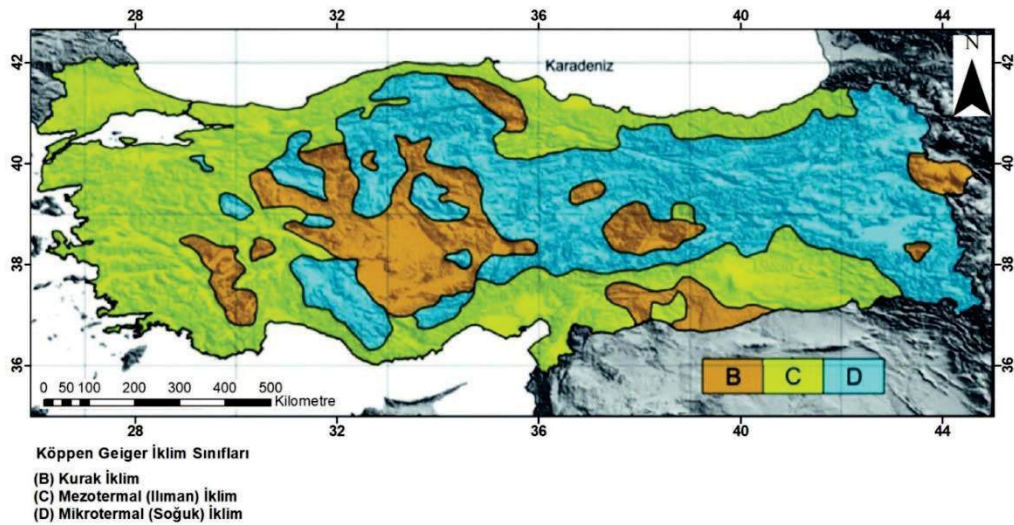
Bir başka deyişle iklim değışikliğı, nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki küresel ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değışiklikler olarak ifade edilmektedir. İklimde meydana gelen değışiklikler, buzul ve buzularası çağlar arasında, dünyanın çeşitli bölgelerinde ortalama sıcaklıklarda oluşan büyük farklılıklar şeklinde ortaya çıktığı gibi yağış rejimlerinde meydana gelen değışiklikler sonucunda da oluşabilmektedir. Yeryüzünde jeolojik süreç içerisinde, iklimde birçok değışiklik meydana gelmiştir. Jeolojik zaman boyunca meydana gelen iklim değışiklikleri, buzul hareketleri, uzun süreli kuraklıklar, uzun süreli yağış rejimleri ve deniz seviyesindeki değışimler olarak bilinir ve bu değışiklikler yalnızca dünya coğrafyasını değıştirmemiş, aynı zamanda ekolojik sistemler üzerine de etkileri olmuştur (Türkeş vd., 2000).

Yeryüzü topoğrafyası ve yeryüzü şekilleri, bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların meydana gelmesinde yeryüzünde yaşanan farklı birçok fiziksel ve kimyasal süreç etkilidir. Yeryüzünü şekillendiren süreçlerin en önemlilerinden biri iklim koşullarındaki yaşanan farklılıklardır. Farklı iklim koşullarının etkili olduğu yeryüzünde bu iklim koşullarını temsil eden yeryüzü şekilleri meydana gelmiş ve meydana gelmeye devam etmektedir. Benzer veya farklı yeryüzü şekillerini meydana getiren iklim koşulları da benzerlikler ve farklılıklar göstermektedir. İklim koşullarını benzer veya farklı özelliklerine göre gruplandırmak için, iklim sınıflandırma yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Erinç, 1996; Erlat, 2014). Bölgesel olarak iklim koşullarını sınıflandırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemi yeryüzünde etkili olan iklim koşullarını sıcaklık ve yağış koşullarına göre sınıflandırmak amacıyla en yaygın kullanılan iklim sınıflandırma yöntemlerinden biri olarak bilinir. Bu yöntem, sıcaklık ve yağış verilerini meteoroloji istasyonlarından elde eder ve iklim koşullarını beş farklı ana grup (Tablo 2.1.) ve bu ana iklim gruplarının farklı alt grupları olacak şekilde bölgesel olarak sınıflandırır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre, bölgesel olarak değışkenlik gösteren iklim sınıfları tropikal, kurak, ılıman, soğuk ve polar iklim sınıflarıdır. Bu ana gruplar belirli sıcaklık ve yağış koşullarına göre alt gruplara ayrılmıştır (Kottek vd., 2006; Peel vd., 2007; Öztürk vd., 2017; Rohli ve Vega, 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019).

Tablo 2.1. Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre ana iklim sınıfları (Peel vd., 2007; Öztürk vd., 2017; Rohli ve Vega, 2018; Beck vd., 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019; Beck vd., 2023).

İklim Sınıfı	Tanım
A	Tropikal İklim
B	Kurak İklim
C	Ilıman İklim
D	Soğuk İklim
E	Polar İklim

Türkiye’de ve Dünya genelinde farklı araştırmacılar tarafından Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemi güncellenmiş veya farklı sınıflandırma yöntemlerine de altık oluşturmuştur. Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre küresel ölçekte yapılan sınıflandırma çalışmalarına ait tanımlanan iklim sınıflarının tamamı, Türkiye’de gözlemlenmemektedir. Ayrıca, küresel olarak yapılan iklim sınıflandırma yöntemi, bölgesel ölçekte farklı araştırmacılar tarafından güncellenmiştir (Öztürk vd., 2017; Yılmaz ve Çiçek, 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019). Bölgesel ölçekte meteoroloji istasyonlarından elde edilen verilere güncelleştirilen ve Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıflarının üç iklim sınıfına ait iklim sınıfı haritası Şekil 2.1.’de verilmiştir (Öztürk vd., 2017). Buna göre, Köppen-Geiger iklim sınıflarının tamamı Türkiye’de gözlemlenmemektedir. Türkiye’de yapılan çalışmalarda, kurak B, ılıman C ve soğuk D iklim sınıflarının gözlemlendiği belirlenmiştir (Öztürk vd., 2017; Yılmaz ve Çiçek, 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019).



Şekil 2.1. Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıfları (Öztürk vd., 2017’den değiştirilmiştir.)

Bir bölgede görülen iklim koşulları ile jeomorfoloji ve yeryüzü şekilleri arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. İklim; jeomorfoloji ve yeryüzü şekillerinin kendilerine özgü olan meydana gelme süreçlerini, özelliklerini şekillendiren ayrışma, erozyon ve çökelim süreçlerini, farklılıklarını ve oranlarını doğrudan etkilemektedir. Ayrışma, erozyon ve çökelim süreçlerindeki farklılıklar jeomorfolojik özelliklerin ve yeryüzü şekillerinin meydana gelme süreçlerini etkiler. İklim koşullarının etkilerine bağlı olarak jeomorfoloji, yüzey şekilleri benzerlik ve farklılıklar göstermektedir. Benzer iklim koşullarının olduğu bölgelerde gözlemlenen jeomorfoloji ve yüzey şekilleri de benzerlikler göstermektedir.

Bölgesel olarak, belirli bir jeolojik döneme ait olan buzul çökellerinin varlığı, buzullaşmayı gösterirken, kaya tuzu, jips ya da anhidrit benzeri evaporit kayaçlarının varlığı ise buharlaşmanın etkili olduğu, sıcak döneme ait kanıtlar oluşturmaktadır (Erinç, 1971; Erinç, 2010; Türkeş, 2013). Jeolojik zaman boyunca meydana gelen iklim değişikliklerine ait izlerin bulunabileceği çeşitli mineral ve kayaç türlerinin oluşması için özel klimatolojik, hidrolojik, jeolojik ve jeomorfolojik koşullar gereklidir. (Türkeş, 2013). Yeryüzünde belirli iklim koşullarını temsil eden kayaçların yanı sıra, iklim sınıflarının gözlemlendiği bölgelerde, bölgesel olarak iklim koşullarının izlerini taşıyan jeomorfolojik yapılar oluşur. İklim koşullarının izlerini taşıyan jeolojik ve jeomorfolojik izler, kurak iklim koşulları için tuz oluşum alanları, jips gibi evaporit çökelleri, nemli iklim koşulları için delta ovalarındaki düzlükler ve eski göl seviyeleri, soğuk iklim koşulları için U tipi vadiler, sirkler, buzul gölleri, buzul çökelleri olarak sıralanabilmektedir (Erinç, 1971; Erinç, 2010; Türkeş, 2013).

Güncel olarak gözlemlenen jeomorfolojik yapıların izleri, Kuvaterner dönemde etkili olan paleoiklim koşullarına bağlı olarak şekillenmiş ve halen şekillenmeye devam etmektedir. Kuvaterner dönemi, jeolojik zaman diliminde en genç ve güncel döneme karşılık gelmektedir. Bu zaman diliminden daha eski olan dönemlerde iklim koşullarının etkisiyle oluşan jeomorfolojik yapıların izleri, Kuvaterner dönemi ve güncel iklim koşullarının etkisiyle yeryüzünden tamamen kaybolmuş veya bazı izler halen gözlemlenmektedir. Yeryüzünde güncel olarak gözlemlenen bu izler, Kuvaterner döneminde etkili iklim koşullarına bağlı meydana gelen iklim koşullarının ve günümüzde yaşanan güncel iklim koşullarının etkisiyle şekillenmeye devam eden jeomorfolojik yapıların izleri olarak bilinmektedir.

Tez çalışması kapsamında, iklim ve yeryüzü şekillerinin meydana gelmesinde etkili olan süreçler arasındaki ilişkiyi kurmak için, Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger ana iklim sınıfları Tablo 2.2.’de verilmiştir (Öztürk vd., 2017; Yılmaz ve Çiçek, 2018; Yılmaz ve Çiçek, 2019).

Tablo 2.2. *Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıfları*

İklim Sınıfı	Tanım
B	Kurak İklim
C	Ilıman İklim
D	Soğuk İklim

2.1.2. Jeomorfometrik parametreler

Jeomorfoloji, yeryüzü şekillerini, Dünya'nın fiziksel kara yüzeyi özelliklerinin incelenmesi ve Dünya yüzeyinin sürekli oluşumu, dönüşümünü, yeryüzü şekillerinin fiziksel özelliklerini araştıran yer bilimlerindeki en önemli disiplinlerinden biridir. Jeomorfoloji terimi ilk olarak, 19. yüzyılın sonunda Dünya yüzeyinin jeomorfolojisinin ve jeomorfolojik özelliklerinin araştırılması ve tanımlanması için kullanılmıştır. Jeomorfolojik araştırmalar, yeryüzü şekillerinin tanımlanması, sınıflandırılması ve farklı fiziksel-kimyasal süreçlerin etkisiyle nasıl geliştiklerini inceleyerek, bu süreçlerin yeryüzü şekillerinin varlığını karakterize eden ilişkilerini diğer yeryüzü şekilleri ve süreçlerle analiz etmeye odaklanmıştır (Pike vd., 2009; Szygula, 2017).

20. yüzyılda jeomorfolojik araştırmalarda önemli gelişmelerin yaşandığı bilinir. Jeomorfolojik araştırmalar, jeoloji, hidroloji, meteoroloji, haritacılık, CBS, mühendislik, arkeoloji gibi birçok bilim dalı ile ortak noktada buluşmuş ve teknolojik gelişmelerle birlikte, jeomorfoloji çalışmalarında farklı birçok araştırma tekniği kullanılmaya başlamıştır. Yeryüzünün farklı bölgeleri kendilerine özgü farklı jeomorfolojik süreçler geçirmiş ve geçirmeye devam etmektedir. Yaşanan bu süreçlerde, etkin rol oynayan doğal süreçlerin, bölgesel olarak etkili olan jeolojik yapıların ve farklı iklim koşullarının etkisi vardır. Tüm bu süreçlerin iklimle olan ilişkisinin belirlenmesi, jeomorfolojik yeryüzü şekillerinin oluşumunda hangi iklimsel süreçlerin bu yapıları nasıl etkilediğini belirlemek oldukça önem taşımaktadır (Böhner ve AntoniĆ, 2009; Pike vd., 2009; Szygula, 2017).

İlerleyen bilgi teknolojileri sayesinde yeryüzü şekillerinin modellenmesinde, sınıflandırılmasında, bu yapıların kendine özgü özelliklerinin belirlenmesinde, özellikle

UA ve CBS teknikleri oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yeryüzü şekilleri ile ilişkili çalışmalar sadece yer bilimleri için değil, özellikle arkeoloji, ekoloji, tarım, ormancılık, kırsal peyzaj planlama, afet yönetimi gibi farklı bilim dalları için de önemli veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Arazi morfolojisi, büyük ölçekli yer şekilleri arasında yer alan ovalar, dağ silsileleri gibi özelliklerin yanı sıra daha küçük ölçekli tepeler ve vadiler gibi spesifik jeomorfolojik özellikleri tanımlanabilmiştir (Çilek vd., 2019). Bu gibi jeomorfolojik yapıların ve yüzey şekillerinin sayısal olarak modellenmesi, yaşanan süreçlerin araştırılmasında, benzer jeomorfolojik yapıların sınıflandırılmasında, farklı iklim koşulları etkisinde oluşan yapıların modellenmesinde oldukça önem taşımaktadır. Bu bağlamda kullanılan SYM'leri yeryüzü şekillerin modellenmesinde son derece önemlidir. SYM'lerinden elde edilen veriler, jeomorfolojik özelliklerin belirlenmesi ve arazi özelliklerinin yorumlanması ile jeoloji, litoloji, toprak, arazi örtüsü/kullanımı, fay hatlarının belirlenmesi gibi birçok yersel bilgi için altık oluşturma niteliğine sahip olduğundan, 1970'li yılların başından beri birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Çilek vd., 2019). Örneğin, yerbilimleri uygulamalarında, belli bir arazi yapısının modellenmesi, analizi ve yorumlanmasına odaklanır.

Yeryüzü şekillerinin topografik ve jeomorfometrik özellikleri, bölgesel olarak etkili olan yeryüzü süreçlerini oluşturmaktadır. Yeryüzünü şekillendiren süreçlerin anlaşılması; jeolojik, jeomorfolojik, hidrolojik, bölgesel iklim koşulları ve atmosferik süreçler gibi birçok sürecin özellikleri ve etkileri hakkında bilgi edinilmesini sağlar (Molnar ve England, 1990; Bishop vd., 2010; Koons vd., 2012; Zhu et al., 1997; Hutchinson ve Gallant, 2000; Bishop et al., 2012b). Bu süreçlerin araştırılması için SYM'leri ve topografik analiz yöntemleri kullanılarak, yeryüzünü modellemek ve görselleştirmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler, jeomorfoloji, hidroloji, uzaktan algılama, toprak bilimi, jeoloji, jeofizik, klimatoloji, yerbilimleri ve farklı birçok disiplinlere ait çeşitli problemlerin çözümü için yaygın olarak kullanılmaktadır (McCullagh, 1988; Moore vd, 1991; Shary vd., 1991; Weibel ve Heller, 1991; Band, 1993; Franklin, 1995; Florinsky, 1998; Pike, 1995; Pike, 2000; Pike, 2001; Deng, 2007; Brocklehurst, 2010). Yeryüzü şekillerinin özelliklerini tanımlayabilmek için yeni verilere, bu verilerin hesaplanmasına, analiz edilmesine, modellenmesine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmakta ve tüm bu süreçlerde CBS'nin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yeryüzü özelliklerinin veya yeryüzü şekillerinin modellenmesini araştıran jeomorfometri bilimi ve jeomorfometrik araştırma yöntemleri, yeryüzünün şekillenmesinde etkili olan

süreçlerin belirlenmesi ve araştırılmasında oldukça etkin rol oynamaktadır (Wilson, 2018).

Modern jeomorfolometri, dijital topografyadan arazi yüzeyi parametrelerinin çıkarılmasına ve yeryüzü şekillerinin dağılımları veya yeryüzü şekillerine odaklanır. Yeryüzünün jeomorfometrik analizlerinin araştırılması ilk olarak Evans (1972) tarafından gerçekleştirilmiştir. Pike vd., (2009) mevcut tanımları güncelleyerek, yeryüzü şekillerinin eğim, eğim yönü, eğrisellik gibi tanımlayıcı özellikleri olduğunu ve havza, alüvyal fan, sirk, akarsu, drenaj ağı gibi yeryüzü şekillerinin ayırt edilebilir yüzey özellikleri olduğunu belirtmişlerdir (Wilson, 2018).

Jeomorfolometri, dinamik gelişimi ve karmaşık yapısıyla oldukça dikkat çeken bir alandır. Jeomorfometrinin çok disiplinli çalışılabilir olmasının altında yatan sebep, UA ve CBS teknolojilerindeki hızlı ilerlemelerdir. Jeomorfometri, farklı disiplinlerden temel kavram ve fikirleri alırken, bu disiplinlere çeşitli bilgiler ve perspektifler sunabilmektedir. Jeomorfometri, sadece yeryüzünün temsil edilmesi ve mekânsal-zamansal değişimi ile ilgili teorik araştırma konularını ele almakla kalmaz aynı zamanda, araştırma konularına ait veri toplama ve analiz, sayısal modelleme gibi konulardan elde edilen bilgileri kullanarak hem teorik hem de pratik araştırma sorunlarını çözmeyi de sağlamaktadır (Wilson ve Bishop, 2013). Yaşanan bu teknolojik ilerlemeler, daha fazla uzaktan algılama veri kaynağına ulaşılmayı sağlamış ve yeryüzü özelliklerinin araştırılması için kullanılan analiz araçlarını önemli ölçüde değiştirmiştir (Wilson, 2018).

Yeryüzünün modellenmesinde kullanılan SYM'leri, yeryüzünün sürekli değişimini sayısal olarak tanımlar (Burrough ve McDonnel, 1998). SYM'leri jeomorfometrik parametrelerin elde edilmesinde temel veri kaynağıdır. SYM'ler veri kaynağına ve kullanılacak analiz yöntemlerine; Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi her bir grid hücresinin yükseklik değerini temsil ettiği grid tabanlı, düzensiz üçgen ağlarından oluşan ve kontur tabanlı olmak üzere üç farklı yapıya sahiptir (Moore vd., 1991; Weibel ve Heller, 1991; Wilson ve Gallant, 2000; Wilson, 2018).



Şekil 2.2. Grid hücre yapısı, düzensiz üçgen ağı yapısı ve kontur çizgileri yapısı (Wilson ve Gallant, 2000; Wilson, 2018).

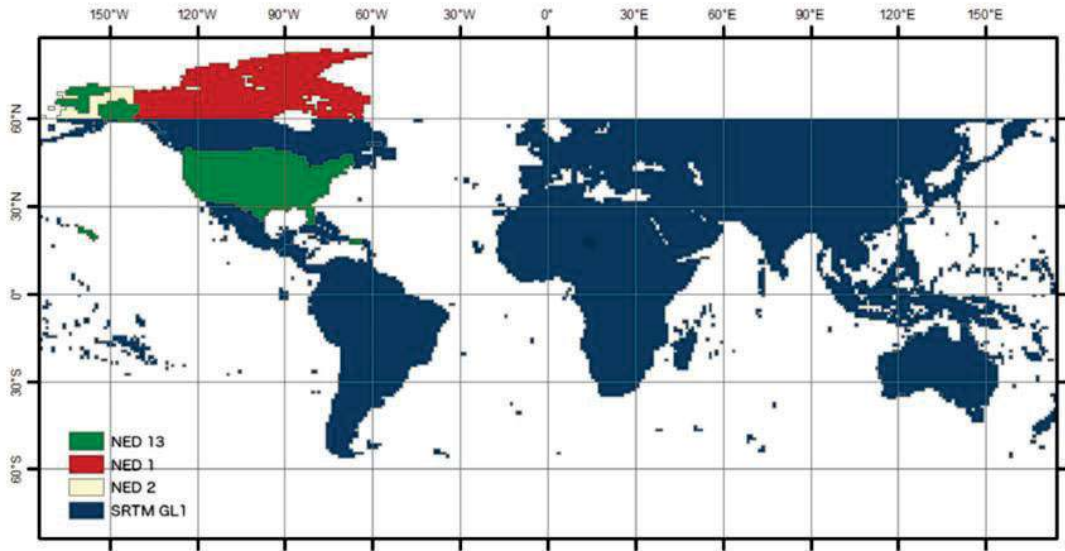
Bu çalışmada jeomorfometrik parametrelerin üretilmesi için kullanılan SYM, GeoTIFF formatında ve radyometrik yüzey düzeltmesi yapılmış ALOS PALSAR RTC RT1 modelidir. Bu model, 12,5 m çözünürlüğe sahip ve grid hücrelerinden oluşan bir yapıya sahiptir.

ALOS PALSAR Radyometrik Arazi Düzeltmeli SYM, geometrik ve radyometrik etkilerin sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntülerinin düzeltilmesiyle elde edilmektedir. SAR görüntülerinde uygulanan radyometrik düzeltme, topografyanın geri saçılım değerlerinde meydana gelen hataların ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Radyometrik düzeltme, görüntülerin elde edildiği uyduya veya uçağa bakan dik yeryüzü topografyasından gelen yansımanın fazla parlaklığını gidermektedir. SAR görüntülerine uygulanan arazi düzeltmesi, coğrafi konum bazlı hatalara neden olan yan görünümlü radar görüntülemelerinden kaynaklanan geometrik hataların düzeltilmesi işlemidir. Engelibeli arazilerde meydana gelen bozulmalar, düz arazilere göre daha fazladır. Arazi düzeltmesi ile elde edilen görüntülerde, piksellerin birbirleri ve yeryüzü arasındaki konumları doğru şekillerine, coğrafi konumlarına göre konumlandırılarak yapılmaktadır. ALOS PALSAR SYM, SAR görüntülerindeki radyometrik ve arazi düzeltmelerinin her ikisinin de uygulandığı düzeltilmiş verileri içermektedir.

Sayısal yükseklik modelleri, ALOS PALSAR <http-1> internet sitesinden indirilebilmektedir. Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeline ait veri dosyası içerisinde bulunan veriler ve özellikleri Tablo 2.3.'te verilmiştir (<http-2>). ALOS PALSAR düzeltmesi yapılmış veri setlerinde bulunan SYM'leri, PALSAR verilerinden üretilmiştir. Bu veriler üretilirken kullanılan SYM'ler, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ve National Elevation Dataset (NED) radar verileridir (Şekil 2.3.; <http-2>).

Tablo 2.3. ALOS PALSAR Radyometrik Arazi Düzeltmeli SYM veri özellikleri ve içerikleri (<http-1>)

Veri Seti Özelliği	Yüksek Çözünürlük (RT1)
Zamansal Kapsam	2006-2011
Piksel aralığı	12,5 metre
Lisans	Lisans ve Veri Atıfları sekmesine bakın
İndirme bilgileri	Veri Keşfi
Dosya biçimi	GeoTIFF
Görüntü formatına	GeoJPEG 1000 x 1000 piksel
Piksel değerleri	32-bit kayan nokta formatında gama sıfır gücü Geliş Açısı GeoTIFF, her piksel için radyan cinsinden açıyı gösterir Duraklama/Gölge GeoTIFF, işlemenin nerede duraklama veya gölgeden etkilendiğini gösterir
İndirilen Veri Dosyası İçeriği	GeoJPEG formatında 1000 x 1000 piksel 30-m yer paylaşımli KMZ dosyası ISO 19115 formatında meta veriler (xml dosyası) GeoTIFF formatında RTC işleme için kullanılan değiştirilmiş SRTM veya NED DEM
Sağlayıcı	Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA).
Yayın tarihi:	2014



Şekil 2.3. ALOS PALSAR Radyometrik Arazi Düzeltmeli SYM hazırlanırken kullanılan SAR görüntüleri (<http-2>)

Çalışma kapsamında analizlerde kullanılacak jeomorfometrik parametreler Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıflarının etkisiyle oluşan yeryüzü şekillerinin hâkim olduğu alanlar için, ALOS PALSAR RTC RT1 SYM’leri SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) yazılımı (Conrad vd., 2015) kullanılarak üretilmiştir. Çalışmada kullanılan jeomorfometrik parametreler Tablo 2.4.’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Çalışma kapsamında kullanılan jeomorfometrik parametreler

Jeomorfometrik Parametre	Jeomorfometrik Parametre Kodu
Yükseklik	F ₁
Eğim	F ₂
Genel Eğrisellik	F ₃
Profil Eğrisellik	F ₄
Plan Eğrisellik	F ₅
Teğetsel Eğrisellik	F ₆
Uzunlamasına Eğrisellik	F ₇
Enlemesine Eğrisellik	F ₈
Minimum Eğrisellik	F ₉
Maksimum Eğrisellik	F ₁₀
Toplam Eğrisellik	F ₁₁
Akış Çizgisi Eğriselliği	F ₁₂
Analitik Gölgeleme	F ₁₃
Yakınsaklık İndeksi	F ₁₄
Havza Alanı	F ₁₅
Maksimum Yükseklik	F ₁₆
Melton Sağlamlık Sayısı	F ₁₇
Vadi Derinliği	F ₁₈
Topografik Nemlilik İndeksi	F ₁₉
Arazi Sağlamlık İndeksi	F ₂₀
Konvekslik	F ₂₁
Arazi Dokusu	F ₂₂
Topografik Pozisyon İndeksi	F ₂₃
Görülebilir Gökyüzü	F ₂₄
Gökyüzü Görünüm Faktörü	F ₂₅
Basitleştirilmiş Gökyüzü Görünüm Faktörü	F ₂₆
Arazi Görünüm Faktörü	F ₂₇
Ortalama Görüntüleme Mesafesi	F ₂₈
Pozitif Açıklık	F ₂₉
Negatif Açıklık	F ₃₀

Tablo 2.4.'te verilen jeomorfometrik parametrelerden,

Yükseklik, jeomorfometrik parametrelerin veri kaynağı olan sayısal yükseklik modelleri, yeryüzündeki herhangi bir noktanın belirli bir referans noktasına göre yükseklik farkını noktasal olarak ifade eden değerlerdir. Yeryüzünde referans noktası genellikle deniz seviyesidir ve bir noktanın deniz seviyesine olan dikey yükseklik farkı o noktanın yükseklik değerini vermektedir. Yeryüzünün deniz seviyesi üzerinde kalan yükseklik değerlerinin düzenli bir yapıya sahip şekilde sayısal olarak temsil edildiği veriler sayısal yükseklik modelleri olarak tanımlanır. Sayısal yükseklik modelleri yeryüzünü sayısal temsilleri olup, yeryüzündeki topografik özelliklerin ve yeryüzünde meydana gelen yükseklik değişikliklerinin detaylı bir şekilde araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sebeple, yeryüzünü oluşturan her bir noktanın yükseklik değerleri, bilgisayar ortamında sayısal yükseklik modellerinden elde edilmektedir (Moore, 1991; Wilson ve Gallant, 2000; Wilson, 2018).

Jeomorfometrik araştırmalarda eğim, yeryüzü diklik ve eğim özelliklerinin belirlenmesi için oldukça önemli bir parametredir. Eğim, yeryüzünün dikliğini, yataylığını ifade eder. Topografinin dikliğinin azaldığı yönde yükseklik değerlerindeki değişim, bir ölçüt olarak kabul edilmektedir (Wilson ve Gallant, 2000). Başka bir ifadeyle, eğim belirli bir mesafe boyunca yükseklik değerlerindeki değişim olarak tanımlanabilmektedir. Sayısal yükseklik modellerinde bir piksel (hücrenin) eğim değeri, komşu hücrelerin yükseklik değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

Eğrisellik, yeryüzünde bir noktanın eğim ve eğim değişim oranını ifade etmektedir. Eğrisellik yeryüzünde bir noktanın dış bükey, iç bükey veya düz olduğunun belirlenmesinde kullanılan önemli jeomorfometrik parametrelerden biridir. Eğrisellik, sayısal yükseklik modellerinin ikinci türevlerinden elde edilmektedir. Eğrisellik parametresinin farklı birçok türü vardır. Bu parametrenin farklı türleri, genel eğrisellik, plan eğriselliği, teğetsel eğrisellik, uzunlamasına eğrisellik, enlemesine eğrisellik, minimum eğrisellik, maksimum eğrisellik, toplam eğrisellik, akış çizgisi eğriselliği olarak bilinmektedir. Genel eğrisellik, yeryüzünde herhangi bir konumunun eğriliğini ifade etmektedir. Yüzeyin düz konumdan ne kadar saptığının bir tanımıdır. Sayısal yükseklik modellerinin ikinci türevlerinden hesaplanan genel eğrisellik, vadiler, sırtlar ve düzlük alan olan ovaların özelliklerini, erozyon ve taşınım gibi jeomorfolojik yüzey süreçlerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır.

Profil eğriselliği, yeryüzünün eğim çizgileri doğrultusunda kıvrımlılığını ifade etmektedir. Yağışın etkisiyle oluşan yüzey suları, yeryüzünde hangi akış yolunu izleyeceğini belirler. Meydana gelebilecek erozyon ve taşınım süreçleri ile doğrudan ilişkilidir. Sayısal yükseklik modellerinin ikinci türevlerinden elde edilmektedir. Diğer bir eğrisellik türü olan plan eğriselliği, yeryüzünde herhangi bir noktanın kontur çizgisinin eğriliği olarak tanımlanmaktadır. Eş yükselti eğrileri (kontur çizgileri), yeryüzünde aynı yükseklik değerlerine sahip noktaların birleştirilmesiyle oluşturulur ve bu çizgiler eğim değerinin değişimini gösterir. Sayısal yükseklik modellerinin ikinci türevlerinden elde edilmektedir. Plan eğriselliği, yüzey sularının yanal akışını ve yüzey malzemelerinin yeryüzünde yayılımını kontrol etmektedir. Teğetsel eğrisellik, bir noktanın yeryüzünde kontur çizgileri boyunca eğiminde meydana gelen değişimin oranını belirlemek için kullanılan jeomorfometrik bir parametredir, plan eğriliğine benzer bir değere sahiptir. Sayısal yükseklik modellerinin ikinci türevlerinden elde edilen teğetsel eğrisellik yeryüzünde eğim değerinin maksimum eğim yönüne dik olacak şekilde nasıl değiştiğini ifade etmektedir.

Uzunlamasına eğrisellik, yeryüzünde maksimum eğim yönü boyunca eğrilik özelliklerini belirlemekte kullanılan jeomorfometrik parametredir. Yeryüzü eğiminin en yüksek olduğu doğrultu boyunca eğriliğin, iç bükey, dış bükey veya düz olduğunun anlaşılmasını sağlamaktadır. Enlemesine eğrisellik, yeryüzünün belirli bir bölgesinde, eğriselliğin enlemesine nasıl değiştiğini ifade eden jeomorfometrik parametre olarak bilinir. Bu çizginin dik olduğu yüzeyde, belirli bir kesit boyunca eğriliği ifade etmektedir. Minimum eğrisellik, yeryüzünde belirli bir bölgeye ait en küçük eğrilik değerini ifade etmektedir. Minimum eğrilik yeryüzünün en düz olduğu veya en az kıvrımlı olduğu yerleri göstermektedir. Buna karşın maksimum eğrisellik değeri, yeryüzünde en yüksek eğrilik değerini ifade etmekte ve en dik veya en fazla kıvrımlı olduğu alanları tanımlamaktadır. Toplam eğrisellik, yeryüzünde herhangi bir bölgenin minimum ve maksimum eğrilik değerlerinin toplamını ifade etmekte olup, yeryüzünün kapsamlı olarak genel eğrisellik özelliklerini belirlemektedir. Son olarak, akış çizgisi eğriselliği, yüzey sularının ve diğer malzemelerin yeryüzünde izleyeceği akış yollarının eğrilik özelliklerini ifade etmektedir.

Analitik gölgelendirme, yakınsaklık indeksi, havza alanı, maksimum yükseklik, melton sağlamlık sayısı, vadi derinliği, topografik nemlilik indeksi, arazi sağlamlık indeksi, konvekslik, arazi dokusu, topografik pozisyon indeksi, görülebilir gökyüzü, gökyüzü görünüm faktörü ve basitleştirilmiş gökyüzü görünüm faktörü, arazi görünüm faktörü, ortalama görüntüleme mesafesi, pozitif açıklık, negatif açıklık jeomorfometrik parametreler tanımlanmıştır. Buna göre, analitik gölgelendirme, yeryüzünün üç boyutlu görselleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, belirli bir bölgeye gelen ışığın ve meydana gelen gölge etkileri ile topografik özelliklerin üç boyutlu olarak görselleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wilson ve Gallant, 2000). Yakınsaklık indeksi, yeryüzü boyunca akış yollarının yakınsaklık özelliklerini ifade etmektedir. Yeryüzünün belirli bir bölgesinde yüzey akışlarının nerede biriktiğini veya nerelere yayılacağını ifade etmektedir. Havza alanı, yeryüzünde yüzey akışı halinde olduğu durumlarda bir göl, nehir veya başka bir su kütesine boşaldığı alanı ifade etmektedir. Maksimum yükseklik, yeryüzündeki bir noktanın alan içerisindeki en yüksek değerini göstermektedir. Melton sağlamlık sayısı, belirli bir noktanın pürüzlülük değeri olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, o noktanın engebe durumunu temsil etmekte ve noktanın maksimum yüksekliği ve minimum yüksekliği arasındaki farkın, havza alanının kareköküne oranı olarak belirtilmektedir. Vadi derinliği, belirli bir alan içerisinde bulunan bir noktanın alan içerisindeki en yüksek nokta ile vadi veya çukurluğun arasındaki dikey farklılığı belirleyen parametredir. Topografik nemlilik indeksi, bir noktanın topografik özelliklere bağlı olarak, belirli bir alan içerisindeki nemlilik derecesini veya o noktanın nem içeriğini göstermektedir (Moore vd., 1991; Böhner ve Antonić, 2009; Böhner ve Selige, 2006). Arazi sağlamlık indeksi, bir arazi yüzeyinin pürüzlülüğünü, engebelilik durumunu belirlemek için kullanılan parametredir. Belirli bir alan içerisinde yükseklik değişkenliği hakkında ve topografik karmaşıklık durumunu yansıtmaktadır.

Bu jeomorfometrik parametrelerden konvekslik, yeryüzünün iç bükey veya dış bükeylik durumunu tanımlayan parametredir. Yeryüzünün topografik özellikleri ve yeryüzü morfolojisi hakkında bilgi vermektedir (Hengl ve Reuter, 2008). Dış bükey araziler tepe, sırt vb. gibi yeryüzü şekillerini tanımlamakta, iç bükey araziler, çukurluk, vadi gibi yeryüzü şekillerini göstermektedir. Arazi dokusu, yeryüzünün pürüzlülüğünü ve engebelilik durumu hakkında bilgi vermektedir. Topografik pozisyon indeksi, yeryüzünde bir noktanın bir vadi, düzlük veya sırt benzeri jeomorfolojik bir yapıyla

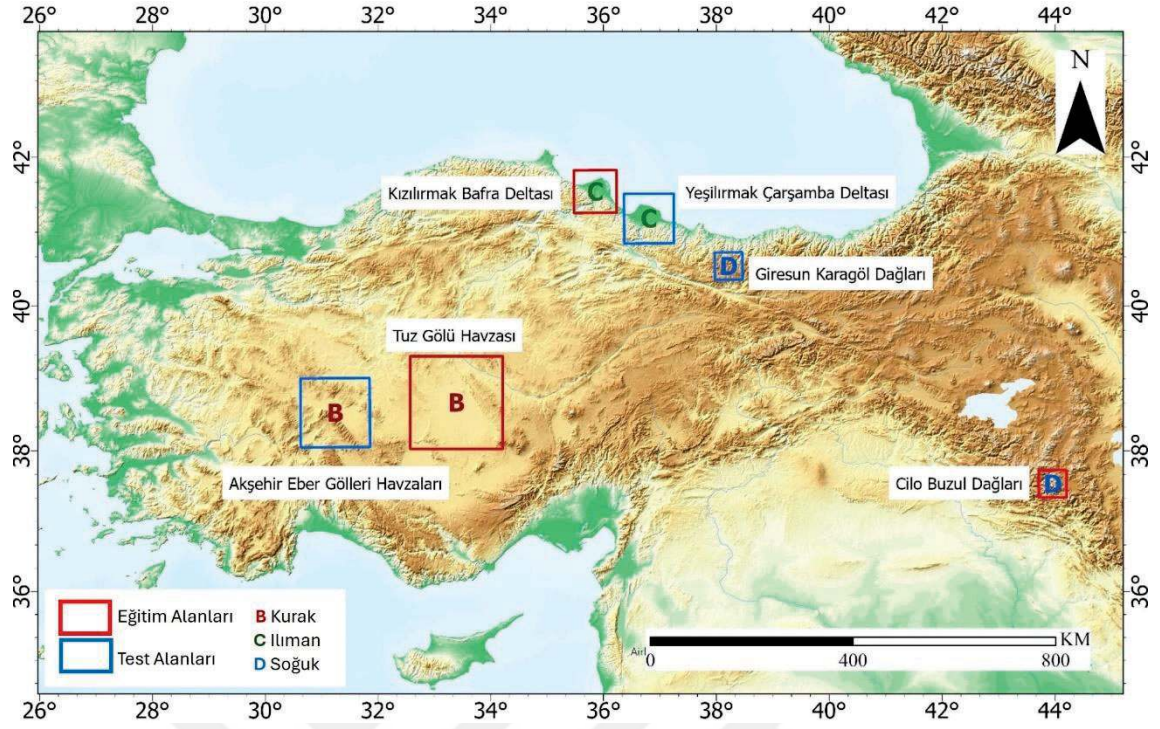
ilişkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Weiss, 2001; Wilson ve Gallant, 2000, Wilson, 2018).

Görülebilir gökyüzü, gökyüzü görünüm faktörü ve basitleştirilmiş gökyüzü görünüm faktörü, yeryüzünün belirli bir noktasından gökyüzünün görülebilen kısmını göstermektedir. Görülebilir gökyüzü değeri, 0-1 arasında değişen değerler almaktadır. Bu değerlerden 1, gökyüzünün tamamen görülebildiğini, 0 değeri, noktanın çevresindeki yeryüzü şekillerinin etkisiyle, gökyüzünün görülemediğini ifade etmektedir (Wilson ve Gallant, 2000; Böhner ve Antonic, 2009; Wilson, 2018). Arazi görünüm faktörü, yeryüzünün belirli bir noktasının çevresindeki yeryüzü şekillerine bağlı olarak gökyüzünün ne kadarının görülebildiğini ifade etmektedir (Wilson ve Gallant, 2000; Böhner ve Antonic, 2009). Ortalama görüntüleme mesafesi, yeryüzünün belirli bir noktasından görülebilen en uzak noktayı göstermektedir.

Pozitif açıklık, yeryüzünün belirli bir noktasından gökyüzüne doğru bir noktadaki açıyı ölçer ve gökyüzüne doğru görünürlük derecesini belirlemektedir. Pozitif açıklık değerlerinin yüksek olduğu yeryüzündeki noktalar gökyüzünün görülebildiği tepe, sırt gibi yeryüzü şekillerinin olduğu alanlara karşılık gelmektedir (Yokoyoma vd., 2002; Doneus, 2013). Negatif açıklık, yeryüzünün belirli bir noktasından aşağıya doğru bakıldığında vadi tabanı ile olan noktadaki açıyı ölçmektedir. Bu parametre vadi veya çukurların aşağıya doğru görünürlük derecesini ifade etmektedir. Negatif açıklık değerlerinin yüksek olduğu değerler, vadi ve vadi benzeri yeryüzü şekillerinin bulunduğu alanlara karşılık gelmektedir (Yokoyoma vd., 2002; Doneus, 2013).

2.2. İklim Sınıflarına Göre Çalışma Alanlarının Belirlenmesi

Çalışmada, Köppen-Geiger iklim sınıflandırma sistemine göre, Türkiye’de tipik olarak gözlemlenen Kurak, Ilıman ve Soğuk iklim sınıflarının bulunduğu bölgeler seçilmiştir. Seçilen alanlar, iklim koşullarının etkisi ile kendine özgü yeryüzü şekilleri, jeolojik ve jeomorfolojik özelliklere sahip alanlardır. Kurak iklim koşulları için Tuz Gölü Havzası, Akşehir-Eber Gölleri Havzası nemli iklim koşulları için Kızılırmak (Bafra) Deltası, Yeşilirmak (Çarşamba) Deltası ve soğuk iklim koşulları için Cilo (Buzul) Dağları, Giresun Karagöl Dağları belirlenmiştir. Farklı iklim koşullarının etkili olduğu çalışma alanları Şekil 2.4.’te göstermektedir.



Şekil 2.4. Farklı iklim koşullarının etkili olduğu çalışma alanları

2.2.1. Kurak iklim koşullarının etkili olduğu alanlar

Kurak iklim koşullarının etkili olduğu alanlarda, jeolojik ve jeomorfolojik birçok kanıt bulunmaktadır. Bölgesel olarak evaporitlerin varlığı ve eski göl seviyeleri gibi jeomorfolojik kanıtların varlığı bölgede kurak iklim koşullarının varlığını işaret etmektedir. Deniz ve göl sularında, çözünmüş halde bulunan tuzların giderek yoğunlaşmasıyla meydana gelen kimyasal tortullar Evaporit olarak tanımlanmaktadır. Jeolojik bakımdan evaporitlerin meydana gelmesi için ortamdaki sıcaklığın yüksek, bağıl nemin düşük ve buharlaşma oranının yüksek olduğu orta enlem bölgelerinde karasal ve denizel ortam koşullarının var olması gerekmektedir (Varol ve Akıska, 2012). En yaygın evaporit mineralleri jips, anhidrit ve halit (kayatuzu) olarak bilinir. Eski göl seviyelerine ait taraçaların varlığı ve evaporit minerallerinin bulunması, seçilen bölgelerde kurak iklim koşullarının tipik jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerini gösterir.

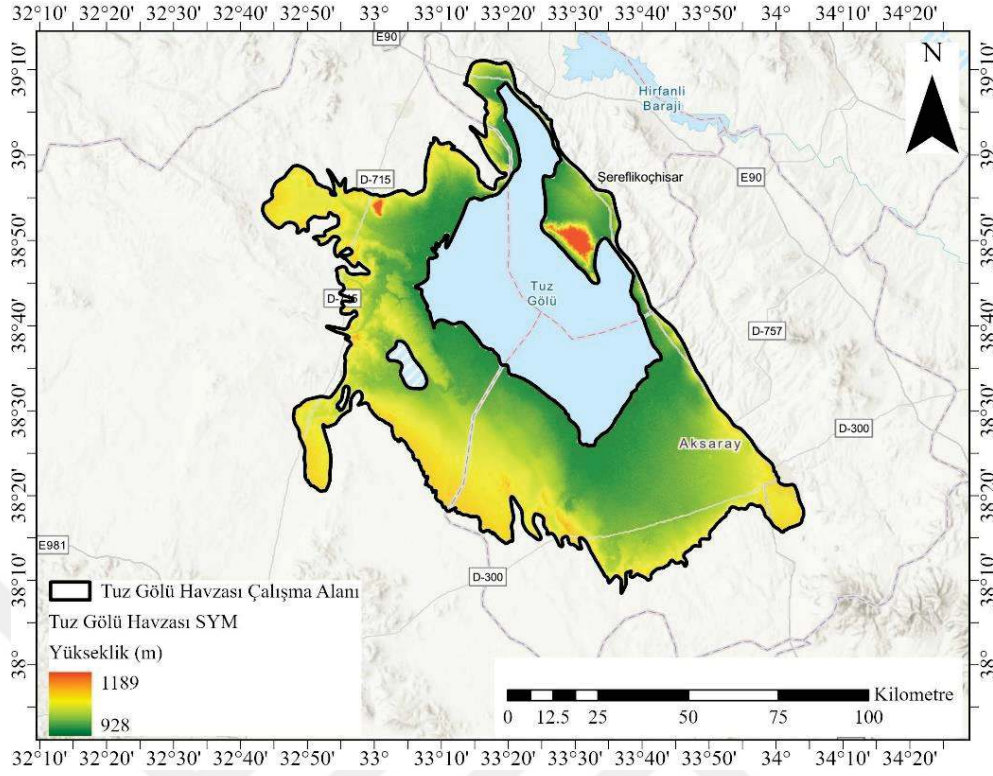
2.2.1.1. Tuz Gölü havzası

Tuz Gölü, İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Ankara, Aksaray ve Konya illeri arasında geniş bir düzlük alan içerisinde bulunmaktadır. Yüzey alanı olarak Tuz Gölü Türkiye'nin Van Gölü'nden sonra en büyük ikinci gölüdür. Tuz Gölü Havzası düz ve geniş bir havza yapısına sahiptir. Tuz Gölü (Alt) Havzası ve çevresi Türkiye'de kurak

iklim koşullarının gözlemlendiği en büyük alanlardan bir tanesini oluşturmaktadır. Çalışma alanı yaklaşık olarak 4422 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 2.5.).

Kuraklık etkileri son yıllarda giderek artmakta ve güncel göl seviyesi her geçen gün azalmaktadır. Evaporitik kayaçların bölgede gözlemlenmesi, güncel göl seviyesinin eski göl seviyelerinden daha düşük olmasıyla birlikte, kurak iklim koşullarının etkilerini gösteren temel jeomorfolojik ve jeolojik belirteçler arasındadır. Tuz Gölü Havzası günümüzde karbonat ve genel olarak yaygın evaporit mineralleri bakımından zengin gölsel kil ve marnlardan oluşan Tuz Gölü yatağı ve playa düzlükleri ile kaplanmıştır. Tuz Gölü Havzası genel olarak geniş bir ova özelliği göstermektedir. Jeolojik zaman boyunca etkili nemli, kurak iklim koşullarının etkisiyle göl çevresinde farklı seviyelerde eski göl seviyeleri gözlemlenmektedir (Gürbüz, 2012).

Çalışma alanı ve çevresinde, evaporit minerallerince zengin jeolojik birimlerin varlığı, bölgenin kurak iklim koşulları etkisi altında olduğunun en önemli göstergelerinden biridir. Bir diğer önemli kanıt, güncel göl seviyesinin yaklaşık olarak 100 m daha yukarıda yer alan Kuvaterner dönemi göl seviyesine bağlı gelişen, eski göl seviyelerine ait taraçaların varlığıdır (Erol, 1979; Varol ve Akıska, 2012). Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre yapılan çalışmalarda, bölgede kurak iklim koşullarının etkili olduğu görülmektedir. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği, 928-1189 m arasında değişmekte ve genel olarak düz bir topoğrafya eğilimine sahiptir. (Erol, 1979; Varol ve Akıska, 2012).



Şekil 2.5. Tuz Gölü Havzası

2.2.1.2. Akşehir-Eber Gölleri havzası

Akşehir ve Eber Gölleri, İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan ve birbirlerine konum olarak yakın olan göllerdir. Akşehir Gölü, Konya ili Akşehir ilçesinde, Eber Gölü, Afyonkarahisar il sınırları içerisinde yer almaktadır. Akşehir ve Eber Gölleri, Tuz Gölü Havzasına benzer bir şekilde düz ve geniş bir havza yapısına sahiptirler. Akşehir ve Eber Gölleri Havzası çalışma alanı, kurak iklim koşullarının etkili olduğu tipik kurak iklim alanlarından bir diğerini oluşturmaktadır. Çalışma alanı yaklaşık olarak 847 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 2.6.).

Kuvaterner döneminin LGM'de, Anadolu'nun iç kesimlerinde buharlaşmanın az olması ve çevredeki yüksek bölgelerden gelen kar ve buzların erimesi sonucunda bazı kapalı havzalarda yeni göllerin oluşmasına neden olmuştur. Kuvaterner döneminde Akşehir Gölü'nün su seviyesi günümüz su seviyesinden yaklaşık olarak 42 m daha yüksek, Eber Gölü'nün su seviyesi, günümüz su seviyesinden yaklaşık olarak 35 m daha yüksektir. Kuvaterner döneminde yaşanan plüviyal dönemlerin etkisiyle, Akşehir ve Eber Göllerinde meydana gelen su seviyesi yükselmelerinin etkisiyle, bu iki göl birleşmiştir (Atalay, 2005; Acar, 2012). Kuvaterner dönemi iklim değişikliklerinin etkisiyle, Akşehir gölü seviyesinde değişimler meydana gelmiştir. Bu seviye değişimleri, göl kıyısında

güncel olarak gözlemlenen eski göl seviyelerine ait taraçaların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Bahadır, 2013). Akşehir Gölü ve çevresinde gözlemlenen taraçaların deniz seviyesinden yükseklikleri, 965-1000 m arasında gözlemlenmektedir. Bu taraçalar, Akşehir Gölü'nün güneydoğu, doğu, kuzey doğu ve kuzey batı kıyılarında görülmektedir. Kuvaterner'deki yüksek göl seviyelerinin etkisiyle, gölün güney kıyısında oluşan falezler günümüzde halen dikkat çekicidir (Atalay, 1977; Bahadır, 2013).

Şekil 2.6. *Akşehir-Eber Gölleri Havzası*

İlman iklim koşullarının etkili olduğu alanlarda, jeomorfolojik açıdan gözlemlenen birçok kanıt bulunmaktadır. Akarsu deltalarının oluşum süreçleri ve gözlemlenen deltalar, ılıman iklim koşullarının etkili olduğu bölgelerde gelişen önemli göstergelerden biridir. Akarsu deltaları, nehirlerin taşıdığı sedimentlerin denizlere veya göllere dökülerek biriktikleri alanlardır. Delta oluşumları, genellikle nehirlerin aşındırma etkisiyle taşınan sedimanların biriktirilmesi ve delta şeklinde gelişen süreçleri içerir. Akarsuların sedimanları aşındırması ve taşıdıkları sediman miktarı, akarsuyun akış hızına, sedimanların boyutlarına, sediman yoğunluğuna, iklim koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bölgesel iklim koşulları, akarsuların akış hızlarını, sedimanların aşındırılmasını ve taşınmasını önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biridir.

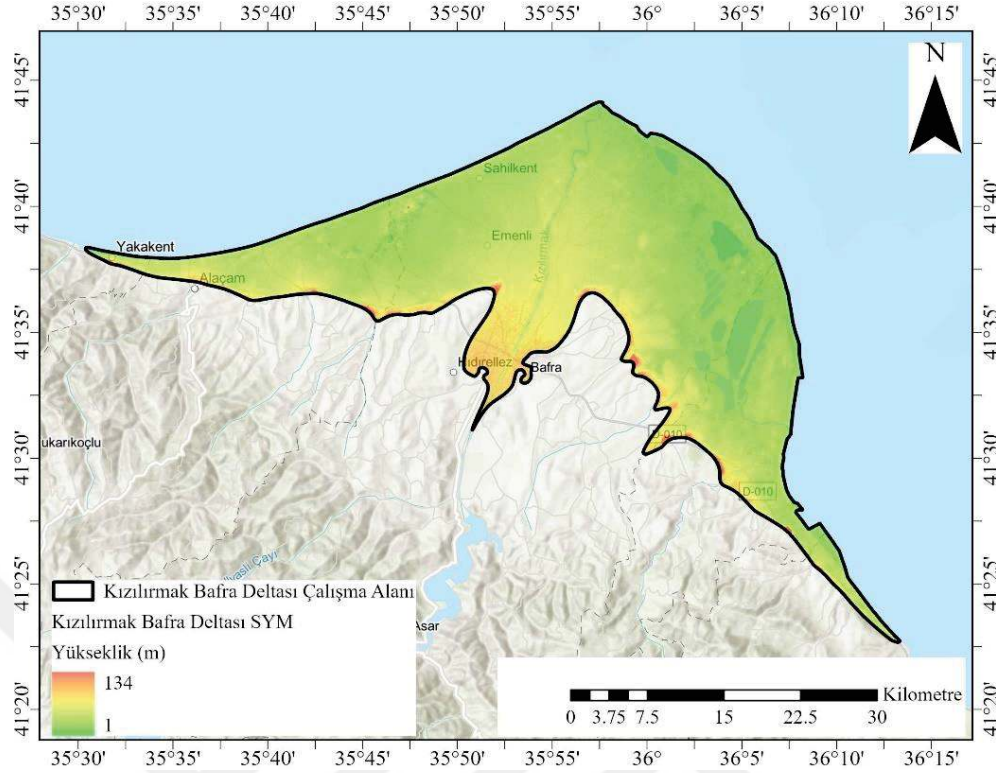
Ilıman iklim koşullarında meydana gelen yağışların etkisiyle, akarsu hızları artmakta ve akarsuların aşındırdıkları ve taşıdıkları sediman miktarı artmaktadır. Bu durum deltaların oluşum süreçlerini hızlandırmaktadır. Buna karşın, kurak iklim koşullarında yağış miktarının az olmasına bağlı olarak, akarsu akış hızı yavaşlayacaktır. Kurak iklim koşullarında yavaş akan akarsuların sediman aşındırma ve taşıma kapasiteleri de daha az olacaktır. Böylece, delta oluşum süreçleri yavaşlayacak veya delta gelişimi gözlemlenemeyecektir.

2.2.2.1. Kızılırmak Deltası

Kızılırmak Nehri'nin taşımış olduğu sedimanların Karadeniz'e dökülmesiyle oluşan Kızılırmak Deltası, Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Samsun ili, Bafra ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Kızılırmak Deltası, Türkiye'nin en büyük deltalarından birini oluşturmaktadır. Delta, Kızılırmak Nehri'nin taşımış olduğu alüvyon malzemesinin birikmesiyle meydana gelmiş ve güncel alüvyon malzeme taşınımı ile delta gelişimi halen devam etmektedir. Delta yeryüzü şekli bakımından genel olarak düz ve az eğimli bir yapıya sahiptir Çalışma alanı yaklaşık olarak 576 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 2.7.).

Delta alanının jeolojisi, Kuvaterner dönemine ait Eski Kuvaterner çökelleri olarak bilinen eski alüvyon çökellerinin bulunduğu Kızılırmak Deltası'na doğu ve batı kesimlerinde taraçalar halinde başlar. Deltanın güney kesimlerinde ise Pliyosen yaşlı sedimanter birimlerin alt seviyelerinde daha genç birimler olarak yer alır. Yeni Kuvaterner birimler olarak tanımlanmış ve güncel olarak çökelmeye devam eden yeni alüvyon birimleri, delta içerisinde bulunan sulak alanları kapsayacak şekilde kıyıya kadar uzanır. Yeni Kuvaterner olarak tanımlanan güncel alüvyon biriminin yaşı, Holosen olarak bilinmektedir. Eski Kuvaterner olarak tanımlanan eski alüvyon biriminin yaşı, Pleyistosen olarak tanımlanmış, delta oluşum yaşı, genel olarak Kuvaterner olarak yaşılandırılmıştır (İnandık, 1956; İnandık, 1957; Yalçınlar, 1958; Köksal, 1972; Yılmaz, 2005; Turoğlu, 2010.).

Kızılırmak Deltası'nın bulunduğu bölge, Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre ılıman (C) iklim sınıfına ait iklim özelliklerinin görüldüğü alanı oluşturmaktadır.



Şekil 2.7. Kızılırmak Bafra Deltası

2.2.2.2. Yeşilirmak Deltası

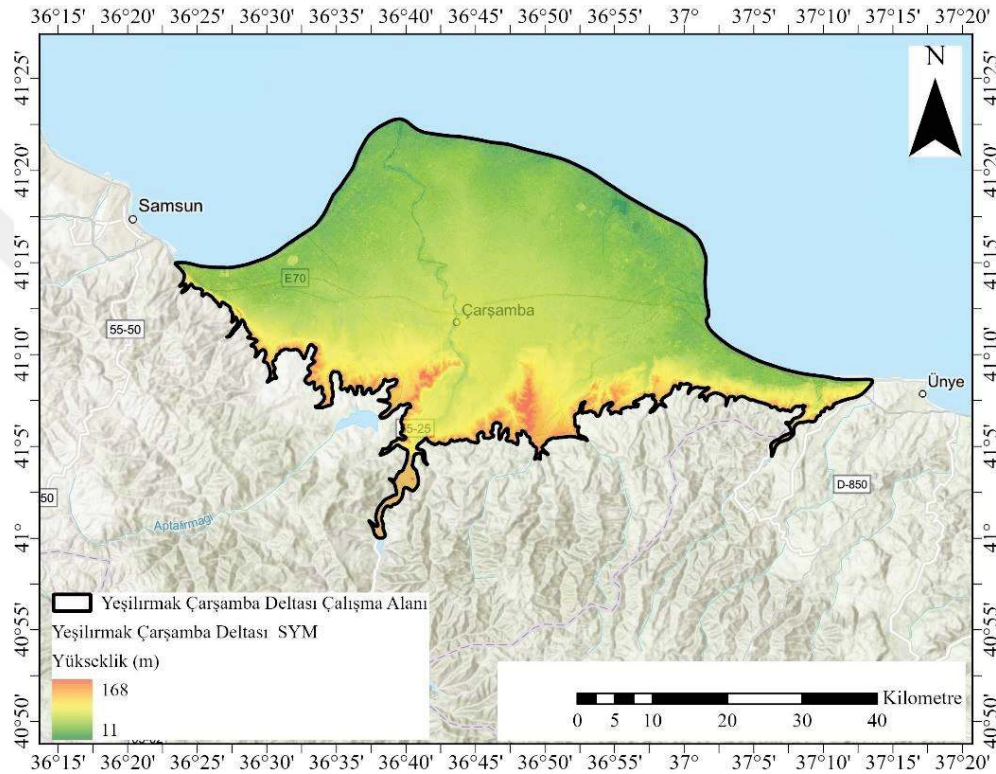
Yeşilirmak Nehri'nin taşımış olduğu sedimanların Karadeniz'e dökülmesiyle oluşan Yeşilirmak Deltası, Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Samsun ilinin Çarşamba, Tekkeköy, Terme ve Salıpazarı ilçeleri ve Ordu ili Ünye ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Deltanın doğusunda Ordu iline, batısında Sinop iline, Kuzeyinde Karadeniz'e sınır olacak şekilde konumlanmıştır. Delta, Türkiye'nin en büyük deltalarından birini oluşturmakta ve Yeşilirmak Nehri'nin Karadeniz'e döküldüğü konumda yer almaktadır. Çalışma alanı yaklaşık olarak 1162 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 2.8.).

Delta Yeşilirmak Nehri'nin taşımış olduğu alüvyon malzemesinin birikmesiyle meydana gelmiş ve güncel alüvyon malzeme taşınımı ile delta gelişimi halen devam etmektedir. Delta yeryüzü şekli bakımından genel olarak düz ve az eğimli bir yapıya sahiptir. Delta alanının jeolojisi, Üst Kratese yaşlı sedimanter birimler, Üst Paleosen-Eosen yaşlı magmatikler ve sedimanter birimler, Miyosen yaşlı magmatik birimler, Pliyosen yaşlı karasal depolar ve Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerinden oluşmaktadır (Atalay Dutucu, 2016).

Genel olarak delta alanı Kuvaterner döneminin son zamanlarına ait olan Holosen ve Pleyistosen yaşlı çökel birimlerden oluşmaktadır. Holosen yaşlı birimler, kum, çakıl,

kil ve silt içeren birimlerdir. Pleyistosen yaşlı birimler, kum, çakıl, kumtaşı, çakıltaşı, silt ve kil içeren birimlerden oluşmaktadır. Delta alanında yaygın olarak gözlemlenen bu birimler, Yeşilırmak Nehri'nin taşımış olduğu sedimanlardan oluşmaktadır. Deltanın tüm kuzey kıyıları Holosen yaşlı çökellerden oluşmaktadır (Atalay Dutucu, 2016).

Yeşilırmak Deltası'nın bulunduğu bölge, Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre ılıman (C) iklim sınıfına ait iklim özellikleri göstermektedir.



Şekil 2.8. Yeşilırmak Deltası

2.2.3. Soğuk iklim koşullarının etkili olduğu alanlar

Soğuk iklim koşullarının etkili olduğu alanlarda, jeolojik ve jeomorfolojik özellikler bakımından birçok kanıt bulunmaktadır. Bölgesel olarak soğuk iklim koşullarının etkisiyle meydana gelen buzullaşmaya bağlı yeryüzü şekilleri ve güncel buzulların bulunması, bu bölgelerde soğuk iklim koşullarının geçmişte etkili olduğunu veya günümüzde soğuk iklim koşullarının etkisi altında olduğunu işaret etmektedir.

Sirk yapılarının, buzul göllerinin, U tipi vadilerin, morenlerin, güncel buzulların varlığı seçilen alanlar için soğuk iklim koşullarının etkili olduğunu gösteren tipik jeomorfolojik özelliklerdir. Çalışma alanında, bölgesel olarak sirk yapılarının, buzul göllerinin, U tipi vadilerin, morenlerin bulunması, bölgede jeolojik zaman içerisinde

soğuk iklim koşullarının etkili olduğunun kanıtlarıdır. Aynı şekilde güncel olarak buzulların varlığı, bulunduğu bölgenin soğuk iklim koşulları etkisi altında olduğunun bir diğer göstergesidir.

2.2.3.1. Cilo (Buzul) Dağları

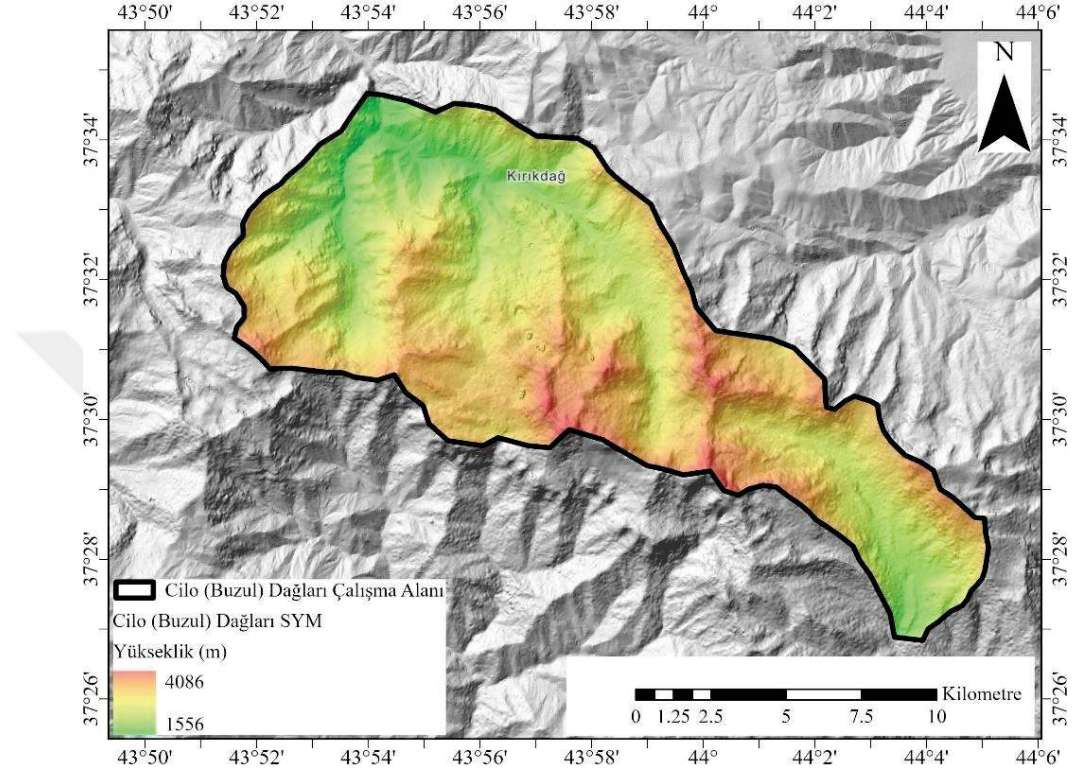
Cilo Dağları, Türkiye'nin güneydoğu Anadolu bölgesinde, Hakkâri il sınırı içerisinde bulunmaktadır. Toros-Zagros Dağ Kuşağı'nın en yüksek zirvelerinin olduğu bölgeyi göstermektedir. Güneydoğu Toros Dağları, Mezozoik yaşlı kireçtaşları ve Tersiyer yaşlı sedimanter kayaçların, Paleozoik ve Mezozoik yaşlı metamorfikleri ve volkanik kayaçları üzerleyen birimlerden oluşmaktadır (Sarıkaya, 2011; Varol, 2017).

Cilo Dağları'nın jeolojik zaman gelişiminin en etkili olduğu dönemlerden biri, Pleyistosen zaman dilimidir. Pleistosen zaman diliminde yaşanan iklim değişiklikleri ve buzullaşma etkisiyle bölgede buzul şekilleri oluşmuştur. Bölgede yaşanan buzullaşma güncel buzul konumlarından 700 m kadar daha aşağı konumlara kadar ilerlemiştir (Erinç, 1952a; Erinç, 1952b; Varol, 2017).

Cilo Dağları Pleyistosen zaman diliminde yaşanan soğuk iklim koşullarının etkisiyle meydana gelen ve günümüzde halen güncel buzulların gözlemlendiği Türkiye'nin önemli buzul alanlarından biridir (Erinç vd., 2010). Türkiye'nin en yüksek dağ zirvelerinden biri olan Uludoruk Tepe, 4.135 m yüksekliği ile bu bölgede yer almaktadır. Ayrıca, bölgede irili ufaklı birçok güncel buzul gözlemlenmektedir (Çiner, 2003; Sarıkaya, 2011). Bunun yanında, birçok vadi de bulunmaktadır. Bu vadiler, güncel buzul alanlarının bulunduğu alanlardan başlar ve buzul ilerlemesi boyunca "U" tipi vadi profili ile daha düşük kotlara kadar ilerlemiş şekilde bulunmaktadır. Vadiler boyunca aşağı kotlara inildikçe, buzul izleri olan U tipi vadiler, V tipi vadiler gözlemlenmektedir. Ayrıca, bölgede buzullaşmanın kanıtları olan birçok sirk ve buzul gölleri mevcuttur (Varol, 2017).

Çalışma alanı olan Cilo Dağları'nda, buzul jeomorfolojisine ait izlerin varlığı, bölgede geçmişte soğuk iklim koşullarının yaşandığını, güncel buzul alanlarının varlığı, günümüzde halen soğuk iklim koşullarının etkili olduğunu göstermektedir. Bölgede soğuk iklim koşullarının etkisiyle meydana gelen U tipi vadilerin, moren izleri, sirk yapılarının varlığı, soğuk iklim koşullarının etkisiyle yeryüzünün şekillendiğinin göstergeleridir. Çalışma alanı yaklaşık olarak 118 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 2.9.).

Çalışma alanı, buzullaşma etkisiyle oluşan yüzey şekillerinin varlığı ve Köppen-Geiger iklim sınıflandırma sistemine göre yapılan çalışmalarda soğuk iklim (D) koşullarının etkili olması nedeniyle soğuk iklim koşullarını temsil edecek şekilde seçilmiştir.



Şekil 2.9. Cilo (Buzul) Dağları

2.2.3.2. Giresun Karagöl Dağları ve çevresi

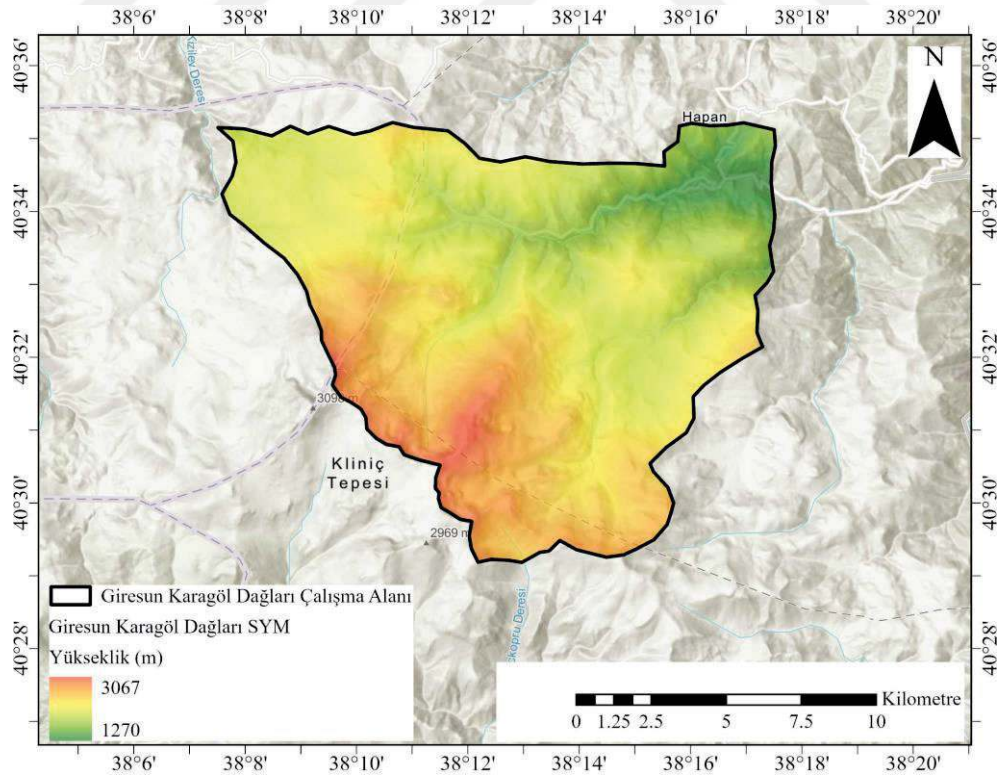
Giresun Karagöl Dağları çalışma alanı, Karadeniz Bölgesi, Giresun ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Karagöl Dağı, Giresun Dağları'nın en yüksek konumunu oluşturmaktadır. Giresun Dağları, Üst Kretase yaşlı bazalt, andezit, aglomera, kumtaşı, silt taşı, kireç taşı ve volkanik breşler, Üst Kretase-Paleosen yaşlı kireçtaşları ve granitoidleri ile Eosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve piroklastiklerden oluşmaktadır (Şenol, 2019).

Karagöl Dağı ve çevresi jeomorfolojik olarak oldukça çeşitliliğe sahiptir. Derin vadiler, dik yamaçlar ve sarp dağ zirveleri bulunmaktadır. Karagöl Dağı'nda Pleyistosen döneminde yaşanan soğuk iklim koşullarında buzullaşma etkisiyle oluşmuş çok büyük alana sahip olmayan, dört adet buzul gölü, sirkler ve yüksek kesimlerde buzul aşındırmasına bağlı gelişen "U" tipi vadiler gözlemlenmektedir.

Karagöl Dağı'nda buzullaşmaya bağlı oluşan yeryüzü şekilleri alana hâkim bir şekilde gözlemlenmekte ve buzullaşmanın izlerini taşıyan karakteristik yeryüzü şekillerini oluşturmaktadır. Bölgede buzul jeomorfolojisinin çeşitliliği ve varlığı, bölgenin Pleyistosen buzullaşması etkisiyle oluşan yüzey şekillerinin gözlemlendiği önemli bir alan olduğunun göstergeleridir (Planhol ve Bilgin, 1961; Şenol, 2019).

Karagöl Dağları ve çevresinde yükseklik değerleri 3100 m'lere kadar ulaşmaktadır. Yıllık yağış miktarı yüksek, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Kışların soğuk ve kar yağışlı geçmesinin etkisiyle yağan kar uzun süre yeryüzünde kalmaktadır.

Giresun İli yakınlarında bulunan Karagöl Dağları, Türkiye'de buzul jeomorfolojisinin gözlemlendiği önemli buzul alanlarından bir tanesidir. Bölgede soğuk iklim koşullarının etkisiyle meydana gelen U tipi vadilerin, moren izleri, sirk yapılarının varlığı, soğuk iklim koşullarının etkisiyle yeryüzünün şekillendiğini göstermektedir. Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre yapılan çalışmalarda, bölge Soğuk iklim (D) koşullarının etkili olduğu alana karşılık gelmektedir. Çalışma alanı yaklaşık olarak 104 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi

2.2.4. Örneklem noktalarının oluşturulması, veri normalizasyonu ve veri setlerinin hazırlanması

Örneklem noktalarının oluşturulması ve verilerin normalizasyonu için kullanılan yöntemler, veri setinin hazırlanması çalışmanın önemli aşamalarını oluşturmaktadır. Her bir aşama bu bölümün alt başlıkları halinde açıklanmıştır.

2.2.4.1. Örneklem noktalarının oluşturulması

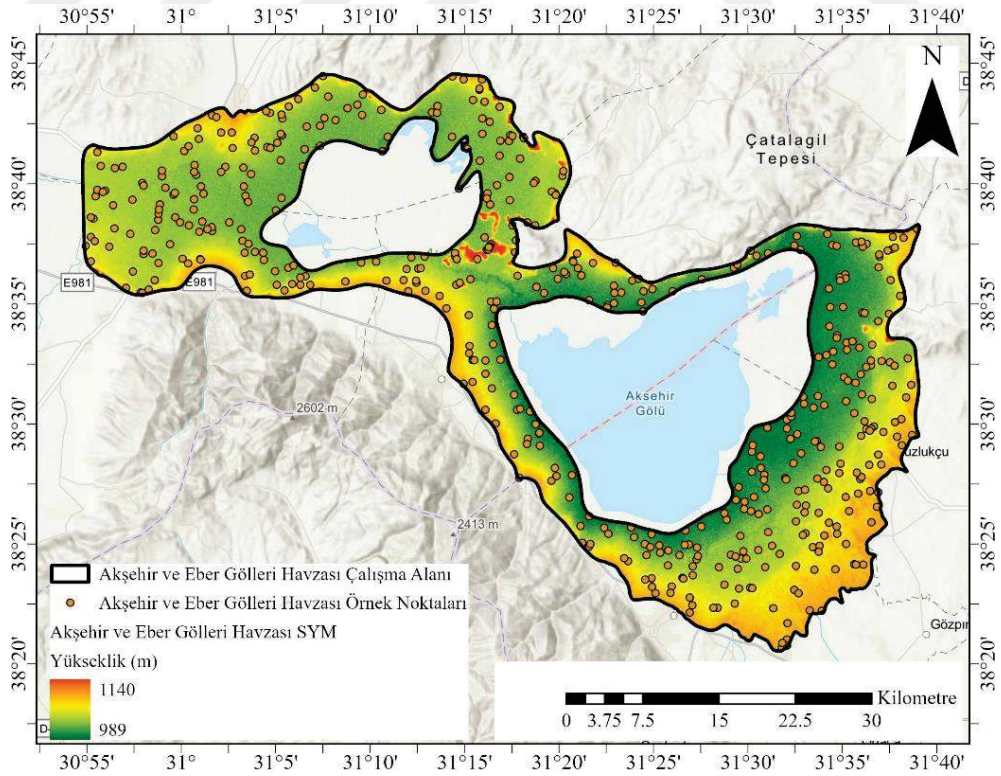
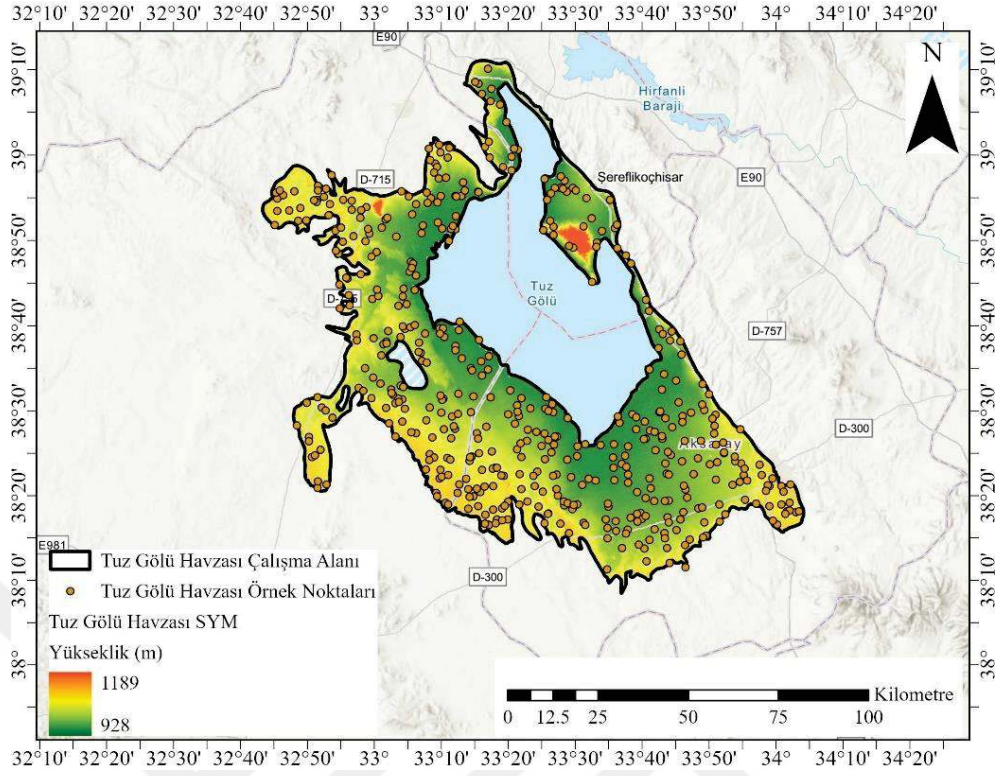
Analizlerinde kullanılacak verilerin toplanma aşaması oldukça önemli bir süreçtir. Verilerin toplanması için farklı istatistiksel örnekleme yöntemleri vardır. Örnekleme yöntemleri genel olarak belirli bir alan, topluluk gibi ana kütle içerisinde, ana kütle temsil edecek bir alt küme oluşturmak için kullanılmaktadır. Örnekleme işlemi, tüm alan veya bir topluluğun tüm verilerinin analiz edilmeden ana kütle temsil edici sonuçların elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Levy ve Lemeshow, 2013; Kılıç, 2013; Baltacı, 2018). Yaygın olarak kullanılan örnekleme yöntemlerinden biri Basit Rastgele Örnekleme (BRÖ) yöntemidir. BRÖ yöntemi ana kütlede seçilen her bir verinin, örneklem kümesine dâhil edilme olasılıklarının eşit olduğu örnekleme yöntemidir. BRÖ yönteminde belirli bir topluluğa veya alana ait olan örneklem kümesinden örnekler, rastgele olarak seçilmektedir (Kılıç, 2013; Baltacı, 2018; Lohr, 2021). Örneklerin rastgele olarak seçilmesi, alan veya topluluğun temsiliyetini ve tarafsız olmasını arttırmaktadır. Rastgele örnekleme yöntemi, ana kütlede örnekleme yapılırken meydana gelebilecek önyargı ve sistematik hatayı en aza indirmektedir. Bu durum, yapılacak analizlerin güvenilirliğini arttırmaktadır (Baltacı, 2018).

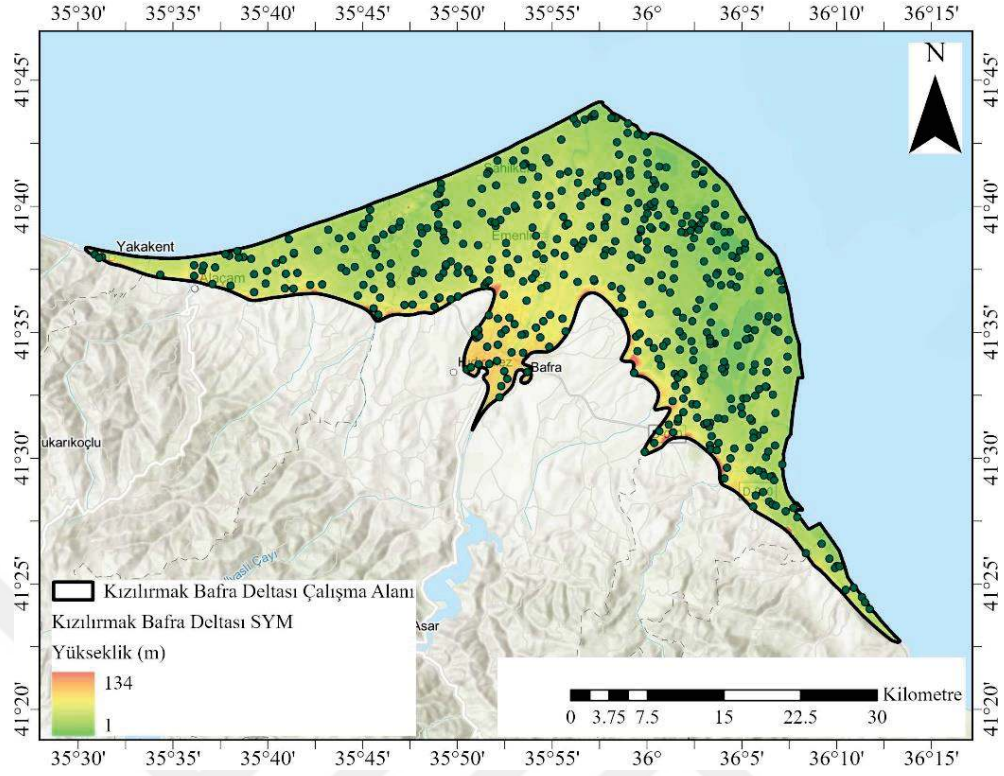
Özellikle çok sayıda veriye sahip büyük verilerin kullanılacağı durumlarda BRÖ kullanılarak seçilen örneklem kümesi üzerinde yapılan analizler tüm veriyi temsil edebilecek niteliğe sahiptir. Böylece genellenebilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Rastgele örnekleme yönteminin önemli avantajlarından bir diğeri, uygulanabilirliğinin kolay olması ve anlaşılabilir olmasıdır (Kılıç, 2013; Baltacı, 2018).

Tez kapsamında seçilen çalışma kapladığı alanlarının farklı ve analizlerde kullanılan SYM'lerin çözünürlüğünün oldukça yüksek olması nedeniyle, örneklem noktaları seçilirken BRÖ yöntemi kullanılmıştır. BRÖ yönteminin kullanılma nedenlerinden bir diğeri iklim koşullarını temsil eden alanlar için; jeomorfometrik parametrelerin üretilmesinde kullanılan SYM'lere ait tüm piksellerin çalışma alanlarında gözlemlenen iklim sınıflarını temsil etmesidir. Çalışma kapsamında, her bir çalışma alanı

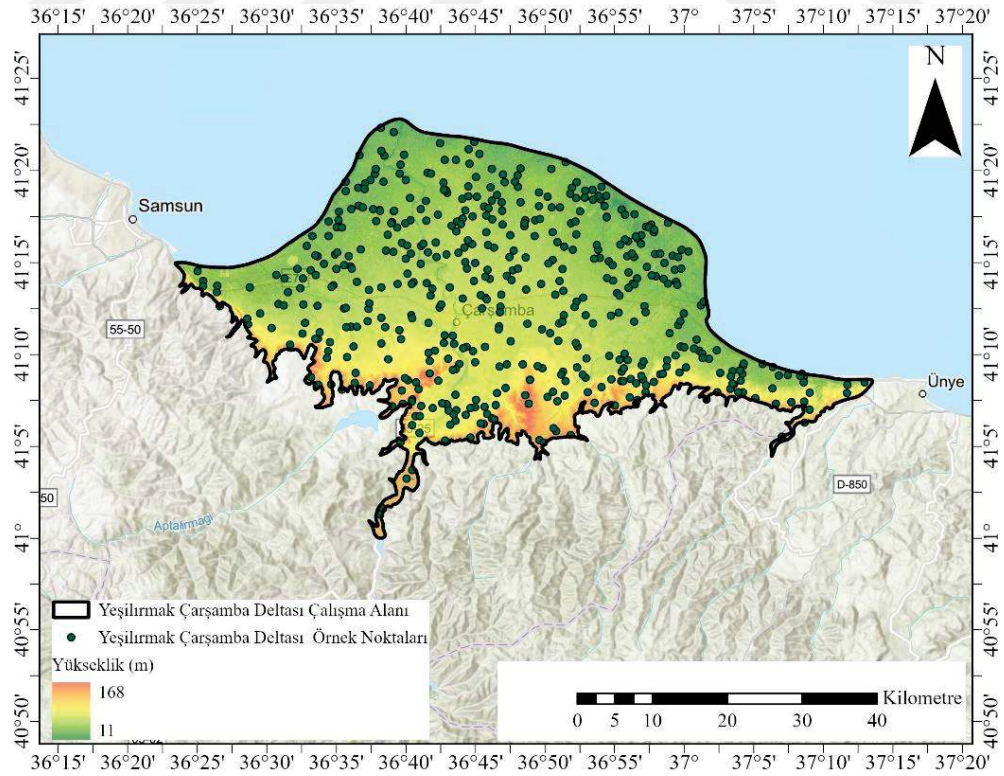
için jeomorfometrik parametre değerlerinin veri setleri halinde toplanması için 500 örneklem noktası, BR yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu rneklem noktaları, ArcGIS/ArcMAP 10.8.2 programının Create Random Point aracı kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışma alanları için BRÖ yöntemi kullanılarak belirlenen örneklem noktalarının dağılım haritası şekil 2.11., şekil 2.12., şekil 2.13., şekil 2.14., şekil 2.15. ve şekil 2.16.'da verilmiştir.



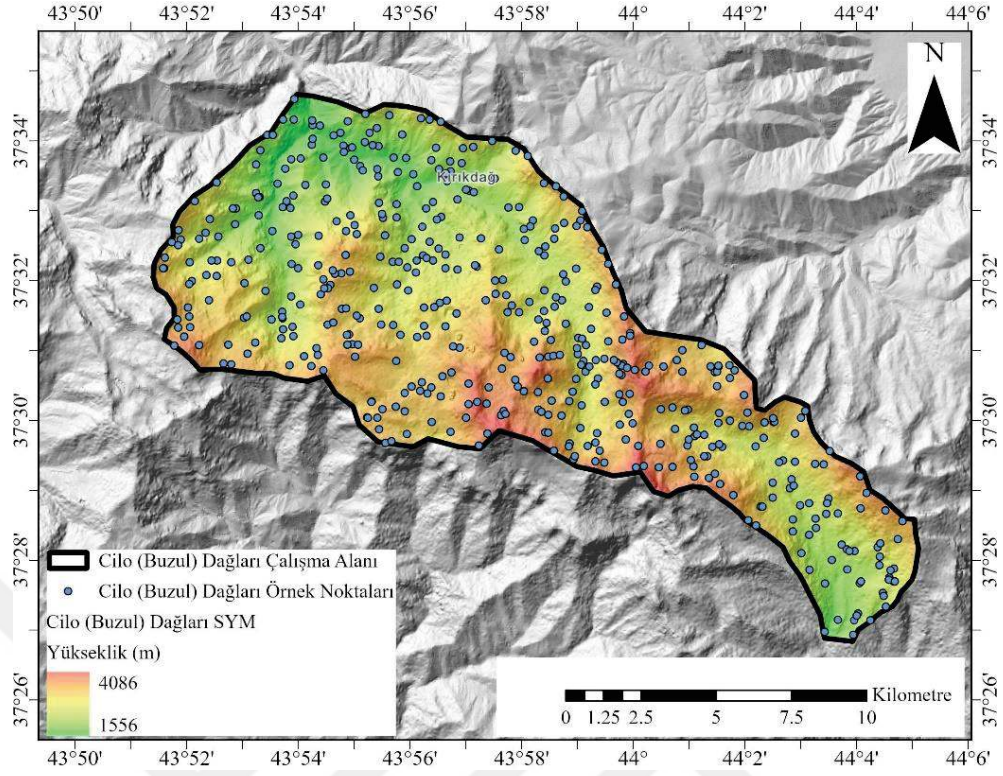




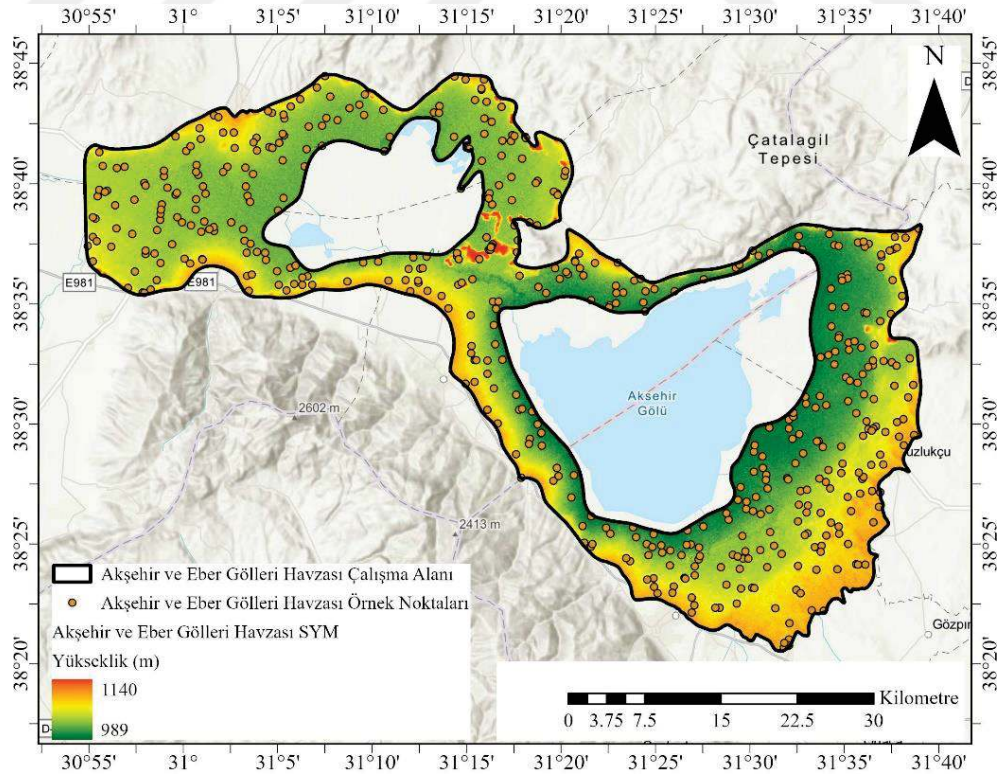
Şekil 2.13. Kızılırmak örneklem noktaları



Şekil 2.14. Yeşilirmak Deltası örneklem noktaları



Şekil 2.15. Cilo (Buzul) Dağları örneklem noktaları



Şekil 2.16. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi örneklem noktaları

2.2.4.2. Veri normalizasyonu

Makine öğrenmesi analizlerinde gerçekleştirilen veri normalizasyonu, model performansını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Veri normalizasyonu, veri setlerinde bulunan özelliklerin sayısal değerlerini farklı ölçeklerden ortak bir benzer ölçek aralığına getirmek için kullanılan bir yöntemdir. Veri setleri içerisinde farklı ölçeklere sahip özelliklerin olması, model eğitimi (öğrenmesi) aşamasında modelin doğru bir şekilde eğitilmemesine neden olabilir. Doğru bir şekilde eğitilmeyen modeller üzerinde gerçekleştirilen tahmin performansları olumsuz etkilenmektedir.

Makine öğrenmesi algoritmalarından k-en yakın komşular ve destek vektör makineleri gibi mesafe tabanlı olan algoritmalarda, veri normalizasyonunun gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir (Bhattacharya, 2021). Mesafe tabanlı algoritmalar, genel olarak kullanılan veri noktaları arasındaki hesaplar ve sınıflandırma işlemini gerçekleştirir. Mesafe tabanlı algoritmalar kullanılarak geliştirilen modellerin özellik ölçeklerinin farklı olduğu durumlarda genel olarak büyük ölçekli özelliğe sahip veriler, küçük ölçekli özelliğe sahip verilere göre daha fazla ağırlıklandırılabilir. Farklı ölçeklere sahip özellikler kullanılarak geliştirilen modellerin performansı olumsuz etkilenebilir.

Veri normalizasyonu yöntemleri kullanılarak, model eğitimi sırasında analizlerde kullanılacak veri setlerinde bulunan özelliklerin, model eğitime katkı vermesini sağlayarak model performansının ölçek farklılıklarından olumsuz etkilenmemesi sağlanır (Garcia vd., 2015; Singh ve Singh, 2020). Ayrıca, modelin eğitimi sırasında, veri setinde bulunan özelliklerin birbirleri arasındaki ilişkilerin daha etkin bir şekilde öğrenilmesi gerçekleştirilir. Bu nedenlerle veri normalizasyonu, analizlerde kullanılacak makine öğrenmesi modellerine ait performansları iyileştirmekte ve daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, veri normalizasyon yöntemlerinden biri olan min-maks normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, veri setleri içerisinde farklı ölçeklerde bulunan özelliklere ait sayısal verilerin benzer bir ölçek aralığına dönüştürülmesini sağlamaktadır. Min-maks normalizasyon yöntemi veri seti içerisinde bulunan farklı özelliklere ait her bir verinin değerini veri setinde bulunan minimum ve maksimum değerleri kullanarak verileri 0, +1 aralığında olacak şekilde yeniden ölçeklendirmektedir (Garcia vd., 2015; Singh ve Singh, 2020; Bhattacharya, 2021). Bu işlem özelliklere ait

sayısal değerden minimum değer çıkartılır ve maksimum değer ile minimum değer arasındaki farka bölünerek Eşitlik (2.1) veriler normalleştirilir (Ou vd., 2023).

$$x_{norm} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2.1)$$

Min-maks normalizasyonu yapılacak veri seti içerisinde eksi değerlere sahip özelliklerin bulunması durumunda, özelliklere ait tüm değerlerin normalizasyon sonucunda -1 ile +1 aralığında ölçeklendirilmesi değerlerin temsil edilme açısından önemlidir. Analizlerde kullanılan özellik verileri içerisinde eksi değerler bulunduğundan, min-maks normalizasyonu bu veriler -1 ile +1 aralığında ölçeklendirilmiştir (Ou vd., 2023).

Çalışmada kullanılan jeomorfometrik parametrelere ait tanımlayıcı istatistiksel değerler, Tablo 2.5.'te verilmiştir. Tablo 2.5.'te parametrelere ait değerlerin aynı ölçekte olmadıkları görülmektedir. Parametre değerlerinin birçoğunun 0 ve +1 arasında değişiklik göstermesi nedeniyle yaşana bilecek sorunların önüne geçmek için tüm özelliklere ait sayısal verilere min-maks normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Ayrıca, Tablo 2.5.'te özelliklere ait veriler arasında eksi değerler bulunmaktadır. Normalizasyon işlemi analizlerde kullanılacak veriler içerisinde eksi değerlerin bulunması nedeniyle, eksi değerlerin varlığında kullanılan min-maks eşitliği (Eşitlik 2.2) kullanılarak yapılmıştır. Veri normalizasyon işlemi, R-Studio programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Min-maks normalizasyonu yöntemi ile normalize edilen verilere ait tanımlayıcı istatistik değerleri, Tablo 2.6.'da verilmiştir.

$$x_{norm} = 2 \times \left(\frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \right) - 1 \quad (2.2)$$

Tablo 2.5. *Jeomorfometrik parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel değerleri*

Jeomorfometrik Parametre	Örneklem Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Yükseklik	3.000	17	3.988	1185,6174	1067,5548
Eğim	3.000	0	1,3215	0,1736	0,2377
Genel Eğrisellik	3.000	-0,2124	0,1312	-0,0002	0,0132
Profil Eğrisellik	3.000	-0,0218	0,0195	-8,40E-05	0,0030
Plan Eğrisellik	3.000	-0,16	0,2515	0,0008	0,0317
Teğetsel Eğrisellik	3.000	-0,0242	0,0320	5,94E-05	0,0032
Uzunlamasına Eğrisellik	3.000	-0,1694	0,0737	-0,0002	0,0087
Enlemesine Eğrisellik	3.000	-0,0455	0,0714	9,42E-05	0,0066
Minimum Eğrisellik	3.000	-0,1185	0,0262	-0,0025	0,0050
Maksimum Eğrisellik	3.000	-0,0114	0,0635	0,0025	0,0048
Toplam Eğrisellik	3.000	0	0,0140	5,28E-05	0,0003
Akış Çizgisi Eğriselliği	3.000	-0,2263	0,2667	0,0001	0,0089
Analitik Gölgeleme	3.000	0,0256	2,0115	0,7987	0,1880
Yakınsaklık İndeksi	3.000	-100	100	0,1626	36,6618
Havza Alanı	3.000	12,5	42.850	223,6853	1781,0995
Maksimum Yükseklik	3.000	22	4.014	1213,4611	1106,0039
Melton Sağlamlık İndeksi	3.000	0	311477	1,5494	3,3697
Vadi Derinliği	3.000	0	695,3850	100,8271	87,5521
Topografik Nemlilik İndeksi	3.000	2,7986	13,3214	7,6506	1,8073
Arazi Sağlamlık İndeksi	3.000	0	31,8904	1,7025	2,6876
Konvekslik	3.000	0	71,3827	33,6363	7,6974
Arazi Dokusu	3.000	0	20,2032	0,7642	2,1128
Topografik Pozisyon İndeksi	3.000	-81,4456	44,4715	-0,0796	4,9380
Görülebilir Gökyüzü	3.000	482083	100	92,5771	9,4225
Gökyüzü Görünüm Faktörü	3.000	0,4052	1	0,9547	0,0847
Basitleştirilmiş Gökyüzü Görünüm Faktörü	3.000	0,6234	1	0,9793	0,0457
Arazi Görünüm Faktörü	3.000	0,0001	0,3335	0,0245	0,0503
Ortalama Görüntüleme Mesafesi	3.000	20,3125	10.000	1820,3922	1599,1694
Pozitif Açıklık	3.000	0,7573	1,5902	1,4562	0,1465
Negatif Açıklık	3.000	0,8034	1,5929	1,4652	0,1401

Tablo 2.6. Jeomorfometrik parametrelerin normalizasyon işlemi yapıldıktan sonraki tanımlayıcı istatistiksel değerleri

Jeomorfometrik Parametre	Örneklem Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Yükseklik	3.000	-1	1	-0,3250	0,6074
Eğim	3.000	-1	1	-0,6704	0,4222
Genel Eğrisellik	3.000	-1	1	0,0702	0,2510
Profil Eğrisellik	3.000	-1	1	0,0358	0,2678
Plan Eğrisellik	3.000	-1	1	-0,1074	0,2045
Teğetsel Eğrisellik	3.000	-1	1	-0,0394	0,1973
Uzunlamasına Eğrisellik	3.000	-1	1	0,1653	0,2929
Enlemesine Eğrisellik	3.000	-1	1	-0,0919	0,2121
Minimum Eğrisellik	3.000	-1	1	0,4284	0,2481
Maksimum Eğrisellik	3.000	-1	1	-0,4500	0,2619
Toplam Eğrisellik	3.000	-1	1	-0,9267	0,1496
Akış Çizgisi Eğriselliği	3.000	-1	1	-0,2877	0,2167
Analitik Gölgeleme	3.000	-1	1	-0,1058	0,2455
Yakınsaklık İndeksi	3.000	-1	1	0,0018	0,3666
Havza Alanı	3.000	-1	1	-0,9900	0,0840
Maksimum Yükseklik	3.000	-1	1	-0,3177	0,6209
Melton Sağlamlık İndeksi	3.000	-1	1	-0,8579	0,2812
Vadi Derinliği	3.000	-1	1	-0,6309	0,2726
Topografik Nemlilik İndeksi	3.000	-1	1	-0,1239	0,4057
Arazi Sağlamlık İndeksi	3.000	-1	1	-0,7839	0,2965
Konvekslik	3.000	-1	1	0,0767	0,2708
Arazi Dokusu	3.000	-1	1	-0,9239	0,2105
Topografik Pozisyon İndeksi	3.000	-1	1	0,1257	0,2187
Görülebilir Gökyüzü	3.000	-1	1	0,6186	0,4346
Gökyüzü Görünüm Faktörü	3.000	-1	1	0,7950	0,3388
Basitleştirilmiş Gökyüzü Görünüm Faktörü	3.000	-1	1	0,8468	0,2989
Arazi Görünüm Faktörü	3.000	-1	1	-0,8134	0,3399
Ortalama Görüntüleme Mesafesi	3.000	-1	1	-0,6148	0,3448
Pozitif Açıklık	3.000	-1	1	0,6012	0,4204
Negatif Açıklık	3.000	-1	1	0,5909	0,4145

2.2.4.3. Veri setlerinin hazırlanması

Makine öğrenmesi analizlerinde, kullanılacak veri setlerinin hazırlanması son derece kritiktir. Veri setlerinin hazırlanma sürecinde doğruluğun ve titizliğin sağlanması büyük önem taşır. Doğru ve etkin bir sınıflandırma modelini hazırlamak için, veri formatlarının uygun seçilerek veri tabanlarına doğru işlenmesi gerekmektedir. Model geliştirme aşamasına geçmeden önce veri setleri içerisindeki verilerin farklı makine öğrenmesi algoritmaları tarafından okunabilir bir formata getirilmesi önemlidir. Veri setleri içerisinde, özellik verileri sayısal veriler ve kategorik veriler bulunmakta ve her bir özellik için veri tipleri doğru tanımlanmalıdır.

Analizlerde kullanılacak makine öğrenmesi algoritmalarını eğitmek için, veri setleri, eğitim veri seti ve algoritmanın sınıflandırma performanslarını değerlendirmek için test veri seti olarak belirlenmesi gerekmektedir. Eğitim veri seti, makine öğrenmesi modellerinin yapısını belirlemede ve model parametrelerinin ayarlanmasında büyük öneme sahiptir. Ayrıca, eğitim veri seti, analizlerde kullanılacak makine öğrenmesi modellerinin veri setleri içerisindeki gizli paternleri öğreneceği veri setini oluşturmaktadır. Test veri seti, modellerin nasıl performans gösterdiğinin belirlenmesi için kullanılan veri seti olarak bilinmektedir. Eğitim ve test veri setlerinin ayrılması, makine öğrenmesi modellerinin sadece eğitim verileri üzerinde öğrenerek sınıflandırma yapmasının ötesinde, modellerin farklı ve karşılaşılmamış veriler üzerinde de başarılı sınıflandırma analizleri gerçekleştirmesini sağlar. Makine öğrenmesi modellerinin başarılı bir şekilde geliştirilmesi için, veri setinin hassas bir şekilde hazırlanması, özellik parametrelerinin uygun veri tipleri olarak belirlenmesi ve veri formatlarının uygun bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, veri setlerinin uygun bir şekilde hazırlanması makine öğrenmesi modellerinin doğruluğunu, güvenilirliğini ve analiz uygulamalarında karşılaşılabilecek farklı durumlara karşı tutarlı olmasını sağlayacaktır. Tüm bu işlemlerin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi durumunda, model performanslarının iyi sonuçlar vermesi kaçınılmazdır.

Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine ait gözlemlenen iklim sınıfları, çalışma alanlarına ait hazırlanan jeomorfometrik parametreler ve bu alanlarda etkili olan iklim sınıfları veri setleri içerisinde bulunan özellikleri oluşturmaktadır. Böylece denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma modellerinin eğitimi için, hazırlanan eğitim veri seti seçilen eğitim alanlarından elde

edilen jeomorfometrik parametreleri ve bu alanların iklim sınıflarını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Eğitim veri seti için seçilen çalışma alanlarından, kurak iklim koşulları için Tuz Gölü Havzası, ılıman iklim koşulları için Kızılırmak Deltası ve soğuk iklim koşulları için Cilo (Buzul) Dağları'dır. Her bir eğitim ve test alanından rassal örnekleme yöntemi kullanılarak hazırlanan 500 adet örneklem noktası, toplamda üç eğitim alanı ve üç test alanı için toplam 3000 örneklem noktası, eğitim ve test veri setlerindeki örneklem noktalarını oluşturmaktadır. Test veri seti için seçilen çalışma alanları kurak iklim koşulları için Akşehir-Eber Gölleri Havzası, ılıman iklim koşulları için Yeşilirmak Deltası ve soğuk iklim koşulları için Karagöl Dağları çalışma alanlarıdır.

Eğitim ve test alanlarına ait sayısal yükseklik modelleri 12,5 m çözünürlüğe sahip, ALOS PALSAR RTC RT1 sayısal yükseklik modelleri olup, SAGA yazılımı kullanılarak jeomorfometrik parametrelere ait sayısal altlık verileri ayrı ayrı üretilmiştir. Jeomorfometrik parametreler ait sayısal altlık veriler üretilirken SAGA yazılımına ait Tablo 2.7.'de verilen modüller kullanılmıştır.

Tablo 2.7. Jeomorfometrik parametreler üretilirken kullanılan modüller

Jeomorfometrik Parametre	Kullanılan Modüller
Yükseklik	Parametreleri elde ederken kullanılan veri kaynağı.
Eğim	
Genel Eğrisellik	
Profil Eğrisellik	
Plan Eğrisellik	
Teğetsel Eğrisellik	
Uzunlamasına Eğrisellik	Geoprocessing-Terrain Analysis-
Enlemesine Eğrisellik	Morphometry-Slope, Aspect, Curvature
Minimum Eğrisellik	
Maksimum Eğrisellik	
Toplam Eğrisellik	
Akış Çizgisi Eğriselliği	
Analitik Gölgeleme	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- Lightning-Analytical Hillsahding (Tarini vd., (2006)
Yakınsaklık İndeksi	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- Morphometry-Convergence Index
Havza Alanı	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis-
Maksimum Yükseklik	Hydrology-Melton Ruggedness Number (Marchi ve Fontana,
Melton Sağlamlık İndeksi	2005; Melton, 1965; O'Callaghan ve Marck, 1984).

Tablo 2.7. (Devam) Jeomorfometrik parametreler üretilirken kullanılan modüller (Devamı)

Jeomorfometrik Parametre	Kullanılan Modüller
Vadi Derinliği	SAGA-Geoprocessing- Terrain Analysis- Hydrology-Channels-Valley Depth
Topografik Nemlilik İndeksi	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- Hydrology-Topographic Indices-SAGA Wetness Index (Böhner vd., 2001; Böhner ve Selige, 2006)
Arazi Sağlamlık İndeksi	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- SAGA-Morphometry-Terrain Ruggedness Index TRI (Riley vd., 1999)
Konvekslik	SAGA-Saga Geoprocessing- Terrain Analysis- Morphometry -Terrain Surface Convexity (Iwahashi ve Pike, 2007)
Arazi Dokusu	SAGA-Geoprocessing- Terrain Analysis- Morphometry Terrain Surface Texture (Iwahashi ve Pike, 2007)
Topografik Pozisyon İndeksi	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- Morphometry-Topographic Position Index (Guisan vd., 1999; Weiss, 2000; Wilson ve Gallant, 2000)
Görülebilir Gökyüzü	
Gökyüzü Görünüm Faktörü	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- Lightning-Sky view factor (Oke, 2000; Hantzschel vd., 2005; Böhner ve Antonic, 2009)
Basitleştirilmiş Gökyüzü Görünüm Faktörü	
Arazi Görünüm Faktörü	
Ortalama Görüntüleme Mesafesi	
Pozitif Açıklık	SAGA-Geoprocessing-Terrain Analysis- Lightning-Topographic Openness (Yokoyoma vd., 2002; Prima vd., 2006; Anders vd., 2009)
Negatif Açıklık	

Tüm örneklem noktaları için hazırlanan jeomorfometrik parametrelere ait sayısal altık verileri ArcGIS Pro 3.3.0 programı kullanılarak örneklem noktalarına ait veri dosyalarına öznitelik verisi olarak kaydedilmiştir. Tüm alanlar için hazırlanan veri setleri “csv” formatı şeklinde aktararak kaydedilmiştir. Eğitim veri seti, üç eğitim alanından elde edilmiş toplam 1500 noktayı, alanlara ait toplam 30 adet jeomorfometrik parametreyi ve alanların iklim sınıflarını içeren özellik verilerini içerecek şekilde düzenlenmiştir. Her eğitim alanı için, jeomorfometrik parametreler sayısal olarak elde edilmiş ve veri setindeki sütunlar özellik parametrelerini, satırlar ise örneklem noktalarındaki bu özellik

parametrelerinin sayısal verilerini içermektedir. Benzer şekilde test veri seti içinde, üç test alanından elde edilen toplam 1500 nokta, alanlara ait toplam 30 jeomorfometrik parametre ve alanların iklim sınıflarını içeren özellik verileri olacak şekilde hazırlanmıştır. Her test alanı için jeomorfometrik parametreler sayısal olarak elde edilmiş ve veri setindeki sütunlar özellik parametrelerini, satırlar ise bu özellik parametrelerinin örneklem noktalarındaki sayısal değerlerini içermektedir.

2.3. Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Yöntemi

Makine öğrenmesi, istatistiksel yöntemleri ve çeşitli makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak toplanan veri setleri içerisinde bulunan gizli paternlerin tanımlanmasını ve bu paternlere bağlı olarak genellemeler yapılmasını sağlamaktadır. Veri setleri ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak makineler veri setleri hakkında bilgileri, örüntüleri öğrenmektedir (Burkov, 2019). Makine öğrenmesinin en önemli yönlerinden biri kullanılan algoritmaların kendini sürekli olarak geliştirmesidir. Algoritmalar, insanın öğrenme sürecinde de olduğu gibi, deneme yanılma yöntemi ile kendilerini sürekli yeniler ve bu öğrenme süreci uygun sonuçlar elde edilene kadar devam eder. Makine öğrenmesi algoritmaları uygun veri setleri ve parametreler kullanılarak yapılandırıldıklarında çok kısa sürelerde veri setine ait özellikleri, kalıpları, örüntüleri öğrenme ve tanıma özelliğine sahiptirler. Bu öğrenme sonucunda algoritmalar, veri setleri üzerinde işlemler yaparak tahmin, sınıflandırma yapmakta veya sayısal sonuçlar üretmektedir (Bali ve Sarkar, 2016).

Makine öğrenmesi modelleri, veri setindeki parametreler arasındaki ilişkileri herhangi bir kullanıcı tanımlamaya gerek duymadan öğrenebilir. Bu özellik, klasik algoritmalarla makine öğrenmesi modelleri arasındaki temel farklılıktır. Makine öğrenmesi modellemelerinde modele çözülmesi gereken problemin örnekleri verilir ve en iyi çözümü modelin bulması istenir. Makine öğrenmesi, kullanılan veriler arasındaki korelasyon ile ilgilenir. Veriler arasındaki korelasyon belirlendiğinde, oluşturulan modeller farklı veri grupları için tahminler yapmakta kullanılabilir. (Özdemir, 2016).

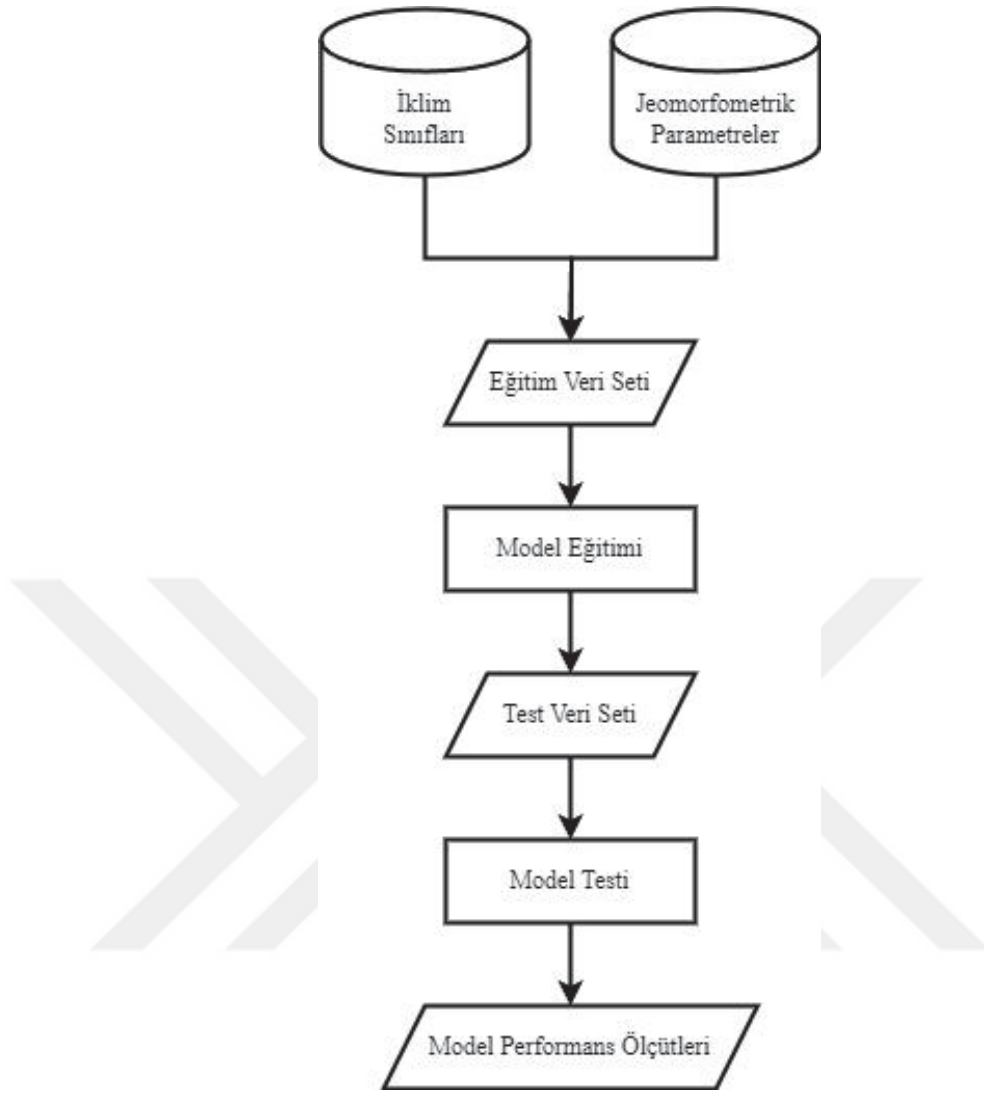
Makine öğrenmesi, veri setlerini öğrenirken farklı öğrenme yöntemlerini kullanmaktadır. Makine öğrenmesi analizlerinde yaygın olarak kullanılan öğrenme yöntemlerinden biri de denetimli öğrenmedir. Denetimli makine öğrenmesi, bir veri setindeki verilere ait özellikleri ve bu verilerle belirlenmesi hedeflenen değişken arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır. Denetimli makine öğrenmesi modelleri,

tahminlere dayalı modeller olarak bilinmektedir. Bu durum geçmişe ait veriler kullanılarak, mevcut veya gelecekteki durumları tahmin etme yetenekleri kazanmak olarak açıklanabilir (Özdemir, 2016).

Denetimli makine öğrenmesi, algoritmaların etiketli verileri içeren eğitim veri seti kullanılarak eğitilerek geliştirilen modeller ile yeni veri setleri için tahminlerin yapıldığı makine öğrenmesi yöntemidir. Denetimli makine öğrenmesi algoritmaları, eğitim veri setini kullanarak girdi değişkenleri ile çıktı değişkeni arasındaki ilişkiyi içeren örüntü fonksiyonunu öğrenir. Bu algoritmalar ile geliştirilen modeller, eğitim verisini kullanarak öğrendikleri fonksiyon ile eğitim verisindeki özelliklere sahip ancak etiketleri bilinmeyen yeni veri setleri için etiketlerin sınıflandırmasını yapar. Denetimli makine öğrenmesi yöntemi eğitim veri setindeki özellikleri kullanarak makine öğrenmesi modelleri geliştirir. Bu modeller, test veri seti olarak tanımlanan yeni veriler ile eşleştirilerek yeni etiketlerinin tahmin edilmesi ve sınıflandırılması için kullanılmaktadır (Özdemir, 2016; Silahtaroglu, 2016; Gutierrez, 2015; Bali ve Sarkar, 2016, Bhattacharya, 2021).

Denetimli öğrenme analiz yöntemi, sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Regresyon; nicel verilerin tahmin edilmesinde, sınıflandırma ise nitel verilerin tahminlenmesinde kullanılmaktadır (Chao, 2011). Veri setlerinde kullanılan bağımlı değişken sürekli veri türündeysse regresyon, kategorik veri türündeysse sınıflandırma yöntemleri kullanılır. Denetimli öğrenme analiz yönteminde karar ağaçları, rastgele orman, destek vektör makineleri, naive bayes, yapay sinir ağları, lojistik regresyon, lineer regresyon, k-en yakın komşular algoritmaları vb. algoritmalar kullanılabilir (Akay, 2018).

Çalışmada ilk olarak, jeomorfometrik parametreler kullanılarak Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma yöntemi ile iklim sınıfları gruplandırılabilir mi? araştırma sorusuna cevap aranmaktadır. Bu bağlamda kullanılan Makine Öğrenmesi Denetimli Öğrenme Sınıflandırma Analiz Yöntemine ait iş akış şeması Şekil 2.17.'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Analiz yöntemi iş akış şeması

2.3.1. Model eğitimi ve optimizasyonu

Denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma yönteminde, model eğitim aşaması oldukça önemli aşamalardan biridir. Bu aşama, makine öğrenmesi analizlerinde makine öğrenmesi algoritmalarının eğitim veri setleri kullanılarak modellerin öğrenme süreçlerini içerir. Model eğitimi ile eğitim veri seti içerisinde bulunan özellikler ve hedef değişkenler arasında bir ilişki kurulur. Bu model kurulan ilişkiler ile hedef değişkeni yani etiketli değişkeni sınıflandırmayı (tahmin etmeyi) öğrenir. Model eğitimi aşaması eğitim verisi dışındaki verilerde (test verilerinde) sağlıklı sınıflandırmalar yapabilmesi için oldukça önemlidir.

Model eğitim sürecinde farklı birçok yöntem vardır. Tek bir veri seti kullanılarak eğitim-test veri kümesinin belirli oranlarda bölünmesi, k-katlı çapraz doğrulama,

tekrarlı k-katlı çapraz doğrulama gibi yöntemler model eğitim süreçlerinde kullanılan başlıca model eğitim yöntemlerinden bazılarıdır. K-katlı çapraz doğrulama yönteminde; veri seti k eşit parçaya bölünür ve her bir parça için ayrı ayrı olmak üzere ilgili parça test verisi, geri kalan parçalar ise eğitim verisi olarak kullanılarak model eğitimi gerçekleştirilir. Bu yöntemde eğitim ve test süreci k kez tekrarlanır. Tekrarlanan her aşama için modelin performans ölçütleri hesaplanır. Hesaplanan performans ölçütlerinin ortalamaları alınarak modelin genel performans ölçütleri elde edilir (Garcia vd., 2015; Singh ve Singh, 2020; Bhattacharya, 2021).

Eğitim veri seti içerisinde her k değeri aşamasında, eğitim ve test işlemleri tek tek uygulanır (Şekil 2.18.). Beş katlı çapraz doğrulama örneği için veri seti beş alt kümeye bölünür. Bu beş alt kümenin dört tanesi eğitim için bir tanesi test için kullanılır. Bu süreç test veri seti her seferinde farklı olacak ve diğer kalan alt kümeler eğitim seti olacak şekilde kullanılarak beş kere model eğitilir. Uygulanan her aşamada elde edilen performans ölçütlerinin ortalaması eğitim modelinin model performans ölçütleri olarak elde edilir (Bhattacharya, 2021).

Eğitim Veri Seti				
Test	Eğitim	Eğitim	Eğitim	Eğitim
Eğitim	Test	Eğitim	Eğitim	Eğitim
Eğitim	Eğitim	Test	Eğitim	Eğitim
Eğitim	Eğitim	Eğitim	Test	Eğitim
Eğitim	Eğitim	Eğitim	Eğitim	Test

Şekil 2.18. $k = 5$ için k-katlı çapraz doğrulama yöntemi şematik gösterimi

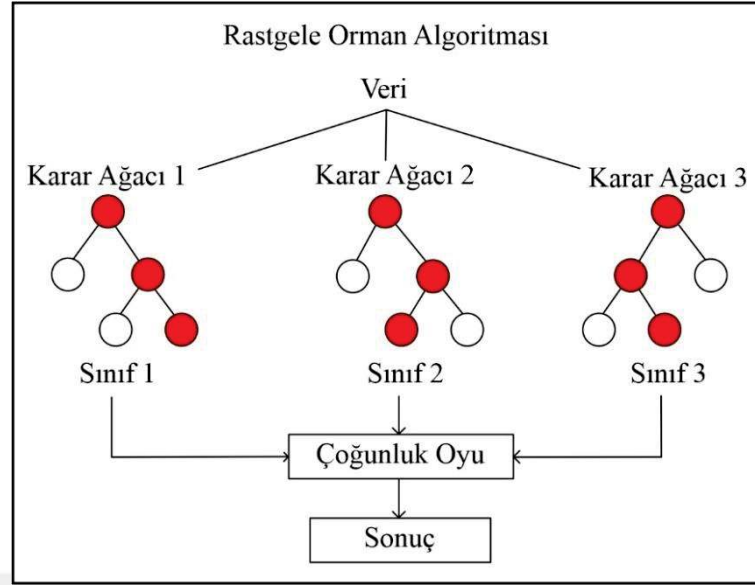
Tekrarlı k-katlı çapraz doğrulama yönteminde ise tüm işlem tekrar sayısı kadar gerçekleştirilerek k-katlı çapraz doğrulama yönteminin tekrarlanmasıyla makine öğrenmesi modeli eğitim süreci geliştirilir. Her bir tekrar sonucunda elde edilen model performans değerlerinin ortalamaları makine öğrenmesi modelinin performans ölçütleri

olarak elde edilir. Bu yöntem k-katlı çapraz doğrulama yöntemine göre modelin performans değerlerinin daha güvenilir olmasını sağlar.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan RF, SVM ve KNN sınıflandırma algoritmaları ve bu algoritmaların özellikleri, eğitim aşamasında kullanılan parametreler, parametre seçimi ve optimizasyonu detaylı bir şekilde bu bölümde verilmiştir.

2.3.1.1. Rastgele orman algoritması

Rastgele Orman (RF) algoritması, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılan denetimli sınıflandırma ve regresyon algoritmalarındandır (Breiman, 2001). RF algoritması yapısı itibarı ile kolay kullanıma sahip, aşırı öğrenme durumu (overfitting) ile genellikle karşılaşılmayan ağaç temelli algoritmaların başında gelir. Bunun nedeni RF algoritması veri seti içerisinde bulunan verileri rastgele örnek seçme yöntemini kullanarak alt kümeler oluşturacak şekilde seçmesidir. Bu seçim işlemi sonrasında birden fazla karar ağacı oluşturulur ve karar ağaçlarından meydana gelen bir orman modeli oluşur (Breiman, 2001, Liaw ve Matthew, 2002). Orman içerisindeki her bir ağaçta bulunan tüm karar düğümlerinde eğitim veri setleri içerisinde eğitim verileri ve bir takım özellik değişkenleri rastgele seçilir (Şekil 2.19.). Bu işlem sonrasında her bir karar ağacı için öğrenme süreci gerçekleşmiş olur. Orman içerisindeki ağaçlardan elde edilen sonuçlar için, RF algoritması regresyon analizlerinde kullanılıyorsa tüm tahminlerin ortalaması alınır, sınıflandırma analizinde kullanılıyorsa tahminler arasından en fazla oya sahip olan sınıf seçilir ve sınıflandırma sonucu elde edilir (Breiman, 2001; Gutierrez, 2015).



Şekil 2.19. RF algoritması karar ağaçları

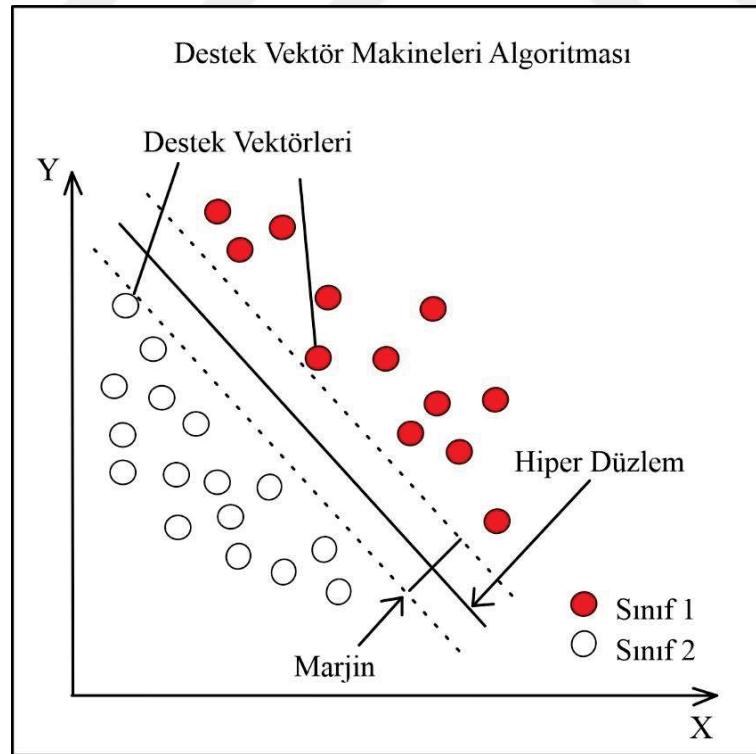
RF algoritmasının eğitimi aşamasında modelin performansının en iyi hale getirilmesi için kullanılan iki parametre vardır. Bu parametrelerden bir tanesi sınıflandırma yapılırken kullanılacak ağaç sayısıdır. Diğer parametre ise sınıflandırma aşamasında kullanılan değişken (özellik) sayısıdır. Eğitim aşamasında Randomforest paketinde ağaç sayısı (ntree), sınıflandırmada kullanılacak son karar ağacının oluşturulması için gerekli olan karar ağacı sayısıdır (Nokeri, 2021; Bartz vd., 2023). Model oluşturulurken kullanılan karar ağacı sayısı, kullanılan özelliklerin ve kurulacak modelin yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ağaç sayısı arttıkça modelin eğitim süresi artarken, modelin performansı da ağaç sayısına göre değişmektedir. RF algoritması ile eğitim yapılırken modelde kullanılan diğer bir parametre ise rastgele seçilen özellik (mtry) sayısıdır. Model eğitimi aşamasında rastgele olarak seçilen özellik sayısının model performansının en iyi olacağı şekilde seçilmesi modelin sınıflandırma performansını da etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı RF algoritmasının eğitim aşamasında kullanılacak ağaç ve rastgele seçilen özellik sayıları, model eğitim performansı ve sınıflandırma performansının en uygun olacağı şekilde seçilmelidir (Nokeri, 2021; Bartz vd., 2023).

2.3.1.2. Destek vektör makineleri algoritması

SVM algoritması, regresyon ve sınıflandırma problemlerinin çözümlerinde yaygın olarak kullanılan denetimli sınıflandırma algoritmalarından biridir (Vapnik, 1995; Cortes ve Vapnik, 1995). SVM algoritması ilk olarak ikili sınıflandırma problemlerinde doğrusal

verilerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. İlerleyen süreçte doğrusal olmayan ve çoklu sınıflandırma problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır. Yöntem genel olarak veri setleri içerisinde farklı sınıf etiketleri bulunan sınıfları birbirinden ayıran farklı boyutlara sahip bir uzay içerisinde hiper düzlemler oluşturur ve sınıfları birbirinden ayırır (Gutierrez, 2015). SVM algoritması veri setlerinde herhangi bir sınıfa ait verileri kullanarak bu sınıfa ait verileri diğer sınıflardan ayıracak en uygun hiper düzlemi bulur. Hiper düzlem bulunduktan sonra verileri etiketlerine göre ayırır ve sınıflandırır. SVM veri sınıflarının birbirinden ayrılması için sadece doğrusal sınırları değil doğrusal olmayan sınırların ayrılması gerektiği durumlarda da kullanılır (Gutierrez, 2015).

SVM algoritması eğitim veri setlerinde bulunan sınıflar arasında hiper düzlem oluşturarak sınıfları birbirinden en iyi şekilde ayırmayı hedefler (Şekil 2.20.). SVM, veri sınıflarını birbirinden ayırırken farklı hiper düzlemler kullanır ve bu hiper düzlemleri oluştururken sınıfları birbirlerinden en uzakta tutmayı hedefler. Sınıfları birbirinden ayırmak için belirlenen hiper düzleme en yakın veri noktaları destek vektörleridir. Sınıfları birbirinden ayıracak hiper düzleme ait destek vektörlerinin arasındaki mesafe marjın olarak tanımlanır (Gutierrez, 2015).

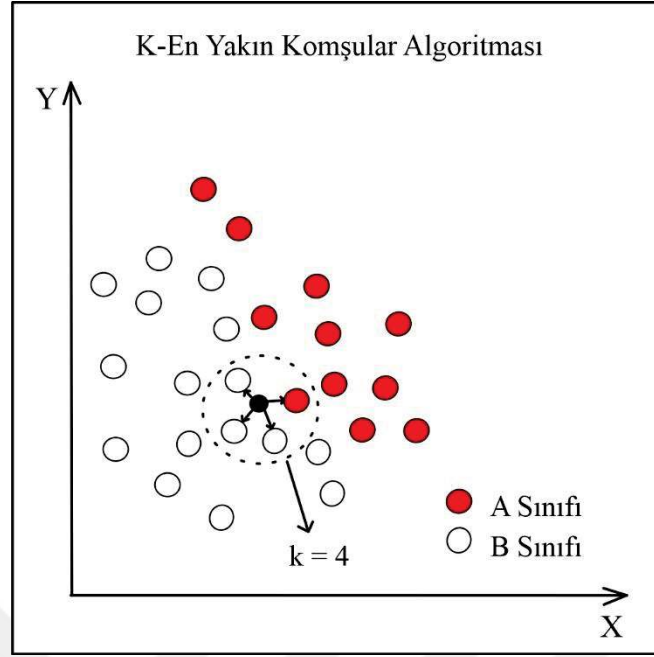


Şekil 2.20. Destek vektör makineleri hiper düzlem ve destek vektörleri

SVM algoritması eğitimi aşamasında model performansını etkileyen önemli parametreler c (cost) ve γ (gamma) parametreleridir. C parametresi, eğitimi yapılan modelin karar sınırına ait marjinal hatalarına ve olası yanlış sınıflandırmalarına karşı davranışını belirleyen parametredir. C parametresi model eğitiminden sonra yapılacak sınıflandırma analizlerinin performansını doğrudan etkiler. C değerinin düşük seçildiği durumlarda hatalı sınıflandırma olasılığı yükselir, düşük olduğu durumlarda ise bu olasılık azalır. SVM için farklı kernel modelleri vardır. Bu modeller lineer, polinom radyal tabanlı ve sigmoid modelleridir (Nokeri, 2021; Bartz vd., 2023). Lineer model eğitimi sırasında sadece C değeri kullanılır. Diğer modellerde ise γ değeri de devreye girer. γ değeri eğitim örneklerinin etki alanını belirlemeye yarayan parametredir. Yüksek γ değerleri eğitim örneklerinin daha yakın komşularına daha yüksek ağırlıklar verilmesini sağlar. Model eğitimi sırasında C ve γ değerlerinin seçimi model performansını önemli ölçüde etkiler. Seçilen hatalı değerler modelin eğitimini olumsuz etkiler ve sonrasında yapılacak sınıflandırma sonuçlarının performansını düşürür. SVM model parametrelerinin en uygun şekilde ayarlanması yapılacak sınıflandırma sonuçlarının performansını iyileştirir (Nokeri, 2021; Bartz vd., 2023).

2.3.1.3. *K en yakın komşular algoritması*

KNN algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan denetimli makine öğrenmesi algoritmalarından biridir. KNN algoritması problem çözümünde kullanılan veri seti için birbirlerine yakın olan sınıfların benzer oldukları varsayımını kabul ederek sınıflandırma yapar (Gutierrez, 2015, Shalev-Shwartz ve Ben-David 2014). Bu algoritma, verinin sınıfını belirlerken mevcut veri seti içerisindeki sınıfı etiketlenmiş k adet veri ile ilgili veri arasındaki mesafeleri ölçerek en yakın komşuları belirlemeye çalışır. Belirlenen en yakın komşulara ait sınıflardan en fazla gözlemlenen sınıf ilgili verinin sınıfı olarak tanımlanır (Şekil 2.21.). Sınıflandırması yapılacak verinin kaç komşu ile sınıflandırılacağına belirlendiği k değeri algoritma başarısını etkileyen en önemli parametredir. En uygun k değerinin belirlenmesi için farklı k değerlerinde sınıflandırma sonuçları elde edilerek bu sonuçlar karşılaştırılır. Elde edilen sonuçlar için en az hatanın elde edildiği k değeri problem çözümü için kullanılacak k değeridir.



Şekil 2.21. K-en yakın komşuları $k = 4$ için en kısa mesafeler

KNN algoritması sınıflandırılması yapılacak veriler için k adet verinin mesafe ölçümünü yapar. Sınıflandırılması yapılacak verinin en yakın komşularından en fazla olan sınıf bu veriye sınıf değeri olarak tanımlanır. Komşular arasındaki mesafe değeri hesaplanırken kullanılacak farkı mesafe ölçütleri vardır. Bu mesafe ölçütlerinden biri öklid uzaklık ölçümüdür. Öklid uzaklık değeri iki nokta arasındaki mesafeyi Pisagor eşitliğini kullanarak belirler. Öklid mesafe değeri Eşitlik 2.3 kullanılarak hesaplanır (Shalev-Shwartz ve Ben-David, 2014; Gutierrez, 2015).

$$\text{Öklid Mesafesi} = \sqrt{(X_i - X_{tahmin})^2 + (Y_i - Y_{tahmin})^2} \quad (2.3)$$

KNN algoritmasının model eğitimi aşamasında model performansını etkileyen ana parametre komşu sayısı olan k parametresidir. Model eğitimi aşamasında kullanılan k değeri eğitimi yapılan modelin sınıflandırma aşamasında verinin hangi sınıfa ait olduğu belirlenirken kullanılacak komşu sayısının tanımlandığı değerdir. Sınıflandırma yapılırken sınıfı belirlenecek verinin k sayıdaki en yakın komşularının sınıflarına bakılarak o noktanın sınıflandırılması yapılır (Bartz vd., 2023). Eğitim aşamasında seçilen küçük k değerleri modelin karmaşılaşmasına neden olurken yüksek k değerleri modelin sınıflandırma performansını arttırabilir. Bu nedenle model eğitimi yapılırken k değerinin seçimi sınıflandırma performansını doğrudan etkilemektedir (Bartz vd., 2023).

Model eğitimi aşamasında yapılacak parametre optimizasyonu sınıflandırma sonuçlarını en iyi hale getirmek için oldukça önemli bir süreçtir. Model parametre optimizasyonu yapılırken uygun parametrelerin belirlenmesi sınıflandırma sonuçlarının en iyi hale getirilmesini sağlar. RF, SVM ve KNN algoritmalarının eğitimi aşamasında tekrarlı k katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan her k katlı çapraz doğrulamada geliştirilen modeller için gerekli olan parametreler denenir. K katlı çapraz doğrulama yöntemine ait sonuçların en iyi olduğu durumda kullanılan model parametreleri sınıflandırma için kullanılacak en uygun parametreler olarak tanımlanır.

Tez çalışması kapsamında Tuz Gölü, Kızılırmak Deltası ve Cilo Buzul çalışma alanları için hazırlanan eğitim veri setleri kullanılarak RF, SVM ve KNN denetimli sınıflandırma algoritmaları tekrarlı k katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak eğitilmiştir. Her bir algoritma için ayrı ayrı model eğitim analizleri gerçekleştirilmiştir. Her model için kullanılacak parametre değerleri, farklı eğitim sonuçlarından elde edilen en yüksek doğruluk ve kappa istatistiği değerine karşılık gelen parametre değerleri olarak seçilmiştir. Model eğitim analiz sonuçlarından elde edilen doğruluk ve kappa değerlerine göre kullanılan üç algoritmanın çalışma kapsamında kullanılabilirliklerine karar verilmiştir.

Eğitim aşamasında R-Studio yazılımı Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma analizleri için geliştirilen açık kaynak kodlarını içeren paketler kullanılmıştır. Hazırlanan eğitim veri seti içerisinde bulunan özelliklere ait veri formatları; modellerin eğitimi için uygun veri formatına dönüştürülerek hazır hale getirilmiştir. Eğitim veri setleri kullanılarak yapılan model eğitimi R-Studio programı ile gerçekleştirilmiştir. Eğitimin gerçekleştirilmesi için R-Studio programı içerisinde bulunan ve makine öğrenmesi çalışmalarında yaygın olarak tercih edilen Caret paketi kullanılmıştır (Kuhn, 2008).

2.3.2. Eğitim sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında belirlenen algoritmalar ve eğitim veri seti kullanılarak makine öğrenmesi modelleri oluşturulmuştur. K-katlı çapraz doğrulama yönteminden elde edilen doğruluk ve kappa istatistiği değerleri değerlendirilerek analizlerde kullanılacak algoritmaların seçimi gerçekleştirilmiştir.

Doğruluk değeri eğitilen modelin doğru olarak sınıflandırdığı verilerin toplam veri sayısına oranını açıklar. Tekrarlı k-katlı çapraz doğrulama yöntemi sonucunda elde edilen doğruluk değeri ise her bir tekrar sonucunda belirlenen doğruluk değerlerinin ortalamasıdır. Elde edilen doğruluk değeri eğitilen modelin performansının ne kadar iyi olduğunun göstergesidir.

Kappa istatistik değeri sınıflandırması yapılan özellik sınıflarının arasındaki uyumun bir ölçüsü olarak tanımlanır. Kappa istatistiği gözlenen doğruluk değeri ile beklenen doğruluk değerinin oranını kullanarak modelin rastgele olacak şekilde ne kadar daha iyi olabileceğini belirler. Kappa istatistiği değeri sıfır ve bir arasında değişmektedir. Kappa istatistik değerinin sıfır olması durumunda sınıflar arasında bir uyum olmadığı, 0,01-0,20 değerleri arasında olması durumunda hiç ya da az, 0,21-0,40 değerleri arasında olması durumunda orta derecede, 0,41-0,60 değerleri arasında olması durumunda orta derecede, 0,61-0,80 değerleri arasında olması durumunda önemli ve 0,81-1,00 arasında olması durumunda mükemmel uyum olduğunu göstermektedir (Bhattacharya, 2021). Bu durumda kappa değeri 1 değerine ne kadar yakın ise modelin sınıflandırma performansı o kadar yüksektir (Viera ve Garret, 2005).

Model eğitim analiz sonuçlarına göre elde edilen doğruluk ve kappa değerlerine bakılarak RF, SVM ve KNN makine öğrenmesi algoritmaları ile geliştirilen modellerin iklim sınıflarını jeomorfometrik parametreleri kullanarak ayırt edilebilirlikleri belirlenmiştir.

2.3.3. Modelin test edilmesi

Model eğitimi aşamasından sonra eğitim veri seti haricinde hazırlanan test veri setleri kullanılarak modelin test edilmesi ile modelin amaca uygunluğu belirlenir. Test veri seti model eğitilirken kullanılan aynı özelliklere ait farklı değerleri içerecek şekilde seçilir. Bu seçim test verilerinin model eğitiminden bağımsız olmasını sağlar. Böylelikle model eğitimi dışında yeni bir veri seti ile model test edilir. Model testinin amaçlarından biri de model eğitildikten sonra model eğitiminden bağımsız özellik değerlerinin hangi ölçüde sınıflandırabildiğinin belirlenmesidir. Eğitilen her model bu test veri seti ile ayrı ayrı test edilir ve test sonucunda model testine ait performans ölçütleri elde edilir. Elde edilen model test performans ölçütlerine göre modelin sınıflandırma başarısı değerlendirilir (Bhattacharya, 2021).

2.3.3.1. Model (sınıflandırma) performans ölçütlerinin değerlendirilmesi

Karşıtlık (hata) matrisi eğitilen modellerin test veri setleri kullanılarak sınıflandırma sonuçlarından elde edilir. Denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma analizlerinde, sınıflandırma sonuçlarının performans ölçütleri belirlenirken her bir veri için gerçek etiket ve tahmin edilen etiket değeri olmak üzere iki adet etiket değeri vardır. Bu etiket değerlerine göre bir Karşıtlık Matrisi elde edilir (Tablo 2.8.). Karşıtlık matrisinde her sütun tahmin edilen sınıflandırılan veri sınıfını, her satırda gerçek veri sınıfını temsil eder. Sütunların kendi içerisinde toplamı o tahmin edilen sınıfın örnek sayısını, satırların kendi içerisinde toplamı ise o sınıftaki örnek sayını verir. Sınıflandırma performans ölçütlerinin birçoğu karşıtlık matrisine göre hesaplanır. Hesaplanan model performans metriklerine göre model değerlendirmeleri yapılır (Shah, 2020; Bhattacharya, 2021; Ou vd., 2023).

Tablo 2.8. Sınıflandırma analizi sonuçlarından elde edilen Karşıtlık (Hata) Matrisi tanımları

		Tahmin Edilen		
		Pozitif	Negatif	
Gerçek Değer	Pozitif	Doğru Pozitif Sayısı (DP)	Yanlış Negatif Sayısı (YN)	m ₁
	Negatif	Yanlış Pozitif Sayısı (YP)	Doğru Negatif Sayısı (DN)	m ₀
		n ₁	n ₀	n

DP; örneğin gerçek kategorisi ve tahmin edilen kategorisinin her ikisi de pozitiftir.

DN; örneğin gerçek kategorisi ve tahmin edilen kategorisinin her ikisi de negatiftir.

YP; örneğin gerçek kategorisi pozitif, tahmin edilen kategorisi ise negatiftir.

YN; örneğin gerçek kategorisi negatif, tahmin edilen kategorisi ise pozitiftir.

Karşıtlık matrisi verilerine göre denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma sonuçlarının performans ölçütleri belirlenir. Bu performans ölçütleri doğruluk, kappa istatistiği, kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru ölçütleridir.

Doğruluk (Accuracy); eğitimi yapılan makine öğrenmesi modellerinin doğru tahmin yapma oranını ifade eder. Doğruluk doğru sınıflandırılan veri sayısının toplam veri sayısına oranı (Eşitlik 2.4) olarak tanımlanır (Bhattacharya, 2021).

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Doğru Pozitifler (DP)} + \text{Doğru Negatifler (DN)}}{\text{Toplam Örnek Sayısı (DP + DN + YP + YN)}} \quad (2.4)$$

Kappa istatistik değeri; sınıflandırması yapılan özellik sınıflarının arasındaki uyumun bir ölçüsü olarak tanımlanır. Kappa istatistiği gözlenen doğruluk değeri ile beklenen doğruluk değerinin oranını kullanarak modelin rastgele olacak şekilde ne kadar daha iyi olabileceğini belirler (Eşitlik 2.5). Kappa istatistik değeri sıfır ila bir arasında değişen değerler almaktadır. Değer bire ne kadar yakınsa sınıflandırma performans sonuçları o kadar iyidir (Viera ve Garret, 2005; Bhattacharya, 2021).

$$Kappa\ istatistiği = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (2.5)$$

$$p_o = \frac{(DP) + (DN)}{(DP) + (DN) + (YP) + (YN)} \quad (2.5a)$$

$$p_e = \left(\left(\frac{n_1}{n} \right) * \left(\frac{m_1}{n} \right) \right) + \left(\left(\frac{n_0}{n} \right) * \left(\frac{m_0}{n} \right) \right) \quad (2.5b)$$

n; (DP+DN+YP+YN)

n₁; tahmin edilen pozitiflerin toplam sayısı (DP+YP),

n₀; tahmin edilen negatiflerin toplam sayısı (YN+DN),

m₁; gerçek pozitiflerin toplam sayısı (DP+YN),

m₀; gerçek negatiflerin toplam sayısı. (YP+DP).

Kesinlik (Precision); eğitilen modelin pozitif olarak sınıflandırdığı verilerin hangi oranda pozitif olduğunu ifade eder. Yanlış pozitif olan değerlerin model performans ölçütlerine etkisini belirler (Bhattacharya, 2021). Kesinlik değeri Eşitlik 2.6 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Kesinlik = \frac{(DP)}{(DP) + (YP)} \quad (2.6)$$

Duyarlılık (Sensitivity/Recall); eğitilen modelin gerçek pozitif olan verilerin hangi oranda doğru pozitif olarak sınıflandırdığını ifade eder (Bhattacharya, 2021). Duyarlılık değeri Eşitlik 2.7 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Duyarlılık = \frac{(DP)}{(DP) + (YN)} \quad (2.7)$$

Özgüllük (Specificity); eğitilen modelin negatif olarak sınıflandırdığı verilerin ne kadarının hangi oranda doğru negatif olduğunu ifade eder (Bhattacharya, 2021). Özgüllük değeri Eşitlik 2.8 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{(DN)}{(DN) + (FP)} \quad (2.8)$$

F1 Skor; eğitilen modellerin kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasından elde edilen değerdir. Bu değer kesinlik ve duyarlılık ölçütleri bir arada kullanılarak modelin performansında yanlış pozitif ve yanlış negatif değerlerinin etkisini ifade eder (Bhattacharya, 2021). F1 skoru değeri Eşitlik 2.9 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = 2 \times \frac{\text{Duyarlılık} \times \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (2.9)$$

Çalışma kapsamında eğitim veri setleri kullanılarak RF, SVM ve KNN algoritmaları eğitilerek sınıflandırma algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller test veri seti kullanılarak sınıflandırma analizleri yapılarak test edilmiştir. Test aşamasında, R-studio programın ile kullanılan randomforest, e1071 ve caret paketleri kullanılmıştır. Yapılan test analizleri sonucunda her bir model için sınıflandırma sonuçlarından elde edilen karışıklık matrisi değerleri kullanılarak modellerin performans ölçütleri elde edilmiştir.

2.3.3.2. Jeomorfometrik parametrelerin değerlendirilmesi

Denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma analizlerinde kullanılan özelliklerin modeller eğitilirken hangi önemle kullanıldığının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu önem derecesi modelin kullanılan özellikler açısından yorumlanmasına katkı sağlar. Bu amaç doğrultusunda bazı özellik belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri RF algoritmasını kullanarak özellik önemi belirleme yöntemidir. Bu yöntem ortalama doğruluk düşüşü ve ortalama gini indeksi düşüşü değerlerine göre özellik önemlerini belirler (Breiman, 2001; Breiman, 2002; Scornet, 2023).

Ortalama doğruluk azalımı, model eğitimi sırasında bir özelliğin model doğruluğuna katkısının bir ölçüsüdür. Model eğitilirken eğitimde kullanılan bir özellik eğitim veri setinden çıkartılır ve bir model doğruluğu değeri elde edilir. Elde edilen doğruluğun özellik çıkartılmadan önceki doğruluğa göre ne kadar azaldığı belirlenir.

Doğrulukta meydana gelen azalma miktarı çıkartılan özelliğin eğitilen model için önem derecesini ifade eder. Daha yüksek ortalama doğruluk azalım değerlerine sahip olan özellikler, model eğitimi sırasında daha fazla etkiye sahip olan özellikleri ifade eder (Breiman, 2001; Breiman, 2002; Scornet, 2023).

Ortalama gini indeksi düşüşü, eğitimde kullanılan özelliklerin her bir karar ağacının dallara ayrılma kriteri olarak kullanılması sıklığını özelliğin etkinliği ile ölçülür. Eğitimde kullanılan özelliklerden birinin kullanılarak karar ağaçlarındaki dallardaki hedef değişkenin homojenliği arttırıldığında kullanılan özelliğin gini indeks önemi artmaktadır. Model eğitiminde kullanılan özellikler ağaçların dallanmasında ne kadar sık ve etkili kullanılıyorsa gini önem değeri de o kadar yüksek olmaktadır. Yüksek ortalama gini indeksi düşüş değeri sahip olan özellikler model eğitimi sırasında daha fazla etkiye sahip olan özellikleri ifade eder (Breiman, 2001; Breiman, 2002; Scornet, 2023).

Tez çalışması kapsamında kullanılan algoritmaların eğitim aşamasında özellik önem değerlerinin belirlenmesi için R-Studio programında kullanılan randomforest paketinin özellik önem derecesi belirleme yöntemi kullanılmıştır. Eğitim aşamasında kullanılan veri seti randomforest paketi ile eğitilmiştir. Eğitim verisi ile model eğitimi gerçekleştirildikten sonra paketin çıktıları olan ortalama doğruluk düşüşü ve ortalama gini indeksi düşüşü değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre analizlerde kullanılan jeomorfometrik parametrelerin önemleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında jeomorfometrik parametreler kullanılarak Denetimli Makine Öğrenmesi Sınıflandırma yöntemi ile iklim sınıfları gruplandırılabilir mi? araştırma sorusu araştırılmıştır. Bu araştırma sorusu doğrultusunda Köppen-Geiger İklim Sınıflandırma Yönteminin Türkiye’de gözlemlenen kurak (B), ılıman (C) ve soğuk (D) iklim sınıflarının tipik olarak gözlemlendiği 6 adet alan, çalışma alanları olarak seçilmiştir. Bu çalışma alanlarından 3 tanesi RF, SVM ve KNN denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarının eğitilmesi amacıyla eğitim alanları olarak seçilmiştir. Diğer 3 alan, geliştirilen modellerin sınıflandırma yapılarak test edilmesi amacıyla test alanları olarak seçilmiştir.

Analizlerde kullanılacak eğitim verilerinin hazırlanması için Tuz Gölü Havzası kurak iklim koşullarının, Kızılırmak Deltası ılıman iklim koşullarının, Cilo (Buzul) Dağları soğuk iklim koşullarının Türkiye’de tipik olarak gözlemlendiği alanlar olarak seçilmiştir.

Analizlerde kullanılacak test verilerinin hazırlanması için Akşehir-Eber Gölleri Havzası kurak iklim koşullarının, Yeşilırmak Deltası ılıman iklim koşullarının, Giresun Karagöl Dağları ve çevresi soğuk iklim koşullarının Türkiye’de tipik olarak gözlemlendiği alanlar olarak seçilmiştir.

Test ve eğitim alanları olarak seçilen tüm çalışma alanları için radyometrik düzeltmesi yapılmış ve 12,5 m çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR RTC RT1 sayısal yükseklik modelleri ayrı ayrı indirilmiş ve analizlerde kullanılacak olan jeomorfometrik parametrelere ait sayısal altlık verilerin hazırlanmasında kullanılmıştır. Denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma analizlerinde kullanılacak jeomorfometrik parametrelerin sayısal altlık verileri SAGA yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır.

Hazırlanan jeomorfometrik parametrelere ait sayısal altlık verileri, ArcGIS Pro yazılımına aktarılmış ve tüm çalışma alanlarına ait örneklem noktalarına ait veri dosyalarına öznitelik verisi olarak işlenmiştir. Jeomorfometrik parametrelere ait veri dosyaları eğitim alanları için eğitim veri seti, test alanları için test veri seti olacak şekilde “csv” formatında aktarılmıştır. Aktarılan veri setleri iklim sınıflarının ve jeomorfometrik parametrelerin sayısal değerlerinin olduğu özelliklerden oluşmaktadır. Veri setlerindeki

her bir sütun iklim sınıfı ve jeomorfometrik parametreler olan özellikleri, satırlar ise örneklem noktalarını temsil etmektedir.

Denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemi analizlerine geçmeden önce analizlerde kullanılacak eğitim veri seti için 1500 ve test veri seti için 1500 olmak üzere toplamda 3000 adet örneklem noktası belirlenmiştir. Analizlerde kullanılacak iklim sınıfları ve jeomorfometrik parametrelerin sayısal verilerinin yer aldığı eğitim ve test veri setleri ayrı ayrı hazırlanmıştır. Hazırlanan eğitim ve test veri setlerinde bulunan özelliklerin veri tipleri iklim sınıfları kategorik ve jeomorfometrik parametre verileri ise sürekli veri formatına getirilerek veri setleri analizlere uygulanacak eğitim ve test aşamalarına hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan eğitim veri seti kullanılarak denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma analizleri gerçekleştirilmiştir.

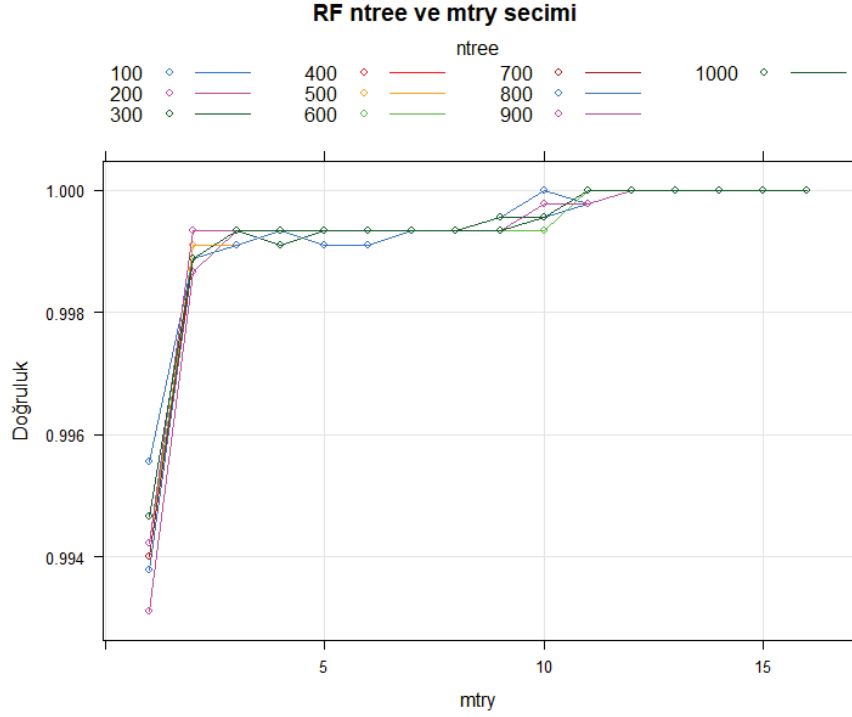
3.1. Model Eğitimi ve Eğitim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan RF, SVM ve KNN algoritmaları eğitim veri seti kullanılarak her bir algoritma kullanılarak modeller eğitilmiştir. Algoritmaların eğitim süreci R-Studio programı ve programda makine öğrenmesi analizlerinde kullanılan sınıflandırma algoritmaları için geliştirilmiş olan açık kaynak kodlu algoritma paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her algoritmanın kendine eğitim ve test süreçlerinde kullanılan kendine özgü kodları vardır. Algoritma paketleri ve kodlar kullanılarak modellerin eğitimleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları için model eğitim süreçleri bu bölümün alt başlıklarında verilmiştir.

3.1.1. Rastgele orman algoritması eğitimi ve optimizasyonu

Çalışmada eğitim veri seti ile iklim sınıflarının jeomorfometrik parametreler kullanılarak sınıflandırılması için çalışma kapsamında kullanılan RF sınıflandırma algoritmasına ait modelin geliştirilmesi için algoritmada kullanılan ağaç (ntree) ve rastgele seçilen değişken sayısı parametrelerinin en uygun olacak şekilde belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada kullanılan tekrarlı k katlı çapraz doğrulama yönteminde veri seti $k=10$ olarak seçilmiş ve tekrar sayısı on olarak seçilmiştir. K katlı çapraz doğrulama sürecinde belirlenmek istenen en uygun ağaç sayısı 100, 200, 300, 1.000 yüzer yüzer artacak şekilde belirlenmiş ve rastgele seçilen özellik değeri mtry 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ...16'ya kadar birer birer artacak şekilde seçilmiştir (Şekil 3.1.). Tekrarlı k katlı

çapraz doğrulama analizi sonucunda elde edilen genel doğruluk ve kappa istatistik değerlerine göre en uygun ağaç ve rastgele seçilecek özellik değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.1. RF algoritması için optimum ntree ve mtry değeri seçimi

Belirlenen en uygun ağaç sayısı ve rastgele seçilen özellik değerine göre model eğitimi gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı k katlı çapraz doğrulama analizi sonucunda elde edilen cost grafiğine bağlı olarak optimum parametre değerleri mtry = 10 ve ntree = 800 olduğu görülmektedir. Optimum parametre değerlerine göre model eğitimi gerçekleştirilmiş, elde edilen doğruluk ve kappa istatistik değerleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

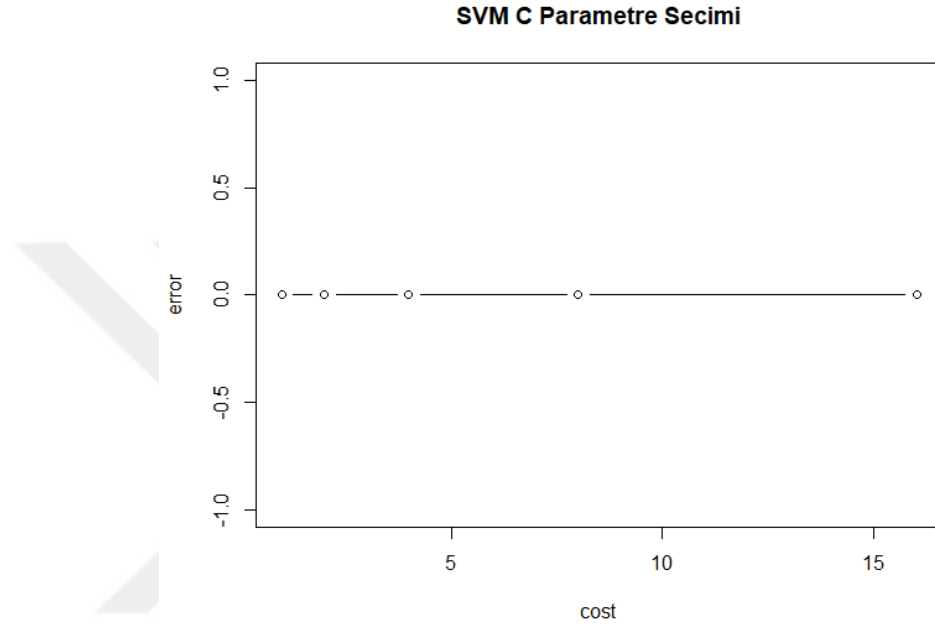
Tablo 3.1. RF algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri

Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
100,00	1

3.1.2. Destek vektör makineleri algoritması eğitimi ve optimizasyonu

Çalışmada eğitim veri seti ile iklim sınıflarının jeomorfometrik parametreler kullanılarak sınıflandırılması için çalışma kapsamında kullanılan SVM sınıflandırma algoritmasına ait modelin geliştirilmesi için algorithmada kullanılan C parametresinin en

uygun olacak şekilde belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada kullanılan tekrarlı k katlı çapraz doğrulama yönteminde veri seti $k=10$ olarak seçilmiş ve tekrar sayısı on olarak seçilmiştir. K katlı çapraz doğrulama sürecinde belirlenmek istenen C değeri için 1'den başlayacak 2'nin katları olacak şekilde, 16'ya kadar model eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen C'nin dağılım grafiği Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. SVM modeli için optimum C değeri seçimi

Tekrarlı k katlı çapraz doğrulama analizi sonucunda elde edilen cost grafiğine bağlı olarak optimum parametre değeri 1 ile 16 arasında seçilebilir olduğu görülmektedir. C parametresinin $C = 2$ seçildiği durumda model eğitimi gerçekleştirilmiş, elde edilen doğruluk ve kappa istatistik değerleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

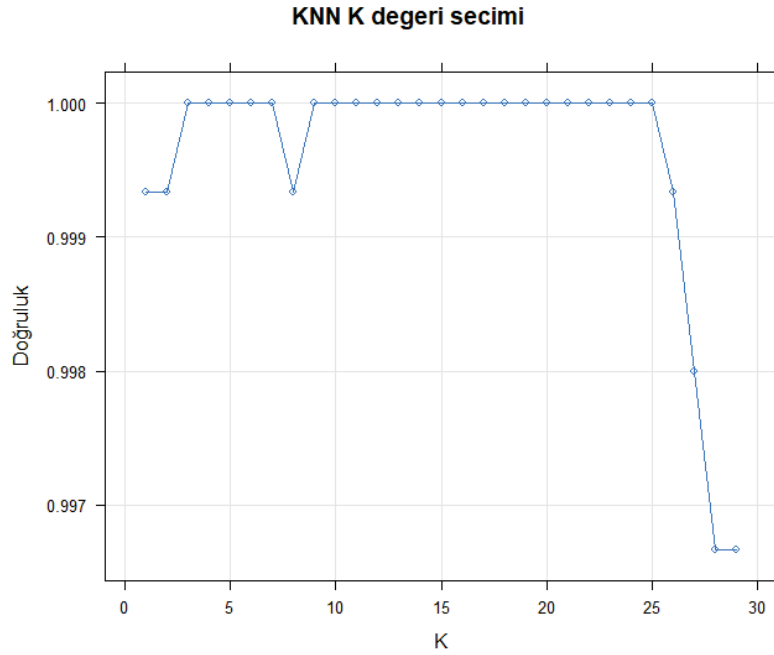
Tablo 3.2. SVM algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri

Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
100,00	1

3.1.3. K-en yakın komşular algoritması eğitimi ve optimizasyonu

Çalışmada eğitim veri seti ile iklim sınıflarının jeomorfometrik parametreler kullanılarak sınıflandırılması için çalışma kapsamında kullanılan KNN sınıflandırma algoritmasına ait modelin geliştirilmesi için algoritmada kullanılan K parametresinin en

uygun olacak şekilde belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada kullanılan tekrarlı K katlı çapraz doğrulama yönteminde veri seti $k=10$ olarak seçilmiş ve tekrar sayısı on olarak seçilmiştir. K katlı çapraz doğrulama sürecinde belirlenmek istenen K değeri için 1, 2, 3, 4, 5 29'a kadar birer birer artacak şekilde seçilmiştir (Şekil 3.3.). Tekrarlı k katlı çapraz doğrulama analizi sonucunda elde edilen genel doğruluk ve kappa istatistik değerlerine göre en uygun K değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.3. KNN modeli için optimum K değeri grafiği

Tekrarlı k katlı çapraz doğrulama analizi sonucunda elde edilen cost grafiğine bağlı olarak optimum parametre değeri $k = 3$ olduğu görülmektedir. Belirlenen optimum K değerine göre model eğitimi gerçekleştirilmiştir. Optimum parametre değerlerine göre model eğitimi gerçekleştirilmiş, elde edilen doğruluk ve kappa istatistik değerleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. KNN algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri

Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
100,00	1

Tablo 3.4.’te verilen RF, SVM ve KNN modellerinin eğitimlerinden elde edilen genel doğruluk ve kappa değerlerine göre geliştirilen tüm modeller çalışma kapsamında kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.4. RF, SVM ve KNN algoritmaları doğruluk ve kappa istatistik değerleri genel bakış

Model	Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
RF	100,00	1
SVM	100,00	1
KNN	100,00	1

3.2. Modelin Test Edilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan RF, SVM ve KNN algoritmaları kullanılarak geliştirilen modeller, test veri seti kullanılarak test (sınıflandırma) analizleri yapılmıştır. Modellerin test süreci R-Studio programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program ile makine öğrenmesi analizlerinde kullanılan sınıflandırma algoritmaları için geliştirilmiş olan açık kaynak kodlu algoritma paketleri ve her algoritmanın kendine özgü kodları kullanılmıştır. R-Studio programı ve program içerisinde bulunan açık kaynak kodları kullanılarak modellerin sınıflandırma analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma modelleri için sınıflandırma analizlerinden elde edilen sonuçlar ve sonuç haritaları her model için ayrı alt başlıklar halinde bu bölümde verilmiştir.

3.2.1. Rastgele orman algoritması test (sınıflandırma) sonuçları

En uygun ağaç ve rastgele seçilecek özellik değerlerine göre eğitilen RF modeli kullanılarak test veri seti ile farklı iklim sınıflarına ait alanların iklim sınıfları sınıflandırılmıştır. RF modeline uygulanan test veri seti ile yapılan sınıflandırma sonuçlarından elde edilen iklim sınıfları ile test veri setinde bulunan gerçek iklim sınıfları karşılaştırılarak elde edilen hata matrisi Tablo 3.5.’te verilmiştir.

Tablo 3.5. RF algoritması sınıflandırma sonuçlarına ait hata matrisi

		Referans Veri		
		Ilıman	Kurak	Soğuk
Sınıflandırma	Ilıman	499	0	0
	Kurak	0	483	0
	Soğuk	1	17	500
	Toplam	500	500	500

Elde edilen hata matrisi kullanılarak RF modelinin performans ölçütleri hesaplanmıştır. Elde edilen performans ölçütlerinden Genel doğruluk ve kappa istatistik değerleri Tablo 3.6’da verilmiştir. Diğer performans ölçütleri ise Tablo 3.7’de verilmiştir.

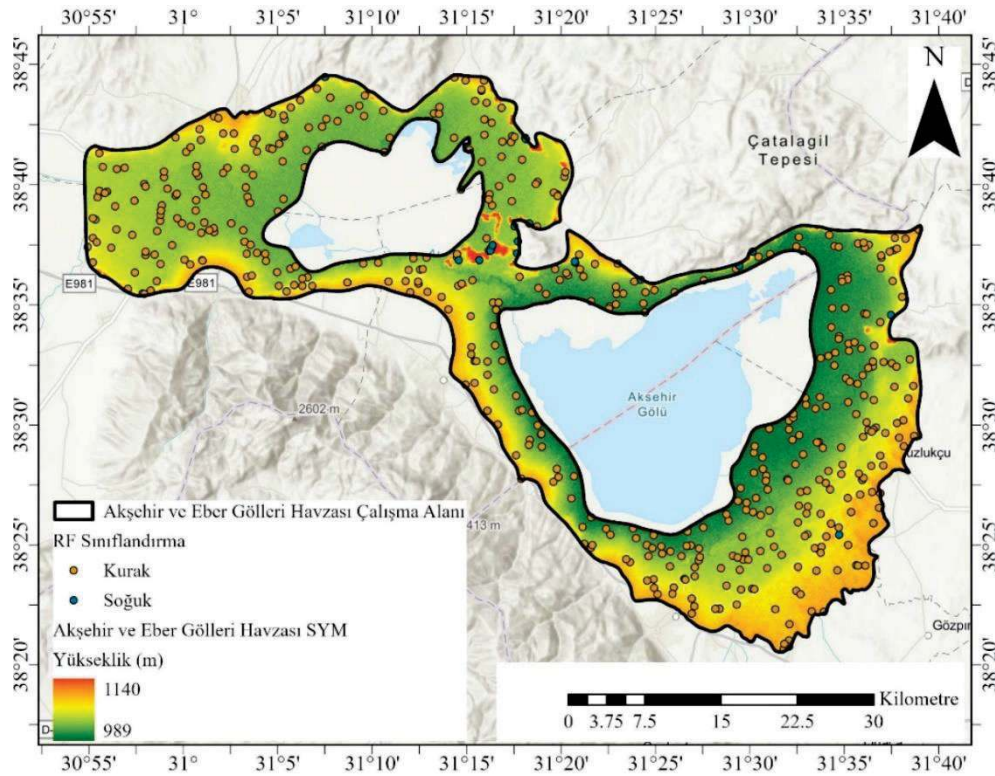
Tablo 3.6. RF algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri

Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
98,80	0,98

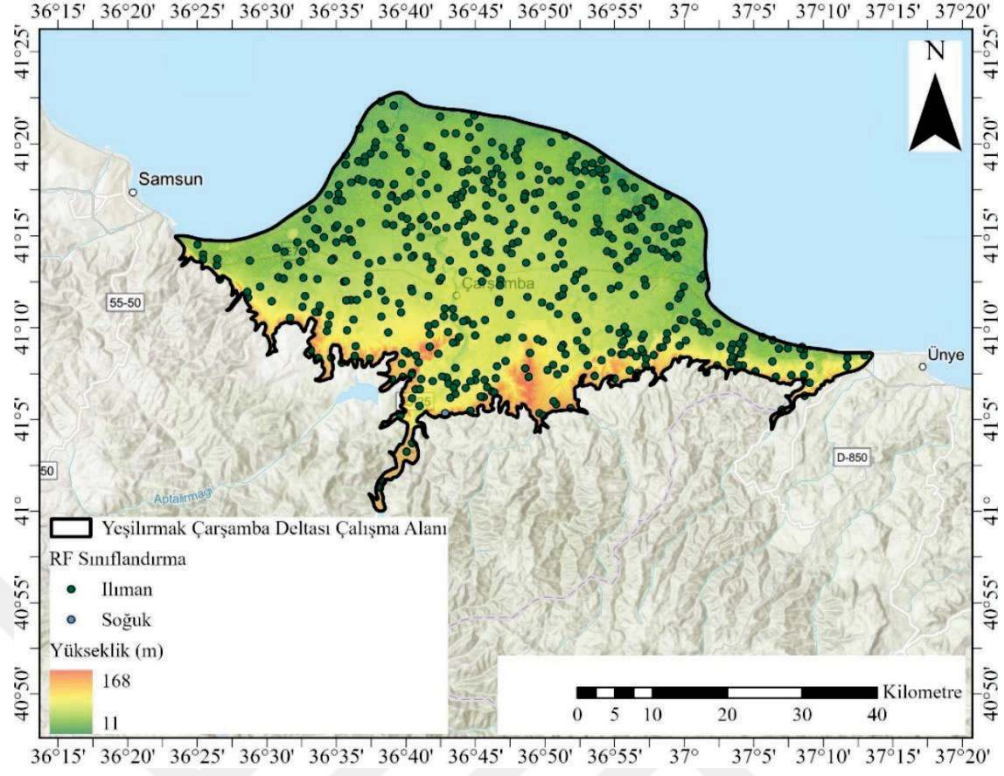
Tablo 3.7. RF modeli performans ölçütleri

Model	İklim Sınıfı	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	F1 Skoru (%)
RF	Ilıman	100,00	99,80	99,90	99,90
	Kurak	100,00	96,60	100,00	98,27
	Soğuk	96,53	100,00	98,20	98,23

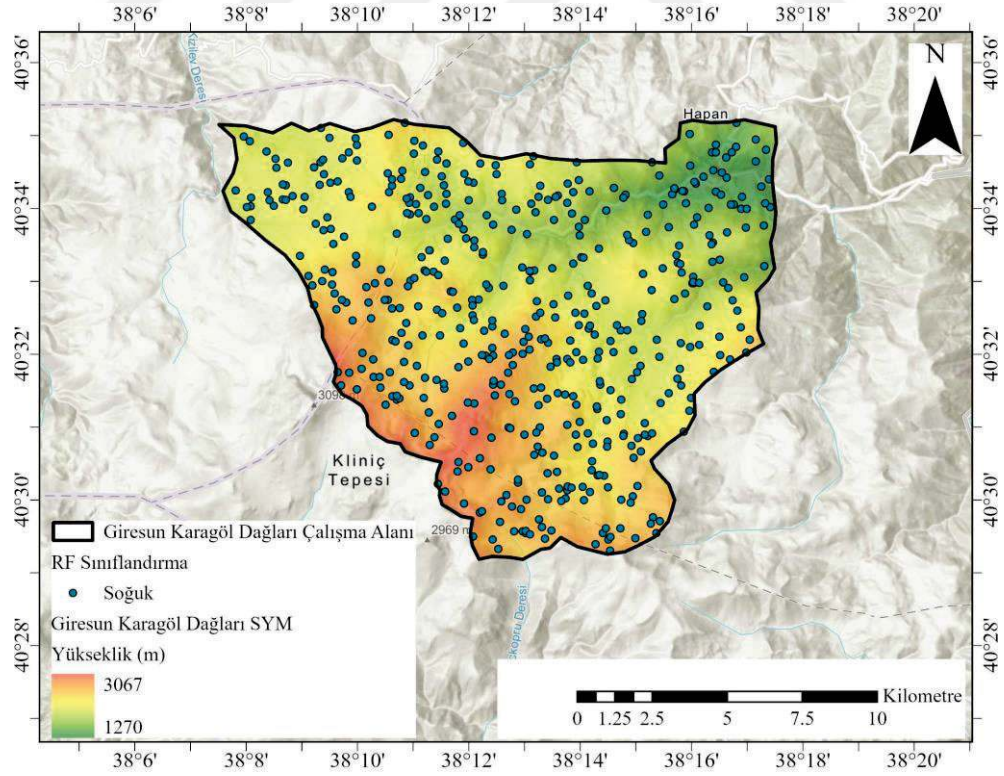
RF modeline göre yapılan sınıflandırma sonuçlarına göre test veri setinde bulunan kurak, ılıman ve soğuk iklim koşullarını temsil eden test alanlarındaki örneklem noktalarının sınıflandırma sonuç haritaları şekil 3.4., 3.5. ve 3.6.’da verilmiştir.



Şekil 3.4. Akşehir-Eber Gölleri Havzası RF sınıflandırma haritası



Şekil 3.5. Yeşilırmak Deltası RF sınıflandırma haritası



Şekil 3.6. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi RF sınıflandırma haritası

3.2.2. Destek vektör makineleri algoritması test (sınıflandırma) sonuçları

En uygun C değerine göre eğitilen model kullanılarak test veri seti ile SVM algoritması ile farklı iklim sınıflarına ait alanların iklim sınıfları sınıflandırılmıştır. SVM algoritması ile yapılan sınıflandırma sonuçlarından elde edilen karşıtlık matrisi Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. SVM algoritması sınıflandırma sonuçlarına ait performans metrikleri.

		Referans Veri		
		Ilıman	Kurak	Soğuk
Sınıflandırma	Ilıman	500	0	0
	Kurak	0	495	0
	Soğuk	0	5	500
	Toplam	500	500	500

Elde edilen hata matrisi kullanılarak SVM modelinin performans ölçütleri hesaplanmıştır. Genel doğruluk ve kappa istatistik değerleri Tablo 3.9.'da verilmiştir. Diğer performans ölçütleri ise Tablo 3.10'da verilmiştir.

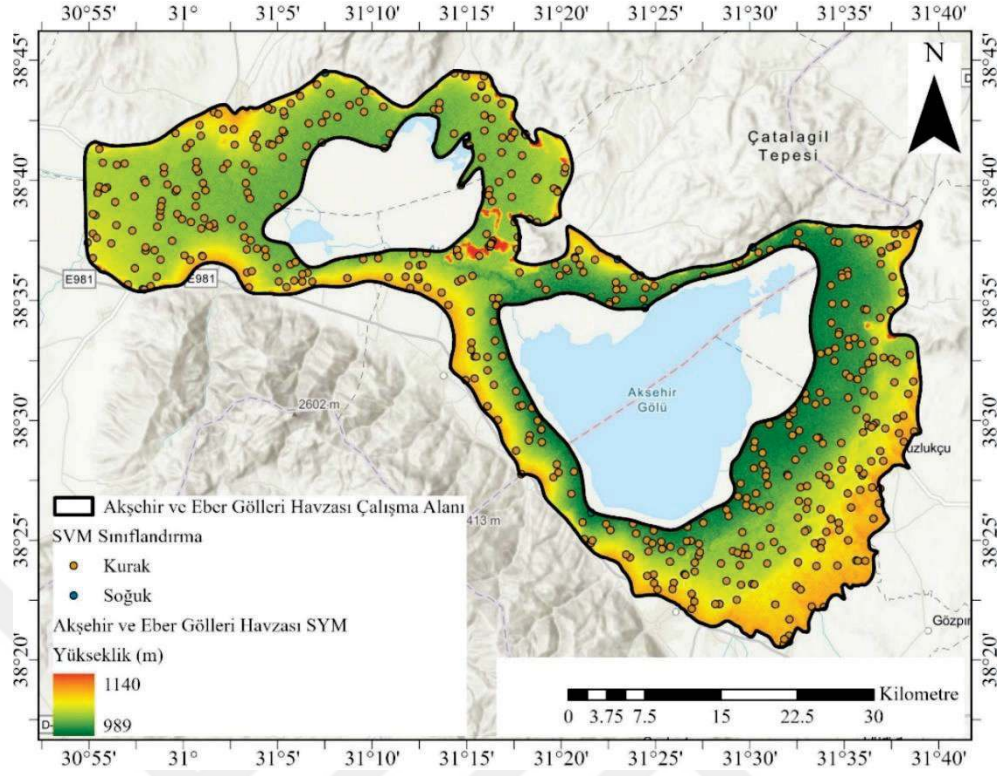
Tablo 3.9. SVM algoritması doğruluk ve kappa istatistik değerleri

Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
99,70	0,99

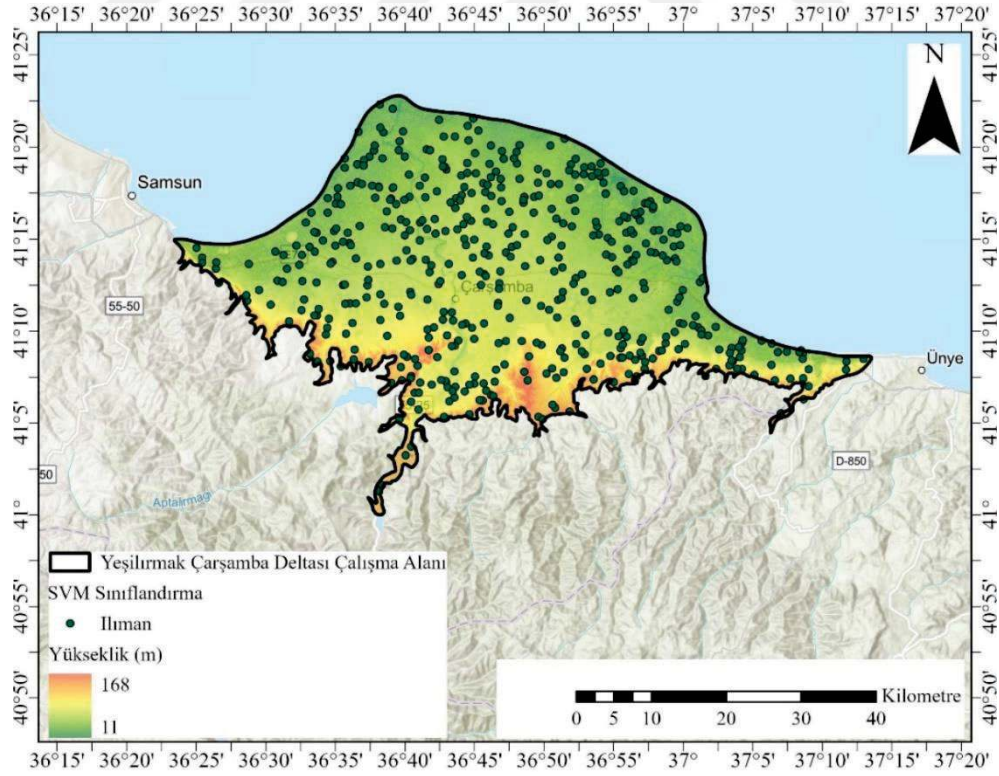
Tablo 3.10. SVM modeli performans ölçütleri

Model	İklim Sınıfı	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	F1 Skoru (%)
SVM	Ilıman	100,00	100,00	100,00	100,00
	Kurak	100,00	99,00	100,00	99,50
	Soğuk	99,01	100,00	99,50	99,50

SVM modeline göre yapılan sınıflandırma sonuçlarına göre test veri setinde bulunan kurak, ılıman ve soğuk iklim koşullarını temsil eden test alanlarındaki örneklem noktalarının sınıflandırma sonuç haritaları şekil 3.7., 3.8. ve 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Akşehir-Eber Gölleri Havzası SVM sınıflandırma haritası

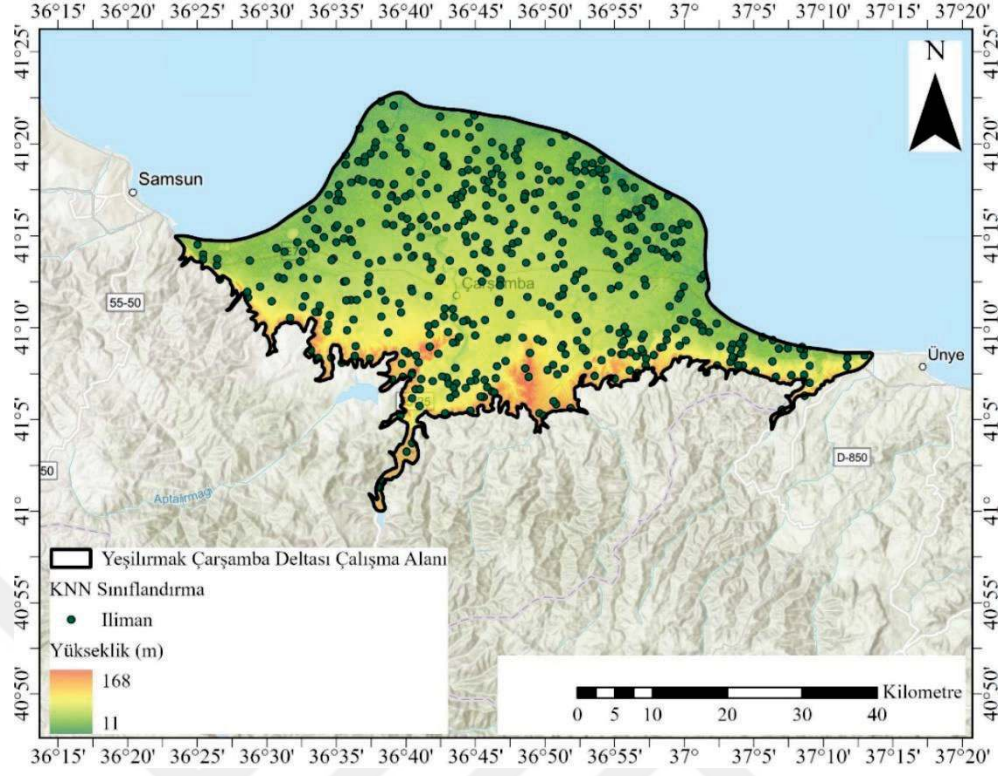


Şekil 3.8. Yeşilirmak Deltası SVM sınıflandırma haritası

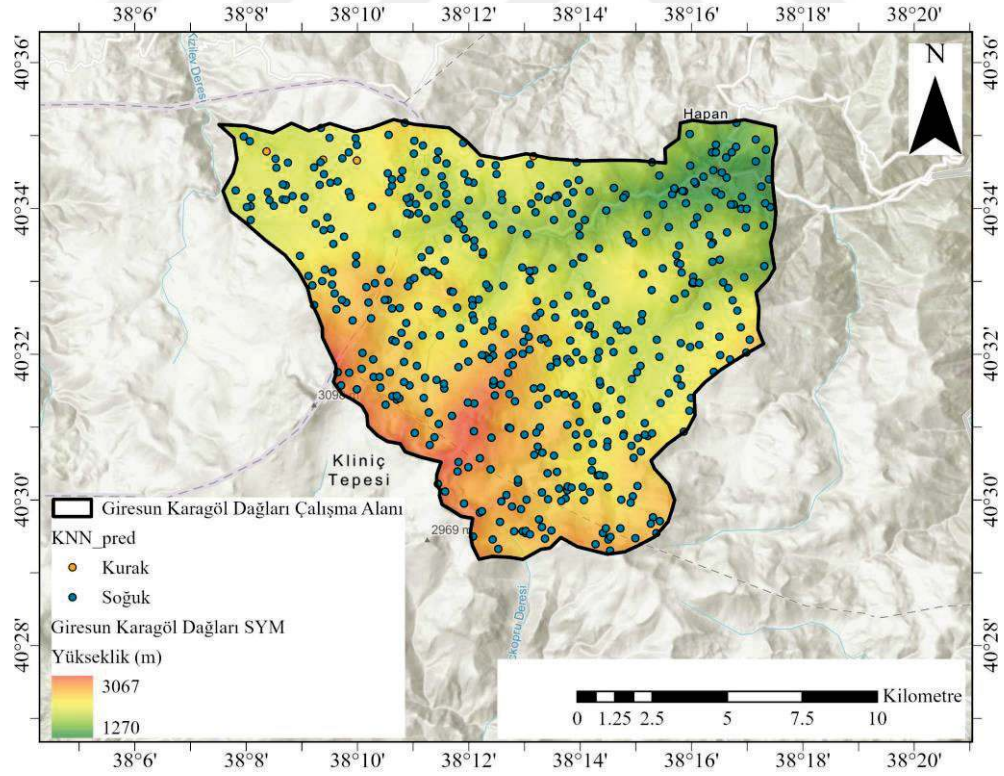
Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
99,30	0,99

Model	İklim Sınıfı	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	F1 Skoru (%)
KNN	Ilıman	100,00	100,00	100,00	100,00
	Kurak	99,20	98,60	99,60	98,90
	Soğuk	98,61	99,20	99,30	98,90

83



Şekil 3.11. Yeşilirmak Deltası KNN sınıflandırma haritası



Şekil 3.12. Giresun Karagöl Dağları ve Çevresi KNN sınıflandırma haritası

3.2.4. Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında eğitim verisi kullanılarak eğitilen RF, SVM ve KNN algoritmaları modelleri ile test veri seti kullanılarak yapılan sınıflandırma analizlerine ait genel doğruluk ve kappa istatistiği sonuçları Tablo 3.14’te verilmiştir. Sınıflandırma analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru sonuçları Tablo 3.15’te verilmiştir.

Tablo 3.14. RF, SVM ve KNN algoritmaları sınıflandırma sonuçlarının doğruluk ve kappa istatistik değerleri genel bakış

Model	Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
RF	98,80	0,98
SVM	99,70	0,99
KNN	99,30	0,99

Sınıflandırma sonuçlarına göre;

- ✓ RF modeli için 98,80 genel doğruluk ve 0,98 kappa istatistiği değeri,
- ✓ SVM modeli için 99,70 genel doğruluk ve 0,99 kappa istatistiği değeri,
- ✓ KNN modeli için 99,30 genel doğruluk ve 0,99 kappa istatistiği değeri,

elde edilmiştir.

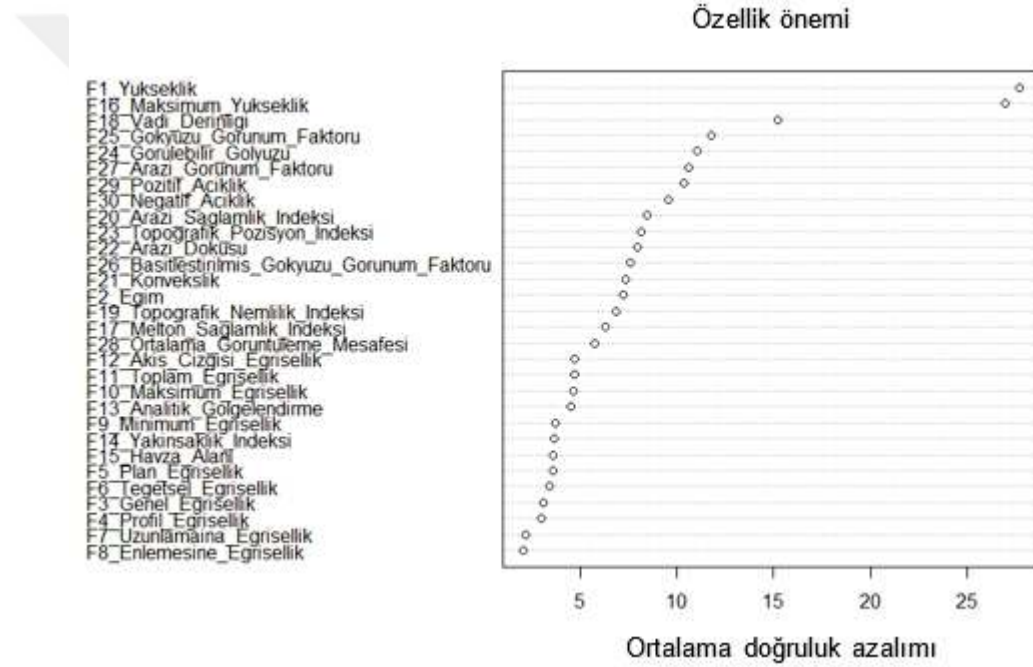
Tablo 3.15. Tüm algoritma modellerinin diğer performans ölçütleri

Model	İklim Sınıfı	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	F1 Skoru (%)
RF	Ilıman	100,00	99,80	99,90	99,90
	Kurak	100,00	96,60	100,00	98,27
	Soğuk	96,53	100,00	98,20	98,23
SVM	Ilıman	100,00	100,00	100,00	100,00
	Kurak	100,00	99,00	100,00	99,50
	Soğuk	99,01	100,00	99,50	99,50
KNN	Ilıman	100,00	100,00	100,00	100,00
	Kurak	99,20	98,60	99,60	98,90
	Soğuk	98,61	99,20	99,30	98,90

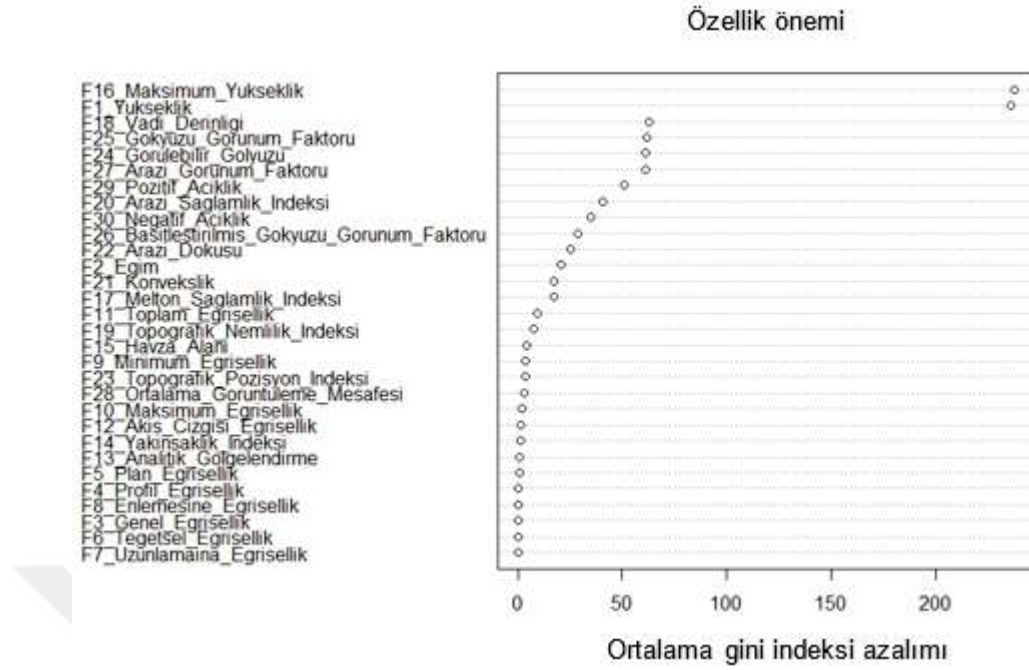
3.2.5. Jeomorfometrik parametrelerin değerdendirilmesi

Tez çalışması kapsamında kullanılan jeomorfometrik parametrelerin (özelliklerin) modellerin sınıflandırma performans ölçütlerine katkıları RF algoritması özellik seçim analizleri ile gerçekleştirilmiştir. RF algoritması ile özelliklerin önem dereceleri bu özelliklerin modeller geliştirilirken sağladığı önemi ifade eder.

Bu aşamada öncelikle analizlerde kullanılan özelliklerin tamamının özellik önemleri belirlenmiştir. Tüm parametrelerin model geliştirilirken ortalama doğruluk azalımına ve ortalama gini indeksi azalımına göre önem dereceleri Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.'te verilmiştir.



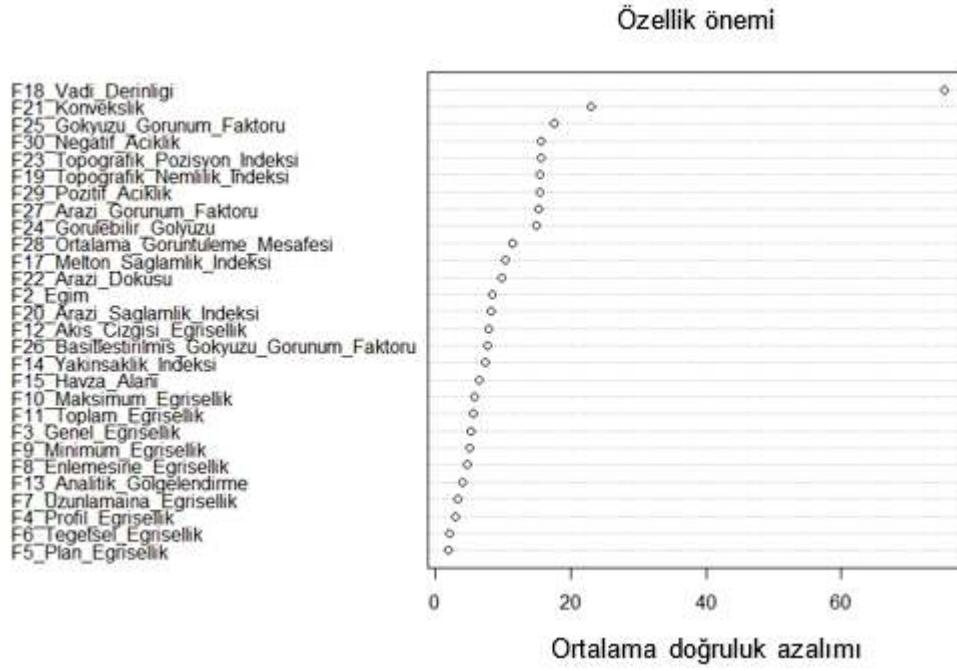
Şekil 3.13. Tüm jeomorfometrik parametrelerin ortalama doğruluk azalımına göre özellik önemi



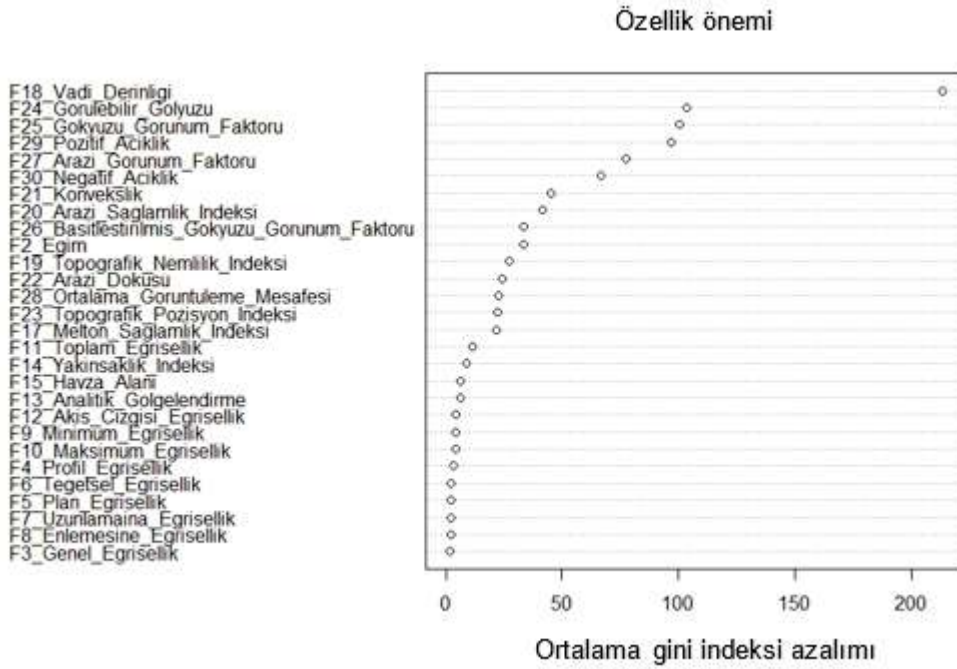
Şekil 3.14. Tüm jeomorfometrik parametrelerin ortalama gini indeksi azalımına göre özellik önemi

Ortalama doğruluk azalımına ve ortalama gini indeksi azalımına göre tüm parametrelerin özellik değerleri karşılaştırıldığında sınıflandırma performansında etkili olan parametreler yükseklik ve maksimum yükseklik parametreleri olduğu görülmektedir. Bu iki parametrenin iklim sınıflarını ayırt etmeye olan etkisinden sonra vadi derinliği, gökyüzü görünüm faktörü, görülebilir gökyüzü, arazi görünüm faktörü, pozitif açıklık ve negatif açıklık parametrelerinin ayırt etme etkileri ikinci önemli jeomorfometrik parametre grubunu oluşturmaktadır.

Tüm parametrelerin model eğitimindeki önem derecelerine göre en önemli özellikler olan yükseklik ve maksimum yükseklik parametreleri veri setinden çıkartılarak kalan diğer parametreler ile özellik önem analizi tekrar yapılmıştır. Bu analizin tekrar yapılmasının nedeni yükseklik ve maksimum yükseklik parametreleri dışındaki parametrelerin etkilerini daha hassas olarak ayırt edebilmektir. Bu iki parametre olmadan yapılan özellik önem analizinden elde edilen ortalama doğruluk azalımı ve ortalama gini indeksi azalımı sonuçları Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.15. Yükseklik ve maksimum yükseklik jeomorfometrik parametreleri olmadan ortalama doğruluk azalımına göre özellik önemi



Şekil 3.16. Yükseklik ve maksimum yükseklik jeomorfometrik parametreleri olmadan ortalama gini indeksi azalımına göre özellik önemi

Ortalama doğruluk azalımına ve ortalama gini indeksi azalımına göre tüm parametrelerin özellik değerleri karşılaştırıldığında sınıflandırma performansında en etkili olan parametre vadi derinliği parametresi olduğu görölmektedir. Bu parametrenin iklim sınıflarını ayırt etmeye olan etkisinden sonra konvekslik, gökyüzü görünüm faktörü, negatif Açıklık, topografik pozisyon indeksi, topografik nemlilik indeksi, pozitif açıklık ve arazi görünüm faktörü parametrelerinin ayırt etme etkileri ikinci önemli jeomorfometrik parametre grubunu oluşturmaktadır.



4. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında jeomorfometrik parametreleri kullanarak iklim sınıflarını denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılabilir mi? araştırma konusuna cevap aranmıştır. Jeomorfometrik parametreler kullanılarak yapılan sınıflandırma analizlerinde Türkiye’de gözlemlenen Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine ait iklim sınıfları kullanılmıştır. Bu bağlamda 30 adet jeomorfometrik parametre ve iklim sınıfları analizlerde kullanılan özellik verilerini oluşturmaktadır. Kullanılan iklim sınıflarının Türkiye’de tipik olarak gözlemlendiği 3 çalışma alanı eğitim ve 3 çalışma alanı test (sınıflandırma) alanları olarak seçilmiştir. Seçilen her bir eğitim ve test alanı için BRÖ yöntemi kullanılarak 500 adet örneklem noktası belirlenmiştir. Eğitim veri seti için 1500 adet örneklem noktası, test veri seti için 1500 adet örneklem noktası olmak üzere iki farklı veri seti hazırlanmıştır. Eğitim için seçilen alanlardan elde edilen örneklem noktaları eğitim veri setini, test için seçilen alanlardan elde edilen örneklem noktaları test veri setini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında alansal bir değerlendirme yapılmamıştır. Yapılan analizler örneklem noktalarının bulunduğu konumların sınıflandırma sonuçlarını ifade eder.

Yapılan sınıflandırma analizlerinde kullanılmak üzere hazırlanan eğitim veri seti ile RF, SVM ve KNN makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. Model geliştirme aşamasında tekrarlı k çapraz katlı doğrulama analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, veri setini belirli k adet parçaya böler ve tekrarlı olacak şekilde bu parçalardan k-1 tanesini eğitim, bir tanesini de test veri seti olarak kullanır. Kullanılan tekrarlı k katlı çapraz doğrulama yöntemi k-katlı çapraz doğrulama yönteminin tekrar sayısı kadar tekrarlanması ile uygulanır. Yapılan tekrarlı k-katlı çapraz doğrulama yöntemi analiz sonuçlarına göre analizler örneklem noktalarının kendi içerisinde değişiminden olumsuz olarak etkilenmemektedir.

Model eğitimi aşamasında kullanılan tekrarlı k katlı çapraz doğrulama yöntemi analizi sonuçlarına göre elde edilen doğruluk ve Kappa değeri göre RF, SVM ve KNN makine öğrenmesi algoritmaları ile geliştirilen modellerin iklim sınıflarını jeomorfometrik parametreleri kullanarak ayırt edebilirlikleri belirlenmiştir.

Eğitim aşamasında geliştirilen RF, SVM ve KNN makine öğrenmesi modelleri ve test veri seti kullanılarak sınıflandırma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre makine öğrenmesi modelleri ve test veri seti kullanılarak yapılan

sınıflandırma analiz sonuçlarına göre genel doğruluk sonuçları RF sınıflandırma modeli için %98,80; SVM sınıflandırma modeli için %99,70 ve KNN sınıflandırma modeli için %99,30 olarak elde edilmiştir. Kappa istatistiği sonuçları ise RF sınıflandırma modeli için 0,98; SVM sınıflandırma modeli için 0,99 ve KNN sınıflandırma modeli için 0,99 olarak elde edilmiştir. Denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma yönteminin diğer performans ölçütleri olan kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru sonuçlarına göre iklim sınıflarının birbirinden ayırt edilebileceği görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda jeomorfometrik parametreler ile RF, SVM ve KNN algoritmaları kullanılarak iklim sınıflarını ayırt edebileceği, sınıflandırılabilmesi sonucu elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında analizlerde kullanılan jeomorfometrik parametreler kullanılarak yapılan özellik seçim analiz sonuçlarına göre yükseklik, maksimum yükseklik ve vadi derinliği parametreleri iklim sınıflarını ayırt etmede yüksek öneme sahip parametreler olarak belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Ortalama doğruluk azalım ve ortalama gini indeksi azalımı değerlerine bakıldığında modellerin iklim sınıflarını sınıflarken yükseklik ve maksimum yükseklik parametrelerini daha etkili kullandığı görülmektedir. Bu parametrelerin iklim sınıflarını ayırt etmede en önemli parametreler olduğu görülmektedir. Yüksek dağlık bölgeler soğuk iklim koşullarının etkisi altındadır. Yükseklik azaldıkça iklim koşulları genel olarak daha ılıman veya daha kurak hale gelmektedir. Test veri seti kullanılarak yapılan sınıflandırma analizleri sonucunda yükseklik ve maksimum yükseklik parametrelerinin iklim sınıflarını ayırt etmedeki önem derecelerinin sıralaması bu durumla doğrudan ilişkilidir.

Analizlerde kullanılan diğer jeomorfometrik parametrelerin etkilerini görebilmek için yükseklik ve maksimum yükseklik parametreleri veri setlerinden çıkartılarak özellik önem analizi yapılarak diğer parametrelerin iklim sınıflarını ayırt etmedeki önemleri belirlenmiştir. Yapılan ortalama doğruluk azalımı ve ortalama gini indeksi azalımı analizi sonuçlarına göre Köppen-Geiger iklim sınıflandırma yöntemine göre kurak, ılıman ve soğuk iklim koşullarının Türkiye’de tipik olarak gözlemlendiği çalışma alanlarından seçilen örneklem noktaları kullanılarak yapılan sınıflandırma analizlerinde kullanılan vadi derinliği, konvekslik, gökyüzü görünüm faktörü, negatif açıklık, topografik pozisyon indeksi, topografik nemlilik indeksi, pozitif açıklık ve arazi görünüm faktörü parametrelerinin iklim sınıflarını ayırt etmede diğer parametrelere göre daha etkili olduğu görülmüştür.

Yükseklik ve maksimum yükseklik parametreleri yeryüzü topoğrafyasını anlamada oldukça önemli bir parametredir. Bu iki parametre, yeryüzünün jeomorfometrik olarak geçirmiş olduğu süreçlerin, bölgesel olarak yeryüzünde yaşanan erozyon süreçlerinin anlaşılmasını sağlar (Evans, 1972; Pike, 2000). Farklı yüksekliklerde olan bölgelerde sıcaklık, yağış, nem gibi iklim parametreleri farklılıklar gösterir. Bu durum yüksekliğe bağlı olarak farklı iklim koşullarının yaşanmasına neden olur. Yüksek bölgelerde farklı mikroiklim koşulları gözlemlenebilir (Barry, 2013).

Vadi derinliği bölgesel olarak yaşanan erozyon süreçlerinin izlerini taşır. Vadi derinliğinin artması uzun süreli erozyon süreçlerinin yaşandığının göstergesidir. Farklı erozyon süreçleriyle gelişen vadi tipleri ve derinlikleri iklim koşullarının önemli belirteçlerindendir (Hengl, ve Reuter, 2008). Yeryüzünde nehirlerin etkisiyle meydana gelen V tipi vadiler ılıman, buzulların etkisiyle gelişmiş U tipi vadiler ise soğuk iklim koşullarının yeryüzündeki izleridir.

Konvekslik parametresi, yeryüzünün konvekslik, konkavlık ve düzlük durumunu açıklayan jeomorfometrik parametredir. Konvekslik bölgesel olarak erozyon süreçlerini açıklayan önemli jeomorfometrik parametrelerden biridir. Yüksek konvekslik değerlerinin olduğu bölgeler erozyonun daha fazla olduğu bölgeleri açıklar (Iwahashi ve Pike, 2007; Hengl ve Reuter, 2008). Konvekslik parametresindeki farklılıklar bölgesel olarak sıcaklık ve yağış farklılıklarına neden olabilir.

Topografik pozisyon indeksi, konvekslik parametresine benzer şekilde yeryüzündeki herhangi bir noktanın aşındırılmış bir vadi, sırt ve düzlük benzeri yüzey şekillerini tanımlar (Weiss, 2001; Wilson ve Gallant, 2000, Wilson, 2018). Erozyon süreçlerinin anlaşılması, yeryüzü şekillerini sınıflandırılması gibi birçok araştırmada kullanılmaktadır (Weiss, 2001). Topografik pozisyon indeksi değeri bölgesel olarak yaşanan sıcaklık ve yağış değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki iklim koşullarındaki farklılıkların belirlenmesinde etkilidir.

Topografik nemlilik indeksi, bir bölgede yeryüzünün hangi orada su tutabileceğini belirleyen parametredir. Bu parametre su akış miktarı ile ilişkili olup erozyon süreçlerinin anlaşılmasında oldukça önemlidir (Moore vd., 1991; Böhner ve Antonić, 2009; Böhner ve Selige, 2006). Topografik nemlilik indeksi parametresi bölgesel olarak yaşanan sıcaklık, yağış ve yeryüzü şekillerinin farklılıklarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki bölgesel olarak iklim koşullarındaki değişimlerin belirlenmesinde kullanılabilir.

Gökyüzü görünüm faktörü, bir bölgede gökyüzünün ne kadarının görülebildiğini açıklayan jeomorfometrik parametredir. Yüksek değerler gökyüzünün görülebildiği bölgeleri daha düşük değerler ise gökyüzünün daha az görülebildiği yerleri işaret eder. Gökyüzü görünüm faktörü güneş ışınlarına maruziyet ile doğrudan ilişkilidir. Aşındırılmış yüzeyler, vadi vb., yeryüzü şekillerinin olduğu bölgelerde gökyüzü görünüm faktörü düşük değere sahiptir. Yüksek değerlerin olduğu bölgeler düz ve açıklık alanlarla ilişkilidir (Oke, 2000; Wilson ve Gallant, 2000; Hantzsche vd., 2005; Böhner ve Antonic, 2009; Wilson, 2018).

Arazi görünüm faktörü parametresi, yeryüzünün belirli bir noktasında bu noktadan çevresinde bulunan yeryüzü şekillerine bağlı olarak gökyüzünün hangi oranda görülebilirliğini açıklayan parametredir. Arazi görünüm faktörü değerinin yüksek olduğu bölgeler daha fazla güneşe maruz kalır, düşük olduğu bölgelerde ise durum tam tersidir (Wilson ve Gallant, 2000; Böhner ve Antonic, 2009). Bu parametre engebeli yeryüzü şekillerinin olduğu alanlarda yamaçların, aşındırılmış vadilerin, dağ ve tepe gibi yeryüzü

şekillerinin varlığı nedeniyle düşük değerler alır. Daha düz alanlarda bu parametre daha yüksek değerler alır.

Pozitif ve negatif açıklık parametreleri herhangi bir bölgede tepe, sırt, dağ, vadi veya çukurluk vb. yeryüzü şekillerinin varlığını tanımlayan parametrelerdendir (Yokoyoma vd., 2002; Doneus, 2013). Yüksek pozitif açıklık değerleri yeryüzünün güneş ışınlarına maruz kalmasını temsil eder. Düşük pozitif açıklık değerleri ise daha düşük pozitif açıklık değerleri ise yeryüzünün güneş ışınlarına maruz kalması anlamına gelir. Bu durum negatif açıklık parametresi için tam tersidir. Farklı pozitif ve negatif açıklık değerleri bölgesel olarak sıcaklık ve yağış değerlerinin değişkenlik göstermesine neden olur. Pozitif ve negatif açıklık değerleri bölgesel olarak iklim koşullarının farklılaşmasında etkilidir.

Yükseklik, maksimum yükseklik, vadi derinliği, konvekslik, gökyüzü görünüm faktörü, negatif açıklık, topografik pozisyon indeksi, topografik nemlilik indeksi, pozitif açıklık ve arazi görünüm faktörü parametreleri bahsedildiği gibi bölgesel olarak sıcaklık ve yağışın değişkenliği ile ilişkilidir. Bu parametreler çalışma kapsamında belirlenen alanlar içerisinde hazırlanan örneklem noktaları ile yapılan denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma analizleri sonucunda iklim sınıflarını ayırt etmede etkili olan parametreler olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma doğrultusunda kullanılan parametrelere ek olarak; gelecekte yapılacak çalışmalar kapsamında iklim koşulları ile doğrudan ilişkili olan sıcaklık, yağış, jeolojik kayaç tipleri ve farklı jeomorfometrik parametreler iklim sınıflarıyla ilişkilendirilebilecek özellikler olarak eklenebilir. Bu bağlamda uydu tabanlı (MODIS gibi) sıcaklık ve yağış verileri iklim sınıflarını ayırt etmede önemli veri seti olarak değerlendirilebilir.

Kayaç tipleri ise bölgesel olarak yaşanan iklim koşullarının etkilerini yeryüzünde doğrudan gözlemlenmesini sağlar. Sedimanter, magmatik ve metamorfik kayaçların iklim koşulları altında farklı özellikler gösterir. Sedimanter kayaçlar metamorfik ve magmatik kayaçlara göre iklim koşullarından daha fazla etkilenmektedir. İklim koşullarına bağlı yaşanan farklı erozyon-aşınma süreçleri sedimanter kayaçlarda diğer kayaç türlerine göre daha fazla gözlemlenir.

Farklı çalışma alanları için yapılacak iklim sınıflandırmaları analizlerinde kullanılacak jeomorfometrik parametrelerin etkileri farklılık gösterebilir. Bu farklılığın sebebi araştırma ölçeği ve alanların coğrafik dağılımları olarak açıklanabilir. İleride yapılacak çalışmalar için jeomorfometrik parametreler üretilirken kullanılan SYM'nin

- ✓ İstasyon verilerinin az olduğu veya olmadığı bölgeler için enterpolasyon kaynaklı hataları en aza indirerek;
- ✓ İklim koşullarının geçiş bölgelerinde meydana gelen hatalı sınıflandırmaların en aza indirilerek, iklim koşullarının sınıflandırılmasını sağlanarak literatüre bu konuda katkı sağlayacaktır.



KAYNAKÇA

- Acar, M. (2012). *Akşehir-Eber gölleri seviye değişikliklerine etki eden faktörler*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye.
- Akçar, N. and Schlüchter, C. (2005). Paleoglaciations in Anatolia: a schematic review and first results. *Eiszeitalter und Gegenwart E&G/Quaternary science journal*, 55(1), 102-121.
- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Reber, R., Kubik, P. W., Zahno, C. and Schlüchter, C. (2014). Glacier response to the change in atmospheric circulation in the eastern Mediterranean during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Geochronology*, 19, 27-41.
- Anders, N., Seijmonsbergen, A. and Bouten, W. (2009). Multi-scale and object-oriented image analysis of high-res LiDAR data for geomorphological mapping in Alpine mountains. *Proceedings Geomorphometry*, 61-65.
- Atalay, İ. (1977). Sultandağları ile Akşehir ve Eber gölü Havzalarının Strüktürel, Jeomorfolojik ve Toprak Erozyonu Etüdü. Atatürk Üniv. Yay. No.500, Erzurum.
- Atalay, İ. (2005). Kuvaterner'deki iklim değişimlerinin Türkiye doğal ortamı üzerindeki etkileri. *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu*, 5, 121-128.
- Atalay Dutucu, A. (2016). *Yeşilırmak Deltası'nda jeomorfolojik değişiklikler ve gelecek ile ilgili öngörüler*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Aydeniz, A. (1985). Toprak Amenajmanı. Ankara: Ankara Üniversitesi, *Ziraat Fakültesi Yayınları No:928*.
- Aykut, T. ve Turoğlu, H. (2020). Sinanköy (Lalapaşa-Edirne) ve Çevresinin Yapısal Jeomorfoloji Özelliklerinin Drenaj Sistemi Üzerindeki Etkileri. *Coğrafya Dergisi*, (40), 25-37.
- Bahadır, M. (2013). Akşehir Gölü'nde Alansal Değişimlerin Uzaktan Algılama Teknikleri ile Belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (28), 246-275.
- Bali, R. and Sarkar, D. (2016). *R machine learning by example*. Packt Publishing Ltd.
- Band, L.E. (1993). Extraction of channel networks and topographic parameters from digital elevation data. In: Beven, K., Kirkby, M.J. (Eds.), *Channel Network Hydrology*. Wiley, Chichester, UK, pp. 13-42.
- Baltacı, A. (2018). Nitel araştırmalarda örnekleme yöntemleri ve örnek hacmi sorunsalı üzerine kavramsal bir inceleme. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(1), 231-274.
- Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi." (2016).
- Bartz, E., Bartz-Beielstein, T., Zaefferer, M. and Mersmann, O. (2023). *Hyperparameter tuning for machine and deep learning with R: A practical guide* (p. 323). Springer Nature.
- Barry, R. G. (2013). *Mountain weather and climate*. Routledge.

- Baykal, T. M. and Colak, H. E. (2022). Producing climate boundary maps using GIS interface model designed with Python. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(1), 61-83.
- Bayrakdar, C. ve Özdemir, H. (2010). Kaçkar Dağı'nda bakı faktörünün glasiyal ve periglasiyal topografya gelişimi üzerindeki etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi* 54, 1-13.
- Bayrakdar, C. (2018). Tekeli Dağı'nda (Tokat) Geç Pleyistosen Buzullaşmalarının İzleri. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (1), 13-25.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A. and Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1), 1-12.
- Beck, H. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., Lutsko, N. J., Dufour, A., Zeng, Z., Jiang, X., Van Dijk, A.I.J.M. and Miralles, D. G. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific data*, 10(1), 724.
- Becker, D., Brocks, S., Hutt, C. and Bareth, G. (2017). High Resolution Koppen-Geiger Classifications of Paleoclimate Simulations. *Transactions in GIS*, 21(1), 17p.
- Beniston, M. (2003). Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic change*, 59(1), 5-31.
- Berndt, C., Yıldırım, C., Çiner, A., Strecker, M. R., Ertunç, G., Sarıkaya, M. A., Özcan, O., Öztürk, T. and Kıyak, N. G. (2018). Quaternary uplift of the northern margin of the Central Anatolian Plateau: New OSL dates of fluvial and delta-terrace deposits of the Kızılırmak River, Black Sea coast, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 201, 446-469.
- Bhattacharya, S. (2021). *A primer on machine learning in subsurface geosciences* (Vol. 1, pp. 1-172). Springer.
- Bilgin, T. (1959). Türkiye'de plüviyal devre tesirlerine toplu bir bakış. *Türk Coğrafya Dergisi*, 18/19: 177– 186.
- Bishop, M.P., Bush, A.B.G., Copland, L., Kamp, U., Owen, L.A., Seong, Y.B. and Shroder, J.F. (2010) Climate change and mountain topographic evolution in the Central Karakoram, Pakistan. *Annals of the Association of American Geographers*, 100, 772–793.
- Bishop, M.P., James, L.A., Shroder, J.F. and Walsh, S.J. (2012b) Geospatial Technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues, and research. *Geomorphology*, 137, 5–26.
- Böhner, J., Koethe, R., Conrad, O., Gross, J., Ringeler, A. and Selige, T. (2001). Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation. *Soil classification*, 7, 213.
- Böhner, J. and Selige, T. (2006). Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. In *SAGA-Analyses and modelling applications*. Goltze.

- Böhner, J. and AntoniĆ, O. (2009). Land-surface parameters specific to topo-climatology. *Developments in soil science*, 33, 195-226.
- Bölük, E. (2016). Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi. İklim Sınıflandırmaları, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 1-25.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32.
- Breiman, L. (2002). Manual on setting up, using, and understanding random forests v3. 1. *Statistics Department University of California Berkeley, CA, USA*, 1:58, 2002.
- Brocklehurst, S. H. (2010). Tectonics and geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 34(3), 357-383.
- Burkov, A. (2019). *The hundred-page machine learning book* (Vol. 1, p. 32). Quebec City, QC, Canada: Andriy Burkov.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R. (1998) *Principles of Geographical Information Science*. New York, NY: Oxford University Press.
- Chao, W. L. (2011). Machine learning tutorial. *Digital Image and Signal Processing*.
- Chen, D. and Chen, H. W. (2013). Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6, 69-79.
- Cohen, H. R. and Erol, O. (1969). Aspects of the Paleogeography of Central Anatolia. *The Geographical Journal*, 135/3: 388–398.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. and Fan, J.X. (2013; updated). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36: 199-204.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V. and Böhner, J. (2015). System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. *Geoscientific model development*, 8(7), 1991-2007.
- Cortes, C. and Vapnik, V. (1995). Support-Vector Networks. *Mach. Learn.* 20, 273–297.
- Çılğın, Z. ve Bayrakdar, C. (2017). Kızıldag’da (Sivas) Buzullaşma İzleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 101-107.
- Çiçek, İ. (1996). Thornthwaite Metoduna Göre Türkiye’de İklim Tipleri. Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih- Coğrafya Fakültesi, *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 12, 33-71.
- Çilek, A., Berberoğlu, S., Ünal Çilek, M., ve Dönmez, C. (2019). Topografik Özellikleri Kullanarak Arazi Morfolojisi Analizi: Uşak Ulubey Kanyonu Örneği. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3, 77–88.
- Çiner, A. (2003). Türkiye'nin güncel buzulları ve geç kuvaterner buzul çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 55-78.
- Çiner, A. (2004). Turkish glaciers and glacial deposits.’ In: Quaternary Glaciations: Extent and Chronology, Part. I: Europe, (Ehlers, J. and Gibbard, P.L. (Eds). Elsevier Publishers: Amsterdam, pp.419-429.

- Çiner, A., Sarıkaya, M. A. and Yıldırım, C. (2015). Late Pleistocene piedmont glaciations in the Eastern Mediterranean; insights from cosmogenic ^{36}Cl dating of hummocky moraines in southern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 116, 44-56.
- Çiner, A. and Sarıkaya, M.A. (2017). Cosmogenic ^{36}Cl geochronology of late Quaternary glaciers in the Bolkar Mountains, south central Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 433(1), 271-287.
- De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondial de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie*, 241-250.
- Deng, Y. (2007). New trends in digital terrain analysis: landform definition, representation, and classification. *Progress in physical geography*, 31(4), 405-419.
- Doğan, U. (2010). Fluvial response to climate change during and after the Last Glacial Maximum in Central Anatolia, Turkey. Elsevier, *Quaternary International*, 222: 221-229.
- Doğan, U., Şenkul, Ç. and Altıparmak, S. (2020). Kızılırmak Nehrinin Denizel İzotop Katı 6 Sırasındaki İklim Değişimlerine Tepkisi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (5), 48-63.
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, I., Tunçel, H. ve Gürgen, G. (1993). Kaçkar dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 2, 157-184.
- Doneus, M. (2013). Openness as visualization technique for interpretative mapping of airborne lidar derived digital terrain models. *Remote sensing*, 5(12), 6427-6442.
- Elbaşı, E. and Özdemir, H. (2018). Morphometric Analysis of the Marmara Sea River Basins. *Journal of Geography*, 36, 63-84.
- Ege, İ., Polat, S. ve İzmirli, E. (2019). (Çivril-Denizli) Havzasının Morfotektonik Özelliklerinin Cbs ile Belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(44), 141-167.
- Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Lab. Bot. Fac. Sci. Montpellier, 7, 3-43.
- Erinç, S. (1949). The climates of Turkey according to Thornthwaite's Classifications. *Annals of the Association of American Geographers*, 39(1), 26-46.
- Erinç, S. (1950). Climatic Types and the Variation of Moisture Regions in Turkey. *Geographical Review*, 40(2), 224-235.
- Erinç, S. (1952a). Glacial evidences of the climatic variations in Turkey. *Geografiska Annaler*, 34(1-2), 89-98.
- Erinç, S. (1952b). The present day glaciation in Turkey. In *General assembly and 17th International Congress of the Int. Geographical Union, 8th proceedings, Washington DC* (pp. 326-330).
- Erinç, S. (1953). Van'dan Cilo Dağlarına. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 2, 84-106.

- Erinç, S. (1965). Yağış müessiriyeti üzerine bir deneme ve yeni bir indis. İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Erinç, S. (1969). *Klimatoloji ve Metodları* (Genişletilmiş 2. Baskı). İstanbul Üniversitesi Yayınları No:994, Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No: 35, İstanbul.
- Erinç, S. (1971). *Jeomorfoloji II* (Genişletilmiş 2. Baskı). İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 1628, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No: 23, İstanbul.
- Erinç, S. (1978). Changes in the physical environment in Turkey since the end of the Last Glacial. In: The Environmental History of the Near and Middle East since the Last Ice Age, (W.C. Brice (Ed.). Academic Press: London, pp.87-110.
- Erinç, S. (1996). *Klimatoloji ve metodları* (4. Baskı). İstanbul: Alfa Basım Yayın Dağıtım.
- Erlat, E. (2010). *İklim Sistemi ve İklim Değişimleri*. Genişletilmiş 2. Baskı, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No. 155: İzmir.
- Erlat, E. (2014). *Dünya iklimleri*. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Erol, O. (1972). Konya, Tuz Gölü ve Burdur havzalarındaki plüviyal göllerin çekilme safhalarının jeomorfolojik delilleri. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 3-4: 13-52.
- Erol, O. (1979). Dördüncü Çağ (Kuvaterner) Jeoloji ve Jeomorfolojisinin ana çizgileri. Ankara Üniversitesi DTCF Yayınları No: 289. Coğrafya Araştırmaları Enstitüsü Yayınları No: 22, Ankara.
- Erol, O. (1981). Quaternary Pluvial and Interpluvial Conditions in Anatolia and Environmental Changes especially in South-Central Anatolia since the Last Glaciation. In Frey W. Und Uerpman, H.-P. (Hrsg.) *Beiträge zur Umweltgeschichte des Vorderen Orients. Beihefte zum Tübinger Atlas Des Vorderen Orients. Reihe A (Naturwissenschaften)*, 8, 101-109.
- Erol, O. (2003). Geomorphological evolution of the Ceyhan River delta: Eastern Mediterranean coast of Turkey. *Aegean Geographical Journal*, 12(2), 59-81.
- Erturaç, K. ve Kıyak, N. G. (2017). Yeşilirmak taraçalarında (Orta Kuzey Anadolu) geç pleystosen iklim değişiklikleri ve düşey yönlü deformasyona akarsu cevabının araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(4), 615-636.
- Erturaç, M. K., Şahiner, E., Zabcı, C., Okur, H., Polymeris, G. S., Meriç, N. and İkiel, C. (2019). Fluvial response to rising levels of the Black Sea and to climate changes during the Holocene: Luminescence geochronology of the Sakarya terraces. *The Holocene*, 29(6), 941-952.
- Ertürk, A. K. ve Bayar, F. A. (1984). *Türkiye'nin İklim Tasnifi -Erinç Kuraklık İndis Formülüne Göre*. Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Evans, I.S. (1972) General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: R.J. Chorley (ed.) *Spatial Analysis in Geomorphology*, pp. 17-90. London, UK: Harper and Row.
- Flint, R. F. (1971). *Glacial and Quaternary Geology*. ISBN 0-471-26435-0, John Wiley and Sons, Inc. Printing in USA.

- Florinsky, I. V. (1998). Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations. *Progress in physical geography*, 22(1), 33-60.
- Florinsky, I. (2016). *Digital terrain analysis in soil science and geology*. Academic Press.
- Franklin, J. (1995). Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in physical geography*, 19, 474-499.
- Gradstein, F.M, Ogg, J.G. and Schmitz, M.D. (Eds.) (2012). *The Geologic Time Scale*. Elsevier: Boston.
- Geçen, R. ve Varol, M. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri kullanılarak Cilo (Buzul) Dağı'nda aktif buzul ve değişiminin incelenmesi. In *International Symposium on Geomorphology* (pp. 12-14).
- Geçen, R., Toprak, V., ve Tonbul, S. (2018). Doğu Karadeniz Dağlarında Buzul Gölleri, Dağılışı ve Morfometrik Özellikleri. *TÜCAUM*, 30, 3-6.
- Görendağlı, A. N. (2011). Kızılırmak sekilerinin oluşumunda iklim ve tektoniğin rolü, Avanos. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9(2), 221-238.
- Gözükara, G., Altunbaş, S. ve Sarı, M. (2019). Burdur Gölü'ndeki seviye değişimi sonucunda ortaya çıkan lakustrin materyalin zamansal ve mekansal değişimi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3), 386-396.
- Guisan, A., Weiss, S. B. and Weiss, A. D. (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant ecology*, 143, 107-122.
- Gutierrez, D. D. (2015). *Machine learning and data science: an introduction to statistical learning methods with R*. Technics Publications.
- Gutierrez, M. and Benito, G. (2005). *Climatic geomorphology* (p. 760). Amsterdam: Elsevier.
- Gürgen, G. (2019). Çatakkaya Döküntü Örtülü Buzulu (Tatos Dağları). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(1), 217-236.
- Gül, F. K. (2018). Jeomorfometri-yeryüzü şekillerinin otomatik belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (36), 15-26.
- Gürbüz, A. (2012). *Tuz Gölü Havzası'nın Pliyo-Kuvaterner'deki Tektono-sedimanter evrimi*. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Hantzschel, J., Goldberg, V. and Bernhofer, C. (2005). GIS-based regionalisation of radiation, temperature and coupling measures in complex terrain for low mountain ranges. *Meteorological Applications*, 12(1), 33-42.
- Hengl, T. and Reuter, H. I. (Eds.). (2008). *Geomorphometry: concepts, software, applications* (Vol. 33). Elsevier.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of World Plant Formations From Simple Climatic Data. *Science*, 105(2727), 367-368.

- Hughes, P. D. and Woodward, J. C. (2017). Quaternary glaciation in the Mediterranean mountains: a new synthesis. *Geological Society, London, Special Publications*, 433(1), 1-23.
- Hutchinson, M.F. and Gallant, J.C. (2000). Digital elevation models and representation of terrain shape. In: J.P. Wilson and J.C. Gallant (eds) *Terrain Analysis: Principles and Applications*, pp. 29–50. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc.
- http-1:https://search.asf.alaska.edu/#/ (Erişim tarihi: 25.06.2024).
- http-2:http://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/ (Erişim tarihi: 25.06.2024).
- Iwahashi, J. and Pike, R. J. (2007). Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, 86(3-4), 409-440.
- İnandık, H. (1956). Sinop-Terme arasındaki kıyıların morfolojik etüdü I. *Türk Coğrafya Dergisi*, (15-16), 21-61.
- İnandık, H. (1957). Sinop-Terme arasındaki kıyıların morfolojik etüdü II. *Türk Coğrafya Dergisi*, (17), 51-71.
- İzbırak, R. (1951). Cilo Dağı ve Hakkâri ile Van Gölü çevresinde coğrafya araştırmaları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Yayını*, 67 (4), 149 sayfa: Ankara.
- Jones, M. D., Roberts, C. N. and Leng, M. J. (2007). Quantifying climatic change through the last glacial– interglacial transition based on lake isotope palaeohydrology from central Turkey. *Quaternary Research*, 67: 463–473.
- Karadoğan, S. ve Kavak, M. T. (2017). Diyarbakır havzasında iklim üzerinde etkili olan yer şekilleri ve litolojik faktörlerin MODİS uydu görüntüsü verileri ile incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(4), 557-568.
- Kılıç, S. (2013). Örneklemeye yöntemleri. *Journal of Mood Disorders*, 3(1), 44-6.
- Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of statistical software*, 28, 1-26.
- Koons, P., Upton, P. and Barker, A.D. (2012). The influence of mechanical properties on the link between tectonic and topographic evolution. *Geomorphology*, 137, 168–180.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263.
- Köksal, A. (1972). *Bafra Ovasının Coğrafya Etüdü*. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Yayınları No:220.
- Köppen, W. (1918). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle). *Petermanns Geogr. Mitt.*, 64, 193-203, 243-248.

- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate [The geographic system of climates]. In Köppen, W. and Geiger, R. (Eds), *Handbuch der klimatologie*, Bd. 1, Teil C. Berlin: Borntraeger Science Publishers.
- Köppen, W. and Geiger, R. (1954). Klima der erde (climate of the earth) wall map. *Gotha: Klett-Perthes*.
- Kurter, A. J. U. N. and Sungur, K. (1991). Glaciers of Middle East and Africa-Glaciers of Turkey. *Satellite image atlas of the World. USGS Professional Paper*, 1-30.
- Kuzucuoğlu, C. ve Roberts, N. (1998). Evolution of the environment in Anatolia from 20,000 to 6000 BP. *Paleorient*, 23: 7–14.
- Lasantha, V., Oki, T. and Tokuda, D. (2022). Data-Driven versus Köppen–Geiger Systems of Climate Classification. *Advances in Meteorology*, 2022(1), 3581299.
- Levy, P. S. and Lemeshow, S. (2013). *Sampling of populations: methods and applications*. John Wiley and Sons.
- Liaw, A. and Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R news*, 2(3), 18-22.
- Lohr, S. L. (2021). *Sampling: design and analysis*. Chapman and Hall/CRC.
- Mahlstein, I. and Knutti, R. (2010). Regional climate change patterns identified by cluster analysis. *Climate dynamics*, 35(4), 587-600.
- Marchi, L. and Dalla Fontana, G. (2005). GIS morphometric indicators for the analysis of sediment dynamics in mountain basins. *Environmental Geology*, 48, 218-228.
- Melton, M. A. (1965). The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona. *The Journal of geology*, 73(1), 1-38.
- McCullagh, M. J. (1988). Terrain and surface modelling systems: theory and practice. *The photogrammetric record*, 12(72), 747-779.
- Müdürlüğü, M. G. (2016). *Thorntwaite İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*. Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, TC. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Molnar, P. and England, P. (1990) Late Cenozoic uplift of mountain ranges and climate change: Chicken or egg? *Nature*, 346, 29–34.
- Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.
- Nokeri, T. C. (2021). *Data Science Revealed: With Feature Engineering, Data Visualization, Pipeline Development, and Hyperparameter Tuning*. Apress.
- O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer vision, graphics, and image processing*, 28(3), 323-344.
- Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge.

- Ou, G., Zhu, Z., Dong, B. and Weinan, E. (2023). *Introduction to Data Science*. World Scientific.
- Özpolat, E., Yıldırım, C. and Görüm, T. (2020). The Quaternary landforms of the Büyük Menderes graben system: the southern Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *Journal of Maps*, 16(2), 405-419.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G. ve Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27.
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M. ve Utlı, M. (2021). Anadolu'nun sirk gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 49-60.
- Özdemir, S. (2016). *Principles of data science*. Packt Publishing Ltd.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644.
- Pike, R. J. (1995). Geomorphometry: progress, practice and prospect. *Zeitschrift für Geomorphologie NF SupplementBand*, 101, 221-238.
- Pike, R. J. (2000). Geomorphometry-diversity in quantitative surface analysis. *Progress in physical geography*, 24(1), 1-20.
- Pike, R.J. (2001). Digital terrain modelling and industrial surface metrology—converging crafts. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 41, 1881–1888.
- Pike, R.J., Evans, I.S. and Hengl, T. (2009). Geomorphometry: A brief guide. In T. Hengl and H.I. Reuter (eds) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, pp. 3–30. Amsterdam, Netherlands: Elsevier
- Prasicek, G., Otto, J. C., Montgomery, D. R. And Schrott, L. (2014). Multi-scale curvature for automated identification of glaciated mountain landscapes. *Geomorphology*, 209, 53-65.
- Prima, O. D. A., Echigo, A., Yokoyama, R. and Yoshida, T. (2006). Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. *Geomorphology*, 78(3-4), 373-386.
- Rao, D. P. (2002). Remote sensing application in geomorphology. *Tropical Ecology*, 43(1), 49–59.
- Rasemann, S., Schmidt, J., Schrott, L., Dikau, R., 2004. Geomorphometry in mountain terrain. In: Bishop, M.P., Shroder, J.F. (Eds.), *GIS and Mountain Geomorphology*. Springer, Berlin, pp. 101–145.
- Rhee, J., Im, J., Carbone, G. J. and Jensen, J. R. (2008). Delineation of climate regions using in-situ and remotely-sensed data for the Carolinas. *Remote Sensing of Environment*, 112(6), 3099-3111.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D. and Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *intermountain Journal of sciences*, 5(1-4), 23-27.
- Roberts, N., Erol, O., De Meester, T. and Uerpmann, H. P. (1979). Radiocarbon chronology of late Pleistocene Konya Lake, Turkey. *Nature*, 281: 662–664.

- Roberts, N., Black, S., Boyer, P., Eastwood, W. J., Griffiths, H. I., Lamb, H. F., Leng, M. J., Parish, R., Reed, J. M., Twigg, D. and Yiğitbaşıoğlu, H. (1999). Chronology and stratigraphy of Late Quaternary sediments in the Konya Basin, Turkey: results from the KOPAL Project. *Quaternary Science Reviews*, 18: 611–630.
- Rohli, R. V. and Vega, A. J. (2018). *Climatology*. Jones and Bartlett Learning.
- Rubel, F. and Kottke, M. (2010). Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19(2), 135.
- Shah, C. (2020). *A hands-on introduction to data science*. Cambridge University Press.
- Sarıkaya, M., Zreda, M. and Ciner, A. (2008a). Late Quaternary paleoclimates of Turkey from glacial records and their link to the climate change of the past century. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2008, pp. PP13B-1440).
- Sarıkaya, M. A., Zreda, M., Çiner, A. and Zweck, C. (2008b). Cold and wet Last Glacial Maximum on Mount Sandıras, SW Turkey, inferred from cosmogenic dating and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 27: 769–780.
- Sarıkaya, M. A., Zreda, M. and Çiner, A. (2009). Glaciations and paleoclimate of Mount Erciyes, central Turkey, since the Last Glacial Maximum, inferred from ³⁶Cl cosmogenic dating and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 28(23-24), 2326-2341.
- Sarıkaya, M. A., Ciner, A. and Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In *Developments in Quaternary Sciences* (Vol. 15, pp. 393-403). Elsevier.
- Sarıkaya, M. A. (2012). Kuvaterner Buzullaşmaları; Yayılımı ve Zamanlaması. *Kuvaterner Bilimi*, 350, 41-58.
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A., Haybat, H. and Zreda, M. (2014). An early advance of glaciers on Mount Akdağ, SW Turkey, before the global Last Glacial Maximum; insights from cosmogenic nuclides and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 88, 96-109.
- Sarıkaya, M. A. ve Çiner, A. (2015). Türkiye Geç Pleistosen Buzullaşması Paleoiklimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (151), 111-132.
- Sarıkaya, M.A. and Çiner, A., (2015). Late Pleistocene glaciations and paleoclimate of Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151 107-127.
- Sathiaraj, D., Huang, X. and Chen, J. (2019). Predicting climate types for the Continental United States using unsupervised clustering techniques. *Environmetrics*, 30(4), e2524.
- Scornet, E. (2023). Trees, forests, and impurity-based variable importance in regression. In *Annales de l'Institut Henri Poincaré (B) Probabilités et statistiques* (Vol. 59, No. 1, pp. 21-52). Institut Henri Poincaré.
- Sezer, L. İ. (1988). İklim ve vejetasyon sınıflandırması konusunda yeni bir indis denemesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 4(1), 161-201.
- Shalev-Shwartz, S. and Ben-David, S. (2014). *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge university press.

- Shary, P. A., Kuryakova, G. A. and Florinsky, I. V. (1991). On the international experience of topographic methods employment in landscape researches (the concise review). *The Geometry of the Earth Surface Structures*, 15-29.
- Shary, P. A., Sharaya, L. S. and Mitusov, A. V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107(1-2), 1-32.
- Silahtaroglu, G. (2016). *Veri Madenciliği*. İstanbul: Papatya Yayınları.
- Siler, M. ve Şengün, M. T. (2016). İdil (Şırnak) kuzeyinin jeomorfolojik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 11-17.
- Skentos, A. (2018). Topographic Position Index Based Landform Analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece). *Acta Geobalkanica*, 4(1), 7-15.
- Strahler, A. N. (1951). *Physical Geography*. New York: Wiley.
- Sungur, K. A. (1967). *Konya-Ereğli Havzasında Jeomorfolojik Araştırmalar*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- Sungur, K. A. (1978). Burdur, Acıgöl Depresyonları ve Tefenni Ovasının Fiziki Coğrafyası. İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 2397, Coğrafya Enstitüsü Yayınları No: 95, İstanbul.
- Szypuła, B. (2017). Digital elevation models in geomorphology. *Hydro-Geomorphology-Models and Trends. InTechOpen*, 2017b, 81-112.
- Szypuła, B. (2019). Quality assessment of DEM derived from topographic maps for geomorphometric purposes. *Open Geosciences*, 11(1), 843-865.
- Şenol, C. (2019). *Melet Çayı Havzası'nda Arazi Kullanımı ve Mekânsal Değişim*. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Şimşek, M., Utlu, M., Poyraz, M. ve Öztürk, M. Z. (2019). Geyik Dağı kütesinin yüzey karstı jeomorfolojisi ve kütle üzerindeki karst-buzul jeomorfolojisi ilişkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 28(2), 97-110.
- Tarini, M., Cignoni, P. and Montani, C. (2006). Ambient occlusion and edge cueing for enhancing real time molecular visualization. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 12(5), 1237-1244.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Tobler, W. R. (1976). Analytical cartography. *The American Cartographer*, 3(1), 21-31.
- Tobler, W. (2000). The development of analytical cartography: A personal note. *Cartography and Geographic Information Science*, 27(3), 189-194.
- Trewartha, G. T., Horn, L. H. and Sale, R. D. (1954). *An introduction to climate* (Vol. 402). New York: McGraw-Hill.
- Turoğlu, H. (2010). Kızılırmak Deltası ve yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri ve insan yaşamındaki etkileri. *Anadolu Araştırmaları*, 19(1), 99-111.

- Turoğlu, H. (2011). *Buzullar ve Buzul Jeomorfolojisi*. Çantay Kitabevi: İstanbul, ISBN 978-975-9060-82-4.
- Turoğlu, H. (2015). Tarihlendirilmiş bazı jeomorfolojik verilere dayandırılan, Anadolu'nun Kuvaterner iklim özellikleri rekonstrüksiyonu. Editör: Efe, R., *Coğrafyada Yeni Yaklaşımlar*, 75-102.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., ve Çetiner, G. (2000). *Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri*. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (İstanbul, 13 Nisan 2000), 7-24.
- Türkeş, M. (2013). İklim değişiklikleri: Kambriyen'den Pleyistosen'e, Geç Holosen'den 21. yüzyıl'a. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22(1), 1-25.
- Türkmenoğlu, Y. (2020). Meriç Nehri'nin Edirne Bölümünde 1947-2019 Periyodundaki Yatak Değişimlerinin CBS ve UA Teknikleri ile Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (4), 32-41.
- Ünal, Y., Kindap, T. and Karaca, M. (2003). Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International journal of climatology*, 23(9), 1045-1055.
- Varol, B., ve Akiska, E., (2012). Evaporitler. *Kuvaterner Bilimi* (ss.361-388), Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Varol, M. (2017). *Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak Cilo (Buzul) Dağları'nda aktif buzul ve buzul şekillerinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Vapnik, V. N. (1995). *The nature of statistical learning theory*. New York: Springer.
- Viera, A. J. and Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam med*, 37(5), 360-363.
- Walker, J.D., Geissman, J.W., Bowring, S.A., Babcock, and L.E. (Compilers) (2012). Geologic Time Scale v. 4.0: Geological Society of America.
- Weibel, R. and Heller, M. (1991). Digital terrain modelling. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D. (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. vol. 1. Principles. Longman, Harlow, UK, pp. 269-297.
- Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. In *Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA* (Vol. 200).
- Wilson, J.P. and Bishop, M.P. (2013) Geomorphometry. In: J.F. Shroder (ed.) *Treatise in Geomorphology. Volume 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology*, pp. 162-186. San Diego, CA: Academic Press.
- Wilson, J. P. (2018). *Environmental applications of digital terrain modeling*. John Wiley and Sons.
- Wilson, J.P. and Gallant, J.C., (2000). *Terrain analysis principles and applications*. John Wiley and Sons, Inc., Canada, 479 p.
- Yalçın, M. (2017). Ağrı Dağı Buzul Değişimlerinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 166-170.

- Yalçınlar, İ. (1958). Samsun bölgesinin neojen ve kuaterner kıyı depoları. *İst. Üniv. Coğr. Ens. Dergisi*, 5(9).
- Yeşilyurt, S., Doğan, U. ve Akçar, N. (2018). Narlıca Vadisi'nde Geç Kuvaterner buzullaşma izleri, Kavuşşahap Dağları. *Türk Coğrafya Dergisi*, (70), 99-108.
- Yılmaz, C. (2005). Kızılırmak Deltasında meydana gelen erozyonun coğrafi analizi. *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu*, 2(5).
- Yılmaz, E. and Çiçek, İ. (2016). Thornthwaite climate classification of Turkey Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973-3994.
- Yılmaz, E. ve Cicek, İ. (2018). Detailed Köppen-Geiger climate regions of Turkey Türkiye'nin detaylandırılmış Köppen-Geiger iklim bölgeleri. *Journal of Human Sciences*, 15(1), 225-242.
- Yılmaz, E. ve Çiçek, İ. (2019). Türkiye'de Köppen-Geiger İklim Tiplerindeki Zamanmekansal Değişimler. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 59(1), 181-202.
- Yokoyama, R., Shirasawa, M. and Pike, R. J. (2002). Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(3), 257-266.
- Zhu, A. X., Band, L., Vertessy, R. and Dutton, B. (1997). Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). *Soil Science Society of America Journal*, 61(2), 523-533.
- Zreda, M., Ciner, A., Bayarı, S. and Sarıkaya, M. A. (2005). Remarkably extensive Early Holocene glaciation in Turkey. *European Geoscience Union Conference*, Vienna, 24–29 April 2005, EGU05-A–06068.
- Zreda, M., Çiner, A., Sarıkaya, M. A., Zweck, C. and Bayarı, S. (2011), Remarkably extensive glaciation and fast deglaciation and climate change in Turkey near the Pleistocene Holocene boundary, *Geology*, 39 (11), 1051–1054.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-5740-4618

Ad Soyad : Hasan Burak ÖZMEN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2010, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Lisans.
- 2018, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ABD., Tezli Yüksek Lisans
- 2016-2018, Destek Personeli, Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü
- 2018 – Devam ediyor, Teknik Personel, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü.

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Uslu, A., Özmen, H. B. ve Uyguçgil, H. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri Ağ Analizinde Anlık Dinamik Sorgulama Simülasyonu. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(3), 743-749.
- Özmen, H.B., ve Pekkan, E. (2022). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Buzul Vadi Sınırlarının Belirlenmesi: Kaçkar Dağları Örneği, Özet Bildiri, X. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, 02 Kasım 2022, 04 Kasım 2022.
- Mutlu, S., Güneş, C., Özmen, H. B., Balkan, E., Tün, M., Pekkan, E., Kaya, A. M. ve Başar, H. S. (2022). Batı Anadolu Pliyo-Kuvaterner Tektonizmasıyla İlişkili Yapıların Soma (Manisa) Linyit Seviyeleri Üzerinden Sismik Yansıma Yöntemiyle Araştırılması, Özet Bildiri, Uluslararası Katılımlı 74. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 11 Nisan 2022, 15 Nisan 2022.
- Balkan, E., Güneş, C., Tün, M., Pekkan, E., Özmen, H. B. ve Mutlu, S. (2022). Paleotektonik Hatların Gravite Yöntemiyle Araştırılması; İzmir-Ankara-Erzincan Süturu'nun Eskişehir Havzasındaki Konumu, Özet Bildiri, Uluslararası Katılımlı 74. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 11 Nisan 2022, 15 Nisan 2022.

- Özmen, H. B., Pekkan, E. ve Tün, M. (2020). Determination of Temporal and Spatial Change of Seismicity Using Gutenberg-Richter Relationship, "b" Value; Marmara Region Example, Tam Metin Bildiri, 2. International Disaster and Resilience Congress (idRc 2020), 13 Ekim 2020, 15 Ekim 2020.
- Özmen H.B., Huseynova, T., Pekkan, E. ve Tün, M. (2017), Türkiye’de Meydana Gelen Depremlerin Mekânsal İstatistiksel Analizi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Özmen H.B., Pekkan E. ve Güney Y., Eskişehir Yerleşim Yerinin Deprem Etkisi Altında Yerel Zemin Davranışlarının Belirlenmesi, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, MTA, 14-18 Nisan 2014.
- Tün M., Ecevitoglu B., Güney Y., Avdan U., Pekkan E., Mutlu S., Kahraman S., Özmen, H. B., Erdönmez H. H., Arslan F., Küçük B. The Establishment of Strong Ground Motion Seismic Network in Osmangazi District-Bursa/Turkey, The 20th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 25-27 Kasım 2013.