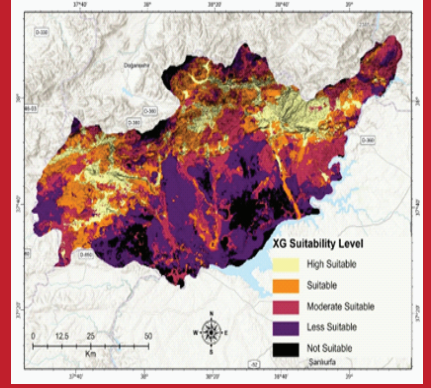
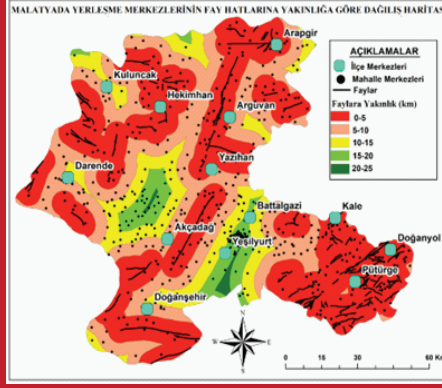
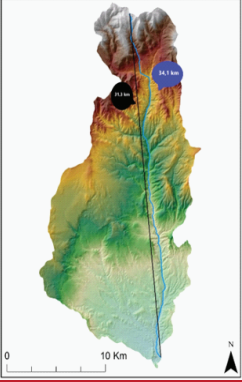
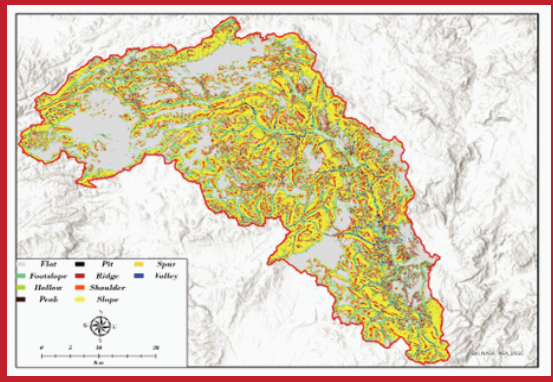
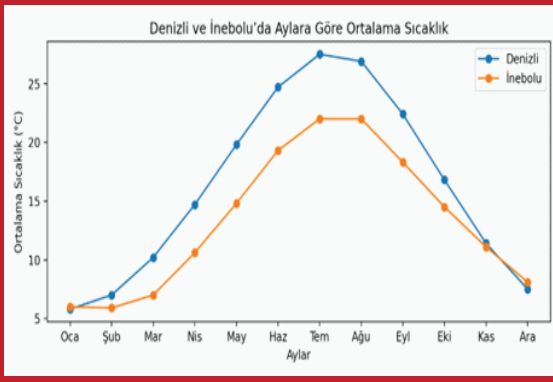




FİZİKİ COĞRAFYADA DOĞAL-KÜLTÜREL PEYZAJ ETKİLEŞİMLERİ: EKOLOJİ, BİTKİ COĞRAFYASI VE ARKEOLOJİK YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR
Doç. Dr. Fatih SÜNBÜL

FİZİKİ COĞRAFYADA DOĞAL-KÜLTÜREL PEYZAJ ETKİLEŞİMLERİ: EKOLOJİ, BİTKİ COĞRAFYASI VE ARKEOLOJİK YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR

Doç. Dr. Fatih SÜNBÜL

YAZARLAR

Prof. Dr. Zeki BOYRAZ

Doç. Dr. Reşat GEÇEN

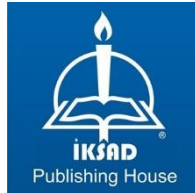
Dr. Öğr. Üyesi| Enes KARADENİZ

Dr. Öğr. Üyesi Selahi COŞKUN

YL. Öğrencisi| Miraç ÇATAK

YL. Öğrencisi Senem GENÇ

YL. Öğrencisi Şevval İNANDIK



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-500-0

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

Önsöz	1
<i>(Editör: Doç. Dr. Fatih Sünbül)</i>	

I – Fiziki Coğrafya, Ekoloji ve Tür Dağılımı	3-72
---	------

(Doğal sistemler → biyotik bileşenler)

BÖLÜM 1 — Selahi Coşkun.....	5
Güneybatı Anadolu’da Relik Kestane (<i>Castanea sativa</i>) Topluluklarının Batı Karadeniz’deki Yetiştirme Ortamıyla İklimsel Karşılaştırması	

BÖLÜM 2 — Miraç Çatak, Senem Genç ve Zeki Boyraz.....	29
Tohma Havzası (Malatya) Bitki Tür Dağılım Dinamiklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile İncelenmesi	

BÖLÜM 3 — Şevval İnandık.....	51
Fungi Aleminin Fiziki Coğrafya Bağlamında Ekolojik Rolü ve Dağılım Dinamikleri	

II – Fiziki Ortam Analizi ve Yerleşme Coğrafyası	73-138
---	--------

(Jeomorfoloji → beşerî etkileşim)

BÖLÜM 4 — Reşat Geçen.....	75
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Aliğa Çayı Havzası’nın (Arguvan) Morfometrik Analizi	

BÖLÜM 5 — Reşat Geçen.....	107
Malatya İlinde Yerleşme Alanlarının Genel Coğrafi Özellikleri	

III – Kültürel Miras, Afetler ve Mekânsal Karar Destek Sistemleri	139-194
--	---------

(Risk → planlama → karar desteği)

BÖLÜM 6 — Enes Karadeniz.....	141
Anadolu’da Kültürel Miras ve Depremler: Tarihsel Bir Bakış Açısı	
BÖLÜM 7 — Enes Karadeniz.....	163
Mekânsal Karar Desteği İçin XGBOOST Tabanlı Ekoturizm Potansiyeli Modeli	

ÖNSÖZ

Peyzaj kavramı, uzun yıllar boyunca fiziki coğrafya literatüründe ağırlıklı olarak doğal süreçlerin ürünü olan bir dış mekân olarak ele alınmış; insan etkisi ise bu doğal yapıya sonradan eklenen, çoğu zaman ikincil bir müdahale biçimi olarak kavramsallaştırılmıştır. Ancak çağdaş fiziki coğrafya yaklaşımı, peyzajı doğanın içsel dinamikleri ile kültürel, toplumsal ve tarihsel süreçlerin eşzamanlı olarak biçimlendirdiği çok katmanlı, etkileşimsel ve zamansal bir sistem olarak değerlendirmektedir. Bu perspektif, peyzajı yalnızca bir yüzey biçimi ya da arazi örtüsü değil; ekolojik işlevleri, biyocoğrafik süreklilikleri, jeomorfolojik dönüşümleri ve insan faaliyetlerinin mekânda bıraktığı izleri birlikte barındıran bir mekânsal hafıza olarak ele almayı mümkün kılmaktadır.

Doğal ve kültürel peyzaj etkileşimleri, özellikle iklim-bitki örtüsü ilişkileri, topoğrafya-tür dağılımı bağlantıları, ekolojik nişlerin oluşumu, havza ölçeğinde jeomorfolojik süreçler ve yerleşme alanlarının gelişimi gibi fiziki coğrafyanın temel araştırma alanlarında belirginleşmektedir. Bu bağlamda modern coğrafya, peyzajı durağan bir arka plan olarak değil; sürekli dönüşen, geri besleme mekanizmaları üreten ve farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde okunabilen dinamik bir süreç olarak ele almaktadır. Böyle bir yaklaşım, doğal sistemlerin işleyişi ile beşerî müdahalelerin izlerinin birlikte ve bütüncül biçimde analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama, ekolojik modelleme ve makine öğrenmesi temelli yöntemlerde yaşanan gelişmeler, fiziki coğrafyada yürütülen peyzaj araştırmalarına önemli bir metodolojik derinlik kazandırmıştır. Tür dağılım modelleri, morfometrik analizler, havza değerlendirmeleri ve mekânsal karar destek sistemleri gibi uygulamalar, peyzajın yalnızca mevcut durumunun değil, aynı zamanda geleceğe yönelik olası dönüşümlerinin de bilimsel olarak analiz edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemsel çeşitlilik, fiziki coğrafyanın betimleyici bir disiplin olmanın ötesine geçerek açıklayıcı, karşılaştırmalı ve öngörü üretmeye yönelik bir bilim alanı olarak konumlanmasına katkı sunmaktadır.

Bu kitap, fiziki coğrafyada doğal sistemler ile insan faaliyetleri arasındaki etkileşimleri bütüncül bir çerçevede ele alan çalışmaları bir araya getirmek amacıyla hazırlanmıştır. Kitap üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, relik türlerin iklimsel karşılaştırmaları, bitki tür dağılım dinamikleri

ve fungi ekolojisi gibi biyotik bileşenler üzerinden peyzajın ekolojik boyutu ele alınmaktadır. İkinci bölümde, havza morfometrisi ve yerleşme alanlarının coğrafi özellikleri üzerinden fiziki ortam ile beşerî mekân arasındaki karşılıklı ilişkiler analiz edilmektedir. Üçüncü bölümde ise kültürel miras–afet ilişkisi ve mekânsal karar destek sistemleri bağlamında risk, planlama ve sürdürülebilirlik temaları ön plana çıkarılmaktadır.

Kitapta yer alan çalışmalar, CBS tabanlı analizler ile XGBoost gibi makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanarak mekânsal süreçleri analitik ve karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele almaktadır. Özellikle ekoturizm potansiyeli modellenmesi ve kültürel mirasın afetler karşısındaki kırılganlığını irdeleyen bölümler, fiziki coğrafyanın planlama, yönetim ve karar destek süreçlerine olan uygulamalı katkısını açık biçimde ortaya koymaktadır. Fungi ekolojisi ve relik türlere odaklanan bölümler ise peyzajın yalnızca güncel ekolojik yapısını değil, aynı zamanda uzun dönemli çevresel hafızasını anlamaya yönelik önemli bilimsel ipuçları sunmaktadır.

Editör olarak, kitabın bilimsel etik ilkeler ve akademik yayın standartları çerçevesinde hazırlanmasına özel bir önem verilmiştir. Bu kapsamda kitapta yer alan tüm bölümler intihal (benzerlik) tarama programlarından geçirilmiş, benzerlik oranlarının %15’in altında olmasına özen gösterilmiş ve gerekli akademik değerlendirmeler titizlikle yapılmıştır. Böylece çalışmanın özgünlüğü ve bilimsel niteliği güvence altına alınmıştır.

Bu kitabın, fiziki coğrafya, peyzaj ekolojisi, bitki ve mantar coğrafyası, jeomorfoloji, mekânsal analiz ve karar destek sistemleri alanlarında çalışan araştırmacılar için nitelikli bir başvuru kaynağı olacağına inanıyorum. Aynı zamanda yüksek lisans ve doktora düzeyindeki öğrenciler için hem kavramsal hem de yöntemsel açıdan bütünlüklü bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasına katkı sunan tüm yazarlara, süreç boyunca gösterdikleri akademik özen ve emekleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Doç. Dr. Fatih Sünbül

Editör

2026 – İzmir

I

Fiziki Coğrafya, Ekoloji ve Tür Dağılımı

(Doğal sistemler → biyotik bileşenler)

BÖLÜM 1

GÜNEYBATI ANADOLU'DAKİ RELİK KESTANE (*CASTANEA SATIVA*) TOPLULUKLARININ, BATI KARADENİZ'DEKİ YETİŞME ORTAMIYLA İKLİMSEL KARŞILAŞTIRMASI

¹Dr. Öğr.Üyesi | Selahi COŞKUN

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18071972>

¹ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, selahhi.coskun@inonu.edu.tr,
ORCID ID 0000-0003-4047-2064

GİRİŞ

Jeolojik devirler boyunca birbirini takip eden sıcak-nemli, soğuk-kurak dönemler olmasına rağmen Kuaterner'deki iklim değişmelerinin bitki dağılışı üzerindeki etkisi derinden olmuştur. Örtü (inlandis) buzullaşmalarının ulaşmadığı Anadolu'da, kuzeyden güneye doğru iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve aynı zamanda dağlık arazideki buzulların alçak alanlara kadar inmesi coğrafi mekânda büyük değişime yol açmıştır. Soğuk şartların etki alanları genişledikçe, önü sıra hareket eden bitki türlerinin birçoğu aradaki orografik engeller veya geniş su kütleleri sebebiyle yok olmuştur. Coğrafi şartların uygun olduğu alanlar boyunca hareket edenler ise günümüze kadar varlığını sürdürmüştür. Kuzey Anadolu Dağlarının batı bölümünde doğal yetişme ortamı bulan bazı nemcil türler bu ilerlemeden etkilenerek güneydeki dağların uygun şartlar taşıyan kademelerinde topluluklar oluşturmuştur. Günümüzde Akdeniz iklim bölgesinde, nemli ılıman iklim şartlarına uygun orman elemanlarının bakiyesi olarak bulunan bu türlerin başında Anadolu kestanesi (*Castanea sativa*) gelmektedir.

Öksin flora elemanı olan Kestane ağaçları bir kısım nemcil orman altı türlerle beraber Batı Anadolu'da bu ormanların aynı zamanda en güneydeki sınırını oluşturmaktadır. Kestane ormanlarının bu derece güneye sokulması ve doğal topluluk oluşturmaları, bu alanların yetişme şartlarındaki benzer özelliklerle ilgilidir. Bu çalışmada, Güneybatı Anadolu'da kestane topluluklarının dağılışı ile Batı Karadeniz bölümü, başta iklim olmak üzere yer yer diğer yetişme ortam şartları karşılaştırma yoluna gidilmiş, ayrıca bitkilerin dağılışıdan bahsedilmiştir. Örnek olarak Batı Karadeniz kıyılarında İnebolu-Sinop arası, Güneybatı Anadolu'da ise Büyük Menderes Nehrine bakan Babadağ (2300 m.) kütesinin kuzey yamaçları inceleme alanını olarak seçilmiştir.

1. VERİ VE YÖNTEM

Yeryüzünde bitki tür ve topluluklarının yayılışında iklim özellikleri birinci sırada gelir. Sıcaklık, yağış ve rüzgâr şartlarındaki değişim doğrudan bitki alanlarını belirler. Bir yerin yetişme şartları üzerinde iklimin doğrudan veya dolaylı etkileri vardır. Bu durumun açıklanmasında, iklimin sıcaklık, yağış, rüzgâr ve bunlara bağlı diğer parametrelerinin ortaya konulmasının önemi büyüktür. Ekolojik şartlardaki küçük bir değişim bazı bitkilerin ortamdaki

çekilmesine sebep olabilir. Farklı alanların benzer bitki türlerine ev sahipliği yapması çoğu zaman bu alanların iklim şartlarının benzerliği ile ilgilidir.

Bu çalışmada dağılışları büyük oranda geçmişteki iklim değışmelerine bağı olan fakat günümüzdeki varlığı daha çok mevcut çevresel şartların elverdiği iki farklı iklim bölgesindeki Anadolu keşanesinin (C.sativa) iklim özellikleri ve dağılımları üzerinde durulmuştur. Keşane toplulukları açısından Türkiye’de doğal yetiştirme koşullarının ortaya koyduğu optimum şartlara Karadeniz ve Marmara Bölgesinde, Karadeniz ikliminin etkili olduğu alt kademelerde ulaşılmaktadır.

İklim şartlarının ortaya konulmasında Meteoroloji Genel Müdürlüğünün Denizli ve İnebolu’ya ait meteorolojik verileri kullanılmıştır. İstasyon olmayan yerlerde ise uygun enterpolasyon yolu seçilerek sıcaklık, yağış ve diğer iklim parametrelerindeki değışim açıklanmıştır. Veriler, tablo ve grafiklerle yorumlanmıştır. Orman topluluklarının dağılışında Orman Genel Müdürlüğünün amenajman haritaları, daha önce bölgede yapılan çalışmalar ve bölgelerde yapılan bitki incelemeleri temel altlığı oluşturmıştır. Bitki dağılış haritalarının hazırlanmasında ArcGIS 10 pro yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan dört adet kesitle bakı, eğim ve yükselti faktörü daha net ortaya konulmuştur.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1.İklim Özellikleri

Günlük hava durumları kısa zamanlarda ve dar alanlarda değıştiğı halde, iklimler geniş bölgelerde ve çok uzun zaman için aynı kalan ortalama hava koşullarıdır ve bir bölgenin hava olayları yönünden karakterini belirler (Erol,1999-11). Güneş ışınlarının geliş açılarının belirlediğı enlem faktörü geniş kuşaklar halinde büyük iklim tiplerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Türkiye, bu iklimlerden Akdeniz iklim kuşağında yer alır. Ancak; başta denize uzaklık, karasallık ve yeryüzü şekillerinin etkisiyle çok sayıda bölgesel ve mikroklimatik alanlar ortaya çıkmıştır. Karadeniz iklimi de bunlardan biridir. Kuzeyin nemli hava kütlelerinin sokulduğu buradaki ilk dağ sırası yağış bakımından avantajlıdır. Güneye gidildikçe benzer şartlara ancak kuzeye açık nemli vadi içlerinde rastlanır. Bu alanlarda nemcil Karadeniz elemanlarını anklav olarak görmek mümkündür.

Bitkilerin yetiştirme şartlarının başında iklim gelir. İklim elemanları da bitki örtüsü üzerinde teker teker değil bir arada etkili olurlar. Böylece bir yerin bitki örtüsünün şekillenmesinde önemli rol oynar. İklim elemanları sıcaklık, yağış ve rüzgarlardan meydana gelir. Yerine göre bunlardan biri daha kritik öneme sahip olabilir. Örneğin Akdeniz Bölgesi için nem ve buharlaşma şartlarına bağlı olarak öncelikli olan yağıştır (Dönmez,1985-3). Karadeniz bölgesinin yağış ve sıcaklık rejimi Anadolu kestanesi için uygun şartlar taşır.

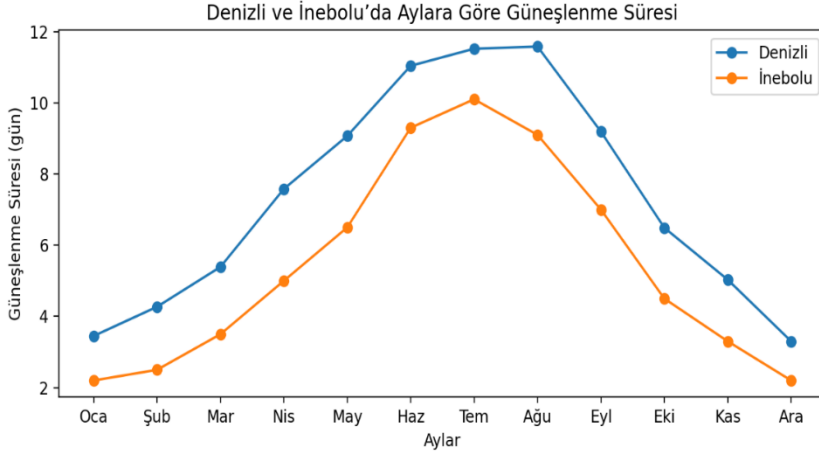
2.2. Sıcaklık Durumu

Öksin alanın karakteristik bir türü olan Anadolu kestanesi, sıcaklık ve nem isteği yüksek, ışık isteği orta olan bir ağaçtır. Yayılış alanlarında genellikle sıcaklık ve nem bakımından elverişli alçak yamaçları ve nemli kuzey bakıları seçmiştir. İlkbahar, sonbahar ve kış donlarına karşı çok duyarlı olan *Castanea sativa*'nın yayılış gösterdiği alanlarda yıllık ortalama sıcaklık 4°C, en soğuk ayın ortalama sıcaklığı 0 °C, en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 16°C'nin üzerindedir (Günel, 1997-128).

Güneşlenme süresini gösteren tablo ve grafik incelendiğinde, enlem olarak daha güneyde yer alan Denizli'nin, bütün aylarda güneşli gün sayısı İnebolu'dan fazladır (Tablo 1: Şekil: 1). En düşük güneşlenme süresi Denizli 'de (3.3 gün) ve İnebolu'da (2,2 gün) kış aylarına isabet eder. En yüksek değerlere ise sırasıyla 11,52-10,1 gün ile yaz aylarında ulaşılır. Denizli'de fazla ışıktan olumsuz etkilenen kestane ağaçları kuzey ve kuzey doğuya açılan vadiler içerisinde yetiştirme imkânı bularak bu durumu telafi etmektedir. Bilindiği gibi güneşlenme süresi sadece maruz kalma değil, gelme açısı yamaç eğimi, bitki örtüsü, yüzeyi oluşturan kayalar gibi pek çok unsura bağlıdır. Güneş ışınlarının geliş açısının minimum değeri 21 Aralık'ta İnebolu için 25°, Denizli için ise 29°'dir. Maksimum değere 21 Haziran'da ulaşılır; İnebolu 71°, Denizli 76°.

Tablo 1: Denizli ve İnebolu’da Yıllık Güneşlenme Süresi.

İstasyon	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Denizli	3,45	4,27	5,39	7,58	9,07	11,04	11,52	11,58	9,19	6,49	5,03	3,3	7,3
İnebolu	2,2	2,5	3,5	5	6,5	9,3	10,1	9,1	7	4,5	3,3	2,2	

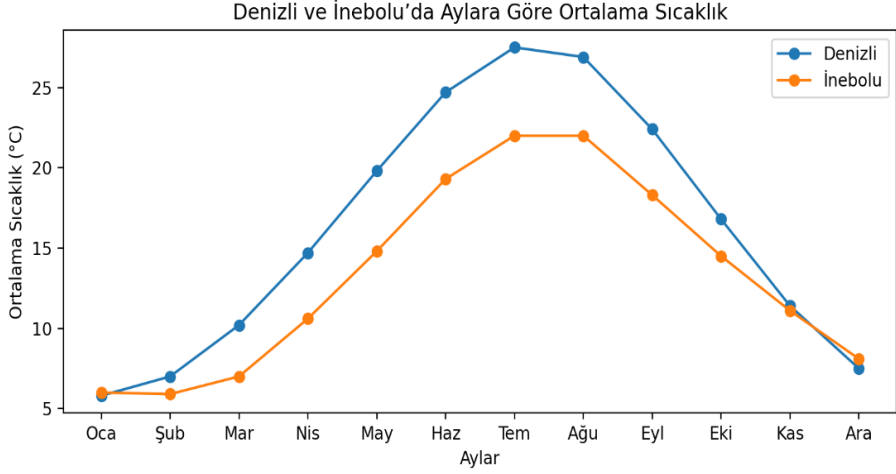


Şekil 1: Denizli ve İnebolu’da Yıllık Güneşlenme Süresi.

Her iki istasyonun ortalama sıcaklık değerleri *Castanea sativa*’nın eşik değerlerine uzaktır (Tablo 1, Şekil 1). Denizli’de en düşük ortalama sıcaklık 5,8°C ile ocak, İnebolu’da ise 2,2 °C ile aralık ve ocak aylarıdır. En sıcak ay ortalamaları Denizli’de 27’5 °C ile temmuz, İnebolu’da 22°C ile temmuz ve ağustos aylarına aittir. Yıllık ortalama sıcaklık için optimumu 13°C’dir. En soğuk ay için 5°C, en sıcak ay için ise 22°C kadardır. Tahammül edebileceği ekstrem sıcaklıklar en düşük -13°C, en yüksek olarak da 37°C’dir. Kestanenin aradığı yıllık optimum yağış miktarı ise 1000 mm civarındadır (Soykan, Sönmez ve Aktaş, 2016). Kış döneminde -25 °C ile -30 °C arasındaki düşük sıcaklıkları tolere edebilir. *Castanea sativa* meyvelerinin olgunlaşabilmesi için çiçek açma evresinden toplanma zamanına kadar 2700 °C ile 3000 °C arasında toplam sıcaklığa ihtiyaç vardır (Soykan vd. 2025-127). İnebolu’da yıllık ortalama sıcaklık optimum şartlardadır. Denizli’de nispeten optimumdan uzaktır.

Tablo 2: Denizli ve İnebolu’da Ortalama Sıcaklığın Aylara Dağılımı.

İstasyon	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Denizli	5,8	7	10,2	14,7	19,8	24,7	27,5	26,9	22,4	16,8	11,4	7,5	16,2
İnebolu	6	5,9	7	10,6	14,8	19,3	22	22	18,3	14,5	11,1	8,1	13,3

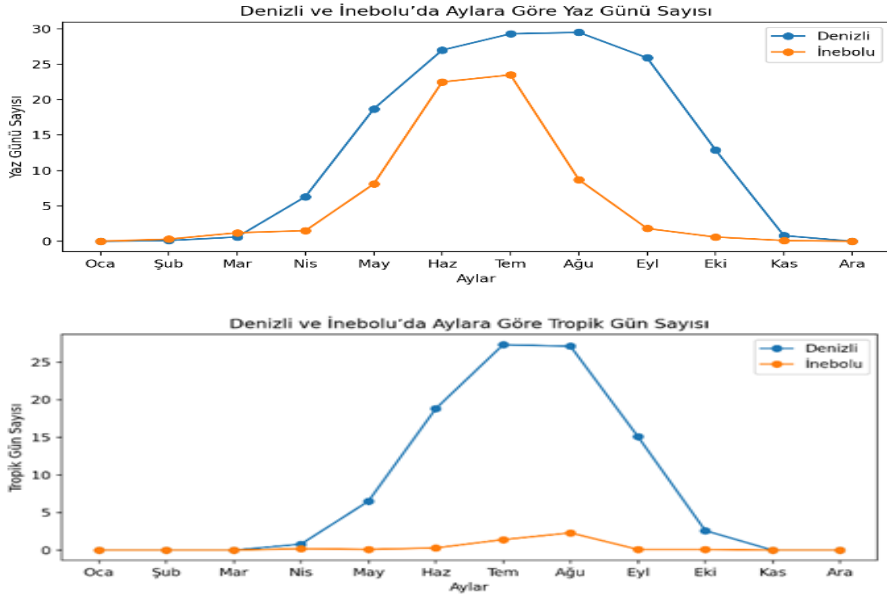


Şekil 2: Denizli ve İnebolu’da Ortalama Sıcaklığın Aylara Dağılımı.

Yaz mevsimi içerisinde sıcaklıkta meydana gelen artışlar, kuraklıkla sınırları belirlenen kestane ağaçları için kritik öneme sahiptir. Denizli ve İnebolu’da tropik ve yaz günü sayılarını gösteren verilere bakıldığında, Denizli’de nerdeyse mevsimi oluşturan günlerin tamamına yakını sıcaklık ortalamaları 30 °C nin üzerinde seyretmektedir. İnebolu’da sadece temmuz ve ağustos aylarında 23 gün sıcaklık ortalamaları 25 °C civarındadır. Bu durum kestanein doğal yetiştirme alanlarının güneye doğru azalmasında belirleyici olmuştur (Tablo 3, Şekil 3).

Tablo 3: Denizli ve İnebolu’da Tropik ve Yaz Günü Sayısının Aylara Dağılımı.

İstasyonlar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	Ey	E	K	A	Yıllık
Denizli Tropik gün			0	0,8	6,5	18,8	27,3	27,1	15,1	2,6			98,2
Denizli Yaz günü		0,1	0,6	6,3	18,7	27	29,3	29,5	25,9	12,9	0,8		151,1
İnebolu Tropik gün			0	0,2	0,1	0,3	1,4	2,3	0,1	0,1	0		4,5
İnebolu Yaz günü		0	0,3	1,2	1,5	8,1	22,5	23,5	8,7	1,8	0,6	0,1	68,3



Şekil 3: Denizli ve İnebolu'da Tropik ve Yaz Günü Sayısının Aylara Dağılımı.

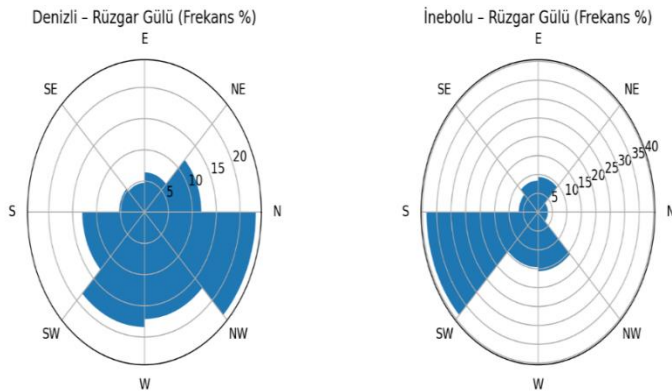
Minimum ortalama sıcaklıkların kış aylarına denk geldiği her iki istasyon için de *Castanea sativa*'nın ekolojik istekleri bakımından sıcaklık değerleri çok düşük değildir. Denizli'de aralık, ocak, şubat (-10 °C) civarında, İnebolu'da ise bir ay gecikmeyle ocak, şubat, mart (-8,-9 °C) civarında seyretmektedir. Bu durum dinlenme dönemindeki ağaçlar için tehdit oluşturmaz (Tablo 4, Şekil 4). Mezoterm özellikteki ağaçlar için yüksek olan maksimum sıcaklık ortalamaları daha büyük öneme sahiptir; Denizli'de bu sıcaklıklar 45°C ye yakındır. Kurak devrenin uzun olduğu bölgede, yüksek sıcaklıklar evapotranspirasyonla birlikte ağaçların su ihtiyacını artırarak vadi içlerine çekilmesine sebep olmuştur.

2.3. Rüzgâr Durumu

Rüzgarların doğrudan etkileri arasında şekillendirme, buharlaşmayı artırma ve polenleri taşıma başta gelir. Fakat asıl önemli olan dolaylı etkileridir. Genellikle sirkülasyon şartlarına etkilemek suretiyle bir bölgenin yağış miktarını ve buna bağlı olarak bitki tür ve topluluk alanlarını belirler (Erinç 1967-34). Denizli’de rüzgarların yaklaşık % 40’ı kuzey sektörden esmektedir. En fazla esme sayısına sahip yön % 23,28 ile NW’dır (Tablo 6, Şekil 5). Bu durum kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatıya açık vadilerin nemli rüzgarları karşılaması açısından önemlidir. Bu sebeple Büyük Menderes Nehrine güneyden dahil olan kolların yukarı mecralarında, *Castanea sativa* uygun yetişme ortamı bulmuştur.

Tablo 6: Denizli ve İnebolu’da Rüzgâr Esme Sayısı ve Frekansı.

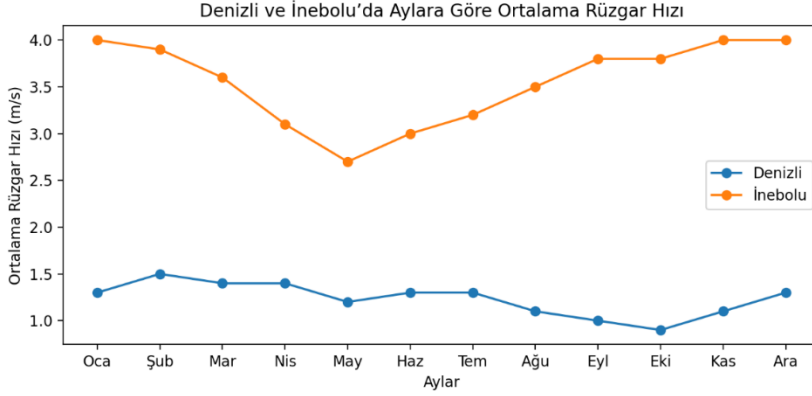
Yön	Denizli		İnebolu	
	Esme	Frekans %	Esme	Frekans %
N	58586	11,87	19289	3,44
NE	31517	6,39	52433	9,36
E	23187	4,7	47015	8,39
SE	26107	5,29	37221	6,64
S	64049	12,98	215887	38,52
SW	90723	18,39	81839	14,6
W	84395	17,1	87699	15,65
NW	114859	23,28	19069	3,4
TOPLAM	493423	100%	560452	100%



Şekil 5: Denizli ve İnebolu’nun Rüzgâr Gülleri.

Tablo 7: Denizli ve İnebolu’da Aylık Ortalama Rüzgâr Hızları.

İstasyon	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Denizli	1,3	1,5	1,4	1,4	1,2	1,3	1,3	1,1	1	0,9	1,1	1,3	1,2
İnebolu	4	3,9	3,6	3,1	2,7	3	3,2	3,5	3,8	3,8	4	4	3,6



Şekil 6: Denizli ve İnebolu’da Aylık Ortalama Rüzgâr Hızları.

2.4. Yağış Durumu

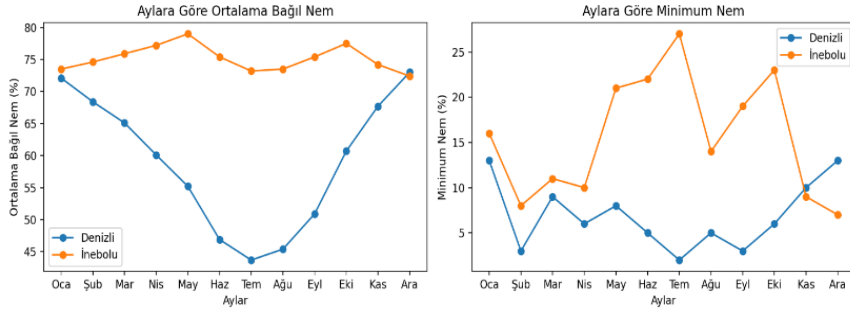
Yıllık yağış miktarının çoğunlukla 700 mm. ‘nin üzerinde olduğu yetişme ortamlarında yağış rejiminde düzenlilik görülür. Yağış rejimi düzensizleştikçe, kurak devre belirginleştikçe ve uzadıkça, istediği nemlilik şartlarını bulamayan kestane sahadan çekilmektedir. Özellikle Ege bölgesinde bu durum oldukça belirgindir. Güneye doğru gidildikçe, Akdeniz etkileri belirginleştikçe sahası daralan ve parçalanmış Anadolu kestanesi, yaz yağışları oranının % 5’in altına düştüğü alanlarda nemli vadi içlerine çekilmekte, bazı kesimlerde ise kuzey ve kuzeybatıya bakan yamaçlarda küçük kümeler halinde görülmektedir. Aydın dağlarının güneyinde ise bir iki lokal alan dışında bütünüyle ortadan kalkmaktadır. Bu durum nisbi nem için de geçerlidir. Karadeniz Bölgesinde % 70-80, Marmara bölgesinde 60-65 arasında değişen yaz aylarındaki nisbi nem oranı, Ege bölgesinde % 50’ye kadar düşmekte ve kestane için elverişsiz bir ortam oluşmaya başlamaktadır (Nurten Günel1997-128.129).

Denizli’de ortalama nisbi nem yaz aylarında %50’nin altındadır, İnebolu’da bu değer daima %70’in üzerindedir. Ege Bölgesine doğru nisbi nemin yaz mevsimine düşen oranının azalması *Castanea sativa*’nın alanının daralmasına ve vadi içlerine çekilmesine yol açmıştır. Karadeniz Bölgesi

kıyıları bu açıdan uygun yetiştirme şartlarına sahiptir. Minimum nem oranlarında da benzer durum gözlenir (Tablo 8, Şekil 7).

Tablo 8: Denizli ve İnebolu’da Ortalama Bağıl Nem ve Minimum Nemin Aylara Dağılışı.

İstasyon	Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Denizli	Ort. Bağıl Nem	72,1	68,4	65,1	60,1	55,2	46,9	43,7	45,4	50,9	60,7	67,7	73,0	59,1
	Minimum Nem	13	3	9	6	8	5	2	5	3	6	10	13	2
İnebolu	Ort. Bağıl Nem	73,5	74,6	75,9	77,2	79	75,4	73,2	73,5	75,4	77,5	74,2	72,4	75,2
	Minimum Nem	16	8	11	10	21	22	27	14	19	23	9	7	7

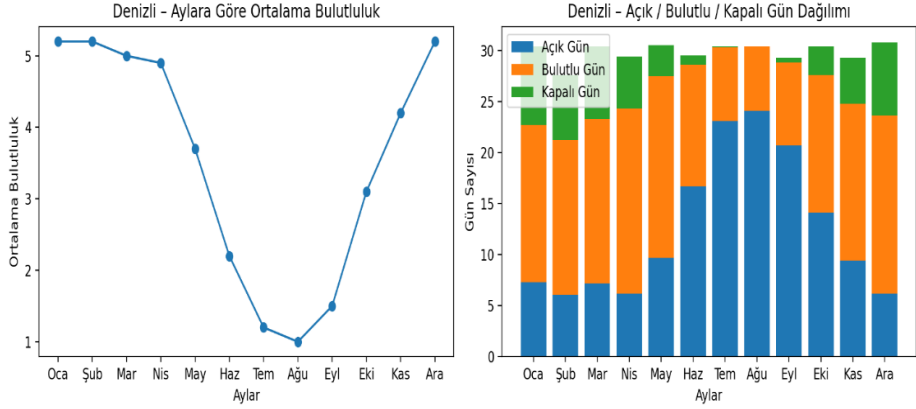


Şekil 7: Denizli ve İnebolu’da Ortalama Bağıl Nem ve Minimum Nemin Aylara Dağılışı.

Bulutluluk, buharlaşma ve güneşlenme sürelerini etkileyerek, gölge seven ve aşırı sıcaklardan zarar gören türlerin dağılışı alanlarını belirler. Denizli’de ortalama bulutlu gün ve açık gün arasındaki oran yaz aylarındaki kurak devre dikkate alındığında, kestane açısından olumsuz ortam oluşturur. Kış aylarında 5 gün civarında seyreden ortalama bulutluluk ağustos ayında 1 güne kadar düşer (Tablo 9, Şekil 8). İnebolu’da yaz aylarında (temmuz) ortalama bulutlu gün (3,3) ve kapalı gün (1,7) azalsa bile olumsuz etkilere sahip değildir (Tablo 10, Şekil 9).

Tablo 9: Denizli’de Ortalama Bulutluluğun, Ortalama Açık, Bulutlu ve Kapalı Gün Sayılarının Aylara Dağılımı.

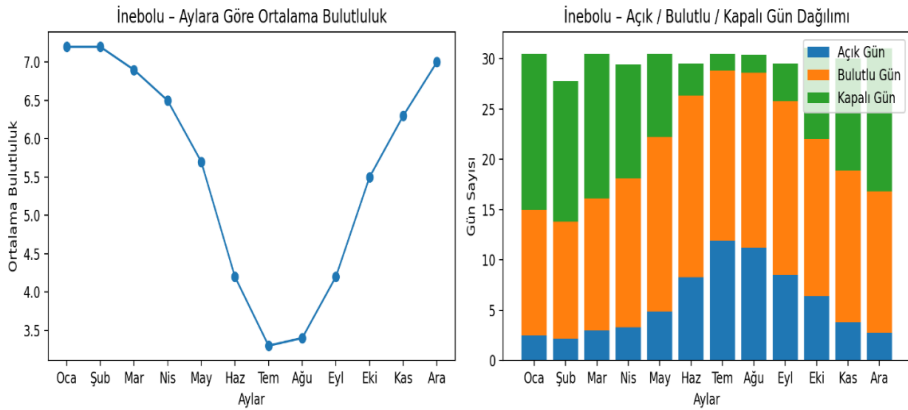
Denizli	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ort.Bulutluluk	5,2	5,2	5	4,9	3,7	2,2	1,2	1	1,5	3,1	4,2	5,2	3,5
Ort.Açık Gün	7,3	6,1	7,2	6,2	9,7	16,7	23,1	24,1	20,7	14,1	9,4	6,2	
Ort.Bulutlu Gün	15,4	15,1	16,1	18,1	17,8	11,9	7,2	6,3	8,1	13,5	15,4	17,4	
Ort. Kapalı Gün	7,7	6,4	7,1	5,1	3	0,9	0,1	0	0,5	2,8	4,5	7,2	



Şekil 8: Denizli'de Ortalama Bulutluluğun, Ortalama Açık, Bulutlu ve Kapalı Gün Sayılarının Aylara Dağılımı.

Tablo 10: İnebolu'da Ortalama Bulutluluğun, Ortalama Açık, Bulutlu ve Kapalı Gün Sayılarının Aylara Dağılımı.

İnebolu	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ort.Bulutluluk	7,2	7,2	6,9	6,5	5,7	4,2	3,3	3,4	4,2	5,5	6,3	7	5,6
Ort.Açık Gün	2,5	2,2	3	3,3	4,9	8,3	11,9	11,2	8,5	6,4	3,8	2,8	
Ort.Bulutlu Gün	12,5	11,6	13,1	14,8	17,3	18	16,9	17,4	17,3	15,6	15,1	14	
Ort.Kapalı Gün	15,5	14	14,4	11,3	8,3	3,2	1,7	1,8	3,7	9,1	11,1	14,2	



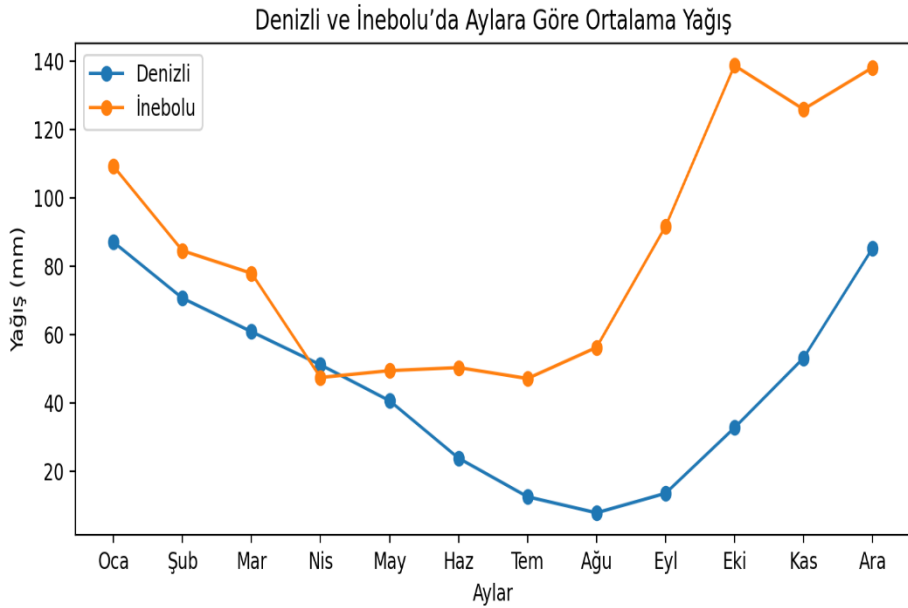
Şekil 9: İnebolu'da Ortalama Bulutluluğun, Ortalama Açık, Bulutlu ve Kapalı Gün Sayılarının Aylara Dağılımı.

Kestenenin yıllık yağış ihtiyacı minimum 600 mm ile 800 mm civarındadır. Yıllık yağış miktarı 700 mm ile 1500 mm arasında değişen

ortamlarda iyi gelişir. Çiçeklenme dönemi ile hasat evresinin 1 ay öncesine kadar olan periyotta yaklaşık 200 mm yağış isteği mevcuttur (Soykan vd.2025-127). Denizli'de yıllık yağış toplamı 540,2 mm'dir. Ancak 1000 metrenin üzerindeki alanlarda 900 mm'ye kadar yükselir. Yağışın mevsimlere dağılımı bakımından en düşük yağışların düştüğü yaz döneminde temmuz, ağustos, eylül yağış oranı % 6,2'ye kadar düşmektedir. Bu oran, kestane yetişen alanların alt limitine çok yakındır. İnebolu'da 961 mm olan yıllık yağış toplamı ve %16 olan yaz yağışları oranı bu ormanların gelişimi için oldukça elverişli ortamlar hazırlamaktadır (Tablo 11, Şekil 10).

Tablo 11: Denizli ve İnebolu'da Yıllık Yağışın Aylara Dağılımı(mm).

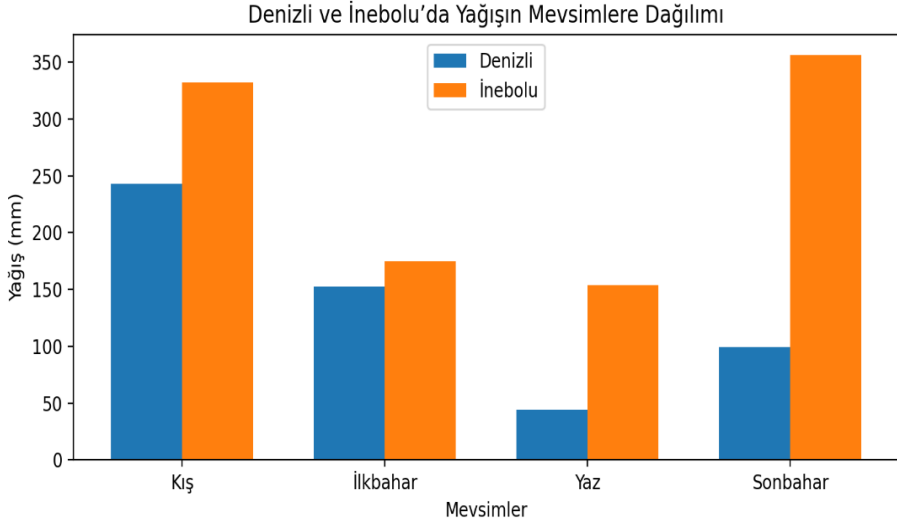
İstasyon	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Denizli	87,1	70,7	60,9	51,2	40,7	23,9	12,6	7,9	13,6	32,8	53,2	85,3
İnebolu	109,3	84,6	78	47,5	49,5	50,4	47,2	56,3	91,7	138,8	126	138,2



Şekil 10: Denizli ve İnebolu'da Yıllık Yağışın Aylara Dağılımı(mm).

Tablo 12: Denizli ve İnebolu'da Yıllık Yağışın Mevsimlere Dağılımı(mm).

İstasyon	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Denizli	243,1	152,8	44,4	99,6
İnebolu	332,1	175	153,9	356,5

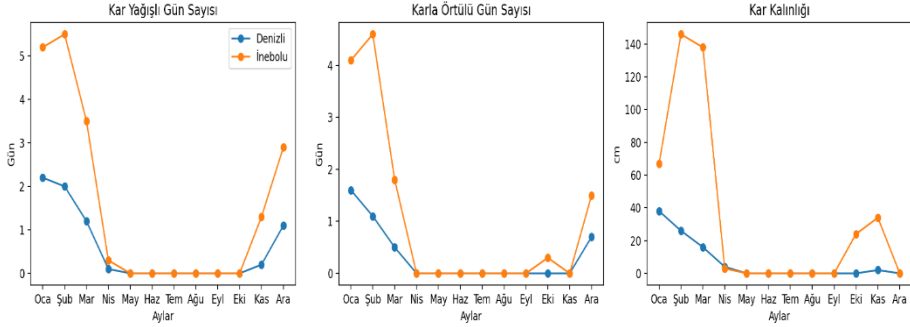


Şekil 11: Denizli ve İnebolu'da Yıllık Yağışın Mevsimlere Dağılımı(mm).

Vejetasyon devresi dışında meydana gelen kar yağışlarının, ılıman ormanların bir elemanı olan kestane ağaçları açısından herhangi bir olumsuz sonucu olmamaktadır. Tersine bu dönemde düşen kar düşük sıcaklıklardan bitkileri korumaktadır. Denizli'de yıllık kar yağışlı gün sayısı 6,8 gün, kar kalınlığı ise 38 cm'dir. İnebolu'da kar yağışlı gün sayısı 18,7 gün kar kalınlığı ise 146 cm'dir (Tablo 13, Şekil 12). Her iki istasyona ait bölgede düşük kış sıcaklıkları kar yağışı ile dengelenmektedir. Aynı zamanda yavaş eriyen kar örtüsü, yaz döneminde bitkiler için su kaynağı olmaktadır.

Tablo 13: Denizli ve İnebolu'da Yıllık Ortalama Kar Yağışlı Gün, Karla Örtülü Gün Sayıları ve Kar Kalınlığı.

İstasyon		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	YILLIK
Denizli	Kar Yağışlı Gün	2,2	2	1,2	0,1							0,2	1,1	6,8
	Karla Örtülü Gün	1,6	1,1	0,5	0							0	0,7	3,9
	Kar Kalınlığı(cm)	38	26	16	4								2	38
İnebolu	Kar Yağışlı Gün	5,2	5,5	3,5	0,3						0	1,3	2,9	18,7
	Karla Örtülü Gün	4,1	4,6	1,8	0							0,3	1,5	
	Kar Kalınlığı(cm)	67	146	138	3							24	34	146



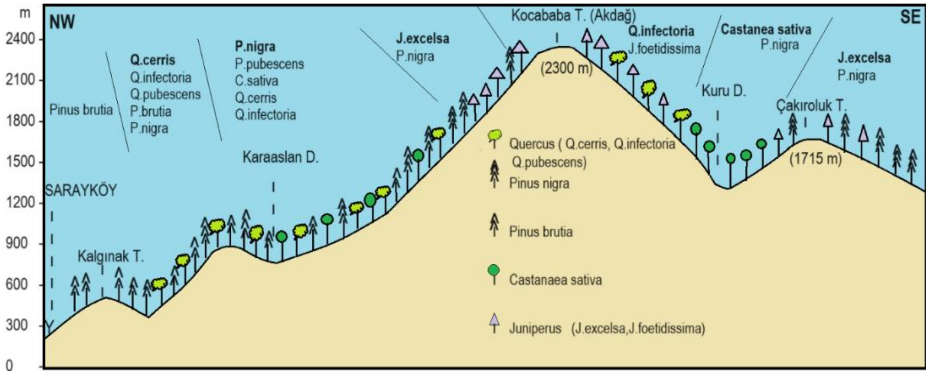
Şekil 12: Denizli ve İnebolu'da Yıllık Ortalama Kar Yağışlı Gün, Karla Örtülü Gün Sayıları ve Kar Kalınlığı.

3. BABADAĞ ÇEVRESİNDE KESTANE (CASTANEA SATİVA) ORMANLARI

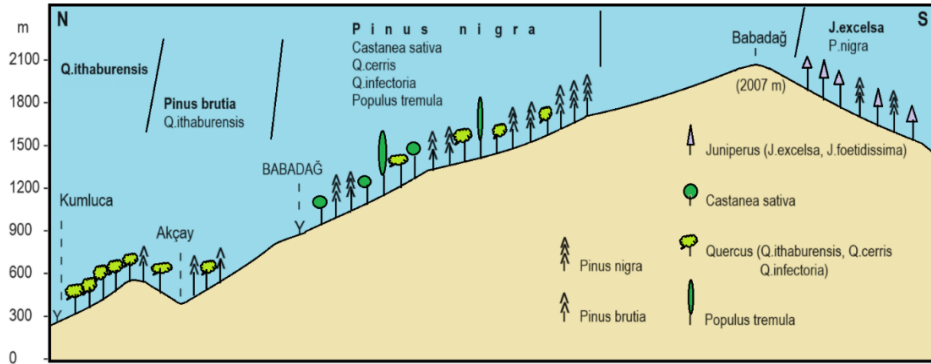
Kestane su isteği yüksek olan, ılıman iklim bölgelerinde yetişen ağaç türlerinden biri olması nedeniyle, doğal yetişme ortamında yer aldığı yükselti basamağı 0-1000 m'ler arasındır (Yılmaz, 2001). Taban suyunun etkili olduğu taban arazilerde ve soğuk havanın biriktiği (don çukuru) yer şekillerinde yaşamı sınırlanır (Duran, 2016).

Güneybatı Anadolu'da Büyük Menderes Nehrine dahil olan vadilerde, yarı nemli orman topluluklarından Anadolu kestanesine (*C.sativa*) ağaçlarına, sahayı kaplayan kuru orman sahalarını kesintiye uğratmayacak şekilde rastlanır. Alanları oldukça dar olmasına rağmen nemli orman elemanlarını içinde bulundurmasıyla, Akdeniz iklim bölgesindeki bu alanlar için farklı bir manzarayı ortaya çıkarır. Yarı nemli orman topluluklarının yegâne ağacını meydana getiren kestane (*Castanea sativa*), Babadağ kütesinin daha nemli bir ortam sunan kuzey yamaçlarında dağınık kümeler halinde yayılım gösterir. Kestane ormanının bu kadar güney enlemlere kadar inmesi şüphesiz iklim, toprak ve yüzey şekilleri gibi ekolojik faktörlerle yakından ilgilidir. Babadağ ve Akdağ kütlelerinin kuzeydoğuya bakan yamaçları boyunca topluluklar oluşturan kestanelere daha güneyde rastlama imkânı yoktur. Karaaslan Dere vadisi içerisinde 750-1000 metrelerde, ona paralel uzanan Yeniköy deresi vadisinde 900-1000 metrelerde *Pinus nigra* ormanı içerisinde dağınık olarak rastlanır. Başkarcı ve Hisar yerleşmeleri civarında ise 700-800 metreler arasında daha seyrek bir görüntü verir. Buna karşılık Çakıroluk ve Göktepe

katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), sandal (*Arbutus andrachne*), kermez meşesi (*Quercus coccifera*), boyacı katırtırnağı (*Genista tinctoria*), tesbih (*Styrax officinalis*), defne yapraklı laden (*Cistus laurofolius*), yasemin (*Jasminum fruticans*), menengiç (*Pistacia terebinthus*) ve adaçayı yapraklı laden (*Cistus salviifolius*) gibi maki elemanlarından meydana gelen çalı topluluğu eşlik eder. Ayrıca yükseklerde step türlerinden geven (*Astragalus*) yer alır.



Şekil 14: Sarayköy-Kocababa Tepe- Çakıroluk Tepe Kesiti.



Şekil 15: Kumluca- Babadağ (2007m) Kesiti.

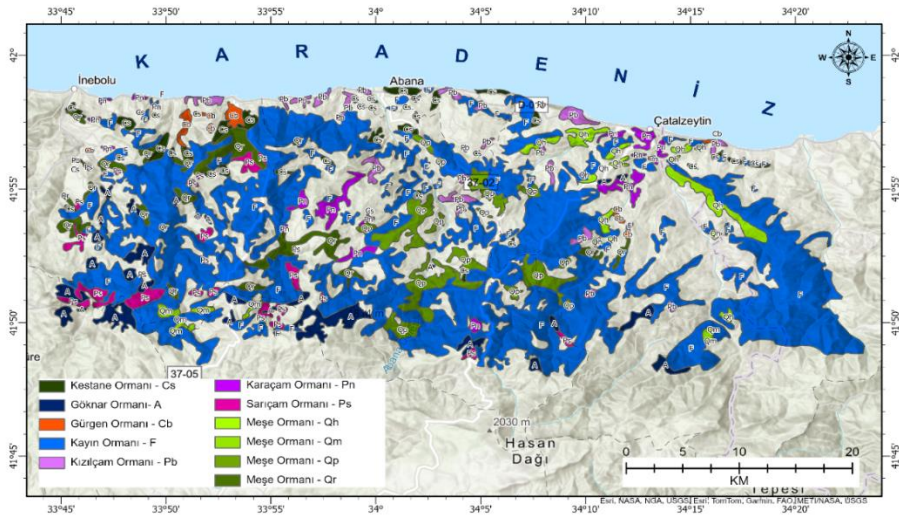
Babadağ ve Akdağ'ın kuzeye bakan yamaçlarında bulunan yarı nemli orman alanları uygun bakı özellikleriyle bu çevrenin en yağışlı yerleridir. Kütlenin kuzey yamaçlarında alt kademelerde 550-850 mm. civarında (Babadağ 822,8 mm) seyreden yıllık yağış değerleri, yarı nemli ormanların görüldüğü kademelerde 1000 mm.'yi geçer. 540.2 mm. yıllık yağış toplamına sahip Denizli'den itibaren dağlık bölgede yükseldikçe kademeli olarak artan yağış

değerleri 1000 metrenin üzerindeki yerlerde 900 mm.'yi aşar. Kestane ağaçlarının yoğun olduğu 900-1200 metreler arasındaki kademe boyunca 1000 mm'nin üzerine çıkar. Bu şartlar kestane için elverişli bir ortam meydana getirir. Diğer bir eleman olan sıcaklık, yarı nemli ormanların ortaya çıkışının başka bir sebebidir. Kestane hakimiyetindeki ormanların bulunduğu kuzey yamaçlarda ocak ayı ortalama sıcaklıkları 2-5°C civarındadır. Denizli'de 5,8°C ile başlayan ortalama sıcaklık değerleri 500 metrenin üzerindeki alanlarda 5°C'nin, 1000 metrenin üzerindeki alanlarda ise 3°C'nin altına kadar düşer. Temmuz sıcaklıkları dikkate alındığında, 26-28°C arasındaki değerler, kütlenin kuzey yamaçlarında sıcaklıkların yüksek olduğunu gösterir. Ancak 500 metrenin altındaki alçak kesimlerde 26°C ile başlayan sıcaklık 1000 metrenin üzerindeki kestane orman sahalarında 23°C ye düşer. Yükselti arttıkça 1500 metrede 20°C'nin altındaki değerlere geçilir. Ocak ayında 2°C'nin altına düşmeyen, temmuz ayında 20-23°C'ler arasında seyreden sıcaklıklar, yarı nemli orman topluluklarının bulunduğu alanda kışların oldukça ılıman yazların ise aşırı sıcak geçmediğini gösterir.

4. İNEBOLU-AYANCIK ARASINDA KESTANE (CASTANEA SATİVA) ORMANLARI

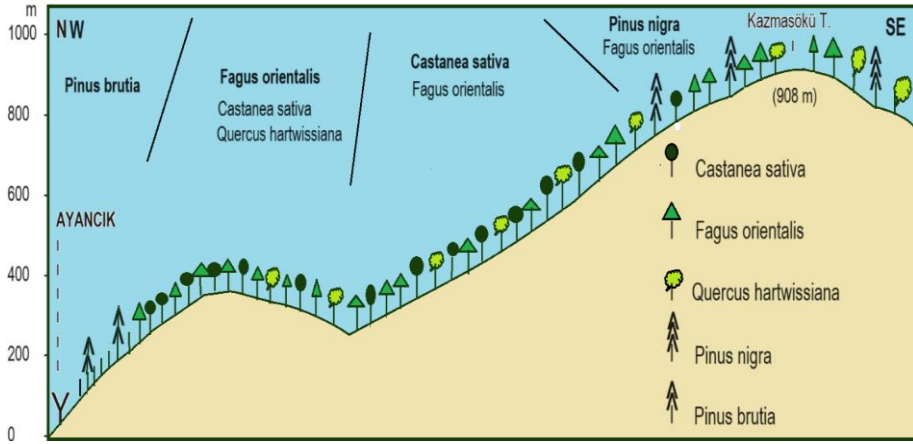
İnebolu- Ayancık arasındaki nemli orman sahasındaki kestane ormanları genellikle deniz seviyesine yakın alanlardan başlayarak 750-800 metrelere kadar yayılış gösterir. Kıyıda 200-300 metreye kadar dar bir şerit, asıl ormanın tahribiyle ortaya çıkan ağaççık ve çalı formasyonu ile kaplıdır (İnandık, 1967). Oldukça gür olan çalı formasyonunu adi fındık (*Corylus avellana*), muşmula (*Mespilus germanica*), sarı çiçekli kızılcık (*Cornus mas*), kırmızı çiçekli kızılcık (*Cornus sanguinea*), ateş diken (Pyracantha coccinea), geyik diken (Crataegus monogyna), yabani elma (*Malus silvestris*), çakal eriği (*Prunus spinosa*), derici sumacı (*Rhus coriaria*) gibi yaprak döken türler ile kocayemiş (*Arbutus unedo*), akçakesme (*Phillyrea latifolia*), funda (*Erica arborea*), yabani menengiç (*Staphylea pinnata*), katır tırnağı (*Spartium junceum*) gibi maki türlerinden oluşur. Çalı formasyonunu oluşturan pseudomaki türleri kestane sahalarındaki orman altında devam eder. Kestanenin klimaks ağaç olarak ortaya çıktığı 300- 600 metre yükseltideki kuşakta ilk önce İstranca meşesi (*Quercus hartwissiana*), tüylü meşe (*Quercus pubescens*), saplı meşe (*Q.robur*), adi

gürgen (*Carpinus betulus*), doğu gürgeni (*Carpinus orientalis*) ve gürgen yapraklı kayacak (*Ostrya carpinifolia*) araya karışır, daha üst kademelerde ise doğu kayını (*Fagus orientalis*) ve karaçamlar (*P.nigra*) yoğunluğunu artırır (Şekil 16). Kestanenin optimum şartlarına rağmen orman çoğu yerde tahrip sebebiyle parçalı bir görünüm almıştır.

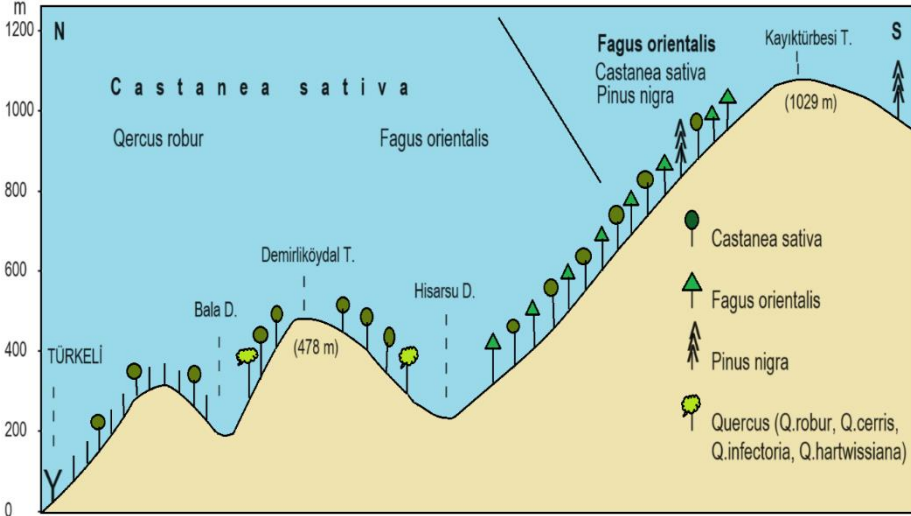


Şekil 16: İnebolu- Çatalzeytin Arasında Bitki Örtüsünün Dağılımı (Aydınöz,2002).

Nemli orman topluluklarından kestanenin yayılış gösterdiği alanlarda yağış rejimi düzenli ve yıllık yağış toplamı 900-1200 mm civarındadır. Küre dağları üzerinde yükseldikçe bu değerler artarak 1200-2000 mm'nin üzerine çıkar. İklimin bir diğer elemanı olan sıcaklıkta kestane ağaçlarının ekolojik isteklerine uygundur. En soğuk ay olan ocakta ortalama sıcaklık 0 °C'nin üzerindedir. Deniz etkisinin sokulduğu alçak vadi tabanlarında 1-3 °C olan sıcaklıklar yükseltinin artmasıyla 1000 m kademesinde 1-(-1) °C ye düşer. Kış dönemi görülen seyrek don olayları ise vejetasyon devresi dışında olduğundan önem taşımaz. En sıcak ay olan temmuz sıcaklık ortalamaları da 22 °C civarında olup, aşırı su kaybına meydan vermez.



Şekil 17: Ayancık Kazmasöğü Tepe Kesiti.



Şekil 18: Türkeli- Kayıktürbesi Tepe Kesiti.

5. SONUÇ

Anadolu kestanesinin doğal yetiştirme alanlarından biri olan İnebolu-Ayancık arasındaki sahanın iklim şartları ile relik olarak bulunduğu Güneybatı Anadolu'daki Bozdağların iklim şartları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Türkiye'de ağaç sayısı bakımından Ege Bölgesi ön sırada olmasına rağmen doğal kestane sayısı oldukça sınırlıdır. Bu alanda relik olarak bulunduğu mevcut dağılışı, geçmişteki iklim değişikliklerine bağlı meydana geldiğinden dolayı sahanın reliefi ile yakından ilgilidir. Yeryüzünde iklimlerde

uzun bir süreç içerisinde oluşan sıcaklık artışı, günümüzde daha hızlı bir şekilde bitki alanlarının değişmesinde rol oynamaktadır. Kuraklığın ve sonuçlarının gittikçe en şiddetli bir şekilde güneyden itibaren Anadolu coğrafyasında etkili olması beklenmektedir. Güney bölgelerinde yetiştirme şartları kritik değerlere yakın olan kestane de bu durumdan etkilenecek bitkiler arasında başta gelmektedir.

Denizli’de 16,2 °C, İnebolu’da 13,3 °C olan yıllık ortalama sıcaklık değerleri, kış mevsiminde yetiştirme devresi dışında kalan kestane ağaçları için sınır değerlere ulaşmaz. Ancak Denizli’de 25 °C nin üzerine çıkan yaz devresindeki ortalama sıcaklık, ayrıca yaz mevsimi içerisindeki tropik gün sayısını 27 günün üzerine çıkması evapotranspirasyon değerlerini yükseltmektedir. Aynı dönemde bağıl nem, bulutluluk ve yağış değerlerinin azalması kuraklığa dayanıksız türleri kısıtlamaktadır. Bu gibi karasal etkiler su ihtiyacı fazla türleri yükseklerle ve nispeten nemli vadi içlerine sokulmaya zorlamıştır. Babadağ’ın kuzeyinden kaynağını alan Karaaslan Dere ve Yeniköy Dere, bu şartları taşıyan vadi içlerini oluşturur. Buna karşılık İnebolu’da gerek sıcaklığın gerekse yağışın mevsimlere dağılımında bir denge vardır. Yıllık amplitüd 16,1 °C ve en düşük ay yağış ortalaması 47,2 mm’dir. Bu durum yaz şartlarının daha ılıman geçtiğini gösterir. Batı Karadeniz Bölümünde kestane ormanlarının düşük kademelerde yer alması, bu alanların aynı zamanda yoğun yerleşmeye sahne olması ve ormanların tahribine yol açmıştır. Bu sebeple ormanlar çoğu yerde parçalı bir görünüm almıştır.

Batı Karadeniz’de kıyıda Küre Dağları boyunca yükseldikçe nemli ormanlar karakter değiştirerek, iğne yapraklı ormanlara geçilmektedir. Alt kademeler kayın (*Fagus orientalis*), meşe (*Q. hartwissiana*- *Q. robur*-*Q. pubescens*), gürgen (*C. betulus*) ve kestane (*C. sativa*) ormanlarının alanıdır. Ancak bu nemcil türlerin çoğu yerde tahribiyle fındık, muşmula, sumak, kızılçık, yabani elma, geyik dikenini gibi nemcil çalılarla menengiç, katır tırnağı, koca yemiş, funda gibi daima yeşil yapraklı çalılardan oluşan pseudomaki formasyonu ortama hâkim olmuştur. Güneybatı Anadolu’da ise Babadağ ve doğusunda bulunan Akdağ’ın kuzeye bakan yamaçları tamamıyla kuru orman elemanlarının dağılışı alanıdır. Alt kademelerde kızılçam (*P. brutia*) ve daha seyrek yapılı meşe (*Q. infectoria*-*Q. pubescens*-*Q. cerris*-*Q. ithaburensis*) ile başlayan bu ormanlar, üst kademelerde karaçam (*P. nigra*) ve nihayet ardıç (*J. foetidissima*) ormanlarıyla devam etmektedir. Kuzeydoğuya açık vadi içleri ise

yaklaşık 1000-1100 metreye kadar başlıca elemanını *C.sativa*'nın oluşturduğu orman, çalı katında ise maki türlerinin yanı sıra akçaağaç, fındık, kurtbağrı, dişbudak gibi türlerden oluşan bir formasyonla kaplıdır.

Babadağ ve Akdağ kütlelerinin kuzey eteklerinde 37° enlemine kadar sokularak Ege Bölgesindeki en güney sınırını oluşturan Anadolu kestanesinin bu dağılışı kuşkusuz daha çok yerel koşullarla ilgilidir. Kütlelerin kuzeydoğuya açılan vadileri, Büyük Menderes Vadisi boyunca özellikle yaz mevsimindeki sıcak hava dalgalarından daha az etkilenmektedir. Yine Kuzey Anadolu'daki yayılış alanlarına göre 250-300 metre daha yüksek kademelerde yer alması nispeten serin ortam şartlarından yararlanmasını sağlamaktadır. Kuzey sektörlü hava kütleleri de bu durumu pekiştirir. Kuzeye açık bu vadiler kestane için mikroklimatik bir alan oluşturmuştur.

KAYNAKÇA

- Aydınözü, D. (2002). *Küre Dağları doğu kesiminin bitki coğrafyası* (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. (YÖK Tez No: 135264)
- Coşkun, S. (2000). *Büyük Menderes Nehri-Yukarı Dalaman Çayı arasındaki sahanın bitki coğrafyası* (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Dönmez, Y. (1985). *Bitki coğrafyası*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Duran, C. (2016). Bartın-Sinop arası (Türkiye'nin kuzeyi) alandaki kestane (*Castanea sativa* Mill.) ormanlarının dağılışı. *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (13-14 Ekim 2016, ss. xx-xx). Ankara.
- Erinç, S. (1967). *Vejetasyon coğrafyası*. İstanbul: Sermet Matbaası.
- Erol, O. (1999). *Genel klimatoloji*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Günel, N. (1997). *Türkiye'de başlıca ağaç türleri*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- İnandık, H. (1967). *Türkiye bitki coğrafyasına giriş* (No. 41). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları.
- Macit, İ. (2024). Kestane yetiştiriciliği. *BÜBS Bölge Grup Toplantısı*, TAGEM Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Bölümü, 29 Mayıs 2024, Sinop.
- Soykan, A., Özdel, M. M., Cürebal, İ., & Durak, M. (2025). İklim değişikliğinin Anadolu kestanesinin (*Castanea sativa* Mill.) potansiyel yayılış alanlarına olası etkileri: Bozdağlar ve Aydın Dağları örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, xx, 125-134.
- Soykan, A., Sönmez, S., & Aktaş, G. (2016). Aydın-Nazilli Aksu Köyü yakınlarındaki kestane (*Castanea sativa* Miller) topluluklarının ekolojisi ve ekonomik değeri. *GEOMED 2016 4th International Geography Symposium Proceedings* içinde (ss. 189-206).
- Yılmaz, F. K. (2001). *Castanea sativa*'nın Afyon'da yayılışı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), xx-xx.

BÖLÜM 2

TOHMA HAVZASI (MALATYA) BİTKİ TÜR DAĞILIM DİNAMİKLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE İNCELENMESİ

¹Yüksek Lisans Öğrencisi| Miraç ÇATAK

²Yüksek Lisans Öğrencisi |Senem GENÇ

³Prof. Dr. | Zeki BOYRAZ

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18072017>

¹ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, mirac98catak@gmail.com, ORCID ID 0009-0008-5373-643X

² İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, senemgenc25@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-8024-4798

³ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, zeki.boyraz@inonu.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-3333-2402

GİRİŞ

Biyçeşitlilik, bir bölgedeki belirli bir habitat veya ekosistem içerisinde yaşamlarını idame ettiren her türlü canlı varlığın izah edilmesini sağlayan geniş kapsamlı bir tanımdır (Mora vd., 2010; Rawat ve Agarwal, 2015). Biyçeşitlilik, canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri, ekonomik ve ekolojik faydaları, ham madde sağlamaları ve turizm gibi birçok alanda önemli rol oynamaktadırlar (Polat, 2017). Ancak biyçeşitliliğin küresel ölçekte endişe verici bir hızda hızlı düşüşü birçok canlı türünün yeryüzünden silinmesine sebebiyet vermektedir (Simberloff, 2000; Russell ve Kueffer, 2019). Biyçeşitliliğin bu ölçüde düşüşü özellikle insanın ilk ortaya çıktığı ve doğal ortama baskın geldiği antropojen dönemle birlikte aşırı boyutlara ulaşarak doğal ortamın şekillenmesine yol açmıştır (Ellis vd., 2010; Russell ve Kueffer, 2019).

Özellikle habitat kayıpları, iklimsel değişiklikler, nüfus artışı, su, hava ve toprak kirliliği gibi biyotik ve abiyotik faktörler floral ve faunal düzeni bozan ve biyçeşitliliğin stres altında bulunmasına sebep olan unsurlardan bazılarıdır (Vitousek vd., 1997; Sala vd., 2000; Pimm, 2008; Rands vd., 2010; Udawatta vd., 2019). Bu hususta, biyotik ve abiyotik tehditlerin olabildiğince engellenmesi ve dünya genelindeki tür zenginliğinin korunması, takip edilmesi ve sürdürülebilirliklerinin sağlanması kritik önem arz etmektedir.

Bu çerçevede biyçeşitlilik çalışmalarında ana unsur olarak rol oynayan tür zenginliği ve tür dağılımı kavramı önemli bir yer tutmaktadır (Svenning vd., 2024; Aytan ve Sünbül, 2025). Bunun sebebi olarak, tür zenginliğinin ve dağılımının doğal dengeyi sağlaması ve ekosistem direncinin sürdürülebilirliği bulunmaktadır. Bu sebeple teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanılan Tür Dağılım Modelleri (SDM) herhangi bir canlı türünün coğrafi açıdan yayılış alanlarını ve o türe ait olan ekolojik ihtiyaçlarını modellemek gayesiyle sıklıkla kullanılan önemli bir metodudur. Bu metot yardımı ile türe ait olan özel gereksinimler göz önünde bulundurularak farklı sahalardaki uygun potansiyel yerlerin tespiti yapılmaktadır (Guisan ve Zimmermann, 2000; Peterson vd., 2007; Li vd., 2019; Zhang vd., 2020; Çardak ve Örucü, 2021; Çelikoğlu, 2024). Ayrıca Tür Dağılım Modelleri (SDM) sonuç itibari ile habitatların varlık-yokluk ve CBS tabanlı entegrasyonlarıyla türlerin çevre dinamikleri ile olan tepkimelerini yüksek doğruluk oranında tahmin edebilmektelerdir (Hirzel vd., 2002; Beaumont vd., 2005; Elith vd., 2006; Cassini, 2011).

Tarihte yüzyıllar boyunca, türler ve bu türlerin mekânsal dağılışları birçok akademik çalışmada yer almış ve merak konusu olmuştur (Grinnel, 1904; Uzun, 2020; Çelikoğlu, 2024). Bu noktada, insanlığın uzun yıllar boyunca bu konu hakkındaki merak ve çalışmaları gelişen teknolojik gelişmeler neticesinde birleşerek çok daha verimli, kesin ve pratik çözümlerin üretilmesine yol açmıştır. Bu hususta, günümüzdeki birçok biyoçeşitlilik ve tür dağılım çalışmalarında kullanılan Tür Dağılım Modelleri, bilgisayar teknolojisinin kısıtlı olduğu 1970’li yılların sonlarına doğru ortaya çıkmıştır (Austin, 1987; Austin vd., 1990; Zimmermann vd., 2010).

Birçok Tür Dağılım Modellemesi arasında MaxEnt, varlık-noktaları veya az sayıdaki örnekleme ile oldukça stabil ve güvenilir oluşu gibi birçok farklı nedenden ötürü sıklıkla tercih edilen önemli bir Tür Dağılım Modelidir (Phillips vd., 2006; Pearson vd., 2007; Elith vd., 2011; Fois vd., 2018b; Abdelaal vd., 2019). Bu tür teknolojik modellemeler özellikle GBİF gibi çeşitli kaynaklardan türetilen milyonlarca coğrafi jeoreferanslı noktalar ile de desteklenmektedir (Edwards, 2004; Lajeunesse ve Fourcade, 2023). Ancak her ne kadar tek tür tabanlı modellemeler sıklıkla kullanılıyor olursa da bu modellerin gerçek dünyadaki pratik faydaları halen yetersiz durumdadır.

Bu çalışma, araştırma sahasındaki farklı bitki türlerinin dağılımının belirlenmesinde Tür Dağılım Modellerinden biri olan MaxEnt modelinin, GBİF kaynaklı varlık noktalarıyla birlikte kullanılmasını ve incelenmesini amaçlamaktadır. Bunlarla entegre şekilde geomorfon temelli yer şekli, yüksek çözünürlükteki topografik etmenler ve birçok iklim faktörünün havza içerisindeki bitki türleri üzerine etkileri ve haritalanmaları amaçlanmıştır. Böylelikle, mevcut literatürdeki biyoçeşitlilik çalışmalarına katkıda bulunmak, bölgenin keşfedilmemiş bitki potansiyelini ortaya çıkarmak ve ülkemiz florasının korunmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

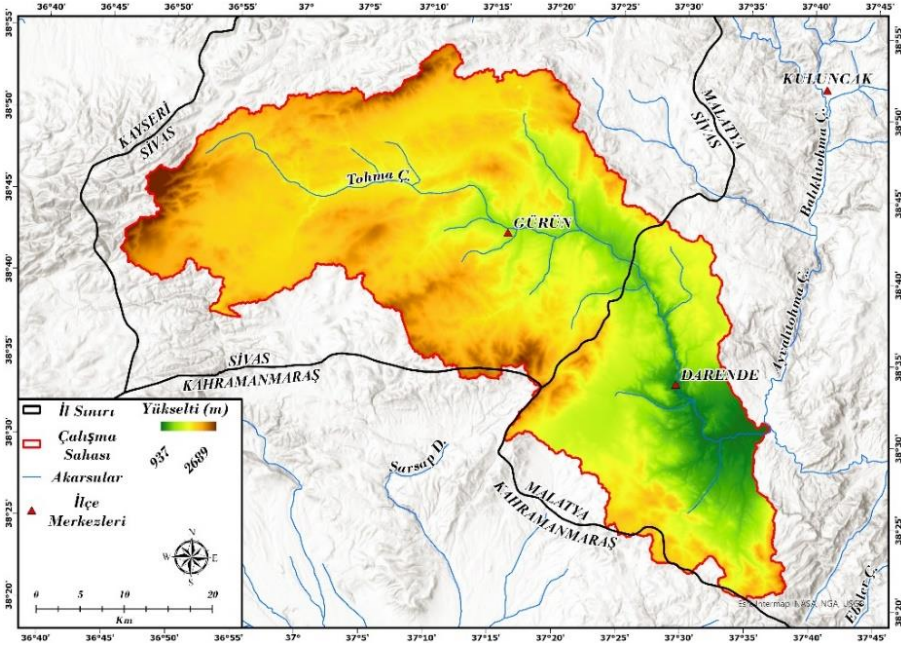
2. VERİ VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Sahası

Araştırma sahası olarak seçilen havza sınırları, Tohma havzası’nın yukarı çıkırını kapsayıp Malatya ili Darende ilçesi ile Sivas ili Gürün ilçesini içine almaktadır. Bölgenin yüksekliği 937 ile 2689 metre arasında değişmekte olup çalışma sahası 2005 km²’lik bir alan kaplamaktadır. Bölge topografyası daha çok geniş ve düz sahalar ile dağ ve vadi arazilerinin hakim olduğu heterojen

özellikle bir sahadır. Her iki bölgede, tohma çayı havzası içerisinde bulunmaktadır. Tohma çayı kaynağını Tahtalı dağlarından alıp, Gürün ve Darende hattından yol katederek Malatya Ovasından Fırat nehrine katılmaktadır (<http://www.malatya.gov.tr>). Bölgede Akdeniz ve karasal iklim özellikleri iç içe görülmekte, bu durum bitki örtüsü, tarım, hidroloji ve yerleşme unsurlarını büyük oranda etkilemektedir. Bölge, bir geçiş kuşağı özelliği gösterdiğinden bitki örtüsü daha çok yarı kurak ve karasal ortam koşullarına uyumlu bitkilerden meydana gelmektedir. Ayrıca mevcut ağaç türleri sınırlı olup, doğal orman örtüsü daha çok dağ yamaçlarında gözlemlenmektedir. Bu hususta, bölgenin bitki tür dağılım dinamiklerinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir (Şekil 1).





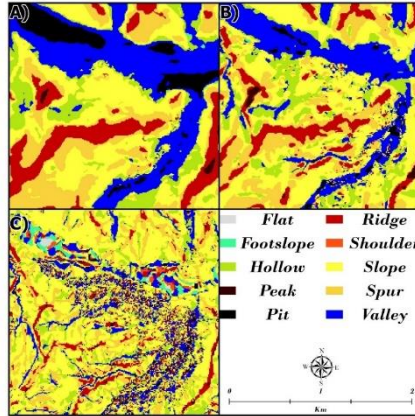
Şekil 1: Çalışma Sahası.

2.2 Yöntem

Çalışmada, 89 farklı bitki türü için tür dağılım modelleri (SDM) oluşturmak amacıyla tür gözlem kayıtları ile çevresel tahmin katmanları bir araya getirilmiş ve bu süreçte coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Model ve analizler, Esri tarafından geliştirilen ArcGIS Pro 3.4.2 uygulaması ile yapılmış olup, Topografik parametreler, sayısal yükseklik modellerinden (DEM) yeniden örnekleme ve arazi analizleriyle türetilerek nihai hale getirilmiştir. Çevresel katmanlar ise doğrudan model girdisi olarak kullanılmıştır. Bu çevresel katmanların seçilmesindeki ana sebep bitki türleri ile bulunmuş oldukları fiziki çevrenin koşullarını belirlemek ve etkilerini ortaya çıkarmaktır. Oluşturulan SDM ve raster sonuçları, belirlenen havza sınırlarına göre kesilmiş ve tür dağılımını tahmin etmek için birçok grid değeri denenmiştir. En uygun grid boyutunun 1250×1250 m olduğu belirlenmiş olup, bu grid yapısında, her hücre için jeomorfolojik çeşitlilik Shannon çeşitlilik indeksi kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.1 Geomorphon Modeli

Geomorphon modeli, literatürde geniş destek bulmuş modern bir jeomorfolojik haritalama tekniği olup, Stepinski ve Jasiewicz (2011) tarafından geliştirilen ve topografyayı yalnızca eğim ve yükselti gibi klasik ölçütlere uyarlayıp tanımlamamakta ayrıca bir DEM'deki göreceli yükseklik ilişkilerini de değerlendirmektedir. Çalışmada, bu yöntem, 50 hücreli (625 m) arama mesafesi ve 5 hücreli (62,5 m) atlama mesafesiyle ArcGIS Pro 3.4.2'de bulunan Geomorphon modülü kullanılarak 10 m çözünürlüklü mevcut DEM'e uygulanmıştır. Model girdi parametresi olarak bu değerlerin girilmesinin sebebi, modelin tutarlılığını dengelemek ve çalışma alanının ölçeğine uyum sağlamak amacıyla olup, Jasiewicz ve Stepinski (2013)'te önerilen parametrelerden uyarlanmıştır. Ayrıca düz ve engebeli sahaların daha doğru ayrılabilmesi için 8°'lik bir düzlük eşiği tanımlanmıştır. Çıktı modellerindeki yanlış sınıflandırmaları azaltmak ve sınıflandırmanın tutarlılığını arttırmak için sekiz komşu kuralı kullanılarak, çoğunluk filtresi iki kez uygulanarak veri yumuşatılmıştır. Bu işlem sonrasında elde edilen sınıflandırma katmanı, mekansal çözünürlük ve jeomorfolojik detaylar açısından optimize edilmiş olup, arazi şekli çeşitliliğinin tür zenginliği üzerindeki etkilerini inceleyen sonraki analizler için kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: Gürün İlçesi ve yakın çevresinde farklı arama mesafeleri ve atlama (skip) parametrelerinin arazi şekli sınıflandırma sonuçları üzerindeki etkisi. A) 150 hücrelik (1875 m) arama mesafesi ve 15 hücrelik (187,5 m) atlama mesafesi, B) 50 hücrelik (625 m) arama mesafesi ve 5 hücrelik (62,5 m) atlama mesafesi, C) 10 hücrelik (125 m) arama mesafesi ve atlama mesafesi uygulanmaksızın elde edilen sınıflandırma çıktıları. Sınıflandırma sonuçları, mekânsal çözünürlük ve jeomorfolojik detayların temsili açısından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Gürün İlçesi ve yakın çevresi için farklı arama mesafeleri ve atlama (skip) parametreleri kullanılarak elde edilen arazi şekli sınıflandırma sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Geniş arama mesafesinin (150 hücre – 1875 m) ve yüksek atlama değerinin (15 hücre – 187,5 m) kullanıldığı A panelinde, sınıflandırma çıktılarının daha genelleştirilmiş bir yapı sergilediği ve küçük ölçekli geomorfolojik detayların büyük ölçüde bastırıldığı görülmektedir. Orta ölçekli parametrelerin tercih edildiği B panelinde (50 hücre – 625 m arama mesafesi; 5 hücre – 62,5 m atlama mesafesi), ana topoğrafik birimlerin korunmakla birlikte, detay seviyesinin kısmen arttığı ve arazi şekillerinin mekânsal sürekliliğinin daha dengeli biçimde temsil edildiği izlenmektedir. En küçük arama mesafesinin uygulandığı ve atlama mesafesinin kullanılmadığı C panelinde ise, mikro-ölçekli topoğrafik unsurların belirginleştiği, ancak sınıflandırma gürültüsünün arttığı ve mekânsal tutarlılığın kısmen azaldığı dikkat çekmektedir. Bu karşılaştırma, arama mesafesi ve atlama parametrelerinin arazi şekli sınıflandırmalarında genelleştirme-detay dengesi üzerinde belirleyici bir role sahip olduğunu ve analiz amacına bağlı olarak ölçek duyarlı parametre seçiminin kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

2.2.2. Shannon İndeksi

Claude E. Shannon'ın 1948 yılında geliştirdiği enformasyon teorisine dayanan Shannon Çeşitlilik İndeksi, özellikle tür çeşitliliğinin nicel olarak değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılan temel ölçütlerden biridir (Shannon, 1948; Konopiński, 2020). Shannon Entropisi, çeşitlilik analizlerinde uygulanabilirliği ve diğer indekslere kıyasla sunduğu metodolojik avantajlar nedeniyle literatürde öne çıkmaktadır (Jost, 2006). Biyolojik çeşitlilik çalışmalarının yanı sıra, jeoçeşitlilik ve fiziksel çevre bileşenlerinin mekânsal dağılımını inceleyen araştırmalarda da etkin biçimde kullanılmaktadır (Benito-Calvo ve ark., 2009). Bu bağlamda, çalışmada jeomorfolojik çeşitliliğin (yeryüzü şekilleri çeşitliliği) belirlenmesinde kullanılan Shannon Çeşitlilik İndeksi'ne ait matematiksel ifade sunulmuştur (Denklem 1).

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \quad (1)$$

Burada H_0 Shannon çeşitlilik endeksi, S toplam arazi şekli kategorisi sayısı, pi ızgara hücreesindeki i'inci kategorinin oranı ve $\ln(\pi_i)$ pi'nin doğal logaritmasıdır.

2.2.3. Çevresel Parametrelerin Optimizasyonu

MaxEnt modellemesinde veri çözünürlüğü en kaba katmana göre belirlenmekte olup, maksimum verimlilik ve başarı yüzdesi için bir dengenin sağlanması önem arz etmektedir. Mevcut 10 m çözünürlükteki dem verisi, performans artışı sağlamak amacıyla 125 m çözünürlüğe çevrilmiştir. Eğim ve bakı katmanları derece cinsinden ölçülmüştür ancak CBS ortamında bakı katmanının kuzeyi $0^\circ/360^\circ$ şeklinde iki defa çakıştırması model performansını olumsuz etkileyebileceğinden, bakı radyana çevrilip kosinüs fonksiyonu ile değişkeni oluşturulmuştur. Bu teknik, dairesel temelli verinin yarattığı istatistiksel sorunları ortadan kaldırdığı ve kuzey-güney ışıyım farklarının daha doğru temsil edilmesini sağladığı için sıklıkla bu tür modellemelerde kullanılmakta ve önerilmektedir (İronside vd., 2018).

$$\text{Bakı} = \cos (D * \pi / 180) \quad (2)$$

Burada Cos kosinüsü, D derece cinsinden bakıyı, π pi sayısını (3.14159) ifade etmektedir. Dönüşüm sonucunda -1 ile +1 arasında değer skalası meydana gelmiştir. Değerin -1'e yakınlığı güney yamaçları temsil ederken, +1'e yakınlığı ise kuzey yamaçları temsil etmektedir. Sıfıra yakın değerler ise batı ve doğu yönelimini göstermektedir. ERA5-Land veri setinden elde edilen iklim parametreleri ham halde 11.1 km mekânsal çözünürlüğe sahip olup, bu değer herhangi bir optimizasyona uğramadan modele girdi olarak kullanılması uygun değildir. Bu hususta, 11.1 km çözünürlükteki bu iklimsel parametreler diğer topografik parametrelerle aynı çözünürlük olan 125 m' ye uyarlanmıştır. Sonuç olarak, tür dağılımı modellemesinde kritik öneme sahip mekânsal eğilimlerin bozulmadan aktarılması hedeflenmiştir.

2.2.4. Maxent Tür Dağılım Modeli

89 farklı bitki türü için habitat uygunluk modelleri, ArcGIS Pro 3.4.2 yazılımında yer alan Presence-Only Prediction (MaxEnt) algoritması kullanılarak oluşturulmuştur. Model girdileri, türlere ait varlık noktası verileri ile dokuz adet çevresel raster parametreden oluşmaktadır. Bu parametrelerin üçü topografik, altısı ise iklimik değişkenlerdir. Modelleme sürecinde

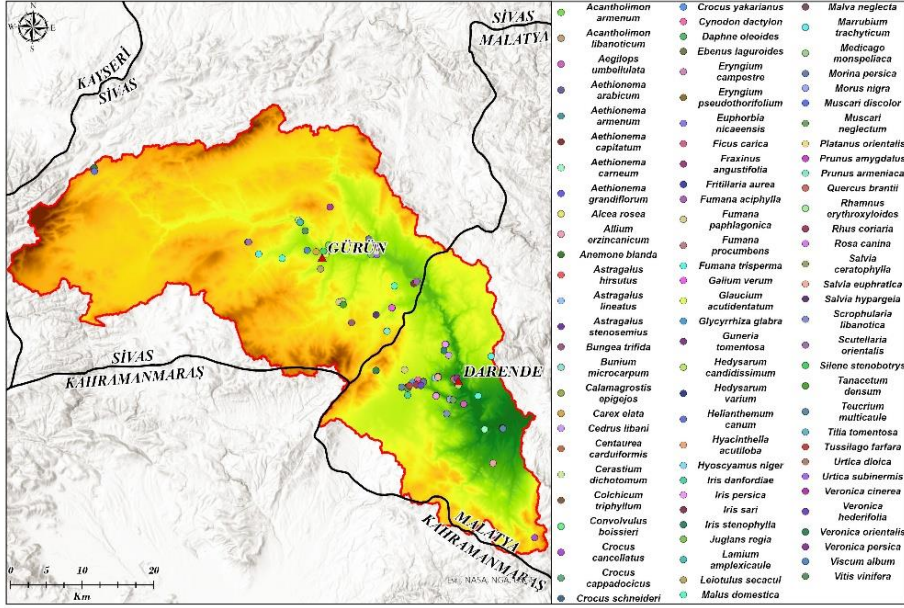
doğrusal (linear) özellik tipi tercih edilmiş ve arka plan nokta ağırlığı 100 olarak tanımlanmıştır.

Model çıktılarında olasılık değerleri, tahminlerin 0 ile 1 arasında ölçeklenebilmesi amacıyla C-log-log dönüşümü kullanılarak üretilmiştir. Model performansının değerlendirilmesinde AUC (Area Under the Curve) ve ihmal oranı (Omission Rate) metrikleri esas alınmıştır. AUC değerleri; <0,7 zayıf, 0,7–0,9 orta ve >0,9 yüksek doğruluk düzeyi olarak sınıflandırılmıştır (Jiang vd., 2018; Aytan ve Sünbül, 2025). Omission rate analizi, yanlış negatiflerin belirlenebilmesi amacıyla olasılık eşik değeri 0,5 alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bu parametreler ve optimizasyonlar doğrultusunda oluşturulan modeller, türlerin habitat uygunluklarının tahmin edilmesinde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlamıştır.

2.3. Veri Setleri

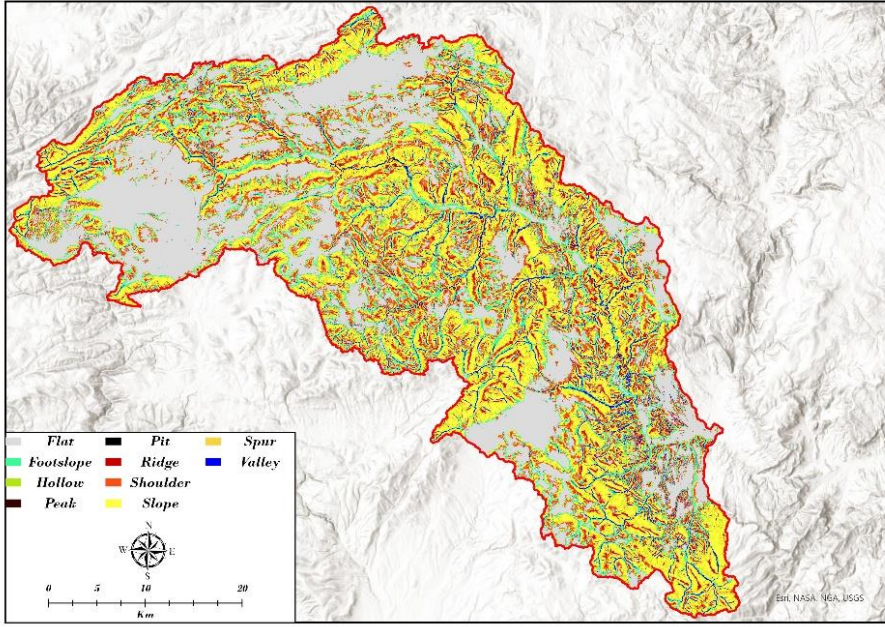
Bitki türlerinin noktasal varlık verileri the Global Biodiversity Information Facility (GBIF)' den elde edilmiştir. Havza sınırı dahilinde 1980-2025 yılları arasında toplam 89 adet jeoreferanslı bitki türü gözlemlenmiştir (Şekil 3, Tablo 1). Çevresel parametreler olarak Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ve Gelişmiş Kara Gözlem Uydusu Faz Dizisi tipi L-bant Sentetik Açıklıklı Radar (ALOS PALSAR) verilerinden elde edilen 10 m çözünürlükteki üçü topografik ve Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Yeniden Analizi Merkezi v5 (ERA5) – Kara iklim ortalamalarından (Muñoz Sabater 2019)' elde edilen altısı iklimatik olmak üzere toplam 9 adet birbirinden farklı çevresel parametre kullanılmıştır. Arazi şekli sınıflandırması, jeomorfometrik analizlere imkân tanıyan 10 m çözünürlükteki (ALOS PALSAR/HGM) dijital yükselti modeline dayanmakta olup çeşitlilik hesaplanmasında kullanılan grid boyutları 1250×1250 metredir. Son olarak, tüm raster formatındaki katmanlar model girdisi öncesi 125 m çözünürlüğe çevrilmiş ayrıca tüm veriler UTM Zone 37N projeksiyonuna uyarlanmıştır.



Şekil 3: Tohma Havzası (Malatya) genelinde 89 bitki türüne ait jeoreferanslı varlık noktalarının mekânsal dağılımı. Varlık verileri Global Biodiversity Information Facility (GBIF) veri tabanından elde edilmiştir (GBIF, 2025).

3. BULGULAR

Geomorphon temelli sınıflandırma, çalışma sahası bölgesinde birbirinden farklı ve karmaşık bir arazi şekli bileşimi ortaya çıkarmıştır. Çalışma sahasında baskın arazi şekli düzlükler (%32.2) olup, bunu sırasıyla yamaçlar (%28.1), tepe kenarları (%12.9), yamaç etekleri (%11.3), çıkıntılar (%6.4), vadiler (%4.1), sırtlar (%3.7) ve oyuklar (%3.2) izlemiştir. Bölgede en az bulunan arazi şekilleri ise tepeler (%0.06) ve çukurlar (%0.06)'dan oluşmaktadır. Çalışma sahasının arazi dağılımı, özellikle Tohma çayının saha üzerindeki tesirini ve bölgenin topografik açıdan ne kadar karmaşık ve çeşitlilik gösterdiğini net bir şekilde ortaya çıkarmaktadır. Sahanın Geomorphon temelli arazi şekli sonuçları şekil 4'te gösterilmektedir.



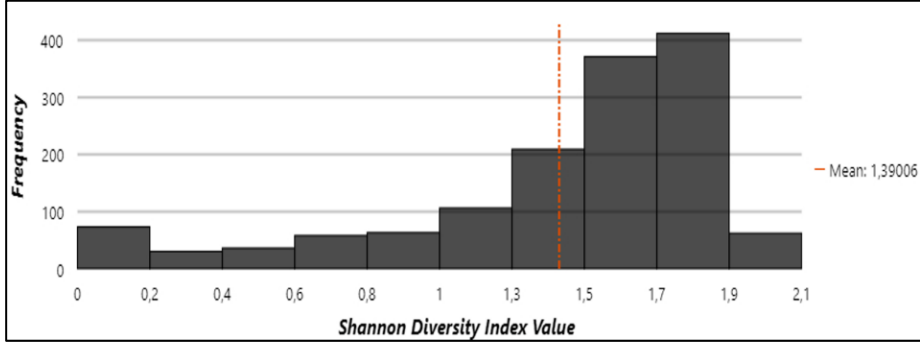
Şekil 4: Çalışma sahasının Geomorphon yöntemi kullanılarak elde edilen arazi şekli sınıflandırma haritası. Farklı renk paletleri, farklı arazi şekillerini temsil etmektedir.

Jeomorfolojik çeşitlilik, 1420 grid (her bir grid 1250×1250 m) üzerinde Shannon çeşitlilik indeksi kullanılarak değerlendirilmiştir. İndeks değerleri 0 (tekdüze arazi şekli) ile 2.09 değerleri arasında değişmiş olup, teorik düzeydeki maksimum seviye olan 2.3 (tek hücrede tüm 10 arazi şeklinin varlığı) gözlemlenmemiştir. Ortalama indeks değeri 1.39, medyan 1.54 ve standart sapma 0.48'dir (Şekil 5).

Shannon çeşitlilik indeksi değerlerinin frekans dağılımı, yüksek sola çarpıklık (skewness = -1.4) ve leptokurtik bir biçim (kurtosis = 4.36) sergilemiştir (Şekil 6). Bu sonuç, çoğu grid'in yüksek heterojenliğe sahip olduğunu, homojen sahalara tekabül eden grid'lerin daha az bulunduğunu, dağılımın ortalamaya sıkışık ve uç değerlerin daha belirgin olduğunu ifade etmektedir. Sonuç olarak, sahanın jeomorfolojik çeşitliliği genel manada

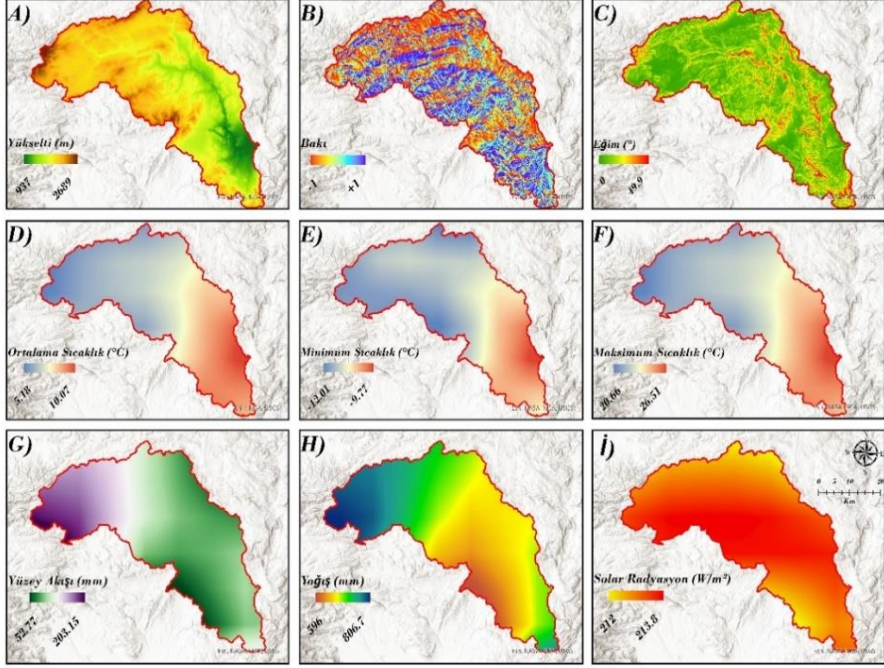
Çalışma alanındaki tüm grid hücreleri için hesaplanan Shannon çeşitlilik indeksi değerlerinin frekans dağılımını göstermektedir (Tablo 2). Histogram incelendiğinde, indeks değerlerinin geniş bir aralığa yayıldığı, ancak dağılımın 1.3–1.8 değerler aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, çalışma alanının önemli bir bölümünde orta–yüksek düzeyde çeşitliliğin baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama Shannon çeşitlilik indeksi değeri 1.39 olup, bu değer turuncu kesikli çizgi ile grafik üzerinde işaretlenmiştir. Ortalama değerin, dağılımın merkezine yakın bir konumda yer alması, çeşitlilik değerlerinin mekânsal olarak homojen olmayan ancak belirli bir denge etrafında toplandığını göstermektedir. Düşük indeks değerlerine sahip hücrelerin sınırlı sayıda kalması, çeşitliliğin yalnızca dar alanlarda azaldığını; buna karşılık yüksek indeks değerlerinin görece yaygın olması ise çalışma alanında jeomorfolojik/ekolojik heterojenliğin güçlü olduğunu düşündürmektedir.

Tablo 2: Tüm grid hücreler genelinde Shannon çeşitlilik indeksi değerlerinin frekans dağılımı. Ortalama indeks değeri (1.39) olup, turuncu çizgi ile belirtilmiştir.



Çalışma sahasını kapsayan ve MaxEnt modellemesinde girdi olarak ele alınan topografik ve iklimik katmanlar şekil 7’de gösterilmektedir. Saha yükselti bakımından 2689 m’ye kadar yükselmekte olup, özellikle dağlık ve yüksek alanlar Tohma çayı ve vadisinden daha az etkilenmiş alanlar olup Darende ilçesinden Gürün ilçesi mevkiine doğru kademeli olarak artmaktadır; daha alçak sahalara ise Tohma çayı tarafından oluşturulan vadi tabanına denk gelmekte, Darende ilçesi ve etrafında yükselti azalmaktadır. Eğimin daha fazla olduğu alanlar dağ, vadi ve yamaç kenarlarında sıklaşırken, eğimin az olduğu sahalara ise platoluk ve iç sahalara tekabül etmektedir. 1980 – 2025 yılları ortalamalarına dayanan iklimik katmanlar, sahanın günlük sıcaklık bakımından-12.7 ila 26.51°C arasında değiştiğini gösterirken, özellikle Darende ilçesinden Gürün ilçesine doğru net kademeli bir sıcaklık geçişinin olduğunu ve karasallığın etkisini göstermektedir. Havzada yıllık yüzey akışı 52,77–203,15 mm aralığında değişim göstermektedir. Akış miktarının görece yüksek olduğu alanlar havzanın kuzeybatı kesiminde yoğunlaşırken, havzanın diğer bölümlerinde daha düşük yüzey akışı değerleri hâkimdir. Bu mekânsal farklılaşma; çalışma alanının yağış rejimi, topoğrafik eğim, sıcaklık koşulları, yükselti ve genel iklim özellikleri dikkate alındığında daha net biçimde açıklanabilmektedir. Nitekim yıllık yağış miktarı 596–806,7 mm arasında değişmekte olup, yüksek yağış değerleri ağırlıklı olarak havzanın kuzey/kuzeybatı ile güneydoğu kesimlerinde gözlenirken, iç kesimlere doğru yağış miktarında belirgin bir azalma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık, havzanın aldığı solar radyasyon değerleri mekânsal olarak önemli bir farklılık göstermemekte ve 212–213,8 W/m² aralığında seyretmektedir. Bu durum,

havzanın yüksek ve dengeli bir güneşlenme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

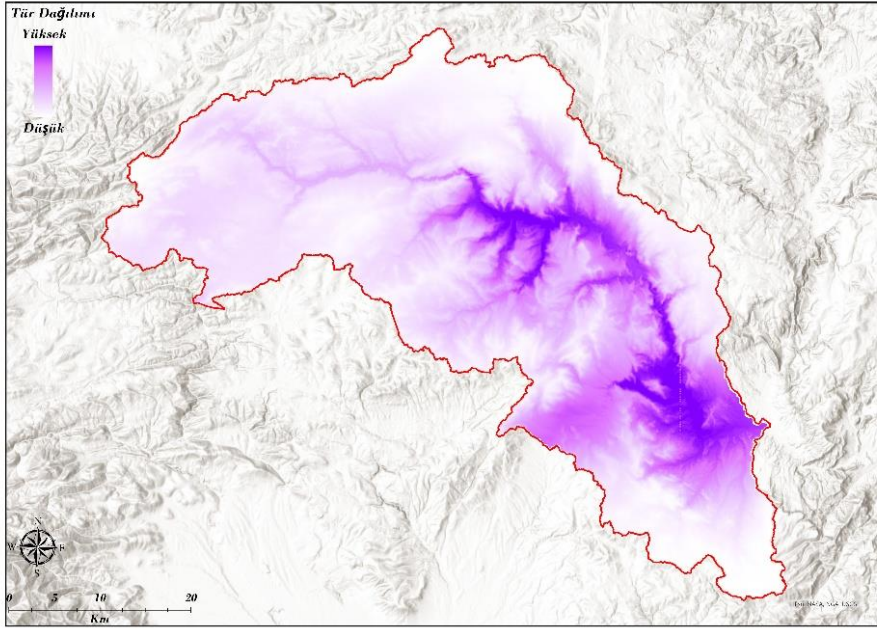


Şekil 7: MaxEnt modelinde kullanılan topografik ve iklimik çevresel girdiler: A) Yükselti; B) Bakı; C) Eğim; D) Ortalama Sıcaklık; E) Minimum Sıcaklık; F) Maksimum Sıcaklık; G) Yüzey Akışı; H) Yağış ve İ) Solar Radyasyon; Çalışma sahasına göre kesilmiştir.

Araştırma sahasındaki tür dağılımı, 89 bitki türüne ait coğrafi koordinatlı noktasal veriler ile dokuz adet çevresel raster değişkenin birlikte değerlendirilmesi sonucunda modellenmiştir. Elde edilen dağılım haritası (Şekil 8), türlerin mekânsal dağılışı ile çevresel parametreler arasındaki ilişkinin matematiksel ve olasılıksal temelde ortaya konulduğu bir çıktıyı temsil etmektedir. Harita incelendiğinde, yüksek yükseltiye sahip ve topoğrafik olarak engebeli alanlarda tür zenginliğinin azaldığı; buna karşılık, daha düşük eğim değerlerine sahip, topoğrafik olarak daha düz alanlarda tür zenginliğinin belirgin biçimde arttığı gözlenmektedir.

Model performansının değerlendirilmesine yönelik olarak hesaplanan istatistiksel ölçütler, modelin yüksek bir öngörü gücüne sahip olduğunu

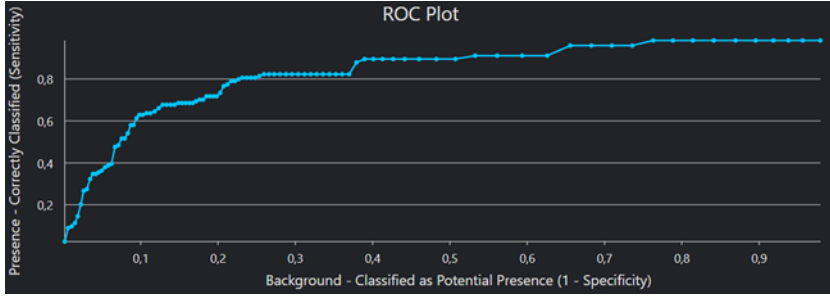
göstermektedir. Buna göre, 0,5 eşik değerinde hesaplanan omission rate değeri 0,20 olup, modelin kabul edilebilir ve güvenilir bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, aynı eşik değerinde elde edilen ROC eğrisi değeri 0,89 ve AUC değeri 0,85 olarak hesaplanmış olup, bu sonuçlar modelin yüksek doğruluk ve güçlü ayırt edicilik kapasitesine sahip olduğunu teyit etmektedir.



Şekil 8: Araştırma sahasının MaxEnt Tür Dağılım Modeli'ne dayanan tür dağılım haritası. Koyu renk paleti tür dağılımının yoğunlaştığı alanları temsil etmekteyken, açık renk paleti yoğunlaşmanın daha az olduğu alanları temsil etmektedir.

3.1. Model Performansı ve Analizi

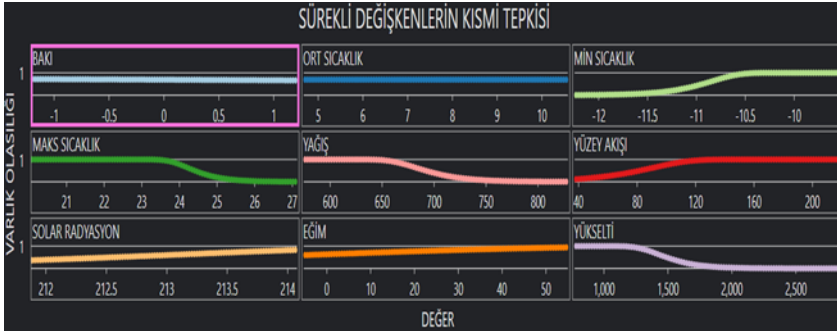
MaxEnt Tür Dağılım Modeli sonucunda elde edilen habitat uygunluk haritaları, bitki türlerinin mekânsal dağılımı ile çevresel sürekli değişkenler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda, model girdisi olarak kullanılan topoğrafik ve iklimik sürekli değişkenlerin tür varlık olasılığı üzerindeki etkileri, değişkenlere ait tepki eğrileri aracılığıyla değerlendirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Çevresel sürekli değişkenlerin bitki türü varlık olasılığı üzerindeki etkisini gösteren MaxEnt tepki eğrileri.

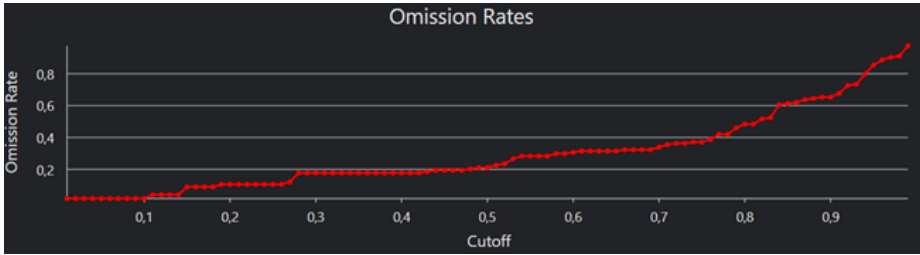
Tepki eğrileri incelendiğinde, bakı ve ortalama sıcaklık değişkenlerinin tür dağılımı üzerinde daha doğrusal ve öngörülebilir bir etki sergilediği görülmektedir. Buna karşılık eğim, yükselti, maksimum–minimum sıcaklık, yağış ve yüzey akışı gibi diğer çevresel parametrelerin, tür varlık olasılığı ile olan ilişkilerinin daha karmaşık ve doğrusal olmayan bir yapı sunduğu belirlenmiştir. Bu durum, bitki türlerinin tek bir çevresel değişkene bağlı olarak değil, çoklu çevresel etkileşimlerin bir sonucu olarak mekânsal örüntüler oluşturduğunu göstermektedir.

Model performansının nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla ROC eğrisi (Receiver Operating Characteristic) ve ihmal oranı (omission rate) metrikleri kullanılmıştır. 0,5 eşik değerinde elde edilen ROC eğrisi, modelin arka plan ve potansiyel varlık alanlarını ayırt etme kapasitesinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 10). Bu eşik değerinde hesaplanan ROC değeri 0,89, AUC değeri ise 0,85 olup, modelin yüksek doğruluk ve güçlü ayırt edicilik performansına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. 0,5 eşik değerinde MaxEnt modeline ait ROC eğrisi (ROC plot)

Benzer şekilde, 0,5 eşik değerinde hesaplanan ihmal oranı (omission rate) 0,20 olarak belirlenmiştir (Şekil 11). Bu değer, yanlış negatif tahminlerin kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu ve modelin tür varlıklarını güvenilir biçimde temsil ettiğini göstermektedir. Omission rate eğrisinin eşik değeri arttıkça kademeli bir yükselme sergilemesi, modelin düşük olasılık eşiklerinde daha temkinli; yüksek eşiklerde ise daha seçici bir tahmin yaklaşımı benimsediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 11. 0,5 eşik değerinde MaxEnt modeline ait ihmal oranı (omission rate) eğrisi.

Genel olarak değerlendirildiğinde, MaxEnt modelinin performans ölçütleri, kullanılan çevresel değişken setinin ve uygulanan optimizasyon adımlarının tür-çevre ilişkilerini başarılı biçimde temsil ettiğini göstermektedir. Bakı değişkeninin dairesel etkilerden arındırılması, farklı çözünürlüklere sahip çevresel verilerin ortak mekânsal ölçekte uyumlaştırılması ve geomorphon temelli arazi şekli sınıflandırmalarının modele entegre edilmesi, modelin öngörü gücünü artıran temel teknik unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Tohma Havzası (Malatya) ölçeğinde 89 bitki türüne ait 125 jeoreferanslı varlık kaydını kullanarak, tür dağılım dinamiklerini yüksek çözünürlüklü topoğrafik, jeomorfolojik ve iklimik çevresel değişkenler ile bütüncül bir çerçevede değerlendirmiştir. MaxEnt tabanlı tür dağılım modellemesi, geomorphon yöntemiyle üretilen arazi şekli sınıflandırmaları ve Shannon çeşitlilik indeksi ile hesaplanan jeomorfolojik heterojenlik birlikte ele alınarak, bitki türlerinin mekânsal örüntülerini belirleyen temel çevresel süreçler ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçlar, Tohma Havzası'nda bitki tür zenginliğinin ve dağılımının büyük ölçüde topoğrafik yapı ve arazi şekli çeşitliliği tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Geomorphon temelli sınıflandırma sonuçları, havzanın geniş düzlükler, yamaçlar ve vadi sistemleri tarafından şekillenen karmaşık bir morfolojiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle düzlük (%32,2) ve düşük eğimli alanların geniş yer kaplaması, tür dağılımının bu sahalarda yoğunlaşmasının temel mekânsal nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Buna karşılık, tepeler ve çukurlar gibi sınırlı yayılıma sahip arazi şekillerinin, bitki türleri açısından daha kısıtlayıcı çevresel koşullar sunduğu anlaşılmaktadır.

Jeomorfolojik çeşitliliğin Shannon indeksi ile nicel olarak değerlendirilmesi, çalışma alanının büyük bölümünde orta-yüksek düzeyde heterojenliğin baskın olduğunu göstermiştir. Ortalama indeks değerinin 1,39 olması ve dağılımın sola çarpık ve leptokurtik bir yapı sergilemesi, havzada homojen alanların sınırlı; buna karşın çoklu arazi şekillerinin bir arada bulunduğu karmaşık topoğrafik mozaiklerin yaygın olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, jeomorfolojik heterojenliğin bitki türleri için farklı mikrohabitat koşulları yaratarak tür zenginliğini desteklediğine işaret etmektedir. Literatürde, topoğrafik ve jeomorfolojik çeşitliliğin mikroklima, toprak nemi ve ısıtım koşulları üzerinde belirleyici olduğu ve bu unsurların bitki türlerinin dağılımında kritik rol oynadığı sıklıkla vurgulanmaktadır; elde edilen bulgular bu genel çerçeveye uyumludur.

MaxEnt model çıktıları, bu mekânsal desenleri daha net biçimde doğrulamıştır. Habitat uygunluk haritaları, bitki tür zenginliğinin özellikle düşük eğimli, daha düz ve vadi tabanlarına yakın alanlarda yoğunlaştığını; yüksek eğimli, parçalı ve engebeli topografyaya sahip sahalarda ise belirgin biçimde azaldığını göstermektedir. Tür varlık noktalarının Tohma Çayı boyunca doğrusal bir örüntü sergilemesi, vadi sistemlerinin nem, toprak derinliği ve mikroklimatik istikrar açısından türler için elverişli koşullar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, akarsu vadilerinin yarı kurak ve geçiş iklimi özellikleri taşıyan havzalarda biyolojik çeşitlilik açısından birer “ekolojik koridor” işlevi gördüğünü göstermektedir.

İklimsel değişkenlerin tür dağılımı üzerindeki etkisi, topoğrafik faktörlere kıyasla daha karmaşık ve çok boyutlu bir yapı sergilemiştir. Sıcaklık ve yağış gibi temel iklim parametrelerinin mekânsal gradyanları, tür dağılımını

doğrudan sınırlamaktan ziyade topoğrafya ile etkileşimli bir biçimde şekillendirmektedir. Bu durum, Tohma Havzası'nın Akdeniz ve karasal iklim özelliklerinin kesiştiği bir geçiş kuşağında yer almasının doğal bir sonucudur. Dolayısıyla bitki türlerinin dağılımı, tekil bir çevresel değişkene bağlı olmaktan çok, topoğrafya-iklim-jeomorfoloji etkileşiminin ürettiği bütüncül bir ekolojik bağlam içerisinde değerlendirilmelidir.

Model performans ölçütleri (AUC = 0,85; ROC = 0,89; omission rate = 0,20), kullanılan veri setleri ve metodolojik yaklaşımın tür-çevre ilişkilerini yüksek doğrulukla temsil ettiğini göstermektedir. Özellikle farklı mekânsal çözünürlüklere sahip çevresel verilerin uyumlaştırılması, bakı değişkeninin dairesel etkilerden arındırılması ve geomorphon temelli arazi şekli sınıflandırmalarının optimize edilmesi, modelin öngörü gücünü artıran kritik teknik adımlar olmuştur. Bu yönüyle çalışma, yalnızca bölgesel bir tür dağılım analizi sunmakla kalmamakta; aynı zamanda tür dağılım modellerinde jeomorfolojik çeşitliliğin nasıl etkin biçimde entegre edilebileceğine dair metodolojik bir örnek ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Tohma Havzası'nda bitki türlerinin mekânsal dağılımı, büyük ölçüde topoğrafik yapı, arazi şekli çeşitliliği ve vadi sistemleri tarafından belirlenmektedir. Düz ve düşük eğimli alanlar tür uygunluğunu artırırken, yüksek ve engebeli topoğrafya tür dağılımını sınırlandırmaktadır. Elde edilen bulgular, havzanın floristik potansiyelinin anlaşılması, korunması ve sürdürülebilir yönetimi açısından önemli bir bilimsel zemin sunmaktadır. Aynı zamanda bu çalışma, Türkiye'de sınırlı sayıda bulunan havza ölçekli, yüksek çözünürlüklü ve bütüncül tür dağılım analizlerine katkı sağlayarak, gelecekte yapılacak koruma planlaması, ekolojik restorasyon ve iklim değişikliği senaryolarına dayalı tür projeksiyonları için güçlü bir referans niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdelaal, M., Fois, M., Fenu, G., & Bacchetta, G. (2019). Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt. *Ecological informatics*, 50, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.01.003>
- ASF DAAC (Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center). 2014. ALOS PALSAR Radiometrically Terrain Corrected (RTC) High-resolution Data [Data Set]. Fairbanks, AK: NASA National Snow and Ice Data Center. <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>
- Aytan, B., & Sünbül, F. (2025). Geo-environmental determinants of vascular plant richness in Western Anatolia: a species distribution modelling approach for Manisa Spil Mountain, Türkiye. *Biodiversity*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/14888386.2025.2522839>
- Benito-Calvo, A. F. O. N. S. O., Pérez-González, A., Magri, O., & Meza, P. (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth surface processes and landforms*, 34(10), 1433-1445. <https://doi.org/10.1002/esp.1840>
- Bétard, F., & Peulvast, J. P. (2019). Geodiversity hotspots: Concept, method and cartographic application for geoconservation purposes at a regional scale. *Environmental management*, 63(6), 822-834. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01168-5>
- Cassini, M. H. (2011). Ecological principles of species distribution models: the habitat matching rule. *Journal of Biogeography*, 38(11), 2057-2065. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02552.x>
- Çelikoğlu, İ. (2024). Tür Dağılım Modellemesinde Makine Öğrenme Yöntemleri. *Ecological Perspective*, 4(1), 17-40. <https://doi.org/10.53463/ecopers.20240253>
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (2025). GBIF. org, GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.k5p4gs>
- <http://www.malatya.gov.tr/cografi-konum>
- Ironside, K. E., Mattson, D. J., Arundel, T., Theimer, T., Holton, B., Peters, M., ... & Hansen, J. (2018). Geomorphometry in landscape ecology: Issues of scale, physiography, and application. *Environment and Ecology Research*, 6(5), 397-412. DOI: 10.13189/eer.2018.060501

- Jasiewicz, J., and T. F. Stepinski. 2013. “Geomorphons—A Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms.” *Geomorphology* 182: 147–156. doi:10.1016/j.geomorph.2012.11.005
- Jiang, D., S. Chen, M. Hao, J. Fu, and F. Ding. 2018. “Mapping the Potential Global Codling Moth (*Cydia pomonella* L.) Distribution Based on a Machine Learning Method.” *Scientific Reports* 8 (1): 13093. doi:10.1038/s41598-018-31478-3.
- Lajeunesse, A., & Fourcade, Y. (2023). Temporal analysis of GBIF data reveals the restructuring of communities following climate change. *Journal of Animal Ecology*, 92(2), 391-402. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13854>
- Muñoz Sabater, J. (2019): ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.68d2bb30
- Polat, N. (2017). Biyoçeşitlilik ve önemi. *Terme'nin biyoçeşitlilik ve doğal ortam özellikleri içinde*, 3-14.
- Rawat, U., & Agarwal, N. K. (2015). Biodiversity: Concept, threats and conservation. *Environment Conservation Journal*, 16(3), 19-28. <https://doi.org/10.36953/ECJ.2015.16303>
- Russell, J. C., & Kueffer, C. (2019). Island biodiversity in the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 31-60. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033245>
- Stepinski, T. F., and J. Jasiewicz 2011. Geomorphons-A New Approach to Classification of Landforms. *Proceedings of geomorphometry*, Redlands, California, USA, 109–112. 10. 1016/j.geomorph.2012.11.005
- Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., & Jose, S. (2019). Agroforestry and biodiversity. *Sustainability*, 11(10), 2879. <https://doi.org/10.3390/su11102879>
- Zimmermann, N. E., Edwards Jr, T. C., Graham, C. H., Pearman, P. B., & Svenning, J. C. (2010). New trends in species distribution modelling. *Ecography*, 33(6), 985-989. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06953.x>

BÖLÜM 3

FUNGİ ALEMİNİN FİZİKİ COĞRAFYA BAĞLAMINDA EKOLOJİK ROLÜ VE DAĞILIM DİNAMİKLERİ

¹Yüksek Lisans Öğrencisi | Şevval İNANDIK

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18072044>

¹ İzmir Bakırçay Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Türkiye,
inandik.sevval@gmail.com, ORCID ID 0009-0009-3054-6913

GİRİŞ

Doğal ekosistemlerde canlı organizmalar, enerji akışı, madde döngüsü ve trofik ilişkiler aracılığıyla dinamik bir denge içinde etkileşim gösterirler (Pimm,1988). Bu bütüncül sistemin temel unsurlarından biri olan mantarlar, görünüşte basit organizmalar olmalarına karşın, ekosistem fonksiyonlarının sürekliliğinde belirleyici roller üstlenirler (Dighton,2018). Ayrıştırıcı özellikleriyle organik maddenin mineralizasyonunu sağlayarak toprak verimliliğini destekler, simbiyotik ilişkiler yoluyla bitkilerin besin alımını artırır ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine katkıda bulunurlar. Tarihsel olarak, morfolojik çeşitlilikleri ve toksik bileşenleri nedeniyle bazı toplumlarda yanlış algılanmış veya kültürel olarak dışlanmışlardır (Gregory,1984). Ancak modern bilimsel anlayış, bu algının ötesine geçerek mantarların ekosistemlerin işleyişinde temel düzenleyici unsurlar olduğunu göstermiştir. (Cameron,2010). Günümüzde mantarlar, ekosistem dayanıklılığının, karbon döngüsünün ve biyotik etkileşim ağlarının sürekliliğinde merkezi bir konuma sahiptirler (Thormann, 2006; Barron, 2003).

Mantarların yeryüzündeki kökeni kesin olarak belirlenememekle birlikte, mevcut paleomikolojik veriler bu organizmaların yaklaşık 460–455 milyon yıl önce ortaya çıktığını göstermektedir (Demirel ve Asan, 2022, s.7). Bununla birlikte, mantarların yumuşak dokulu yapıya sahip olmaları, fosil kayıtlarının korunmasını zorlaştırmakta ve evrimsel süreçlerinin tam olarak aydınlatılmasını engellemektedir. Filogenetik analizler, mantarların bitkilerden ve hayvanlardan evrimsel olarak erken bir dönemde ayrıldığını, dolayısıyla canlılar dünyasında kendilerine özgü fizyolojik, morfolojik ve genetik özellikleriyle bağımsız bir soy hattı oluşturduklarını ortaya koymaktadır (Kovalchuk & Driessen, 2010). Bu nedenle mantarlar, klasik taksonomide **Fungi Alemi** olarak tanımlanan ayrı bir biyolojik grup içinde sınıflandırılmaktadır.

Bu sınıflandırma, onların bitkisel organizmalardan farklı olarak fotosentetik pigmentlere ve iletim dokularına sahip olmamaları; hayvansal organizmalardan ise hareket yeteneklerinin ve sindirim sistemlerinin bulunmamasıyla ayrılmalarına dayanmaktadır.

Mantarlar (funguslar), geçmişte saprofit ya da parazit olarak bitkilerle ilişkilendirilmiş olsalar da kök, gövde, yaprak gibi bitkisel organlara ve ksilem-floem gibi iletim dokularına sahip olmamaları, onları bitkilerden ayıran temel

özelliklerdendir. Bunun yerine, mantarların yapısı hif adı verilen çok hücreli, ipliksi yapıların birleşiminden oluşur. Bu hifler, bulundukları ortamlarda büyüyerek ve dallanarak misel adını verdiğimiz ağimsı yapıyı meydana getirir (Stamets, 2024). Bu miselyum ağı; toprak, odun gibi yüzeylerde ya da bu ortamların içinde gevşek ve pamuksu bir doku şeklinde gelişebilir. Misel gelişimi, bulundukları ortamdaki nem, sıcaklık ve besin varlığına doğrudan bağlıdır. Uygun koşullar sağlandığında, yoğun ve sağlıklı bir miselyum ağı oluşur. Funguslar, hayvanlardan da bazı temel özellikleriyle ayrılır. En belirgin farkları ise aktif hareket edememeleri ve sindirim sistemlerinin bulunmamasıdır. Bunun yerine, bulundukları ortamdaki organik maddeleri dışarıdan ayrıştırarak emilim yoluyla besinlerini alırlar. Üremeleri ise sporlar aracılığıyla gerçekleşir. Bu sporlar, uygun nem, sıcaklık ve besin koşullarında filizlenerek hif yapıları oluşturur. Bu hifler büyüdükçe miselyum ağına dönüşür, uygun koşullarda bu süreç oldukça hızlı ilerleyebilir ve bazı türlerde birkaç gün içinde mantarın oluşmasını mümkün hâle getirir (Stamets, 2024).

Mantarların doğadaki varlığı ve çeşitliliği, yaşadıkları çevreyle kurdukları çok yönlü etkileşimlerin bir sonucudur. Bu organizmaların ekolojik dağılımı; iklim koşulları, toprak özellikleri, topografik yapı, nem oranı, bitki örtüsü ve hatta mikro-habitat koşulları gibi çevresel değişkenlerin karmaşık bileşimi tarafından şekillenir. Bu faktörler yalnızca mantar türlerinin mekânsal dağılışını değil, aynı zamanda mevsimsel döngülerini, biyokütle üretimini ve simbiyotik ilişkilerini de belirler. Bu nedenle mantarların incelenmesi, sadece biyolojik veya taksonomik sınıflandırmalarla sınırlandırılmaz; aynı zamanda fiziki coğrafya disiplini içinde, özellikle biyocoğrafya, ekosistem dinamikleri ve peyzaj ekolojisi bağlamlarında değerlendirilmesi gerekir. Böyle bir yaklaşım, mantarların doğal ortamlarla olan etkileşimlerinin mekânsal ve zamansal boyutlarını ortaya koyarak doğa sistemlerinin bütüncül bir anlayışla ele alınmasına da katkı sağlar.

1. EKOSİSTEM İŞLEYİŞİNDE MANTARLARIN ROLÜ VE ÖNEMİ

Doğal çevre içerisindeki dinamik süreçlerin sağlıklı işleyişi, yalnızca görünen makro organizmaların faaliyetlerine değil, aynı zamanda ekosistemin görünmez fakat temel bileşenleri olan mikro ve makro mantar topluluklarının işlevsel rollerine de dayanır. Bu kapsamda mantarlar, ekosistemlerin yapısal ve

biyokimyasal sürekliliğini sağlayan kilit organizmalar arasında yer almaktadır. Ayırıştırıcı, simbiyotik ve patojenik etkileşimleri aracılığıyla organik madde döngüsünü düzenler, besin elementlerinin yeniden kullanılabilir forma dönüşümünü sağlar ve bitki topluluklarının gelişimini desteklerler. Mantarların bu işlevsel rollerini daha iyi anlayabilmek için, ekosistem kavramını ve ekosistem bileşenleri arasındaki ilişkileri fiziki ve biyolojik perspektiflerle değerlendirmek gereklidir.

Yeryüzü, iklimsel sınırlarla tanımlanan biyomlar temelinde sınıflandırılmaktadır. Her biyom, baskın bitki örtüsünün belirleyici olduğu farklı ekosistem tiplerini ve buna bağlı biyotik toplulukları içermektedir (ör. yaprak döken orman, iğne yapraklı orman, çayır, tundra). Her ekosistem, organizmaların birbirleriyle ve çevreleriyle karşılıklı etkileşim hâlinde bulunduğu karmaşık topluluklardan oluşur; bu toplulukların tür çeşitliliği ve yapısı, coğrafi konum, iklim koşulları ve ekosistemin evrimsel evresi gibi çok boyutlu faktörlerin etkisiyle sürekli olarak değişir (Dighton,2018). Bu nedenle ekosistemler hem mekânsal olarak farklılık gösterebilir hem de zamanla değişebilir; bu değişim, mantar toplulukları için mevcut kaynakları da etkilemektedir.

Odum ve Barrett’a (1971) göre bir ekosistem, “yaşayan organizmalar ve bunlarla etkileşim hâlinde olan cansız maddelerin bulunduğu herhangi bir doğa alanıdır” şeklinde tanımlanır. Ekosistemler, basit hâliyle enerji akışı ve organizmalarda depolanan potansiyel enerji ile çevreye olan enerji kaybını gösteren bir modelle temsil edilebilir (Odum & Barret,1971). Heal ve Dighton (1986) ise ekosistemleri, enerji akışının organizmalar arasındaki etkileşim ve geri besleme mekanizmalarıyla sistemin dengesini koruduğu termodinamik bir yapı olarak açıklar.

Genel olarak ekosistemler, mantarların aktif olarak dahil olabileceği dört temel bileşenden oluşur: abiyotik bileşenler, üreticiler, tüketiciler ve ayırıştırıcılar. Abiyotik bileşenler; toprak, su, hava, mineral maddeler ve organik bileşikler gibi çevresel kaynakları kapsar ve tüm canlıların yaşam süreçleri için temel bir altyapı oluşturur. Mantarlar, geniş ekolojik tolerans aralıkları sayesinde kutuplardan ekvatorial bölgelere kadar uzanan çok çeşitli yaşam alanlarında varlık gösterebilmektedir. Yapılan gözlemler, mantar sporlarının atmosferde yaklaşık 4.950 metre yüksekliğe kadar taşınabildiğini ve deniz ekosistemlerinde 4.610 metre derinliğe kadar canlılığını sürdürebildiğini ortaya

koymaktadır (Fröhlich- Nowoisky ve diğerleri.,2009). Bu bulgular, mantarların ekstrem çevresel koşullara uyum sağlayabilen, yüksek direnç ve adaptasyon kapasitesine sahip organizmalar olduğunu göstermektedir. Üreticiler, bu abiyotik kaynakları kullanarak fotosentez veya kimyasal enerji aracılığıyla organik madde üretir ve ekosistem enerji akışının temelini sağlar. Tüketiciler, bu enerjiyi ve besin kaynaklarını doğrudan diğer organizmalardan elde ederken, ayrıştırıcılar (saprofitler) ölü organik maddeyi parçalayarak besin elementlerini yeniden ekosisteme kazandırır (Dighton,2018). Bu döngü, mantarların ekosistem içindeki konumunu anlamak açısından önemlidir; çünkü mantarlar yalnızca organik madde ayrışımını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bitkiler ve diğer organizmalarla kurdukları simbiyotik ilişkiler aracılığıyla su ve besinlerin döngüsünü optimize ederler. Esnek yaşam stratejileri ve modüler yapıları sayesinde farklı ekolojik nişlerde yer alabilirler. Örneğin bazı türler, toprağın yüzeyinde hızla yayılabilen miselyum ağları geliştirirken; bazıları bitki kökleriyle oluşturdukları mikorizal birlikteliklerle besin alımını kolaylaştırır, diğerleri ise çürüten organik materyali ayrıştırarak madde döngüsüne katkı sağlar. Bu işlevsel çeşitlilik, mantarların yalnızca kendi varlıklarını sürdürmelerine değil, aynı zamanda ekosistemlerin enerji akışı, toprak verimliliği ve bitki topluluklarının istikrarı gibi temel süreçlerin devamlılığına da katkı sunar. Bulundukları çevre koşullarına bağlı olarak niş genişliklerini değiştirebilme yetenekleri, ekosistemlerin biyolojik çeşitliliğini ve işlevsel dayanıklılığını destekleyen önemli bir adaptif özelliktir. Dolayısıyla mantarlar, görünürde küçük boyutlarına rağmen ekosistemlerin yapısal ve işlevsel bütünlüğünün korunmasında kilit organizmalar arasında yer alır.

Mantarlar, morfolojik özellikleri ve gözlemlenebilir düzeyleri dikkate alınarak genel olarak mikro ve makro mantarlar olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir (Barutçıyan,2012). Mikro-mantarlar; maya, küf ve diğer mikroskobik türleri kapsamakta olup, daha çok moleküler biyoloji, mikrobiyal ekoloji ve tıbbi mikoloji gibi disiplinlerde ele alınmaktadır. Bu organizmaların incelenmesi çoğunlukla laboratuvar temelli analiz tekniklerini, mikroskobik gözlemleri ve hücresel düzeyde süreçleri gerektirdiğinden, bu tür mantarlar çalışmanın kapsamı olan fiziki coğrafyanın mekânsal analiz ölçütleri ve ekosistem temelli değerlendirme yaklaşımı ile örtüşmemektedir.

Bu nedenle bu kitapta mikro-mantarlara yer verilmeyecek makro-mantarlar üzerine odaklanılarak ekolojik rolleri, çevresel koşullarla ilişkileri ve mekânsal dağılım dinamikleri coğrafi bir bakış açısıyla ele alınacaktır.

1.1. Makro-Mantarların Ekosistem Süreçlerindeki İşlevleri

Makro-mantarların ekosistem süreçlerindeki işlevleri, sahip oldukları beslenme stratejileri ve ekolojik adaptasyonları doğrultusunda şekillenmektedir. Bu bağlamda makro-mantarlar Saprotrofik, Mikorizal ve Patojenik (Parazitik) mantarlar olarak üç grupta incelenir (Niego ve diğerleri.2023). Her bir grup, organik maddenin parçalanması, besin elementlerinin bitkiler için erişilebilir hâle gelmesi ve bitki topluluklarının yapısal bütünlüğünün korunması gibi ekosistem işleyişine özgün katkılar sağlamaktadır. Bu sınıflandırma, makro-mantarların ekosistem içindeki rollerini sistematik bir şekilde incelemeye olanak sağlamakta ve fiziki coğrafya perspektifinden değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır.

1.1.1.Saprotrafik (Çürükçül) Makro-mantarlar

Saprotrofik mantarlar, ölü organik maddelerin ayrıştırılması yoluyla biyosferde madde döngüsünün sürekliliğini sağlayan temel ekolojik aktörlerdir (Sevindik, Baba ve Bal, 2022). Bu mantarlar, bitkisel yaprak döküntülerini, odunsu materyalleri, hayvansal kalıntıları ve diğer organik bileşenleri enzim süreçleriyle parçalayarak karbon, azot ve fosfor gibi besin elementlerinin yeniden dolaşıma girmesini sağlar (Dighton, 2018). Böylece saprotrofik mantarlar, organik maddenin biyokimyasal dönüşümünü sağlayarak ekosistemlerde karbon ve besin elementlerinin yeniden dolaşımını mümkün kılar; bu süreç, toprak ekosistemlerinin üretkenliği ve biyolojik işlevselliğinin temelini oluşturur (Leake, 2005). Bu organizmaların ekolojik işlevi yalnızca ayrıştırıcılıkla sınırlı değildir; aynı zamanda toprak yapısının fiziksel stabilizasyonuna, nem tutma kapasitesinin artmasına ve mikro habitatların oluşumuna da katkı sağlarlar (Heal & Dighton, 1986). Saprotrofik mantarların oluşturduğu miselyal ağlar, toprak agregasyonunu güçlendirerek hem su geçirgenliğini hem de organik madde depolama kapasitesini artırır (Dighton & Boddy, 1989). Bu süreç, toprağın biyokimyasal dengesini koruyarak bitkilerin besin elementlerine erişimini kolaylaştırır.

1.1.2. Mikorizal (Simbiyoz) Mantarlar

Mikorizal mantarlar, bitki kökleriyle simbiyotik ilişkiler kuran ve bu etkileşim aracılığıyla karasal ekosistemlerin verimliliğinde temel bir rol üstlenen organizmalardır. “Mikoriza” terimi, Yunanca “mykes” (mantar) ve “rhiza” (kök) kelimelerinin birleşiminden türetilmiş olup, mantar ve bitki kökleri arasındaki karşılıklı yarara dayalı yaşam biçimini tanımlar (Stamets, 2024). Bu birliktelikte mantar, geniş miselyum ağı sayesinde bitki kökünün erişemediği toprak bölgelerinden su, fosfor, azot ve diğer mikro elementlerin taşınmasını sağlar; bitki ise fotosentez yoluyla ürettiği karbonhidratları mantara aktarır (Sevindik ve diğerleri, 2022). Bu çift yönlü besin alışverişi, bitki ve mantar arasındaki simbiyotik ilişki karasal ekosistemlerin madde ve enerji döngüsünün sürekliliğini destekleyen bir biyolojik ortaklık oluşturur.

Mikorizal ilişkiler, karasal bitkilerin evrimsel tarihinde, onların karasal ortama uyum sağlamasında belirleyici bir ekolojik ve fizyolojik mekanizma olarak işlev görmüştür. Bitki ve mantar simbiyozu, fotosentetik organizmaların besin ve su alım kapasitelerini artırarak karasal koşullarda sürdürülebilir bir yaşam biçiminin temellerini oluşturmuştur. Paleomikolojik bulgular, erken dönem karasal bitkilerin kök benzeri yapılarında mantar hiflerine ait mikrofosil izlerinin bulunduğunu ortaya koymakta ve bu ilişkinin yaklaşık 400 milyon yıl öncesine, kadar uzandığını göstermektedir (Redecker ve diğerleri., 2000). Bu tarihsel süreklilik, mikorizal simbiyozun yalnızca evrimsel bir adaptasyon süreci değil, aynı zamanda karasal ekosistemlerin enerji akışı ve besin döngüsünün düzenlenmesinde ekolojik unsur olduğunu göstermektedir.

Ekolojik düzeyde mikorizal mantarlar, toprak ekosistemlerindeki besin döngüsünün, enerji akışının ve biyolojik çeşitliliğin sürekliliğinde temel bir rol oynar (Stamets,2024; van der Heijden ve diğerleri, 2015). Özellikle fosfor gibi sınırlı elementlerin çözünürlüğünü artırarak bitkiler için kullanılabilir hâle getirir ve böylece düşük verimli topraklarda bile bitkisel büyümeyi desteklerler (Rillig, 2004). Mikorizal mantarlar morfolojik ve fizyolojik farklılıklar göstermekle birlikte, temel işlevleri benzerdir. Çoğu tür, bitki kök hücrelerinin yüzeyinde veya hücreler arası boşluklarda gelişen hif ağları aracılığıyla madde alışverişini kolaylaştırır. Bu yapı, mantar ve bitki arasındaki simbiyotik ilişkinin en yoğun gerçekleştiği bölgeyi oluşturur ve “Hartig ağı” olarak adlandırılır (Sevindik ve diğerleri, 2022). Bazı türlerde hifler kök yüzeyinde sınırlı kalırken, bazılarında kök korteksine kadar ilerleyerek madde transferini

doğrudan gerçekleştirir. Her iki durumda da simbiyozun temel işlevi, bitkinin mineral madde ve su alımını artırırken mantarın organik madde kaynağına erişimini sağlamaktadır (Stamets,2024).

1.1.3. Patojenik (Parazitik) Mantarlar

Parazitik mantarlar, yaşam döngülerini sürdürebilmek için diğer canlı organizmalardan doğrudan besin elde eden ve çoğu durumda konak organizmaya zarar veren türlerdir. Bu mantarlar, konak dokularına nüfuz ederek su ve besin elementlerini emerek konağın fizyolojik işlevlerinde bozulmalara, dokusal deformasyonlara ve hastalık oluşumuna neden olurlar (Schmiedel & Zimmerli, 2016). Bu özellikleri, yalnızca bireysel düzeyde patojen- konak etkileşimi değil, aynı zamanda ekosistem ölçeğinde enerji akışı ve popülasyon dinamiklerinin düzenlenmesinde önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Agrios, 2005).

Parazitik mantarların coğrafi dağılımı, büyük ölçüde konak organizmaların ekolojik nişleri ve coğrafi yayılış alanlarıyla paralellik gösterir.

Bu nedenle, parazitik türlerin mekânsal örüntüsü, konak bitki topluluklarının dağılım dinamiklerini doğrudan yansıtır. Bununla birlikte, dağılımın sınırlarını belirleyen yalnızca biyotik etkileşimler değildir; iklimsel faktörler de belirleyici bir rol oynar. Özellikle sıcaklık, nem ve yağış rejimi gibi abiyotik değişkenler, enfeksiyonun ortaya çıkış sıklığını, yayılma hızını ve konak-patojen etkileşiminin sürekliliğini şekillendirir (Desprez-Loustau ve diğerleri, 2007). Bu durum, parazitik mantarların ekolojik nişlerinin dinamik bir yapıya sahip olduğunu ve çevresel koşullardaki değişimlere yüksek duyarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Ekolojik açıdan bakıldığında, parazitik mantarlar doğal ekosistemlerde bir popülasyon kontrolünü sağlayan önemli düzenleyici organizmalardır. Parazitik mantarların konak bitkilerde oluşturdukları patojenik etkiler, türler arası rekabetin yönünü değiştirerek baskın türlerin aşırı çoğalmasını sınırlar; bu sayede popülasyon dengelerinin korunmasına ve ekosistem düzeyinde biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine katkı sağlar (Lowenfels & Lewis,2022).

Ancak insan etkisinin yoğun olduğu tarımsal ve kentsel peyzajlarda parazitik mantarlar, genellikle biyotik stres faktörleri hâline gelerek bitki sağlığını tehdit eder, ürün verimliliğini düşürür ve ekonomik kayıplara yol açabilirler (Wyckhuys ve diğerleri, 2024). Bununla birlikte, bu olumsuz etkiler

doğal ekosistemlerde yenilenme ve tür çeşitliliğinin sürekliliğini destekleyen ekolojik geri besleme süreçlerinin bir parçası olarak değerlendirilir. Dolayısıyla parazitik mantarlar hem doğal sistemlerde dengeleyici unsurlar hem de antropojenik çevrelerde bozulmayı belirleyen biyotik göstergeler olarak, canlı topluluklarının yapısal ve işlevsel bütünlüğünü şekillendiren önemli organizmalar arasında yer almaktadır.

Makro-mantarlar yalnızca ekosistemlerde üstlendikleri işlevsel rollerle değil, aynı zamanda bu rolleri mümkün kılan özgün morfolojik ve anatomik yapılarıyla da dikkat çekerler. Mantarların çevresel etkileşimleri, beslenme biçimleri ve ekolojik adaptasyonları, sahip oldukları yapısal düzenin bir yansımasıdır. Bu nedenle, mantarların dış görünüşünü oluşturan üreme organları ile toprak altında gelişen vejetatif yapılar arasındaki ilişki, onların ekosistemlerdeki varlık biçimini anlamada temel bir unsurdur.

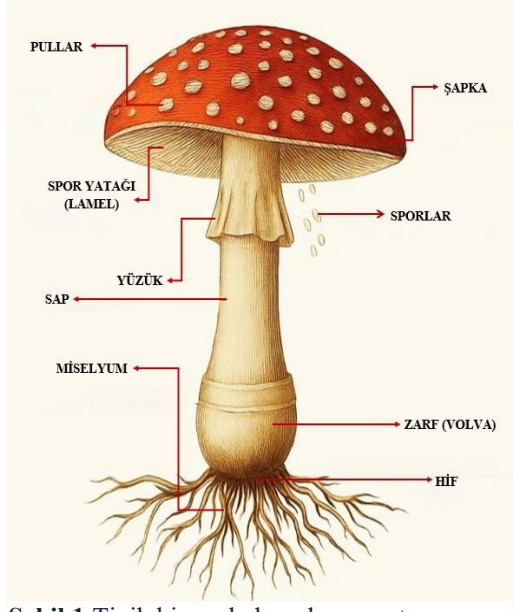
2. MAKRO-MANTARLARIN FİZYOLOJİK VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Makro-mantarlar, mikroskobik mantar türlerinden farklı olarak çıplak gözle görülebilen ve genellikle şapka (pileus) ve sap (stipe) olmak üzere belirgin yapılardan oluşan organizmalardır. Bu mantarların görünür kısmı, *sporofor* ya da *mevye gövdesi* olarak adlandırılan üreme yapısıdır. Sporoforun biçimsel çeşitliliği, türlerin sınıflandırılmasında ve ekolojik adaptasyonlarının anlaşılmasında önemli bir ölçüttür.

2.1. Temel Morfolojik Yapı

Makro-mantarlar yapısal olarak iki ana bileşenden oluşur: miseliyum ve üreme yapısı (spor). Miseliyum, mantarın toprak altında veya odunsu dokular içinde gelişen, çok hücreli iplikçikler (*hifler*) ağıdır.

Bu ağ, mantarın besinleri emmesini ve substrat üzerinde tutunmasını sağlar. Hiflerin birleşmesiyle oluşan misel, mantarın yaşam döngüsünün en uzun evresini temsil eder. Sporofor ise mantarın üreme evresinde oluşturduğu, türlere özgü şekil ve renk çeşitliliği gösteren yapıdır. Genellikle şapka, sap, lameller, yüzük (*annulus*) ve zarf (*volva*) bölümlerinden oluşur. Şapka altında bulunan spor yatağı (*lamel*), spor üretiminin gerçekleştiği bölgedir. Bu yapıların biçimsel özellikleri, mantarın ait olduğu takıma (örneğin *Agaricales*, *Boletales*, *Russulales* vb.) göre farklılık gösterir ve mantarı tanımlamaya yardımcı olur.



Şekil 1: Tipik bir şapkalı makro-mantarın morfolojik yapısı

2.2. Şapka (Pileus)

Şapka, makro-mantarların meyve gövdesinin en belirgin bölümünü oluşturur ve spor üreten yüzeyi taşıyarak koruma işlevi görür. Türün morfolojik özelliklerine bağlı olarak dışbükey, konik, düz, huni biçimli veya çan şeklinde farklı formlar sergileyebilir (Erdem, 2018). Şapka yüzeyi yapısal açıdan çeşitlilik gösterir; bazı türlerde pürüzsüz ve ipeksi bir dokuya sahipken, bazılarında lifli, tüylü ya da pullu bir görünüm sunabilir. Şekil 1'deki gibi türlerin şapka yüzeyindeki beyaz pullar, genç evrede meyve gövdesini tamamen saran genel örtünün kalıntılarıdır ancak her mantarda pul bulunmayabilir. Şapkanın rengi; yaş, nem oranı, ışık koşulları ve oksidasyon süreçleri gibi çevresel faktörlerden etkilenir. Bazı türlerde zedelenme veya kesilme sonrası mavi, kırmızı ya da sarı tonlara dönüşen renk değişimleri de gözlemlenebilir (Deacon, 2013). Bu renk farklılıkları, mantar dokularında gerçekleşen enzimatik reaksiyonlar ve fenolik bileşiklerin oksidasyonu ile ilişkilidir (Stamets, 2024).

2.3. Spor Yatağı (Lamel) ve Sporlar

Mantarın şapkasının alt yüzeyinde yer alan ve ters çevrildiğinde görülen bölüm spor yatağı olarak adlandırılır. Bu yapı, sporların hem üretildiği hem de çevreye yayıldığı dokusal bölgeyi oluşturur. Mantarların spor oluşturma yapısına himenofor, sporların geliştiği hücresel tabakaya ise himenyum denir (Erdem, 2018). Himenoforun biçimsel ve yapısal özellikleri, özellikle lamelli türlerde türlerin sınıflandırılmasında temel bir taksonomik ölçüt olarak kabul edilir. Lamellerin dizilişi, yoğunluğu ve sapla birleşme biçimi (tam, serbest, çentikli veya aşağıya doğru uzanan) mantarın morfolojik tanımlamasında ayırt edici özellik gösterir. Olgunlaşma evresine ulaşan sporlar, lamel yüzeylerinde yer alan himenyumdan ayrılarak hava akımları veya su damlacıkları aracılığıyla çevreye yayılır. Sporlar, mantarların üreme döngüsünde merkezi rol oynar; aynı zamanda fungal taksonomide temel tanı kriterlerinden biridir. Sporlar genellikle küçük, tek veya çok hücreli yapılar olup, türden türe değişen şekil, boyut ve renk özellikleri gösterir (Bıyık ve Asan, 2024). Çoğu spor, olumsuz çevre koşullarına dayanıklıdır ve uygun koşullar sağlandığında çimlenerek yeni bir miselyum oluşturur.

Sporların tanımlanmasında kullanılan bir diğer önemli kriter spor izi (spore print) rengidir. Spor izinin belirlenebilmesi için mantarın spor üreten yüzeyi aşağı bakacak şekilde beyaz bir kâğıt veya karton üzerine yerleştirilir; kurumayı önlemek amacıyla üstü kapatılarak birkaç saat veya bir gece bekletilir (Erdem,2018). Bu sürenin sonunda sporlar yüzeye dökülür ve oluşturdukları tabakanın rengi kaydedilir. Spor izi rengi, türler arasında beyaz, krem, pembe, kahverengi, zeytuni veya koyu morumsu tonlarda değişiklik gösterebilir (Stamets,2024). Bu renk farklılıkları, özellikle lamelli makro-mantarların sınıflandırılmasında makroskobik bir karakter olarak kullanılır.

2.4. Sap, Yüzük ve Volva

Sap, makro-mantarın meyve gövdesinde şapkayı taşıyan ve miselyum ağına bağlanan ana eksensel yapıdır. Genellikle silindirik biçimli olan bu yapı, türün morfolojik özelliklerine ve çevresel koşullara bağlı olarak uzunluk, kalınlık ve dokusal özellikler bakımından çeşitlilik gösterir. Sapın iç yapısı dolu, lifli ya da boşluklu olabilir; dokusu kimi türlerde süngerimsi veya fibröz, bazılarında ise yoğun ve sert bir nitelik taşır (Erdem, 2018; Bıyık ve Asan,

2024). Sapın yüzey dokusu pürüzsüz, pullu, lifli veya ipeksi olabilir; bu farklılıklar hem cins hem de tür düzeyinde taksonomik ayırım için kullanılır.

Sap, yalnızca şapkayı destekleyen bir yapı değildir; aynı zamanda gelişim süreci boyunca himenoforu koruyan kısmi örtünün açılmasıyla oluşan karakteristik yapılara da ev sahipliği yapar. Bu örtü, olgunlaşma evresinde yırtıldığında sap üzerinde halka biçimli bir kalıntı bırakır ve bu yapı yüzük (annulus) olarak adlandırılır. Yüzük, türler arasında biçim, kalınlık ve konum bakımından farklılık gösterir; kimi türlerde gevşekçe sarkık, bazılarında sap yüzeyine yapışık veya çift katlı olabilir.

Sap tabanında ise mantarın genç evrede tamamını saran genel örtünün kalıntısı bulunur. Bu kese veya zarf biçimli yapı volva olarak adlandırılır. Volva, mantarın toprak yüzeyine çıktığında yırtılan bu genel örtüden geriye kalan kalın zar dokusudur. Bazı türlerde volva belirgin ve torba biçimindeyken, diğerlerinde parçalı veya pullu kalıntılar hâlinde görülebilir.

2.5. Hif ve Miselyum Yapısı

Mantarların vejetatif kısmını oluşturan miselyum, birbirine ağısı biçimde bağlanmış mikroskobik ipliksi yapılar olan hiflerin (hyphae) bir araya gelmesiyle meydana gelir. Bu ağ biçimli sistem, mantarın hem besin emilimini sağlayan hem de substrat içerisinde yayılmasına aracılık eden en temel yapısal bileşendir. Miselyumun toprağın üstünde (aerial) ya da altında (subterranean) gelişmesi; türün yaşam stratejisine, substrat tipine ve ekolojik koşullara bağlı olarak değişir. Bu nedenle miselyum, ekosistemler arasındaki madde akışını sağlayan karmaşık etkileşim ağı nedeniyle “doğanın internet ağı” olarak da adlandırılmaktadır (Stamets, 2024).

Mikroskobik düzeyde hifler, genellikle silindirik biçimli, ince çeperli ve uçtan büyüyen hücrelerden oluşur. Bu hücrelerin uzaması, hifin uç kısmında (apikal bölge) gerçekleşen aktif hücre duvarı senteziyle sağlanır (Bıyık ve Asan, 2024). Hifler çoğunlukla septalı (bölmeli) yapıdadır; septum adı verilen bölme duvarları hücreleri birbirinden ayırır, ancak ortalarında yer alan porlar sitoplazmik akışa ve organel geçişine olanak tanıyarak mantar organizmasının bütünlüğünü korur (Webster & Weber, 2007). Bu yapısal bütünlük, mantarların hızlı büyüme yeteneğini ve geniş alanlara yayılabilme kapasitesini destekleyen temel fizyolojik mekanizmadır.

Sonuç olarak, miselyum ve hif yapısı mantarların yalnızca morfolojik temelini oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda onların ekolojik işlevselliğini, yayılım kapasitesini ve simbiyotik etkileşimlerini belirleyen bir sistemdir. Hiflerin mikroskobik düzeydeki mimarisi ile miselyumun makroskobik dağılım örüntüsü, mantarların hem taksonomik tanımlanmasında hem de ekosistem dinamikleri içindeki rollerinin anlaşılmasında temel bir biyolojik göstergedir.

3. MAKRO-MANTARLARIN COĞRAFİ DAĞILIMI VE ÇEVRESEL BELİRLEYİCİLERİ

Makro-mantarların coğrafi dağılımı, çevresel faktörlerin karmaşık etkileşimi sonucunda şekillenen dinamik bir ekolojik süreçtir. Bu canlıların ekosistem içindeki varlığı; iklim, toprak özellikleri, bitki örtüsü, rakım ve jeolojik yapı gibi abiyotik faktörlerle, bitki ve mantar simbiyozu, rekabet ve insan etkisi gibi biyotik faktörlerin bileşkesiyle belirlenir (Arnolds, 1992). Makro-mantarların çoğu, yaşam döngüsünü sürdürebilmek için belirli mikro iklim koşullarına ve nem oranlarına bağımlıdır. Bu nedenle mantarların coğrafi yayılışı, yalnızca türün ekolojik toleransını değil, aynı zamanda bulunduğu habitatın çevresel kararlılığını da yansıtır.

3.1. İklimsel Faktörler

İklim, makro-mantarların coğrafi dağılımını belirleyen en temel çevresel faktörlerden biridir. Sıcaklık, yağış, nem oranı, güneşlenme süresi ve mevsimsellik gibi iklim bileşenleri hem mantarların fizyolojik süreçlerini hem de habitat uygunluklarını doğrudan etkiler (Alkhalifah ve diğerleri, 2023).

Bu faktörler, miselyum gelişimi, spor üretimi ve meyve gövdesi oluşumu gibi yaşamsal süreçlerin gerçekleşebileceği çevresel sınırları belirler.

Makro-mantarlar genel olarak ılıman ve nemli iklim koşullarında optimum gelişim gösterirler. Sıcaklık artışı veya azalışı, enzimatik aktiviteleri, hif uzamasını ve suyun hücre içi taşınımını etkileyerek mantar metabolizmasını sınırlandırabilir. Toprak neminin belli bir eşiğin altına düşmesi, miselyumun büyümesini ve meyve gövdesi oluşumunu engellerken; aşırı su birikimi de oksijen yetersizliğine neden olarak gelişimi olumsuz etkileyebilir (Deacon, 2013). Bu nedenle yağışın sürekliliği, miktarından daha fazla ekolojik önem taşır.

İklimsel faktörler, yalnızca mantarların büyümesini değil, aynı zamanda coğrafi yayılım alanlarını ve ekolojik niş genişliklerini de belirler. Uzun süreli iklimsel istikrar, belirli mantar topluluklarının kalıcı olarak yerleşmesine olanak tanırken, iklimdeki ani değişimler (kuraklık, sıcaklık dalgalanmaları, ekstrem yağış olayları) habitatların parçalanmasına ve tür çeşitliliğinin azalmasına yol açabilir (Peay, 2016). Bu nedenle mantar dağılım desenleri, iklimsel zonlarla ilişkilidir: tropikal kuşakta tür zenginliği yüksek, ancak tür başına düşen ekolojik tolerans dardır; ılıman kuşakta ise tür çeşitliliği orta düzeyde, ancak çevresel tolerans geniştir (Arnolds, 1992).

Ayrıca iklim, meyve dönemini de düzenleyen ana faktördür. Yıllık yağış döngüsünün yoğunlaştığı dönemlerde toprak neminin artmasıyla birlikte mantarların meyve gövdesi oluşturma sıklığı artar. Bu durum, özellikle Akdeniz iklim bölgelerinde sonbahar ve ilkbahar aylarında mantar yoğunluğunun artmasına neden olur.

3.2. Toprak ve pH derecesi

Makro-mantarların coğrafi dağılımını belirleyen en temel çevresel faktörlerden biri topraktır. Toprak tipi, pH değeri, organik madde miktarı, nem kapasitesi ve mineral bileşimi, mantar türlerinin habitat uygunluğu ve tür zenginliğini doğrudan etkileyen başlıca değişkenlerdir (Rinaldi, Comandini & Kuyper, 2008). Mantarlar, heterotrofik organizmalar olarak enerji gereksinimlerini organik maddelerin ayrıştırılmasıyla karşıladıklarından, toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri miselyum gelişimini sınırlandırıcı veya kolaylaştırıcı çevresel parametreler olarak işlev görür (Deacon, 2013).

Toprak, makro-mantarların yaşam döngüsünü sürdürebilmesi için hem fiziksel bir yaşam ortamı hem de kimyasal olarak zengin bir ekolojik sistemdir. Toprağın fiziksel yapısı, nem tutma kapasitesi, oksijenlenme düzeyi ve organik madde içeriği, mantarların ekolojik uygunluk alanlarını belirleyen başlıca faktörlerdendir. Özellikle humus bakımından zengin, iyi drene olmuş ve havalanabilir topraklar, miselyum gelişimi ve meyve gövdesi oluşumu için optimum koşulları sağlar (Sevindik ve diğerleri, 2024; Deacon, 2013). Bu nedenle toprak, yalnızca mantarların gelişim ortamı değil, aynı zamanda besin döngüsünün aktif bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

Makro-mantarlar, organik maddece zengin topraklarda lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi kompleks karbon bileşiklerini parçalayan enzimler

salgılayarak karbon ve azot döngüsünün sürekliliğini sağlar. Topraktaki mineraller (özellikle azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum) mantarların büyümesini ve enzim etkinliğini etkiler. Toprağın tane yapısı ise mantarların yer altında nasıl ve ne kadar yayılacağını belirler. Kum oranı yüksek topraklar genellikle kısa ömürlü saprofitik türleri desteklerken, kil oranı yüksek ve kireççe zengin topraklar, simbiyotik yaşam formlarına sahip uzun ömürlü ektomikorizal türler için daha elverişli habitatlar oluşturur (Rinaldi, Comandini & Kuyper, 2008).

Bununla birlikte, toprak pH'ı mantarların fizyolojik süreçlerini, enzimatik aktivitelerini ve ekolojik dağılımlarını doğrudan etkileyen belirleyici bir kimyasal faktördür. Çoğu makro-mantar türü, hafif asidik koşullarda (pH 5,0–6,5) optimum büyüme gösterir (Kaşık,2010). Bu aralıkta toprakta fosfor ve mikro elementlerin çözünürlüğü artar, lignoselülozik maddelerin mikrobiyal ayrışması hızlanır ve mantar–bitki simbiyozu için en uygun iyon dengesi sağlanır (Sevindik ve diğerleri, 2024) pH değerinin aşırı asidik veya bazik olması ise miselyum büyümesini baskılayabilir, spor çimlenmesini yavaşlatabilir ve enzimatik etkinliği azaltabilir.

3.3. Su ve Nem

Su, tüm canlılarda olduğu gibi mantarlar için de yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi açısından vazgeçilmez bir çevresel faktördür. Mantar dokularının büyük bölümü sudan oluşur ve bu nedenle su, hücrelerin canlılığını, hiflerin büyümesini ve besin maddelerinin taşınmasını doğrudan etkiler (Sevindik ve diğerleri,2024). Nem yetersiz olduğunda miselyumun gelişimi yavaşlar, hatta kurak dönemlerde tamamen durma noktasına gelebilir.

Topraktaki nem miktarı, miselyumun toprak içinde yayılma kapasitesini doğrudan belirlerken; atmosferdeki bağıl nem, meyve gövdelerinin oluşumu ve gelişimi için kritik öneme sahiptir. Uygun nem koşulları, miselyumun etkinliğini artırarak meyve gövdesi gelişimini destekler. Ancak aşırı su birikimi, toprağın hava geçirgenliğini azaltarak oksijen yetersizliğine neden olur ve bu durum miselyumun fizyolojik işlevlerini olumsuz yönde etkiler (Deacon, 2013).

3.4. Işık

Işık, mantarlar için enerji kaynağı değil, gelişim sürecini yönlendiren bir çevresel uyarıcıdır. Mantarlar fotosentez yapmazlar; ancak ışık, meyve gövdesinin oluşumu, şekillenmesi ve spor üretimi gibi aşamalarında etkilidir. (Sevindik ve diğerleri, 2024). Yeterli ışık, mantarların şapka ve sap gibi yapılarının düzgün gelişmesini sağlar. Karanlık veya yetersiz ışıklı ortamlarda ise bu yapılar zayıf, uzamış veya düzensiz biçimde oluşabilir (Moore ve diğerleri, 2020). Bazı türlerde ışık, spor olgunlaşması ve yayılımının zamanlamasını da etkileyebilir.

4. FİZİKİ COĞRAFYA BAĞLAMINDA MANTARLARIN İNCELENMESİ

Mantarlar, doğrudan gözlemlenebilir biyolojik çeşitliliğin ötesinde, fiziki çevreyle etkileşim halinde olan dinamik bir sistemin parçası olarak değerlendirilmelidir. Fiziki coğrafya, doğa unsurlarını birbirinden bağımsız değil, karşılıklı nedensellik ve etkileşim içinde ele alır. Bu nedenle mantarların incelenmesi yalnızca biyolojik bir gözlem süreci değil; mekânsal, çevresel ve ekolojik değişkenlerin birlikte analiz edildiği coğrafi bir yaklaşım gerektirir. Fiziki coğrafya bakış açısı, mantarların yalnızca nerede bulunduklarını değil, hangi çevresel eşikler ve ekolojik koşullar altında varlık gösterebildiklerini anlamayı amaçlar. Bu bağlamda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mantar türlerinin çevresel değişkenlerle olan ilişkilerini analiz etmeye ve dağılım örüntülerini mekânsal olarak modellemeye imkân tanıyan güçlü ve etkili bir araçtır.

CBS ortamında yapılan analizler, veri tabanlı mekânsal değerlendirmeleri mümkün kılar. Kullanılacak analiz türleri, araştırmanın kapsamına, veri yapısına ve amacına göre çeşitlendirilebilir. Örneğin;

- Dağılım yoğunluk analizleri (Kernel Density): Türlerin gözlem noktalarına dayalı olarak yoğunlaştığı alanları belirler ve mantarların mekânsal kümelenme düzeyini ortaya koyar.
- Raster tabanlı uygunluk analizleri (Multi-Criteria Evaluation): iklim, toprak, yükseklik ve bitki örtüsü gibi katmanları birleştirerek potansiyel yaşam alanlarını belirler (Eastman,1999).
- Ekolojik niş modelleri (MaxEnt ve BIOCLIM vb.): mantarların çevresel tolerans sınırlarını ve bu sınırların gelecekteki iklim

senaryoları altında nasıl değişebileceğini tahmin eder (Phillips, Anderson ve Schapire, 2006).

- Topografik analizler (eğim, bakı, yükselti): Arazinin morfometrik özelliklerini değerlendirir ve özellikle nem, sıcaklık ve ışıklanma farklarına bağlı olarak mantar çeşitliliğini etkileyen mikro-habitat koşullarını ortaya koyar.

Bu yöntemler sayesinde mantarların potansiyel dağılım alanları, ekolojik nişleri ve çevresel korelasyonları nicel biçimde değerlendirilir. Böylece elde edilen mekânsal veriler, mantarların yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda coğrafi bir unsur olarak ele alınmasını sağlar.

5. SONUÇ

Bu bölümde, mantarların fiziki çevreyle etkileşim biçimleri coğrafi bir perspektifle ele alınmış ve makro-mantarların ekolojik konumunun, fiziki coğrafyanın temel bileşenleriyle olan ilişkisi irdelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, mantarların yalnızca biyolojik organizmalar olarak değil, doğal sistemlerin dinamik bileşenleri olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, morfolojik yapıdan ekolojik dağılıma uzanan süreçte; toprak yapısı, pH değeri, nem, ışık, sıcaklık ve topografya gibi çevresel değişkenlerin mantarların yaşam döngüsü üzerindeki belirleyici etkilerine bakılmıştır.

Elde edilen değerlendirmeler, mantarların çevresel koşullardaki değişimlere duyarlılık gösterdiğini ve bu nedenle ekosistem süreçlerinin mekânsal göstergeleri olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Makro-mantarların morfolojik esnekliği ve çevresel adaptasyon kapasitesi, onların hem biyolojik çeşitliliğin sürekliliğinde hem de ekolojik denge mekanizmalarının sürdürülebilirliğinde kritik bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Ayrıca bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) temelli analiz yaklaşımlarının mantar ekolojisine uyarlanabilirliği vurgulanmıştır. CBS ortamında gerçekleştirilen dağılım, uygunluk ve ekolojik niş modelleme analizleri, mantar türlerinin çevresel değişkenlerle olan ilişkilerini nicel ve mekânsal boyutlarıyla ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, fiziki coğrafya disiplini içinde mantar ekolojisine yönelik yeni bir analitik çerçevenin gelişmesine katkı sağlamaktadır. CBS, yalnızca verilerin haritalanmasına olanak tanıyan bir

sistem değil; aynı zamanda mantarlara ait ekolojik örüntülerin çözümlenmesini, karşılaştırılmasını ve öngörülmesini mümkün kılan güçlü bir bilimsel araç olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Elsevier.
- Alkhalifah, D. H. M., Damra, E., Melhem, M. B., & Hozzein, W. N. (2023). Fungus under a changing climate: Modeling the current and future global distribution of *Fusarium oxysporum* using geographical information system data. *Microorganisms*, 11(2), 468.
- Arnolds, E. (1992). The analysis and classification of fungal communities with special reference to macrofungi. In *Fungi in vegetation science* (pp. 7-47). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Barron, G. L. (2003). Predatory fungi, wood decay, and the carbon cycle. *Biodiversity*, 4(1), 3–9.
- Barutçıyan, J. (2012). *Türkiye'nin mantarları I*. İstanbul: Oğlak Yayınları.
- Bıyık, H. H., & Asan, A. (2022). Fungal morfoloji. In A. Asan, F. Selçuk, M. Sevindik, & G. Giray (Eds.), *Genel mikoloji* (pp. 363–386). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Cameron, D. D. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungi as (agro) ecosystem engineers. *Plant and Soil*, 333(1), 1–5.
- Deacon, J. W. (2013). *Fungal biology*. John Wiley & Sons.
- Demirel, R., & Asan, A. (2022). Giriş ve tarihsel gelişim. In A. Asan, F. Selçuk, M. Sevindik, & G. Giray (Eds.), *Genel mikoloji* (pp. 1–20). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Desprez-Loustau, M. L., Robin, C., Buee, M., Courtecuisse, R., Garbaye, J., Suffert, F., ... & Rizzo, D. M. (2007). The fungal dimension of biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(9), 472–480.
- Dighton, J. (2018). *Fungi in ecosystem processes*. CRC Press.
- Dighton, J., & Boddy, L. (1989, May). Role of fungi in nitrogen, phosphorus and sulphur cycling in temperate forest. In *Nitrogen, Phosphorus and Sulphur Utilisation by Fungi: Symposium of the British Mycological Society Held at The University of Birmingham, April 1988* (p. 269). Cambridge University Press.
- Eastman, J. R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. *Geographical Information Systems*, 1(1), 493–502.
- Erdem, Y. (2018). *Mantar avcısının el kitabı*. Samsun: Bafra Ofset.

- Fröhlich-Nowoisky, J., Pickersgill, D. A., Després, V. R., & Pöschl, U. (2009). High diversity of fungi in air particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 12814–12819.
- Gregory, P. H. (1984). The fungal mycelium: an historical perspective. *Transactions of the British Mycological Society*, 82, 1–11.
- Heal, O. W., & Dighton, J. (1986). Nutrient cycling and decomposition of natural terrestrial ecosystems. In M. J. Mitchell & J. P. Nakas (Eds.), *Microfloral and faunal interactions in natural and agro-ecosystems* (pp. 14–73). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk.
- Kaşık, G. (2010). *Mantar bilimi*. Konya: Marifet Matbaa ve Kağıtçılık.
- Kovalchuk, A., & Driessen, A. J. (2010). Phylogenetic analysis of fungal ABC transporters. *BMC Genomics*, 11(1), 177.
- Leake, J. R. (2005). Plants parasitic on fungi: Unearthing the fungi in myco-heterotrophs and debunking the “saprophytic” plant myth. *The Mycologist*, 19(3), 113–122. <https://doi.org/10.1017/S0269915X05003046>
- Lowenfels, J., & Lewis, W. (2022). *Mikroorganizmalarla takım olmak: Organik bahçecilik ve toprak besin ağı* (D. Candaş, Çev.). Ankara: TÜBİTAK.
- Moore, D., Robson, G. D., & Trinci, A. P. (2020). *21st century guidebook to fungi*. Cambridge University Press.
- Niego, A. G. T., Rapior, S., Thongklang, N., Raspé, O., Hyde, K. D., & Mortimer, P. (2023). Reviewing the contributions of macrofungi to forest ecosystem processes and services. *Fungal Biology Reviews*, 44, 100294.
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (1971). *Fundamentals of ecology*.
- Peay, K. G. (2016). The mutualistic niche: mycorrhizal symbiosis and community dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47(1), 143-164.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259.
- Pimm, S. L. (1988). Energy flow and trophic structure. In *Concepts of ecosystem ecology: A comparative view* (pp. 263–278). New York, NY: Springer.

- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean fungi from the Ordovician. *Science*, 289(5486), 1920–1921.
- Rillig, M. C. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84(4), 355–363.
- Rinaldi, A., Comandini, O., & Kuyper, T. W. (2008). Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal diversity*, 33, 1–45.
- Schmiedel, Y., & Zimmerli, S. (2016). Common invasive fungal diseases: An overview of invasive candidiasis, aspergillosis, cryptococcosis, and *Pneumocystis pneumonia*. *Swiss Medical Weekly*, 146(0708), w14281–w14281.
- Sevindik, M., Baba, H., & Bal, C. (2022). Fungal ekoloji. In A. Asan, F. Selçuk, M. Sevindik, & G. Giray (Eds.), *Genel mikoloji* (pp. 363–386). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Thormann, M. N. (2006). Diversity and function of fungi in peatlands: A carbon cycling perspective. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(Special Issue), 281–293.
- van Der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205(4), 1406–1423.
- Webster, J., & Weber, R. (2007). *Introduction to fungi* (Vol. 9, No. 01). Cambridge university press.
- Wyckhuys, K. A., Gu, B., Fekih, I. B., Finger, R., Kenis, M., Lu, Y., ... & Hadi, B. A. (2024). Restoring functional integrity of the global production ecosystem through biological control. *Journal of Environmental Management*, 370, 122446.

II

Fiziki Ortam Analizi ve Yerleşme Coğrafyası (Jeomorfoloji → beşerî etkileşim)

BÖLÜM 4

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE ALİAĞA ÇAYI HAVZASI'NIN (ARGUVAN) MORFOMETRİK ANALİZİ

¹Doç. Dr. | Reşat GEÇEN

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18072094>

¹ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, resat.gecen@inonu.edu.tr, ORCID ID
0000-0002-4144-6645

GİRİŞ

Jeomorfoloji, yeryüzü şekillerinin oluşum, gelişim ve mekânsal özelliklerini inceleyen temel coğrafya disiplinlerinden biridir. Atalay'ın (2004) belirttiği üzere bu bilim dalı, topografyanın meydana geliş süreçlerini hem zamansal hem de mekânsal boyutlarıyla ele alır. Yer şekilleri, tek bir etmenin değil; litolojik yapı, tektonik hareketlilik, dış kuvvetler ve zaman faktörünün birlikte işlediği karmaşık süreçlerin ürünüdür. Gilbert ve Davis'in klasik jeomorfoloji yaklaşımını yorumlayan Erinç'in aktardığı "Topoğrafya = f (Yapı + Süreç + Zaman)" formülü (Ertek, 2016), yer şekillerini ortaya çıkaran bu çok boyutlu etkileşimi yalın bir biçimde özetler. İç dinamikleri oluşturan kıvrılmalar, kırılmalar, epirojenik hareketler, volkanizma ve depremler; dış dinamikleri meydana getiren akarsu, rüzgâr, buzullar ve kıyı süreçleriyle birlikte yeryüzünün morfolojik dokusunu şekillendirir.

Akarsular, özellikle orta enlem kuşağında ve kurak-yarı kurak çevrelerde yeryüzünün biçimlenmesinde en etkili dış kuvvetlerden biridir. Yüksek kesimlerde aşındırma, orta ve alt seviyelerde ise biriktirme faaliyetleriyle havza gelişimini yönlendirirler. Dünya kara yüzeyinin yaklaşık üçte ikisini etkileyen akarsu süreçlerinin (Ertek, 2016) böylesine geniş bir alanda belirleyici olması, drenaj havzalarını jeomorfolojik araştırmaların odak noktası hâline getirmiştir.

Günümüzde morfometrik analizler, drenaj ağının hiyerarşik yapısı, havza şekli, eğim özellikleri, rölyef değerleri ve hidrolojik yanıt süreleri gibi birçok parametrenin nicel olarak hesaplanmasını sağlayarak havza dinamiklerinin bilimsel olarak yorumlanmasına imkân tanır. Horton'un (1932, 1945) öncü çalışmalarıyla temeli atılan nicel morfometri yaklaşımı, Strahler'ın (1950, 1952, 1957) sistematik sınıflandırmaları ve Hack (1957, 1973), Melton (1957), Bull (1977) gibi araştırmacıların katkılarıyla gelişerek modern havza analizlerinin temel metodolojisini oluşturmuştur. Daha sonraki dönemlerde Mayer (1986), Demoulin (2011), Burbank ve Anderson (2013) gibi araştırmacılar, morfometrik parametrelerin tektonik aktiviteyle ilişkisini açıklayan çalışmalar yapmıştır. Türkiye'de ise drenaj havzalarına yönelik morfometri uygulamaları Türkoğlu (1997), Erginal ve Cürebal (2007), Öztürk ve Erginal (2008), Sarp vd. (2011), Özdemir (2011), Karabulut vd. (2013) Bağdatlı ve Öztürk (2014), Topuz ve Karabulut (2016) Geçen ve Ölmez (2017), Utlu ve Özdemir (2018), Ege ve Duman

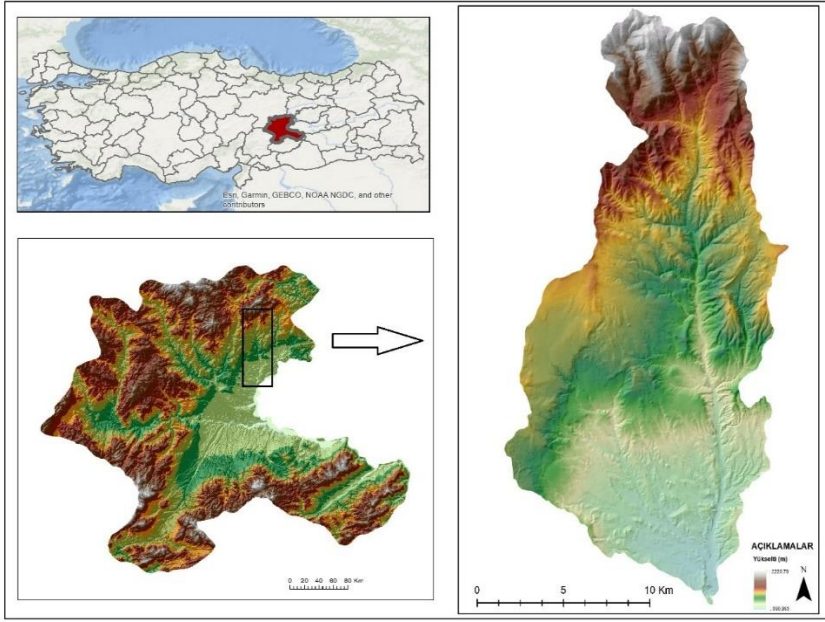
(2020), Geçen ve Balcı (2022), Ege (2024), Seven vd. (2025) gibi pek çok araştırmacı tarafından çeşitlendirilmiştir.

Teknolojik gelişmeler, jeomorfolojik analizlerin niteliğini önemli ölçüde artırmış; özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama teknikleri, arazi çalışmalarını destekleyen güçlü analitik araçlara dönüşmüştür. CBS, coğrafi verilerin depolanması, yönetilmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi süreçlerini bütüncül bir çerçevede ele alarak hem karmaşık mekânsal ilişkilerin çözümlemesini hem de büyük ölçekli analizlerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar (Turoğlu, 2008). Günümüzde morfometrik analizlerin büyük çoğunluğu sayısal yükseklik modelleri (DEM) üzerinden yürütülmekte olup; akarsu ağının çıkarılması, havza sınırlarının belirlenmesi, eğim-bakı ve rölyef analizleri gibi işlemler CBS yazılımları sayesinde yüksek doğruluk ve hızla gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışma, CBS destekli morfometrik analiz yöntemlerini kullanarak Aliğa Çayı Havzası'nın jeomorfolojik karakterini bütüncül olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Böylece havzanın drenaj ağı özellikleri, şekil parametreleri ve rölyef yapısı nicel bir çerçevede değerlendirilerek bölgenin hidrolojik ve jeomorfolojik dinamikleri hakkında kapsamlı bir bakış açısı sağlanacaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma, Malatya ili Arguvan ilçesi sınırları içerisinde yer alan Aliğa Çayı Havzasını ele almaktadır (Şekil 1). Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Havzası'nda bulunan Malatya, 12.313 km²'lik yüzölçümüyle bölgenin önemli illerinden biridir. Malatya ili; batıda Kahramanmaraş, doğuda Elâzığ ve Diyarbakır, kuzeyde Sivas ve Erzincan, güneyde ise Adıyaman illeri ile komşudur. Aliğa Çayı Havzası yaklaşık olarak 38°42'–38°58' kuzey enlemleri ile 38°16'–38°28' doğu boylamları arasında konumlanmış olup Arguvan ilçesi içerisinde kuzey–güney doğrultusunda uzanan dar ve uzun bir morfolojik form sergiler.



Şekil 1: Çalışma sahasının lokasyon haritası.

Havzanın yükseltisi kuzeyde 1800 m'ye yaklaşan dik yamaç ve plato yüzeylerinden, güneyde 1000–1200 m bandındaki daha ılımlı morfolojik birimlere doğru kademeli olarak düşmektedir. Bu düşey zonlaşma, havzanın rölyef enerjisinin yüksek olduğunu ve akarsu şekillendirici süreçlerin oldukça etkin çalıştığını ortaya koymaktadır. Kuzeydeki yüksek ve sert topoğrafya, akarsu vadilerinin derin oyulduğu V-şekilli profillere sahiptir. Orta kuşakta rölyef enerjisi azalmakta, güneye doğru geniş tabanlı vadiler ve biriktirme yüzeyleri görülmektedir. Bu varyasyon, havzanın hem aşındırma hem de biriktirme süreçlerini aynı anda barındıran karmaşık bir topoğrafya yapısına sahip olduğunu gösterir.

Drenaj sistemi genel olarak dendritik karakterdedir ve havzada çok sayıda yan kol ana akarsuya kuzeyden güneye doğru bağlanmaktadır. Kuzeydeki yüksek plato ve dağlık alanlardan doğan kolların güneye doğru birleşmesi, havzanın uzunlamasına formuna uygun bir akış düzeni oluşturur. Bu durum morfometrik açıdan havzanın “dar-uzun” morfolojik sınıfına yakın olduğunu ve yağış sonrası akışın çabuk toplandığını göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Aliğa Çayı Havzası'nın çizgisel, alansal ve rölyef temelli morfometrik özellikleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli sayısal analizlerle ortaya konulmuştur. Morfometrik analizler, havzanın drenaj ağının yapısı, eğim-baki dağılımı, yüzey şekilleri, havza geometrisi ve tektonik kontrol ipuçlarını nicel olarak değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır.

Çalışmanın ana verisini Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/25.000 ölçekli vektör topoğrafya haritaları ve bu haritalardan türetilen Sayısal Yükseklik Modeli'dir (SYM) oluşturmaktadır. Bu veriler; havza sınırının belirlenmesi, akarsu ağının çıkarılması ve türev topografik haritaların (eğim, baki, kabartma vb.) üretilmesi için kullanılmış ve amaca yönelik yeni veri katmanları oluşturularak analizlerin yürütülmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada havza morfometrisi çizgisel, alansal ve rölyef (yüzeysel) analizleri olmak üzere üç bileşende ele alınmıştır.

Çizgisel parametreler akarsu ağının organizasyonunu, drenaj derecelenmesini ve akarsu uzunluklarını ele almaktadır. Bu parametreler havzadaki akarsu ağının gelişimini, yüzeysel akışın akarsuya ulaşma süresini, drenaj yapısının litolojik ve tektonik kontrol altında olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmada bu kapsamda kullanılan başlıca indisler şunlardır:

- Akarsu Dizini (S)
- Akarsu Uzunluğu (Lu)
- Ortalama Akarsu Uzunluğu (Lsm)
- Akarsu Uzunluk Oranı (Rl)
- Çatallanma Oranı (Rb)
- Yüzeysel Akış Uzunluğu (Lg)
- Akarsu Kıvrımlılık Değeri (Rsi)

Alansal morfometrik indisler havzanın geometrik karakterini, havzaya düşen yağışların toplanması, yüzeysel akışın birikimi ve yüzey şekilleri ile ilişkili süreçleri anlamak için hesaplanmaktadır. Çalışmada bu kapsamda kullanılan parametreler şunlardır:

- Havza Alanı (A) ve Havza Çevresi (P),
- Dairesellik Oranı (Rc)
- Drenaj Yoğunluğu (Dd)

- Akarsu Sıklığı (Fs)
- Biçim Faktörü (Rf)
- Uzunluk Oranı (Re)

Yüzeysel (Rölyef) morfometrik indisler yükseltinin de ele alınarak yapıldığı, havzanın aşınım derecesi, tektonik aktivite ve yüzey süreçlerinin şiddeti hakkında kritik bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yüzeysel indisler:

- Eğim ve Bakı Analizleri
- Havza Rölyefi (H)
- Rölyef Oranı (Rh)
- Engebelilik Değeri (Rn)
- Hipsometrik İntegral (Hi)
- Hipsometrik Eğri (Hc)
- Vadi Tabanı Genişliği–Vadi Yüksekliği Oranı (Vf)
- Akarsu-Uzunluk Gradyan İndeksi (SL)

CBS'nin sağladığı otomasyon ve mekânsal doğruluk sayesinde Aliğa Çayı Havzası'nın morfometrik yapısı çizgisel, alansal ve yüzeysel bağlamında çok boyutlu olarak ele alınmış; drenaj ağının yapısı, havza geometrisi ve tektonik kontrol işaretleri bilimsel olarak ortaya konmuştur

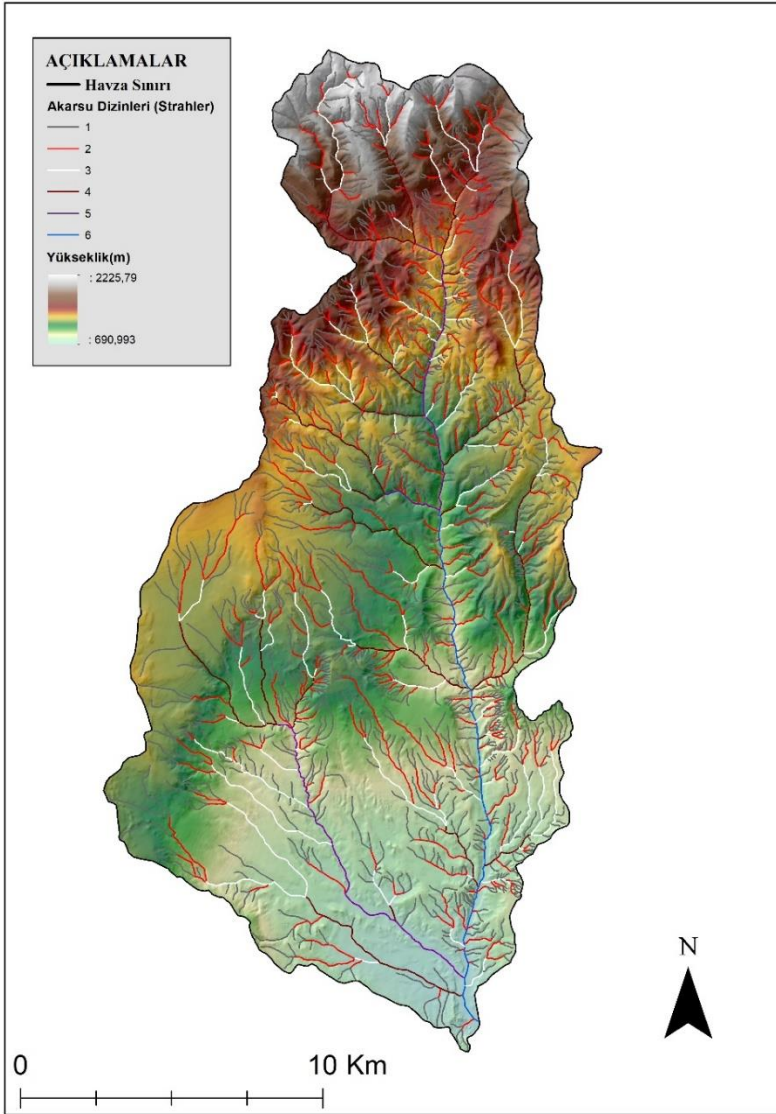
4. BULGULAR

4.1. Çizgisel Morfometrik Analizleri

4.1.1. Akarsu Dizini (Stream Order) (S)

Akarsu sistemlerinin ve bunlara ait yan kolların sınıflandırılmasına yönelik ilk bilimsel yaklaşım Horton (1945) tarafından ortaya konmuş, daha sonra Strahler (1952) tarafından geliştirilerek günümüzde yaygın kullanılan sistematik bir biçime kavuşturulmuştur. Strahler sınıflandırmasına göre, herhangi bir yan kolu bulunmayan fakat akış gösteren en küçük akarsu birimi “1. sıra” olarak tanımlanmaktadır. İki adet 1. sıra akarsuyun birleşmesiyle 2. sıra, iki adet 2. sıra akarsuyun birleşmesiyle ise 3. sıra oluşmaktadır. Ancak yöntemin önemli bir özelliği, daha düşük dereceli bir kolun daha yüksek dereceli bir akarsuya bağlanması durumunda derecenin artmamasıdır; yalnızca aynı seviyedeki kolların birleşmesi bir üst sıraya geçiş sağlar. Bu yaklaşım, küçük dereceli akarsuların etkisinin sınırlı biçimde değerlendirildiğini

göstermektedir. Bu araştırmada ele alınan havzanın drenaj ağı Strahler sınıflandırması kullanılarak analiz edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 2’de sunulmuştur. Başlangıçta 1. sıradan başlayan akarsu dizilimleri, havzanın mansap kesiminde 6. sraya kadar ulaşmaktadır.



Şekil 2: Çalışma sahasındaki akarsu ve kollarının Strahler yöntemine göre sınıflandırılması.

Akarsu segmentlerinin sınıflandırılmasının ardından, her bir dizine karşılık gelen segment sayısının belirlenmesi ve bunların tüm havza için toplam segment sayısı ile birlikte değerlendirilmesi, havzanın flüviyal süreçler tarafından şekillendirilme ve parçalanma düzeyine ilişkin temel bir gösterge niteliğindedir. Bunun yanı sıra segmentlerin uzunlukları, yoğunlukları, kıvrımlılık özellikleri, havzanın alan ve rölyef karakteristikleriyle olan ilişkileri ile havza içerisindeki konumsal dağılışı ve uzanış biçimleri birlikte ele alındığında, daha kapsamlı ve anlamlı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Nitekim akarsu sayısı, çeşitli morfometrik indekslerde temel parametrelerden biri olarak kullanılmaktadır. Akarsu dizin sayısı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$N_u = N_1 + N_2 + \dots + N_n$$

(N_u : Akarsu sayısı, N_1 : 1. dizin akarsu segmenti, N_2 : 2. dizin akarsu segmenti, N_n : en yüksek değere sahip akarsu segmenti)

Akarsu sınıflandırması tamamlandıktan sonra, havzadaki akarsu dizinlerine ait segment sayıları ile havza genelindeki toplam segment miktarı belirlenmiştir (Tablo 1). Havzanın mansap bölümünde en yüksek dereceli akarsu 6. sırada ortaya çıkmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Aliğa Çayı havzasında toplam 3163 akarsu segmentinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1: Aliğa çayı havzasında akarsu dizin ve sayıları.

Dizin	Dizin Segment Sayısı
1	1593
2	771
3	382
4	267
5	72
6	78
Toplam	3163

4.1.2. Akarsu Uzunluğu (Stream Length) (L_u)

Akarsu segmentlerinin uzunlukları, ait oldukları dizinlere göre sınıflandırılıp toplamaları hesaplandıktan sonra, bu değerler bir araya getirilerek havzanın tüm akarsu ağına ait toplam uzunluk belirlenmektedir.

$$L_u = L_1 + L_2 + \dots + L_n \text{ (m)}$$

(L_u : toplam akarsu uzunluğu, L_1 : toplam 1. dizin akarsu uzunluğu, L_2 : toplam 2. dizin akarsu uzunluğu,....., L_n : en yüksek değere sahip toplam akarsu uzunluğu)

Çoğu havzada olduğu gibi, segment uzunluklarının toplamı en fazla 1. dizinde görülmekte; dizin derecesi yükseldikçe, yani akarsu kolları birleşip daha üst seviyelere ulaştıkça segmentlerin toplam uzunluklarında belirgin bir azalma meydana gelmektedir. Bu durum, küçük dereceli kolların sayıca fazla olması ve havza drenaj yapısında önemli bir yere sahip olmalarıyla ilişkilidir. Dolayısıyla, akarsu segment uzunluklarının dizinlere göre dağılımı, havzanın drenaj yoğunluğu, morfolojik gelişimi ve flüvyal süreçlerin etkisi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Çalışma alanında yer alan Aliğa çayı havzasında 1197 km toplam uzunluklara sahip akarsu ağı hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2: Aliğa çayı havzasında akarsu dizin uzunlukları.

Dizin	Akarsu Uzunluğu (km)
1	719,4
2	242,3
3	121,4
4	71,6
5	24,2
6	18,1
Toplam	1197

4.1.3. Ortalama Akarsu Uzunluğu (Mean Stream Length) (L_{sm})

Ortalama akarsu uzunluğu, bir havzanın genel morfolojik karakteri hakkında önemli ipuçları sunan temel göstergelerden biridir. Yüzeyin oldukça engebeli ve rölyef farklarının belirgin olduğu havzalarda akarsu kolları genellikle kısa mesafeler içinde sık sık yön değiştirdiği için ortalama akarsu uzunluğu düşük çıkmaktadır. Buna karşılık, topografyası daha sade ve eğim farklılıklarının az olduğu havzalarda akarsu kolları daha uzun güzergâhlara sahip olabildiğinden ortalama uzunluk değerleri daha yüksek gerçekleşmektedir. Bu parametre, hem her bir akarsu dizini için ayrı ayrı hem

de havza genelindeki tüm akarsu segmentleri dikkate alınarak hesaplanabilmektedir.

$$L_{sm} = L_u / N_u$$

(L_{sm} : Ortalama akarsu uzunluğu, L_u = Toplam Akarsu Uzunluğu, N_u = Toplam Dizin Sayısı)

Tablo 3'te Aliğa çayı havzasında dizinlere ve havza geneline göre ortalama akarsu uzunlukları verilmiştir. Bu değer, havzanın drenaj yapısının düzenliliği, akarsu gelişimi ve yüzey şekilleri üzerindeki flüvyal süreçlerin etkileri hakkında yorum yapmayı kolaylaştırmaktadır.

Tablo 3: Aliğa çayı havzasında dizinlere ve havza geneline göre ortalama akarsu uzunlukları.

Dizin	Ortalama Akarsu Uzunluğu (m)
1	451,6
2	314,3
3	317,8
4	268,2
5	336,1
6	232,1
Havza Geneli	378,4

4.1.4. Akarsu Uzunluk Oranı (River Length Ratio) (R_l)

Akarsu uzunluk oranı, bir havzada yüzey sularının toplanarak ana akarsu koluna ulaşma sürecini değerlendirmede kullanılan önemli bir morfometrik parametredir. Bu oran sayesinde, bir havzadaki akış süreleri ve dolaylı olarak taşkın oluşum potansiyeli hakkında çıkarımlar yapılabilmektedir (Özdemir, 2011; Karataş, 2017). Uzunluk oranı değerinin yüksek olması, ilgili dizindeki yan kolların ortalama uzunluklarının, bağlandıkları üst seviye segmentten daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum, suyun havza içerisinde daha uzun bir güzergâh izleyerek ana akarsuya ulaştığı anlamına gelir. Dolayısıyla akış süresinin uzaması, ani yüzeysel akış miktarının azalmasına ve suyun daha kontrollü bir şekilde taşınmasına neden olabileceğinden, böyle havzalarda

taşkın riskinin daha düşük olabileceği sonucuna varılabilir. Bu indekste, her bir akarsu dizinine ait segmentlerin toplam ya da ortalama uzunlukları, kendisinden bir üst düzeydeki segmentlerin toplam veya ortalama uzunluklarına bölünerek değer elde edilmektedir.

$$R_l = L_u / L_{u+1}$$

(R_l : Akarsu uzunluk oranı, L_u = Dizin toplam veya ortalama uzunluğu, L_{u+1} = Bir üst dizin toplam veya ortalama uzunluğu)

Bu parametre, özellikle yağış sonrası akış davranışının modellenmesinde, hidrograf şeklinin belirlenmesinde ve havzaların taşkın duyarlılık seviyelerinin karşılaştırılmasında kritik bir gösterge niteliği taşımaktadır. Ayrıca uzunluk oranının dizinler arasındaki değişimi, havzanın drenaj gelişimi ve akarsu ağının yapısal özellikleri ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır.

Çalışmada havza için Strahler sınıflandırması sonucu elde edilen dizinlerin ortalama uzunlukları oranlanarak hesaplanmış ve Tablo 4'te verilmiştir. Aliğa çayı havzası geneli için ortalama değer 1,17 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4: Aliğa çayı havzasındaki akarsu uzunluk oranları.

Dizin	Akarsu Uzunluk Oranı
1/2	1,44
2/3	0,99
3/4	1,19
4/5	0,80
5/6	1,45
Ortalama	1,17

4.1.5. Çatallanma Oranı (Bifurcation Ratio) (R_b)

Çatallanma oranı, bir havzadaki akarsu dizinlerinin sayısının, bir üst dizindeki akarsu sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir (Strahler, 1952).

$$R_b = N_u / N_{u+1}$$

(R_b : Çatallanma oranı, N_u : dizin sayısı, N_{u+1} : Bir Sonraki Dizin Sayısı)

Havza ölçeğinde değerlendirme yapılırken, tüm dizinlere ait bu değerlerin ortalaması alınarak genel çatallanma oranı belirlenir. Söz konusu

indis, havzanın topoğrafik açıdan ne ölçüde parçalanmış olduğunu göstermekte olup; bu durum, yalnızca iklimsel süreçlerle değil, aynı zamanda litolojik özellikler ve arazi topoğrafyasıyla da yakından ilişkilidir. Özdemir (2011), bu göstergenin mutlak bir değer üzerinden yorumlanmasının uygun olmadığını, farklı havzaların karşılaştırılmasında göreceli bir değerlendirme aracı olarak kullanılmasının daha doğru olacağını vurgulamaktadır. Çalışma alanı geneli için ortalama 2,03 çatallanma oranı hesaplanmış, dizin düzeyinde ise en yüksek çatallanma oranı 5 nolu akarsu üzerinde görülürken en düşük oran 6 nolu dizin olan ana akarsu üzerinde görülmüştür (Tablo 5).

Tablo 5: Aliğa çayı havzasında çatallanma oranları.

Dizin	Çatallanma Oranı
1./2.	2,07
2./3.	2,02
3./4.	1,43
4./5.	3,71
5./6.	0,92
Ortalama	2,03

Havzadaki her dizin için çatallanma oranı (R_b) belirlendikten sonra, bu değerlerin ortalaması alınarak havzanın genel R_b değeri hesaplanmaktadır. Çatallanma oranı, havzadaki akarsu dizinlerinin sayılarına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu nedenle elde edilen değerlerin yorumlanması sabit bir referans noktasına dayanmaz; daha çok farklı havzaların R_b sonuçlarının karşılaştırılmasıyla anlamlı hâle gelir. Örneğin, R_b değerinin düşük olduğu havzalarda akım hidrografları genellikle daha dik ve yüksek pik değerlerine sahipken, R_b değerinin yüksek olduğu havzalarda akım eğrileri daha yatık ve süreklilik gösteren bir karakter sergileyebilir.

4.1.6. Yüzeysel Akış Uzunluğu (Length of Overland Flow) (L_g)

Yüzeysel akış uzunluğu, bir havzaya düşen yağışın herhangi bir akarsu kanalına ulaşmadan önce yüzey üzerinde kat ettiği mesafeyi ifade eder (Horton, 1945) ve literatürde “seyelan” olarak tanımlanır (Hoşgören, 2011). Bu indeks, bir havzada meydana gelebilecek erozyon süreçleri hakkında önemli bilgiler

sunar. Genellikle şekli dairesel olan ve yamaç eğimlerinin düşük olduğu havzalarda yüzeysel akış uzunluğu değerleri yüksek çıkma eğilimindedir (Özdemir, 2011). Söz konusu indeks, havza alanının toplam akarsu uzunluğuna veya drenaj yoğunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

$$L_g = A/2 * L_u$$

(L_g : Yüzeysel akış uzunluğu, A : Havza alanı, L_u : Toplam Akarsu uzunluğu)

Değerin yüksek olması, birim alanda daha az akarsu kanalının bulunduğunu ve bu nedenle yağış sonrası suyun bir kanala ulaşabilmesi için daha uzun bir mesafe kat etmesi gerektiğini gösterir. Bu durum, yüzeysel akışın, dolayısıyla seyelandaki artışın daha belirgin olabileceği anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle, uzun yüzey akış mesafeleri hem erozyon potansiyelini artırabilir hem de havzanın hidrolojik tepkisini önemli ölçüde etkileyebilir. Aliağa çayı havzası için 0.13 değeri hesaplanmıştır

4.1.7. Akarsu Kıvrımlılık Değeri (River Sinuosity Index) (R_{si})

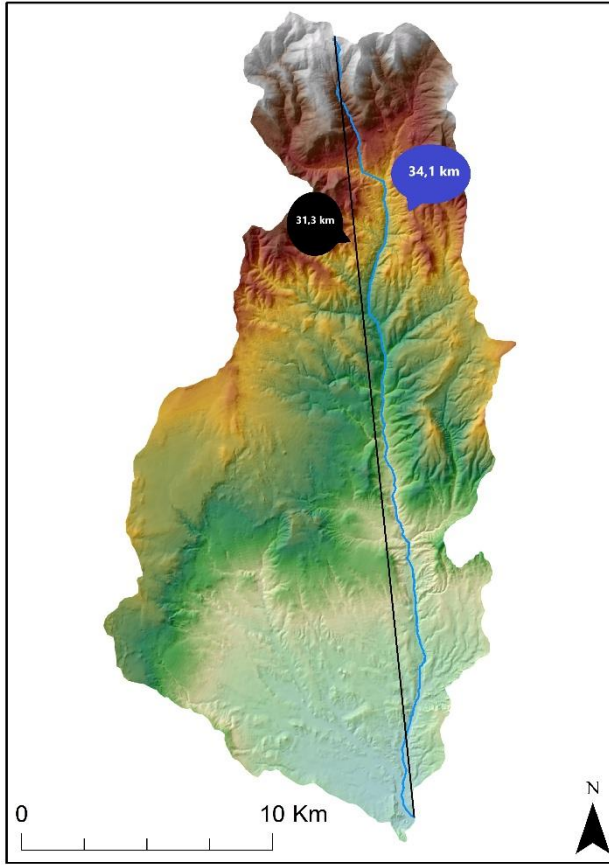
Bir havzada ana akarsuyun kaynaktan mansap kısmına kadar uzanışı; havzanın genel şekli, topoğrafik özellikleri, tektonik yapı ve eğim koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Teorik olarak herhangi bir dış etki bulunmadığında akarsuyun eğim doğrultusunda düz ya da düzlüğe yakın bir hat boyunca akması beklenir; ancak doğal arazi koşullarında bu tür bir doğrusal akışa rastlamak mümkün değildir. Tektonik hareketler sonucunda yatağın yön değiştirmesi, eğimde meydana gelen azalmaların yol açtığı mendereslenmeler, farklı litolojik birimlerin ve yapısal özelliklerin etkisiyle akarsu yatağının yana doğru kayması, heyelan gibi kütle hareketlerinin oluşturduğu kanal değişimleri ve insan kaynaklı müdahaleler, akarsu yataklarında belirgin kıvrımlanmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Akarsu kıvrımlılık indeksi, akarsuyun gerçek yatak uzunluğunun, kaynağından ağız noktasına kadar olan kuş uçuşu uzaklığa bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu değer her zaman 1'in üzerinde çıkar; indekse ait değer 1'e yaklaşması akarsu yatağının daha düz bir uzanışa sahip olduğunu, 1'den uzaklaşması ise kıvrımlılığın arttığını göstermektedir.

$$R_{si}=L_m/L_d$$

(R_{si} : Akarsu kıvrımlılık değeri, L_m : Ana akarsu yatağı uzunluğu, L_d : Ana akarsuyun ağız ile kaynak arasındaki kuş uçuşu mesafesi)

Aliğa çayının kanal uzunluğu 34,1 km, kuş uçuşu mesafe ise 31,3 km olarak hesaplanmıştır. Aliğa kıvrımlılık oranı ise 1,08 olarak bulunmuştur. Bu değer de akarsuyun düz bir şekle sahip olduğunu ifade eder (Şekil 4).



Şekil 4: Aliğa çayının uzunluk değerleri.

4.2. Alansal Morfometrik Analizler

Havzaların yüzey alanına dayalı morfometrik özellikleri, yağışın havza içerisinde nasıl dağıldığını, yüzeysel akışın ne şekilde toplandığını ve akımın zaman-mekân düzenini belirleyen temel hidro-jeomorfolojik unsurlardandır.

Alansal morfometri parametreleri, bir havzanın iki boyutlu karakterini nicel olarak ortaya koymak amacıyla havza alanı, çevresi, şekil faktörleri ve uzanım özellikleri gibi kriterleri esas alır. Bu parametreler aracılığıyla havzaların geometrik yapısının, çizgisel morfolojik özelliklerle nasıl ilişkili olduğu ortaya konulur. Nitekim, havzanın alan büyüklüğü ve şekil özellikleri, yağışın havza içinde tutulma süresi, akışın yönü ve hızı taşkın üzerinde doğrudan etkili olan kritik faktörlerdir.

Literatürde (Horton, 1932; Strahler, 1952; Schumm, 1956) alansal parametrelerin havza davranışını belirlemedeki rolü sıkça vurgulanmış; özellikle havza şekil indeksi, dairesellik oranı, uzama oranı ve form faktörü gibi göstergelerin hidrograf tepkisini belirleyen başlıca değişkenler olduğu ifade edilmiştir. Oval, dairesel veya uzamış havza şekilleri, akışın havza çıkışına ne kadar süre içinde ulaşacağını belirleyen hidrolik yanıtın temel göstergeleri olarak kabul edilir. Örneğin, daireselliği yüksek olan havzalar, yağış sonrası daha kısa sürede ani ve yüksek debili akımlar üretme eğilimindeyken; uzamış yapıdaki havzalar daha uzun tepki süreli, nispeten daha düşük debili akımlar sergiler.

Bu bağlamda, alansal morfometrik analizler yalnızca havzanın mekânsal tanımlanması için değil, aynı zamanda hidrolojik süreçlerin modellenmesi, taşkın risklerinin değerlendirilmesi ve havza planlaması çalışmalarında da temel bir girdi verisi niteliği taşımaktadır.

4.2.1. Havza Alanı (A) ve Havza Çevresi (P)

Havzanın alanı ve çevresi, onun genel büyüklüğü ile morfolojik formuna ilişkin temel bilgileri sunmakta; aynı zamanda diğer alansal morfometrik göstergelerin hesaplanmasında temel girdiler olarak kullanılmaktadır. Çalışmada ele alınan Aliğa çayı havzası 324,7 km² alana ve 96,7 km çevre uzunluğuna sahiptir.

4.2.2. Dairesellik Oranı (Circularity Ratio) (R_c)

Havza formunu belirleyen temel unsurlar arasında tektonik süreçler ile litolojik-yapısal özellikler önemli yer tutar. Bu bağlamda dairesellik oranı, havzanın morfolojisinin yapısal denetim altında olup olmadığını değerlendirmede kullanılan önemli bir göstergedir (Mahadevashwamy et al.,

2011; NIH, 1998). Hesaplanan indeks 0 ile 1 arasında bir değer üretir ve değerin 1'e yaklaşması, havzanın daha dairesel bir geometrik yapıya sahip olduğunu ifade eder.

$$R_c = 4\pi A / P^2$$

(*R_c*: Dairesellik oranı, *A*: Havza alanı, *P*: Havza çevresi, *π*: pi sayısı)

Aliağa çayı havzasının dairesellik oranı 0,44 olarak bulunmuştur. Bu değerle havzanın çizgisel şekilde uzandığını ve uzamış havza sınıfına girdiğini göstermektedir.

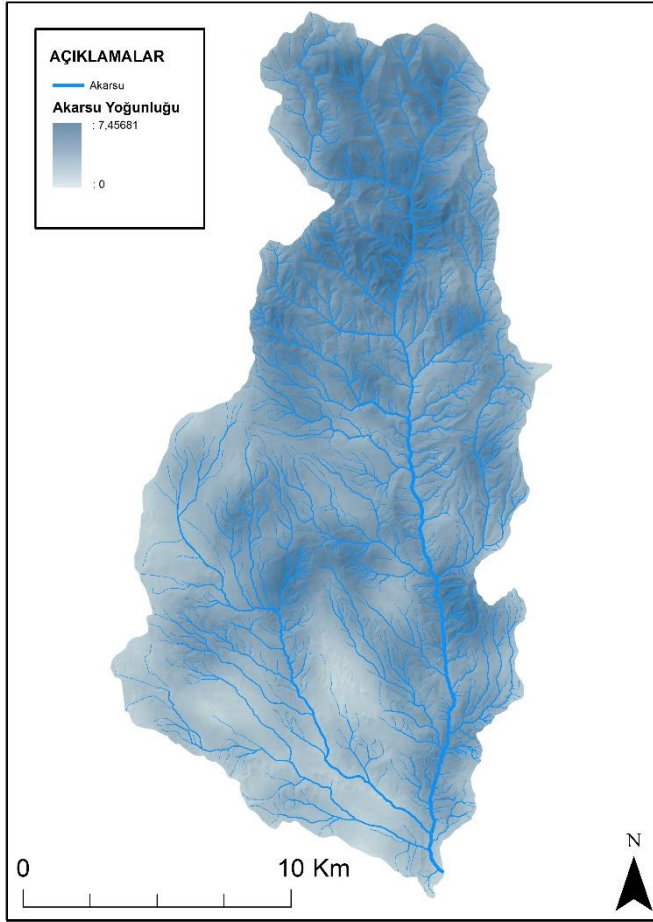
4.2.3. Drenaj Yoğunluğu (Drainage Density) (*D_d*)

Horton tarafından geliştirilen drenaj yoğunluğu (*D_d*), morfometrik analizler içinde en temel ve belirleyici parametrelerden biri olarak kabul edilir. Bu indeks, bir havzanın akarsu ağı tarafından ne ölçüde parçalandığını nicel olarak ortaya koyar. Dolayısıyla drenaj yoğunluğu, havzanın jeolojik yapısı, topoğrafik özellikleri, iklim koşulları ve bitki örtüsü gibi parçalanmayı etkileyen çevresel faktörler hakkında dolaylı bilgi sunması bakımından da kritik önemdedir. Düşük *D_d* değerleri, yüzeysel akışın sınırlı olduğu, infiltrasyonun yüksek olduğu ve yer altı akımlarının belirginleştiği havza koşullarını yansıtırken; yüksek *D_d* değerleri yüzeysel akışın baskın olduğu, akarsu aşındırmasının güçlü biçimde işlediği ve topografyanın yoğun biçimde parçalandığı sahaları işaret eder.

$$D_d = L_u / A$$

(*D_d*: Drenaj Yoğunluğu, *L_u*: Toplam akarsu uzunluğu, *A*: Havza alanı)

Aliağa çayı havzasının drenaj yoğunluğu 3.68 hesaplanmış, havza genelinde drenaj yoğunluğunun mekânsal değişimi Şekil 5'te verilen drenaj yoğunluk haritasında görülmektedir. Ana kolun kuzey-güney doğrultusunda uzanan belirgin bir drenaj omurgası oluşturduğu, yan kolların ise özellikle doğu ve batı yamaçlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Akarsu yoğunluğunun yüksek olduğu kesimler daha çok yüksek topoğrafyaya ve geçirimsiz litolojik birimlere karşılık gelmekte olup, bu bölgelerde yüzeysel akışın etkili ve parçalanmanın daha ileri düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın havzanın güney ve orta kesimlerinde yoğunluğun görece düşük olması, infiltrasyonun daha yüksek olduğu veya topografyanın nispeten daha sade olduğu alanlara işaret etmektedir.



Şekil 5: Aliğa çayı havzası drenaj yoğunluğu haritası

4.2.4. Akarsu Sıklığı (Stream Frequency) (F_s)

Bu parametre, havza içerisindeki toplam akarsu kolu sayısının havza alanına oranlanmasıyla hesaplanır. Yüksek akarsu sıklığı (F_s) değerleri, genellikle düşük geçirgenlik gösteren zemin özellikleri, zayıf veya seyrek bitki örtüsü ile yüksek rölyef koşullarının bir göstergesidir. Buna karşılık düşük F_s değerleri, daha geçirgen jeolojik birimler ile nispeten alçak rölyef özelliklerine sahip alanları işaret eder.

$$F_s = N_u / A$$

(F_s : Akarsu yoğunluğu, N_u : toplam akarsu dizin sayısı, A : Havza alanı)

Aliğa çayı havzasında akarsu sıklığı 9,74 olarak hesaplanmış olup km²'ye 9,74 adet akarsu kolu düştüğünü ifade etmektedir.

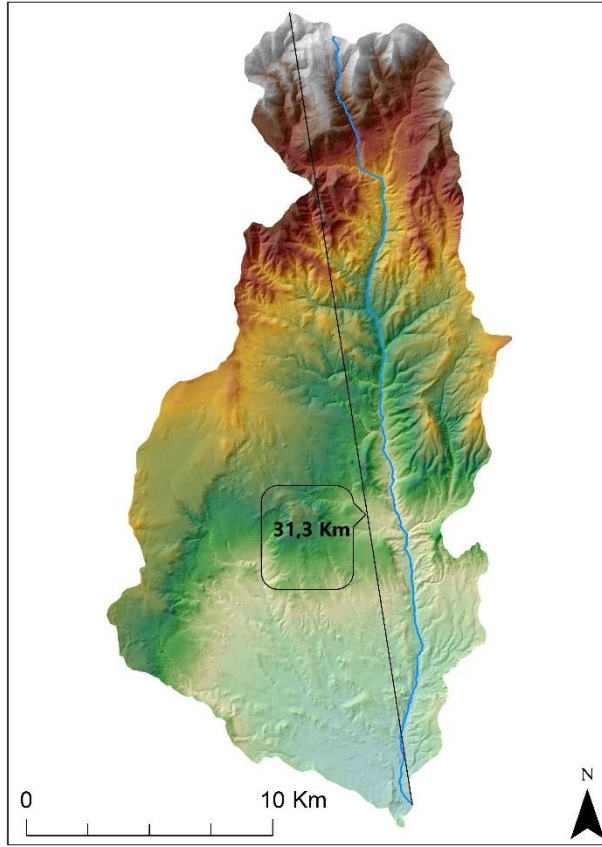
4.2.5. Biçim Faktörü Oranı (Form Factor) (R_f)

Biçim faktörü, bir havzanın daha çok uzamış mı yoksa dairesel bir forma mı sahip olduğunu ortaya koyan temel bir morfometrik göstergedir. Bu özellik, yağış sonrası yüzeysel akışın havza içinde nasıl ve hangi sürede toplandığını anlamada kritik bir rol oynar. Daireselliğin yüksek olduğu havzalarda biçim faktörü de yüksek değerler üretir; bu tür havzalarda ana kol görece kısa, yan kollar ise daha uzun olduğundan, suyun ana akarsuya ulaşması daha uzun zaman almakta, ancak ana kola ulaştıktan sonra akımın yükselme hızı daha ani ve belirgin olmaktadır. Buna karşılık, uzamış geometriye sahip havzalarda ana kol uzun, yan kollar ise kısa olduğundan, suyun ana akarsuya ulaşma süresi daha kısa olmakta; fakat ana akarsu debisindeki artış daha yavaş ve zamana yayılmış şekilde gerçekleşmektedir (Biswas et al., 1999; Reddy et al., 2004; Özdemir, 2011). Bu nedenle, dairesel form gösteren veya daireselliğe yakın havzalarda, akımın hızlı bir şekilde yoğunlaşması nedeniyle taşkın riskinin daha yüksek olduğu kabul edilmektedir.

$$R_f = A / L_b^2$$

(R_f : Biçim faktörü, A: Havza alanı, L_b^2 : Havza uzunluğunun karesi)

Çalışma alanında, Aliğa çayı havzasının uzunluk değeri 31,3 km (Şekil 6) olarak hesaplanmış ve biçim faktörü 0,33 olarak elde edilmiştir. Havzanın dairesel bir özelliğe sahip olmadığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 6: Aliğa çayının uzunluk değeri

4.2.6. Uzunluk Oranı (Elongation Ratio) (Re)

Uzunluk oranı, havza geometrisine ilişkin bilgileri ortaya koyan bir diğer önemli morfometrik göstergedir ve aynı yüzey alanına sahip varsayılan bir dairenin çapının, havzanın maksimum uzunluğuna oranlanmasıyla hesaplanır (Schumm, 1956). Teorik olarak tam dairesel bir havzada bu oran 1'e eşittir; havza formu uzamaya ve oval bir görünüme doğru dönüştükçe söz konusu değer 1'den uzaklaşarak 0'a doğru yaklaşır.

$$R_e: 2 / L_b * (A / \pi)^{0.5}$$

(R_e : Uzunluk oranı, L_b : Havza uzunluğu, A : Havza alanı π : Pi sayısı)

Uzunluk oranı Aliğa çayı havzasında 0,21 olarak hesaplanmıştır. Bu indis akarsu havzasının dairesellikten uzak çizgisel bir uzantıda olduğunu göstermektedir.

4.3. Yüzeysel (Rölyef) Morfometrik Analizler

Yüzeysel morfometrik analizler, bir drenaj havzasının üç boyutlu topoğrafik yapısını sayısallaştırarak arazi şekillerinin dağılımını, rölyef özelliklerini ve yükselti basamaklarını ortaya koyan değerlendirmeleri içerir. Bu analizler yükselti, rölyef enerjisi, rölyef oranı, hipsometrik eğri ve ilgili türevlerin hesaplanması yoluyla havzanın jeomorfolojik evrimini anlamaya imkân tanır. Yüzeysel morfometrik parametreler; çizgisel (akarsu uzunluğu, akarsu yoğunluğu), alansal (havza alanı, drenaj yoğunluğu) ve yükseltiye dayalı diğer metriklerle birlikte değerlendirildiğinde havzanın gelişim dinamikleri çok daha bütüncül bir bakışla yorumlanabilir (Strahler, 1952; Schumm, 1956).

Analiz kapsamında özellikle yükselti dağılımı, eğim ve bakı özellikleri, rölyef enerjisi ve topoğrafik pürüzlülük gibi parametrelerin CBS ortamında sayısallaştırılması hem havzanın erozyon potansiyeline hem de litolojik–tektonik kontrol altındaki akış süreçlerine dair önemli ipuçları sunar. Nitekim Atalay (2017) ve Erinç (1982), rölyef özelliklerinin bir havzanın drenaj ağının gelişim hızı, yamaç süreçlerinin şiddeti ve akış rejiminin sürekliliği üzerinde belirleyici olduğunu vurgular.

Bu çerçevede yüzeysel morfometri, yükselti modelleri (DEM) üzerinden türetilen çıktılarla desteklenerek havzanın topoğrafik bütünlüğünü karakterize eder; böylece Aliğa Çayı Havzası gibi litolojik çeşitliliğin ve tektonik kontrolün belirgin olduğu sahalarda morfolojik gelişimin anlaşılmasını sağlayan temel bir analiz alanı oluşturmaktadır.

4.3.1. Yükselti, Eğim ve Bakı Özellikleri

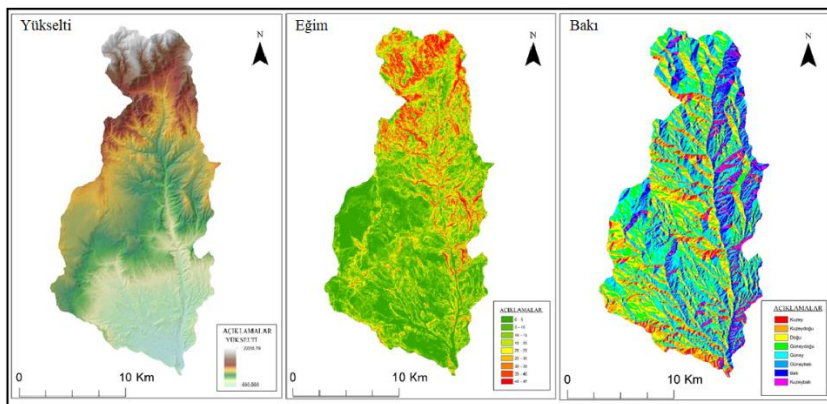
Eğim ve bakı özellikleri, bir havzanın hem tektonik geçmişine hem de dış kuvvetlerin (özellikle flüvyal süreçlerin) oluşturduğu şekillenme dinamiklerine ilişkin önemli ipuçları sunar. Yükselti ise bu süreçleri harekete geçiren ve yönlendiren temel bir kontrol unsurudur. Bu üç parametre birlikte ele alındığında; sıcaklık ve yağış düzeni, bitki örtüsünün dağılımı, kütle hareketlerinin sıklığı, güneşlenme süresi, yüzeysel akış–sızma ilişkisi ile toprak tipinin ve derinliğinin oluşumu gibi pek çok çevresel ve jeomorfolojik özelliği doğrudan etkilemektedir.

Çalışma sahasının yükselti dağılımı, havzanın kuzey kesiminde belirgin şekilde yükselen bir topoğrafya ortaya koymaktadır (Şekil 7). Bu alanlarda 1800 m'nin üzerindeki yüksek kütleler, havzanın drenaj ağını besleyen başlıca

kaynak alanlarını tanımlar. Yüksek rölyef, aynı zamanda akarsu yarıлма yoğunluğunun arttığı, eğim süreçlerinin daha aktif olduğu bir morfolojik zemin sunar. Güney kesime doğru ise yükselti kademeli biçimde azalmakta, bu da tipik kademeli erozyon yüzeyleri ile geçişli plato–vadi sistemlerinin varlığına işaret etmektedir.

Aliağa çayı havzasının eğim özellikleri incelendiğinde kuzeyde 30 derecenin üzerine çıkan dik yamaç alanlarının geniş yer kapladığını görülmektedir (Şekil 7). Havzanın orta ve güney bölümlerinde ise eğim değerleri belirgin biçimde düşmekte; burada akarsu tabanına yakın geniş yamaçlar, daha sakin akış rejimi ve tarımsal kullanıma elverişli topoğrafya ön plana çıkmaktadır. Eğim haritasındaki şerit şeklinde uzanan yüksek eğimli alanlar, çoğunlukla fay zonları, litolojik sınırlar veya tektonik kontrollü vadiler ile ilişkilidir. Bu durum sahadaki yapısal yönelimin drenaj morfolojisine etkisini destekleyen önemli bir göstergedir.

Bakı dağılımı, havzanın topoğrafik yapısına bağlı olarak oldukça çeşitlidir ve yamaç süreçlerinin yönlülüğünü açıkça ortaya koymaktadır. Güney bakılı yamaçlar daha fazla güneşlenme nedeniyle buharlaşma–kuraklaşma ve bitki örtüsü zayıflaması ile erozyona daha açıktır. Kuzey bakılı yamaçlar daha nemli ve bitki örtüsünün daha yoğun olduğu alanları temsil eder ve fiziksel ayrışma süreçleri burada baskındır. Doğu-batı bakılı yamaçlarda farklılaşan radyasyon miktarları, akarsu kollarının asimetrik gelişimini tetikleyebilir.



Şekil 7: Aliağa çayı havzasının yükselti, eğim ve bakı haritaları

4.3.2. Havza Rölyefi (Basin Relief) (H)

Strahler (1957), havza rölyefini bir havzanın en yüksek noktası ile taban seviyesini temsil eden en düşük nokta arasındaki düşey yükseklik farkı olarak tanımlamış ve bu parametrenin hesaplanmasını aşağıda verilen formülle açıklamıştır.

$$H = Z - z$$

(*H*: Havzanın rölyefi, *Z*: Havzanın maksimum yükselti değeri, *z*: Havzanın minimum yükselti değeri)

Aliağa çayı havzası için maksimum yükselti 2225,8 m, minimum yükselti 690,9 m değerleri tespit edilerek havza rölyefi 1534,9 m olarak hesaplanmıştır.

4.3.3. Rölyef Oranı (Relief Ratio) (R_h)

Rölyef oranı, bir havzanın en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki düşey yükseklik farkının havzanın maksimum uzunluğuna bölünmesiyle elde edilen bir göstergedir (Schumm, 1956). Yükselti farkının belirgin olduğu havzalarda rölyef oranı daha yüksek değerler alır. Bu durum, arazide erozyon süreçlerinin daha etkin olduğunu, kütle hareketlerine yönelik duyarlılığın arttığını ve yüzeysel akış miktarının yükseldiğini göstermektedir. Dolayısıyla yüksek rölyef oranı, taşkın oluşumu açısından da önemli bir risk işaretidir.

$$R_h = H / L_b$$

(*R_h*: Rölyef oranını, *H*: Havzanın rölyef değeri, *L_b*: Havza uzunluğu)

Aliağa çayı havzası için havza rölyefi 1534,9 m, havza uzunluğu 31300 m olup rölyef oranı ise 0,05 olarak hesaplanmıştır.

4.3.4. Engebelilik Değeri (Ruggedness Index) (R_n)

Havzanın engebelilik düzeyi, rölyef değeri ile drenaj yoğunluğunun çarpımıyla tanımlanmaktadır (Melton, 1957). Özdemir (2011), yarıлма derecesi fazla olan havzalarda rölyefin daha düşük değerlere sahip olduğunu; buna karşılık yarıлmanın sınırlı olduğu, yüzey şekillerinin daha engebeli olduğu havzalarda rölyefin yükseldiğini belirtmektedir. Drenaj havzasının engebelilik düzeyi arttıkça yüksek akım değerlerinin ve erozyon süreçlerinin de hız kazandığını vurgulamaktadır. Dolayısıyla engebeliliği yüksek havzalar, sel ve taşkın riski açısından son derece hassas alanlardır.

$$R_n = H * D_d$$

(R_n : Engebelilik değerini, H : Havza rölyef değeri (km), D_d : Drenaj yoğunluğu (km/km^2))

Aliğa çayı havzasında havza rölyefi 1, 535 km, drenaj yoğunluğu 3,68 olup engebelilik değeri 5,65 olarak hesaplanmıştır.

4.3.5. Hipsometrik İntegral (Hypsometric Integral) (H_i)

Hipsometrik eğrilerin ortaya koyduğu hipsometrik integral (H_i) değerleri, bir havzanın jeomorfolojik gelişim evresi, flüvyal süreçlerin etkinliği ve erozyon sonucu oluşan sediman birikimlerinin niteliği hakkında önemli ipuçları sunar. H_i değerlerinin yüksek çıkması, incelenen topoğrafyanın fizyografik açıdan genç bir evrede bulunduğuna; buna karşılık düşük H_i değerlerinin, havzanın olgun ya da yaşlı bir morfolojik döneme ulaştığına işaret etmektedir (Pareta ve Pareta, 2012; Strahler, 1952; Yıldırım, 2018). 0 ile 1 arasında değişen bu değerler topoğrafyanın diklik, aşınım ve birikim süreçlerine ilişkin önemli bir gösterge niteliğindedir. Bu kapsamda Aliğa Havzası için hesaplanan 0,31 değerinin, havzanın olgunluk aşamasında yer aldığını ve dolayısıyla morfolojik açıdan yaşlı bir karakter sergilediğini ortaya koyduğu söylenebilir.

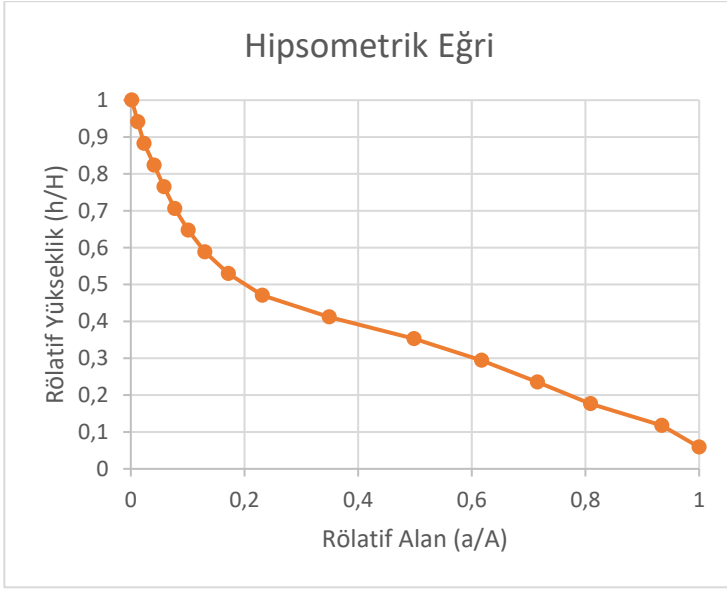
$$H_i = (H_m - H_{\min}) / (H_{\max} - H_{\min})$$

(H_i : Hipsometrik integral, H_m : Havza ortalama yüksekliği, $H_{\min}$: Havza minimum yüksekliği, $H_{\max}$: Havza maksimum yüksekliği)

4.3.6. Hipsometrik Eğri (Hypsometric Curve) (H_c)

Hipsometrik eğri, bir akarsu havzasında yükseltinin alansal dağılımını ortaya koyan önemli bir jeomorfometrik göstergedir. Bu eğri, havza yüzeyinin toplam yükselti oranı ile toplam alan oranının birlikte değerlendirilmesiyle oluşturulmaktadır. Eğrinin dışbükey bir form göstermesi, topoğrafyanın genç bir gelişim evresinde olduğunu ve akarsuyun yüksek akım gücüne sahip bulunduğunu ifade eder (İmamoğlu, 2016). Bu durum, su erozyonunun etkin olduğunu ve akarsuyun taşıdığı sediment miktarının fazla olabileceğini göstermektedir. Buna karşılık içbükey bir hipsometrik eğri, akarsuyun akım enerjisinin zayıfladığını ve erozyon süreçlerinin daha sınırlı hâle geldiğini işaret eder. Çalışma sahasının hipsometrik eğrisinin genel

görüntüsü iç bükey özellik göstermektedir (Şekil 8). İç bükey eğriler havzanın büyük ölçüde aşındığını, yaşlılık evresinde olduğunu, akarsuların akımının ve buna bağlı olarak aşındırma gücünün azaldığını göstermektedir.



Şekil 8: Aliğa Çayı Havzası'nın hipsometrik eğrisi

4.3.7. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Valley Floor Width-Valley Height Ratio) (V_f)

Bu indis, tektonik süreçlerin vadi yamaç profilleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeye imkân tanıyan önemli bir jeomorfometrik göstergedir. İndis değerlerinin yüksek olması, tektonik yükselmenin zayıf olduğu ve dolayısıyla yamaç yüzeylerinin daha fazla şekillendiği alanları; düşük değerler ise tektonik yükselmeye bağlı olarak vadilerin derin biçimde kazıldığı ve aşındırıldığı sahaları işaret etmektedir. Bu nedenle indis yardımıyla bir bölgedeki tektonik hareketlilik ile vadi oluşumu ve aşınım süreçleri hakkında yorum yapılabilmektedir (Öztürk ve Erginal, 2008, s. 65). V_f değerlerinin ortalamasının ya da tamamına yakınının 1'in altında olması, söz konusu alanın

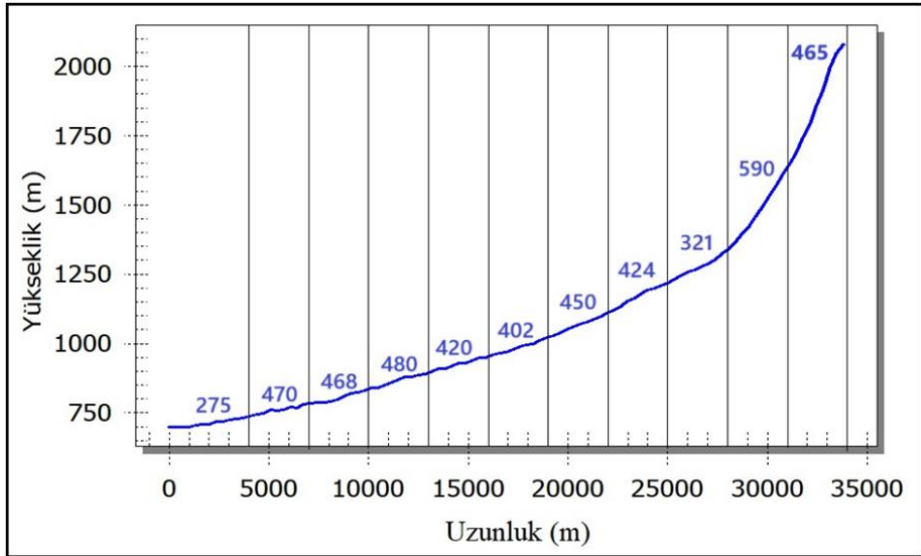
4.3.8. Akarsu-Uzunluk Gradyan İndeksi (Stream-Length Gradient Index) (SL)

Çalışma sahasındaki tektonik aktiviteyi değerlendirmede kullanılan bir diğer ölçüt, vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranıdır. Bunun yanı sıra, vadi boyunca tektonik hareketlilik, kayaç direnci ve topoğrafya arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla SL (Stream Length–Gradient) indeksi de yaygın olarak kullanılmaktadır (Hack, 1973; Edward ve Pinter, 2002). SL değerleri, dirençli kayaçlarda genellikle yüksek; kolay aşınan birimlerde ise daha düşük sonuçlar vermektedir.

$$SL=(\Delta H/\Delta L)L$$

(SL: Akarsu boy-gradyan indeks değeri, ΔH : Akarsu kanalının yükseklik değişimi, ΔL : akarsu segmentinin uzunluğu, L: İndeks hesaplama noktası ile akarsu kaynak yükseltisi arasındaki mesafesi)

Aliağa Havzası'nda hesaplanan SL indeksinin, akarsuyun boyuna profilindeki eğri (Şekil 10) boyunca dikkate değer bir anomali ortaya koymaması, havza içinde belirgin bir tektonik bozulma veya kırılma etkisinin izlenmediğini göstermektedir.



Şekil 10: Akarsu-Uzunluk Gradyan İndeksi grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan morfometrik analizler, Aliğa Çayı Havzası'nın dairesel bir formdan ziyade uzunlamasına (çizgisel) bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Bu morfoloji, akışın ana kanala ulaşma süresini uzatmakta ve buna bağlı olarak taşkın oluşma olasılığını azaltmaktadır. Ortalama çatallanma oranının 2.03 olması, havza içerisinde litolojik ve yapısal anlamda önemli bir homojenliğin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Akarsu uzunlukları ve kıvrımlılık değerlerinin düşük olması ise havzanın sade bir topoğrafik karaktere sahip olduğunu işaret etmektedir.

Rölyef, rölyef oranı ve engebelilik indeksi gibi rölyef parametreleri, havzanın yer yer oldukça parçalı bir topografya sergilediğini; buna bağlı olarak yüzeysel akışın ve akış hızının yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, özellikle yağışın arttığı dönemlerde erozyon süreçlerinin hızlanmasına ve kısa sürede yüzeysel akışa bağlı taşkınların meydana gelmesine zemin hazırlamaktadır. Hipsometrik analizler ise havzanın jeomorfolojik açıdan olgun (yaşlı) bir gelişim evresinde bulunduğunu, yani akarsuyun aşındırma kapasitesinin zamanla azaldığını göstermektedir.

Tektonik göstergeler olan V_f (vadi tabanı genişliği–vadi yüksekliği oranı) ve SL (akarsu uzunluğu–gradyan indeksi) sonuçları, havzanın genelinde bütüncül bir yükselme hareketinin etkin olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, bölgenin halen aktif tektonik süreçler tarafından şekillendirildiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Genel olarak çalışma, Aliğa Çayı Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerini ayrıntılı biçimde ortaya koymuş hem akademik araştırmalar hem de bölgesel planlama çalışmaları için kullanılabilir nitelikte kapsamlı morfometrik veriler üretmiştir. CBS tabanlı analizlerin sağladığı konumsal doğruluk sayesinde, sahaya çıkmadan önce dahi havzanın yapısal özelliklerine ilişkin kapsamlı değerlendirmeler yapılabilmiş; böylece Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin morfometrik analizlerdeki etkinliği bir kez daha doğrulanmıştır.

Katkı Belirtme: Bu çalışmaya katkı sunan öğrencilerim Ece AKTOPRAK ve Nehir GÜVEN'e teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Atalay, İ. (2004). *Doğa bilimleri sözlüğü*. Meta Basım Yayım.
- Atalay, İ. (2017). *Türkiye jeomorfolojisi*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Bağdatlı, C., & Öztürk, B. (2014). Havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) etkin rolü. *Sakarya University Journal of Science*, 18(1), 11–19.
- Biswas, S., Sudhakar, S., & Desai, V. R. (1999). Prioritisation of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: A remote sensing and GIS approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 27(3), 155–166.
- Bull, W. B. (1977). The alluvial-fan environment. *Progress in Physical Geography*, 1(2), 222–270.
- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2013). *Tectonic geomorphology*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Cürebal, İ., & Erginal, A. E. (2007). Mıhlı Çayı Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfik indislerle analizi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(19), 126–135.
- Demoulin, A. (2011). Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift. *Geomorphology*, 126(1–2), 97–107.
- Edwards, M., & Pinter, N. (2002). Influence of tectonics and lithology on stream channel morphology and the implications for interpreting fluvial terraces. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B10), 1–11.
- Ege, İ. (2024). Bozdağlar Kütlesi'nin asimetrik yapısı ve tektonizma ilişkisinin CBS ile incelenmesi. *Geomatik*, 10(1), 111–126.
- Ege, İ., & Duman, N. (2020). Maymun Dağı (Çardak-Denizli / Dazkırı-Afyonkarahisar)'nın morfotektonik özelliklerinin CBS ile belirlenmesi. *Turkish Studies – Social Sciences*, 15(1), 277–307.
- Erinç, S. (1982). *Jeomorfoloji I*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları (No: 2931).
- Ertek, T. A. (2016). *Jeomorfoloji* [E-kitap]. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi.

- Geçen, R., & Ölmez, İ. (2017). Beyazçay Havzası'nın (Hatay) jeomorfometrik analizler ile değerlendirilmesi. *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (12–14 Ekim 2017, ss. 212–221). Elazığ.
- Geçen, R., & Balcı, K. (2022). Tahtaköprü ve Zilli çayları havzalarının karşılaştırmalı jeomorfometrik analizi. *Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(50), 201–225.
- Hack, J. T. (1957). *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland* (Vol. 294). Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *U.S. Geological Survey Journal of Research*, 1(4), 421–429.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 350–361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275–361.
- Hoşgören, Y. (2011). *Jeomorfoloji terimleri sözlüğü*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- İmamoğlu, A. (2020). Alaca Çayı Havzası erozyon durumunun morfometrik ölçümler ile ilişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 868–878.
- Karabulut, M., Küçükönder, M., & Topuz, M. (2013). Alata (Erdemli) Deresi'nin jeomorfometrik analizi. *Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde (ss. 450–459).
- Karataş, A. (2017). *Karasu Çayı Havzası'nın hidrografik planlaması*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Mahadevaswamy, G., Nagaraju, D., Siddalingamurthy, S., Lakshamma, Mohammad, S. I., Nagesh, P. C., & Krishna, R. (2011). Morphometric analysis of Nanjangud Taluk, Mysore District, Karnataka, India, using GIS techniques. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(4), 721–734.
- Mayer, L. (1986). Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts. In *Active tectonics* (Vol. 7, pp. 125–135).
- Melton, M. (1957). *An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology*. New York, NY: Columbia University, Department of Geology.

- NIH. (1998). *Representative basin studies: Morphometric analysis of Suddagedda Basin, Andhra Pradesh*. Roorkee, India: National Institute of Hydrology.
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar. D. Ekinci (Ed.), *Fiziki coğrafya araştırmaları: Sistematik ve bölgesel içinde* (ss. 507–526). İstanbul.
- Öztürk, B., & Erginal, A. (2008). Bayramdere Havzası'nda (Biga Yarımadası, Çanakkale) havza gelişiminin morfometrik analizler ve jeomorfik indislerle incelenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (50), 61–68.
- Pareta, K., & Pareta, U. (2012). Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) data and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(3), 248–269.
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K., & Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, central India: A remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 1–16.
- Sarp, G., Geçen, R., Toprak, V., & Düzgün, S. (2011). Morphotectonic properties of Yenicaga Basin area in Turkey. In *34th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE34)* (pp. 10–15).
- Schumm, S. A. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597–646.
- Seven, M., Öztürk, Y., Gürgöze, S., Ege, İ., & Tonbul, S. (2025). Engizek Dağı'nda karstik depresyonların jeomorfik özellikleri ve morfolotektonik gelişimleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68(2), 1–33.
- Strahler, A. N. (1950). Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. *American Journal of Science*, 248(10), 673–696.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117–1142.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38(6), 913–920.
- Topuz, M., & Karabulut, M. (2016). Limonlu ve Alata havzalarının (Mersin–Erdemli) jeomorfometrik analizi. *Electronic Turkish Studies*, 11(2).

- Turoğlu, H. (2008). *Coğrafi bilgi sistemlerinin temel esasları*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Utlı, M., & Özdemir, H. (2018). Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü: Biga Çayı Havzası örneği. *Coğrafya Dergisi*, (36), 49–62.
- Yıldırım, C. (2018). Türkiye’deki bazı havzaların hipsometrik analizleri ve jeomorfolojik değerlendirmeleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 75–90.

BÖLÜM 5

MALATYA İLİNDE YERLEŞME ALANLARININ GENEL COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

¹Doç. Dr. | Reşat GEÇEN

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18072160>

¹ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, resat.gecen@inonu.edu.tr, ORCID ID
0000-0002-4144-6645

GİRİŞ

Yerleşmelerin dağılışı, doğal çevrenin sunduğu imkânlar ile beşerî faaliyetlerin yarattığı talepler arasındaki karşılıklı etkileşim sonucunda ortaya çıkan çok boyutlu bir coğrafi örüntüdür. Bu örüntünün oluşumunda topoğrafya, jeolojik yapı, eğim ve bakı gibi fiziki faktörler kadar, ulaşım imkânları, ekonomik faaliyet alanları, güvenlik koşulları ve kültürel tercihler gibi beşerî unsurlar da etkin rol oynamaktadır. Literatürde vurgulandığı üzere (Tanoğlu, 1966; Tunçdilek, 1986; Erinc, 1993; Atalay, 1994; Doğanay vd., 2011), yerleşmelerin kuruluş yerleri çoğu zaman doğal koşulların sunduğu avantajlara göre belirlenmekte; su kaynaklarına yakınlık, verimli toprakların varlığı ve ulaşılabilirlik düzeyi gibi kriterler, yerleşimlerin sürekliliğini ve gelişimini doğrudan etkilemektedir.

Türkiye'nin doğusunda yer alan Malatya ili, sahip olduğu morfolojik çeşitlilik, farklı litolojik birimlerin bir arada bulunması, geniş tarım alanları ve akarsu vadilerinin sunduğu doğal koridorlar nedeniyle yerleşme coğrafyası açısından dikkat çekici bir örnek teşkil etmektedir. İl sınırları içinde kuzeyde yükselti değerlerinin 2500 metreyi aşan dağlık alanlar, merkezde geniş Malatya Ovası ve güneyde plato karakteri gösteren yüzeyler bir arada bulunmaktadır. Bu çeşitlilik, yerleşmelerin hem konumlanışını hem de gelişim yönlerini belirleyen temel etmenlerden biridir. Özellikle ova tabanlarının tarım, ulaşım ve iklimsel uygunluk bakımından sunduğu avantajlar, nüfusun bu sahalarda yoğunlaşmasına yol açmıştır. Malatya, aynı zamanda Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) etkisi altında bulunması nedeniyle jeotektonik açıdan hareketli bir coğrafyaya sahiptir. Bu durum, tarihsel süreçte yerleşmelerin konum seçimlerini doğrudan etkilemiş; deprem riskinin yüksek olduğu kesimlerde yerleşme yoğunluğu görece düşük kalırken, daha stabil zeminlerin bulunduğu alanlar tercih edilmiştir. Fay zonlarına paralel uzanan akarsu vadileri ve geçitler ise hem ulaşım hem de yerleşme açısından doğal koridorlar oluşturmuş, bu koridorların bulunduğu sahalarda kırsal yerleşmelerin kümелendiği görülmüştür.

Yerleşme coğrafyasının dinamik yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal analiz ve veri bütünleştirme imkânı sağlayarak önemli bir araç haline gelmiştir. CBS tabanlı analizler; yerleşmelerin yükselti, eğim, bakı, litoloji, toprak türü ve fay hatlarına olan uzaklık gibi kriterlerle olan ilişkisini sayısal olarak değerlendirmeye ve

mekânsal örüntüyü bilimsel olarak ortaya koymaya imkân tanımaktadır. Bu çalışmada da Malatya ilindeki yerleşim alanları, çeşitli doğal coğrafya faktörleri ile birlikte ele alınmış; mekânsal ilişki analizleri yoluyla yerleşme örüntüsünün ardındaki doğal ve beşerî süreçler değerlendirilmiştir. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, Malatya il sınırları içerisinde yer alan yerleşmelerin mekânsal dağılışını belirleyen doğal coğrafya faktörlerini ortaya koymak ve bu faktörlerle yerleşme tercihleri arasındaki ilişkileri CBS tabanlı analizlerle bilimsel olarak değerlendirmektir. Yerleşmelerin konumlanışında yükselti, eğim, bakı, litolojik yapı, fay hatlarına uzaklık, toprak türleri, hidrografik özellikler ve arazi kullanım kabiliyeti gibi doğal ortam unsurlarının nasıl bir belirleyiciliğe sahip olduğu; bu çalışma ile sayısal, karşılaştırmalı ve mekânsal analiz yöntemleri kullanılarak ortaya konmuştur. Böylece ilin mevcut yerleşme yapısının mekânsal mantığı açıklanmakta, gelecekteki planlama çalışmalarına bilimsel bir zemin sunulmaktadır. Ayrıca çalışma, Malatya'nın deprem tehlikesi yüksek bir bölgede yer alması nedeniyle, yerleşmelerin fay zonlarına yakınlık durumunu da kritik bir inceleme alanı olarak ele almakta; bu sayede hem mevcut yerleşme örüntüsünün güvenlik temelli mekânsal mantığı hem de geleceğe yönelik yerleşme planlaması için önemli bir veri altyapısı sunmaktadır.

1. ÇALIŞMA SAHASI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Malatya ili, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde yer alan Yukarı Fırat Bölümü'nde yer almakta ve 12.313 km² yüzölçümüne sahiptir (Şekil 1). Malatya ili; kuzeyde Sivas, doğuda Elazığ ve Diyarbakır, güneyde Adıyaman ve batıda Kahramanmaraş illeriyle çevrili olup bölgesel konumu itibarıyla Doğu Anadolu'yu İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'ya bağlayan önemli bir lokasyonda yer almaktadır.

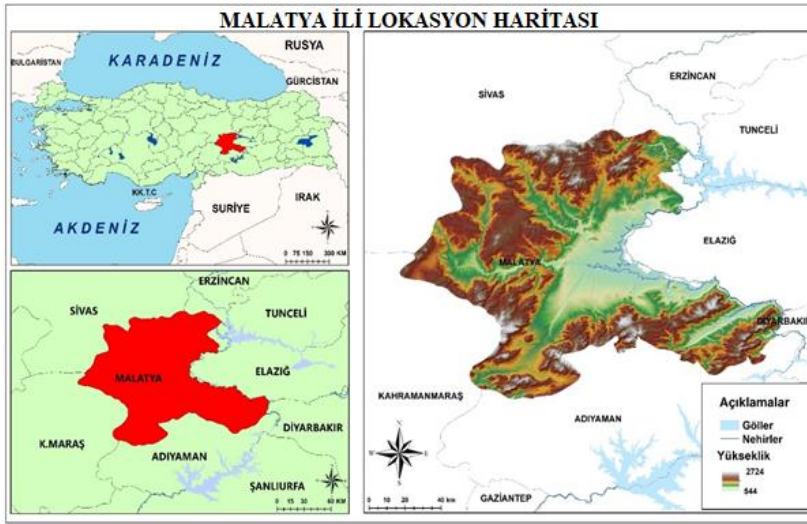
Malatya ilinin morfolojik yapısı yerleşmelerin dağılışını belirleyen en temel unsurlardan biridir. İlin kuzey ve güney kesimleri yüksek dağlık kütlelerle çevrelenmektedir. Kuzeydeki dağlık alanlar yer yer 2500 m'nin üzerine çıkan yükseltilerle temsil edilirken, ilin orta kesiminde geniş tabanlı Malatya Ovası (750–1100 m) uzanmaktadır. Bu dikey ve yatay morfolojik çeşitlilik yerleşmelerin konum seçimini doğrudan etkileyen faktörlerden biridir.

Hidrografik özellikleri Malatya'nın yerleşme dokusunu şekillendiren bir diğer önemli doğal unsurdur. Fırat Nehri ve onun önemli kolları olan Tohma, Karasu ve Derme çayları, hem doğal geçitler oluşturarak ulaşımı kolaylaştırmış hem de tarih boyunca yerleşmelerin bu vadiler boyunca kümelenmesine neden olmuştur.

Litolojik açıdan Malatya; metamorfik temel kayalar, bazaltik volkanik kütleler, tortul birimler, alüvyon dolgular ve yer yer evaporitik oluşumlar gibi çok farklı litolojik grupların bir arada bulunduğu karmaşık bir yapıya sahiptir (Elibüyük, 1994). İlin özellikle merkez ve güney bölgelerinde genç alüvyonların yaygın olduğu, kuzeydoğu ve güneybatı kesimlerinde ise metamorfik ve volkanik kütlelerin belirginleştiği görülmektedir. Bu çeşitlilik, yerleşme alanlarının zemin özelliklerini farklılaştırmakta; sağlam, geçirimsiz veya gevşek dokulu zeminlerin yerleşmelere etkisini belirgin hâle getirmektedir.

Malatya'nın coğrafi özelliklerinden söz ederken deprem riski özel bir yer tutmaktadır. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), ilin güney kesiminden geçmekte ve tarih boyunca bölgeyi etkileyen yüksek sismik aktivitenin ana kaynaklarından biri olmuştur (Güvercin vd., 2022). Deprem tehlikesi, özellikle kırsal yerleşmelerin gelişiminde ve güvenli alanların tercih edilmesinde belirleyici rol oynamış; nispeten daha stabil jeolojik birimlerin bulunduğu ova tabanları ve plato yüzeyleri tercih edilmiştir.

Sonuç olarak Malatya ili; topoğrafik çeşitliliği, litolojik karmaşıklığı, hidrografik ağı ve jeotektonik konumu ile doğal ortam bileşenlerinin güçlü şekilde belirlediği bir yerleşme sahasına sahiptir.



Şekil 1. Malatya ili lokasyon haritası

2. METOD VE MALZEME

Bu çalışmada, Malatya ilindeki yerleşme alanlarının doğal coğrafya özellikleriyle ilişkisini belirlemek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal analizler kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan veri setleri; 1/25000 ölçekli Topoğrafya Haritaları, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Eğim ve Bakı türevleri, Litoloji ve Fay Hatları verileri, Toprak Grupları, Arazi Kullanım Kabiliyeti (AKK) Sınıfları, Hidroğrafya katmanları ve İdari sınırlar gibi temel coğrafi bileşenlerden oluşmaktadır.

Yöntem olarak çalışmada yerleşmelerin doğal çevre unsurlarıyla olan mekânsal ilişkilerini ortaya koymak amacıyla CBS tabanlı Çakıştırma (overlay) analizi uygulanmıştır. İlk olarak çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak yükselti sınıfları üretilmiş ve yerleşmelerin farklı yükselti basamaklarındaki dağılımları belirlenmiştir. Ardından aynı DEM verisinden türetilen eğim ve bakı haritaları sınıflandırılarak yerleşim dokusunun topoğrafik koşullarla ilişkisi değerlendirilmiştir. Tektonik duyarlılığı ortaya koymak için fay hatları etrafında çeşitli uzaklıklarda tampon zonlar oluşturulmuş, böylece yerleşmelerin sismik riskle yakınlık derecesi analiz edilmiştir. Jeolojik althğın etkisini incelemek amacıyla litoloji verisi kullanılarak yerleşmelerin üzerinde bulunduğu kayaç türleri belirlenmiş; buna ek olarak toprak türleri ve arazi kullanım kabiliyeti (AKK) sınıfları ile

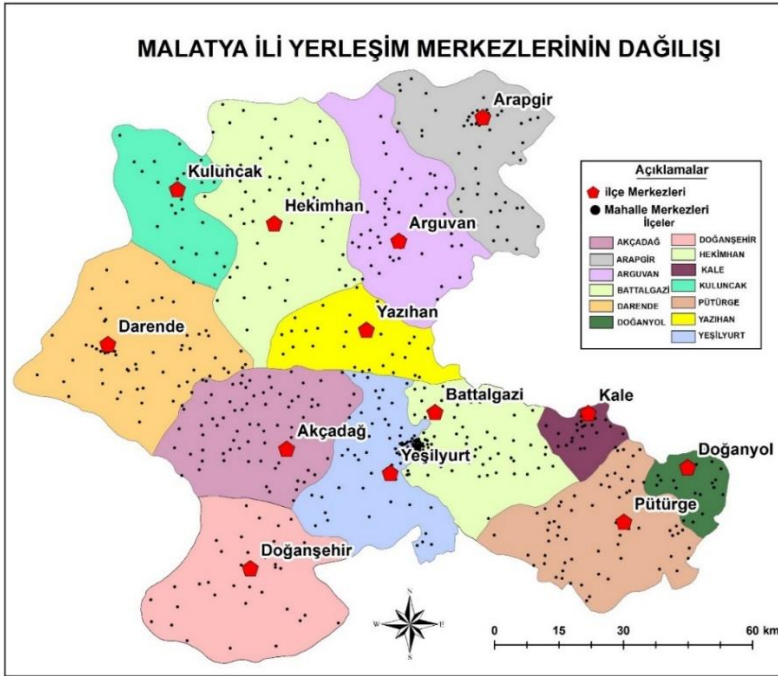
yerleşmelerin uyumu irdelenmiştir. Tüm bu tematik katmanların CBS ortamında bütünleştirilmesi, yerleşmeler ile doğal coğrafya faktörleri arasındaki mekânsal örüntülerin sistematik ve nesnel biçimde ortaya konmasına olanak sağlamıştır.

3. BULGULAR

3.1. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının İdari Dağılışı

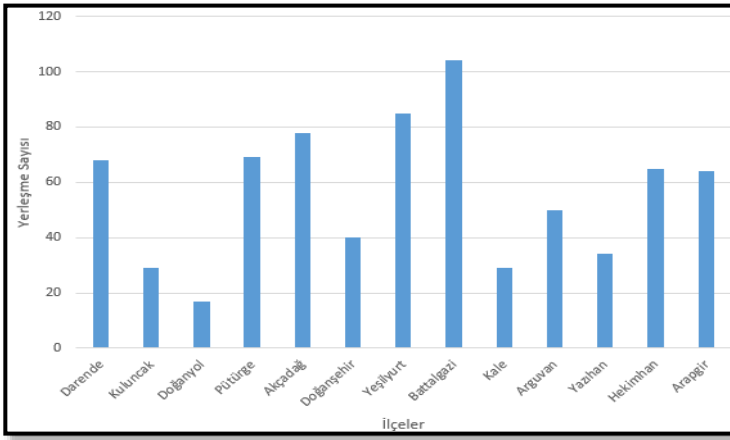
Malatya ili, 2014 yılında yürürlüğe giren 6360 sayılı Büyükşehir Yasası ile birlikte idari açıdan köklü bir yeniden yapılanma sürecine girmiş ve büyükşehir statüsüne kavuşmuştur. Söz konusu düzenleme, ilin yönetim yapısını hem mekânsal hem de kurumsal açıdan yeniden tanımlamış; yerel yönetim sınırlarının genişletilmesiyle hizmet sunumunun bütüncül bir çerçevede ele alınmasını amaçlamıştır. Bu kapsamda Malatya, ikisi merkez ilçe (Battalgazi ve Yeşilyurt) olmak üzere toplam 13 ilçeden oluşan bir büyükşehir yapılanmasına dönüşmüş; aynı zamanda köy ve belde statüsündeki yerleşim birimlerinin mahalleye dönüştürülmesiyle il genelinde 732 mahalleden oluşan yeni bir idari örgütlenme ortaya çıkmıştır. Bu dönüşüm, hem yerleşim ağının yönetim ölçeğini değiştirmiş hem de kentsel-kırsal ayrımının idari düzlemde yeniden tanımlanmasına zemin hazırlamıştır.

Malatya ilinde yerleşme merkezlerinin idari birimlere göre dağılışı, ilin morfolojik yapısı, ulaşım ağları, tarımsal potansiyeli ve tarihsel yerleşme eğilimleriyle yakından ilişkilidir. İl genelinde en yoğun yerleşme örüntüsü, ilin merkez ilçeleri olan Battalgazi ve Yeşilyurt çevresinde belirginleşmektedir (Şekil 2). Bu iki ilçenin hem düz bir topoğrafya üzerinde kurulmuş olması hem de kentsel fonksiyonların burada yoğunlaşması, yerleşme sayısını ve nüfusu artırmıştır. Buna karşılık Doğanyol, Kale, Kuluncak gibi topoğrafyanın daha engebeli ve ulaşım bağlantılarının sınırlı olduğu ilçelerde yerleşme merkezlerinin daha seyrek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin idari dağılışı haritası

Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezleri ve sahip oldukları nüfus değerlerinin ilçelere göre dağılışı Şekil 3 ve Tablo 1’de verilmiştir. Battalgazi’nin 104 yerleşme merkezi ile ilk sırada olduğunu; onu Yeşilyurt (85) ve Akçadağ (78) ilçelerinin izlediğini ortaya koymaktadır. Yerleşme sayısının düşük olduğu ilçeler ise büyük ölçüde topoğrafik kısıtlarla dikkat çeken Doğanşehir (17) ve Kuluncak (29) ilçeleridir. Malatya’daki en yüksek nüfus Battalgazi (301.483) ve Yeşilyurt (294.442) ilçelerinde toplanmıştır. Bu sonuç, ilin kentsel nüfusunun büyük ölçüde ova tabanlarında yer alan merkez ilçelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Buna karşılık en düşük nüfus değerleri Doğanşehir (4.196), Kale (5.384) ve Kuluncak (7.748) ilçelerinde görülmektedir. Bu ilçelerin hem dağlık alanlarda bulunması hem de ekonomik faaliyet çeşitliliğinin sınırlı olması, düşük nüfuslanmayı açıklayan önemli faktörlerdir.



Şekil 3. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ilçelere göre dağılışı grafiği

Ayrıca yerleşme sayısı ile nüfus arasındaki ilişki dikkat çekicidir (Tablo 1). Örneğin Pütürge (69 yerleşme) ve Darende (68 yerleşme) gibi ilçeler yüksek yerleşme sayısına rağmen toplam nüfus açısından orta düzeyde kalmaktadır. Bu durum, kırsal yerleşme dokusunun parçalı bir yapıya sahip olduğunu ve hane büyüklüklerinin düşük olduğunu göstermektedir. Buna karşılık Battalgazi ve Yeşilyurt'ta yerleşme sayısının yüksek olması, kentsel genişleme ile birleştiğinde yüksek nüfus yoğunluğu meydana getirmektedir.

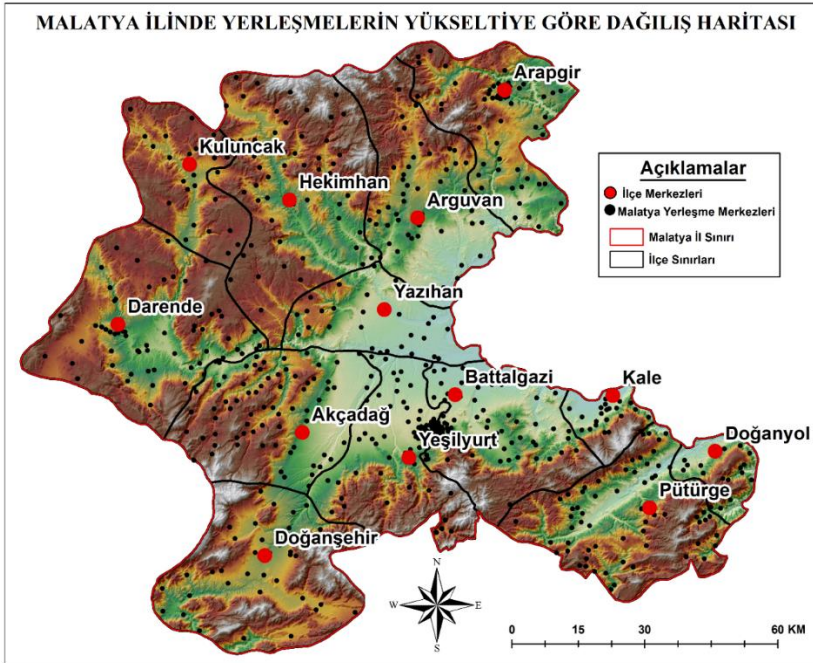
Tablo 1. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun ilçelere göre dağılışı.

İlçe	Yerleşme Merkezi Sayısı	Nüfus
Darende	68	26656
Kuluncak	29	7748
Doğanşehir	17	4196
Pütürge	69	15709
Akçadağ	78	27437
Doğanşehir	40	39391
Yeşilyurt	85	294442
Battalgazi	104	301483
Kale	29	5384
Arguvan	50	7757
Yazıhan	34	13452
Hekimhan	65	18616
Arapgir	64	10623

Genel olarak değerlendirildiğinde, Malatya'daki yerleşme merkezlerinin idari dağılışı fiziki coğrafya koşulları ile beşerî faktörlerin birlikte etkisiyle şekillenen bir örüntü sunmaktadır. Merkezi ilçeler kentsel fonksiyonların yoğunluğu nedeniyle yüksek yerleşme ve nüfus değerlerine sahipken; kuzey ve güneydeki dağlık ilçelerde yerleşme sayısı ve nüfus belirgin biçimde azalmaktadır. Bu örüntü, yerleşme coğrafyasının doğal çevre koşullarıyla olan sıkı ilişkisini açık biçimde ortaya koymaktadır (Tanoğlu, 1966; Doğanay, 1994; Tapan, 2021).

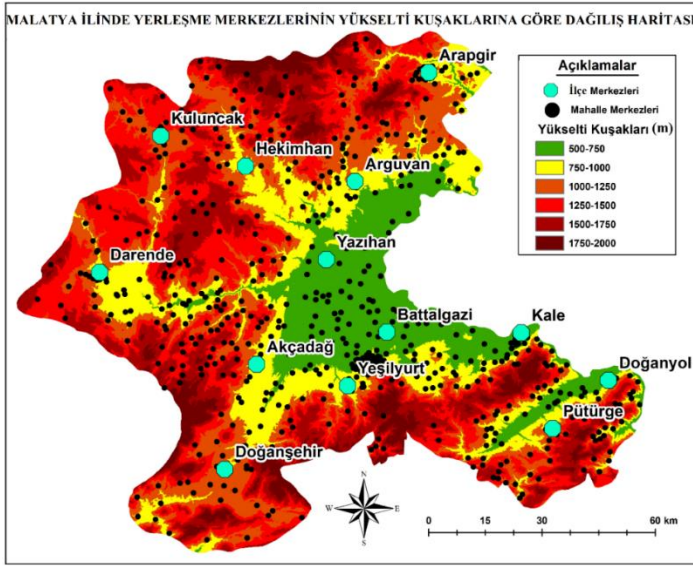
3.1.1. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Yükselti Kuşaklarına Göre Dağılımı

Malatya ilinin topoğrafik yapısı kuzey-güney doğrultusunda belirgin bir hipsometrik farklılaşma göstermektedir. Kuzey kesimlerde yükseltiler 2500 m'ye ulaşırken, merkez ve güney kesimlerde değerlerin 750–1500 m arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yükselti yapısı, yerleşme merkezlerinin mekânsal dağılımını doğrudan etkilemektedir (Şekil 4).

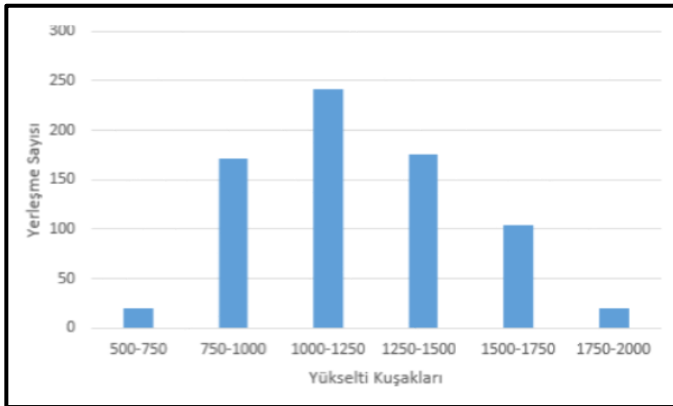


Şekil 4. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin yükseltiye göre dağılışı haritası.

Yükselti kuşaklarına göre Malatya'daki yerleşmelerin dağılışı, 1000–1250 m (242 yerleşme) yükselti kuşağında en yoğun şekilde toplandığı görülmektedir (Şekil 5, Şekil 6). Bu kuşak, plato yüzeylerinin ve hafif dalgalı morfolojilerin yaygın olduğu alanlara karşılık gelmekte hem yerleşime uygun topoğrafya hem de tarımsal kullanım imkânları sunmaktadır. Bu nedenle kırsal yerleşmeler bu kuşakta belirgin biçimde artmaktadır.



Şekil 5. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin yükselti kuşaklarına göre dağılışı haritası.



Şekil 6. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin yükselti kuşaklarına göre dağılışı grafiği.

Nüfusunun en yoğun olduğu yükselti basamağı ise 750-1000 ve 1000-1250 m kuşaklarıdır ($304.542 + 371.467 = 676.009$ kişi) (Tablo 2). Bu yükseklik düzeyi, Malatya Ovası ve çevresindeki kentsel yerleşmelerin bulunduğu alanlara denk gelmektedir. Özellikle Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinin büyük kısmı bu yükselti bandında yer almakta, bu da nüfusun ova tabanlarında yoğunlaştığını göstermektedir.

1250-1500 m ve üzerindeki yükselti kuşaklarında hem yerleşme sayısı hem de nüfusun belirgin biçimde azaldığı görülmektedir. Bu durum, yüksek dağlık alanlarda topoğrafyanın engebeli olması, iklim koşullarının sertleşmesi ve tarım yapılabilirliğinin sınırlanmasıyla açıklanmaktadır. 1750 m üzerindeki alanlarda yerleşme sayısının oldukça düşük olması, Doğu Anadolu Bölgesi'nin genel yerleşme karakteristikleri ile de uyumludur (Tanoğlu, 1966).

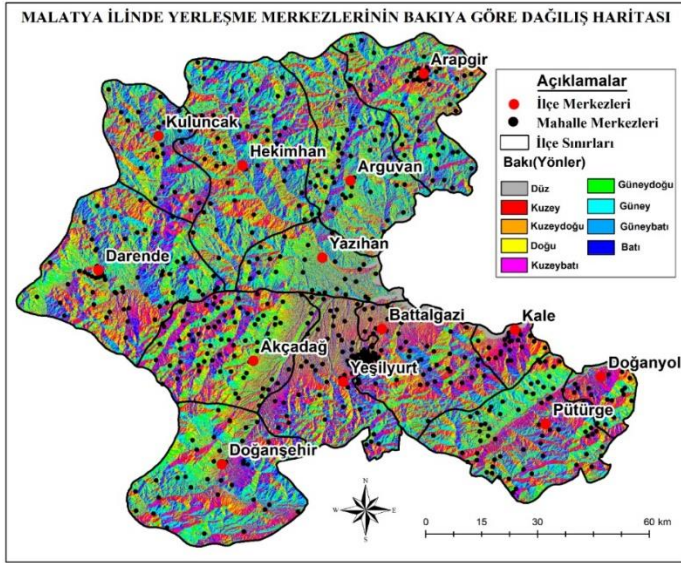
Tablo 2. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun yükselti kuşaklarına göre dağılışı

Yükselti	Yerleşme Merkezi	Nüfus
500-750	20	7.877
750-1000	171	304.542
1000-1250	242	371.467
1250-1500	175	60.658
1500-1750	104	26.354
1750-2000	20	1.996

Bu sonuçlar, yükselti ile yerleşme dağılışı arasındaki ilişkinin Malatya'da oldukça belirgin olduğunu göstermektedir. Yerleşme yoğunluğu, jeomorfolojik uygunluk ve tarımsal potansiyelin en fazla olduğu orta yükselti kuşaklarında en yüksek değerlere ulaşmaktadır (Bayındır, 2006).

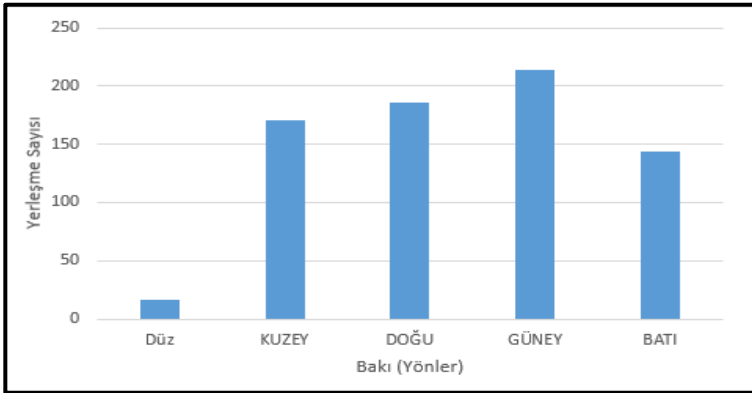
3.2. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Bakı Özellikleri

Bakı faktörü, özellikle güneşlenme süresi, mikroklima oluşumu, tarımsal faaliyetler ve yerleşme tercihleri üzerinde belirleyici olması nedeniyle, Anadolu'daki yerleşme coğrafyası çalışmalarında önemli bir ölçüttür (Tanoğlu, 1954, Doğanay, 1994). Şekil 7'de sunulan harita Malatya ilindeki yerleşme merkezlerinin farklı yönelimlere sahip yamaçlarda nasıl bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin bakıya göre dağılışı haritası.

Bakı özellikleri açısından Malatya'daki yerleşmelerin en çok güney bakılı (214 yerleşme) yamaçlarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 8, Tablo 3). Güney bakılı sahalar, güneş ışınlarını daha dik açıyla aldıkları için ısınma, tarımsal üretim ve yaşam koşulları açısından daha elverişlidir. Bu durum, Malatya'nın kırsal yerleşmelerinde tarımsal faaliyetlerin ve bağ-bahçe tarımının önemli bir yer tutmasıyla da uyumludur. Güney bakının daha fazla tercih edilmesi, özellikle Pütürge, Doğanyol, Arapgir ve Arguvan gibi morfolojik çeşitliliğin belirgin olduğu ilçelerde dikkat çekmektedir.



Şekil 8. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin bakıya göre dağılışı grafiği.

Doğu (186 yerleşme) ve batı bakısına sahip (144 yerleşme) yamaçlarda da önemli sayıda yerleşme bulunması, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kırsal yerleşimlerin vadiler ve arazi eğimi doğrultusunda şekillendiğini göstermektedir. Özellikle vadi tabanlarında uzanan ulaşım koridorları, doğu-batı yönlü bakıların yerleşme tercihinde etkili olmasına neden olmaktadır.

Kuzey bakılı yamaçlarda yer alan yerleşme sayısı 171 olmakla birlikte, bu yönlerde nüfusun oldukça yüksek olduğu görülmektedir (260.572 kişi). Bu durum, bakı faktörünün ova tabanlarında belirgin etkisini yitirmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin Battalgazi ve Yeşilyurt ilçeleri geniş ova tabanlarına sahip olduğundan, bakı değişkeni yerleşme dağılımında belirleyici bir rol oynamaz; dolayısıyla kuzey yönlerine denk gelen geniş düzlüklerde yüksek nüfuslu yerleşmeler bulunabilir. Düz alanlarda (17 yerleşme) yerleşme sayısının düşük görünmesinin nedeni, bu kategorinin yalnızca tamamen bakısız (düz veya düze yakın) yüzeyleri içermesidir; oysa Malatya'nın büyük kısmı hafif eğimli alanlardan oluşmaktadır.

Tablo 3. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun bakıya göre dağılışı.

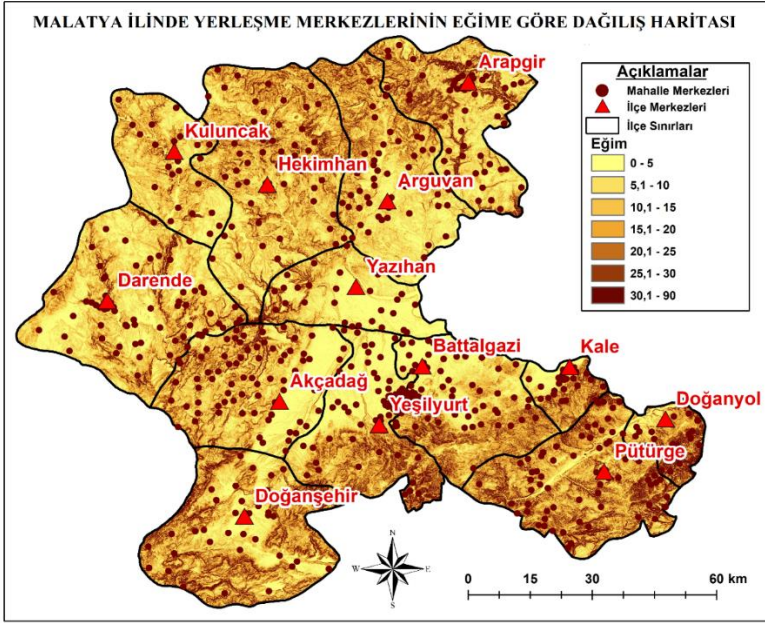
Bakı	Yerleşme Merkezi Sayısı	Nüfus
Düz	17	22989
Kuzey	171	260572
Doğu	186	134707
Güney	214	129763
Batı	144	224863

Yerleşmelerin dağılışına da güçlü biçimde yansımaktadır. Yerleşme sahalarını bakıya göre dağılışı, yerleşmelerin doğal çevre ile uyumlu konumlandığını; tarım, iklim ve topoğrafyanın belirleyici olduğu alanlarda güney, doğu ve batı yönlerinin ön plana çıktığını göstermektedir. Buna karşılık kentsel yerleşmelerde bakının etkisi azalmakta, yerleşme kararları daha çok ekonomik ve sosyo-kültürel dinamiklerle şekillenmektedir.

3.3. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Eğim Özellikleri

Eğim, yerleşmelerin konum seçiminde belirleyici olan temel fiziki faktörlerden biridir. Eğim değerleri; ulaşım maliyetlerini, yapılaşma uygulugunu, tarımsal faaliyetleri ve doğal riskleri doğrudan etkilediği için, yerleşme coğrafyasında kritik bir göstergedir (Erinç, 1993; Atalay, 1994).

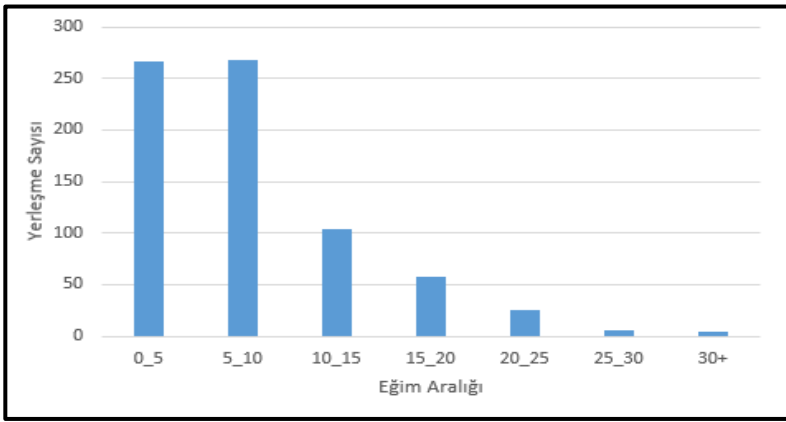
Malatya ilinin kuzey kesimlerinde yüksek dağlık alanlar, merkezinde ova tabanları ve güneyinde plato yüzeyleri olmak üzere farklı eğim kategorileri içerdiğini görülmektedir (Şekil 9). Bu çeşitlilik



Şekil 9. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin eğim aralıklarına göre dağılışı haritası.

Malatya'daki yerleşmelerin ve bu yerleşmelerin sahip olduğu nüfusun büyük çoğunluğu %0-10 eğim değerlerine sahip alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Nitekim; %0-5 eğim aralığına sahip alanlarda 266 adet yerleşme ve toplam 444.520 nüfus, %5-10 eğim aralığında ise 268 yerleşme merkezinde toplam 282.472 kişi bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 10, Tablo 4). Bu iki eğim sınıfı toplamda 534 yerleşme ile il genelindeki yerleşmelerin yaklaşık %70'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu yoğunlaşma, Malatya Ovası, Tohma Vadisi, Karasu havzası ve plato düzlüklerinin yerleşme açısından

sunduğu uygun fiziki koşullardan kaynaklanmaktadır. Düşük eğimli yüzeyler hem yapılaşma kolaylığı hem tarımsal üretim hem de ulaşım açısından ideal ortamlar sunmaktadır. %10'un üzerindeki eğim değerlerine sahip alanlarda ise yerleşme sayısı belirgin biçimde azalmaktadır. Bu durum, özellikle Pütürge, Doğanyol, Arapgir ve Hekimhan gibi engebeli morfolojiye sahip ilçelerde eğimin yerleşme açısından önemli bir sınırlayıcı faktör olduğunu göstermektedir. Eğim arttıkça hem yapı maliyetleri yükselmekte hem de tarım arazilerinin verimliliği düşmektedir.



Şekil 10. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin eğitim aralıklarına göre dağılışı grafiği.

Nüfus açısından bakıldığında en yüksek değerlerin yine düşük eğimli sahalarda toplandığı görülmektedir (Tablo 4). Özellikle Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinde geniş ova tabanları üzerinde bulunan yerleşmeler, nüfusun büyük kısmını oluşturmaktadır. Buna karşılık yüksek eğimli alanlarda nüfusun az olması, hem ekonomik faaliyetlerin sınırlılığı hem de ulaşım zorlukları nedeniyle beklenen bir sonuçtur.

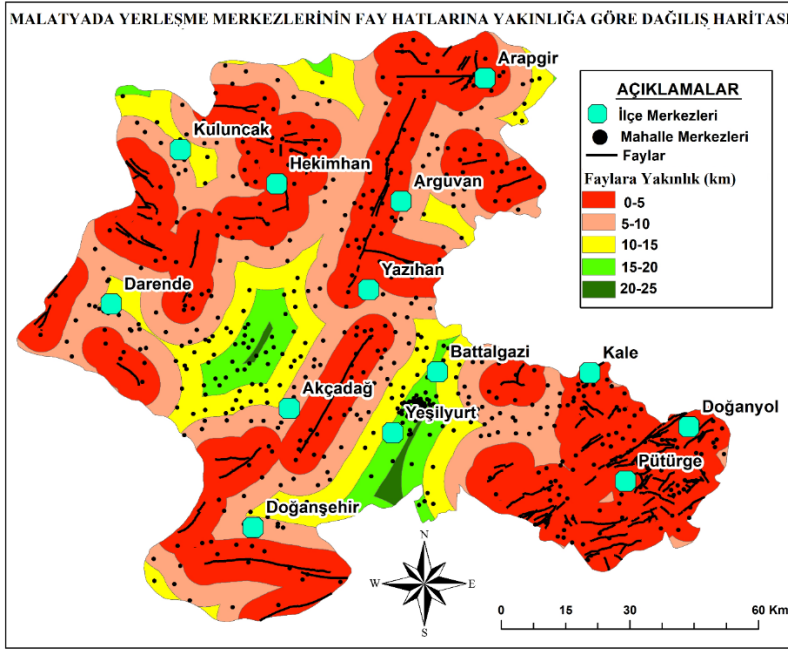
Tablo 4. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun eğim aralıklarına göre dağılışı.

Eğim	Yerleşme Merkezi	Nüfus
0_5	266	444520
5_10	268	282472
10_15	104	23947
15_20	58	15462
20_25	26	4573
25_30	6	1430
30+	4	490

Bu sonuçlar, Malatya’da yerleşmelerin büyük ölçüde jeomorfolojik olarak elverişli alanlarda konumlandığını ve eğimin, yerleşme coğrafyası üzerinde açık bir belirleyicilik taşıdığını göstermektedir.

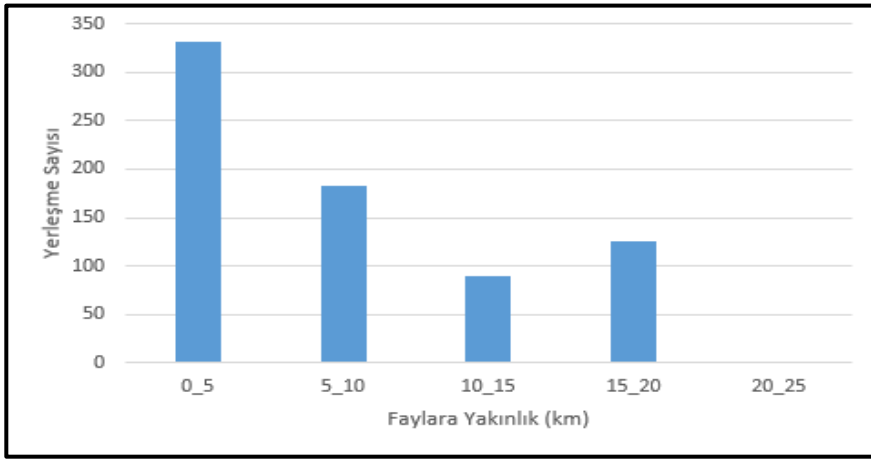
3.4. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Fay Hatlarına Yakınlık Durumu

Malatya ili, Doğu Anadolu Fay Zonu’nun (DAFZ) etkisi altında bulunan ve Türkiye’nin en aktif tektonik kuşaklarından birinde yer alan bir bölgedir (Karadoğan, 1998; Zabcı, 2020). Bu nedenle yerleşmelerin fay hatlarına olan uzaklığı, bölgenin hem tarihsel hem de güncel yerleşme coğrafyasını belirleyen en kritik faktörlerden biridir. Çalışmada MTA’dan temin edilen diri fay hatlarına yakınlık analizi uygulanmış ve 5’er km aralıklar ile tampon bölgeleri oluşturulmuştur (Şekil 11). Elde edilen tampon zonları ile yerleşme konumları karşılaştırılarak fay hatlarına yakınlık açısından yerleşme yerleri ve bu yerleşmelerin sahip olduğu nüfus değerleri incelenmiştir.



Şekil 11. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin fay hatlarına yakınlığa göre dağılışı haritası.

Malatya'daki yerleşmelerin önemli bir bölümünün fay hatlarına yakın zonlarda konumlandığı tespit edilmiştir. Nitekim; 0-5 km bandı: 332 yerleşme, 5-10 km bandı: 182 yerleşme ve 10-15 km bandı: 90 yerleşme bulunmaktadır (Şekil 12, Tablo 5). Bu veriler, özellikle kırsal yerleşmelerin fay hatlarına paralel uzanan vadiler boyunca yoğunlaştığını göstermektedir. Bunun nedeni, fay zonlarının aynı zamanda jeomorfolojik olarak ulaşılabilir ve su kaynakları açısından elverişli vadi koridorları oluşturmalarıdır.



Şekil 12. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin fay hatlarına yakınlığa göre dağılışı grafiği.

Diğer taraftan Malatya'daki en yüksek nüfusun 15-20 km uzaklık bandında toplandığı görülmektedir (Tablo 5). Bu durum, özellikle Battalgazi ve Yeşilyurt gibi kentsel yoğunluklu ilçelerin, fay hatlarından daha güvenli kabul edilen orta mesafeli alanlarda yerleştiğini göstermektedir. Kentleşmenin fay zonlarından görece uzak alanlarda yoğunlaşması, modern dönem yerleşme tercihlerinin deprem güvenliğiyle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun fay hatlarına yakınlığa göre dağılışı.

Fay Hatlarına	Yerleşme Merkezi	Nüfus
0-5	332	104.276
5-10	182	89.395
10-15	90	67.342
15-20	126	510.709
20-25	2	1.172

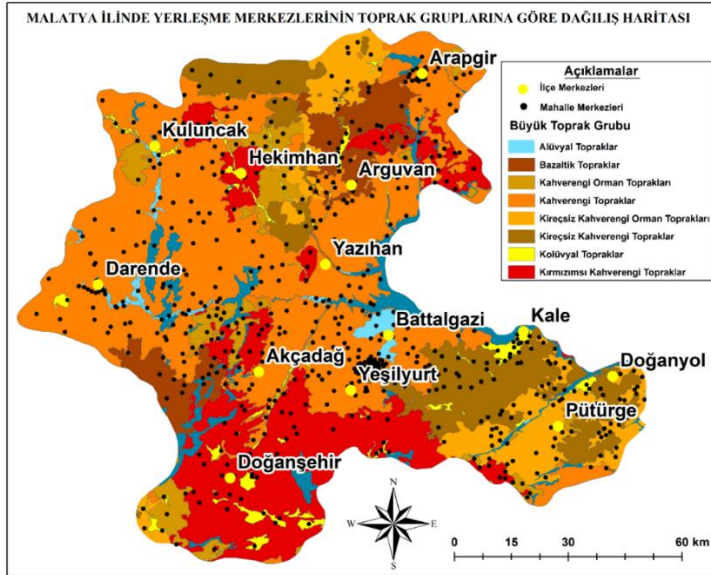
0–5 km bandında yer alan yerleşme sayısının fazla olması, Malatya'nın özellikle güney ve doğu kesimlerinde fay zonlarının yüzeyde belirgin vadiler oluşturmasıyla ilişkilidir. Bu vadiler su kaynaklarının varlığı, tarım yapılabilirliği ve tarihsel güzergâhların burada uzanması nedeniyle kırsal yerleşmeler için doğal cazibe alanlarıdır. Ancak aynı zamanda yüksek sismik risk taşıdıkları için planlama açısından dikkat edilmesi gereken alanlardır. +20

km uzaklıktaki alanlarda yerleşme sayısının oldukça az olması, ilin morfolojik yapısı ve fay hatlarının ilin büyük bölümünü etkilemesiyle açıklanabilir. DAFZ'nın Malatya ilinin güneyinden geçen doğrultusu, il sınırlarının büyük kısmını fay etkisi altına sokmaktadır.

Genel olarak Malatya'da yerleşme-fay hatlarına yakınlık ilişkisi, hem doğal çevresel zorunluluklar hem de beşerî tercihler tarafından şekillenen ikili bir yapıya sahiptir. Kırsal yerleşmeler vadiler boyunca fay zonlarına çekilirken, kentsel gelişim daha güvenli alanlara yönelmiştir.

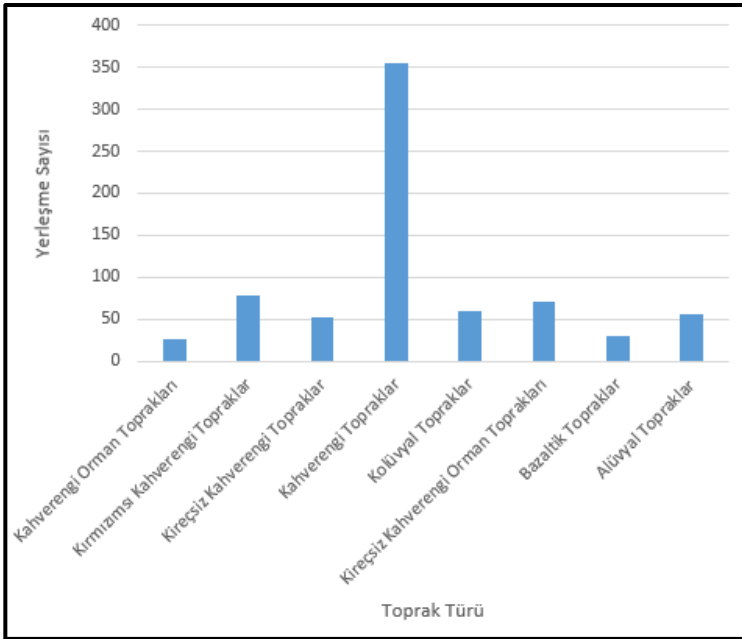
3.5. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Toprak Gruplarına Göre Dağılımı

Toprak özellikleri, yerleşme alanlarının dağılımını belirleyen temel doğal coğrafya faktörlerinden biridir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, tarımsal üretim potansiyelini ve dolayısıyla kırsal yerleşme yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Malatya ilinde, iklim ve jeolojik çeşitlilik sayesinde farklı toprak grupları bir arada görülmektedir. Çalışmada yerleşmelerin toprak gruplarına göre dağılımlarının incelenmesi için Toprak Türleri katmanı ile Yerleşme katmanı çakıştırılmış (Şekil 13) ve istatistiki veriler hesaplanmıştır.



Şekil 13. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin toprak türlerine göre dağılım haritası.

Malatya’da yerleşme sayısının ve nüfusun en fazla dağılış gösterdiği toprak grubu Kahverengi Topraklar’dır (355 adet yerleşme merkezi ve 602.312 nüfus) (Şekil 14, Tablo 6). Bu topraklar, Malatya Ovası ve çevresindeki plato sahalarında geniş yer kaplamakta, iyi drene olan yapıları ve tarımsal verimlilikleriyle yerleşmeler için elverişli koşullar sunmaktadır. Ova tabanlarının uzun yıllardır tarım ve bahçecilik için tercih edilmesi, bu alanlardaki yerleşme yoğunluğunu artırmıştır.



Şekil 14. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin toprak türlerine göre dağılış grafiği.

Yerleşme açısından önemli diğer bir toprak sınıfı Alüvyal Topraklar’dır. Bu topraklar akarsu vadilerinde ve ova tabanlarında görülür ve yüksek verimlilikleri nedeniyle hem tarımsal üretimi hem de yerleşme yoğunluğunu desteklemektedir. Tohma, Karasu ve Fırat havzalarındaki kırsal yerleşmelerin bu alanlarda kümelenmesi bu durumun bir sonucudur.

Kırmızımsı Kahverengi Topraklar (79 yerleşme, 38.548 nüfus) ve Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları (71 yerleşme, 14.808 nüfus) ise özellikle kuzey ve doğu kesimlerde görülen, yerleşme için orta derecede elverişli topraklardır. Bu alanlarda yerleşme sayısı belirli bir düzeyde olmakla

birlikte, nüfus yoğunluğu ova tabanlarına göre daha düşüktür. Bu durum hem eğimin artması hem de tarım yapılabilirliğinin sınırlı olmasıyla açıklanabilir.

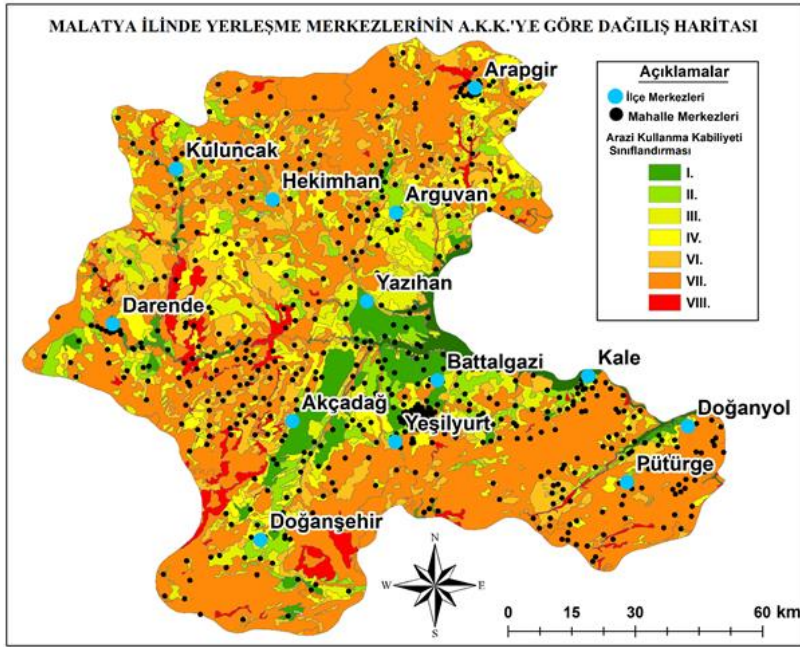
Tablo 6. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun toprak türlerine göre dağılışı.

Toprak Türü	Yerleşme	Nüfus
Kahverengi Orman	27	6.420
Kırmızımsı Kahverengi	79	38.548
Kireçsiz Kahverengi	52	12.792
Kahverengi Topraklar	355	602.312
Kolüvyal Topraklar	60	31.908
Kireçsiz Kahverengi	71	14.808
Bazaltik Topraklar	31	5.575
Alüvyal Topraklar	57	60.531

Bazaltik Topraklar ve Kolüvyal Topraklar üzerinde ise yerleşme yoğunluğu daha düşüktür. Bazaltik alanlar tarımsal çeşitliliği sınırlamakta ve dağlık plato morfolojisiyle birleştiğinde yerleşme açısından daha az tercih edilmektedir. Kolüvyal alanlar ise akarsu ağızlarında ve yamaç eteklerinde birikme malzemeleriyle oluştuğu için yerleşme açısından yer yer risk oluşturabilmektedir. Malatya ili genelinde en düşük yerleşme yoğunluğu Kahverengi Orman Toprakları grubunda tespit edilmiştir.

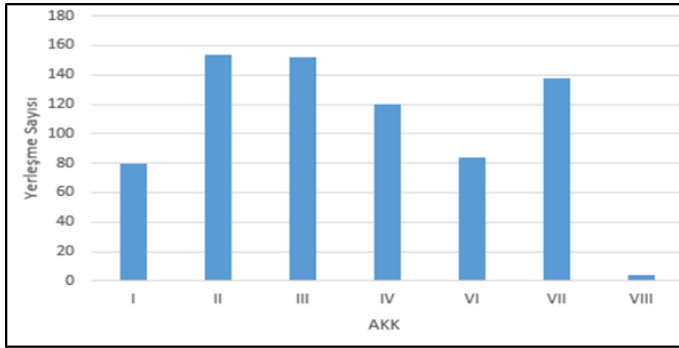
3.6. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Arazi Kullanım Kabiliyetine Göre Dağılımı

Arazi Kullanım Kabiliyeti (AKK), bir arazinin doğal özelliklerine göre hangi kullanım türüne elverişli olduğunu belirleyen temel sınıflandırma sistemidir. İklim, toprak derinliği, drenaj, eğim, erozyon ve jeolojik yapı gibi faktörlere dayanan bu sınıflandırma; özellikle kırsal yerleşmelerin konum seçimi üzerinde belirleyici bir rol oynar. Şekil 15'te verilen harita Malatya ilindeki yerleşmelerin Arazi Kullanım Kabiliyetine göre nasıl bir dağılım gösterdiğini açık biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 15. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin AKK'ye göre dağılışı haritası.

Malatya ilindeki yerleşmelerin büyük bir kısmının I, II ve III. sınıf arazi alanları üzerinde toplandığı görülmektedir (I. sınıf: 80 yerleşme, 114.362 nüfus; II. sınıf: 154 yerleşme, 442.683 nüfus; III. sınıf: 152 yerleşme, 99.279 nüfus) (Şekil 16, Tablo 7). Bu üç sınıf, tarım açısından yüksek ve orta derecede elverişli alanlara karşılık gelmektedir. Yerleşmelerin bu alanlarda yoğunlaşması, hem tarımsal üretim olanaklarının varlığı hem de ova ve plato yüzeylerinin sağladığı uygun topoğrafya ile ilişkilidir. Özellikle Malatya Ovası'nın geniş alan kapladığı Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinde, yerleşmelerin bu verimli sahalarda kümelenmesi beklenen bir durumdur.



Şekil 16. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin AKK'ye göre dağılışı grafiği.

Arazi Kullanım Kabiliyeti açısından IV., VI. ve VII. sınıflarında yerleşme sayısının daha düşük olduğu görülmektedir (IV: 120 yerleşme, 29.692 nüfus; VI: 84 yerleşme, 25.254 nüfus; VII: 138 yerleşme, 61.108 nüfus). Bu sınıflar, eğimli, erozyona açık veya toprak derinliği bakımından sınırlı alanları temsil etmektedir. Bu tür arazilerde tarım yapılabilirliği düşük olduğu için yerleşme yoğunluğu daha sınırlıdır. Bu durum özellikle Pütürge, Hekimhan, Arapgir ve Arguvan gibi topografik çeşitliliğin yüksek olduğu ilçelerde belirginleşmektedir.

En düşük yerleşme sayısı, doğal koşullar bakımından yerleşmeye en az uygun olan VIII. sınıf üzerinde görülmektedir (4 yerleşme – 516 nüfus). Bu sınıf; genellikle kayalık, çok eğimli, erozyona açık ve tarıma uygun olmayan sahalardan oluşmaktadır. Bu alanlarda yerleşmelerin son derece az olması, arazi kabiliyeti ile yerleşme coğrafyası arasındaki güçlü ilişkiyi açık biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 7. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun AKK'ye göre dağılışı.

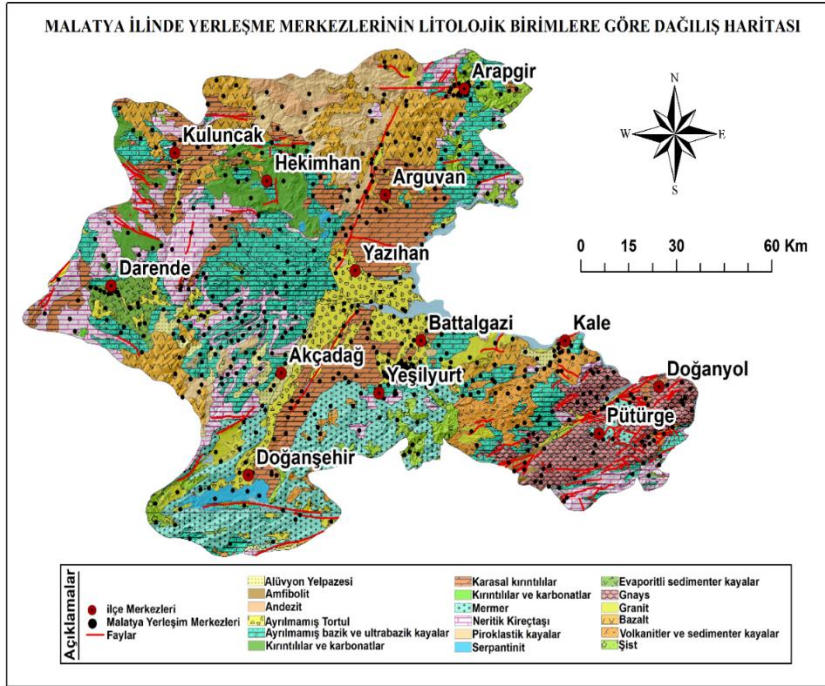
AKK	Yerleşme Merkezi Sayısı	Nüfus
I	80	114362
II	154	442683
III	152	99279
IV	120	29692
VI	84	25254
VII	138	61108
VIII	4	516

Bu sonuçlar, Malatya'daki yerleşme dağılışının toprak verimliliği ve arazi uygunluğu ile yüksek ölçüde örtüştüğünü göstermektedir. Yerleşmelerin doğal çevreye uyumlu bir dağılım gösterdiği; özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda yerleşmelerin daha fazla kümелendiği anlaşılmaktadır.

3.7. Malatya İlinde Yerleşim Alanlarının Litolojik Birimlere Göre Dağılımı

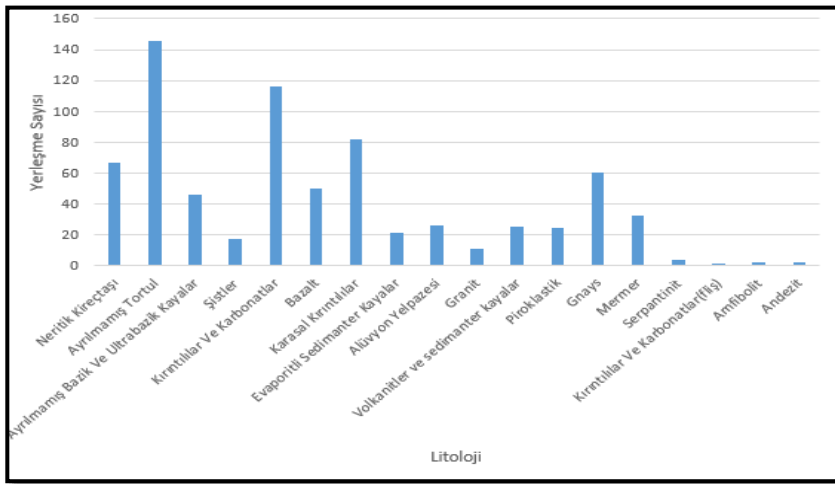
Litolojik birimler, bir bölgedeki yerleşmelerin dağılışı, gelişimi ve mekânsal örgütlenmesi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Kayaçların dayanıklılığı, geçirgenliği, ayrışma özellikleri, taşıma kapasitesi ve deformasyon davranışları gibi fiziksel ve mekanik özellikleri; hem yerleşme alanlarının seçiminde hem de yapılaşmanın niteliğinde önemli rol oynar. Örneğin, sağlam ve yüksek dayanımlı kayaçlardan oluşan litolojik birimler üzerinde kurulan yerleşmeler daha istikrarlı zemin koşullarına sahipken, kil, marn veya alüvyon gibi zayıf mühendislik özelliklerine sahip birimler üzerine kurulan yerleşmelerde zemin sıvılaşması, oturma, heyelan ve deprem etkilerinin şiddetlenmesi gibi riskler artmaktadır. Ayrıca litolojik çeşitlilik, topografyanın şekillenmesini doğrudan etkilediği için yerleşmelerin vadi tabanları, yamaçlar veya plato yüzeyleri gibi farklı morfolojik birimlerde konumlanmasına da yön verir. Bu açıdan bakıldığında litoloji, hem doğal afet duyarlılığını hem de yerleşimlerin sürdürülebilirliğini belirleyen kritik bir faktördür ve yerleşme planlamasında mutlaka dikkate alınması gereken temel jeolojik parametrelerden biridir.

Malatya ilinin jeolojik yapısı, yerleşme alanlarının dağılışını belirleyen temel faktörlerden biridir. Bölge farklı yaş ve kökenlere sahip kayaç birliklerinden oluşmakta; bu çeşitlilik zemin dayanımı, geçirgenlik, heyelan eğilimi ve tarımsal verimlilik gibi özellikler üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Malatya ilinde yerleşmelerin litolojik birimlere göre dağılışı Şekil 17'de gösterilmektedir.



Şekil 17. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin litolojik birimlere göre dağılışı haritası.

Çalışma alanında yerleşme merkezlerinin en yoğun bulunduğu litolojik birimler alüvyon, kireçtaşı, bazalt ve metamorfik kayalardır (Şekil 18, Tablo 8). Alüvyal birimler; ova tabanları, vadi içleri ve akarsu kenarlarında yer alan genç, verimli ve kolay işlenebilir tortul malzemelerden oluşmaktadır. Malatya Ovası, Karasu ve Tohma vadileri gibi yerlerde alüvyonların yaygın olması, bu alanların hem tarım hem de yerleşme açısından yüksek çekicilik taşımasına neden olmuştur. Battalgazi ve Yeşilyurt gibi nüfusun çok yoğun olduğu ilçelerde alüvyonun yüksek paya sahip olması bu bulguyu doğrulamaktadır.



Şekil 18. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin litolojik birimlere göre dağılışı grafiği.

Kireçtaşı birimleri Malatya'nın özellikle kuzeydoğu, güneybatı ve bazı plato alanlarında geniş yer kaplamaktadır. Kireçtaşlarının yerleşme açısından tercih edilmesinin nedeni, nispeten sağlam bir zemin oluşturmaları ve su kaynaklarıyla ilişkili karstik oluşumlara ev sahipliği yapmalarıdır. Bununla birlikte, eğimli alanlarda karstik yapı yerleşme risklerini artırabilse de Malatya örneğinde kireçtaşı çoğunlukla orta eğimli ve yerleşime elverişli bölgelerde görülmektedir. Metamorfik birimler (şist, gnays vb.) özellikle Arapgir, Hekimhan ve Arguvan çevresinde yaygındır. Bu kayalar zemin dayanımı açısından farklı özellikler gösterebilmekte, bazı kesimlerde yerleşme için uygun şartlar sağlarken bazı alanlarda heyelan ve kütle hareketleri gibi riskler oluşturabilmektedir. Bu nedenle metamorfik alanlarda yerleşme sayısı orta düzeyde olup nüfus yoğunluğu sınırlıdır.

Bazaltik sahalar Malatya'nın özellikle Doğanşehir, Akçadağ ve Kuluncak çevresinde görülmektedir. Bazalt, sağlam bir zemin oluşturmaları nedeniyle yerleşme açısından avantajlıdır; ancak yüzeyin geçirimsiz olması tarımsal faaliyetleri sınırlandırmaktadır. Bu nedenle bazaltik alanlarda yerleşme sayısı belirli düzeyde olsa da nüfus genellikle düşüktür. Bazalt sahalarında kırsal yerleşmelerin küçük ve dağınık olması, morfolojik zorluğun yerleşme dokusuna yansımalarıdır.

Tortul ve Volkanik Birimler (kumtaşı, kıltaşı, tuf, aglomera vb.) üzerinde yerleşme sayısı daha düşük olup zemin şartlarının değişkenlik göstermesi bu durumu açıklamaktadır. Bazı tortul birimler yerleşme için elverişli olsa da, özellikle tuf ve aglomera gibi gevşek yapılı kayalar erozyona açık oldukları için yerleşme tercihlerini sınırlandırmaktadır.

Şekil 8. Malatya ilinde bulunan yerleşme merkezlerinin ve nüfusun litolojik birimlere göre dağılışı.

Litoloji	Yerleşme	Nüf
Neritik Kireçtaşı	67	651
Ayrılmamış Tortul	146	392
Ayrılmamış Bazik Ve	46	190
Şistler	17	186
Kırıntılılar Ve Karbonatlar	116	163
Bazalt	50	154
Karasal Kırıntılılar	82	155
Evaporitli Sedimanter	21	198
Alüvyon Yelpazesi	26	198
Granit	11	210
Volkanitler ve sedimanter	25	541
Piroklastik	24	158
Gnays	60	811
Mermer	32	167
Serpantinit	4	122
Kırıntılılar Ve	1	38
Amfibolit	2	163
Andezit	2	81

Sonuç itibariyle Malatya'daki yerleşim coğrafyasının jeolojik yapıyla yakından ilişkili olduğunu ve litolojinin yerleşme seçimlerinde belirleyici bir çevresel faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışma, Malatya ilindeki yerleşme merkezlerinin doğal coğrafya özellikleriyle ilişkisini CBS tabanlı analizler aracılığıyla incelemiş ve yerleşme dağılımını belirleyen temel faktörleri mekânsal veriler ışığında ortaya koymuştur. Bulgular, yerleşme coğrafyasının Malatya özelinde belirgin

biçimde fiziki çevrenin yönlendirici etkisi altında şekillendiğini göstermektedir.

Malatya’da yerleşme sayısı ve nüfusun özellikle Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinde yoğunlaştığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu iki ilçe, hem coğrafi konum hem de topoğrafik uygunluk açısından ilin en elverişli alanlarını oluşturmaktadır. Buna karşılık Doğanyol, Kale ve Kuluncak gibi engebeli ve ulaşım bağlantılarının sınırlı olduğu ilçelerde yerleşme sayısının düşük olması, fiziki coğrafyanın yerleşme seçimindeki belirleyici rolünü açıkça göstermektedir.

Yükselti analizleri, Malatya’daki yerleşmelerin büyük ölçüde orta yükselti basamaklarında (750–1250 m) toplandığını ortaya koymuştur. Bu alanlar, ova tabanları ve plato yüzeylerinin bir arada bulunduğu hem kentsel genişleme hem de kırsal yerleşme için uygun zeminler sunan sahalardır.

Yerleşmelerin bakıya göre dağılışı açısından güney yönlerinin kırsal yerleşmeler için açık bir tercihe dönüştüğünü; buna karşın ova tabanlarında bakının belirleyiciliğini yitirdiğini göstermektedir.

Eğim analizleri, yerleşmelerin büyük çoğunluğunun %0-10 eğimli sahalarda yer aldığını göstermektedir. Bu durum, ulaşım kolaylığı, yapılaşma uygunluğu ve tarımsal verimlilik açısından avantajlı olan düşük eğimli sahaların tarihsel ve güncel yerleşmeler için doğal bir çekim alanı oluşturduğunu göstermektedir.

Çalışmanın en kritik bulgularından biri, fay hatlarına yakınlık analizidir. Yerleşmelerin önemli bir kısmı fay zonlarına 0-10 km mesafede yer almasına rağmen, nüfusun büyük çoğunluğu 15-20 km bandında yoğunlaşmıştır. Bu durum, kırsal yerleşmelerin morfolojik zorunluluklar nedeniyle fay vadilerine yöneldiğini; buna karşılık kentsel yerleşmelerin daha güvenli kabul edilen alanlarda geliştiğini göstermektedir.

Toprak gruplarına göre, kahverengi topraklar ve alüvyal toprakların yerleşme açısından yüksek çekim gücüne sahip olduğunu göstermiştir. Bu toprak türlerinin verimlilik düzeyi ve tarım potansiyeli, özellikle kırsal yerleşmelerin bu alanlarda yoğunlaşmasını açıklamaktadır. Buna karşılık bazaltik ve metamorfik alanlarda yerleşme sayısının düşük olması hem tarımsal sınırlılık hem de zemin özellikleriyle ilişkilidir.

Arazi Kullanım Kabiliyeti açısından, I., II. ve III. sınıf arazilerin yerleşme açısından en yoğun kullanılan alanlar olduğunu ortaya çıkmıştır. Bu

sınıflar hem tarıma elverişli hem de topoğrafik olarak uygun sahaları temsil etmektedir. Buna karşın VI., VII. ve VIII. sınıf arazilerde yerleşme sayısının sınırlı olması, doğal koşulların yerleşim üzerindeki belirleyici etkisini açık biçimde göstermektedir.

Son olarak litolojik değerlendirme, yerleşmelerin büyük ölçüde sağlam zemin özellikleri sunan kireçtaşları ile verimli ve işlenebilir alüvyonlar üzerinde yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Bazaltik ve metamorfik alanlarda yerleşme sayısının düşük olması, zemin koşullarının ve tarımsal verimliliğin yerleşme kararları üzerindeki etkisini destekleyen önemli bir bulgudur.

Katkı Belirtme: Bu çalışmaya katkı sunan öğrencilerim Zeynep KILINÇ ve Rabia ILIKAN'a teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Atalay, İ., (1994), *Türkiye Coğrafyası* (Genişletilmiş 4. Baskı) Ege Üniv. Basımevi, İzmir.
- Bayındır, F. (2006). *Malatya İlinde Genel Arazi Kullanımının Yükselti Kuşaklarına Göre Değişimi* (Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Doğanay H. (1994). *Türkiye Beşeri Coğrafyası*, Gazi Büro Kitapevi, Ankara
- Doğanay, H., Özdemir, Ü., & Şahin, İ. F. (2011). *Genel Beşeri ve Ekonomik Coğrafya*. PEGEM Akademi.
- Elibüyük, M., (1994), *Malatya Coğrafyası. Malatya Kültür Dergisi*, s:2, sf:1-12.
- Erinç, S., (1993), *Türkiye Fiziki Coğrafyasının Ana Çizgileri. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni*, S.10, s. 1-10. İstanbul.
- Güvercin, S. E., Karabulut, H., Konca, A. Ö., Doğan, U., & Ergintav, S. (2022). Active seismotectonics of the East Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 230(1), 50-69.
- Karadoğan, S. (1998). *Kuruluş yeri açısından Malatya şehri ve yakın çevresinin jeomorfolojisi* (Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Tanoğlu, A. (1966). *Nüfus ve Yerleşme*. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Tanoğlu, A., (1954), *İskân Coğrafyası: Esas Fikirler, Problemler ve Metod. İstanbul Üniv. Türkiyat Enstitüsü Mecmuası*, c. 11, sy. 27, s. 1-32. İstanbul.
- Tapan, İ. (2021). *Malatya ilinde nüfusun gelişimi ve dağılışı: 1927-2019. Fikriyat*, 1(1), 27-53.
- Tunçdilek, N., (1986), *Türkiye'de Yerleşmenin Evrimi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3367, İstanbul.
- Zabcı, C., (2020). *Malatya Fayı'nın morfometrik özellikleri. Türk Coğrafya Dergisi*, (75), 107–118.

III

Kültürel Miras, Afetler ve Mekânsal Karar Destek Sistemleri

(Risk → planlama → karar desteği)

BÖLÜM 6

ANADOLU'DA KÜLTÜREL MİRAS VE DEPREMLER: TARİHSEL BİR BAKIŞ AÇISI

¹Dr. Öğretim Üyesi | Enes KARADENİZ

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18072207>

¹ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, enes.karadeniz@inonu.edu.tr, ORCID ID
0000-0003-0757-8553

GİRİŞ

Anadolu Yarımadası, tarih boyunca farklı uygarlıkların buluştuğu bir kültürel kavşak olmasının yanı sıra, levha tektoniğinin en hareketli zonlarından biri üzerinde yer almaktadır. Afrika, Arap ve Avrasya levhalarının etkileşim alanında bulunan bölge, Alp Himalaya kuşağının önemli bir parçasını oluşturmakta ve bu jeodinamik konum Anadolu'yu küresel ölçekte en etkin sismik bölgelerden biri haline getirmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu nedenle, tarih öncesi yerleşmelerden Helenistik ve Roma kentlerine, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerine kadar uzanan çok katmanlı kültürel miras dokusu, yüzyıllar boyunca tekrarlayan depremlerle şekillenmiş bir peyzaj üzerinde varlığını sürdürmektedir.

Arkeolojik ve jeolojik incelemeler, Anadolu'daki pek çok antik kentte deprem kaynaklı hasar ve yeniden inşa evrelerinin belirgin olduğunu göstermektedir. Hierapolis, Laodikeia ve Myra gibi yerleşmelerde traverten seviyeleri, kırık sistemleri ve mimari kalıntılar bir arada değerlendirildiğinde, depremlerin hem kentsel morfolojiyi hem de yapı teknolojilerini dönüştüren temel bir etken olduğu anlaşılmaktadır (Hancock ve Altunel, 1997; Rodríguez-Pascua ve diğ., 2011; Softa ve diğ., 2018). Bu bulgular, arkeosismoloji alanındaki araştırmalarla birlikte ele alındığında, antik toplumların depremlerle başa çıkma biçimlerinin sadece mühendislik ve mimari düzeyde değil, aynı zamanda sosyal ve sembolik düzeyde de yansıma bulduğunu ortaya koymaktadır (Ambraseys, 1971).

Tarihsel yazılı kaynaklar, depremlerin fiziksel tahribatın ötesinde, toplumsal hafızanın şekillenmesinde de belirleyici olduğunu göstermektedir. Antik yazarlar, depremleri kimi zaman tanrısal bir uyarı, kimi zaman siyasal yeniden yapılanma için bir dönüm noktası veya kentsel düzenin sorgulandığı bir kırılma anı olarak betimlemiştir (Guidoboni ve diğ., 1994; Rodríguez-Pascua ve diğ., 2011). Bu çerçevede, depremler Anadolu'nun kültürel peyzajında hem yıkıcı bir tehlike hem de yeniden inşa ve uyum süreçlerini tetikleyen dönüştürücü bir dinamik olarak ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde ise Anadolu'nun zengin somut ve somut olmayan kültürel mirası, yalnızca sismik tehlikeler nedeniyle değil, aynı zamanda hızlı kentleşme, bakım eksiklikleri, turizm baskısı ve iklim değişikliği gibi ek stresler nedeniyle daha karmaşık bir risk ortamıyla karşı karşıyadır. 1999 İzmit, 2011 Van, 2020 İzmir/Samos ve 2023 Kahramanmaraş depremlerinin ardından hazırlanan teknik değerlendirmeler, özellikle taş örgü, kerpiç, ahşap karkas ve karma duvar sistemine sahip geleneksel yapıların yüksek hasar potansiyeli taşıdığını göstermektedir (Coburn ve Spence, 2002; Gülkan ve Sozen, 1974). Bu durum, kültürel miras alanlarında afet risk azaltımı süreçlerinin güncel veri, disiplinlerarası yöntem ve güçlü mevzuat ile desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Uluslararası düzeyde Sendai Afet Risklerinin Azaltılması Çerçevesi (2015-2030), afet risklerinin azaltılmasını ve “yeniden daha iyi inşa etme” yaklaşımını kültürel ve doğal miras dahil tüm varlıklar için temel bir amaç olarak tanımlamaktadır. UNESCO Dünya Mirası Sözleşmesi ve ona bağlı uygulama rehberleri, dünya mirası alanlarında afet risklerinin tanımlanması, değerlendirilmesi ve yönetilmesine yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır (UNESCO, 2010). Türkiye’de ise 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, kültürel varlıkların korunmasına ilişkin temel yasal zemini oluşturmaktadır. Bununla birlikte uygulamada mevcut veri eksiklikleri, kurumsal koordinasyon sorunları ve afet odaklı yönetim planlamasının sınırlı düzeyde olması, kültürel miras alanlarının depremler karşısındaki kırılganlığını artırmaktadır (Oktay ve diğ., 2020).

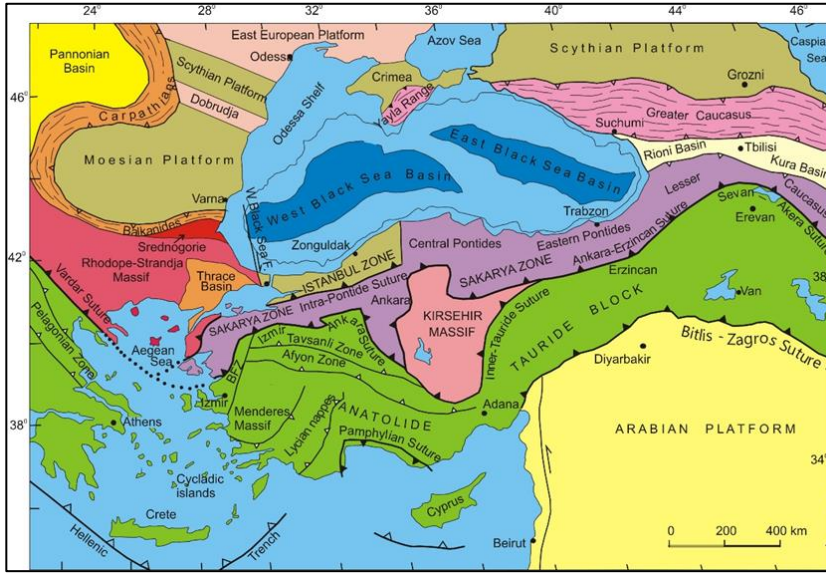
Bu bölüm, Anadolu’da depremler ile kültürel miras arasındaki etkileşimi tarihsel ve güncel boyutlarıyla birlikte ele almayı amaçlamaktadır. Jeodinamik ortam, tarihsel sismisite ve arkeosismolojik bulgular, kültürel miras alanlarının kırılganlıkları ve modern afet yönetimi yaklaşımlarıyla bütünleştirilerek, geçmişten günümüze uzanan bir risk sürekliliği ortaya konulmaktadır. Bu sayede antik dönemden günümüze biriken deneyimin, günümüzün kültürel miras koruma ve afet yönetimi stratejilerine nasıl yansiyebileceği tartışılmakta, gelecekteki

depremlere karşı daha dayanıklı ve sürdürülebilir bir koruma yaklaşımının geliştirilmesine katkı sunulmaktadır.

1. ANTİK ANADOLU'DA SİSMİK AKTİVİTE

Doğu Akdeniz; Anadolu, Afrika, Arap ve Avrasya levhaları arasında gelişen karmaşık bir çarpışma ve kaçış tektoniği kuşağı üzerinde yer almaktadır. Son otuz yıla ait GPS verileri, Anadolu bloğunun Avrasya'ya göre batıya doğru dönmeli bir hareketle, yılda yaklaşık 20-25 mm mertebesinde yer değiştirdiğini ve bu hareketin büyük ölçüde Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Ege açılma rejimi boyunca soğurulduğunu göstermektedir (Reilinger ve diğ., 2006; Aktuğ ve diğ., 2013; England ve diğ., 2016). Bu güncel hız alanları, hem tarihsel hem de aletsel deprem kayıtlarının yorumlandığı temel jeodinamik arka planı tanımlamakta ve Türkiye'nin güncel deformasyon desenini nicel olarak ortaya koymaktadır.

Anadolu'nun neotektonik gelişimi, kapanan NeoTetis okyanusuna ait sutur kuşakları ile bunların üzerinde gelişen geç Senozoyik genişleme ve dönmeli blok tektoniği ile birlikte ele alınmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Son yıllarda blok modellemeye dayalı çalışmalar, Anadolu levhasının iç yapısını ve farklı deformasyon zonlarını daha ayrıntılı bir biçimde tanımlamaktadır. Orta Anadolu'da sıkışmalı kama yapıları, batıda ise Ege ve Batı Anadolu genişleme rejimi ile ilişkili çek ayrır havzaları ve çekirdek komplekslerini ortaya koymaktadır (Seyitoğlu ve Esat, 2022; Seyitoğlu ve diğ., 2016; Reilinger ve diğ., 2006). Böylece, geleneksel “tek parça halinde kayan blok” yaklaşımı, yerini, iç deformasyonu ve ikincil fay zonlarını da dikkate alan daha ayrıntılı bir neotektonik modele bırakmaktadır (England ve diğ., 2016). Bu yapısal birimlerin mekânsal dağılımı ve sutur zonlarının Anadolu'daki konumu Figure 1'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir (Okay & Tüysüz, 1999).



Figür 1: Anadolu'nun başlıca tektonik zonları ve suture kuşakları. Sakarya Zonu, Kırşehir Masifi ve Torid Bloğu gibi ana tektonik birimlerin yanı sıra İntra-Pontid, Ankara, Erzincan ve Bitlis, Zagros suture zonlarının konumları gösterilmektedir. Kaynak: Okay & Tüysüz (1999).

Bu çerçevede Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Anadolu bloğunun batıya doğru kaçışını taşıyan başlıca doğrultu atımlı fay zonu olarak öne çıkmaktadır. Uydu jeodezisi, blok modelleme ve paleosismolojik çalışmalar, KAF boyunca ortalama sağ yanal kayma hızının 20-25 mm/yıl mertebesinde olduğunu ve 20. yüzyılda doğudan batıya göç eden deprem dizisinin, gerilme aktarımı ile tetiklenen “ilerleyici kırılma” senaryosu ile açıklanabildiğini ortaya koymuştur (Stein ve diğ., 1997; Fraser ve diğ., 2010; Reilinger ve diğ., 2006). Güncel çalışmalar ayrıca, KAF’ın güney kolları, Marmara içi segmentleri ve Orta Anadolu’daki ikincil yapıların, levha sınırı ölçeğindeki hareketin iç deformasyonla nasıl paylaşıldığını anlamak için kritik olduğunu göstermektedir (Şengör ve diğ., 2005; Seyitoğlu ve diğ., 2016; Seyitoğlu ve Esat, 2022).

Neotektonik çerçevenin güncellenmesinde, ulusal diri fay haritaları ve sayısal fay veri tabanları da önemli bir rol oynamaktadır. MTA öncülüğünde üretilen 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası ve bunu temel alan aktif fay veri tabanı, ülke çapında 400’den fazla önemli sismik kaynak segmentini, bunların geometri, kayma hızı,

sismojenik derinlik ve beklenen maksimum magnitüd gibi parametreleriyle birlikte sunmaktadır (Emre ve diğ., 2013; Emre ve diğ., 2018). Bu veri tabanı, güncel GPS tabanlı kayma hızları ve paleosismolojik bulgularla birleştirildiğinde, hem ulusal sismik tehlike haritalarında hem de belirli fay segmentleri için uzun dönemli deprem periyodu ve tekrarlanma aralığı değerlendirmelerinde temel bir girdi sağlamaktadır (Emre ve diğ., 2018).

Tüm bu jeodinamik ve neotektonik bulgular, tarihsel deprem kataloğu ve paleosismolojik çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde, Anadolu'nun farklı alt bölgelerinde birikmiş gerilme, olası kırılma senaryoları ve bu senaryoların yerleşim alanları ile kültürel miras sahaları üzerindeki etkileri hakkında daha bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (Stein ve diğ., 1997; Şengör ve diğ., 2005; Emre ve diğ., 2018). Dolayısıyla, güncel tektonik modellemeler ile tarihsel arkeosismolojik verilerin entegrasyonu, yalnızca bölgesel sismik tehlike değerlendirmesi için değil, aynı zamanda kültürel peyzajın uzun dönemli evrimini ve kırılganlığını anlamak için de vazgeçilmez bir araç konumundadır.

2. SİSMİK BÖLGELERDEKİ KÜLTÜREL MİRAS

Sismik olarak etkin kuşaklarda yer alan kültürel miras alanları, hem zamansal süreklilikleri hem de mekânsal konumları nedeniyle deprem tehlikesine en fazla maruz kalan varlıklar arasında yer almaktadır. Özellikle Akdeniz havzası, Ege/Anadolu geçiş bölgesi ve Levant şeridi boyunca uzanan aktif fay zonları, tarih öncesi yerleşimlerden Roma kentlerine, ortaçağ kalelerinden modern kentsel dokulara kadar uzanan çok katmanlı bir kültürel peyzajı doğrudan etkilemektedir. Bu alanlarda gözlenen harabeleşme biçimleri, duvar devrilmeleri, kemer kilit taşlarının düşmesi, sütunların devrilmesi veya temelden kaynaklanan eğilmeler gibi yapısal deformasyonlar çoğu zaman yalnızca mimari bozulma olarak değil, aynı zamanda geçmiş depremlerin okunabilir izleri olarak ele alınmaktadır (Rodríguez-Pascua ve diğ., 2011; Sintubin, 2011).

Arkeosismoloji, tam da bu noktada, arkeolojik kalıntılarda gözlenen yapı hasarlarını jeolojik ve tarihsel verilerle birlikte

yorumlayarak eski depremlerin zamanını, büyüklüğünü ve etkilediği alanları yeniden kurgulamaya çalışan disiplinlerarası bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Literatürdeki çalışmalar, yapı deformasyonlarının “Earthquake Archaeological Effects (EAE)” başlığı altında sistematik biçimde sınıflandırılmasının, sahada gözlenen hasar tipleri ile olası sismik senaryolar arasında daha nesnel bağlar kurulmasını sağladığını göstermektedir (Rodríguez-Pascua ve diğ., 2011). Benzer biçimde Sintubin (2011), arkeosismolojinin yöntemsel çerçevesinin netleştirilmesi, kanıt düzeylerinin hiyerarşik olarak değerlendirilmesi ve “deprem mi, yoksa başka bir süreç mi?” sorusuna eleştirel bir bakış geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Türkiye, arkeosismoloji açısından dünyada en çok çalışılan bölgelerden biridir. Burdur ve Isparta yayında yer alan Sagalassos antik kenti, muhtemelen MS 7. yüzyıl ortalarında gerçekleşen büyük bir depremin hem mimari hem de jeomorfolojik izlerini birlikte koruması bakımından referans bir örnek olarak kabul edilmektedir (Waelkens ve diğ., 2000). Kentte gözlenen yıkılmış sütun dizileri, kaymış temeller ve heyelanla ilişkili dolgular, ayrıntılı jeolojik ve arkeolojik çalışmalarla birlikte değerlendirilerek, bölgesel faylanma düzeni ve deprem tekrarlanma aralığına ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır (Waelkens ve diğ., 2000). Benzer şekilde, Pamukkale Hierapolis’teki travertenlerle ilişkili yapısal kalıntılar üzerinde çalışan Hancock ve Altunel (1997), doğrudan diri fay zonu üzerinde yer alan duvar, kanal ve kabartmaların, tarihsel depremler sırasında tekerrür eden normal faylanma hareketleriyle nasıl ötelenip kırıldığını ayrıntılı biçimde belgeleyerek ortaya koymuştur. Myra ve çevresinde yürütülen yeni çalışmalar da, kaya düşmeleri, blok devrilmeleri ve tapınak duvarlarındaki kesme çatlakları gibi morfolojik ve yapısal göstergelerin, tarihsel dönem depremlerine ait deformasyon kayıtlarını ortaya koyabildiğini göstermektedir (Softa ve diğ., 2018).

Kültürel mirasın yalnızca “deprem izlerini okuma” açısından değil, aynı zamanda güncel sismik risk bağlamında da değerlendirilmesi gerekmektedir. Tarihi kent merkezlerinde yoğunlaşan anıtsal yapılar, ibadethaneler ve kamusal binalar, barındırdıkları kültürel değerlerin

ötesinde, günlük yaşamın ve turizme dayalı ekonomik faaliyetlerin merkezinde yer almaktadır. Dolayısıyla bir deprem sonrası ortaya çıkan hasar, yalnızca bir “fiziksel yıkım” değil, aynı zamanda toplumsal hafızada ve yer kimliğinde derinleşen bir kırılma anlamına gelmektedir (UNESCO, 2010). L’Aquila depremi sonrası İtalya’da yürütülen ayrıntılı hasar çalışmaları, özellikle tarihi kiliselerin görece düşük büyüklükteki depremlerde bile ciddi göçme mekanizmaları geliştirdiğini ve bu yapı türleri için özel risk azaltma stratejilerine ihtiyaç olduğunu açık biçimde ortaya koymuştur (Lagomarsino, 2012).

Son yıllarda, kültürel miras yapılarının sismik kırılganlığına ilişkin çalışma sayısının artmasıyla birlikte, hem makro ölçekte hem de mikro ölçekte kullanılan değerlendirme yöntemleri giderek çeşitlenmiştir. Uygulamalı bilimler literatüründe yer alan yeni derlemeler, tarihsel kagir yapıların performansının analitik, sayısal ve ampirik yaklaşımlar kullanılarak çok ölçekli biçimde değerlendirildiğini ve bu sayede en kırılgan yapı tiplerinin öncelikli müdahale için belirlenebildiğini göstermektedir (Puncello ve Caprili, 2023). Bu tür çalışmalar, deprem öncesinde hazırlanacak koruma ve güçlendirme programlarının hangi yapıları, hangi risk düzeyiyle hedeflemesi gerektiğine ilişkin karar destek zemini sunmaktadır.

Uluslararası düzeyde, UNESCO tarafından hazırlanan “Managing Disaster Risks for World Heritage” el kitabı, kültürel ve doğal miras alanlarının afet risklerinin yönetimi için sistematik bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım, tehlike ve kırılganlık bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesini, mevcut yapısal ve kurumsal kapasitenin analiz edilmesini ve özellikle deprem gibi ani afetler için önleyici ve azaltıcı tedbirlerin planlı biçimde hayata geçirilmesini önermektedir (UNESCO, 2010). Sismik tehlike altındaki kültürel miras alanlarında, arkeosismolojik bulguların bu tür afet risk yönetimi çerçeveleriyle bütünleştirilmesi, hem geçmiş depremlerin anlaşılmasını hem de gelecekteki depremlere karşı daha dayanıklı koruma stratejilerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

3. KLASİK VE MODERN BAĞLAMDA RİSK YÖNETİMİ

Deprem, Anadolu'nun kültürel ve toplumsal tarihinde sürekli biçimde belirleyici bir rol oynamış, hem antik hem de modern toplumların yaşam biçimlerini şekillendirmiştir. Klasik çağda depremler bilimsel olarak anlaşılamıyor olsa da, kentlerin bu felaketlerle başa çıkma biçimleri pasif bir kabullenışten ziyade çok katmanlı bir müdahale şeklinde gelişmiştir. Ephesos, Sardis ve Hierapolis gibi merkezlerde yapılan arkeolojik çalışmalar, deprem sonrası süreçlerin yalnızca yıkılan yapıların onarımını değil, aynı zamanda kent kimliğinin yeniden inşasını da içerdiğini göstermektedir (Denaro, 2005).

Roma döneminde imparatorların müdahaleleri özellikle dikkat çekicidir. MS 17 depremi sonrasında Tiberius'un Batı Anadolu'daki kentlere sağladığı mali destek, yalnızca fiziksel iyileştirmeyi değil, aynı zamanda siyasal bağların güçlendirilmesini amaçlıyordu. Kamu yapılarında rastlanan *restaurator urbis* ifadeleri, imparatorun kenti yeniden kuran bir figür olarak toplumsal belleğe işlendiğini ortaya koymaktadır (Denaro, 2005). Antik toplumlarda deprem sonrası iyileşme, ritüeller, adaklar, anma pratikleri ve mekânsal düzenlemelerin birleştiği bütüncül bir yapı göstermektedir (Galadini ve diğ., 2006; Pecchioli ve diğ., 2020; Pecchioli, 2023). Antik kentlerde yeniden inşa esnasında kullanılan yöntemler, esnek bir mühendislik anlayışının varlığına işaret etmektedir. Yıkılan yapıların birebir kopyalanması yerine, plan değişiklikleri, yeni yapı malzemeleri ve farklı teknikler uygulanabilmiştir. Bu uygulamalar, toplumların depreme karşı yalnızca fiziksel değil, sembolik ve psikolojik düzeyde de uyum sağlama çabası içinde olduğunu göstermektedir (Sümer ve Karabacak, 2024; Arrighetti, 2025).

Günümüz Türkiye'sinde ise deprem yönetimi daha kurumsallaşmış, bilimsel olarak tanımlanmış ve teknik açıdan standartlaştırılmış bir yapıya sahiptir. 1999 Marmara depremi sonrasında AFAD'ın kurulması, ulusal tehlike haritalarının güncellenmesi ve yapı yönetmeliklerinin yeniden düzenlenmesi, modern sistemin temel bileşenleridir. Sendai Çerçevesi ve UNESCO-ICOMOS rehberleri, kültürel miras alanlarının afet risk yönetimi kapsamında

değerlendirilmesini teşvik etmektedir (Ravankhah ve diğ., 2017). Ancak 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, kültürel mirasın modern afet yönetimi içinde hâlâ kırılgan bir konumda olduğunu göstermiştir. Yüksek çözünürlüklü SAR verileriyle yapılan çalışmalar, çok sayıda kültürel miras alanının ciddi deformasyon ve yapısal kayıplar yaşadığını ortaya koymuştur (Boyoğlu ve diğ., 2023). ARIA verileri ve sosyal medya tabanlı çok disiplinli analizler ise özellikle Kahramanmaraş ve Hatay çevresindeki arkeolojik ve tarihî alanlarda hasarın boyutunun düşündüğümüzden daha geniş olduğunu göstermiştir (Demir ve Çilingiroğlu, 2024). Antakya'daki cami ve minarelerin hasar analizi, yığma sistemlerin belirli mimari birleşim noktalarında kritik zayıflıklara sahip olduğunu, deprem ivmesi arttıkça gövde kaide etkileşiminin sorun oluşturduğunu göstermektedir (Yılmaz ve diğ., 2025).

Bu bulgular, kültürel miras koruma kurumları ile afet yönetimi birimleri arasındaki koordinasyon eksikliğini daha görünür kılmaktadır. Koruma mevzuatı kapsamlı görünse de, alan bazlı sismik risk analizleri, acil müdahale planları ve sürekli yapısal izleme uygulamaları hâlâ sınırlıdır. Aynı kopukluk, çoklu tehlike değerlendirmelerinde de görülmektedir. Sevieri ve arkadaşlarının (2020) geliştirdiği çerçeve, miras varlıklarının deprem, sel ve ikincil tehlikeler gibi birden fazla tehditle eşzamanlı karşı karşıya kaldığı ortamlarda hangi yapıların öncelikli korunması gerektiğine yönelik önemli bir yöntem sunmaktadır. Türkiye'de ise bu yaklaşım henüz yaygınlaşmış değildir.

Antik ve modern yaklaşımlar, özellikle kurumsal tepki, finansman modeli, toplum katılımı, sembolik rekonstrüksiyon, yapısal müdahalenin niteliği ve belgeleme pratikleri açısından karşılaştırıldığında belirgin biçimde farklılaşmaktadır. Bu farklılıkların özeti, çalışmada kullanılan karşılaştırmalı tabloda sunulmaktadır (bkz. Tablo 1). Tablo 1, antik dünyanın yerel aktörler ve imparatorluk himayesini temel alan yaklaşımı ile modern Türkiye'nin merkezi kurumlar ve standartlaşmış teknik kodlara dayanan sistemini yan yana değerlendirerek bütüncül bir karşılaştırma sunmaktadır.

Son yıllarda İstanbul, Gaziantep ve Şanlıurfa gibi kentlerde yürütülen projeler, kültürel mirasın kentsel dirençlilik stratejilerine

giderek daha fazla entegre edildiğini göstermektedir. CBS temelli tehlike analizi, drone ve lazer tarama ile dijital envanterleme çalışmaları, miras alanlarının deprem öncesi durumunu belgelemekte ve risk yönetimini daha uygulanabilir hale getirmektedir (Ravankhah ve diğ., 2019; Yang ve diğ., 2023). Bununla birlikte, bu projelerin henüz ulusal düzeyde standartlaşmadığı ve genellikle proje-temelli kaldığı görülmektedir.

Antik dünyanın iyileşme süreçlerinde anlam, hafıza ve topluluk duygusuna verilen önem ile modern dönemin bilimsel ve mühendislik temelli risk azaltma yaklaşımı bir araya getirildiğinde, kültürel mirasın hem fiziksel hem de sembolik varlığını sürdürebilecek daha insan merkezli bir model ortaya çıkmaktadır. Deprem, yalnızca mühendislik açısından değil, toplumsal ve kültürel süreklilik açısından da çok boyutlu bir meseledir. Bu nedenle geçmişten çıkarılan derslerle güncel bilimsel araçların birleşimi, daha dengeli ve sürdürülebilir bir koruma yaklaşımını mümkün kılmaktadır.

Tablo 1: Klasik dönem ile modern Türkiye'deki deprem risk yönetimi yaklaşımlarının karşılaştırılması. Tablo, her iki dönemin temel özelliklerini özetleyerek, yönetim, toplumsal katılım, sembolik anlam ve teknik stratejilerdeki farklılıkları vurgulamaktadır.

Özellik	Klasik Dönem (Greko-Romen)	Modern Türkiye (1999 Sonrası)
Kurumsal Yanıt	İmparatorluk destekli, çoğunlukla ad hoc müdahaleler	Merkezi kurumlar tarafından yürütülen standartlaştırılmış ve kurumsallaşmış süreçler (AFAD, ilgili bakanlıklar)
Finansman ve Kaynaklar	İmparatorluk hibeleri ve kentsel elitlerin desteği	Bütçelendirilmiş ulusal kaynaklar, uluslararası fon ve destek mekanizmaları
Toplumsal Katılım	Yüksek (yerel elitler, loncalar, rahiplik yapıları)	Orta-düşük (çoğunlukla danışma temelli katılım)
Sembolik Yeniden İnşa	Çok yüksek (ritüeller, adaklar, kitabeler ve törensel uygulamalar)	Düşük (teknik onarım ve işlevsel iyileştirme odaklı süreçler)
Risk Farkındalığı	Düşük-orta (felsefi veya dinsel açıklamalar)	Yüksek (bilimsel izleme, sismik risk modelleme ve tehlike haritaları)
Yapısal Müdahaleler	Sınırlı (temel onarımlar, küçük ölçekli güçlendirmeler)	Gelişmiş (yapısal güçlendirme, modern sismik yönetmelikler ve teknolojik uygulamalar)
Kentsel Planlama ile Entegrasyon	Bazen mevcut (deprem sonrası kent düzenlemeleri)	Planlı ancak şehirler arasında uygulama eşitsizliği mevcut
Müdahale Süresi	Yavaş ama süreklilik arz eden iyileştirme süreçleri	Hızlı müdahale, ancak öncelik çoğunlukla kritik altyapı ve lifeline sistemlerine verilir
Belgeleme ve Arşivleme	Nadir (çoğunlukla yazıtlar ve anıtsal kayıtlar)	Artan dijital belgeleme uygulamaları (CBS, 3B modelleme, dijital arşivler)

4. KÜLTÜREL MİRASI AFET RİSKİ YÖNETİŞİMİNE ENTEGRE ETMEK

Etkili bir afet risk yönetişimi, yalnızca acil müdahale kapasitesine değil, aynı zamanda öngörü, kurumsal koordinasyon ve geniş katılıma dayanan bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir (Carreño ve diğ., 2007; Ranke, 2016). Kültürel miras söz konusu olduğunda bu gereklilik daha da kritiktir, çünkü miras alanlarında meydana gelen zarar genellikle geri döndürülemez niteliktedir ve toplumların kimlik, hafıza ve aidiyet duygusu üzerinde doğrudan etkiler oluşturmaktadır (Durrant ve diğ., 2023). Anadolu’daki pek çok kültürel mirasının hâlen deprem senaryolarına yeterince hazırlanmış olmaması, bu varlıkların afet yönetişimi süreçlerine sistematik biçimde entegre edilmesinin artık ertelenemez bir zorunluluk olduğunu göstermektedir.

Bu entegrasyonun temel aşaması, kültürel mirası yalnızca korunması gereken pasif bir obje olarak değil, toplumsal dayanışmanın, ekonomik sürdürülebilirliğin ve kültürel sürekliliğin aktif bir bileşeni olarak kabul etmektir. Holtorf’un (2018) ortaya koyduğu gibi, kültürel miras toplumların “kültürel direncini” artıran bir unsurdur ve risk yönetişimi çerçeveleri içinde stratejik bir rol üstlenmelidir. Türkiye’de 2863 sayılı yasa kültürel varlıkların korunmasına dair ilkeleri belirlese de, bu ilkelerin ulusal afet planlaması ve risk azaltım stratejileriyle bütünleşmesi henüz tam olarak sağlanabilmiş değildir. Afet planlamacıları çoğu durumda miras alanlarını kırılganlık analizlerine dâhil etmezken, miras yöneticileri de tehlike değerlendirme ve acil durum hazırlığı konularında sınırlı teknik kapasiteye sahiptir (Oktay, 2021).

Uluslararası çerçeveler, kültürel mirasın afet yönetişimindeki yerinin güçlendirilmesi için önemli yol göstericiler sunmaktadır. Sendai Çerçevesi (UNDRR, 2015), kültürel varlıkların korunmasını “risk azaltımına yönelik yatırımlar” kapsamında ele alarak miras alanlarının ulusal risk planlamasına entegre edilmesini açık biçimde teşvik etmektedir. Teknolojik ilerlemeler, miras alanlarını afet risk yönetişimine entegre etme potansiyelini daha da güçlendirmektedir. Lazer tarama, fotogrametri, dijital ikiz modelleri ve CBS tabanlı analiz teknikleri,

kırılgan yapıların hassas biçimde belgelenmesini mümkün kılmaktadır (Geng ve diğ., 2025). GIS tabanlı çözümler, özellikle büyük ölçekli arkeolojik peyzajlarda risk dağılımının görselleştirilmesini kolaylaştırmaktadır (Howey ve Burg, 2017). Bu teknolojiler, İstanbul Tarihi Yarımada ve Kapadokya gibi bölgelerde pilot düzeyde uygulanmakta olup, müdahale planlarının hedefli biçimde yapılmasına olanak tanımaktadır.

2023 Kahramanmaraş depremlerinin ardından yapılan uzaktan algılama ve çoklu veri analizleri, kültürel mirasın afet yönetişimine entegrasyonundaki boşlukları gözler önüne sermiştir. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri ile yapılan tespitler, birçok miras alanının ciddi yapısal deformasyon geçirdiğini göstermiştir (Boyoğlu ve diğ., 2023). ARIA tabanlı değerlendirmeler ise Hatay ve Maraş çevresindeki taşınmaz kültürel varlıkların beklenenden daha büyük bir risk altında olduğunu ortaya koymuştur (Demir ve Çilingiroğlu, 2024). Bu bulgular, miras alanlarının tehlike, kırılganlık ve dayanıklılık bileşenlerinin afet planlamasına düzenli olarak dahil edilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Kültürel mirasın afet yönetişimine entegrasyonu yalnızca teknik bir süreç değildir. Aynı zamanda toplum katılımını merkezine alan sosyal bir dönüşümü gerektirmektedir. Waterton ve Smith (2010), mirasın topluluklar tarafından “tanınma” biçiminin risk algısını ve koruma davranışlarını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Yerel toplulukların izleme, raporlama, bakım ve acil durum hazırlığı süreçlerine dahil edilmesi, hem müdahale hızını artırmakta hem de mirasın toplumsal sahiplenilmesini güçlendirmektedir. Stephenson’ın (2008) geliştirdiği kültürel değerler modeli, bu bağlamda toplulukların mirası nasıl anlamlandırdığını ve bu anlamın yönetim süreçlerine nasıl yansıtılabileceğini açıklayan önemli bir çerçevedir.

Son olarak, afet sonrası iyileşme aşaması kültürel miras için en kritik dönemlerden biridir. Acil yıkım kararlarının kontrolsüz uygulanması, geleneksel malzemelerin bulunamaması veya yeniden inşa baskısının koruma ilkelerinin önüne geçmesi, geri dönüşü olmayan kayıplar oluşturabilmektedir. Tüm bu unsurlar bir arada değerlendirildiğinde,

kültürel mirasın afet risk yönetişimine entegrasyonu kurumsal koordinasyonun artırılmasını, teknolojik araçların yaygınlaştırılmasını, yerel toplulukların sürece dahil edilmesini ve afet sonrası iyileşme aşamalarının koruma ilkeleriyle uyumlu şekilde yürütülmesini gerektiren çok katmanlı bir dönüşüm sürecidir. Anadolu gibi yüksek sismisiteye sahip bir coğrafyada bu dönüşüm, yalnızca geçmişin korunması için değil, toplumun kültürel direncinin geleceğe taşınması için de zorunludur.

5. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Anadolu'nun kırıklı jeolojisi ile çok katmanlı kültürel birikimi arasındaki ilişki, rastlantısal ya da dönemsel değil süreklilik gösteren, iç içe geçmiş ve kaçınılmaz bir karşılaşmadır. Binlerce yıldır depremler yalnızca toprağı değil, hafızayı, kimliği ve mekânsal sürekliliğı de sarsmıştır. Buna rağmen, her büyük yıkım sonrasında toplumlar yeniden inşa etmeyi, mekânsal düzeni yeniden yorumlamayı ve aidiyet duygusunu yeniden üretmeyi başarmışlardır. Hem antik hem modern dönem örnekleri, kültürel mirasın felaketler karşısında yalnızca kırılğan bir unsur değil, aynı zamanda toplumsal direncin ana bileşenlerinden biri olduğunu göstermektedir (Holtorf, 2018).

Bu çalışmada, bu uzun süreklilik çizgisinin farklı dönemlerde nasıl tezahür ettiği ele alınmıştır. Klasik çağda deprem, kozmik bir uyarı, tanrısal bir mesaj veya toplumsal arınma vesilesi olarak yorumlanırken, yeniden inşa çoğı zaman siyasi meşruiyetin ve toplumsal bütünlüğün pekiştirildiğı bir süreçtir. Mühendislik bilgisi sınırlı olsa da, kent mekânı hem devamlılığı hem de dönüşümü bir arada barındıracak biçimde yeniden düzenlenmiş, ritüeller ve anmalar aracılığıyla kolektif kimlik yeniden tahkim edilmiştir (Borer, 2010).

Buna karşılık modern afet yönetimi, bilimsel rasyonalite, kurumsal hiyerarşi ve uluslararası politika çerçeveleri içinde şekillenmiştir. AFAD gibi kurumlar, risk azaltımından müdahaleye ve iyileşmeye kadar çok aşamalı süreçleri yönetirken; erken uyarı sistemleri, tehlike haritaları ve yapı yönetmelikleri önemli ilerlemeler sağlamıştır. Ancak kültürel miras, hâlâ bu yönetişim sistemlerinin merkezinde değildir. Deprem anında önceliğın can kayıplarını azaltmaya verilmesi elbette kaçınılmazdır.

Fakat tarihî yapıların, arkeolojik alanların ve geleneksel dokuların gördüğü zarar çoğu zaman kalıcı niteliktedir ve birkaç dakika içinde yüzyıllara dayanan hafızayı yok edebilmektedir (Bevan, 2016).

Bu durum, antik ve modern yaklaşımlar arasındaki farkın yalnızca teknik değil, aynı zamanda felsefî olduğunu göstermektedir. Antik kentler mirası kutsal bir alan, kimliğin omurgası olarak görürken, modern sistemlerde miras çoğu zaman “varlık”, “kaynak” veya “envanter değeri” olarak ele alınmaktadır. Bu araştırmacı yaklaşım, risk yönetiminde kör noktalara yol açabilmektedir. Miras alanları belgelenir fakat korunmaz, restore edilir fakat özgünlükten uzaklaşır ya da acil durum planlarına hiç dahil edilmemektedir (Alberts ve Hazen, 2019).

Bu nedenle çözüm geçmişe dönmek değil, geçmişten öğrenmektir. Antik toplumlarda iyileşmenin kamusal yaşam, ritüel ve kolektif hafıza ile bütünleşmesi, bugün risk yönetimi için toplumsal sahiplenmenin ve kültürel duyarlılığın önemini hatırlatmaktadır. Modern teknolojilerin sağladığı öngörü kapasitesi ise etik ve kültürel hassasiyetle birleştğinde daha bütüncül bir yaklaşım üretilebilir. Gereken şey teknik bir düzeltme değil, bir paradigma değişimidir. Bu ise kültürel mirası hem kırılğan hem yaşamsal bir unsur olarak gören ve onu afet direncinin temel bileşeni olarak ele alan bir dönüşümle gerçekleştirilebilir (MacKee ve diğ., 2014).

KAYNAKÇA

- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M. A., & Özdemir, S. (2013). Deformation of Central Anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.008>
- Alberts, H. C., & Hazen, H. D. (2010). Maintaining Authenticity and Integrity at Cultural World Heritage Sites. *Geographical Review*, 100(1), 56-73. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2010.00006.x>
- Ambraseys, N. N. (1971). Value of historical records of earthquakes. *Nature*, 232(5310), 375-379. <https://doi.org/10.1038/232375a0>
- Arrighetti, A. (2025). *Archaeoseismology in a Mediterranean City: Siena and the PROTECT Project*. Archaeopress Publishing Ltd.
- Bevan, R. (2016). *The destruction of memory: architecture at war-second expanded edition*. Reaktion books. Bell & Bain, Glasgow
- Borer, M. I. (2010). From collective memory to collective imagination: Time, place, and urban redevelopment. *Symbolic Interaction*, 33(1), 96-114. <https://doi.org/10.1525/si.2010.33.1.96>
- Boyoğlu, C. S., Chike, I., Caspari, G., & Balz, T. (2023). Assessing the Impact of the 2023 Kahramanmaraş Earthquake on Cultural Heritage Sites Using High-Resolution SAR Images. *Heritage*, 6(10), 6669-6690. <https://doi.org/10.3390/heritage6100349>
- Carreño, M.L., Cardona, O.D. & Barbat, A.H. (2007). A disaster risk management performance index. *Nat Hazards* 41, 1-20 (2007). <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9008-y>
- Coburn, A., & Spence, R. (2002). *Earthquake Protection* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470855185>
- Demir, N. and Çilingiroğlu, Ç.: Assessing the Impact of the Türkiye February 2023 Earthquakes on Cultural Heritage Sites: A Multi-Disciplinary Approach Utilizing ARIA Maps and Social Media Collaboration, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-1-2024, 117-122, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-117-2024>, 2024.
- Denaro, R. (2005). Denaro, R. (2005). Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century.

- In *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th century* (pp. 225-233). INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <https://hdl.handle.net/11574/40660>
- Durrant, L. J., Vadher, A. N., & Teller, J. (2023). Disaster risk management and cultural heritage: The perceptions of European world heritage site managers on disaster risk management. *International journal of disaster risk reduction*, 89, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103625>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). Active fault map of Turkey with explanatory text. *General directorate of mineral research and exploration special publication series*, 30.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- England, P., Houseman, G., & Nocquet, J. M. (2016). Constraints from GPS measurements on the dynamics of deformation in Anatolia and the Aegean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(10), 8888-8916. <https://doi.org/10.1002/2016JB013382>
- Fraser, J., Vanneste, K., & Hubert-Ferrari, A. (2010). Recent behavior of the North Anatolian Fault: Insights from an integrated paleoseismological data set. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115. <https://doi.org/10.1029/2009JB006982>
- Galadini, F., Hinzen, K. G., & Stiros, S. (2006). Archaeoseismology: methodological issues and procedure. *Journal of Seismology*, 10(4), 395-414. [10.1007/s10950-006-9027-x](https://doi.org/10.1007/s10950-006-9027-x)
- Geng, S., Yan, S., Chau, H. W., Jamei, E., & Vrcelj, Z. (2025). From Data to Cultural Response: A Machine Learning–Driven Digital Twin Model for Smart Heritage Precincts in Urban Context. *Journal of Information Technology in Construction*, 1314-1314. [10.36680/j.itcon.2025.053](https://doi.org/10.36680/j.itcon.2025.053)
- Guidoboni, E., Comastri, A., & Traina, G. (1994). *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century*. Istituto Nazionale di Geofisica, Roma. <https://hdl.handle.net/11587/112165>
- Gülkan, P., & Sozen, M. A. (1974). Inelastic response of reinforced concrete structures to earthquake motions. *ACI Journal*, 71(12), 604-610.

- Hancock, P. L., & Altunel, E. (1997). Faulted archaeological relics at Hierapolis (Pamukkale), Turkey. *Journal of Geodynamics*, 24(1-4), 21-36. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(97\)00003-3](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(97)00003-3)
- Holtorf, C. (2018). Embracing change: how cultural resilience is increased through cultural heritage. *World Archaeology*, 50(4), 639-650. <https://doi.org/10.1080/00438243.2018.1510340>
- Howey, M. C., & Burg, M. B. (2017). Assessing the state of archaeological GIS research: Unbinding analyses of past landscapes. *Journal of Archaeological Science*, 84, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.05.002>
- Lagomarsino, S. (2012). Damage assessment of churches after L'Aquila earthquake (2009). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(1), 73-92. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9307-x>
- MacKee J, Haugen Askland H, Askew L (2014), "Recovering cultural built heritage after natural disasters: A resilience perspective". *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, Vol. 5 No. 2 pp. 202–212, doi: <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-09-2012-0032>
- Oktaç, S. (2021). Kültürel miras alanlarında afet yönetimi: İzmit örneği (Order No. 28920843). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (2620608060). Retrieved from <https://www.proquest.com/dissertations-theses/kültürel-miras-alanlarında-afet-yönetimi-izmit/docview/2620608060/se-2>
- Oktaç, S., Taş, N., & Taş, M. (2020). Kültürel miras alanlarının korunması ve afet yönetimi ilişkisi. *Resilience*, 4(2), 305-321. <https://doi.org/10.32569/resilience.710387>
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 156(1), 475-515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Pecchioli, L. (Ed.). (2023). *Archaeoseismology: Methodologies and Case Studies*. Springer Nature.
- Pecchioli, L., Panzera, F., & Poggi, V. (2020). Cultural heritage and earthquakes: Bridging the gap between geophysics, archaeoseismology and engineering. *Journal of Seismology*, 24(4), 725-728. [10.1007/s10950-020-09936-1](https://doi.org/10.1007/s10950-020-09936-1)

- Puncello, I., & Caprili, S. (2023). Seismic assessment of historical masonry buildings at different scale levels: A review. *Applied Sciences*, 13(3), 1941. <https://doi.org/10.3390/app13031941>
- Ranke, U. (2016). Natural disaster risk management. *Geoscience and Social Responsibility-S*, 514. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20675-2>
- Ravankhah, M., Chmutina, K., Schmidt, M., Bosher, L. (2017). Integration of Cultural Heritage into Disaster Risk Management: Challenges and Opportunities for Increased Disaster Resilience. In: Albert, MT., Bandarin, F., Pereira Roders, A. (eds) *Going Beyond. Heritage Studies*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57165-2_22
- Ravankhah, M., de Wit, R., Argyriou, A.V. *et al.* (2019). Integrated Assessment of Natural Hazards, Including Climate Change's Influences, for Cultural Heritage Sites: The Case of the Historic Centre of Rethymno in Greece. *Int J Disaster Risk Sci* 10, 343–361. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00235-z>
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5), B05411. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Rodríguez-Pascua, M. A., Pérez-López, R., Giner-Robles, J. L., Silva, P. G., Garduño-Monroy, V. H., & Reicherter, K. (2011). A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in archaeoseismology: Application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures. *Quaternary International*, 242(1), 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.04.044>
- Sevieri, G., Galasso, C., D'Ayala, D., De Jesus, R., Oreta, A., Grió, M. E. D. A., and Ibabao, R. (2020). A multi-hazard risk prioritisation framework for cultural heritage assets, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 1391–1414, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1391-2020>,
- Seyitoğlu, G., & Esat, K. (2022). The Anatolian Diagonal: A broad left-lateral shear zone between the North Anatolian Fault Zone and Aegean/Cyprus arcs. *Geological Bulletin of Turkey*, 65(1), 93–116. <https://doi.org/10.25288/tjb.1015537>

- Seyitoğlu, G., Kaypak, B., Aktuğ, B., Gürbüz, E., Esat, K., & Gürbüz, A. (2016). A hypothesis for the alternative southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Northwest Turkey. *Geological Bulletin of Turkey*, 59(2), 115-130. <https://doi.org/10.25288/tjb.298155>
- Sintubin, M. (2011). Archaeoseismology: Past, present and future. *Quaternary International*, 242(1), 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.03.056>
- Softa, M., Turan, M., & Sözbilir, H. (2018). Jeolojik, arkeolojik ve arkeoseismolojik veriler ışığında Myra Antik Kenti'nde tarihsel depremlere ait deformasyon verileri, GB Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 61(1), 51-73. <https://doi.org/10.25288/tjb.358177>
- Stein, R. S., Barka, A. A., & Dieterich, J. H. (1997). Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128(3), 594-604. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x>
- Stephenson, J. (2008). The Cultural Values Model: An integrated approach to values in landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 84(2), 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.07.003>
- Sümer, Ö., & Karabacak, V. (2024). Archaeoseismology: Earthquake Traces Studies In Ancient Settlements; A Chronological Evaluation From The World Focusing on Türkiye. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 174(174), 99-128. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1450741>
- Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., & Rangin, C. (2005). The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120415>
- UNESCO (2010). *Managing Disaster Risks for World Heritage*. World Heritage Resource Manual. UNESCO World Heritage Centre. <https://whc.unesco.org/en/managing-disaster-risks/>
- UNDRR. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

- Waelkens, M., Sintubin, M., Muchez, P., & Paulissen, E. (2000). Archaeological, geomorphological and geological evidence for a major earthquake at Sagalassos (SW Turkey) around the middle of the seventh century AD. In B. McGuire, D. Griffiths, & I. Stewart (Eds.), *The archaeology of geological catastrophes* (Geological Society, London, Special Publications, 171, 373–383). <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.171>
- Waterton, E., & Smith, L. (2010). The recognition and misrecognition of community heritage. *International Journal of Heritage Studies*, 16(1–2), 4–15. <https://doi.org/10.1080/13527250903441671>
- Yang, J., You, Y., Ye, X., & Lin, J. (2023). Cultural heritage sites risk assessment based on RS and GIS—Takes the Fortified Manors of Yongtai as an example. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88, 103593. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103593>
- Yılmaz, S., Arslan, M., Demir, A. D., Yılmaz, E., & Cebiroğlu, F. (2025). Seismic damage assessment of historical mosques and minarets in Antakya/Türkiye after the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence. *Engineering Failure Analysis*, 182, 106-125. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.110125>

BÖLÜM 7

MEKÂNSAL KARAR DESTEĞİ İÇİN XGBOOST TABANLI EKOTURİZM POTANSİYELİ MODELİ

¹Dr. Öğretim Üyesi | Enes KARADENİZ

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18072215>

¹ İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye, enes.karadeniz@inonu.edu.tr, ORCID ID 0000-0003-0757-8553

GİRİŞ

Turizm, insanlık tarihinin en eski faaliyetlerinden biri olmakla birlikte, ekonomik, sosyal ve teknolojik dönüşümlere paralel olarak sürekli yeni biçimler kazanmaktadır. Tarihsel süreçte dini, kültürel ya da ticari nedenlerle gerçekleşen seyahatler, sanayi devrimi sonrası hızlanan ulaşım imkânları ve küreselleşmeyle birlikte modern anlamda kitlesel turizm biçimlerine dönüşmüştür (Vanhove, 1997; Sharpley ve Telfer, 2002; Tribe, 2006). Ancak kitle turizminin çevresel, sosyal ve kültürel etkileri üzerine artan eleştiriler, 1980'lerden itibaren alternatif ve sürdürülebilir turizm yaklaşımlarına yönelimi güçlendirmiştir (Gössling, 1999; Weaver, 2001; Marson, 2011; Kolioska ve Andreopoulou, 2023). Bunlardan ekoturizm, doğa temelli, düşük etkili ve yerel topluluklara fayda sağlamayı amaçlayan özel bir turizm türü olarak öne çıkmıştır (Wearing, 2009; Stronza vd., 2019; Baloch vd., 2022; Jaya vd., 2022).

Ekoturizmin temelinde biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir kullanımı ve yerel halkın ekonomik fayda elde etmesi yer almaktadır (Scheyvens, 1999; Broadbent vd., 2012). Doğal alanlara yönelen turist talebindeki artış, kırsal kalkınma için önemli fırsatlar oluştururken, aynı zamanda habitat tahribatı, kültürel erozyon ve taşıma kapasitesinin aşılması gibi riskleri de beraberinde getirmektedir (Tisdell, 1996; Buckley, 2012). Bu nedenle ekoturizmin planlanması, yalnızca ekonomik getiriye değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal adaleti de gözeten çok boyutlu bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır (Stronza ve Gordillo, 2008; Buckley, 2009). Planlama sürecinde en önemli zorluklardan biri, koruma ve kalkınma arasındaki hassas dengeyi doğru biçimde kurabilmek olarak görülmektedir (Honey, 1999; Liu, 2003).

Bu dengeyi sağlayabilmek için özellikle coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. AHP, WLC, Fuzzy DEMATEL, LMAW ve benzeri yaklaşımlar, doğal, kültürel, sosyal ve ekonomik kriterlerin bütüncül biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Bunruamkaew ve Murayama, 2011; Fadafan vd., 2022; Karakuş, 2024). Ekoturizm potansiyelini belirlemeye yönelik çalışmalarda topoğrafya, iklim, toprak, biyolojik çeşitlilik ve korunan alanlar gibi doğal faktörler,

yerleşim alanlarına, yollara ve kültürel miras varlıklarına yakınlık gibi antropojenik unsurlarla birlikte ele alınmaktadır (Dye ve Shaw, 2007; Ahmadi vd., 2015; Masaudi vd., 2021). Türkiye’de de benzer bir yaklaşım benimsenmiş, Karakuş (2024) CBS tabanlı çok kriterli analizlerle ekoturizm uygunluk alanlarını inceleyerek bölgesel ölçekte önemli bulgular ortaya koymuştur.

Son yıllarda klasik ÇKKV yöntemlerinin yanı sıra makine öğrenmesi algoritmaları da ekoturizm planlamasında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Random Forest ve XGBoost gibi yöntemler, yüksek boyutlu verileri işleyebilme, doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilme ve güçlü tahmin performansı sunma özellikleriyle öne çıkmaktadır (Huang ve Zhou, 2024; Baidya vd., 2025). Ayrıca SHAP ve LIME gibi açıklanabilir yapay zekâ teknikleri, modelin hangi kriterler üzerinden tahmin yaptığını görünür kılarak hem akademik araştırmalara metodolojik katkı sağlamakta hem de karar vericilere daha güvenilir bir çerçeve sunmaktadır (Ribeiro vd., 2016; Lundberg ve Lee, 2017). Böylelikle, ekoturizm potansiyel haritaları yalnızca alanların uygunluğunu göstermekle kalmamakta, aynı zamanda bu uygunluğun ardındaki temel etmenleri de açıklayabilmektedir.

Bununla birlikte ekoturizm potansiyelinin mekânsal olarak modellenmesinde önemli bir eksiklik, hata yapılarının mekânsal bağımlılığının çoğu zaman dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır. Oysa mekânsal istatistikler bu tür modellerin güvenilirliğini sınamak açısından kritik öneme sahiptir. Moran’ın I istatistiği (Moran, 1950) mekânsal otokorelasyonun küresel düzeyde varlığını test ederken, Yerel Mekânsal İlişki Göstergeleri (LISA) belirli bölgelerde yüksek-yüksek veya düşük-düşük kümelenmelerin varlığını ortaya koymaktadır (Getis ve Ord, 1992; Anselin, 1995;). Bu yöntemler, model tahminlerindeki sistematik mekânsal sapmaları görünür kılarak saha doğrulaması ve ek veri gereksinimleri için yol gösterici olmaktadır.

Bu çalışma, Adıyaman ili özelinde ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde XGBoost algoritmasının uygulanmasını, SHAP değerleriyle modelin açıklanabilirliğini sağlamayı ve Moran’s I istatistiğiyle mekânsal hata yapılarının analizini amaçlamaktadır. Araştırma, hem literatürdeki klasik ÇKKV yöntemleriyle sınırlı kalan

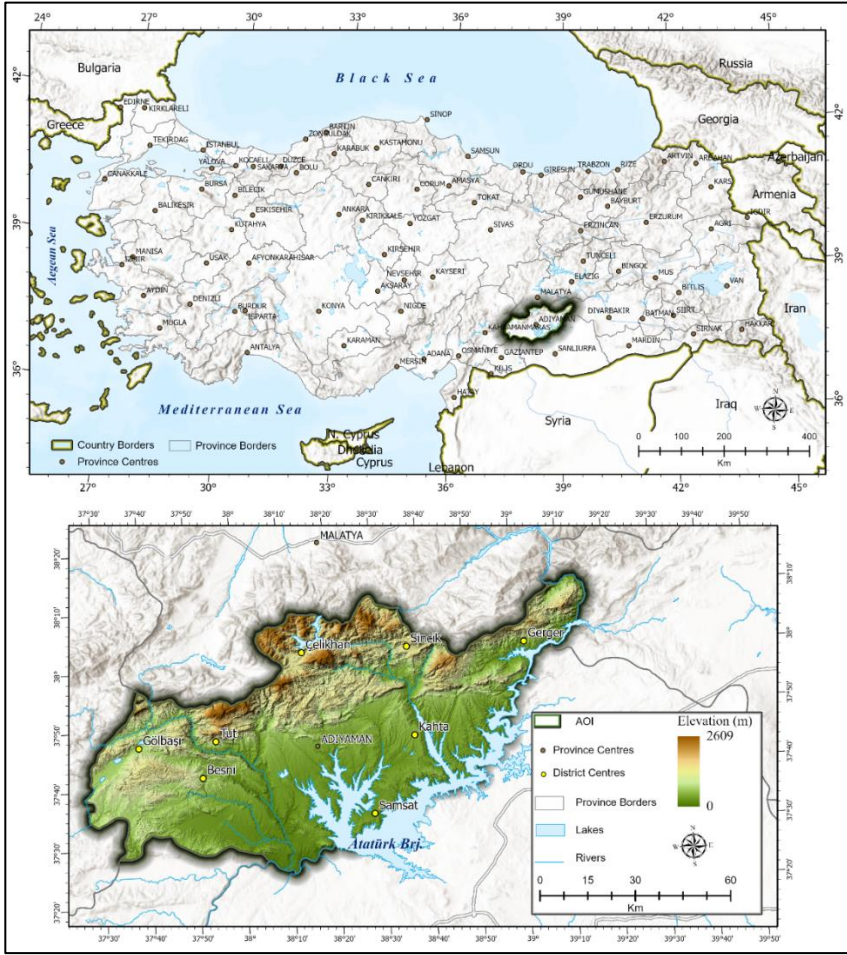
yaklaşımlara veri odaklı bir katkı sunmakta hem de mekânsal istatistiklerle modelin güvenilirliğini artırmaktadır. Böylece çalışma, hem akademik literatüre metodolojik bir yenilik getirmekte hem de yerel karar vericiler için pratik bir karar destek aracı oluşturarak ekoturizmin sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunmaktadır.

1. YÖNTEM

1.1. Çalışma Sahası

Adıyaman ili, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin batısında yer almakta olup kuzeyde Malatya, batıda Kahramanmaraş, doğuda Diyarbakır ve güneyde Şanlıurfa ile çevrilidir. Yaklaşık 7.600 km² yüzölçümüne sahip il, kuzeyde Toros kuşağına ait dağlık alanlar ile güneyde Fırat Havzası arasında yer alan engebeli bir topoğrafyaya sahiptir (Bakırcı, 2013). İlde Akdeniz ve karasal iklim özellikleri iç içe görülmekte, bu durum tarım, bitki örtüsü ve yerleşme düzeni üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Fırat Nehri ve kolları, bölgenin hidrolojik yapısını biçimlendirmekte ve ekoturizm açısından önemli peyzaj öğeleri oluşturmaktadır.

Tarihsel olarak Kommagene uygarlığına ev sahipliği yapan Adıyaman, Nemrut Dağı, Cendere Köprüsü ve Perre Antik Kenti gibi kültürel miras alanlarıyla öne çıkmaktadır. Ancak 6 Şubat 2023 depremleri sonrası turizm sektörü önemli ölçüde zarar görmüş, yeniden yapılanma süreci başlamıştır (Kodal, 2024). Bu bağlamda, ilin doğal ve kültürel çeşitliliği, sürdürülebilir ekoturizm planlaması açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma Sahası.

1.2. Veri Kaynakları ve Kriterler

Bu çalışmada ekoturizm potansiyelini değerlendirmek amacıyla arazi çalışması ve uzman görüşleri doğrultusunda on beş kriter belirlenmiştir. Yükselti, eğim ve bakı gibi topoğrafik değişkenler Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan sayısal yükseklik modellerinden türetilmiştir. Sıcaklık ve yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile Meteoblue veri tabanından alınarak uzun yıllar ortalamaları üzerinden modellenmiştir. Toprak özellikleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü verilerinden, arazi örtüsü ise Esri'nin 2020 Global Land Cover veri setinden elde edilmiştir. Hidrolojik unsurlar (akarsu, göl) ile

ulaşım ve yerleşim katmanları OpenStreetMap verilerinden türetilmiş, doğal koruma alanları ile kültürel miras varlıkları ise Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın açık erişimli veri tabanlarından derlenmiştir. Biyoçeşitlilik zenginliği ve endemik tür dağılımı IUCN Red List ve GBIF veri tabanlarıyla birlikte ulusal biyolojik çeşitlilik veri tabanlarından sağlanmıştır. Ayrıca, nüfus yoğunluğu Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan ilçe düzeyindeki demografik verilerden raster formatına dönüştürülmüştür. Tüm veriler 30 metre mekânsal çözünürlükte raster forma dönüştürülmüş, UTM Zone 37N projeksiyonuna uyarlanmış ve analize uygun hale getirilmiştir. Bu kriterler, ekoturizm planlamasına yönelik daha önceki çalışmalarda kullanılan yöntemlerle uyumlu olacak şekilde (Bunruamkaew ve Murayama, 2011; Akbari vd., 2023; Karakuş, 2024), 1'den 5'e kadar yeniden sınıflandırılmıştır.

1.3. Kriterlerin Seçimi ve Yeniden Sınıflandırılması

Bu çalışmada ekoturizm uygunluğunu belirlemek için 15 mekânsal kriter belirlenmiştir. Kriterler, ekoturizmin biyofiziksel, ekolojik, sosyal ve kültürel boyutlarını temsil edecek şekilde gruplandırılmıştır. Biyofiziksel kriterler: Yükselti, eğim, bakı, sıcaklık, yağış, toprak tipi, arazi örtüsü. Ekolojik kriterler: Biyoçeşitlilik, koruma alanlarına uzaklık, doğal kaynaklara yakınlık, akarsulara uzaklık. Sosyo-kültürel kriterler: Kültürel miraslara uzaklık, yol mesafesi, yerleşim alanlarına uzaklık ve nüfus yoğunluğu kriterlerinden oluşmaktadır. Kriterlerin belirlenmesinde literatür taraması, uzman görüşleri ve Adıyaman ili özelinde yapılan saha çalışmaları esas alınmıştır (Chaudhary vd., 2022; Fadafan vd., 2022; Karakuş, 2024).

Kriterlerin yeniden sınıflandırılması için 1–5 arasında ordinal bir ölçek kullanılmıştır. Bu ölçek, düşük uygunluk (1) ile yüksek uygunluk (5) arasında derecelendirilmiş olup hem literatürde önerilen eşik değerler hem de saha koşullarına ilişkin gözlemler dikkate alınarak tanımlanmıştır (Bunruamkaew ve Murayama, 2011; Karakuş, 2024). Örneğin, eğim kriterinde düşük eğimli alanlar (0–5°) en yüksek uygunluk sınıfına atanırken, 30° ve üzerindeki eğimler en düşük sınıfa yerleştirilmiştir. Benzer şekilde, yerleşim alanlarına ve yollara yakın

bölgeler erişilebilirlik açısından daha yüksek puanlar alırken, yoğun nüfuslu veya çevresel bozulmanın yüksek olduğu alanlar düşük uygunluk sınıfında değerlendirilmiştir (Khazae Fadafan vd., 2022; Karakuş, 2024). Tablo 1’de her kriter için belirlenen sınıf aralıkları ve uygunluk değerleri sunulmaktadır.

Tablo 1. Uygunluk analizinde kullanılan ana kriterler, alt kriterler ve sınıflandırılmış değerler (1–5)

Kriterler		Yüksek Uygunluk 5	Uygun 4	Orta Uygunluk 3	Düşük Uygunluk 2	Uygun Değil 1
Birim						
Yükselti	m	2200-2609	1800-2200	1400-1800	1000-1400	353-1000
Eğim	derece	0–5°	5–15°	15–25°	25–35°	>35°
Bakı		Flat	S, SW	NW, E	W, SE	N, NE
Biyocoşetlilik	km	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20
Toprak Tipi		Rendzina, Alüvyal	Akdeniz Toprağı	Kahverengi Orman Top.	Kalsisol	Lithosol, Vertisol
Arazi Örtüsü		Orman, Sulak Alan	Doğal Otlaklar	Kısıtlı Bitki Örtüsü	Tarım	Yerleşme Yüzeyi ve Kayalık
Jeosit Mesafesi	km	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20
Akarsu Mesafesi	km	<0.5	0.5-1	1-2	2-4	>4
Yol Mesafesi	km	<1.5	1.5-3	3-4.5	4.5-6	>6
Koruma alanlarına Uzaklık	km	<1	1-2	2-3	3-4	>4
Sıcaklık	°C	7-8	8-10	10-12	12-14	14-18
Yağış	mm	>901	800-901	700-799	550-699	472-550
Nüfus Yoğunluğu	kişi/km ²	<200	200-400	400-1000	1000-1500	>1500
Yerleşme Mesafesi	km	>6	4.5-6	3-4.5	1.5-3	<1.5
Kültürel Miras Mesafesi	km	<2.5	2.5–5	5–7.5	7.5–10	>10 km

2.4 Eğitim Verisinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan kontrollü öğrenme modeli için hedef değişken, raster katmanlardan rastgele seçilen 750 nokta üzerinden tanımlanmıştır. Her nokta için ilgili kriter değerleri tabloya aktarılmış, bu noktaların bir bölümü yüksek uygunluk alanlarına (4 ve 5) denk geldiğinde 1, diğerleri ise 0 olarak kodlanmıştır. Böylece, modelin tahmin edeceği ikili sınıf değişkeni oluşturulmuştur. Hedef değişkenin matematiksel tanımı şu şekilde verilmiştir:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer uygunluk değeri} \geq 4 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

2.5. XGBoost Modeli

Ekoturizm potansiyelinin modellenmesinde Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algoritması terci edilmiştir. XGBoost, karar ağaçları üzerinde kurulu gradyan artırmalı bir yöntem olup yüksek boyutlu ve doğrusal olmayan mekânsal verilerle çalışmada güçlü tahmin performansı sunmaktadır. Modelin hiperparametreleri, öğrenme oranı, maksimum derinlik, alt örnekleme oranı ve düzenlileştirme katsayıları gibi parametreler üzerinden optimize edilmiştir (Chen ve Guestrin, 2016). Eğitim sürecinde beş katlı çapraz doğrulama (K-Fold CV) kullanılmış, bu sayede modelin aşırı öğrenme eğilimi azaltılmış ve genelleme kapasitesi güçlendirilmiştir.

2.6. SHAP Analizi

XGBoost modeli yüksek sınıflandırma başarısı sağlasa da, modelin karar mekanizmasının anlaşılabilirliği karar destek süreçlerinde kritik önem taşımaktadır. Bu amaçla çalışmada SHAP (SHapley Additive exPlanations) yöntemi uygulanmıştır (Lundberg ve Lee, 2017). SHAP, olasılık teorisine dayalı bir yaklaşım olup her bir gözlem için her bir değişkenin modele yaptığı katkıyı ayrı ayrı hesaplamaktadır. Böylece modelin hem küresel düzeyde hangi kriterleri daha baskın şekilde kullandığı hem de yerel düzeyde her bir gözlem noktasında hangi değişkenin sınıflandırmayı etkilediği anlaşılabilir. Bu çalışmada

SHAP analizleri, Adıyaman'daki ekoturizm uygunluğunu belirleyen temel faktörlerin görselleştirilmesini sağlamış, özellikle topoğrafya, biyoçeşitlilik ve yerleşim alanlarına yakınlık gibi değişkenlerin öne çıktığını göstermiştir.

SHAP yöntemi, yalnızca değişkenlerin sıralamasını ortaya koymakla kalmamış, aynı zamanda modelin önyargısız bir şekilde değerlendirilmesine de olanak tanımıştır. Örneğin, bir kriterin ortalama katkısı düşük olsa bile, belirli alt bölgelerde sınıflandırmaya kritik etki yapıp yapmadığı SHAP değerleriyle tespit edilebilmiştir. Bu durum, klasik değişken önem ölçütlerinin ötesinde, modelin daha şeffaf ve yorumlanabilir bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır (Lundberg vd., 2020; Molnar, 2022).

2.7. Mekânsal Korelasyon

Mekânsal veriler üzerinde geliştirilen modellerin en önemli sorunlarından biri, tahmin hatalarının mekânsal olarak bağımsız olmamasıdır. Bu nedenle, model çıktılarında mekânsal bağımlılığın test edilmesi sonuçların güvenilirliği açısından kritik bir aşamadır. Çalışmada, küresel mekânsal otokorelasyonu ölçmek amacıyla Moran'ın I istatistiği (Moran, 1950) kullanılmıştır. Moran'ın I değeri, yüksek pozitif çıktığında benzer değerlerin aynı mekânda kümелendiğini, negatif çıktığında ise mekânsal dağılımın daha düzensiz olduğunu göstermektedir. Bu analiz, model tahminlerinin yalnızca istatistiksel doğrulukla değil, aynı zamanda mekânsal bütünlük açısından da değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Buna ek olarak, Yerel Mekânsal İlişki Göstergeleri (LISA) analizi (Anselin, 1995), yüksek-yüksek (HH) ve düşük-düşük (LL) kümelenmelerin mekânsal dağılımını ortaya koymuştur. Özellikle HH kümelenmeler ekoturizm açısından öncelikli bölgeleri işaret ederken, LL kümelenmeler modelin düşük uygunluk öngördüğü alanların mekânsal sürekliliğini göstermektedir. Bu yöntem, daha önce mekânsal ekoloji (Dormann vd., 2007), coğrafi epidemiyoloji (Getis ve Ord, 1992) ve turizm planlaması (karagöz vd., 2022) gibi alanlarda başarıyla uygulanmış olup, bu çalışmada da model tahminlerinin mekânsal hata yapılarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

2.8. Model Doğrulama ve Performans Değerlendirme

XGBoost modelinin performansını değerlendirmek amacıyla farklı doğrulama stratejileri ve performans ölçütleri kullanılmıştır. Eğitim ve test verisi, beş katlı “K-Fold Cross Validation” yöntemiyle bölünmüş, her katmanda model ayrı ayrı test edilerek genelleme gücü ölçülmüştür (Kohavi, 1995; Roberts vd., 2017). Bu yöntem, veri setindeki örneklerin farklı alt kümelerde tekrar tekrar test edilmesini sağlayarak daha güvenilir performans tahminleri elde edilmesine olanak tanımıştır.

Modelin değerlendirilmesinde ROC eğrisi ve AUC (Area Under the Curve), Precision-Recall eğrisi ve AUPR (Area Under Precision-Recall Curve), F1 skoru, hassasiyet (recall), kesinlik (precision) ve Cohen’s Kappa gibi yaygın ölçütler kullanılmıştır (Grandini vd., 2020). Ayrıca modelin kalibrasyonu için Kalibrasyon Eğrisi, sınıflandırma performansını görselleştirmek amacıyla Gain ve Lift eğrileri, karar eşiğinin optimizasyonu için ise F1 ve Youden’s J istatistikleri üzerinden Eşik Değer Analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çok yönlü doğrulama çerçevesi, modelin yalnızca tek bir performans göstergesi üzerinden değil, farklı istatistiksel ve mekânsal kriterler üzerinden değerlendirilmesini sağlamış, dolayısıyla karar vericilere daha güvenilir bir çıktı sunmuştur.

Model doğruluğu (Accuracy), doğru sınıflandırılmış örneklerin toplam örnekler içindeki oranını ifade eder ve formülüyle hesaplanır;

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

burada TP doğru pozitifleri, TN doğru negatifleri, FP yanlış pozitifleri ve FN yanlış negatifleri göstermektedir. Kesinlik (Precision) ise modelin “pozitif” olarak sınıflandırdığı örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu belirtir ve

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

olarak ifade edilir. Duyarlılık ya da başka bir deyişle hatırlama oranı (Recall), modelin gerçek pozitif örnekleri ne ölçüde doğru tahmin ettiğini gösterir ve formülüyle hesaplanır;

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Kesinlik ve duyarlılığın birlikte dengeli biçimde değerlendirilmesi için F1 skoru kullanılmıştır; bu ölçüt her iki değer harmonik ortalamasını alarak biçiminde tanımlanır;

$$F1 = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

F1 değeri özellikle sınıf dağılımı dengesiz olan durumlarda (örneğin pozitif sınıfın az olduğu veri setlerinde) model performansını daha doğru biçimde yansıtmaktadır.

ROC eğrisi altında kalan alan (AUC), modelin iki sınıfı ayırt etme becerisini ölçer ve olarak tanımlanır;

$$AUC = \int_0^1 TPR(FPR^{-1}(x)) dx$$

burada TPR (True Positive Rate) doğru pozitif oranını, FPR (False Positive Rate) ise yanlış pozitif oranını ifade eder. Benzer biçimde Precision–Recall eğrisi altında kalan alan (AUPR), özellikle dengesiz veri setlerinde modelin pozitif sınıfı doğru tanıma başarısını ölçer ve formülüyle ifade edilir;

$$AUPR = \int_0^1 Precision(Recall^{-1}(x)) dx$$

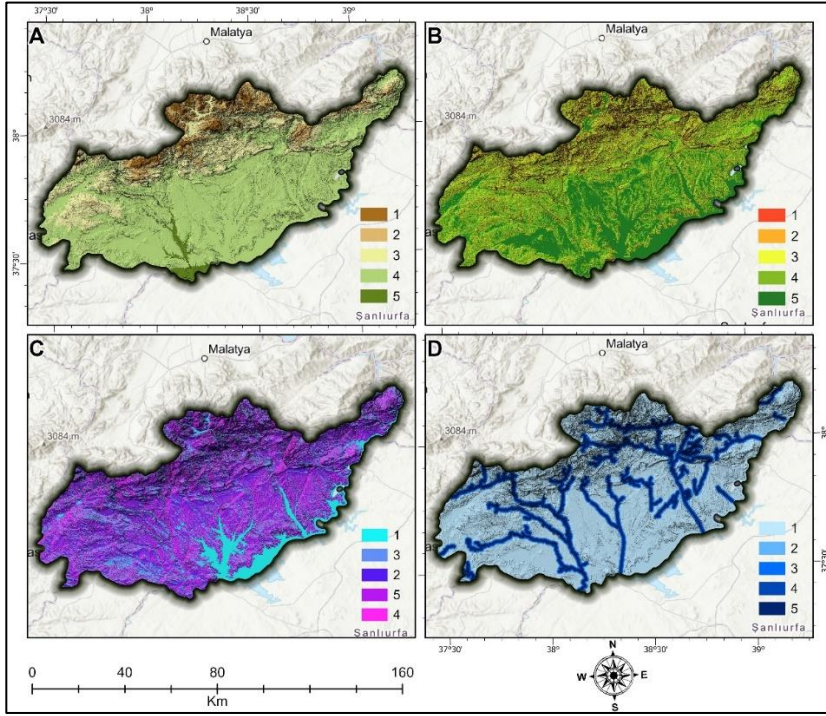
Son olarak, karar eşiğinin optimizasyonunda kullanılan Youden's J istatistiği, duyarlılık (Sensitivity) ve özgüllük (Specificity) değerlerinin toplamından 1'in çıkarılmasıyla elde edilir ($J = Sensitivity + Specificity - 1$) ve maksimum J değeri, modelin yanlış pozitifleri en aza indirirken doğru pozitifleri en üst düzeye çıkardığı ideal eşik değerini belirler.

2. BULGULAR

2.1. Kriterlerin Mekânsal Dağılımı

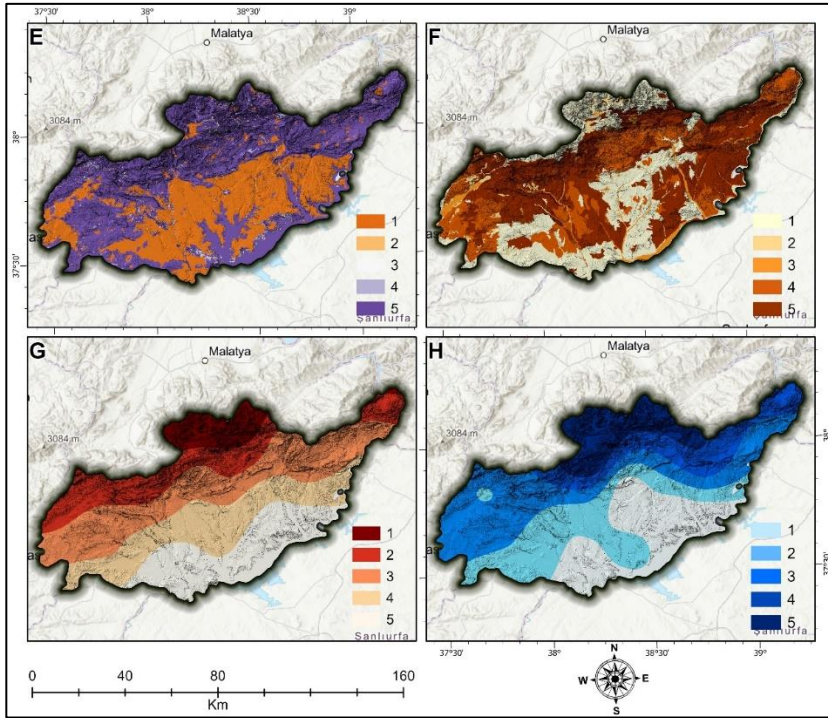
Ekoturizm potansiyeli modelinde kullanılan kriterler, Adıyaman ilinin fiziki, ekolojik ve sosyo-kültürel yapısına göre mekânsal olarak dağıtılmıştır. Her kriterin yeniden sınıflandırılmış raster haritaları, alandaki farklı uygunluk düzeylerini ortaya koymakta ve ekoturizm potansiyelini belirleyen temel faktörleri görselleştirmektedir.

Yükselti, eğim, bakı ve akarsulara uzaklık: Adıyaman'ın topoğrafik yapısı, ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. İl alanında yükselti kuzeydeki dağlık kuşaklarda 2000 m'nin üzerine çıkarken, güneyde Fırat Nehri'ne yaklaşan kesimlerde 500 m'nin altına inmektedir. Düşük ve orta yükseltili alanlar, ulaşılabilirlik ve iklimsel uygunluk açısından daha avantajlı olup ekoturizm için yüksek uygunluk sınıflarında yer almaktadır. Eğim dağılımı incelendiğinde, Adıyaman'ın merkezi ve Fırat çevresi gibi düzlük alanlar düşük eğim değerleriyle ön plana çıkarken, kuzeydeki dağlık kesimlerde 30°'nin üzerindeki eğimler düşük uygunluk sınıfına girmektedir. Bakı faktörü de güneşlenme ve mikroklimatik farklılıklar oluşturmaya, özellikle güney bakılar daha uygun sınıfta değerlendirilmiştir. Akarsu mesafesi kriterinde ise Kahta Çayı, Göksu ve Fırat Nehri gibi akarsu sistemlerine yakın alanlar ekoturizm için cazip kabul edilmekte, uzak alanlar ise düşük uygunluk sınıfında yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: (A) Yükselti: Kuzeyde dağlık alanlarda yükselmekte, güneyde Fırat çevresinde düşmektedir. (B) Eğim: Yüksek kesimlerde dik yamaçlar görülmekte, ovalarda düşük eğimler öne çıkmaktadır. (C) Bakı: Güneye bakan yamaçlar güneşlenme avantajı sağlamaktadır. (D) Akarsu mesafesi: Fırat ve kollarına yakın alanlar ekoturizm açısından daha elverişli görünmektedir.

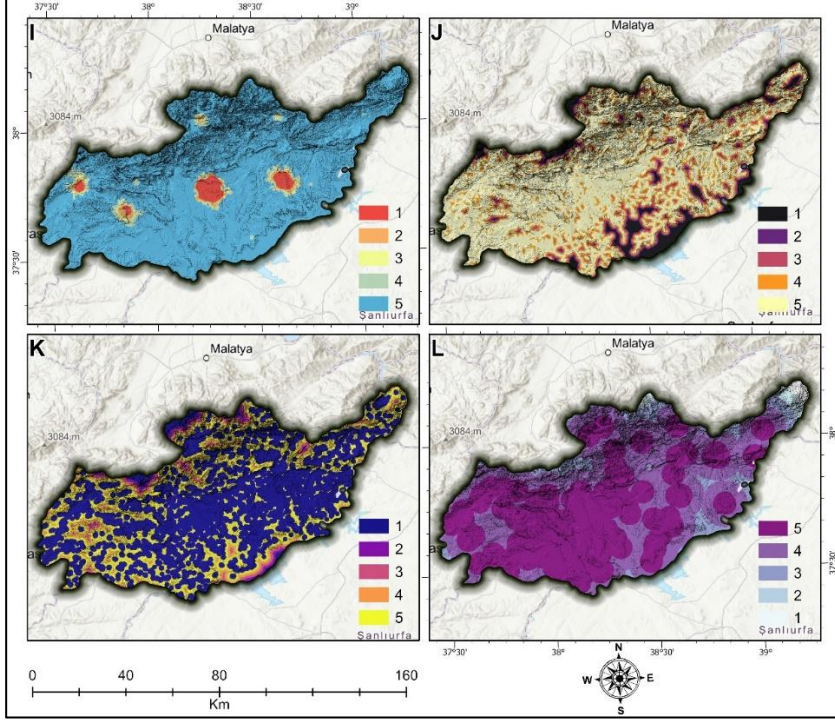
Adıyaman'da arazi örtüsü heterojen bir yapı sergilemektedir. Fırat çevresindeki tarım alanları ve dağlık bölgelerdeki ormanlık alanlar ekoturizm açısından yüksek uygunluk göstermektedir. Buna karşın, yoğun yerleşim alanları ve bozulmuş tarım alanları düşük uygunluk sınıfında yer almaktadır. Toprak kriteri, hem ekolojik çeşitliliğin hem de tarımsal üretimle bağlantılı kültürel peyzajın önemli bir göstergesi olarak öne çıkmaktadır. Sıcaklık dağılımı yaz aylarında özellikle güney kesimlerde 30 °C'nin üzerine çıkarken, kış aylarında kuzeyde düşük sıcaklık değerleri gözlenmektedir. Düşük sıcaklık kuşağındaki alanlar ekoturizm açısından daha uygun bulunmuştur. Yağış kriteri ise kuzeydeki dağlık alanlarda yüksek değerler göstermekte ve bu bölgeler doğal bitki örtüsü zenginliği ve termal konfor nedeniyle ekoturizm açısından avantajlı konumda değerlendirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: (E) Arazi örtüsü: Orman ve tarım alanları uygunluk sunmakta, yerleşim ve bozulmuş araziler düşük sınıfta yer almaktadır. (F) Toprak: Tarıma elverişli topraklar ekoturizm açısından öne çıkmaktadır. (G) Sıcaklık: Güneyde yüksek sıcaklık sınırlayıcı olmakta, kuzeyde daha dengeli değerler gözlenmektedir. (H) Yağış: Kuzeyde yüksek yağış doğal ekosistemleri desteklemektedir.

Sosyal ve kültürel faktörler, Adıyaman'ın ekoturizm potansiyelini doğrudan şekillendirmektedir. Nüfus yoğunluğu il merkezinde ve Kahta çevresinde artarken, kırsal alanlarda düşük değerler görülmektedir. Yüksek nüfuslu alanlar ekoturizm için düşük sınıfta yer alırken, düşük yoğunluklu kırsal bölgeler doğa temelli turizm için daha avantajlı konumdadır. Yol ağları incelendiğinde, Adıyaman-Kahta karayolu gibi ana ulaşım hatlarına yakın bölgeler yüksek uygunluk sınıfında yer almakta, erişimin kısıtlı olduğu dağlık bölgeler ise düşük sınıfta kalmaktadır. Yerleşim alanlarının dağılımı da benzer şekilde değerlendirilmiş, merkezden uzak kırsal yerleşmeler doğal peyzaj bütünlüğünü korudukları için daha uygun bulunmuştur. Kültürel varlıklar kriterinde ise Nemrut Dağı, Perre Antik Kenti ve Cendere

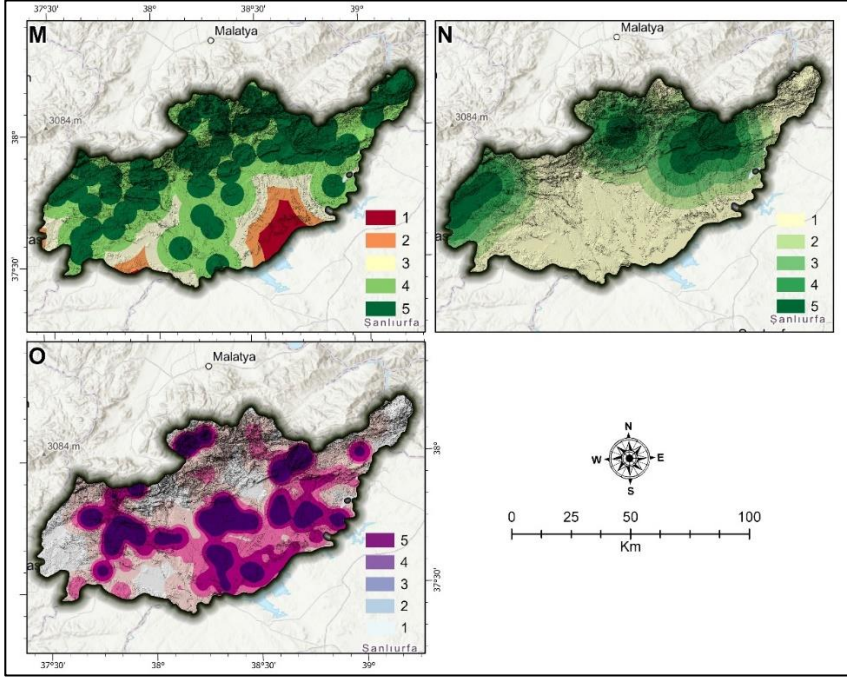
Köprüsü gibi UNESCO Dünya Mirası listesinde veya ulusal ölçekte önemli kültürel değerler öne çıkmakta ve bu alanlar ekoturizm potansiyelinin odak noktalarını oluşturmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4: (I) Nüfus: Yoğun nüfuslu merkezlerde uygunluk düşük kalmakta, kırsal alanlarda daha yüksek değerler elde edilmektedir. (J) Yol: Ulaşım ağına yakın alanlar avantaj sağlamaktadır. (K) Yerleşim: Yoğun yapılaşma düşük uygunlukta değerlendirilmektedir. (L) Kültürel varlıklar: Nemrut Dağı ve Perre gibi alanlar yüksek çekicilik sunmaktadır.

Adıyaman'da doğal kaynakların (ör. mesire alanları, mağaralar, göller) ve koruma statüsüne sahip alanların (ör. Nemrut Dağı Milli Parkı) dağılımı ekoturizm planlamasında belirleyici bir unsur olarak görülmüştür. Koruma alanlarına yakın bölgeler hem ekolojik değerleri hem de yasal statüleri nedeniyle yüksek uygunluk sınıfında yer almaktadır. Biyoçeşitlilik kriteri ise özellikle dağlık kesimlerde ve mikroklimatik çeşitliliğin yoğun olduğu bölgelerde yüksek değerlere ulaşmaktadır. Endemik türlerin varlığı ve ekosistem hizmetleri, bu alanların ekoturizm açısından cazibesini artırmaktadır. Buna karşın

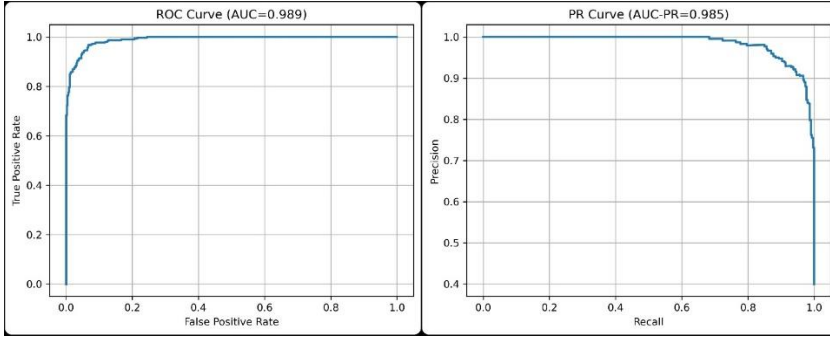
antropojenik baskının yoğun olduğu tarım ve yerleşim alanlarında düşük uygunluk sınıfları öne çıkmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5: (M) Doğal kaynaklar: Mağara, göl ve mesire alanları yüksek uygunluk sağlamaktadır. (N) Koruma alanları: Ekolojik ve yasal değerleri nedeniyle en yüksek sınıfta yer almaktadır. (O) Biyoçeşitlilik: Endemik türlerin yoğunlaştığı dağlık bölgeler öncelikli sahaları oluşturmaktadır.

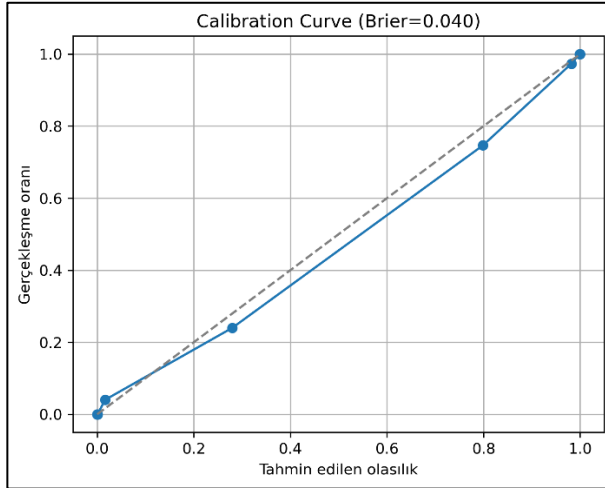
2.2. Model Performansı

XGBoost modeli, ekoturizm potansiyeli sınıflandırmasında oldukça yüksek bir performans sergilemiştir. ROC eğrisi (Receiver Operating Characteristic) modelin sınıflar arasındaki ayırt edici gücünü ortaya koyarken, AUC değeri 0.989 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, modelin pozitif ve negatif sınıfları neredeyse hatasız biçimde ayırabildiğini göstermektedir. Benzer şekilde PR eğrisi (Precision-Recall), özellikle dengesiz veri setlerinde daha güvenilir bir değerlendirme sağlamaktadır. Bu eğriye göre AUC değeri 0.985 olup, modelin pozitif örnekleri yakalama başarısının da son derece yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 6).



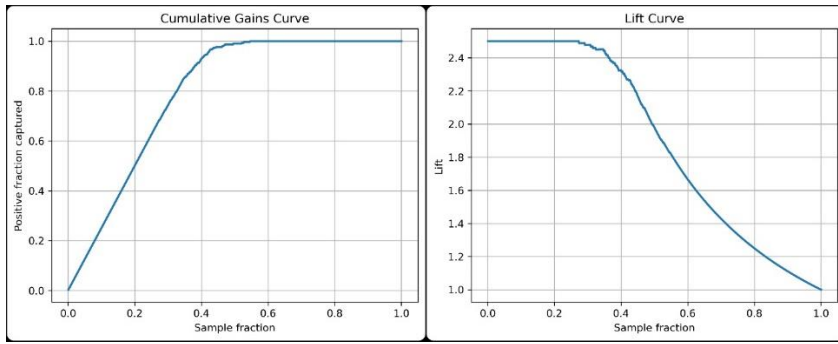
Şekil 6: (Sol). ROC eğrisi, modelin yüksek ayırt ediciliğini göstermektedir (AUC=0.989). (sağ). Precision-Recall eğrisi, pozitif örnekleri ayırt etme başarısının güçlü olduğunu ortaya koymaktadır (AUC-PR=0.985).

Buna ek olarak, modelin olasılık kalibrasyonu da değerlendirilmiştir. Kalibrasyon eğrisi, tahmin edilen olasılıkların gerçekleşme oranlarıyla tutarlı olduğunu göstermekte, Brier skorunun 0.040 gibi düşük bir değerde bulunması ise modelin iyi kalibre edildiğini kanıtlamaktadır. Bu sonuç, modelin yalnızca yüksek doğrulukta tahminler yapmakla kalmadığını, aynı zamanda tahmin olasılıklarının da güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 7).



Şekil 7: Kalibrasyon eğrisi, modelin tahmin olasılıklarının gerçekleşme oranlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir (Brier=0.040).

Son olarak, kümülatif kazanç (Gains) ve Lift eğrileri incelenmiştir. Gains eğrisi, örneklerin belirli bir kısmı seçildiğinde, yakalanan pozitif örneklerin oranını göstermektedir. Bu eğri, modelin rastgele seçimden çok daha iyi performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Lift eğrisi ise modelin pozitif sınıfı yakalama gücünün rastgele seçimden kaç kat daha iyi olduğunu göstermektedir. Özellikle ilk %20’lik dilimde modelin yaklaşık 2.5 kat daha iyi performans sergilemesi, güçlü bir öngörü kabiliyetine işaret etmektedir (Şekil 8).



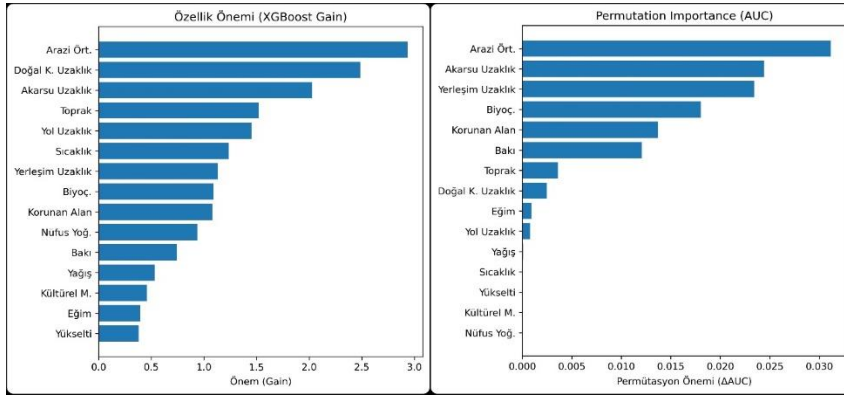
Şekil 8: (Sol). Kümülatif Kazanç eğrisi, modelin pozitif sınıfı yüksek doğrulukla yakaladığını göstermektedir. (Sağ). Lift eğrisi, modelin ilk dilimlerde rastgele seçimden yaklaşık 2,5 kat daha iyi performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

2.3. Değişkenlerin Modele Katkısı

XGBoost modeli ile gerçekleştirilen ekoturizm potansiyel analizinde, kriterlerin görece katkı düzeyleri hem gain tabanlı önem ölçütü hem de permutation temelli değerlendirme ile analiz edilmiştir. Gain tabanlı sonuçlara göre, arazi örtüsü, doğal kaynaklara mesafe ve akarsuya yakınlık en yüksek katkıyı sağlayan değişkenler olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, ekoturizm faaliyetlerinin mekânsal dağılımında özellikle doğal ortamların niteliği ve su kaynaklarının erişilebilirliğinin belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca toprak özellikleri ve yola olan uzaklık da orta düzeyde önem sergileyerek modelin tahmin performansına anlamlı katkı sunmaktadır.

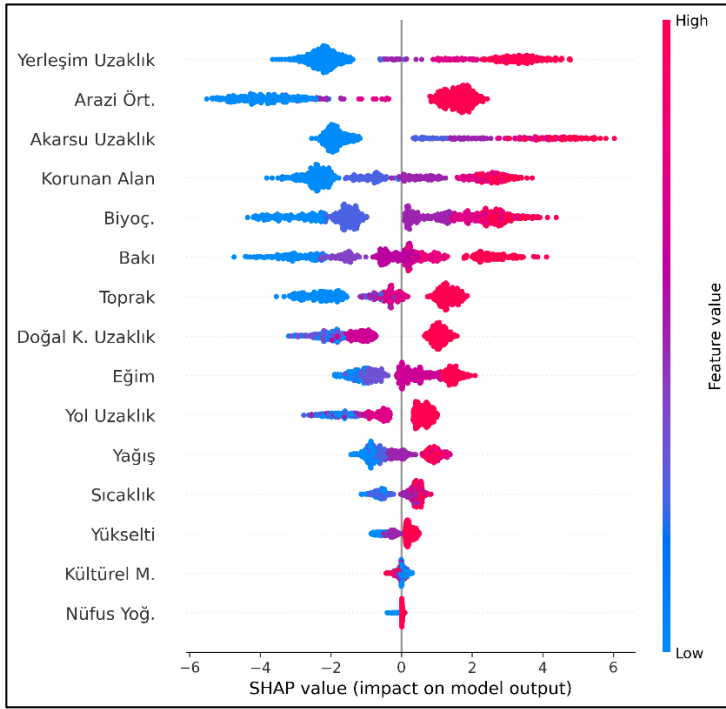
Permütasyon temelli sonuçlar ise kriterlerin modelin doğruluk performansı üzerindeki duyarlılık etkilerini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşımda, arazi örtüsü ve akarsuya mesafe yine en yüksek katkıyı sağlamış, ardından yerleşim uzaklığı, biyoçeşitlilik ve korunan alanlar

gelmiştir. Permütasyon sonuçları, özellikle insan faaliyetlerinden uzak doğal alanların modelde yüksek uygunluk sınıflarını belirlemede daha etkili olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, nüfus yoğunluğu, sıcaklık ve yükselti gibi değişkenlerin katkısı sınırlı kalmış, bu da bu faktörlerin Adıyaman özelinde daha tamamlayıcı bir rol üstlendiğini işaret etmektedir (Şekil 9).



Şekil 9: (Sol) XGBoost modeli için gain tabanlı değişken önem sıralaması. Arazi örtüsü, doğal kaynaklara mesafe ve akarsuya yakınlık en yüksek katkıyı sağlayan değişkenler olarak öne çıkmaktadır. (Sağ) XGBoost modeli için permutation temelli değişken önem sıralaması. Arazi örtüsü ve akarsuya yakınlık en yüksek katkıyı sağlamış, yerleşim uzaklığı ve biyoçeşitlilik gibi kriterler de modelin doğruluk performansı üzerinde etkili olmuştur.

SHAP analizi, kriterlerin sadece istatistiksel önem düzeylerini değil, aynı zamanda yönlü etkilerini de ortaya koymaktadır. Yüksek biyoçeşitlilik, korunan alan varlığı ve kültürel değerlerin yoğun olduğu bölgeler model tarafından yüksek uygunluk sınıflarına taşınırken, yüksek sıcaklık, dik eğimler ve yoğun yerleşim alanları uygunluğu sınırlayan faktörler olarak öne çıkmaktadır. Böylece SHAP sonuçları, gain ve permutation bulgularını mekânsal bağlamda desteklemektedir (Şekil 10).



Şekil 10: SHAP özet grafiği. Her bir kriterin modele yaptığı katkı küresel ölçekte görselleştirilmiştir. Pozitif SHAP değerleri kriterlerin ekoturizm uygunluğunu artırıcı etkisini, negatif değerler ise sınırlayıcı etkisini göstermektedir. Arazi örtüsü, doğal kaynaklara mesafe ve akarsuya yakınlık uygunluğu artırırken, yüksek sıcaklık ve yerleşim yoğunluğu uygunluğu azaltıcı etkiler ortaya koymaktadır.

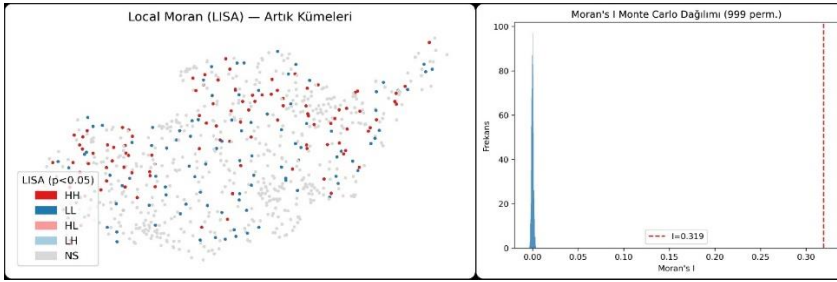
2.4. Mekânsal Bağımlılık

Model çıktılarında mekânsal bağımlılığın düzeyini test etmek amacıyla Moran's I ve Yerel Mekânsal İlişki Göstergeleri (LISA) analizleri uygulanmaktadır. Moran's I istatistiği 0.319 olarak hesaplanmış ve Monte Carlo permütasyon testi (999 tekrar) sonucunda bu değer anlamlı olduğu ($p < 0.01$) belirlenmektedir. Bu sonuç, modelin tahmin ettiği ekoturizm uygunluk değerlerinde rastgele olmayan, mekânsal olarak kümelenmiş bir yapının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek uygunluk değerlerinin belirli bölgelerde bir araya geldiği, düşük uygunluk alanlarının ise yine mekânsal olarak kümeler halinde toplandığı görülmektedir (Şekil 10).

LISA analizi, bu genel bağımlılığın yerel ölçekte nasıl dağıldığını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarına göre, çalışma

alanında yüksek-yüksek (HH) kümelerinin özellikle doğal ve kültürel çekiciliklerin yoğunlaştığı bölgelerde, düşük-düşük (LL) kümelerinin ise ekoturizm potansiyelinin sınırlı olduğu alanlarda yoğunlaştığı belirlenmektedir. Ayrıca yüksek-düşük (HL) ve düşük-yüksek (LH) türü mekânsal aykırılıklar da tespit edilmekte, bu durum yerel ölçekte farklılaşan mekânsal dinamiklere işaret etmektedir.

Bu bulgular, ekoturizm planlamasında yalnızca bireysel kriterlerin değil, aynı zamanda mekânsal otokorelasyon yapısının da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Özellikle HH kümelerinin koruma ve turizm yatırımları açısından öncelikli bölgeler olarak değerlendirilmesi, LL kümelerinin ise ekosistem restorasyonu ve kaynak yönetimi bağlamında ele alınması gerektiği sonucuna varılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Adıyaman ili için mekânsal bağımlılık analizleri: (sol) LISA sonuçlarına göre yüksek-yüksek (HH), düşük-düşük (LL), yüksek-düşük (HL) ve düşük-yüksek (LH) kümelenmeleri; (sağ) Moran's I Monte Carlo permütasyon dağılımı (999 tekrar).

2.5. Ekoturizm Potansiyelinin Mekânsal Dağılımı

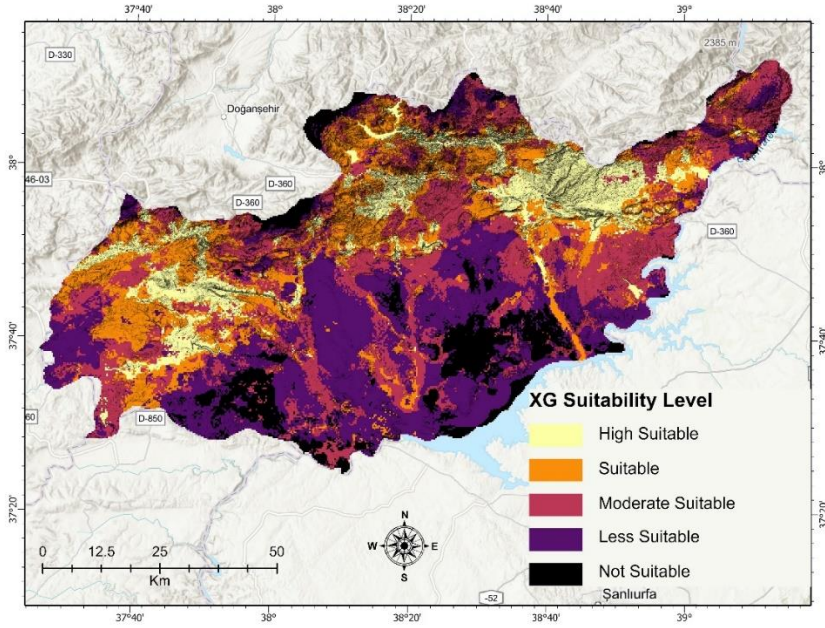
Adıyaman ili için gerçekleştirilen mekânsal modelleme sonucunda ekoturizm potansiyeli beş sınıfa ayrılmıştır: yüksek uygun, uygun, orta düzey uygun, düşük uygun ve uygun olmayan alanlar. Bu sınıflandırma, hem doğal hem de kültürel kriterlerin bütüncül değerlendirilmesiyle ortaya konulmuş olup, mekânsal dağılım ekoturizm planlaması açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

Sonuç haritasına göre, yüksek uygunluk potansiyeline sahip alanlar özellikle Nemrut Dağı ve çevresinde, Gerger ilçesi kuzey kesimlerinde ve Besni yöresinde yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar, UNESCO Dünya Mirası statüsündeki kültürel miras değerleri, zengin

biyolojik çeşitlilik alanları ve doğal peyzaj özellikleri nedeniyle ekoturizm açısından öne çıkmaktadır.

Orta düzey uygunluk potansiyeli daha çok akarsu vadilerinin çevresinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle Kahta Çayı, Göksu ve Ziyaret Çayı havzaları boyunca gelişen bu kuşaklar, su kaynaklarının oluşturduğu mikroklimatik koşullar, peyzaj çeşitliliği ve kırsal yaşam kültürü ile ekoturizm için destekleyici alanlar oluşturmaktadır. Düşük uygunluk sınıfı geniş ölçüde Atatürk Barajı çevresinde, ilin güney ve güneydoğusunda ortaya çıkmaktadır. Baraj çevresi, su kütlesi turizm açısından görsel bir değer barındırmasına rağmen, çevresindeki yoğun yerleşim alanları, yüksek nüfus baskısı, kültürel varlık yoğunluğunun düşük olması ve endemik tür çeşitliliğinin sınırlı kalması nedeniyle düşük potansiyel göstermektedir. Uygun olmayan alanlar çoğunlukla kentsel merkezlerde, ulaşım ağlarının yoğun olduğu sahalarda ve doğal değerlerin zayıf olduğu bölgelerde belirlenmiştir. Bu durum, ekoturizm potansiyelinin özellikle insan baskısının düşük olduğu doğal ve yarı doğal peyzajlarda gelişebileceğini ortaya koymaktadır (Şekil 11).

Alansal dağılım analizine göre, orta düzey uygunluk sınıfı 2132.2 km² ile en geniş alanı kaplamaktadır. Uygun sınıfı 2009.6 km², düşük uygunluk sınıfı 1525.5 km², uygun olmayan alanlar 990 km² ve yüksek uygunluk potansiyeline sahip bölgeler ise 684.6 km² olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, ekoturizm için yüksek öneme sahip alanların toplam alan içindeki payının sınırlı olmasına rağmen, niteliksel açıdan kritik önemde olduğunu göstermektedir. Genel olarak, modelleme bulguları Adıyaman'da ekoturizm gelişiminin özellikle Nemrut Dağı ve çevresi ile akarsu vadileri boyunca yoğunlaşabileceğini, baraj çevresi ve yoğun nüfus alanlarının ise ekoturizm açısından düşük öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, ilin kalkınma stratejilerinde doğa temelli turizm ile kültürel miras unsurlarının bütünleşik biçimde planlanmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (Şekil 12).



Şekil 2: Adıyaman ili için ekoturizm potansiyel haritası.

3. SONUÇ

Ekoturizm, doğal ve kültürel kaynakların korunması ile sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi açısından stratejik öneme sahiptir. Doğa temelli turizmin planlanmasında en önemli husus, ekolojik değerlerin korunması ile yerel toplulukların ekonomik fayda elde etmesinin dengelenmesidir. Bu bağlamda, mekânsal karar destek modelleri ve ileri düzey makine öğrenmesi yöntemleri, ekoturizm potansiyelinin doğru bir şekilde belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Adıyaman ilinde ekoturizm uygunluk alanları 15 farklı mekânsal kriterin bütünleştirilmesiyle XGBoost algoritması kullanılarak değerlendirilmiştir. Modelin performans analizleri, XGBoost'un yüksek doğruluk ve AUC değerleri ile ekoturizm potansiyelinin mekânsal dağılımını başarılı bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. Özellikle arazi örtüsü, doğal kaynaklara yakınlık, akarsulara mesafe, toprak özellikleri ve biyolojik çeşitlilik, modelin öne çıkardığı en güçlü belirleyici değişkenlerdir. Buna karşılık,

nüfus yoğunluğu ve yerleşim alanlarına yakınlık gibi sosyo-ekonomik göstergelerin katkısı daha sınırlı kalmıştır.

Potansiyel ekoturizm alanları haritası, yüksek potansiyele sahip alanların özellikle Nemrut Dağı çevresinde, Gerger ve Sincik yörelerinde, Besni kırsalında ve dağlık ekosistemlerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Orta uygunluk alanları büyük ölçüde akarsu vadileri boyunca şekillenmiştir. Buna karşın, Atatürk Barajı çevresi ve yerleşim yoğunluğu yüksek bölgeler, hem nüfus baskısı hem de kültürel ve biyolojik çeşitlilik açısından görece düşük değerlere sahip olduklarından, düşük uygunluk sınıfında kalmıştır.

Elde edilen çıktılar, Adıyaman'ın sahip olduğu biyolojik çeşitlilik ve kültürel miras zenginliklerinin sürdürülebilir turizm kapsamında değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Nemrut Dağı UNESCO Dünya Mirası Alanı'nın yanı sıra, barındırdığı endemik türler ve jeomorfolojik çeşitlilik ile öne çıkan dağlık alanlar, ekoturizm planlamasında öncelikli bölgeler olarak belirlenmiştir. Ayrıca orta uygunluk düzeyine sahip vadiler, ekolojik hassasiyet gözetilerek yapılacak yatırımlar için potansiyel taşımaktadır.

Bu çalışma, yalnızca XGBoost modeli kullanılarak ekoturizm planlamasına yönelik geliştirilen ilk kapsamlı mekânsal analizlerden biri olması nedeniyle metodolojik açıdan da önem taşımaktadır. Elde edilen sonuçlar, bölgesel planlamada karar vericiler ve yerel yönetimler için somut bir rehber sunmakta, aynı zamanda benzer coğrafi bağlamlara uyarlanabilir bir yöntemsel çerçeve ortaya koymaktadır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, XGBoost algoritması kullanılarak Adıyaman ilinde ekoturizm potansiyel alanlarının belirlenmesine yönelik kapsamlı bir mekânsal model sunmaktadır. Bulgular, doğal ve kültürel faktörlerin ekoturizm potansiyelinin şekillenmesinde baskın rol oynadığını ortaya koymaktadır. Özellikle yükselti, eğim, arazi örtüsü, biyolojik çeşitlilik ve kültürel varlıkların öne çıkması, ekoturizmin doğrudan doğal peyzajın korunması ve kültürel mirasın değerlendirilmesiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, farklı coğrafyalarda gerçekleştirilen benzer

çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir (Bunruamkaew ve Murayama, 2012; Gigović vd., 2016; Karakuş, 2024).

Adıyaman özelinde elde edilen sonuçlar, UNESCO Dünya Mirası statüsündeki Nemrut Dağı ve çevresinin ekoturizm potansiyeli açısından birincil öneme sahip olduğunu göstermektedir. Model çıktılarında bu alanların yüksek uygunluk sınıflarında yer alması, literatürde kültürel miras alanlarının turizm planlamasındaki stratejik rolüne yapılan vurguyu desteklemektedir (Acharya ve Halpenny, 2013; Miletı ve Corsi, 2022). Bunun yanında, biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu dağlık bölgeler ile akarsu vadilerinde ortaya çıkan orta ve yüksek uygunluk değerleri, su kaynaklarının ve ekolojik zenginliğin turizm potansiyeli açısından kritik belirleyiciler olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Fadafan vd., (2022) ve Kedir Nino (2017), su ekosistemleri ve ormanlık alanların ekoturizm uygunluğu üzerindeki güçlü etkisini vurgulamaktadır.

Buna karşılık, Atatürk Barajı çevresinin düşük uygunluk düzeyinde belirlenmesi, sosyo-ekonomik baskılar ve sınırlı kültürel-biyolojik değerler ile açıklanabilmektedir. Bu bulgu, turizm potansiyelinin yalnızca doğal varlıkların varlığına değil, aynı zamanda ekosistem hizmetleri ve yerleşim baskısına da bağlı olduğunu göstermektedir. Mobaraki vd., (2014) ve Sahani (2020), benzer şekilde, nüfus yoğunluğu ve yerleşim yakınlığının turizm planlamasında kısıtlayıcı faktörler olarak öne çıktığını belirtmektedir. Bu durum, çalışmamızın sonuçlarıyla tutarlı olup, Adıyaman'daki turizm planlamasında çevresel hassasiyetin korunması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Model performansına ilişkin bulgular, XGBoost'un ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde yüksek sınıflandırma başarısı sunduğunu göstermektedir. ROC-AUC ve PR-AUC değerlerinin literatürde rapor edilen yüksek doğruluk düzeyleriyle uyumlu olması (Huang vd., 2024), bu algoritmanın mekânsal karar destek sistemlerinde güvenilir şekilde kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Ayrıca SHAP analiziyle yapılan değişken katkı değerlendirmesi, modelin yalnızca istatistiksel değil aynı zamanda yorumlanabilir çıktılar üretmesini sağlamıştır. Bu yaklaşım, karar vericilerin hangi faktörlerin daha belirleyici olduğunu anlamasına

ve planlamada bu kriterlere öncelik vermesine olanak tanımaktadır (Lundberg ve Lee, 2017).

Bu çalışmanın bulguları, literatürdeki genel eğilimlerle uyumlu olmakla birlikte, Adıyaman'a özgü coğrafi ve sosyo-ekonomik koşulların modele yansıyan farklılıklar oluşturduğunu da göstermektedir. Örneğin, Karakuş (2024) Sivas genelinde yaptığı çalışmada yol ve yerleşim yakınlığının orta düzeyde etkili olduğunu belirtirken, Adıyaman'da bu faktörlerin katkısı oldukça düşük kalmıştır. Bu durum, değişkenlerin önem derecesinin bağlama göre farklılaşabileceğini ve yerel ölçekli modellerin önemini ortaya koymaktadır.

Genel olarak, bu çalışma, Adıyaman'ın sahip olduğu biyolojik çeşitlilik ve kültürel miras unsurlarının sürdürülebilir ekoturizm planlamasında dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bulgular, ekoturizm gelişiminin yalnızca ekonomik bir faaliyet değil, aynı zamanda doğa koruma ve kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılmasında stratejik bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla elde edilen mekânsal analizler, hem yerel yönetimlerin hem de ulusal düzeyde politika yapıcılarının karar süreçlerine doğrudan katkı sağlayabilecek niteliktedir.

Kaynakça

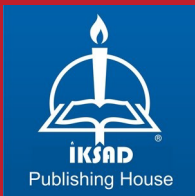
- Acharya, B. P., ve Halpenny, E. A. (2013). Homestays as an alternative tourism product for sustainable community development: A case study of women-managed tourism product in rural Nepal. *Tourism Planning ve Development*, 10(4), 367–387. <https://doi.org/10.1080/21568316.2013.779313>
- Ahmadi, M., Darabkhani, M. F., ve Ghanavati, E. (2014). A GIS-based multi-criteria decision-making approach to identify site attraction for ecotourism development in Ilam Province, Iran. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 13(1), 176–189. <https://doi.org/10.1080/21568316.2014.913676>
- Akbari, R., Pourmanafi, S., Soffianian, A. R., Galalizadeh, S., ve Khodakarami, L. (2024). Enhancing ecotourism site suitability assessment using multi-criteria evaluation and NSGA-II. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 28663–28698. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03835-4>
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338>
- Baidya, A., Saha, A. K., ve Roy, A. (2025). Application of deep learning, machine learning and multi-criteria decision analysis for ecotourism potentiality assessment: A case study of the Sundarban Biosphere Reserve, India. *Discover Artificial Intelligence*, 5, 264. <https://doi.org/10.1007/s44163-025-00496-2>
- Bakırcı, M. (2013). Adıyaman'da İmalat Sanayinin Gelişimi Ve Yapısı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (59), 45-58.
- Baloch, Q. B., Shah, S. N., Iqbal, N., Sheeraz, M., Asadullah, M., Mahar, S., ve Khan, A. U. (2022). Impact of tourism development upon environmental sustainability: a suggested framework for sustainable ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5917–5930. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w>
- Broadbent, E. N., Almeyda Zambrano, A. M., Dirzo, R., Durham, W. H., Driscoll, L., Gallagher, P., Salters, R., Schultz, J., Colmenares, A., ve Randolph, S. G. (2012). The effect of land use change and ecotourism on biodiversity: A case study of Manuel Antonio, Costa Rica, from 1985 to 2008. *Landscape Ecology*, 27(5), 731–744. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9722-7>
- Buckley, R. (2009). Evaluating the net effects of ecotourism on the environment: A framework, first assessment and future research. *Journal of Sustainable Tourism*, 17(6), 643–672. <https://doi.org/10.1080/09669580902999188>

- Bunruamkaew, K., ve Murayama, Y. (2011). Site suitability evaluation for ecotourism using GIS ve AHP: A case study of Surat Thani Province, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.024>
- Chaudhary, S., Kumar, A., Pramanik, M., ve Negi, M. S. (2022). Land evaluation and sustainable development of ecotourism in the Garhwal Himalayan region using geospatial technology and analytical hierarchy process. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 2225–2266. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01528-4>
- Chen, T., ve Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chen, T., ve Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Dormann, C. F., McPherson, J. M., Araújo, M. B., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., Davies, R. G., Hirzel, A., Jetz, W., Kissling, W. D., Kühn, I., Ohlemüller, R., Peres-Neto, P. R., Reineking, B., Schröder, B., Schurr, F. M., ve Wilson, R. (2007). Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: A review. *Ecography*, 30(5), 609–628. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x>
- Dye, A. S., ve Shaw, S. L. (2007). A GIS-based spatial decision support system for tourists of Great Smoky Mountains National Park. *Journal of Retailing and Consumer services*, 14(4), 269–278.
- Fadafan, F. K., Soffianian, A., Pourmanafi, S., ve Morgan, M. (2022). Assessing ecotourism in a mountainous landscape using GIS-MCDA approaches. *Applied Geography*, 147, 102743. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102743>
- Getis, A., ve Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Gigović, L., Pamučar, D., Lukić, D., ve Marković, S. (2016). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of “Dunavski ključ” region, Serbia. *Land Use Policy*, 58, 348–365. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.030>

- Gössling, S. (1999). Ecotourism: a means to safeguard biodiversity and ecosystem functions? *Ecological Economics*, 29(2), 303–320. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(99\)00012-9](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(99)00012-9)
- Grandini, M., Bagli, E., ve Visani, G. (2020). Metrics for multi-class classification: An overview. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.05756>
- Honey, M. (1999). *Ecotourism and sustainable development: Who owns paradise?* Island Press.
- Huang, Q., Zhou, C., Li, M., Ma, Y., ve Hua, S. (2024). An approach for mapping ecotourism suitability using machine learning: A case study of Zhangjiajie, China. *Land*, 13(8), 1188. <https://doi.org/10.3390/land13081188>
- Jaya, P. H. I., Izudin, A., ve Aditya, R. (2022). The role of ecotourism in developing local communities in Indonesia. *Journal of Ecotourism*, 23(1), 20–37. <https://doi.org/10.1080/14724049.2022.2117368>
- Karagöz, D., Aktaş, S. G., ve Kantar, Y. M. (2022). Spatial analysis of the relationship between tourist attractions and tourist flows in Turkey. *European Journal of Tourism Research*, 31, 3102. <https://doi.org/10.54055/ejtr.v31i.2745>
- Karakuş, C. B. (2024). Assessment of ecotourism potentiality based on GIS-based fuzzy logarithm methodology of additive weights (F-LMAW) method for sustainable natural resource management. *Environment, Development and Sustainability*, 26(27), 27001–27055. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05283-0>
- Kodal, S. (2024). Adıyaman Turizmi: Deprem Özelinde Paydaş Görüşü. *Journal of tourism research institute*, 5(1), 1-10.
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95) (Vol. 2, pp. 1137–1143)*. Morgan Kaufmann.
- Koliouka, C., ve Andreopoulou, Z. (2023). E-Tourism for Sustainable Development through Alternative Tourism Activities. *Sustainability*, 15(11), 8485. <https://doi.org/10.3390/su15118485>
- Liu, Z. (2003). Sustainable tourism development: A critique. *Journal of Sustainable Tourism*, 11(6), 459–475. <https://doi.org/10.1080/09669580308667216>
- Liu, Z. (2010). Sustainable tourism development: A critique. *Journal of Sustainable Tourism*, 18(3), 459–475. <https://doi.org/10.1080/09669580308667216>
- Lundberg, S. M., ve Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4765–4774.

- Lundberg, S. M., ve Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 30). Curran Associates, Inc. <https://papers.nips.cc/paper/2017/hash/8a20a8621978632d76c43dfd28b67767-Abstract.html>
- Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., ve Lee, S.-I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. *Nature Machine Intelligence*, 2(1), 56–67. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0138-9>
- Marson, D. (2011). From mass tourism to niche tourism. In *CABI eBooks* (pp. 1–15). <https://doi.org/10.1079/9781845936846.0001>
- Masoudi, M., Centeri, C., Jakab, G., Nel, L., ve Mojtahedi, M. (2021). GIS-based multi-criteria and multi-objective evaluation for sustainable land-use planning (Case study: Qaleh Ganj County, Iran). *International Journal of Environmental Research*, 15(3), 457–474. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00326-0>
- Mileti, F. A., ve Corsi, M. (2022). A geospatial decision support system for ecotourism: A case study in the Campania region (Italy). *Land Use Policy*, 118, 106131. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106131>
- Mobaraki, O., Abdollahzadeh, M., ve Kamelifar, Z. (2014). Site suitability evaluation for ecotourism using GIS and AHP: A case study of Isfahan Townships, Iran. *Management Science Letters*, 4(8), 1893–1898. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2014.6.038>
- Molnar, C. (2022). *Interpretable machine learning: A guide for making black box models explainable* (2nd ed.). Leanpub. <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book>
- Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17–23. <https://doi.org/10.2307/2332142>
- Nino, K., Mamo, Y., Mengesha, G., ve Kibret, S. K. (2017). GIS based ecotourism potential assessment in Munessa Shashemene Concession Forest and its surrounding area, Ethiopia. *Applied Geography*, 82, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.02.010>
- Ribeiro, M. T., Singh, S., ve Guestrin, C. (2016). “Why should I trust you?”: Explaining the predictions of any classifier. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16)* (pp. 1135–1144). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>

- Roberts, D. R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M. S., Elith, J., Guillera-Aroita, G., Hauenstein, S., Lahoz-Monfort, J. J., Schröder, B., Thuiller, W., Warton, D. I., Wintle, B. A., Hartig, F., ve Dormann, C. F. (2017). Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*, 40(8), 913–929. <https://doi.org/10.1111/ecog.02881>
- Sahani, N. (2020). Application of analytical hierarchy process and GIS for ecotourism potentiality mapping in Kullu District, Himachal Pradesh, India. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 6187–6211. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00470-w>
- Scheyvens, R. (1999). Ecotourism and the empowerment of local communities. *Tourism Management*, 20(2), 245–249. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(98\)00069-7](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(98)00069-7)
- Sharpley, R., ve Telfer, D. J. (2002). *Tourism and development : concepts and issues*. In Channel View Publications eBooks. http://perpus.univpancasila.ac.id/index.php?p=show_detailveid=110444
- Stronza, A. L., Hunt, C. A., ve Fitzgerald, L. A. (2019). Ecotourism for conservation? *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 229–253. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033046>
- Stronza, A., ve Gordillo, J. (2008). Community views of ecotourism. *Annals of Tourism Research*, 35(2), 448–468. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2008.01.002>
- Tisdell, C. (1996). Ecotourism, economics, and the environment: Observations from China. *Journal of Travel Research*, 34(4), 11–19. <https://doi.org/10.1177/004728759603400402>
- Tribe, J. (2006). *The economics of recreation, leisure and tourism*. In Routledge eBooks. <https://doi.org/10.4324/9780080455211>
- Vanhove, N. (1997). Mass tourism. In S. Wahab ve J. J. Pigram (Eds.), *Tourism, development and growth: The challenge of sustainability* (pp. 50–77). Routledge.
- Wearing, S., ve Neil, J. (2009). *Ecotourism* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080940182>
- Weaver, D. B. (Ed.). (2001). *The encyclopedia of ecotourism* (pp. xiv + 668). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851993683.0000>
- Ribeiro, M. T., Singh, S., ve Guestrin, C. (2016). “Why should I trust you?”: Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1135–1144. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>



ISBN: 978-625-378-500-0