



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

***PİNUS BRUTİA* (KIZILÇAM) TÜRÜNÜN TÜRKİYE'DE YAYILIŞ
ALANLARI VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI OLARAK
GELECEKTEKİ (2041-2060,2061-2080 VE 2081-2100) YAYILIŞ
ALANLARININ MAXENT MODELİ İLE MEKÂNSAL TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrem AKTAŞ

Danışman: Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

TOKAT- 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Orhan Mete Kılıç danışmanlığında hazırlamış olduğum “*Pinus Brutia* (Kızılçam) Türünün Türkiye’de Yayılış Alanları ve İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Gelecekteki (2041-2060,2061-2080 ve 2081-2100) Yayılış Alanlarının MaxENT Modeli ile Mekânsal Tahmini” adlı Yüksek Lisans/ Doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

23/07/2025

İrem Aktaş

JÜRİ KABUL VE ONAY

İrem Aktaş tarafından hazırlanan “*Pinus Brutia* (Kızılçam) Türünün Türkiye’de Yayılış Alanları ve İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Gelecekteki (2041-2060,2061-2080 ve 2081-2100) Yayılış Alanlarının MaxENT Modeli ile Mekânsal Tahmini” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 30/06/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmzası**

Üye (Başkan):

Üye : Doç.

Üye : Doç.

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

İlk olarak, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni her zaman yönlendiren, araştırmaya ve akademik hayata dair vizyonumu genişleten, her aşamada bana desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Orhan Mete Kılıç'a şükranlarımı sunuyorum. Kendisi, sadece tez çalışmamın değil, eğitim hayatımın ilk günlerinden itibaren bana rehberlik etmiş, karşılaştığım zorluklar karşısında her zaman beni cesaretlendirmiştir. Onun değerli bilgisi, özenli yaklaşımı ve sabrı, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Yine Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim süresince bana kıymetli katkılar sunarak, araştırma sürecimde bilgi ve görüşleriyle bana rehberlik eden, tüm sorularıma içtenlikle cevap veren sayın Dr. Öğr. Üyesi Kemal Ersayın'a teşekkürlerimi sunuyorum. Kendisi, sadece akademik alandaki bilgilerimi geliştirmekle kalmamış, aynı zamanda bir bilim insanı olma yolunda bana önemli bir ilham kaynağı olmuştur.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca bana kıymetli katkılar sunan Sayın Prof. Dr. Hakan Mete Doğan'a ve Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Coğrafya Bölümünün kıymetli Öğretim Üyesi hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın ve eğitim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her düştüğümde bana el uzatan annem, babam ve abime teşekkürü borç bilirim.

Ve bana her adımda destek olan arkadaşlarıma minnettarım. Hepsi, hayatıma değer katan, beni daha iyi bir insan olmaya teşvik eden yoldaşlardır.

İrem Aktaş

ÖZET

PİNUS BRUTİA (KIZILÇAM) TÜRÜNÜN TÜRKİYE’DE YAYILIŞ ALANLARI VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI OLARAK GELECEKTEKİ (2041-2060, 2061-2080 VE 2081-2100) YAYILIŞ ALANLARININ MAXENT MODEL İLE MEKÂNSAL TAHMİNİ

Aktaş, İrem

Yüksek Lisans, Coğrafya Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

Haziran 2025, xv + 97 sayfa

Biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de yaygın olarak bulunan *Pinus brutia* Ten. türünün mevcut dağılımını ve iklim değişikliğine bağlı olarak 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 yılları arasında gelecekteki yayılış alanlarını MaxEnt tür dağılım modeli kullanarak tahmin etmektir. Çalışmada, *Pinus brutia* Ten.’in coğrafi dağılımını etkileyen çevresel faktörler ve iklim değişikliğinin bu faktörler üzerindeki potansiyel etkileri analiz edilmiştir. Bu amaçla, mevcut iklim verileri, çevresel faktörler ve gelecekteki iklim senaryoları dikkate alınarak, türün yayılışının zaman içindeki değişimleri modellenmiştir. MPI-ESM1-2-HR modelinin SSP2-4.5 senaryosuna göre; 2041–2060 döneminde uygun alanlarda 2.640 km², çok uygun alanlarda 2.107 km² artış; 2061–2080 döneminde uygun alanlarda 2.277 km², çok uygun alanlarda 1.268 km² artış; 2081–2100 döneminde ise uygun alanlarda 207 km² azalma, çok uygun alanlarda 1.787 km² artış öngörülmüştür. Aynı senaryo kapsamında HAD-GEM3-GC31-LL modeline göre; 2041–2060 döneminde uygun alanlarda 565 km², çok uygun alanlarda 604 km² artış; 2061–2080 döneminde uygun alanlarda 1.616 km², çok uygun alanlarda 396 km² artış; 2081–2100 döneminde ise uygun alanlarda 1.689 km² artış, çok uygun alanlarda 116 km² azalma öngörülmüştür. SSP5-8.5 senaryosuna göre MPI-ESM1-2-HR modelinde; 2041–2060 döneminde uygun alanlarda 869 km² azalma, çok uygun alanlarda 1.278 km² artış; 2061–2080 döneminde uygun alanlarda 1.083 km², çok uygun alanlarda 1.620 km² artış; 2081–2100 döneminde ise uygun alanlarda 317 km², çok uygun alanlarda 165 km² artış öngörülmüştür. HAD-GEM3-GC31-LL modelinde ise aynı senaryoya göre; 2041–2060 döneminde uygun ve

çok uygun alanlarda 3.353 km² artış; 2061–2080 döneminde uygun alanlarda 3.360 km², çok uygun alanlarda 1.922 km² artış; 2081–2100 döneminde ise uygun alanlarda 965 km² azalma, çok uygun alanlarda 807 km² artış tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, *Pinus brutia* Ten.'in hem orta hem de yüksek emisyon senaryoları altında önemli bir adaptasyon kapasitesine sahip olduğunu ve özellikle bazı dönemlerde çok uygun habitat alanlarında belirgin artışlar yaşandığını ortaya koymaktadır. Tür, yüksek sıcaklık ve azalan yağış koşullarına karşı direnç gösterebilmekte, bazı alanlarda yayılışını sürdürebilmekte ya da yeni alanlara doğru genişleyebilmektedir. Bu durum, *Pinus brutia* Ten.'in gelecekteki iklim senaryoları altında da orman ekosistemlerindeki varlığını sürdürebileceğini ve orman yönetim stratejilerinde dikkate alınması gereken bir tür olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Pinus brutia* Ten., Tür Dağılım Modelleme, MaxENT, İklim Değişikliği, Biyolojik Çeşitlilik

ABSTRACT

SPATIAL PREDICTION OF THE DISTRIBUTION AREAS OF *PINUS BRUTIA* (RED PINE) IN TURKEY AND ITS FUTURE DISTRIBUTION AREAS (2041-2060, 2061-2080 AND 2081-2100) UNDER CLIMATE CHANGE USING THE MAXENT MODEL

Aktaş, İrem

Master's Thesis, Department of Geography

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Orhan Mete KILIÇ

June 2025, xv + 97 pages

Conservation of biodiversity is of great importance for the sustainability of ecosystems. The aim of this study is to estimate the current distribution of *Pinus brutia* Ten. (Red Pine) species, which is widespread in Turkey, and its future distribution areas depending on climate change between 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100 using the MaxEnt species distribution model. In the study, environmental factors affecting the geographical distribution of *Pinus brutia* Ten. and the potential effects of climate change on these factors were analyzed. For this purpose, changes in the distribution of the species over time were modeled by considering current climate data and future climate scenarios. According to the SSP2-4.5 scenario of the MPI-ESM1-2-HR model; an increase of 2,640 km² in suitable areas and 2,107 km² in very suitable areas during the 2041–2060 period; An increase of 2,277 km² in suitable areas and 1,268 km² in very suitable areas is projected during the 2061–2080 period; a decrease of 207 km² in suitable areas and 1,787 km² in very suitable areas is projected during the 2081–2100 period. Under the same scenario, according to the HAD-GEM3-GC31-LL model; an increase of 565 km² in suitable areas and 604 km² in very suitable areas is projected during the 2041–2060 period; an increase of 1,616 km² in suitable areas and 396 km² in very suitable areas is observed during the 2061–2080 period; and an increase of 1,689 km² in suitable areas and 116 km² decrease in very suitable areas is observed during the 2081–2100 period. According to the SSP5-8.5 scenario, in the MPI-ESM1-2-HR model; During the 2041–2060 period, a decrease of 869 km² in suitable areas and an increase of 1,278 km² in very suitable areas are predicted; during the 2061–2080 period, an increase of 1,083 km² in

suitable areas and 1,620 km² in very suitable areas are predicted; during the 2081–2100 period, an increase of 317 km² in suitable areas and 165 km² in very suitable areas are predicted. In the HAD-GEM3-GC31-LL model, according to the same scenario; during the 2041–2060 period, an increase of 3,353 km² in suitable and very suitable areas are predicted; during the 2061–2080 period, an increase of 3,360 km² in suitable areas and 1,922 km² in very suitable areas are predicted; during the 2081–2100 period, a decrease of 965 km² in suitable areas and 807 km² increase in very suitable areas are predicted. The findings show that the Red Pine species has a significant adaptation capacity under both medium and high emission scenarios, and that there have been significant increases in very suitable habitat areas, especially during some periods. The species can resist high temperatures and reduced precipitation conditions, and can maintain its distribution in some areas or expand to new areas. This shows that Red Pine can continue its existence in forest ecosystems under future climate scenarios and is a species that should be taken into consideration in forest management strategies.

Keywords: *Pinus brutia* Ten., Species Distribution Modeling, MaxENT, Climate Change, Biodiversity.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Etik Sözleşme.....	i
Jüri Kabul ve Onay.....	ii
Teşekkür	iii
Özet	iv
Abstract.....	vi
İçindekiler.....	viii
Tablolar Listesi	x
Şekiller Listesi	xi
Kısaltmalar	xv
 BÖLÜM 1: GİRİŞ.....	 1
1.1. Genel Bilgiler	3
1.1.1. Biyolojik Çeşitlilik.....	3
1.1.2. İklim ve İklim Değişikliği.....	4
1.1.3. İklim Değişikliği Senaryoları.....	5
1.1.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Makine Öğrenmesi.....	9
1.1.5. Pinus brutia Ten. (Kızılçam).....	11
1.1.6. İklim Değişikliği, Orman Yangını ve Pinus brutia Ten. Üçgenine Genel Bakış.....	16
1.2. Literatür Özeti	17
 BÖLÜM 2: MATERYAL VE YÖNTEM.....	 25
2.1. Çalışma Alanı	25
2.2. İklim Modeli.....	28
2.3. Lokasyon Noktaları, Biyoklimatik Değişkenler ve Edafik Faktörler.....	30
2.4. Maksimum Entropi Algoritması.....	33
 BÖLÜM 3: ARAŞTIRMA BULGULARI.....	 38

3.1. Modelde Kullanılan Belirleyici Parametreler.....	38
3.2. Mevcut İklim Koşulları Altında <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün Türkiye’de Tahmini Dağılışı.....	43
3.3. Gelecek İklim Değişikliği Senaryoları Altında <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün Türkiye’de Potansiyel Mekansal Dağılım Alanları.....	49
3.3.1. HADGEM3-GC31-LL İklim Modeli.....	49
3.3.1.1. Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5)	50
3.3.1.2. Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5).....	55
3.3.2. MPI-ESM1-2-HR İklim Modeli	61
3.3.2.1. Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5)	61
3.3.2.2. Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5).....	67
BÖLÜM 4: TARTIŞMA	74
BÖLÜM 5: SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKÇA.....	83
ÖZGEÇMİŞ	97

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo No.....	Sayfa
Tablo 1.1 : SSP Senaryoları ve Tarifleri.....	7
Tablo 1.2 : Türkiye Orman Alanlarının Ağaç Türlerine Göre Dağılımı (2022).....	12
Tablo 2.1 : Biyoklimatik Değişkenler.....	32
Tablo 2.2 : Sınıflandırma Aralıkları	37
Tablo 3.1 : Korelasyon Analizi Sonuçları	39
Tablo 3.2 : HAD-GEM –GC3 –LL İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım.....	61
Tablo 3.3 : Tablo 7: MPS-ESM1-2-HR İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1.1 : IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'ndan 2100 Yılına Kadar Gelecekteki Emisyon Tahminleri	6
Şekil 1.2 : IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu'ndan 2100 Yılına Kadar Gelecekteki Emisyon Tahminleri	8
Şekil 1.3 : IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporundan Gelecekteki Sıcaklık Artışlarına İlişkin Tahminleri	8
Şekil 1.4 : <i>Pinus Brutia</i> Ten. Türüne Ait Dağılım Haritası	11
Şekil 1.5 : <i>Pinus brutia</i> Ten. Ormanı: Türkiye'den Görünüm.....	13
Şekil 2.1 : Çalışma Alanına Ait Lokasyon Haritası	25
Şekil 2.2 : Çalışma Alanına Ait Sayısal Yükselti Modelinin Gösterimi	26
Şekil 2.3 : Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası	27
Şekil 2.4 : Yıllık Ortalama Yağış Haritası	27
Şekil 2.5 : MaxEnt Modele Dahil Edilmiş <i>Pinus brutia</i> Ten.'e Ait Örnek Noktalar	30
Şekil 2.6 : MaxEnt Model Arayüzü	36
Şekil 2.7 : MaxEnt Model İş Akış Şeması.....	36
Şekil 3.1 : Çalışmada Kullanılan Biyoklimatik Değişkenlere İlişkin Haritalar (a)	40
Şekil 3.2 : Çalışmada Kullanılan Biyoklimatik Değişkenlere İlişkin Haritalar (b)	41
Şekil 3.3 : Çalışmada Kullanılan Çevresel Değişkenlere İlişkin Haritalar	42
Şekil 3.4 : ROC Eğrisi Altında Kalan Alan (AUC Grafiği)	43
Şekil 3.5 : Omisyon Grafiği.....	44
Şekil 3.6 : Jackknife Grafiği	45
Şekil 3.7 : Çevresel Değişkenlerin MaxEnt Modeline Göreli Katkılarına İlişkin Tahminleri.....	46

Şekil 3.8 : Mevcut İklim Koşullarında <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün Dağılımını Tahmin Etmek İçin Maxent Modele Dahil Edilen Farklı İklim Parametrelerinin Tepki Eğrileri	47
Şekil 3.9 : <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün Mevcut İklim Koşulları Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı.....	48
Şekil 3.10 : Türün Mevcut İklim Koşulları Altında Alansal Yüzdelik Dağılımının Pasta Grafiği ile Gösterimi.....	49
Şekil 3.11 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	50
Şekil 3.12 : 2061-2080 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	50
Şekil 3.13 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	51
Şekil 3.14 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	52
Şekil 3.15 : 2061-2080 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	52
Şekil 3.16 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	52
Şekil 3.17 : <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün HAD-GEM3-GC31LL İklim Modeli Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı	54
Şekil 3.18 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	55
Şekil 3.19 : 2061-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	55
Şekil 3.20 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	56
Şekil 3.21 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	57

Şekil 3.22 : 2061-2080 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	58
Şekil 3.23 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	58
Şekil 3.24 : HAD-GEM3-GC31-LL İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım Alanlarının Çizgi Grafik ile Gösterimi	59
Şekil 3.25 : <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün HAD-GEM3-GC31LL İklim Modeli Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı	60
Şekil 3.26 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	62
Şekil 3.27 : 2061-2080 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	62
Şekil 3.28 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	62
Şekil 3.29 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	63
Şekil 3.30 : 2061-2081 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	64
Şekil 3.31 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	64
Şekil 3.32 : <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün MPI-ESM1-2-HR İklim Modeli Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı.....	66
Şekil 3.33 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	67
Şekil 3.34 : 2061-2081 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	67
Şekil 3.35 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası.....	68

Şekil 3.36 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	69
Şekil 3.37 : 2061-2080 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	69
Şekil 3.38 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası.....	70
Şekil 3.39 : MPI-ESM1-2HR İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım Alanlarının Çizgi Grafik ile Gösterimi	71
Şekil 3.40 : <i>Pinus brutia</i> Ten. Türünün MPI-ESM1-2-HR İklim Modeli Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı.....	72

KISALTMALAR

BTG	Büyük Toprak Grupları
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
CSIRO_mk3_6_0	Commonwealth Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma
DEM	Digital Elevation Model
ESM	Dünya Sistem Modeli
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
HADGEM3-ES	Hadley Centre Global Environmental Model 2 – Earth System
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
MaxEnt	Maksimum Entropi Modellemesi
MIROC_MIROC5	İklim Üzerindeki Disiplinlerarası Araştırma
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute Earth System Model version 1.2- High Resolution
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
RCP	Representative Concentration Pathways
SSP	Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar
SYM	Sayısal Yükselti Verisi

1. BÖLÜM: GİRİŞ

Biyolojik çeşitlilik "genetik, fenotipik, filogenetik ve fonksiyonel özelliklerdeki çeşitliliğin yanı sıra türler, biyolojik topluluklar ve ekosistemler içinde ve arasında zaman ve mekân içinde bolluk ve dağılımdaki değişiklikleri" içerir. Biyoçeşitlilik, genlerden ekosistemlere kadar farklı organizasyon düzeylerini kapsayan hiyerarşik bir kavramdır, aynı zamanda bu düzeyler içindeki ve arasındaki varlıklar arasındaki etkileşimlerin kapsamını ve çeşitliliğini de kapsar (Ahmed & Musa, 2019; Chao & Colwell, 2022). Ekosistem, tür ve genetik çeşitlilik arasındaki etkileşim biyolojik çeşitliliğin temel unsurlarındandır. Bu unsurlardaki tahribat, sistem üzerinde tümüyle bir etki oluşturarak hem ekonomik hem de ekolojik kayıplara yol açmakta ve genellikle bu kayıpların geri dönüşü zor olmaktadır (Demir, 2009; Uyanık vd., 2012).

Biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik giderek artan farkındalık çalışmalarına rağmen, insan faaliyetlerinin neden olduğu tehditler ve küresel iklim değişiklikleri biyolojik çeşitliliği tehdit etmeye devam etmektedir (Dervişoğlu vd., 2009). Türler içindeki genetik çeşitlilik azalmakta, bazı türler tamamen yok olmakta ve bazı türlerde ise artış yaşanmaktadır. Ayrıca, habitatların tahrip olması ve ekosistem süreçlerinin bozulması gibi faktörler de biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir. (Çağlar, 2023).

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 1988 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından insan etkisiyle meydana gelen iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek amacıyla kurulmuştur (Biju Kumar & Ravinesh, 2017). IPCC tarafından hazırlanan raporlara göre, plansız ve kontrolsüz arazi kullanımı, karbon emisyonu açısından önemli bir rol oynayan orman, çayır, mera, tarım, sulak alanlar ve yerleşim alanlarında olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Arazi kullanımındaki değişikliklerin biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, küresel iklim değişikliği senaryoları açısından büyük önem taşımaktadır (Tanfer, 2023).

Türkiye’de hızla artan nüfus ve buna bağlı olarak doğal kaynaklara olan talep artışı, ormanlar da dâhil olmak üzere ülkenin doğal ekosistemlerindeki biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir (Kaya & Raynal, 2001). Ekosistem içinde her canlı türünün

kendisine özgü bir görevi bulunmaktadır. Bir türün doğal yaşam alanından kaybolması, tüm türlerin yok olma tehdidinin ortaya çıkmasıyla sonuçlanabilir ki bu da ekosistemin çöküşü anlamına gelmektedir. Bu durum, her canlının belirli bir işlevinin olması ve diğer türlerle bağlantılı olmasıyla ilgilidir (Yücel, 2013).

Türlerin mekânsal dağılımının haritalanması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve yönetilmesinde önemli bir adımdır (Beşir, 2018). Bu haritalar, türlerin dağılımlarını, habitatlarını ve ekosistemlerini mekânsal olarak gösterme amacıyla kullanılmaktadır. Bu bilgiler, türlerin ve habitatların korunması, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve biyoçeşitliliğin korunması gibi konularda kullanılmaktadır. Biyolojik çeşitlilik ve yaban hayatı koruma çalışmaları için, türlerin habitat tercihleri ve bu tercihlerde etkili olan çevresel değişkenlerin bilinmesi gereklidir. Bu nedenle türlerin korunması için önemli bir rol oynayan tür dağılım modellemeleri son derece önemlidir. (Corsi vd., 1999).

CBS'nin önemli kullanım alanlarından biri, doğadaki biyoçeşitliliğin haritalanması, analiz edilmesi ve planlanmasıdır. CBS, biyoçeşitlilik verilerini toplayarak tür katalogları oluşturmak, dağılımlarını gösteren haritalar hazırlamak ve risk altında olan türleri belirlemek konusunda yardımcı bir araçtır. Bu analizler için arazi yüzeyi, bitki örtüsü, nehirler, idari sınırlar, yollar ve yerleşim birimleri gibi birçok harita altlığı ile coğrafi konumları belirlenmiş biyolojik türlerin birleştirilmesi gerekmektedir. CBS, farklı bölgelerdeki türlerin karşılaştırılması, çevresel faktörlere bağlı olarak izlenmesi ve bu bilgilerin gelecek nesillere aktarılması konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Türlerin iklim değişikliğinden nasıl etkileneceğinin incelenmesi, incelenen türlerin gelecekteki kullanımının planlanması için büyük öneme sahiptir. Türlerin mevcut ve gelecekteki potansiyel yayılış alanlarını belirlemek için, türün bulunduğu alanlara ait noktasal veriler ve sayısal biyoiklim verileri kullanılarak oluşturulan katmanlar üzerinden MaxEnt yazılımı ile analiz yapılabilmektedir (Örücü, 2019).

Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin önemli orman ağaç türlerinden biri olan *Pinus brutia* Ten.'in mevcut yayılış alanlarını ve iklim değişikliğine bağlı olarak gelecekteki (2041–2060 ve 2081–2100) potansiyel yayılış alanlarını mekânsal olarak modellemek ve bu değişimin ekolojik ve ekonomik etkilerini değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda, tür dağılım modelleme yaklaşımlarından MaxEnt yazılımı ile türün bulunduğu alanlara ait noktasal veriler ve sayısal biyoiklim değişkenleri kullanılarak

mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli analizlerle türün habitat tercihleri, çevresel değişkenlerle olan ilişkisi ve gelecekteki potansiyel yayılış alanlarındaki değişimler haritalandırılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, *Pinus brutia*'nın korunması ve sürdürülebilir yönetimi için iklim değişikliğinin yaratabileceği tehditlerin belirlenmesi ve bu türün biyolojik çeşitlilik içindeki rolünün daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

1.1. GENEL BİLGİLER

1.1.1. Biyolojik Çeşitlilik

Biyolojik çeşitlilik, 1996 yılında Rio'da düzenlenen uluslararası Biyolojik çeşitlilik sözleşmesinde; kara, deniz ve diğer su ekosistemleri ve bu ekosistemlerde yer alan canlı organizmalar arasındaki farklılık olarak tanımlanmaktadır. Aynı sözleşmeye göre bu farklılık, türler arasındaki çeşitlilik, türlerin içindeki genetik çeşitlilik ve ekosistemler arasındaki çeşitliliği kapsamaktadır (Dirik, 1994; Chao & Colwell, 2022). İçerisinde aşamalı olarak ekosistem çeşitliliğini, ekosistem çeşitliliği içerisinde tür çeşitliliğini ve tür çeşitliliği içerisinde gen çeşitliliğini barındırmaktadır (Dirik, 1994; Erat & Balık, 2022; Onen, 2015; Rawat & Agarwal, 2015).

Ekosistem çeşitliliği, ormanlar, sulak alanlar, otlaklar ve deniz ortamları dahil olmak üzere belirli bir alandaki farklı ekosistemlerin çeşitliliğini ifade etmektedir. Belirli bir bölgede var olan çeşitli habitatları, toplulukları ve ekolojik süreçleri kapsamaktadır (Kefelioğlu, 2017).

Tür çeşitliliği, belirli bir alanda yer alan farklı türlerin miktarını ifade etmektedir. Bu çeşitlilik, sadece türlerin sayısının artmasıyla ilgili değil, aynı zamanda bireylerin dengeli bir şekilde dağılımını da içerir (Erten, 2004).

Genetik çeşitlilik, farklı popülasyonlar arasında ve aynı popülasyonlardaki bireyler arasındaki gen varyasyonlarının bütünüdür. Bu çeşitlilik, türlerin gen havuzlarının genişliğini ve genlerin farklı kombinasyonlarını içerir. Bu durum, türlerin adaptasyon yeteneklerini ve genetik potansiyellerini belirleyen önemli bir faktördür (Hoban vd., 2022; Polat, 2017). Biyolojik çeşitlilik ve bileşenleri, sürdürülebilir bir yaşam için büyük bir potansiyele sahiptir (Demir, 2009).

1.1.2. İklim ve İklim Değişikliği

Hava, “yeryüzünün herhangi bir yerindeki ve herhangi bir andaki atmosferik olayların tümü” olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2008; Türkeş vd., 2000). İklim, “yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca gözlenen hava koşullarının ortalama özellikleri ve bu olayların zamansal dağılımlarını, gözlenen uç değerleri, şiddetli olayları ve tüm değişkenlik çeşitlerinin bireşimi” olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2016). Zaman, hava ve iklim arasındaki en önemli ayrımdır. Hava kısa süreli atmosfer koşulları ve süreçleri olarak nitelendirilirken, İklim uzun süreli atmosfer koşullarını ve süreçlerini nitelendirmektedir (Koçman, 1993).

Küresel iklim kavramı ise hem doğal hem de antropojenik faktörlerden etkilenen, Dünya'daki hava modellerinin ve koşullarının uzun vadeli ortalamasını ifade etmektedir. Doğal olaylardan (güneş aktivitesi, volkanik patlamalar vb.) ve insan faaliyetlerinden (fosil yakıt kullanımı, ormansızlaşma vb.) etkilenmektedir (Türkeş, 2008).

İklim değişikliği, küresel ölçekte uzun dönemli gözlemlenen iklim koşullarındaki değişiklikleri ifade etmektedir. Bu değişiklikler, atmosferdeki sera gazlarının artışıyla ilişkilendirilmekte ve çoğunlukla insan etkisiyle ilişkili olmaktadır. (Kıcık, 2023; Türkeş, 2014). 21.yüzyılda yaşanan iklim değişikliğinin nedenlerinin insan faaliyetleri olduğu ilk kez 2014 yılında yayımlanan IPCC 5. Değerlendirme raporunda kesin olarak belirtilmiştir ve bu nedenle antropojenik yani insan kaynaklı iklim değişikliği olarak anılmaktadır (IPCC, 2014; Tuğaç, 2023). İklim değişikliği, çeşitli alanlarda ciddi etkilere neden olabilmektedir. Uzun vadeli perspektifte, iklim değişikliği insan sağlığına ciddi tehditler sunmaktadır ve bunun sonucunda biyoçeşitlilik zarar görebilir, çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilir, göç hareketleri ve ekonomik kayıplar yaşanabilir (Esringü vd., 2021). Bu etkilere ek olarak yapılan çalışmalarda değişen iklim koşullarının orman dağılımlarını, bileşimlerini ve işlevlerini önemli oranda değiştireceği ve buna paralel olarak biyolojik çeşitlilik için tehdit oluşturacağı öngörülmektedir (Arslan vd., 2021).

Türkiye'de iklim, bitki örtüsünü ve ekosistemlerini önemli ölçüde etkileyen Akdeniz, Karasal ve Okyanus iklimleri de dahil olmak üzere çeşitli bölgelerle karakterize edilir (Akman & Ketenoğlu, 1986). Küresel iklim değişikliği nedeniyle Türkiye'nin ikliminde önemli değişiklikler yaşanmakta olup, yapılan tahminler, yüzyılın sonuna kadar ortalama sıcaklıklarda 3-5 °C arasında bir artış ve yağışlarda %20-40 oranında bir azalma

olacağını göstermektedir (Bayram & Öztürk, 2020). Bu bağlamda Türkiye, artan çölleşme, tarım ve biyoçeşitlilik üzerindeki olumsuz etkiler de dahil olmak üzere iklim değişikliğinden kaynaklanan ciddi risklerle karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir (Bayram & Öztürk, 2020).

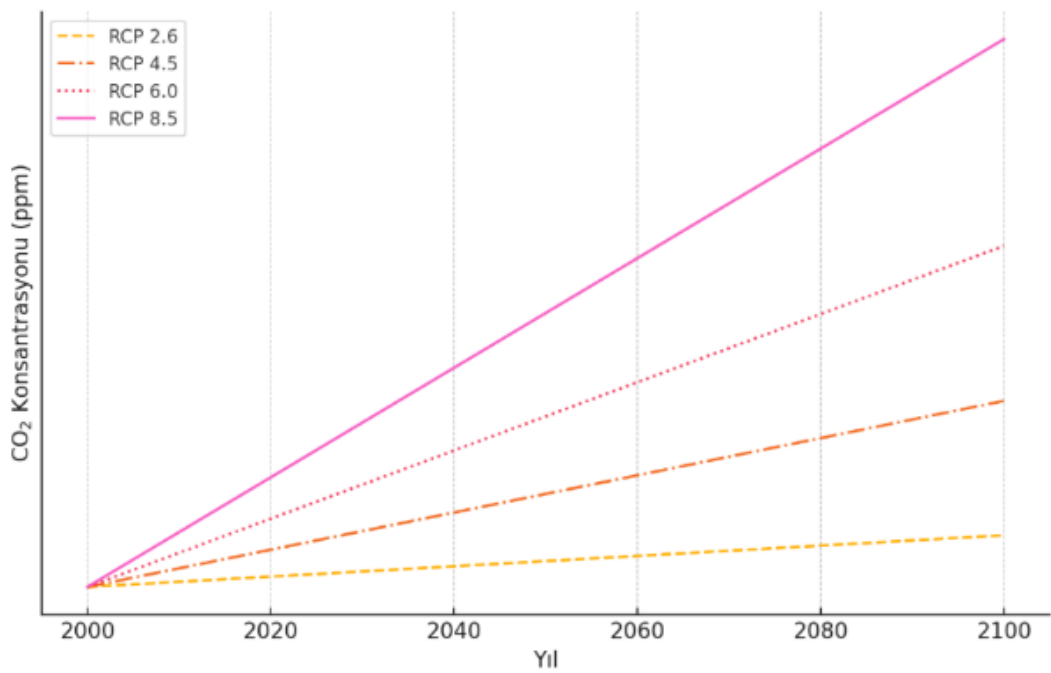
Küresel iklim değişikliği ile biyolojik çeşitlilik arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. İklim değişikliği, biyolojik çeşitliliği etkilemektedir. Bitki çeşitliliği de iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklılık sağlayabilmektedir (Doğan & Tüzer, 2011). İklim değişikliği küresel boyutta ciddi bir sorun olup, tarım, sağlık, eğitim ve bitki çeşitliliğinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi gibi çeşitli alanlarda derin etkilere sahiptir (Koçman, 1993). Bu bağlamda iklim değişikliği ile mücadelede kapsamlı politikaların ve toplumda farkındalık düzeyinin artırılması, önemli bir toplumsal gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1.3. İklim Değişikliği Senaryoları

İklim değişikliği, 21. yüzyılın en kritik çevresel ve sosyo-ekonomik meselelerinden biri olarak, dünya genelindeki politikaları ve stratejileri etkileyerek şekillendirmeye devam etmektedir. Bu bağlamda, gelecekteki olası senaryoları anlamak ve uygun önlemleri almak için bilimsel iklim değişikliği senaryolarına ihtiyaç duyulmaktadır (IPCC, 2014). Senaryolar, iklim değişikliği araştırmasının ve değerlendirmesinin önemli bir unsuru olarak işlev göstermektedir. Kısa dönemli kararlarının uzun dönem sonuçlarını anlamamıza yardımcı olur ve araştırmacılara gelecekteki temel belirsizlikler bağlamında farklı potansiyel gelecek senaryolarını keşfetme olasılığı sunmaktadırlar (Riahi, 2017). Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (SSP) ve Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP), gelecekteki iklim senaryolarını öngörmek için kullanılan iki temel çerçevedir ve odak noktaları ile uygulama alanları bakımından farklılıklar göstermektedirler.

IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'nda (AR5), Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) tanıtılmıştır (Şekil 1.1). Bu RCP senaryoları, sera gazı emisyonlarının gelecekte ne durumda olacağına dair projeksiyonlar sunmakta ve iklim politikalarının oluşturulmasında önemli bir temel oluşturmaktadır. RCP'ler, farklı emisyon seviyelerine dayalı olarak atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazı konsantrasyonlarının gelecekteki değişimlerini öngören projeksiyonlardır. Ekonomik, sosyal, enerji ve

teknoloji politikalarının çeşitli şekillerde gelişebileceği senaryolar dikkate alınarak oluşturulmuşlardır (Jones vd., 2011). RCP senaryoları, 2100 yılındaki olası ışımsal zorlama değer aralığına göre adlandırılmıştır: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 ve RCP 8.5. Bu değerler, metrekare başına watt (W/m^2) cinsinden ölçülen iklim değişikliğinin atmosferdeki enerji akışındaki değişikliğini ifade etmektedir. Farklı emisyon senaryolarının iklim üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bu RCP senaryoları kritik öneme sahiptir (IPCC, 2014).



Şekil 1.1 : IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'ndan 2100 Yılına Kadar Gelecekteki Emisyon Tahminleri

(IPCC, 2014)

IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu'nda (AR6) ise Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (SSP) tanıtılmıştır. SSP'ler, bir dizi sosyoekonomik ve iklimsel koşulun keşfedilmesine izin veren bir senaryo çerçevesinin parçasıdır (Reimann vd., 2021). Bu senaryolar, nüfus artışı, ekonomik değişimler ve teknolojik ilerlemeler gibi faktörleri içermektedir (Riahi, 2017). SSP'ler, sürdürülebilir kalkınmadan (SSP1) yüksek zorluklara, azaltma ve adaptasyona (SSP5) kadar çeşitlilik göstermektedir. Bu senaryolar, iklim modelleri ve politika yapıcılar tarafından iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek ve geleceğe yönelik stratejiler geliştirmek için kullanılmaktadır (Özdemir vd., 2020). SSP'ler, iklim değişikliği araştırmalarında kullanılan en son

sosyoekonomik senaryolardır. Bu nedenle, yerel sosyoekonomik senaryoların geliştirilmesi için uyum kararlarını desteklemeye uygun bir temel sağlamaktadır (Reimann vd., 2021). SSP senaryoları ve senaryo tarifleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

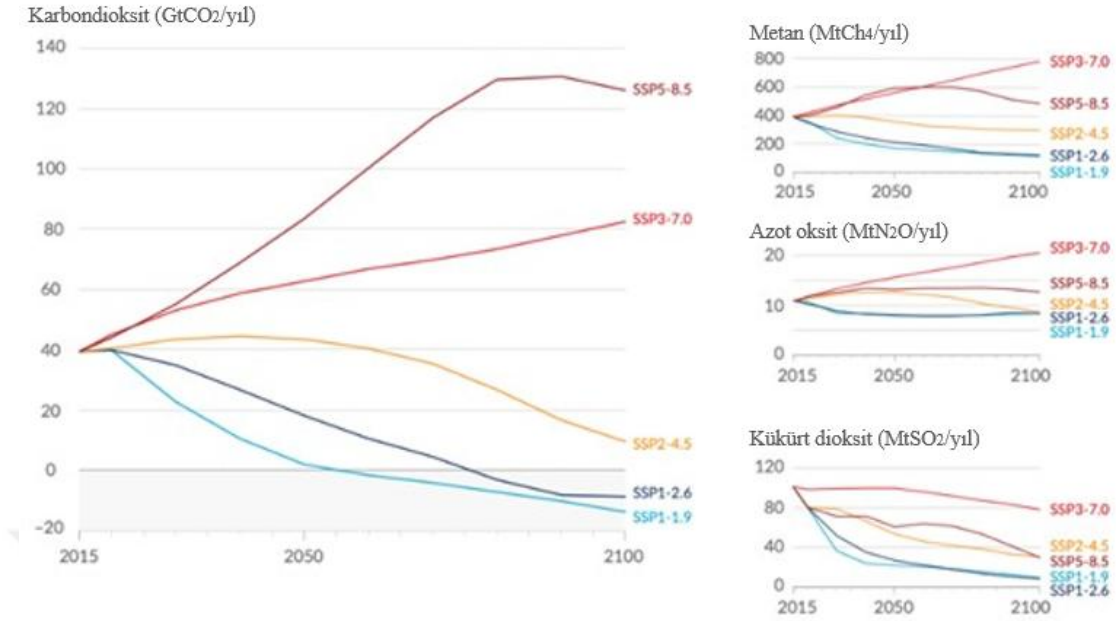
Tablo 1.1 : SSP Senaryoları ve Tarifleri

Emisyon	Tarif
SSP1–2,6	SSP1 (Sürdürülebilir kalkınma) RCP2.6'ya yükseltme senaryosuna dayalı (Işınım zorlama 2,6 W/m'ye ulaşır) 2100 yılında)
SSP2–4,5	SSP2 (Yolun ortası) RCP4.5'e yükseltme senaryosuna dayalı (Işınım kuvveti 4,5 W/m'ye ulaşır) 2100 yılında)
SSP3–7,0	SSP3 (Bölgesel Rekabet) Yeni RCP7.0 emisyon yoluna dayalı (Işınım kuvveti 7.0 W/m'ye ulaşacaktır) 2100 yılında)
SSP5–8,5	SSP5 (Fosil yakıtlı kalkınma) RCP8.5 senaryosuna yükseltme (SSP5, 8,5 W/m'ye kadar ışımsal kuvvet elde edebilen tek SSP senaryosudur) 2100 yılında)

(Zhang vd., 2021)

SSP’ler, RCP’ler tarafından temsil edilen emisyon yollarını etkileyen sosyoekonomik bağlamı sağlamaktadır. Örneğin, SSP1-2.6 senaryosu, sürdürülebilir kalkınma yaklaşımını düşük sera gazı emisyonlarıyla birleştirirken, SSP5-8.5 senaryosu yüksek emisyonlar ve önemli toplumsal zorluklarla uyumludur. SSP’ler toplumsal eğilimlere odaklanırken, RCP’ler iklim sonuçlarına odaklanmaktadır. Bu iki çerçevenin entegrasyonu, kapsamlı iklim etki değerlendirmeleri için kritik öneme sahiptir. (O’Neill vd., 2020).

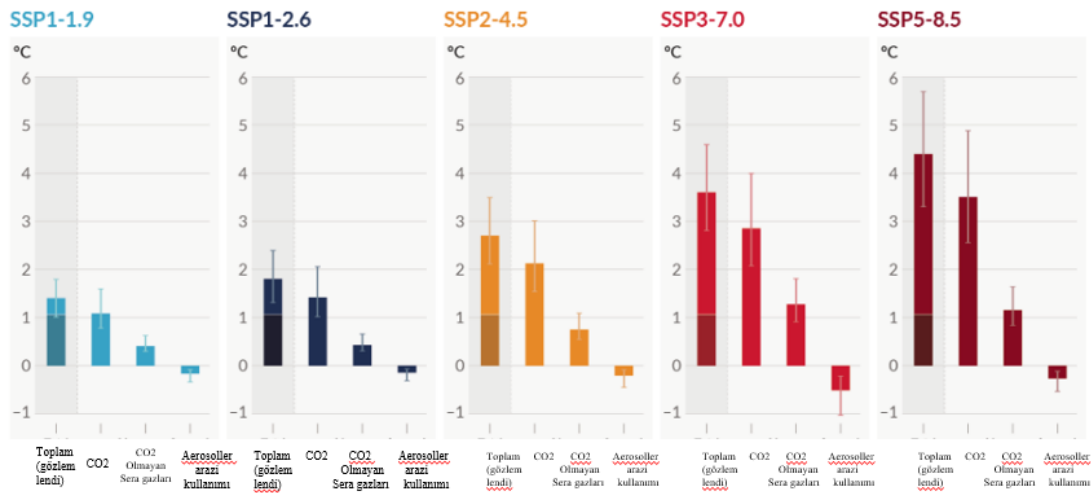
IPCC’nin Altıncı Değerlendirme Raporuna göre emisyon senaryolarında 2100 yılına kadar gelecekteki emisyon tahminleri yer almaktadır. Bu tahminlere yönelik grafikler Şekil 1.2’de belirtilmiştir.



Şekil 1.2 : IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu'ndan 2100 Yılına Kadar Gelecekteki Emisyon Tahminleri

(IPCC, 2021)

IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporuna göre emisyon senaryolarında sıcaklıkların ne kadar artacağına dair tahminler yer almaktadır. Bu tahminlere yönelik grafikler Şekil 1.3'de belirtilmiştir.



Şekil 1.3 : IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporundan Gelecekteki Sıcaklık Artışlarına İlişkin Tahminleri

(IPCC, 2021)

1.1.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Makine Öğrenmesi

Coğrafi bilgi sistemi, doğal ortamın her ölçeğindeki insan, zaman özellikleri ve ilişkileriyle ilgili bilgileri toplama, depolama ve analiz etme çalışmalarını kapsayan ve kendine özgü bir metodolojiye sahip olan bir yöntem olarak tanımlanabilir (Turoğlu, 2016). CBS, coğrafi verileri entegre bir biçimde depolayarak, yönetim, analiz, modelleme, sorgulama ve çıktı sağlama işlevlerini yerine getiren kapsamlı bir sistemdir. Bu sistem, yazılım, donanım, kullanıcılar, yöntemler ve coğrafi veri bileşenlerini içermektedir.

Makine öğrenimi, verilerden anlamlı bilgiler elde etmeye yönelik bir yöntemdir. Büyük veri setleriyle çalışırken hızlı sonuçlar elde etme açısından yaygın bir şekilde tercih edilmektedir.(Selvi vd., 2021). Makine öğrenimi, genellikle yapay zekâ ile ilişkili görevlerin gerçekleştirilmesinde yapılan değişiklikleri ifade etmektedir. Bu tür görevler, tanıma, teşhis, planlama, robot kontrolü, tahmin gibi işleri içermektedir. Bu değişiklikler genellikle mevcut sistemlere iyileştirmeler yapılması veya yeni sistemlerin oluşturulması şeklinde olabilir (Nilsson, 2005).

Makine öğrenimi temelli yöntemlerin gelişimi ve bu yöntemlerin çeşitli bilim alanlarında uygulanabilirliğinin artması, ekoloji, biyocoğrafya ve coğrafya gibi disiplinlerde de modelleme yaklaşımlarını dönüştürmüştür. Potansiyel tür dağılım modellemesi ve haritalamasına yönelik çalışmalarda, sayısal veriye dayalı yöntemlerin daha sık kullanılması ve ekolojik verilerin çeşitlenmesiyle birlikte farklı bakış açıları gelişmiştir. Özellikle doğal ekosistemlerde, bir tür ile onu etkileyen çevresel faktörler (örneğin sıcaklık, yağış, rakım) arasındaki ilişkiler genellikle karmaşık ve basit bir doğruyla açıklanamayacak kadar eğrisel bir yapıdadır. Bu nedenle, çevresel değişkenlerle türlerin dağılımı arasındaki ilişkiyi düz ve sabit bir oranla açıklamaya çalışan geleneksel (doğrusal) modeller yetersiz kalmakta; bunun yerine, bu karmaşık ilişkileri daha iyi yansıtan doğrusal olmayan yöntemler daha fazla tercih edilmektedir. Bu süreçte çeşitli modelleme teknikleri geliştirilmiş olsa da yalnızca bir kısmı ekolojik araştırmalarda yaygınlık kazanmıştır. Literatürde sıkça kullanılan yöntemler arasında genelleştirilmiş eklemeli modeller (GAM), sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART), maksimum entropi yaklaşımı (MaxEnt), genetik algoritmalarla kural temelli modelleme (GARP) ve random forest (RF) öne çıkmaktadır. (Austin, 2007; Özdemir, 2018). Bu yöntemlerin her

biri, tür dağılım modellemesinde farklı veri gereksinimleri, model esnekliği ve yorumlanabilirlik gibi yönlerden çeşitli avantaj ve sınırlamalara sahiptir.

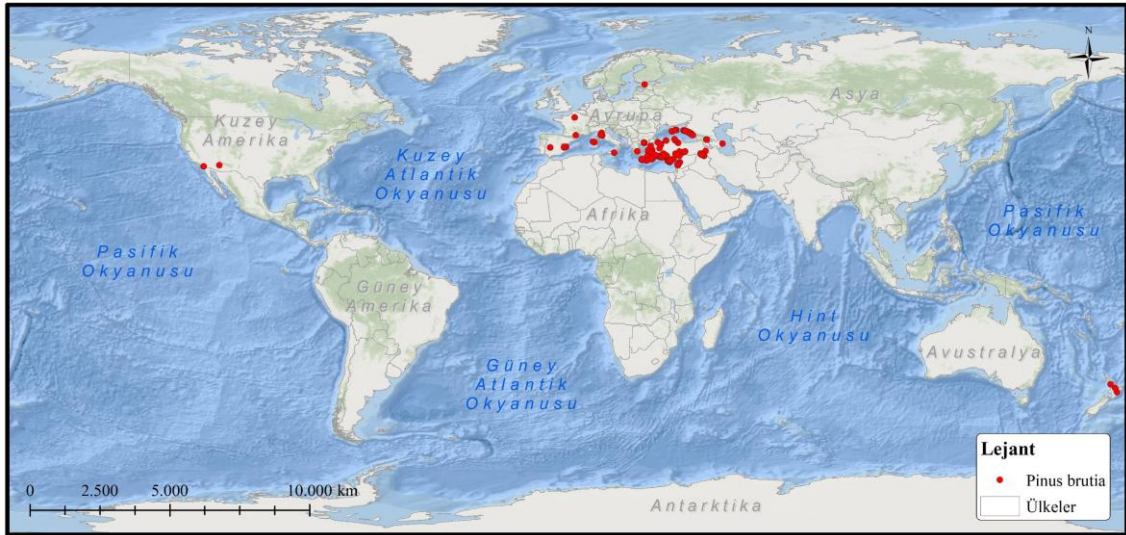
GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production) modeli, tür dağılımını tahmin etmek amacıyla genetik algoritmalara dayalı bir yapı kullanmakta ve çevresel değişkenlerle tür varlık verileri arasındaki ilişkileri analiz etmektedir. Bu model, farklı kural setleri oluşturarak çeşitli senaryolar üzerinden uygun yaşam alanlarını öngörmeyi hedeflemektedir. Ancak modelin parametrik yapısının karmaşıklığı ve yüksek işlem süresi, uygulamada bazı sınırlılıkları beraberinde getirebilmektedir. Random Forest (RF) yöntemi, karar ağaçlarına dayalı bir topluluk öğrenme (ensemble learning) tekniği olup, özellikle yüksek boyutlu ve karmaşık veri setlerinde yüksek tahmin başarımı sunmaktadır. RF algoritması, rastgele örnekleme ile oluşturulan çok sayıda karar ağacının çıktısını birleştirerek sonuç üretir. Ancak modelin iç yapısının karmaşıklığı nedeniyle yorumlanabilirliğinin sınırlı olması, bu yöntemin temel dezavantajlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM) ve Genelleştirilmiş Toplamsal Modeller (GAM), tür ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkileri istatistiksel çerçevede inceleyen modellerdir. GLM, doğrusal ilişkilere odaklanırken; GAM, doğrusal olmayan yapıların modellenmesine olanak tanıyan daha esnek bir yaklaşıma sahiptir. Bununla birlikte, her iki modelin de verinin dağılım özelliklerine ve model varsayımlarına uygun şekilde dikkatli biçimde uygulanması gerekmektedir (Austin, 2007; Çelikoğlu, 2024; Özdemir, 2018).

MaxEnt, basit ve kesin bir matematiksel formülasyona sahip genel amaçlı bir makine öğrenimi yöntemidir (Phillips vd., 2006). Girdi koordinat noktalarıyla ilişkili bağımsız değişkenleri karşılaştırarak türlerin olasılık dağılımını bilinen oluşum noktalarına göre modelleyen bir algoritması vardır (Elith vd., 2011). MaxEnt, genellikle sadece varlık verileri olarak adlandırılan türlerin varlık konumlarının bir listesini ve kullanıcı tarafından tanımlanan çevresel değişkenleri (örneğin yağış, sıcaklık) içeren verileri girdi olarak alır. Bu veriler üzerinden varlık konumları ile karşılaştırılarak arka plan konumlarındaki varlık olasılıklarını belirler (Merow vd., 2013). MaxEnt modeli, sınırlı verilere sahip olmasına rağmen doğru sonuçlar elde etmek adına esnek bir yaklaşım sergileyebilme yeteneğine sahiptir. Veri bütünlüğü eksikliği durumunda bile başarılı olmaktadır (Eker vd., 2023). Kullanıma sunulduğundan beri, tür dağılımlarını

modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Elith vd., 2011). Bu bağlamda çalışmada, modelleme hedefleri doğrultusunda MaxEnt yöntemi tercih edilmiştir.

1.1.5. *Pinus brutia* Ten. (Kızılçam)

Pinus brutia Ten., *Pinaceae* familyasına dahil olup *syvestres* alt bölümünde yer almaktadır. (Tozkar vd., 2009). 20-25 metre boy ve 60 santimetreye kadar çap yapabilen, kalın dallı *Pinus brutia* Ten., orman topluluklarının önemli bir bileşenidir (Alkinzh & Danilov, 2024; OGM, 2009). Bulunduğu ülkeler arasında Türkiye, İtalya, Yunanistan, Kıbrıs, Suriye, Lübnan, Ürdün, Filistin, Kuzey Irak, Karadeniz'in kuzey kıyıları ve birçok Ege Denizi ve Akdeniz adası yer almaktadır (Şekil 1.4) (Özel vd., 2018). Tür, Dünya genelindeki ülkeler arasında en geniş yayılımı Türkiye'de göstermektedir. Bu nedenle "Turkish Red pine" olarak da adlandırılmaktadır. Türkiye'de yoğun olarak güney, batı ve kuzey batı bölgelerinde yayılım göstermektedir (Tozkar vd., 2009). Yeşilirmak ve Kelkit Çayı'nın birleşim noktası, Ayancık, Sinop, Boyabat, Amasya ve Zonguldak gibi Akdeniz ikliminin belirgin şekilde hissedildiği mikroklima bölgelerinde, küçük adacıklar şeklinde yer almaktadır (OGM, 2009). Türkiye'nin Akdeniz, Ege ve Türkiye'nin Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde, özellikle kıyı yamaçlarında geniş ve homojen ormanlar yayılmaktadır (Neyişçi, 1987).



Şekil 1.4 : *Pinus Brutia* Ten. Türüne Ait Dağılım Haritası

(GBIF.org, 2025)

Türkiye'de orman alanlarını oluşturan başlıca ağaç türleri arasında Meşe, Kızılçam., Karaçam, Kayın, Ardıç ve Sarıçam yer almaktadır. Türkiye orman alanlarının

ağaç türlerine göre dağılımı Tablo 1.2’de rakamsal olarak ifade edilmiştir. Belirtilen tabloda görüldüğü gibi *Pinus brutia* Ten. (Şekil 1.5) Türkiye orman alanlarında 3 578 387 hektar alan normal, 1 732 467 hektar alan boşluklu kapalı orman, toplam 5 310 854 hektar alan yer kaplamaktadır. Bu alan Türkiye ormanlarının %23’üne tekabül etmektedir.

Tablo 1.2 : Türkiye Orman Alanlarının Ağaç Türlerine Göre Dağılımı (2022)

Ağaç Türü Grupları	Toplam	Normal	Boşluklu Kapalı
Meşe- Oak (<i>Quercus</i> sp)	6 833 264	2 773 648	4 059 616
Kızılçam- Turkish pine (<i>Pinus brutia</i> Ten.)	5 310 854	3 578 387	1 732 467
Karaçam- Crimaen pine (<i>pinus nigra</i>)	4 077 616	2 817 266	1 260 350
Kayın- Beech (<i>fagus orientalis</i>)	1 904 236	1 634 341	269 895
Ardıç- Juniper (<i>Juniperus</i>)	1 551 980	445 095	1 106 885
Sarıçam- Scots pine (<i>pinus sylvestris</i>)	1 454 830	945 660	509 170
Gökmar- Fir	505 415	395 304	110 111
Sedir- Cedar	511 164	306 673	204 491
Ladin- Spruce	349 534	273 988	75 546
Fıstıkçamı- Stone pine	174 596	152 920	21 676
Kızılağaç- Alder	124 751	99 430	25 321
Kestane- Chestnut	76 952	64 200	12 752
Gürgen- Hornbeam	54 933	44 503	10 430
Sahilçamı- Maritime Pine	55 420	50 093	5 327
Kavak- Poplar	48 632	24 559	24 073
Fındık- Hazelnut	12 936	12 236	700
Defne- Daphne	12 281	5 719	6 562
Dişbudak- Ash tree	12 074	10 117	1 957
Diğer türler- Other species	173 532	73 704	99 828
TOPLAM- Total	23 245 000	13 707 843	9 537 157

(OGM, 2022)



Şekil 1.5 : *Pinus brutia* Ten. Ormanı: Türkiye’den Görünüm

(İnaturalist, 2024)

Pinus brutia Ten., tipik olarak yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman ve yağışlı olan Akdeniz ikliminde yaygın olarak bulunmaktadır ve özellikle yarı kurak ile yarı nemli bölgeleri tercih etmektedir. (Quezel, 2000; Riahi, 2017). Türkiye’de yıllık ortalama 12-20°C sıcaklık aralığında yetişmektedir. Akdeniz ve Güney Ege sahillerinde sıcaklık 18°C’nin üzerine çıkarken, Kuzey Ege ve yüksek bölgelerde 12°C’ye kadar düşmektedir. Ocak ayında sıcaklık 10-5°C arasında değişir, Akdeniz kıyılarında 10°C’ye kadar çıkarken, kuzeyde 3-4°C’ye düşer. Temmuz ortalama sıcaklıkları ise 24-28°C arasında olup, Akdeniz kıyılarında 28°C’ye yaklaşırken, kuzeyde 23-24°C civarındadır. *Pinus brutia* Ten., yüksek sıcaklıkları tercih eder ve düşük sıcaklıklara, özellikle don olaylarına karşı hassastır (Atalay, 2008). En düşük sıcaklığın 15°C’nin altına düştüğü yerlerde *Pinus brutia* Ten. yetişmez. Bu sıcaklık değerlerine göre *Pinus brutia* Ten. sıcaklık isteği yüksek olan bir ağaç türüdür. Türkiye’de bağıl nemin çok fazla düşmediği alanlarda yetişmektedir. Düşük sıcaklıklara ve özellikle don olaylarına karşı hassastır. Yıllık yağış miktarının 400-2000 mm arasında değiştiği nemli ve yarı kurak bölgelerde yetişmektedir. Kuraklığı sevmeyen bir ağaç türüdür fakat kuraklığa dayanıklıdır. Kurak dönemlerde daha az su tüketir ve büyümesini durdurur. Yağışın 1000 mm civarında olduğu Akdeniz bölgesinde iyi gelişir ve yüksek bağıl nemli bölgelerde de iyi yetişir. Doğrudan ışık ihtiyacı fazla olan bir ağaçtır ve Türkiye’de güneye bakan yamaçlarda yaygındır. Toros Dağları’nda 1500 m’ye kadar, Aydın Dağları’nda ise 1000 m’ye kadar çıkabilir. Kuzeye

bakan yamaçlarda ise yayılımı daha düşük seviyelerde sonlanır. Ege Bölgesi'nde kuzeye bakan yamaçlarda *Pinus brutia* Ten. 400-550 m'ye kadar iner (Atalay, 2008).

Hemen hemen bütün toprak tiplerinde yetişebilmektedir (Sağlamsoy, 2006). *Pinus brutia* Ten., zayıf, kayalık, kireçli veya kumsal alanlarda yetişebileceği gibi, uygun iklim koşullarında ve balçık içeren topraklarda kaliteli gövdelere sahip olabilir ve derinlere inen kazık kökler geliştirebilir (Demiröz, 2023). En iyi gelişimini ise kalker, konglomera ve fillişler üzerinde gerçekleştirmektedir (Sağlamsoy, 2006).

Ekolojik açıdan önemli ve sınırlayıcı unsurlardan biri, *Pinus brutia* Ten. ormanlarında 3-5 ay süren yoğun kuraklık döneminin varlığıdır. Bir diğer önemli nokta ise, yıllık yağış miktarının oldukça yüksek olmasına rağmen bu yağışların kısa süreli, şiddetli sağanaklar şeklinde düşmesidir. *Pinus brutia* Ten., bu yağış rejimi ve yaz aylarındaki sert kuraklık koşullarına uyum sağlayabilen ekolojik özellikler geliştirmiş bir türdür (Sağlamsoy, 2006). *Pinus brutia* Ten. ormanları, çok amaçlı ormancılık açısından büyük öneme sahip olup, önemli bir odun kaynağıdır ve bulundukları bölgenin ekolojik değerine katkı sağlamaktadır. (Eliades vd., 2018).

1.1.5.1. *Pinus brutia* Ten. ve Biyolojik Çeşitlilik

Pinus brutia Ten., Akdeniz ve Karadeniz havzası bölgelerinde biyolojik çeşitliliğin korunmasında ve ekosistem sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Alkinzh & Danilov, 2024; Kurt vd., 2023). Genel olarak, *Pinus brutia* Ten. 'nın çeşitli topraklarda yetiştirme, kuraklığa dayanma, orman yangınlarından kurtulma ve çeşitli ekosistemleri destekleme yeteneği, onu Akdeniz Havzası'nda biyolojik çeşitliliği ve ekosistem sağlığını korumak için önemli hale getirmektedir.

Pinus brutia Ten. popülasyonları üzerine yapılan çalışmalar, bu türün genetik çeşitliliğinin, özellikle coğrafi olarak kenar (periferik) bölgelerde ve ekolojik olarak sınırlı (marjinal) alanlarda yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, *Pinus brutia* Ten. 'nın farklı çevre koşullarına ve özellikle iklim değişikliğine karşı gösterebileceği adaptasyon ve dayanıklılık kapasitesinin, bu genetik çeşitlilik sayesinde artabileceği anlamına gelmektedir. Yani, bu genetik çeşitlilik, *Pinus brutia* Ten. 'nın gelecekteki çevresel değişikliklere karşı uyum sağlayabilmesi ve hayatta kalabilmesi için önemlidir. Bu benzersiz gen kompleksleri, ağacın farklı koşullara karşı direnç göstermesini sağlayan

özellikler içermektedir. (Frankis, 1999; Gülcü & Çelik, 2009; Kitikidou vd., 2012; Tozkar vd., 2009).

Yapılan çalışmalarda *Pinus brutia* Ten. plantasyonlarının, diğer iğne yapraklı ağaçlara göre daha fazla odunsu tür çeşitliliğini desteklediği ve bu sayede çeşitli bitki türlerinin kurulması ve gelişmesi için daha elverişli bir ortam sağladığı ifade edilmektedir. Bu durum, özellikle bozulmuş ekosistemlerin iyileştirilmesinde ve bitki çeşitliliğinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. *Pinus brutia* Ten. plantasyonları, biyolojik çeşitliliği artırarak ekosistemlerin sağlığını ve direncini iyileştirmeye katkıda bulunmaktadır. Bu, ekosistemlerin doğal dengesini korumak ve sürdürülebilir bir çevre yaratmak için kritik bir faktördür (Eliades vd., 2018; Tozkar vd., 2009).

1.1.5.2. *Pinus brutia* Ten. ve İklim Değişikliği

Pinus brutia Ten., büyüme hızı ve kuraklığa toleransı ile bilinen bir türdür. Bu özellikleriyle iklim değişikliğiyle mücadele konusunda önemli rol oynamaktadır. (Eliades vd., 2018). Yapılan araştırmalar, farklı *Pinus brutia* Ten. kökenlerinin soğuğa dayanıklılık sınırlarını anlamak ve yeni ortamlara adaptasyonlarını sağlamak için önemli olduğunu belirtmektedir (Escandón vd., 2024). Ayrıca, kuru iklim koşullarına daha iyi uyum sağlayabilecek *Pinus brutia* Ten. fideleri üretme çalışmaları da bu adaptasyon sürecinin bir parçası olarak gösterilmektedir (Houminer vd., 2021). *Pinus brutia* Ten. ve onun hibridleri, iklim değişikliğine adaptasyon ve dayanıklılık açısından önemli genetik özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin, ekosistemlerin sürdürülebilirliği için değerlendirilmesi gerekmektedir (Houminer vd., 2022; Semerci vd., 2021; Tampakis vd., 2022).

Tür, biyokütle üretimi için atmosferik CO₂ 'di tutan ve reçine üreten ve sera etkisinin hafifletilmesine daha fazla katkıda bulunan önemli bir karbon yutağıdır (Tsaksira vd., 2023). Çok çeşitli topraklarda yetiştirme kabiliyeti, yüksek büyüme potansiyeli, kuraklığa ve karasal iklimlere karşı direnci, onu Akdeniz ve Karadeniz havzaları gibi bölgeler için iklim değişikliği konusunda umut verici bir tür haline getirmektedir (Tsaksira vd., 2023). Yapılan araştırmalar, *Pinus brutia* Ten.'nın -16 C°'ye kadar kış sıcaklıklarını tolere edebilmesine rağmen, minimum yıllık sıcaklıkların

bu eşiğin altına düştüğü alanlara ekilmemesi gerektiğini ve değişen çevresel koşullara uyulanabilirliğini gösterdiğini göstermektedir.

1.1.6. İklim Değişikliği, Orman Yangını ve *Pinus brutia* Ten. Üçgenine

Genel Bakış

Ekosistemlerdeki farklılıklara göre yangınların sıklığı, yangından sonra ekosistemi sürdürebilme yeteneği ya da yangından sonra ekosistemin başka bitki örtüsü tipine dönüşebilme özelliği değişiklik göstermektedir. Bu değişiklikler ilgili ekosistemin iklim koşullarıyla, bitki örtüsünün yapısıyla ve bitki örtüsünün yangınla olan ilişkisiyle ilgilidir (Kavgacı vd., 2023).

İklim değişikliği, sıcaklıkların artması ve kuraklıkların şiddetlenmesiyle orman yangını riskini yükseltmektedir (Türkeş & Tolunay, 2023). Fakat orman yangınlarının rejim değişikliğini açıklamak için tek başına iklim değişikliği faktörü yetersizdir. Orman yangınları tutuşma, sürekli yakıtlar, kuraklık ve hava koşulları gibi birçok faktörün bir araya gelmesiyle açıklanmaktadır. İklim değişikliği kuraklık sıklığını artırarak yangın mevsimini uzatır. İklim değişikliği ile birlikte hava koşullarında ısınma devam ettikçe iklimin orman yangınları üzerindeki göreceli rolü artmaktadır. (Kavgacı vd., 2023; Pausas & Keeley, 2021; Türkeş & Tolunay, 2023).

Doğal yangın rejimi içerisinde bazı ekosistemler daha sık yangına maruz kalmaktadır. Bu ekosistemler “yangına eğilimli ekosistemler” olarak tanımlanmaktadır. Yangın sonrasında kendini yenileyebilen ekosistemler ve türler ise “yangına uyumlu ekosistemler ve türler” olarak adlandırılmaktadır. Türkiye’de başlıca yangına eğilimli ekosistemler ve yangına uyumlu ekosistemler arasında *Pinus brutia* Ten. ormanları yer almaktadır (Kavgacı vd., 2023). *Pinus brutia* (Kızılçam) ormanları, Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerde yayılış gösteren, yangına hem açık hem de yangınla uyum sağlamış ekosistemler arasında yer almaktadır. Bu türün kalın kabuk yapısı, gövde üzerinde gizli tomurcuklar bulundurması ve kozalaklarının yangınla açılarak tohumlarını saçması gibi özellikleri, yangından sonra kendini yenileyebilmesini mümkün kılmaktadır (Kavgacı & Tavşanoğlu, 2010). Ancak son yıllarda yangınların artan sıklığı ve şiddeti, özellikle sıcaklıkların yükselmesi ve kurak dönemlerin uzaması gibi iklimsel değişikliklerle birleşince, bu doğal yenilenme süreci sekteye uğrayabilmektedir. İklim değişikliğiyle birlikte artan kuraklık, yangın mevsimini uzatmakta ve yangın sonrası

toparlanma süresini kısaltarak ekosistemlerin doğal dengesini bozabilmektedir (Türkeş & Tolunay, 2023). Yangınlar arasındaki sürenin kısalması, bitki örtüsünün kendini toparlamasına yeterli zaman tanımadığında, orman alanları yerini çalılıklara ya da farklı bitki örtülerine bırakabilir (Kavgacı vd., 2023). Buna ek olarak, yangın sonrası alanlarda tarım, turizm veya kentleşme gibi insan faaliyetlerinin artması, doğal süksesyon sürecini yani ekosistemin kendini yenileme yeteneğini engellemektedir. Bu durum yalnızca *Pinus brutia* gibi yangına uyumlu türlerin değil, ekosistemdeki diğer bitki ve hayvan türlerinin de varlığını tehdit etmektedir.

Bu bağlamda, orman yangınlarının yalnızca zarar veren olaylar olarak değil, doğanın bir parçası olarak ele alınması gerekmektedir. Yangına uyumlu türlerin korunması, doğal yangın rejimlerinin izlenmesi ve iklim değişikliğini göz önünde bulundurarak orman yönetim politikalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Kavgacı vd., 2023; OGM, 2021).

1.2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ertürk & Arıca, (2024) yapmış oldukları bir çalışmada MaxENT model kullanarak *Pinus brutia* Ten.'ni Kastamonu'da iklim değişikliğinden nasıl etkileneceğini tahmin etmeye çalışmışlardır. Gelecek iklim modellemesinde SSP senaryolarından SSP1-2,6, SSP 3-7,0 ve SSP 5-8,5 senaryolarını kullanmışlardır. Modele 19 biyoklimatik değişken ve sayısal yükselti verisi dahil edilmiştir. Model çıktıları yorumlamak için AUC ve Jackknife grafiklerini kullanmışlardır. Grafik yorumlarına göre türe ait dağılım alanlarını belirlemek için en etkili değişkenleri ortalama günlük sıcaklık (BIO 2), en yağışlı çeyreğin yağışı (BIO 16) ve En soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı (3 ay) (BIO 11) olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda türün 2100 yılına kadar mevcut habitatından %15'den fazla alan kaybedeceğini hesaplamışlardır. Bu nedenle gerekli çalışmaları dikkate alarak gerekli düzenlemelerin yapılmasını önermişlerdir.

Ergin, (2022) yaptığı doktora tez çalışmasında, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki *Pinus brutia* Ten., Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*), sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve Kazdağı göknarının (*Abies nordmanniana*) potansiyel dağılım alanlarını incelemeyi amaçlamıştır. Araştırma, RCP4.5, RCP8.5, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim değişikliği senaryolarına dayanarak 2050 ve 2070 yıllarında bu türlerin potansiyel yayılışlarını modellemeyi hedeflemiştir. Çalışmada, orman bölgesindeki mevcut dağılım

alanlarından elde edilen verilerle, ekolojik modelleme kullanılarak çevresel değişkenlerin analizi yapılmış ve modelleme işlemi Random Forest algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, iklim değişikliği senaryoları altında *Pinus brutia* Ten. ve Karaçamın kuzeye ve yüksek rakımlara doğru yayılmasının beklenirken, Sarıçam ve Kazdağı Gökarnarının dağılım alanlarının daralacağı tahmin edilmiştir. Çalışma, sürdürülebilir orman yönetimi için potansiyel dağılım haritalarının önemine vurgu yaparak, iklim değişikliğinin ormancılık faaliyetlerinde dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir.

Özdemir, (2022) çalışmasında, Batı Akdeniz Havzası'nda yer alan Köyceğiz-Dalaman ve Eşen Çayı Alt Havzalarında bulunan karaçam, *Pinus brutia* Ten. ve Toros sediri türlerinin gelecekteki yayılışlarındaki potansiyel değişiklikleri tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Türlerin günümüz ve gelecek iklim koşullarındaki dağılımlarını modellemek için MaxEnt yöntemi kullanılmış, ayrıca türlerin önem değerleri rastgele orman yöntemiyle hesaplanmıştır. Gelecek iklim verileri, SSP 1-2,6, SSP 3-7,0 ve SSP 5-8,5 senaryolarına göre 2100 yılı için indirilmiştir. Modelleme sonuçlarına göre, karaçam ve toros sediri türlerinin dağılımlarında büyük oranda azalma beklenirken, *Pinus brutia* Ten.'nin dağılımının SSP1-2,6 ve SSP3-7,0 senaryolarında artacağı, SSP 5-8,5'te ise kısmen azalacağı tespit edilmiştir. Bu bulgular, yöredeki ormancılık çalışmaları için önemli planlama katkıları sunmaktadır.

Akyol & Özü, (2019) yaptıkları çalışmada Fıstık Çamı türünün günümüz ve gelecek potansiyel dağılım alanlarını MaxEnt model kullanarak tahmin etmişlerdir. Gelecek potansiyel dağılım alanlarını tahmin etmek için HadGEM2 – ES iklim modelini kullanmışlardır. 2050 ve 2070 yılları için iki tahmin modeli oluşturulmuş ve tahmin modellerinde RCP4.8 ile RCP 8.5 senaryoları kullanılmıştır. MaxEnt modele 13 koordinatlı örnek nokta ve 19 biyoklimatik değişkeni dahil etmişlerdir. Model çıktılarını yorumlamak için AUC grafiği ve Jackknife grafiği kullanmışlardır. Elde ettikleri grafiklerin yorumu sonucunda türe ait potansiyel dağılım alanlarını belirlemede en soğuk ayın minimum sıcaklığı (BIO 6), yıllık yağış (BIO 12) ve en yağışlı çeyreğin yağışı (BIO 16) değişkenlerini en önemli değişkenler olarak değerlendirmişlerdir. Model sonuçlarına göre türün gelecek yıllarda habitat kaybına uğrayacağını öngörmüşlerdir. Çalışma sonunda türün potansiyel dağılım alanlarının yüksek olduğu alanlarda kırsal kalkınmayı desteklemeye yönelik ağaçlandırma çalışmalarının dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Karatepe vd., (2014) yaptıkları çalışmalarında Batı Akdeniz bölgesindeki farklı yetiştirme ortamlarındaki *Pinus brutia* Ten. ormanlarının vejetasyon yapısındaki farklılıkları ekolojik açıdan değerlendirilmiştir. Çalışma, üç farklı yetiştirme ortamı bölgesindeki toplam 27 örnek alanda gerçekleştirilmiştir. Örnek alanların vejetasyon yapıları, Braun-Blanquet yöntemi ile incelenmiştir. Sonuçlar, farklı yetiştirme ortamlarındaki vejetasyon bileşenlerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Deniz etkisine açık alanlarda sıcaklık ve nem isteği yüksek olan türler, Akdeniz içi alanlarda ise daha az yağış ve nemle uyumlu türler yayılım göstermektedir. Bu farklı iklimsel koşullar, belirli türlerin yayılmasını etkileyen önemli faktörlerdir. Çalışma, Batı Akdeniz'deki yeni orman tesisatı ve rehabilitasyon çalışmalarında *Pinus Brutia* Ten.'ın kullanılabileceği uygun alanların belirlenmesine yönelik değerli bulgular sunmaktadır.

Bağçacı vd., (2021) yaptıkları çalışmada CMIP6 ve selefi CMIP5'e ait Küresel Dolaşım Modelleri 'nin (GCM) Türkiye'deki aylık yağış ve sıcaklık verileri üzerindeki performansları karşılaştırılmıştır. Her iki CMIP simülasyonundan elde edilen en iyi dört model topluluğu, orta ve yüksek emisyon senaryoları altında kısa, orta ve uzun vadeli iklim değişikliği projeksiyonlarını incelemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, CMIP6'nın özellikle yağış tahminlerinde CMIP5'e göre daha iyi doğruluk istatistikleri sunduğunu ve model içi değişkenliği azalttığını göstermektedir. CMIP6, yağışta %11, sıcaklıkta ise %6 daha düşük hata oranı ve yağış için %13 daha yüksek korelasyon sağlamaktadır. Kış yağışları ve sonbahar sıcaklıkları üzerinde önemli iyileşmeler gözlemlenmiştir. CMIP6, ortalama sıcaklıkta 0,35 °C'lik bir artış öngörürken, yağış değişimi %2,5 daha küçük bir azalma göstermektedir. Ayrıca, yaz ısınması ve sonbaharda kuraklık oranlarında artış beklenmektedir. Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda ve Anadolu'nun kuzeydoğusunda artan yağışlar, bölgedeki sel risklerini artırabilir.

Şeker, (2024) doktora tezinde, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'ndeki kuraklık olgusunun gelecekteki projeksiyonlarını incelemiştir. Bu inceleme, Birleşik Modeller Arası Karşılaştırma Projesi (CMIP6) kapsamında yer alan 22 küresel iklim modeli tarafından üretilen çoklu model topluluğu kullanılarak yapılmıştır. Projeksiyonlar, yapay sinir ağlarına dayalı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve 2021-2100 yıllarını kapsayan dönem için iki farklı emisyon senaryosu (SSP2-4,5 ve SSP5-8,5) kullanılmıştır. Yağış ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak kuraklık gelişimi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon

İndeksi (SPEI) yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları, SSP2-4,5 senaryosunda yağışların %15, SSP5-8.5 senaryosunda ise %20 oranında azalacağı, özellikle kıyı bölgelerinde bu azalmanın diğer bölgelere oranla daha fazla olacağına işaret etmektedir. Ayrıca, sıcaklık artışlarının SSP2-4.5 senaryosunda +1.0 ile +2.2 °C, SSP5-8.5 senaryosunda ise +1.8 ile +3.1 °C arasında olacağı öngörülmüştür. Kuraklık sıklığı, dağlık alanlarda kıyı bölgelerine kıyasla daha belirgin bir artış göstermektedir. Bu çalışma, kuraklık göstergelerinin hem zamansal hem de mekânsal analizini sunmaktadır.

Örücü, (2019), *Phoenix theophrasti* Gr. türünün iklim değişikliği nedeniyle mevcut ve gelecekteki yayılış alanlarını MaxEnt Modeli kullanarak tahmin etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, 16 farklı örnek nokta belirlenmiş ve türün dağılımını modellemek için tür dağılımı yöntemi uygulanmıştır. *Phoenix theophrasti* Gr. türünün gelecekteki yayılış alanını tahmin etmek amacıyla CCSM versiyon 4 (The Community Climate System Model) iklim modeli kullanılmıştır. Çalışmada, iklim değişikliği senaryoları olarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları ele alınmıştır. Türün potansiyel ve gelecekteki dağılımını modellemek için MaxEnt 3.4.1 sürümüyle maksimum entropi yaklaşımı benimsenmiştir. Sonuçlar, *Phoenix theophrasti* Gr. türünün yayılış alanının daralma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Buna göre, türün Türkiye'deki potansiyel yayılış alanları, Antalya ile Mersin-Bozyazı arasındaki kıyı şeridi ve Güney Kıbrıs, Lübnan ve Suriye gibi bölgeler olarak öngörülmektedir.

Uzun vd., (2020) yaptıkları çalışmada, *Acer campestre* L. subsp. *Campestre* (Ova akçaağacı) türünün CSM4 iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları kullanılarak 2041-2060 ve 2061-2080 yılları arasındaki günümüz ve gelecekteki yayılış alanları MaxEnt model kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu türün Türkiye'deki asıl yayılış alanı Kuzey Anadolu'da bulunurken, iklim değişikliği model ve senaryolarına göre uygun ve çok uygun alanların günümüzde 45,408.07 km² olduğu belirlenmiştir. Gelecekte ise yayılış alanlarının senaryolara göre değişiklik göstereceği tahmin edilmektedir. RCP 4.5 senaryosuna göre 2041-2060 döneminde yayılış alanının %57'ye, 2061-2080 döneminde ise %60'a düşeceği öngörülmektedir. RCP 8.5 senaryosuna göre ise 2041-2060 döneminde %35'e, 2061-2080 döneminde ise %32'ye düşeceği tahmin edilmektedir.

Evcin & Kalleci, (2020) Kastamonu şehrinde *Glis glis* türünün yayılma gösterdiği alanları doğrudan gözlem yöntemleri kullanılarak tespit etmiştir. Türün muhtemel yayılış

alanları ise biyoiklim verileri ve maksimum entropi yaklaşımı (MaxEnt) kullanılarak modellenerek haritalandırılmıştır. Modelleme sonucunda elde edilen verilere göre, *Glis glis* türünün potansiyel dağılım modelinde en önemli katkıyı BIO 18, BIO 11 ve BIO 1 biyoiklim değişkenleri sağlamaktadır. Elde edilen habitat uygunluk modelinin AUC değeri ise 0,861 olarak bulunmuştur.

Arslan vd., (2021), Yaptıkları çalışmada, Türkiye'de Kokulu Ardıç'ın (*Juniperus foetidissima* Willd.) bitkisinin yayılışının iklim değişikliğine nasıl tepki verebileceğini incelemişlerdir. Maksimum entropi modeli kullanılarak yapılan tahminlerde, yükseklik, soğuk ayın en az sıcaklığı ve en nemli mevsimin ortalama sıcaklığı gibi değişkenlerin Kokulu Ardıç'ın (*Juniperus foetidissima* Willd.) yayılışında en önemli faktörler olduğu belirlenmiştir. Modelin benzetim gücü yüksek ve doğruluk oranı da ROC eğrisiyle ifade edilerek, iklim değişikliğinden türün olumsuz bir şekilde etkileneceği öngörülmüştür. Değişim analizi, habitat uygunluğundaki kaybın, kazançtan daha büyük olduğunu ortaya koymuştur.

Örücü vd. (2021), yaptıkları çalışmada, *R. ponticum* L. bitkisinin yayılış alanını Türkiye, Gürcistan ve Rusya sınırları içinde temsil eden örnek noktalar ve biyoklimatik değişkenler kullanarak incelemişlerdir. İlk aşamada, Worldclim 2.1 veri setinden alınan 19 biyoklimatik değişken, Pearson Korelasyon analiziyle 8 değişkene indirgenmiştir. İkinci aşamada ise, CNRM-CM6-1 iklim değişikliği modeli kullanılarak türün yayılış alanının iklim değişiminden nasıl etkileneceği belirlenmiştir. Bu model SSP2-4.5 ve SSP5 8.5 senaryolarına göre 2041-2060 ve 2081-2100 periyotlarına ait potansiyel yayılış alanını tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, ilgili iklim senaryolarına (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) dayalı tahminler mevcut *R. ponticum* L.'nin habitat uygunluğunun 2041-2060 ve 2081-2100 zaman aralıklarında önemli ölçüde azalacağını göstermiştir.

Fosso vd., (2023), çalışmalarında, COSMO-CLM modeli kullanarak iklim simülasyonları yapmışlardır. RCP8.5 emisyon senaryosuna göre gelecek yıllar için biyoiklimsel değişkenler hesaplanmıştır. MaxEnt programı kullanılarak *Quercus frainetto*, *Q. cerris*, *Q. petraea* ve *Q. infectoria* türlerinin habitat uygunluğu analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre *Quercus frainetto*, *Q. cerris* ve *Q. petraea*'nın alanlarının artacağı ve *Quercus infectoria*'nın alanının azalacağı belirlenmiştir. *Quercus*

frainetto için uygun alanların 2050'ye kadar arttığı, ancak daha sonra azalmaya başladığı görülmüştür. *Quercus cerris* ve *Q. petraea* için ise habitat uygunluğunun artacağı ve yüzyılın sonunda en iyi koşulların oluşacağı tespit edilmiştir. *Quercus infectoria* için ise uygun alanların 2050'ye kadar artacağı ancak daha sonra azalmaya başlayacağı belirlenmiştir.

Kekeç & Kadioğlu, (2020), çalışmalarında *Xanthium strumarium* L. bitkisinin (domuz pıtrağı) dağılım potansiyelini incelemiştir. MaxEnt modeli kullanılarak yapılan bu çalışmada. *X. strumarium*'un mevcut ve gelecek (2030, 2050, 2070 ve 2100) iklim koşullarında dağılımı tahmin edilmiştir. Bu çalışmada CSIRO_mk3_6_0 ve MIROC_MIROC5 tarafından oluşturulan iki farklı iklim modeli kullanılmıştır. Ayrıca, iki farklı iklim değişikliği senaryosu olan RCP2.6 (ılıman iklim değişikliği) ve RCP8.5 (şiddetli iklim değişikliği) senaryoları baz alınarak dağılım alanları tahmin edilmiştir. Sonuçlara göre, *X. strumarium*'un Türkiye'de gelecekte istikrarlı bir şekilde artacağı tahmin edilmektedir.

Akyol & Örüçü, (2019), Kızılcık (*Cornus mas* L.) türüne ait yayılış alanlarını ve iklim değişikliğine bağlı olarak gelecek projeksiyonlarını modellemek amacıyla yüksek çözünürlüklü çevresel veriler kullanmışlardır. MaxEnt 3.4.1 programı kullanılarak yapılan modellerde CCSM4 iklim senaryoları ve 19 biyoklimatik değişken kullanılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, Kızılcık (*Cornus mas* L.)'ın mevcut coğrafi dağılımıyla uyumlu olarak günümüz tahmini potansiyel habitatının büyük bir kısmını kapsadığı belirtilmektedir. Jackknife testi sonuçlarına göre ise Kızılcık (*Cornus mas* L.)'ın potansiyel dağılımında yıllık sıcaklık oranının (BIO 7) en etkili çevresel değişken olduğu ifade edilmektedir. RCP 4.5 (2050 / 2070) ve RCP8.5 (2050) projeksiyonunda *C. mas*'ın yayılış alanının artarken, RCP 8.5 2070 projeksiyonunda yayılış alanının azaldığı belirtilmektedir. Ancak türün gelecekte Türkiye'nin kuzey ve kuzeybatı bölgelerine doğru yayılacağı ve bu bölgelerdeki dağılımının genişleyeceği ifade edilmektedir.

Uzun & Örüçü, (2020), *Adenocarpus complicatus* (L.) türüne ait mevcudiyet verilerini kullanarak, bu türün günümüzdeki yayılış alanını belirlemek amacıyla WorldClim 2.1 veri tabanını kullanmışlardır. Ayrıca, türün iklim değişikliğinden nasıl etkileneceğini anlamak için IPSL-CM6A-LR iklim modelini kullanarak farklı senaryolar altında gelecekteki yayılış alanı tahmin edilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, şu anda

tür için uygun veya çok uygun alan olarak 63.695 km² bir bölge belirlenmiştir. Ancak, gelecekte bu alanın daralması beklenmekte olup, özellikle SSP5-8.5 senaryosuna göre 2090 yılı civarında Türkiye'de bu türün varlığına rastlanamayacağı öngörülmektedir.

Koç, vd. (2022), Anadolu'da *Cedrus libani*, *Abies cilicica* ve *Juniperus drupacea* türlerinin Son Buzul Maksimumu, günümüz ve gelecekteki iklim değişikliklerine verdiği/vereceği tepkileri tahmin etmek amacıyla yaptıkları çalışmada, bu türlerin Anadolu'da zaman ve mekân dağılışı, küresel iklim değişim senaryolarına dayalı model sonuçlarıyla ortaya koymuştur. Fosil polen verileri, günümüz dağılışı verileri ve WorldClim 'den temin edilen biyoiklimsel değişkenler kullanılarak, incelenen türlerin zaman ve mekân dağılışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. PCA yöntemi kullanılarak bu değişkenler analiz edilmiştir ve türlerin dağılışı modelleri için sekiz biyoiklimsel değişken seçilmiştir. Modeller, CCSM4 iklim modeli ve gelecek projeksiyonları için RCP 8.5 senaryosuyla oluşturulmuştur. Projeksiyonların doğruluğunu değerlendirmek için AUC test değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler 0,90'ın üzerinde olmuştur. Sekiz biyoiklimsel değişken arasında modellere en fazla katkı sağlayan faktörler; *Cedrus libani* için BIO 14 (yüzde 32,3), BIO 8 (yüzde 23,7) ve BIO 15 (yüzde 19,2); *Abies cilicica* için BIO 8 (yüzde 30,5), BIO 14 (yüzde 24,1) ve BIO 15 (yüzde 19,5); *Juniperus drupacea* için ise BIO 15 (yüzde 38,1), BIO 12 (yüzde 30,9) ve BIO 4 (yüzde 13,1) olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, *Cedrus libani*, *Abies cilicica* ve *Juniperus drupacea*'nın Son Buzul Maksimumu'nda Anadolu'nun güneyinde uygun yaşam alanlarına sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, Holosen döneminden bu yana, bu türlerin dağılışı alanlarının daraldığı ve günümüz sınırlarına ulaştığı görülmektedir. Gelecekte, *Cedrus libani*, *Abies cilicica* ve *Juniperus drupacea*'nın ekolojik isteklerinin bir kısmının kaybolacağı ve dağılışı alanlarının daralacağı öngörülmektedir.

Arslan vd., (2025), *Pinus brutia* Ten.'in mevcut ve gelecekteki potansiyel yayılışı alanlarını, çeşitli iklim senaryoları ve çevresel değişkenler kullanılarak modellemiştir. Türün dağılımını, HadGEM3-GC31-LL iklim modeline dayalı olarak orta (SSP2-4.5) ve yüksek (SSP5-8.5) emisyon senaryoları çerçevesinde değerlendirmişlerdir. Modellemede biyoklimatik değişkenlerin yanı sıra yükseklik, NDVI, insan ayak izi, eğim ve bakı gibi çevresel faktörleri kullanmışlardır. Çalışma bulgularına göre, SSP2-4.5 senaryosu altında, "uygun olmayan> uygun" geçişlerinin oranı %8,91'den %9,11'e çıkarak zaman içinde uygun habitatlarda hafif bir artış göstermiştir. SSP5-8.5 senaryosu ise 2081–2100

dönemi için, uygun olmayan alanlarda %1,94'lük bir artışa rağmen uygun habitatlarda %1,07 oranında net bir artışa işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar, *Pinus brutia* Ten.'nın özellikle yüksek emisyon senaryosu altında, azalan rekabet baskısı ile birlikte yayılışını genişletme potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir.

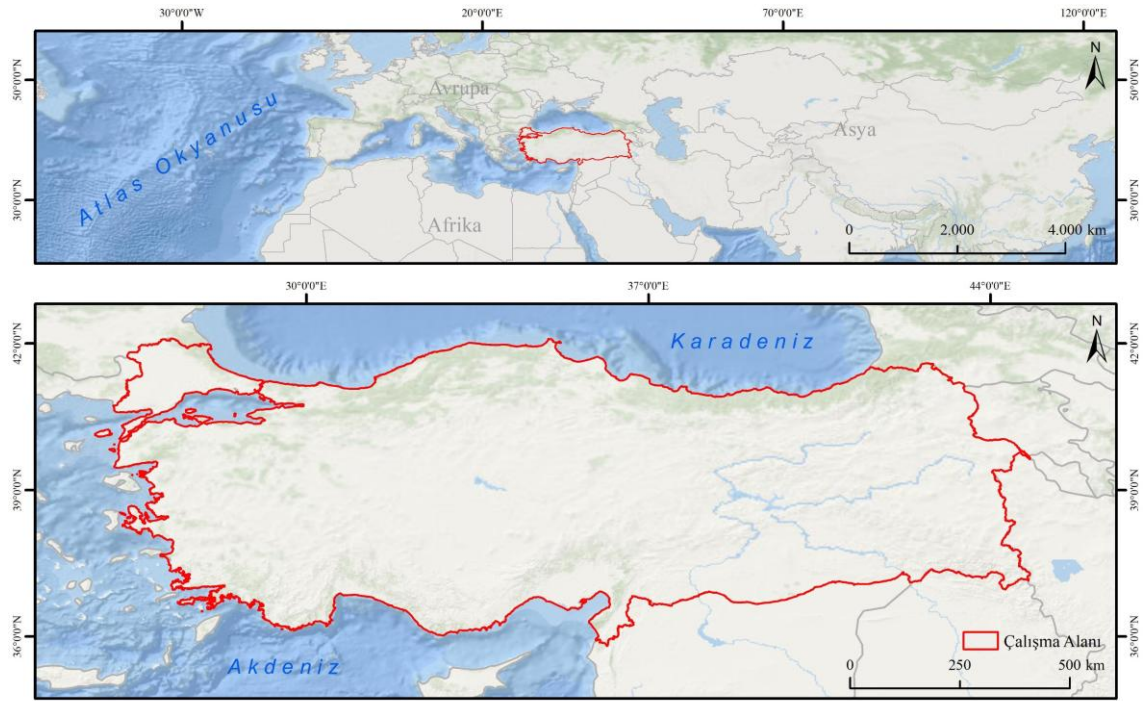
Bu çalışmanın literatüre özgün katkısı, Türkiye genelinde doğal yayılış gösteren *Pinus brutia* Ten.'nın iklim değişikliği bağlamında mekânsal dağılımının modellenmesine yönelik bütüncül ve senaryo-temelli bir yaklaşım sunmasıdır. Literatürde *Pinus brutia* üzerine yapılan tür dağılım modelleme çalışmaları genellikle bölgesel düzeyde kalmış; türün yalnızca belirli havzalardaki dağılım potansiyelini değerlendirmekle sınırlı kalmıştır. Örneğin, Ertürk & Arıçak (2024) çalışmasında Kastamonu yöresinde Kızılçamın mevcut dağılımı analiz edilmiş, iklim değişikliğine bağlı projeksiyonlar ise ele alınmamıştır. Özdemir (2022) ise Batı Akdeniz Bölgesi özelinde tür dağılım modellemesi gerçekleştirmiş, ancak modelde kullanılan iklim senaryoları CMIP5 tabanlı kalmış, bölgesel eğilimlerin ötesine geçilememiştir. Benzer şekilde, Ergin (2022) Ankara çevresindeki dağılım potansiyelini ele almış, ancak geleceğe yönelik yayılış projeksiyonlarına yer verilmemiştir. Arslan vd. (2025), *Pinus brutia*'nın potansiyel yayılışını yalnızca HadGEM3-GC31-LL modeline dayalı olarak ve sınırlı zaman dilimlerinde (2041–2060 ve 2081–2100) değerlendirmiş; yükseklik, NDVI, eğim, bakı gibi çok sayıda çevresel değişkeni çoklu doğrusallığı dikkate almadan modele dahil etmiştir. Buna karşın bu çalışmada, çoklu doğrusallığa sebep olan değişkenler dışlanmış, yalnızca anlamlı ve bağımsız değişkenler kullanılmıştır. Ayrıca edafik faktörlere ilişkin parametreler Arslan vd., (2025) çalışmasından farklı olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Hem HadGEM3-GC31-LL hem de MPI-ESM1-2-HR iklim modelleriyle karşılaştırmalı analizler gerçekleştirmiş, 2041–2060, 2061–2080 ve 2081–2100 olmak üzere üç zaman aralığını kapsayarak zamansal değişimi daha hassas biçimde ortaya koymuştur.

Bu bağlamda, bu çalışmanın temel farkı, *Pinus brutia*'nın yalnızca güncel yayılış alanlarını değil, aynı zamanda üç farklı zaman dilimi (2041–2060, 2061–2080 ve 2081–2100) için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları çerçevesinde türün gelecekteki potansiyel dağılımını HadGEM3-GC31-LL ve MPI-ESM1-2-HR gibi CMIP6 kapsamında geliştirilen iki ayrı iklim modeli ve farklı iklimsel ve çevresel parametreler kullanarak tahmin etmesidir.

2. BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM

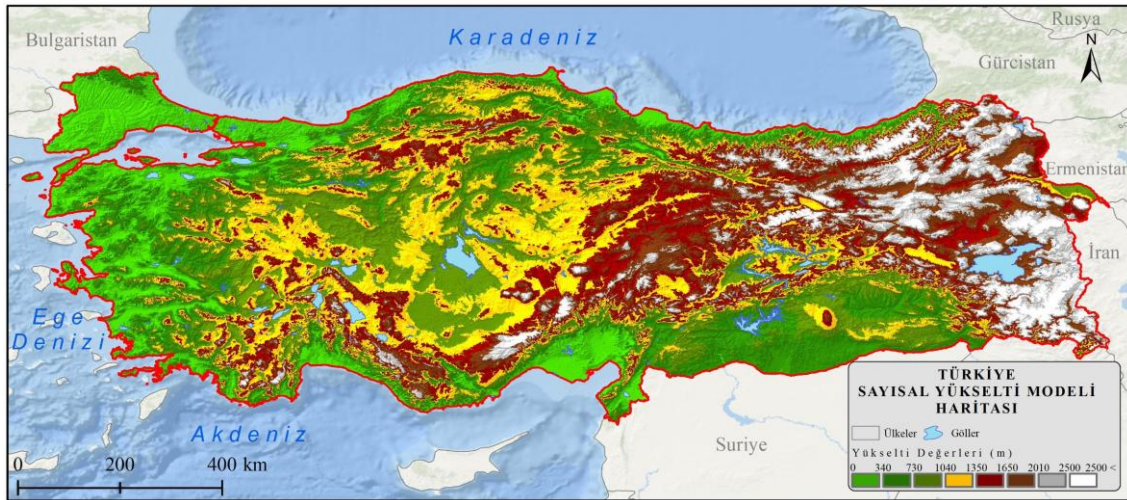
2.1.ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı $36^{\circ} 35'$ ve $42^{\circ} 02'$ kuzey enlemleri ile $26^{\circ} 04'$ ve $44^{\circ} 07'$ doğu boylamları arasında yer alan Türkiye sınırlarıdır (Şekil 2.1). 783,562 km² yüzölçümüne sahip ülkenin topraklarının %97'si Asya üzerinde bulunmaktadır. Asya üzerinde bulunan %97'lik kısım Anadolu, Avrupa kıtasında kalan %3'lük kısım ise Doğu Trakya olarak adlandırılmaktadır (Atalay, 2017).



Şekil 2.1 : Çalışma Alanına Ait Lokasyon Haritası

Türkiye'nin ortalama yüksekliği 1132 m'dir; Trakya hariç, Anadolu'nun ortalama yüksekliği 1162 m, Trakya'nın ise 180 m'dir. Bu verilere göre, Türkiye'nin diğer kara kütlelerine göre oldukça yüksek bir ülke olduğu görülmektedir. Şekil 2.2'de verilen Türkiye Sayısal Yükselti Verisi'nde çalışma alanının yükseklik değerleri izlenebilmektedir. Yükselti değerleri için ALOS PALSAR RTC (Radiometrically Terrain Corrected) uydusundan elde edilen yüksek çözünürlüklü SYM verisi (12,5 m) kullanılmıştır (ASF DAAC, 2014).

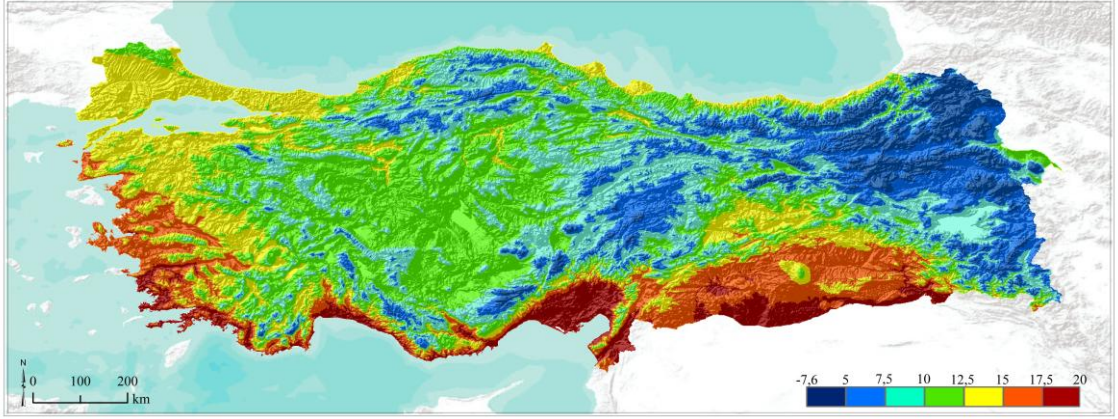


Şekil 2.2 : Çalışma Alanına Ait Sayısal Yükselti Modelinin Gösterimi

Dünya genelindeki kara kütlelerinin ortalama yüksekliği 700 m olduğu düşünüldüğünde, Türkiye'nin bu ortalamanın üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu verilere göre, Anadolu'nun Asya'ya bağlı bir kara kütlesi olduğu ve Alp orojenik kuşağında yer aldığı açıkça ortaya çıkmaktadır. Anadolu'nun yüksek bir kara kütlesi olması, Karadeniz'in kuzeyinde ve Akdeniz'in güneyindeki yükseklik farkı göz önüne alındığında daha da belirgin hale gelmektedir. Bu durum, Türkiye'nin coğrafi yapısının ve yüksekliğinin diğer kıtalardan farklılığını ortaya koymaktadır (Atalay, 2017; Koç & Kesmen, 2010; Kuzucuoğlu, 2019).

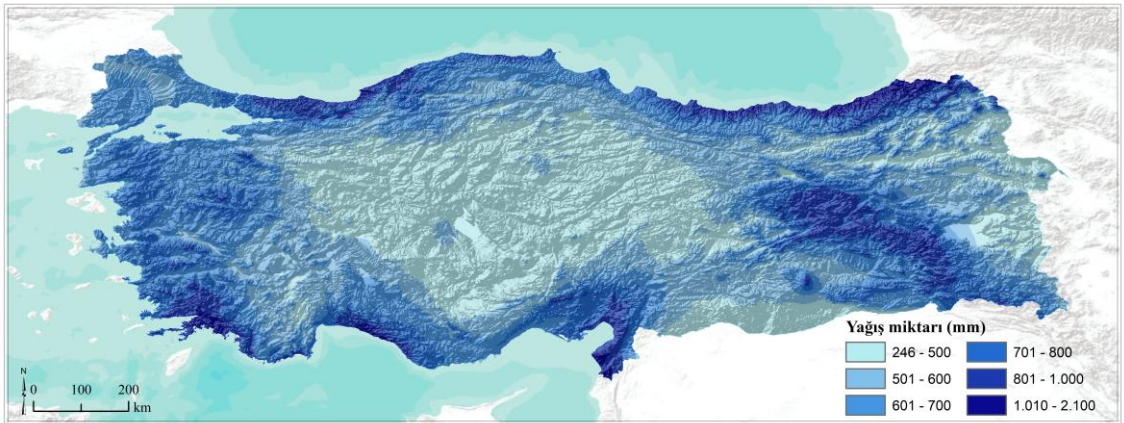
Yükseklik, bakı koşulları ve dağ yapıları Türkiye'de yağış, sıcaklık ve bağıl nem dağılımını etkileyerek iklim koşullarında bölgesel değişikliklere neden olmaktadır (Atalay, 2017). Akdeniz kıyıları, yazları sıcak ve kurak, kışları ılıman ve yağışlıdır. Karadeniz kıyıları, bol yağış alan, nemli ve ılıman bir iklime sahiptir. İç Anadolu ise kara iklimi etkisi altındadır; yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlıdır (Şensoy vd., 2008). Çalışmada Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklık ve yağış dağılımlarını göstermek amacıyla iklim verileri WorldClim veri tabanından temin edilmiştir (Fick & Hijmans, 2017). Söz konusu veri tabanı, küresel kara alanları için 1970–2000 dönemine ait yüksek çözünürlüklü ($\sim 1 \text{ km}^2$) iklim değişkenlerini sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan yıllık ortalama sıcaklık (BIO1) ve yıllık toplam yağış (BIO12) katmanları, WorldClim'in raster veri setlerinden elde edilmiş ve ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak görselleştirilmiştir. Haritalar, Türkiye'nin sınırları üzerine projeksiyonu yapılmış raster katmanları kullanılarak oluşturulmuş olup, Şekil 2.3 ve Şekil

2.4’da sırasıyla yıllık ortalama sıcaklık ve yağış dağılımları yer almaktadır. Haritalarda minimum ve maksimum değerler renk skalası ile görsel olarak sunulmuş, mekânsal farklılıkların analizine olanak tanınmıştır.



Şekil 2.3 : Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

Harita 'da (Şekil 2.3), Türkiye’de yıllık ortalama sıcaklığın minimum değerinin -7,6°C, maksimum değerinin ise 20°C olduğu görülmektedir. Doğu Anadolu bölgesinde sıcaklıklar -7,6°C ve 10°C arasında değişmektedir. İç Anadolu bölgesinde sıcaklıklar 10°C, Marmara bölgesinde sıcaklıklar 12,5°C civarındadır. Güneydoğu Anadolu bölgesinin güney kesimleri, Akdeniz ve Ege kıyılarında ise sıcaklıklar 15°C ve üzerindedir.



Şekil 2.4 : Yıllık Ortalama Yağış Haritası

Harita 'da (Şekil 2.4) Türkiye’de yıllık ortalama yağışın minimum değeri 246 mm, maksimum değeri ise 2.100 mm olduğu görülmektedir. İç Anadolu bölgesinde ortalama yağış miktarı 246-500 mm’dir. Doğu Karadeniz bölgesi, Karadeniz, Marmara, Ege ve

Akdeniz kıyılarında ise yıllık ortalama 701-2.100 mm arasında yağış düştüğü görülmektedir.

2.2. İKLİM MODELİ

Türün mevcut potansiyel yayılış alanlarını belirlemek amacıyla, Çalışmada kullanılan geçmiş yıllara ait (1970-2000) biyoklimatik veriler, WorldClim veri tabanından temin edilmiş olup, yaklaşık 1 km² (30 arc-seconds) mekânsal çözünürlükteki raster katmanlar tercih edilmiştir (Fick & Hijmans, 2017). Türün yayılış alanlarının iklim değişikliklerinden nasıl etkileneceğini belirlemek amacıyla, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) çerçevesinde geliştirilen HadGEM3-GC31-LL ve MPI-ESMESM1-2-HR iklim modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, orta zorlama senaryosu (SSP 2-4,5) ve yüksek zorlama senaryosu (SSP 5-8,5) altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 yılları için değerlendirilmiştir. Söz konusu iklim verileri, WorldClim veri tabanından temin edilmiştir (WorldClim, 2017). Geçmiş iklim verilerinde olduğu gibi yaklaşık 1 km² (30 arc-seconds) mekânsal çözünürlükteki raster katmanlar tercih edilmiştir (Roberts vd., 2019).

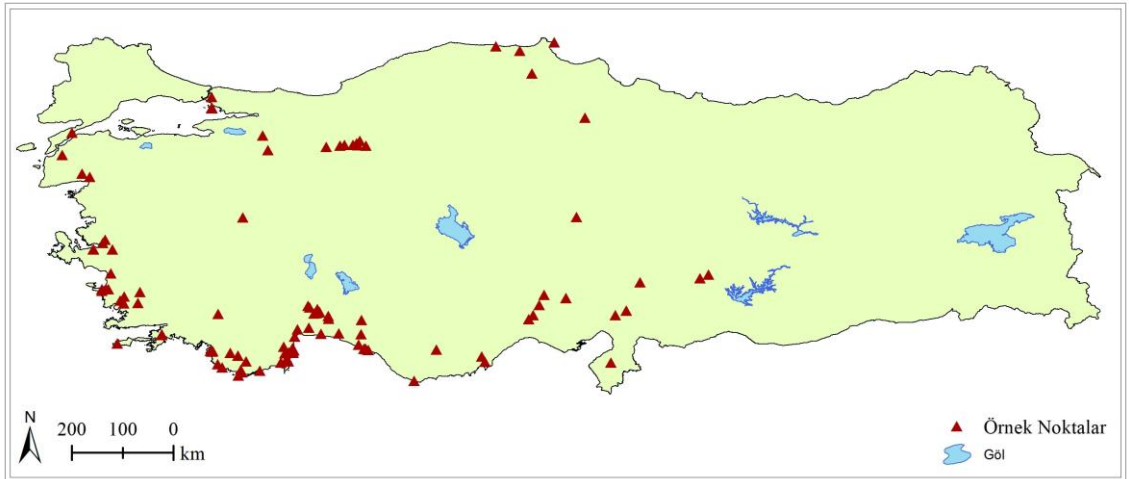
HadGEM3-ES, iklim değişikliği senaryoları altında tür dağılımı tahminleri yapmak için tercih edilen kapsamlı bir Dünya Sistem Modeli (ESM)'dir. İngiltere'deki UK Met Office Hadley Centre tarafından geliştirilmiştir. Atmosferde yaklaşık 135 km ve okyanusta yaklaşık 100 km çözünürlükle çalışmaktadır. Bu çözünürlük, MPI-ESM1-2-HR'ye kıyasla daha düşük bir mekânsal ayrıntı sunmaktadır. Model, CMIP6 kapsamında SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 senaryolarını içeren geniş bir emisyon yelpazeyle simülasyonlar üretmektedir. Denge iklim hassasiyetinin yaklaşık 5,4°C gibi oldukça yüksek bir seviyede olması, HadGEM3-GC31-LL'nin daha sıcak gelecek senaryoları projekte etme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu yüksek iklim duyarlılığı sayesinde, iklim değişikliğinin daha şiddetli etkilerini öngörmeye yönelik çalışmalar için uygun olmakla birlikte, daha muhafazakâr çözünürlüğü nedeniyle mikro ölçekli ekosistem ve habitat analizlerinde sınırlı kalabilmektedir. Bununla birlikte, bölgesel ölçekte genel iklim eğilimlerini değerlendirmek isteyen araştırmacılar için önemli bir modelleme aracı olarak değerlendirilmektedir (Andrews vd., 2020; Hewitt vd., 2010; Jones vd., 2011). Modelin yüksek çözünürlük ve gelişmiş model parametreleri, yerel iklim koşullarını ve çevresel değişimleri daha hassas bir şekilde simüle etmektedir.

Bu durum türlerin yer değiştirmesi ve habitat kaybı gibi ince ekolojik değişimlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır. HadGEM3-ES, biyolojik sistemlerin dinamik yapılarını içermesi nedeniyle, türlerin gelecekteki hareketlerini ve habitat kayıplarını diğer modellerden daha kapsamlı bir biçimde analiz edebilmektedir. Bu özellik, iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki potansiyel etkilerini daha doğru bir şekilde modellemeye olanak vermektedir (Andrews vd., 2019). Dolayısıyla yüksek iklim duyarlılığı sayesinde, türün gelecekte karşılaşabileceği en şiddetli iklim koşulları altında nasıl tepki vereceği ayrıntılı biçimde değerlendirilecektir. Böylelikle *Pinus brutia*'nın potansiyel yayılış alanlarında meydana gelebilecek maksimum habitat kayıpları ve riskler, çalışmanın amacı doğrultusunda daha gerçekçi ve kapsamlı bir yaklaşımla ortaya konacaktır.

MPI-ESM1-2-HR, Almanya'daki Max Planck Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiş ve Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) kapsamında kullanılan ileri düzey bir Dünya Sistem Modelidir. Atmosfer bileşeninde yaklaşık 100 km ve okyanus bileşeninde yaklaşık 40 km çözünürlük sunarak yüksek mekânsal doğruluk sağlamaktadır. Model, 1850–2100 zaman aralığını kapsamakta ve SSP1–2.6, SSP2–4.5, SSP5–8.5 gibi çeşitli sera gazı emisyon senaryoları altında iklim simülasyonları üretmektedir. Yaklaşık 3,0°C düzeyindeki denge iklim hassasiyeti (Equilibrium Climate Sensitivity- ECS) ile daha dengeli ve orta düzeyde küresel ısınma projeksiyonları sunan bu model, özellikle yüksek çözünürlüğü sayesinde habitat düzeyindeki ayrıntılı değişimlerin daha hassas bir şekilde simüle edilebilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle, biyoçeşitlilik ve tür dağılım modellemeleri açısından güçlü ve tercih edilebilir bir araç olarak öne çıkmaktadır (Gutjahr vd., 2019). Bu bağlamda dengeli iklim duyarlılığı ve yüksek mekânsal çözünürlüğü sayesinde, *Pinus brutia*'nın gelecekteki potansiyel yayılış alanlarındaki habitat düzeyindeki değişimler daha hassas bir şekilde ortaya konacaktır. Böylece türün, iklim değişikliğine bağlı olarak yerel ve bölgesel ölçekte yaşayabileceği yayılış kaymaları çalışmanın amacı doğrultusunda daha ayrıntılı ve güvenilir biçimde değerlendirilecektir.

2.3. LOKASYON NOKTALARI, BİYOKLİMATİK DEĞİŞKENLER VE EDAFİK FAKTÖRLER

Pinus brutia Ten. mevcut ve gelecekteki potansiyel dağılım alanlarını modellemek için modelde kullanılacak olan verilerden oluşum veri kümesi toplam 116 bulunma verisi olmak üzere GBİF sitesinden temin edilmiş ve CSV formatında hazırlanmıştır (GBIF, 2024) (Şekil 2.5). Modelleme sürecinde, verilerin %70'i eğitim (training), %30'u ise test (testing) verisi olarak rastgele biçimde ayrılmıştır. Bu uygulama, modelin eğitim aşamasında gözlemlenen tür verilerine göre öğrenmesini sağlarken, test verisi sayesinde modelin genelleme yeteneğinin ve öngörü gücünün değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle MaxEnt modeli, tahmin gücünü değerlendirmek için verinin belirli bir kısmını eğitim dışında bırakmayı ve bu veriler üzerinde modelin performansını (örneğin AUC – Area Under Curve) ölçmeyi öngörmektedir (Phillips vd., 2006). Bu bağlamda test verisi, modelin aşırı uyum (overfitting) riskine karşı ne kadar doğru tahmin yaptığını ölçmek için kullanılır ve bu oran genellikle %20 ila %30 arasında tercih edilmektedir (Elith vd., 2011). Bu çalışmada %30'luk test verisi oranı, hem örneklem büyüklüğü hem de modelin doğruluk ve geçerlilik ölçümleri açısından uygun bulunmuştur.



Şekil 2.5 : MaxEnt Modele Dahil Edilmiş *Pinus brutia* Ten.'e Ait Örnek Noktalar (GBIF.org, 2023)

Modelde kullanmak için diğer çevresel değişkenler sayısal yükselti verisi (dem), bakı, su pH'ı, kil, silt, kum, organik karbon ve katyon değişim kapasitesi olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değişkenlerden sayısal yükselti verisi Alos Palsar

uydusundan elde edilmiştir. Elde edilen dem verisinden eğim ve bakı haritası CBS ortamında üretilmiştir. Yükselti, sıcaklık ve yağış gibi iklimsel koşulları dolaylı olarak etkilediğinden, orman ağaçlarının doğal yayılış sınırlarının belirlenmesinde kritik bir role sahiptir (Çolak & Rotherham, 2006). Bu nedenle modele dahil edilmesi planlanmış fakat çalışmada yapılan korelasyon analizleri sonucunda çoklu doğrusallığa sebep olduğu için model dışında bırakılmıştır. Bakı, güneşlenme süresi ve mikroiklim koşullarını doğrudan etkileyen önemli bir topografik faktördür. Akdeniz iklimi altında yetişen kızılçam, özellikle güneşlenme süresi fazla olan güney bakılarda daha baskın olarak yayılış göstermektedir (Atalay, 1994). Bu nedenle, bakı değişkeni modelde korunmuştur. Toprak değişkenleri 'ISRIC Soil Database' kataloğundan temin dilmiş ve indirilen verilerden yararlanılarak mekânsal haritalar CBS ortamında üretilmiştir (ISRIC, 2020). CBS ortamında bütün mekânsal haritalar WGS1984 Coğrafi Koordinat Sisteminde hazırlanmıştır. Toprak özelliklerine ilişkin veriler (su pH'ı, kil, silt, kum, organik karbon ve CEC), türün toprak istekleri ve kök gelişimiyle doğrudan ilişkilidir. Kızılçam, düşük verimli, taşlı, az kireçli ve asidik karakterdeki topraklarda dahi gelişebilen, oldukça ekolojik toleransı yüksek bir türdür. Bununla birlikte, toprak pH'ı ve organik madde içeriği, türün tohum çimlenmesi ve fidan gelişimi üzerinde etkili olabilmektedir. Ayrıca, kation değişim kapasitesi (CEC), toprağın besin maddelerini tutma ve bitki köklerine sunma kapasitesini belirlediğinden, türün beslenme ve büyüme potansiyelini etkileyen önemli bir parametre olarak modele dahil edilmiştir (Weill & Brady, 2002). MaxEnt modelin çalıştırılmasında kullanılacak olan biyoklimatik değişkenler, aylık sıcaklık ve yağış verilerinden elde edilen değerlerdir ve daha anlamlı değişkenler oluşturulmasına olanak sağlar. Bu değişkenler genellikle tür dağılım modellemesi ve ilgili ekolojik modelleme tekniklerinde kullanılmaktadır ve bu değişkenler Tablo 2.1'de belirtilmiştir (Akyol vd., 2020).

Tablo 2.1 : Biyoklimatik Değişkenler

BIO 1	Yıllık Ortalama Sıcaklık
BIO 2	Günlük ortalama değişim aralığı (günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması)
BIO 3	İzotermalite (Eş ısı)
BIO 4	Mevsimsel sıcaklık
BIO 5	En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı
BIO 6	En soğuk ayın en düşük sıcaklığı
BIO 7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı (BIO 5 – BIO 6)
BIO 8	En nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO 9	En kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO10	En sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO 11	En soğuk ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO 12	Yıllık yağış miktarı
BIO 13	En nemli ayın yağış miktarı
BIO 14	En kurak ayın yağış miktarı
BIO 15	Mevsimsel yağış miktarı
BIO 16	En nemli ilk üç ayın yağış miktarı
BIO 17	En kurak ilk üç ayın yağış miktarı
BIO 18	En sıcak ilk üç ayın yağış miktarı
BIO 19	En soğuk ilk üç ayın yağış miktarı

Modelleme sürecinde değişkenler arasında çoklu doğrusallığın model performansını olumsuz etkileyebileceği dikkate alınarak, bu sorunu en aza indirmek amacıyla R yazılımı (R Core Team, 2024) ortamında çalışan `correpl.it` paketi kullanılarak değişkenler arası Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.1). Korelasyon katsayısı 0.50 ve üzeri yüksek korelasyon olarak kabul edilmektedir (Cohen, 2013). Ancak biyolojik bilimlerde genellikle 0.70 ve üzeri değerler çok yüksek korelasyon olarak değerlendirilir ve bu düzeydeki korelasyonlar çoklu bağlantılılık sorununa işaret edebilir (Dancey & Reidy, 2007; Tabachnick, 2007). Analiz sonucunda, değişken çiftleri

arasındaki korelasyon katsayısı $|r| \geq 0.65$ olan değişkenler çoklu doğrusallığa neden olabilecek nitelikte değerlendirilmiş ve bu eşiği aşan değişkenlerden bazıları modelden çıkarılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan bu eşik değeri, çevresel değişkenlerin birlikte kullanıldığı modellerde çoklu doğrusallığın önlenmesi amacıyla önerilmektedir (Dormann vd., 2013).

2.4. MAKSİMUM ENTROPİ ALGORİTMASI

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Maksimum entropi algoritması bir makine öğrenmesi yöntemidir (Yalçın vd., 2023). Bu yöntem, bitki türlerinin mevcut dağılım alanlarını dikkate alarak hedef türlerin potansiyel dağılım alanlarını, hem mevcut durumda hem de gelecekte tahmin etmektedir (Öztop, 2023). Türe ait dağılım alanların mekânsal dağılımı tahmin edilirken çalışma amaçlarına uygun olarak belirlenen MaxEnt Model kullanılmıştır.

MaxEnt model, yalnızca varlık (presence-only) verilerini ve bir dizi çevresel değişkeni (örneğin yağış, sıcaklık) girdi olarak kullanarak türlerin mekânsal dağılımını tahmin etmektedir. Model, çalışma alanı boyunca ızgara hücrelerine bölünmüş bir manzarada, gözlemlenen varlık noktaları ile varlık durumu bilinmeyen arka plan noktalarını karşılaştırmaktadır (Merow vd., 2013). Model, bir türün çalışma alanındaki olası dağılımını, π adı verilen bir olasılık dağılımı ile temsil etmektedir. Bu dağılım, her bölgeye (x) sıfırdan büyük veya eşit bir değer atar ve tüm bölgeler için bu değerlerin toplamı 1 olur (toplam olasılık 1'dir). Bu dağılım, türün gözlemlendiği yerlerden elde edilen bazı kısıtlamalara (bilgilere) dayanarak oluşturulur. Bu kısıtlamalar, çevresel değişkenlerin (örneğin sıcaklık veya yağış) basit fonksiyonları olan “özellikler” üzerinden tanımlanmaktadır. Örneğin, bir özelliğin ortalaması (örneğin yıllık yağış) modelde, gözlemlenen ortalamaya yakın olacak şekilde ayarlanır (Elith vd., 2011).

MaxEnt model, tür dağılımının tahmininde sınırlı gözlemsel verilere dayalı olarak olasılık dağılımı üretirken, yalnızca bu verilerden türetilen kısıtlamaları dikkate alır ve ek varsayımlarda bulunmaktan kaçınmaktadır. Bu nedenle, model bu kısıtlamaları sağlayan olası dağılımlar arasından, belirsizliği en yüksek olan, yani entropisi maksimum olan dağılımı seçer. Entropinin bu bağlamda yüksek olması, modelin mevcut bilgi dışında herhangi bir yapay düzenlilik dayatmadan, en tarafsız dağılımı temsil etmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, Jaynes'in (1957) geliştirdiği maksimum entropi ilkesine

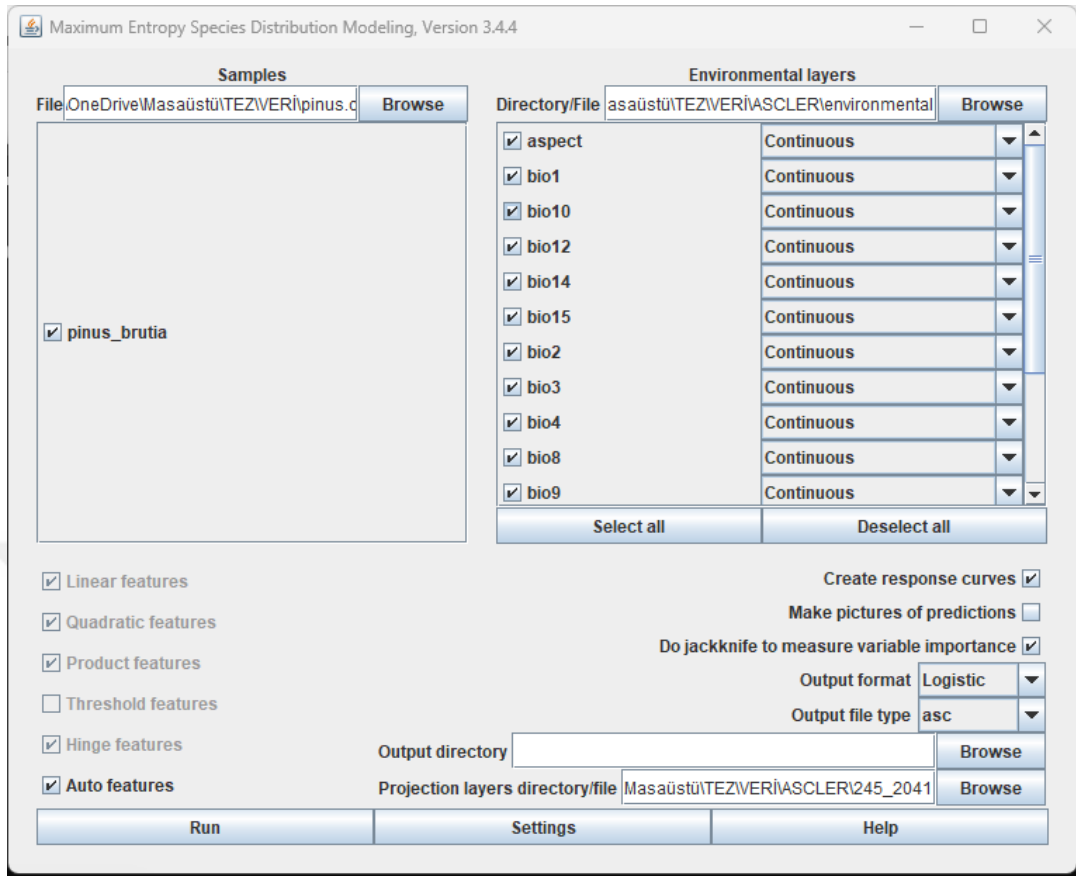
dayanmaktadır ve bilgi eksikliği durumlarında olasılık dağılımlarının tarafsız biçimde belirlenmesini amaçlamaktadır. Dolayısıyla MaxEnt, gözlemsel verilerle tutarlı ancak mümkün olan en az varsayımı içeren, istatistiksel olarak dengeli bir çözüm sunmaktadır (Elith vd., 2011; Merow vd., 2013; Phillips & Dudík, 2008).

MaxEnt model, tür dağılımına ilişkin tahminleri dört farklı çıktı formatında sunmaktadır. Bunlar ham (raw), kümülatif (cumulative), lojistik (logistic) ve kısıtlanmış (clamped) çıktılarıdır. Her format, model sonuçlarının farklı şekillerde yorumlanmasına olanak tanımaktadır (Phillips vd., 2006). Ham çıktı (raw output), çevresel değişkenlerin ağırlıklı toplamının üssel dönüşümüne dayanan göreceli oluşum oranlarını ifade etmektedir. Bu format, doğrudan maksimum entropi fonksiyonundan elde edilir ve normalizasyon içermez; bu nedenle çıktılar 0 ile 1 arasında olmayabilir. Bu durum, matematiksel analiz için uygun olsa da ekolojik yorum açısından sınırlayıcıdır. Kümülatif çıktı (cumulative output), her hücreye, tahmin edilen uygunluk değerine eşit veya daha düşük olan tüm hücrelerin toplam oranını atamaktadır. Değerler 0–100 arasında değişir ve genellikle eşik belirleme ve haritalama uygulamalarında tercih edilmektedir. Lojistik çıktı (logistic output), en yaygın kullanılan format olup değerler 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiştir. Bu format, göreceli oluşum oranlarının dönüştürülmüş hâlidir ve belirli varsayımlar altında, türün belirli bir hücrede bulunma olasılığına benzer şekilde yorumlanabilmektedir. Ancak bu yorum, örneklemenin rastgele birey örneklemesine dayandığı varsayımına bağlıdır ve her durumda geçerli olmayabilir. Bu nedenle, lojistik çıktılar genellikle alanlar arası göreceli habitat uygunluğunun karşılaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Kısıtlanmış çıktı (clamped output), modelin eğitim verilerinde karşılaşmadığı çevresel değerler için yapılan tahminleri sınırlandırır. Bu sayede, özellikle farklı çevresel senaryolar altındaki projeksiyonlarda, modelin aşırı tahmin yapmasının önüne geçilmektedir. Genellikle lojistik çıktı ile birlikte kullanılır ve dış veri aralıklarına uygulanabilirliği artırmaktadır (Phillips, 2010).

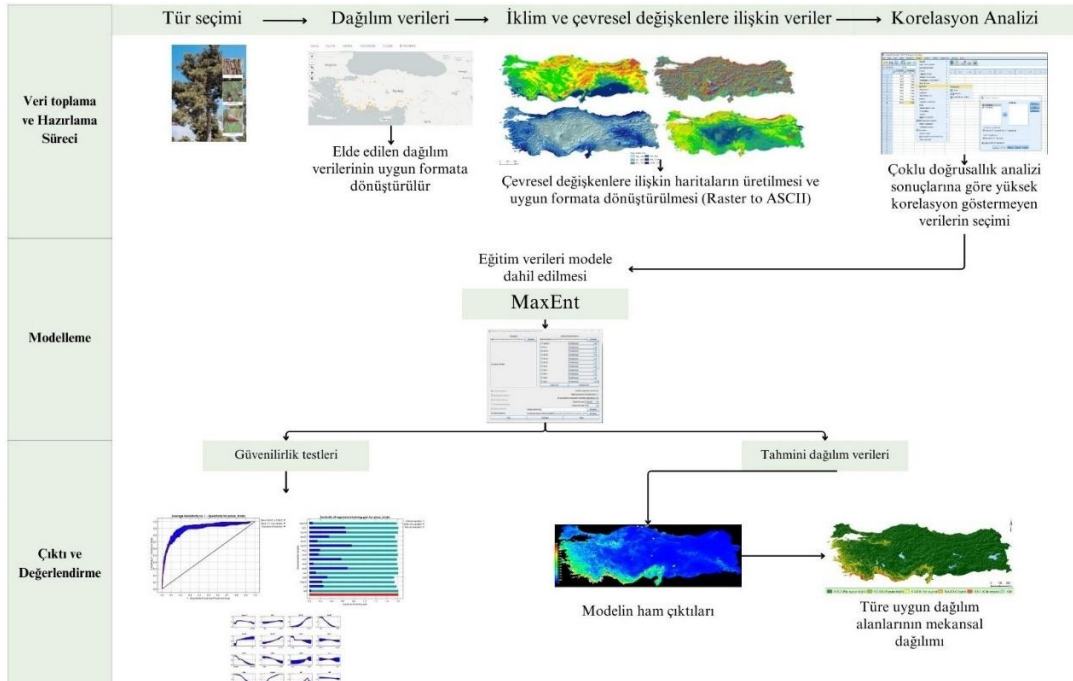
MaxEnt modelinin performansını ve güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli istatistiksel testler ve grafiksel analizler kullanılmaktadır. Modelin doğruluğunu ölçmek için sıklıkla ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değeri kullanılmaktadır. AUC değeri, modelin varlık ve arka plan noktalarını ne ölçüde doğru sınıflandırabildiğini gösterir; 0.5 değeri rastgele tahmini, 0.7 üzeri ise kabul edilebilir bir doğruluk düzeyini ifade etmektedir (Phillips vd., 2006). Buna ek olarak, dışlama oranı (omission rate)

grafikleri, modelin tahmin ettiği uygun habitatlardan gözlemlenen varlık noktalarının ne kadarını dışarda bıraktığını göstererek modelin hata oranını ortaya koymaktadır (Elith & Leathwick, 2009). Jackknife testi ise, çevresel değişkenlerin modele olan katkısını değerlendirmek amacıyla her bir değişkenin tek başına ve modelden hariç tutulduğunda sağladığı bilgi kazancını analiz etmektedir. Bu test, modelde hangi çevresel değişkenlerin daha belirleyici olduğunu belirlemeye yardımcı olur (Elith vd., 2011). Ayrıca, tepki eğrileri (response curves), belirli bir çevresel değişkenin değeri değiştikçe modelin tahmin ettiği varlık olasılığındaki değişimi göstererek, tür-çevre ilişkilerinin ekolojik açıdan yorumlanmasına olanak tanır (Elith vd., 2011). Bu yöntemlerin birlikte kullanımı, MaxEnt modelinin sağlamlığını ve biyolojik geçerliliğini değerlendirmek açısından bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

Bu çalışmada tür dağılımının modellenmesinde MaxEnt algoritması kullanılmış ve model, 10 tekrar (replicates) üzerinden çalıştırılarak rastgeleliğe bağlı varyansın azaltılması hedeflenmiştir. Modelleme sürecinde lojistik çıktı formatı tercih edilmiş ve elde edilen sonuçlar, türün potansiyel dağılım alanlarını temsil eden görelî habitat uygunluğu değerleri olarak değerlendirilmiştir. Modelin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla ROC eğrisi altındaki alan (AUC) değeri kullanılmış; ayrıca dışlama oranı (omission rate) ve değişkenlerin model performansına katkısını analiz eden Jackknife testi uygulanmıştır. Bu testler aracılığıyla modelin ayırt edici gücü, hata oranı ve çevresel değişkenlerin bağıl önemi belirlenmiş, elde edilen bulgular MaxEnt modelinin ekolojik geçerliliğini destekler nitelikte olmuştur. MaxEnt modelin program arayüzü Şekil 2.6’da, modele ait iş akış şeması ise Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : MaxEnt Model Arayüzü



Şekil 2.7 : MaxEnt Model İş Akış Şeması

Modelleme sonucunda elde edilen habitat uygunluk değerleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiş sürekli bir olasılık dağılımı şeklinde elde edilmiştir. Bu değerler, literatürde yaygın olarak kullanılan eşik değer aralıklarına göre beş sınıfa ayrılarak yorumlanmıştır. Söz konusu sınıflandırma, Liu vd. (2005) ve Pearson (2007) gibi çalışmalarda önerilen doğal aralık temelli eşiklendirme yaklaşımı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Uygunluk sınıfları Tablo 2.2’de belirtilmiştir (Liu vd., 2005; Pearson, 2007).

Tablo 2.2 : Sınıflandırma Aralıkları

Sınıf	Değer
Hiç Uygun Değil	0,00-0,20
Uygun Değil	0,21-0,40
Az Uygun	0,41-0,60
Uygun	0,61-0,80
Çok Uygun	0,81-1,00

Bu sınıflar, model çıktılarının yorumlanabilirliğini artırmakta ve habitatların yönetimi açısından önceliklendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Her sınıf, türün belirli bir bölgede yaşama ve çoğalma olasılığını ifade etmektedir; örneğin “çok uygun” sınıfı, türün yaşama şansının en yüksek olduğu habitatları; “hiç uygun değil” sınıfı ise türün yaşaması için elverişsiz çevresel koşulları göstermektedir.

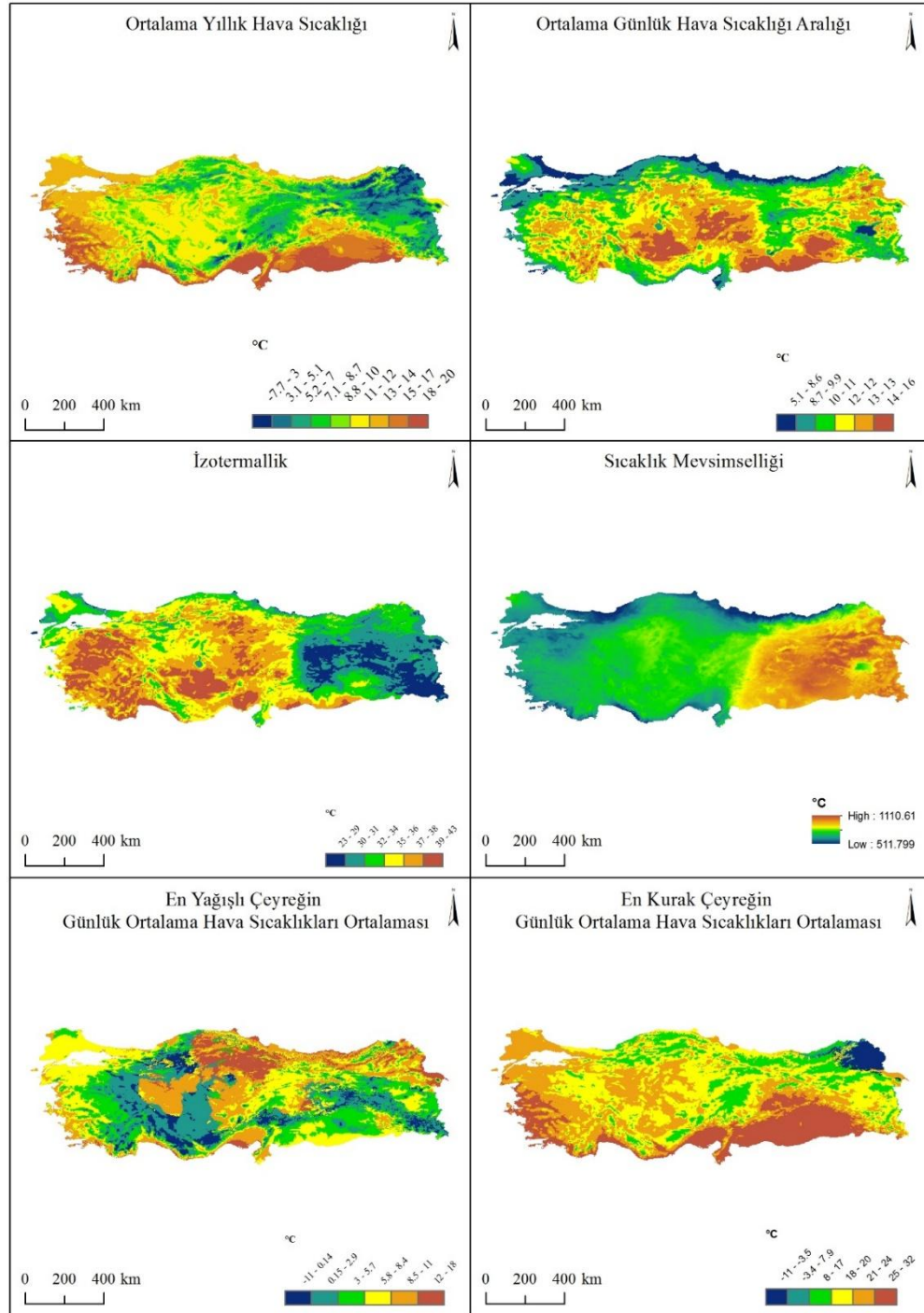
Model çıktıları raster formatında elde edildikten sonra, Raster Calculator ve Zonal Statistics araçları kullanılarak her uygunluk sınıfına karşılık gelen alan (km²) hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler üzerinden, her sınıfın toplam alana oranı alınarak yüzdelik (oransal) dağılımı hesaplanmıştır. Bu sayısal veriler grafiksel olarak Şekil 3.10’da sunulmuş, hem mutlak değerlerle (km² cinsinden) hem de yüzde (%) olarak ifade edilmiştir. Bu işlem, türün dağılımının zamansal karşılaştırmalarına olanak sağlamakta ve iklim değişikliği senaryoları altındaki değişimleri yorumlamada temel oluşturmaktadır.

3. BÖLÜM: ARAŞTIRMA BULGULARI

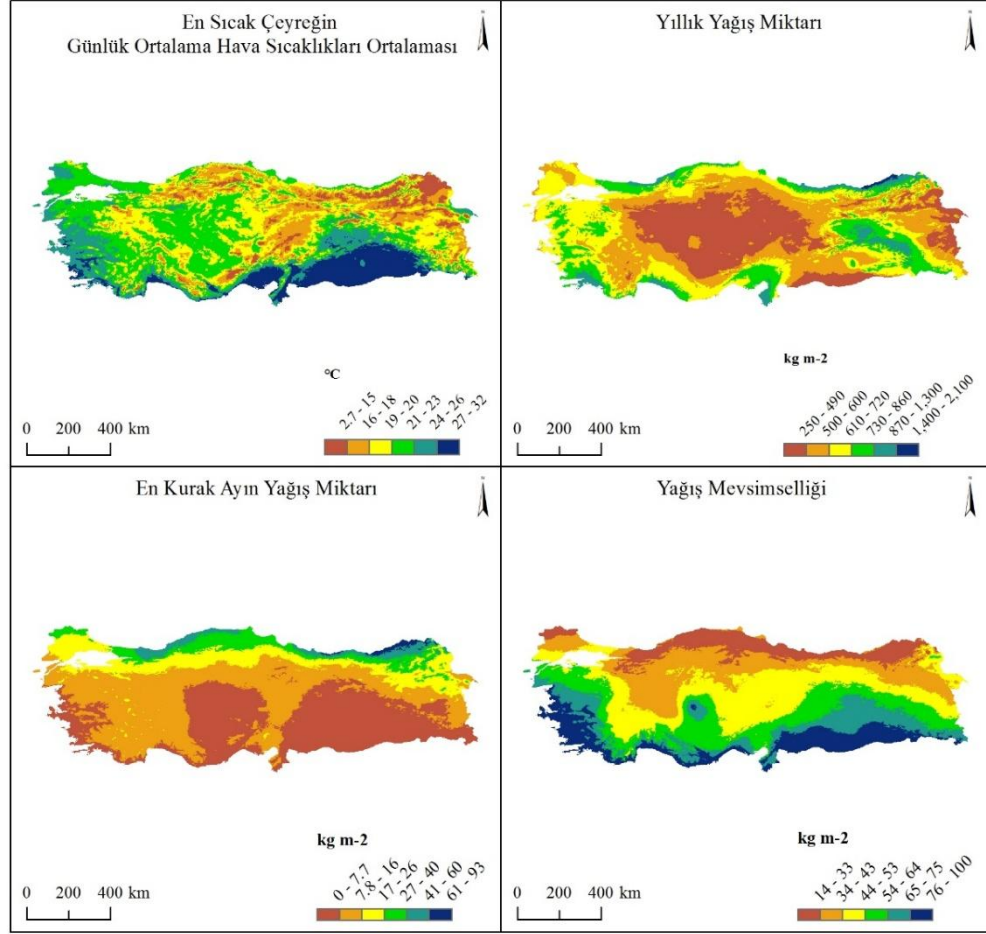
3.1. MODELDE KULLANILAN BELİRLEYİCİ PARAMETRELER

Makine öğrenmesi temelli tahmin modellerinde, bağımsız değişkenler arasında yüksek düzeyde çoklu doğrusallığın bulunması, modelin toplam varyans açıklamasında şişkinliğe neden olmakta ve bu durum, modelin tahmin gücünü zayıflatarak gerçek değerlerden sapmalara yol açabilmektedir. MaxEnt modeli, varsayımsız bir dağılım modelleme yöntemi olsa da giriş değişkenleri arasında çoklu doğrusallık bulunması modelin öngörü performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, çalışmada MaxEnt modele dâhil edilmesi planlanan tüm değişkenler arasında çoklu doğrusal ilişkilerin olup olmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 19 biyoklimatik değişkenden yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1), günlük en yüksek ve en düşük sıcaklıkların ortalaması (BIO 2), izotermalite (eş ısı) (BIO 3), mevsimsel sıcaklık (BIO 4), en nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 8), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 9), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 10), yıllık yağış miktarı (BIO 12), en kurak ayın yağış miktarı (BIO 14), mevsimsel yağış miktarı (BIO 15) olmak üzere toplam 10 biyoklimatik değişken arasında çoklu doğrusallık olmadığı belirlenmiştir. Biyoklimatik değişkenlere ek olarak belirlenen diğer çevresel değişkenler biyoklimatik değişkenler ile birlikte korelasyon analizine dahil edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları sonucunda ikili ilişki gösteren değişkenler modelden çıkarılmış ve bakı, pH, kil, silt, organik karbon ve katyon değişim kapasitesi olmak üzere toplam altı çevresel değişken modele dahil edilmiştir.

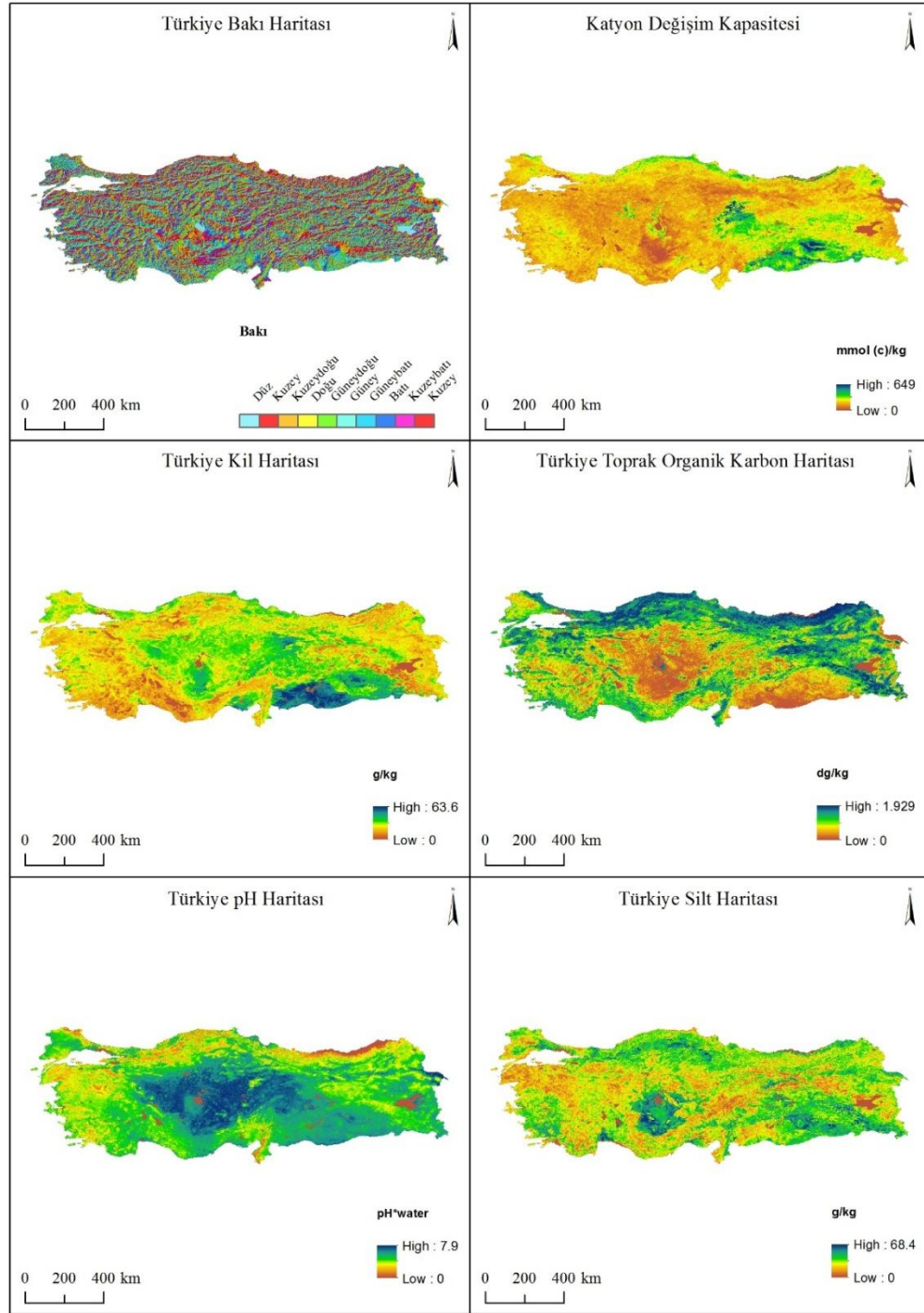
MaxEnt modelde uygulanılacak analizlerde kullanılan parametrelere ilişkin haritaları Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de belirtilmiştir (WorldClim, 2017).



Şekil 3.1 : Çalışmada Kullanılan Biyoklimatik Değişkenlere İlişkin Haritalar (a)



Şekil 3.2 : Çalışmada Kullanılan Biyoklimatik Değişkenlere İlişkin Haritalar (b)

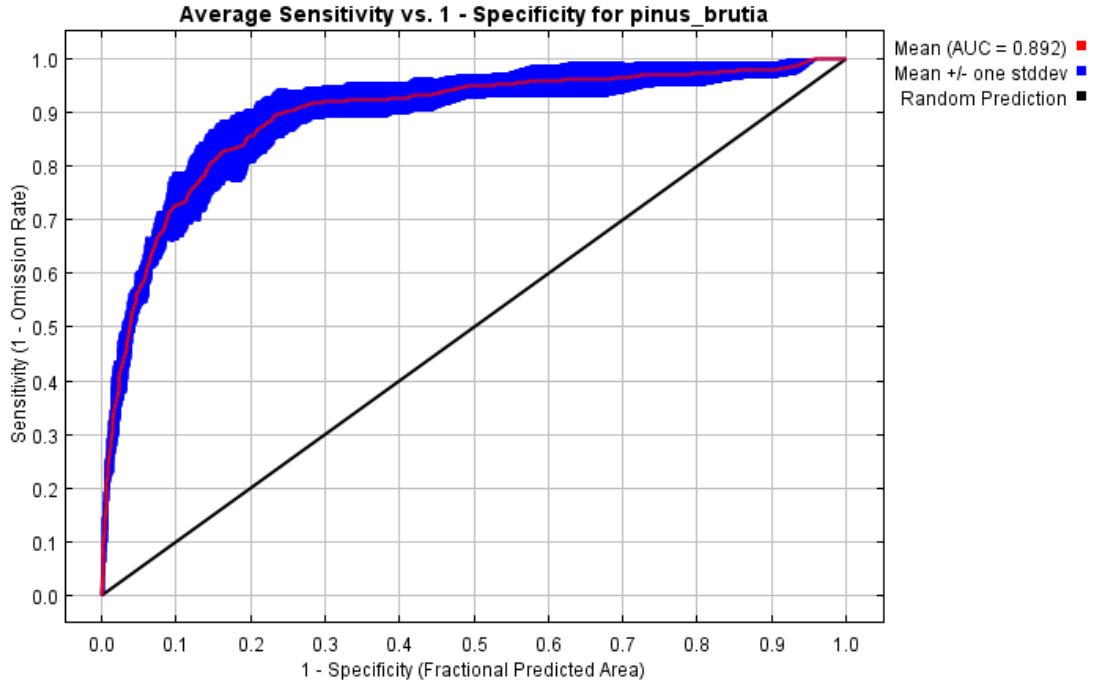


Şekil 3.3 : Çalışmada Kullanılan Çevresel Değişkenlere İlişkin Haritalar

Pinus brutia Ten.'nın günümüz ve gelecek potansiyel coğrafi dağılımlarına ait tahmin modelleri yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak MaxEnt ve ArcGis Programları ile üretilmiştir. Elde edilen haritalarda *Pinus brutia* Ten.'nın günümüz ve gelecekteki mekânsal dağılımı ortaya konulmuştur.

3.2. MEVCUT İKLİM KOŞULLARI ALTINDA *Pinus brutia* TEN. TÜRÜNÜN TÜRKİYE'DE TAHMİNİ DAĞILIŞI

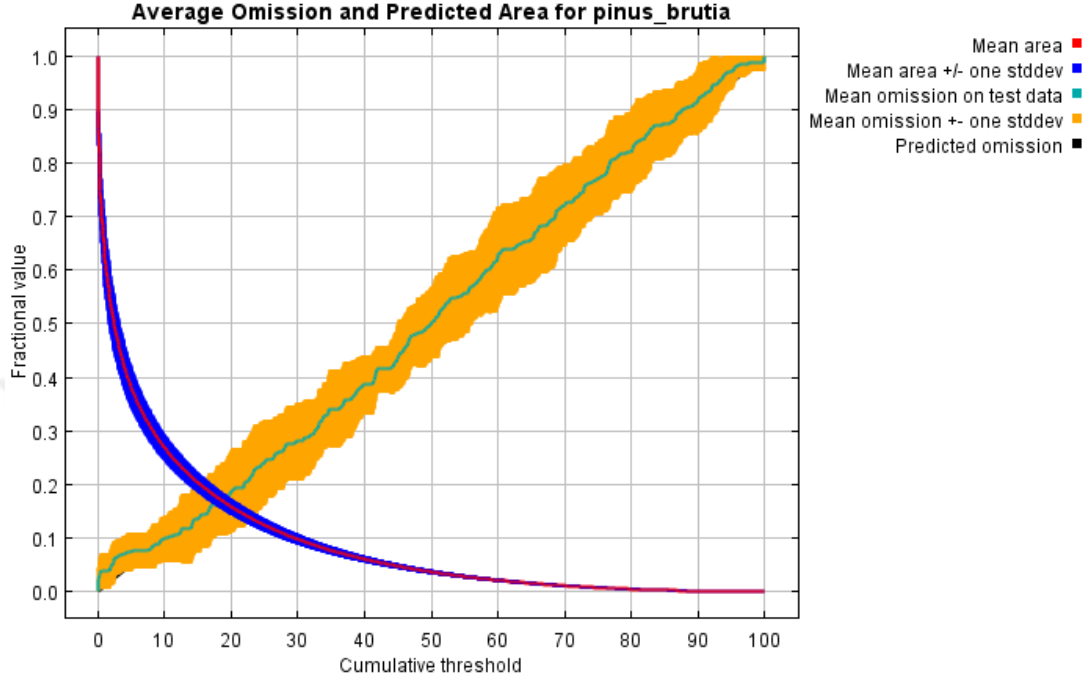
Model tahminin doğruluğunu test eden AUC değerinin 10 tekrar sonuçlarının ortalamasının 0,89 çıkması modelin güvenilirliğini göstermektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : ROC Eğrisi Altında Kalan Alan (AUC Grafiği)

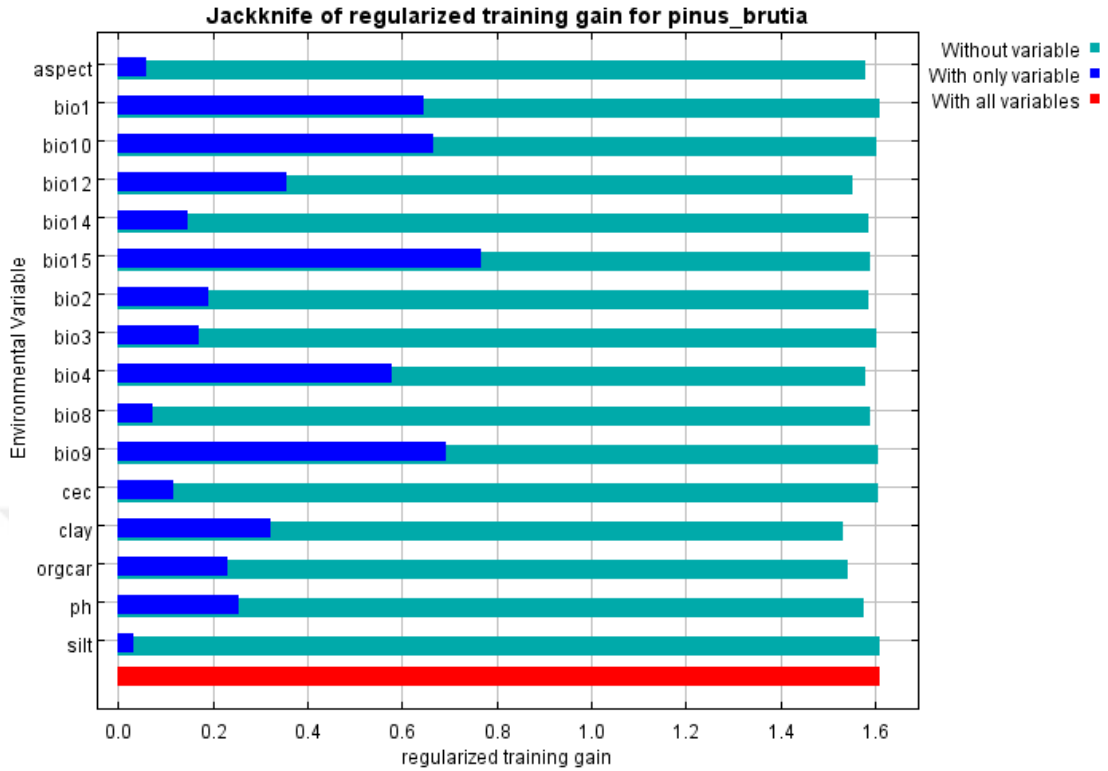
Güvenilirlik testlerinden Omisyon grafiği, MaxEnt modelinin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan bir araçtır (Elith & Leathwick, 2009). Model çıktılarından elde edilen Omisyon Grafiği, Şekil 3.5’de verilmiştir. Bu grafikte, siyah çizgi tahmin edilen ihmal, mavi çizgi ise test verilerindeki ortalama ihmal temsil etmektedir. Ortalama ihmal (mavi çizgi), tahmin edilen ihmale (siyah çizgi) ne kadar yakınsa, modelin eğitim verilerine uyumunun o kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Öte yandan, mavi çizginin (eğitim örneklerinde ihmal) siyah çizgiden (tahmin edilen ihmal) belirgin şekilde daha düşük olması, mevcut noktalar arasındaki bağımlılık nedeniyle aşırı uyum (overfitting) olasılığını işaret edebilir (Bekele vd., 2023; Kamyo & Asanok, 2020). Çalıştırılan model sonuçları incelendiğinde, Omisyon Grafiği’nde (Şekil 3.5) eğitim verilerinden elde edilen ihmal çizgileri ile tahmin edilen ihmal oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, modelin AUC değerinin 1’e yakın (0,892) olması,

modelin rastgele tahminlere kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini ve doğruluğunun yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.5 : Omisyon Grafiği

Jackknife testi MaxEnt modelin tahmin yeteneğini değerlendirmede kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Modele dahil edilen her bir parametre modelden çıkarıldığında geriye kalan veriyle model yeniden eğitilir ve tahminler yapılır. Tüm veri noktaları için bu işlem tekrarlanmaktadır (Elith vd., 2011). MaxEnt model çıktılarından elde ettiğimiz Jackknife Grafiği Şekil 3.6’da verilmiştir. Şekilde kırmızı sütun modelin tüm değişkenler ile birlikte toplam kazancını, mavi sütunlar ilgili değişkenin modele tek başına yaptığı katkıyı, yeşil sütunlar ilgili değişkenin modelden çıkarıldığında modelin toplam kazancını ifade etmektedir.



Şekil 3.6 : Jackknife Grafiği

Grafik incelendiğinde, modelin ortalama sonuçlarına göre, mevsimsel yağış miktarı (BIO 15) tek başına kullanılan çevresel değişkenler arasında en yüksek kazancı sağladığı için modelde en değerli bilgiye sahip gibi görünmektedir. *Pinus brutia*'nın suya olan hassasiyetini ve özellikle yağış rejiminin ekolojik gereksinimlerini doğrudan yansıtmaları bakımından anlamlıdır. Ardından, sırasıyla en kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 9), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 10) ve yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1) parametreleri gelmektedir. Bu parametrelerinin önemli bulunması, kızılçamın sıcaklık rejimine karşı adaptasyonunu ve özellikle yaz aylarındaki sıcaklık stresine dayanıklılığını göstermektedir. Kızılçam, yüksek sıcaklıklara karşı toleranslı olmakla birlikte, aşırı sıcak ve uzun kurak dönemler büyüme performansını ve tohum çimlenmesini sınırlayabilmektedir (Fady, Semerci & Vendramin, 2003). Modelde ihmal edilen çevresel değişkenler arasında ise kazancı en fazla azaltan faktörler en nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 8) ve silt olarak belirlenmiştir. Bu durum *Pinus Brutia*'nın özellikle yaz kuraklığına adapte olmuş olması ve toprak tekstürüne karşı görece toleranslı bir tür olduğunu göstermektedir. Silt oranının düşük etkiye sahip olması, türün yayılışında

toprak su tutma kapasitesi kadar, iklimsel faktörlerin belirleyici olduğuna işaret etmektedir.

Çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline göreli katkılarına ilişkin tahminler Şekil 3.7’de belirtilmiştir. Şekilde her bir çevresel değişkenin tür dağılım modeline yaptığı göreli katkıyı yüzdelik değerlerle ortaya koymaktadır. MaxEnt algoritması, model kurulum sürecinde tahmin doğruluğunu en çok artıran değişkenleri izleyerek, her bir değişkenin modele olan katkısını kümülatif olarak hesaplar. Bu katkı oranları, modelin çalışma alanındaki çevresel gradyanları nasıl değerlendirdiğini ve türün habitat tercihleri açısından hangi faktörlerin daha belirleyici olduğunu anlamaya yardımcı olmaktadır (Phillips vd., 2006).

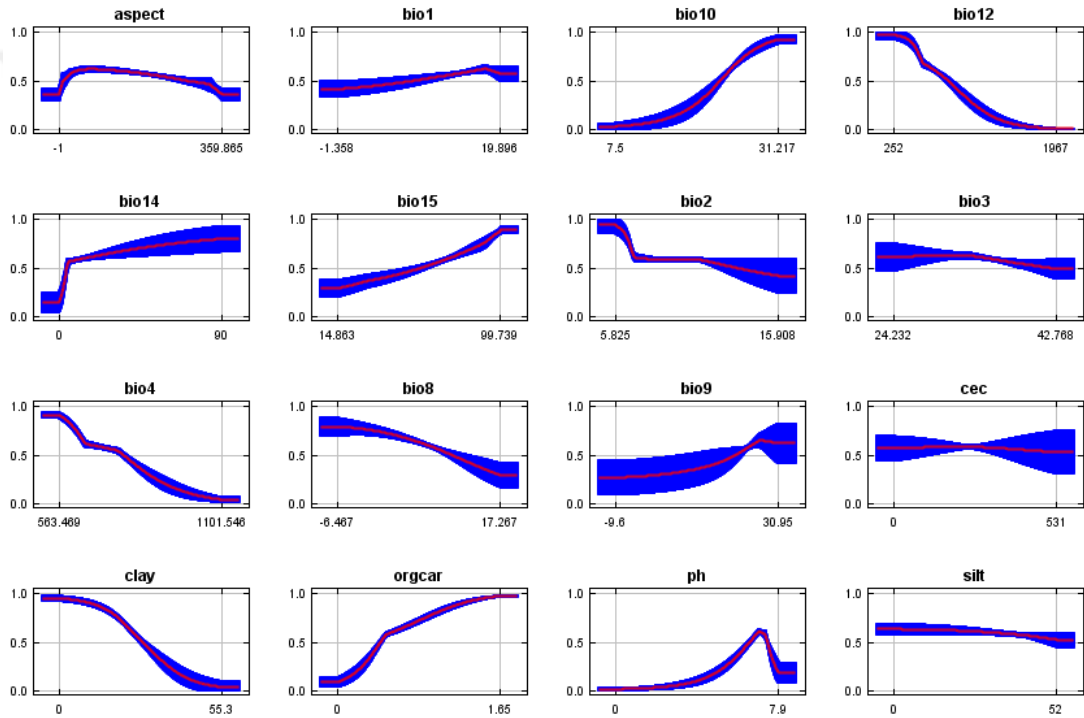
Değişken	Katkı yüzdesi	Permütasyon önemi
biyo15	36.7	3.7
biyo4	21.2	16
biyo1	14.8	1.3
orgcar	6.8	4.8
kil	4.2	13
Ph	4.2	8.5
biyo10	2.3	25.2
biyo2	2.1	2.3
yüz	2	1
biyo12	1.9	10.2
biyo14	1.9	4.5
biyo8	0.8	3.9
biyo9	0.7	3.9
biyo3	0.3	1.4
Silt	0	0
Cec	0	0.3

Şekil 3.7 : Çevresel Değişkenlerin MaxEnt Modeline Göreli Katkılarına İlişkin Tahminleri

MaxEnt modeli sonuçlarına göre, türün potansiyel dağılımını belirlemede en yüksek katkıyı %36,7 ile BIO 15 sağlamıştır. Bu durum, türün habitat tercihinde sıcaklık değişkenliğinin belirleyici bir çevresel faktör olduğunu göstermektedir. İkinci en yüksek katkı %21,2 ile BIO4 değişkeninden gelmiştir. Üçüncü sırada yer alan BIO 1, %14,8 katkı

oranı ile sıcaklık düzeyinin genel anlamda da tür dağılımını etkileyen bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık, silt (tın fraksiyonu) ve CEC değişkenlerinin katkı oranları %0 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, bu iki edafik değişkenin modelde türün dağılımını açıklamada anlamlı bir katkı sunmadığını göstermektedir.

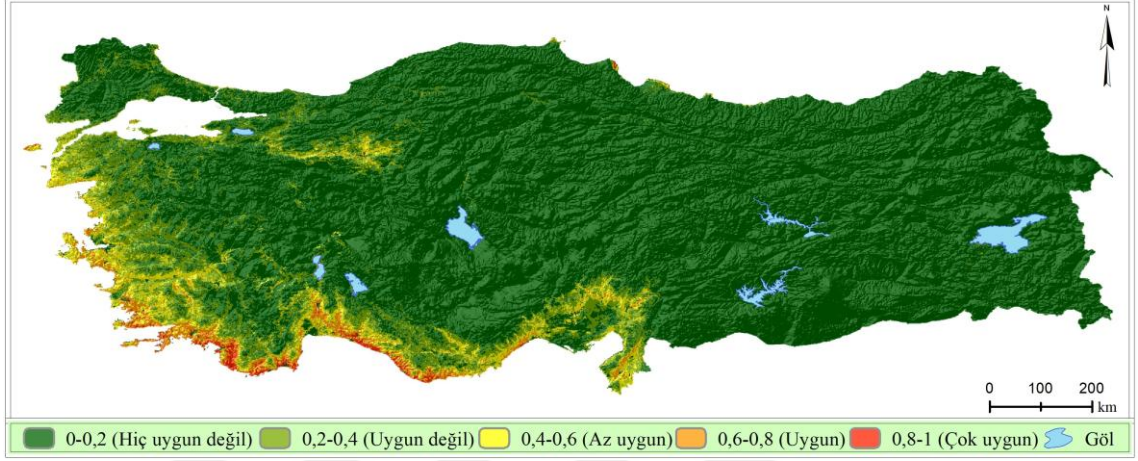
MaxEnt model güvenilirlik testlerinden biri olan tepki eğrileri, modele dahil edilen değişkenlerin tür varlığına olan etkisini göstermektedir. Değişken arttıkça tür varlığı artıyorsa pozitif etki, değişken arttıkça tür varlığı azalıyorsa negatif etki vardır (Elith vd., 2011). Çalışmada elde edilen tepki eğrileri Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 : Mevcut İklim Koşullarında *Pinus brutia* Ten. Türünün Dağılımını Tahmin Etmek İçin Maxent Modele Dahil Edilen Farklı İklim Parametrelerinin Tepki Eğrileri

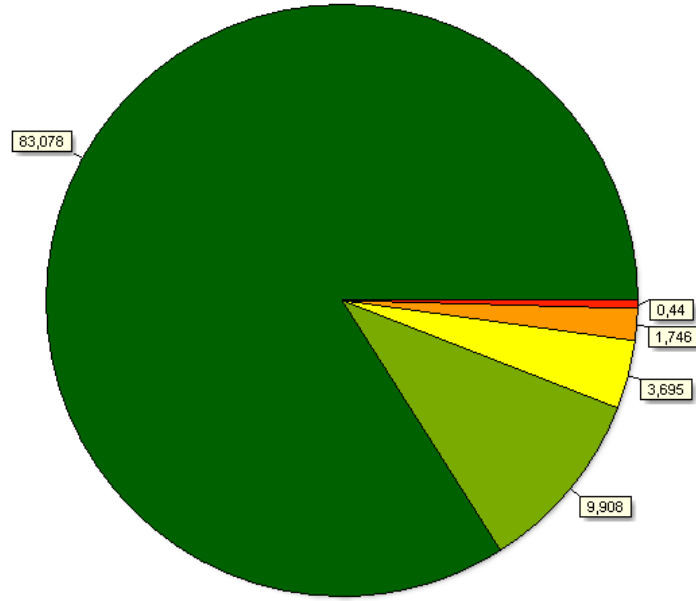
Tepki eğrileri incelendiğinde yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1), en kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 9), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 10), en kurak ayın yağış miktarı (BIO 14), mevsimsel yağış miktarı (BIO 15), pH ve organik karbon değişkenleri ile tür varlığı arasında pozitif ilişki görülmektedir. Günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması (BIO 2), mevsimsel sıcaklık (BIO 4), en nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 8), yıllık yağış miktarı (BIO 12) ve kil değişkenleri ile tür varlığı arasında negatif ilişki görülmektedir.

Elde edilen haritalarda *Pinus brutia* Ten.'nin günümüz ve gelecek mekânsal dağılımı görülmektedir. Model çıktılarından elde edilen günümüz dağılım haritası Şekil 3.9'da verilmiştir. Harita incelendiğinde *Pinus brutia* Ten.'nin Türkiye'de gösterdiği mevcut yayılış alanları ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.9 : *Pinus brutia* Ten. Türünün Mevcut İklim Koşulları Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı

Pinus brutia Ten.'nin günümüz iklim koşullarında hesaplanan tahmini dağılım alanları; hiç uygun değil 650.968, uygun değil 77.633, az uygun 28.950, uygun 13.681, çok uygun 3.449 km² olarak hesaplanmıştır. Alansal dağılımın yüzdelik olarak gösterildiği grafik Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 : Türün Mevcut İklim Koşulları Altında Alansal Yüzdelik Dağılımının Pasta Grafiği ile Gösterimi

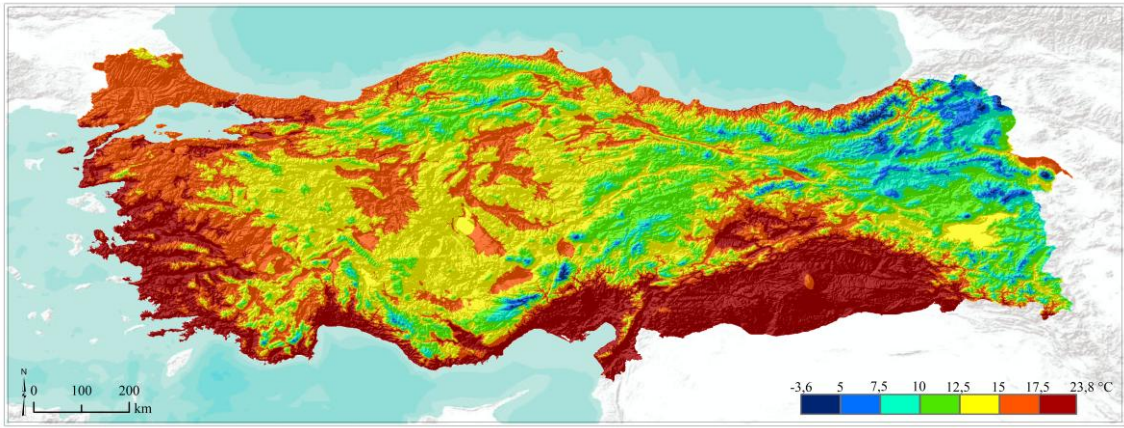
3.3. GELECEK İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI ALTINDA *Pinus brutia* TEN. TÜRÜNÜN TÜRKİYE’DE POTANSİYEL MEKÂNSAL DAĞILIM ALANLARI

3.3.1. HADGEM3-GC31-LL İklim Modeli

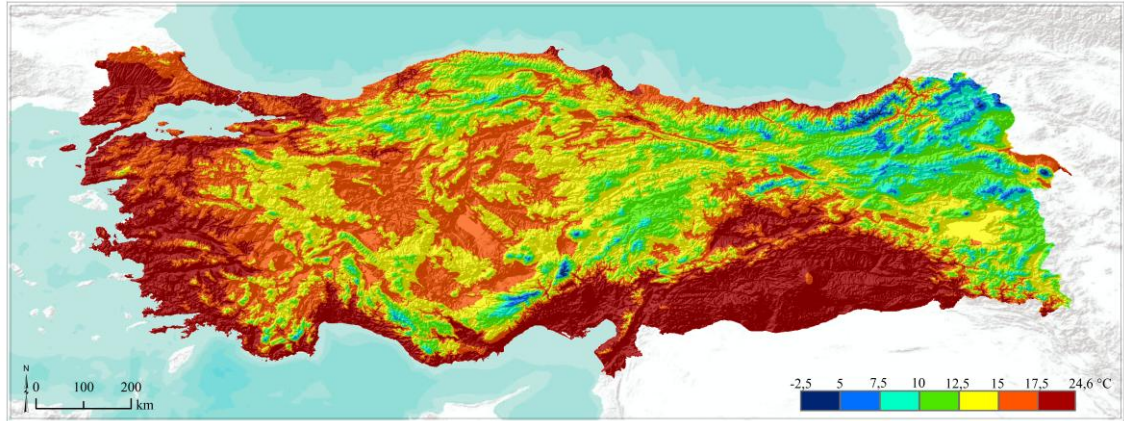
HadGEM3-GC31-LL iklim modelinin orta zorlama (SSP 2-4,5) ve yüksek zorlama senaryosu (SSP 5-8,5) kullanılarak yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış haritaları 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 yılları için oluşturulmuştur. Hazırlanan sıcaklık haritaları için ilgili iklim modeline ait yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1) parametresi, yağış haritaları için ise ilgili iklim modeline ait yıllık ortalama yağış (BIO 12) parametresi kullanılmıştır. Maxent model çıktılarından elde edilen veriler ile türe ait gelecek yıllar tahmini dağılım alanlarının haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.17 ve Şekil 3.25). Elde edilen haritalarda *Pinus brutia* Ten.’nın gelecek mekânsal dağılımı görülmektedir.

3.3.1.1. Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5)

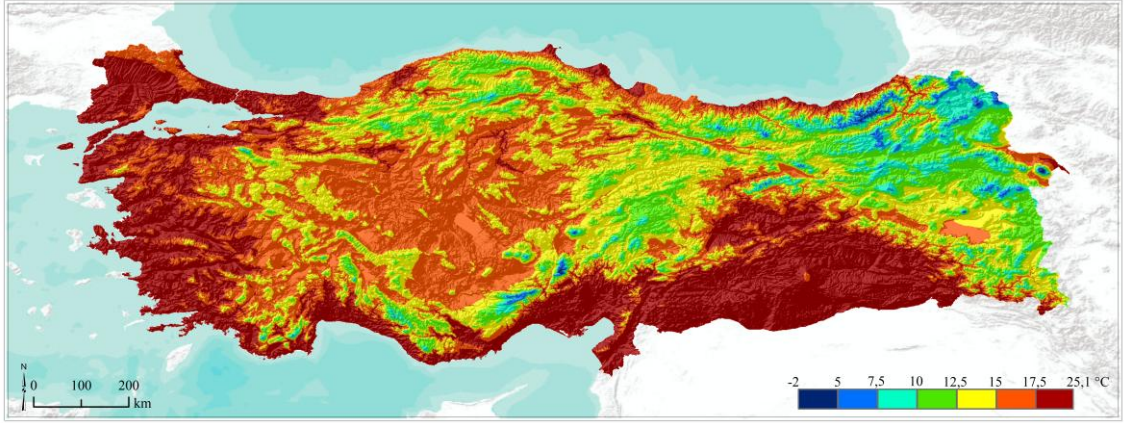
HadGEM3-GC31-LL iklim modeli SSP2-4.5 senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemine ait yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarını gösteren harita Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de belirtilmiştir. Haritalarda gözlemlenen sıcaklık değerleri, günümüz yıllık ortalama sıcaklık değerlerine göre (Şekil 2.3) artış eğilimindedir.



Şekil 3.11 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



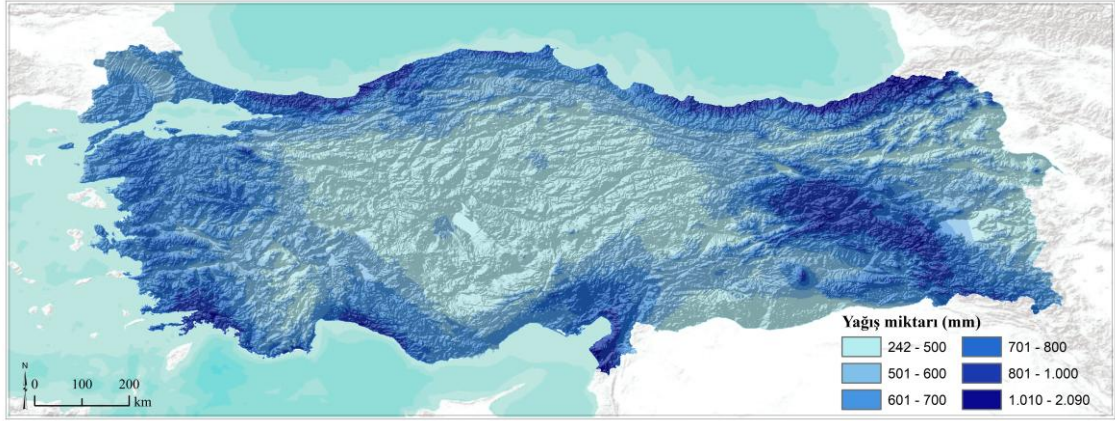
Şekil 3.12 : 2061-2080 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



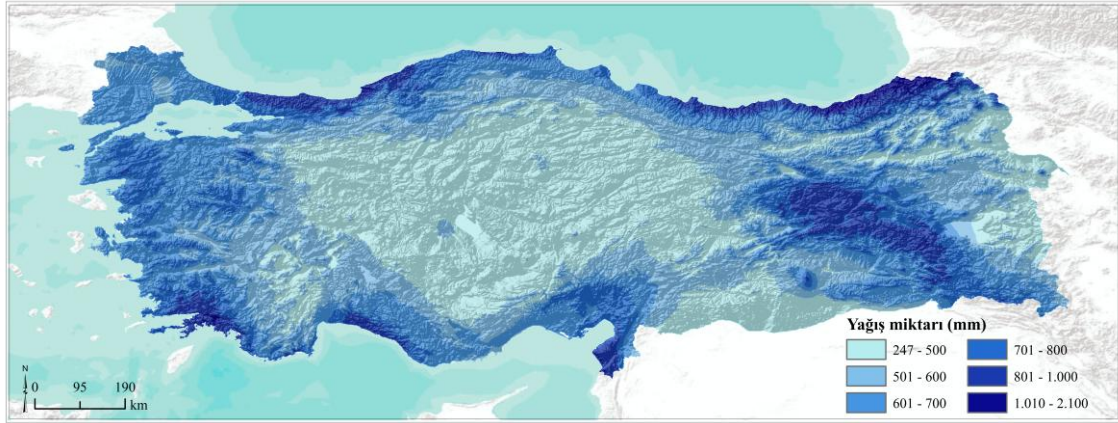
Şekil 3.13 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

İlgili haritalar incelendiğinde 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-3,6^{\circ}\text{C}$ maksimum değeri $23,8^{\circ}\text{C}$ olarak öngörülmektedir. 2061-2080 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-2,5^{\circ}\text{C}$, maksimum değeri $24,6^{\circ}\text{C}$ ve 2081-2100 yılları arasındaki dönemde ise yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri -2°C , maksimum değeri $25,6^{\circ}\text{C}$ olarak öngörülmektedir. En yüksek sıcaklık değerleri Güneydoğu Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinin genelinde; Akdeniz bölgesinin kıyı kesimlerinde görülmektedir. En düşük sıcaklık değerleri ise Doğu Anadolu bölgesinin en yüksek rakımlı bölgelerinde görülmektedir.

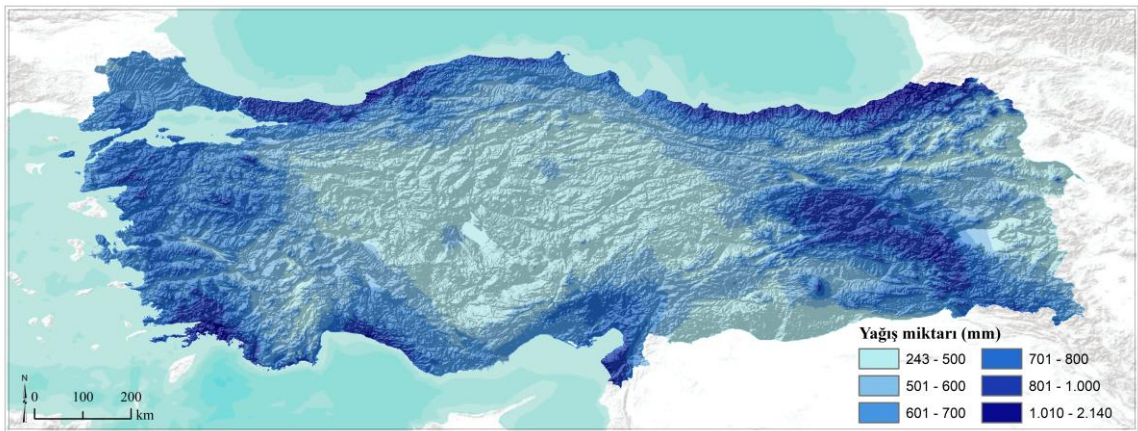
HadGEM3-GC31-LL iklim modeli SSP2-4.5 senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerine ait yıllık ortalama yağış miktarlarını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da sunulmuştur. Haritalarda gözlemlenen yağış değerleri, günümüz yıllık ortalama yağış miktarlarıyla karşılaştırıldığında (Şekil 2.4), bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak değişim eğilimindedir.



Şekil 3.14 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Yağış Haritası



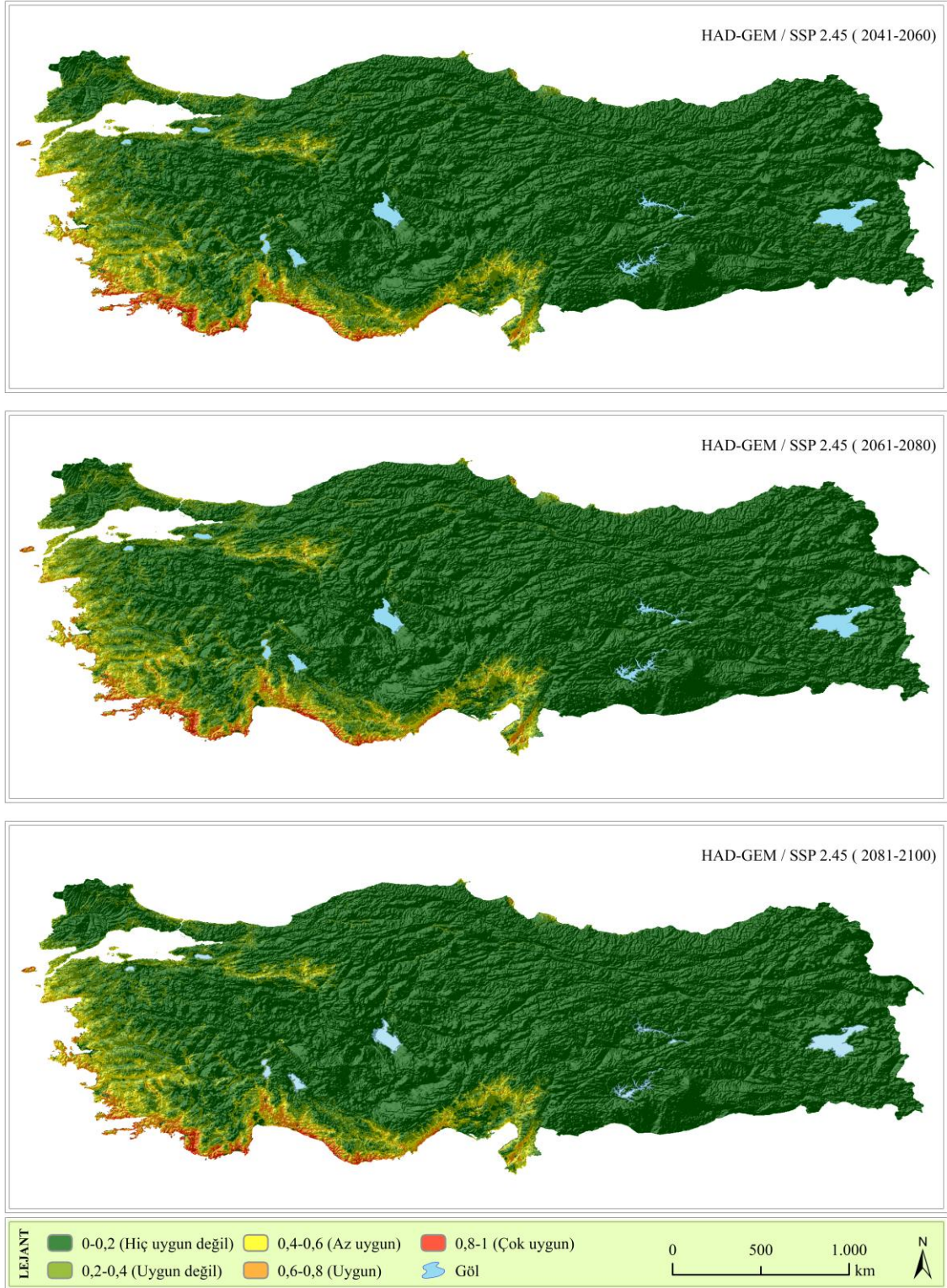
Şekil 3.15 : 2061-2080 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Yağış Haritası



Şekil 3.16 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Yağış Haritası

İlgili haritalar incelendiğinde, 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama yağış miktarının minimum değeri 242 mm, maksimum değeri ise 2.090 mm olarak öngörülmektedir. 2061-2080 dönemi için yıllık ortalama yağışın minimum değeri 247 mm, maksimum değeri 2.100 mm; 2081-2100 döneminde ise minimum yağış miktarı 243 mm, maksimum yağış miktarı 2.140 mm olarak tahmin edilmektedir. En yüksek yıllık yağış miktarları, Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde, özellikle Doğu Karadeniz'de; ayrıca Akdeniz'in batı kıyıları ve yüksek dağlık alanlarında, Ege ve Marmara Bölgelerinde gözlemlenmektedir. En düşük yağış miktarları ise İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu'nun iç kesimleri ve Doğu Anadolu'nun bazı kurak bölgelerinde görülmektedir.

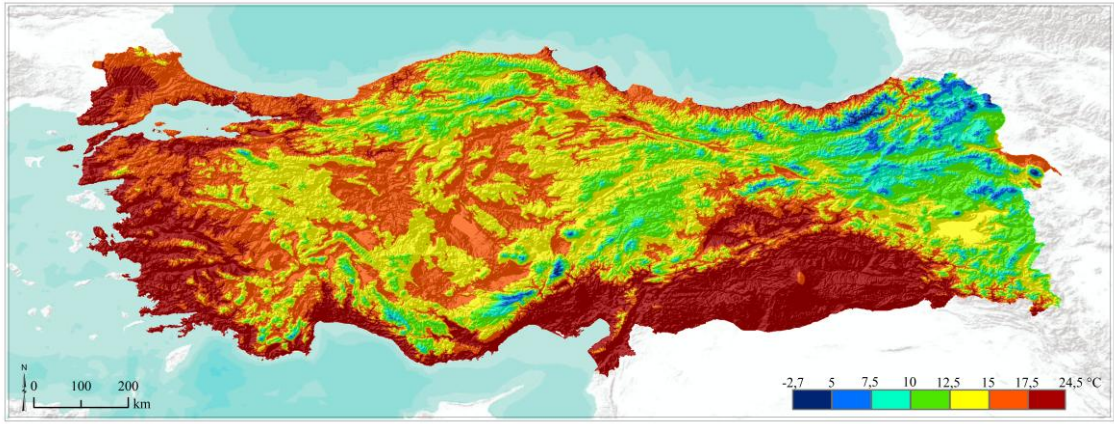
Türün orta zorlama senaryosu altında 2041-2060 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 640.110, uygun değil 86.613, az uygun 29.635, uygun 14.246, çok uygun 4.053 km² olarak hesaplanmıştır. 2061-2081 yılları arasında türe ait tahmini dağılım alanları hiç uygun değil 640.902, uygun değil 83.127, az uygun 30.881, uygun 15.297, çok uygun 3.845 km² olarak hesaplanmıştır. Orta zorlama senaryosu altında 2081-2100 yılları arasında türe ait tahmini dağılım alanları; hiç uygun değil 649.588, uygun değil 78.010, az uygun 28.373, uygun 15.370, çok uygun 3.333 km² olarak hesaplanmıştır. Alansal dağılımlar incelendiğinde ilgili yıllar arasında türe uygun alan sınıflarında değişim olduğu görülmektedir (Şekil 3.17).



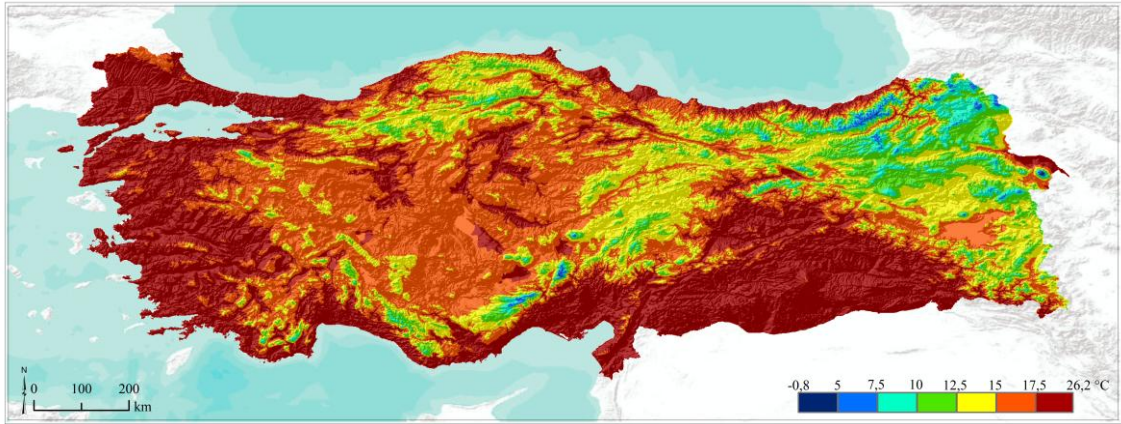
Şekil 3.17 : *Pinus brutia* Ten. Türünün HAD-GEM3-GC31LL İklim Modeli Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı

3.3.1.2. Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5)

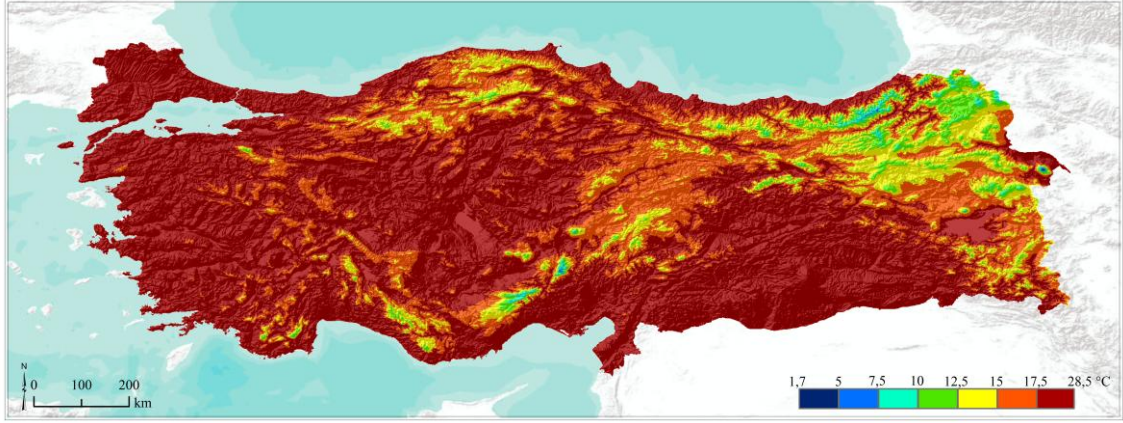
HadGEM3-GC31-LL iklim modeli kullanılarak SSP5-8.5 yüksek emisyon senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerine ait yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de sunulmuştur. Haritalarda gözlemlenen sıcaklık değerleri, günümüz yıllık ortalama sıcaklık değerleriyle karşılaştırıldığında (Şekil 2.3), belirgin bir artış eğilimi göstermektedir.



Şekil 3.18 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



Şekil 3.19 : 2061-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

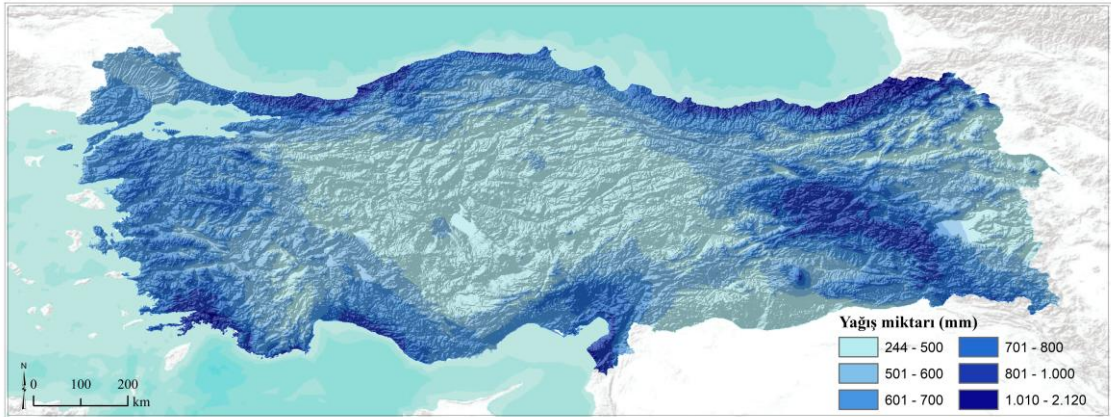


Şekil 3.20 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

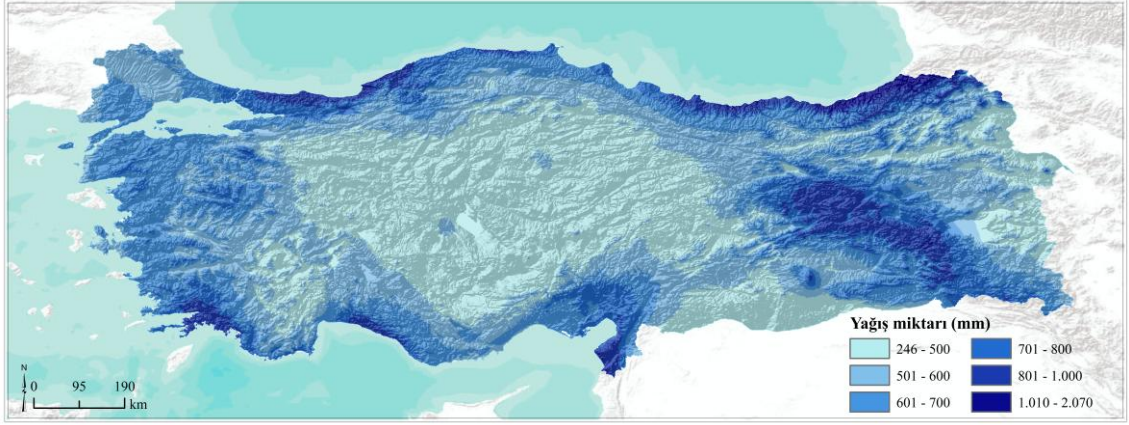
İlgili haritalar incelendiğinde 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-2,7^{\circ}\text{C}$ maksimum değeri $24,5^{\circ}\text{C}$ olarak öngörülmektedir. 2061-2080 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-0,8^{\circ}\text{C}$, maksimum değeri $26,2^{\circ}\text{C}$ ve 2081-2100 yılları arasındaki dönemde ise yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $1,7^{\circ}\text{C}$, maksimum değeri $28,5^{\circ}\text{C}$ olarak öngörülmektedir. 2041-2060 yılları arasındaki dönemde HadGEM3-GC31-LL iklim modeline göre SSP5-8.5 yüksek emisyon senaryosu altında elde edilen projeksiyonlara göre, yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde ülke genelinde belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Bu dönemde en yüksek sıcaklık değerleri, Güneydoğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere Ege ve Marmara bölgelerinin büyük bir kısmında, ayrıca Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar, denizel ve karasal etkileşimin yanı sıra düşük rakımlı topografik özellikleri nedeniyle sıcaklık artışına daha duyarlı bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, aynı dönemde en düşük yıllık ortalama sıcaklık değerleri, Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek rakımlı kesimlerinde gözlemlenmektedir. Bu bölgelerdeki dağlık arazi yapısı ve yüksek rakım, sıcaklık artış hızını sınırlamakta ve bölgenin diğer bölgelere kıyasla daha düşük ortalama sıcaklık değerlerine sahip olmasına neden olmaktadır. 2061-2080 yıllarını kapsayan bir sonraki 20 yıllık dönemde, benzer mekânsal dağılım eğilimleri devam etmektedir. En yüksek sıcaklıklar yine Güneydoğu Anadolu, Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinde gözlemlenmektedir. Bu dönemde sıcaklık değerlerinde daha da belirgin bir artış söz konusu olup, özellikle yaz aylarında ekstrem sıcaklık olaylarının daha sık yaşanabileceği

öngörülmektedir. Bu artış, kuraklık riskini ve tarımsal üretimde verim kayıplarını artırma potansiyeline sahiptir. 2081-2100 yıllarını kapsayan son projeksiyon döneminde ise, yıllık ortalama sıcaklık değerlerindeki artış tüm Türkiye geneline yayılmış durumdadır. Sıcaklık artışının sadece belirli bölgelerle sınırlı kalmayıp, ülkenin tamamında hissedilir düzeyde gerçekleştiği görülmektedir. Bu dönemde, geçmişe kıyasla daha yüksek yıllık ortalama sıcaklık değerleri Türkiye'nin kuzey, iç ve doğu kesimlerinde dahi belirgin hale gelmiştir. Bu durum, iklim değişikliğinin Türkiye genelinde yaygın ve derinlemesine etkiler doğurabileceğini göstermektedir.

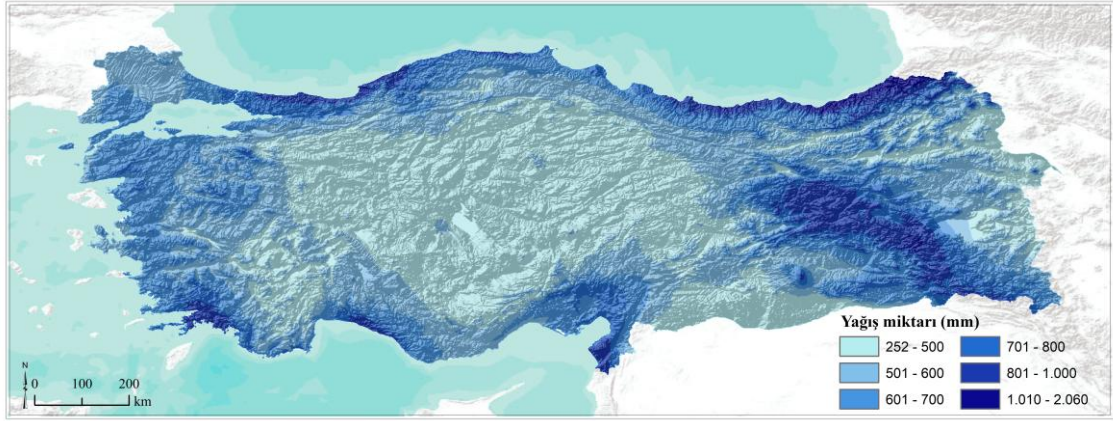
HadGEM3-GC31-LL iklim modeli SSP5-8.5 senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerine ait yıllık ortalama yağış miktarlarını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'de sunulmuştur. Haritalarda gözlemlenen yağış değerleri, günümüz yıllık ortalama yağış miktarlarıyla karşılaştırıldığında (Şekil 2.4), bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak değişim eğilimindedir.



Şekil 3.21 : 2041-2060 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası



Şekil 3.22 : 2061-2080 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Yağış Haritası

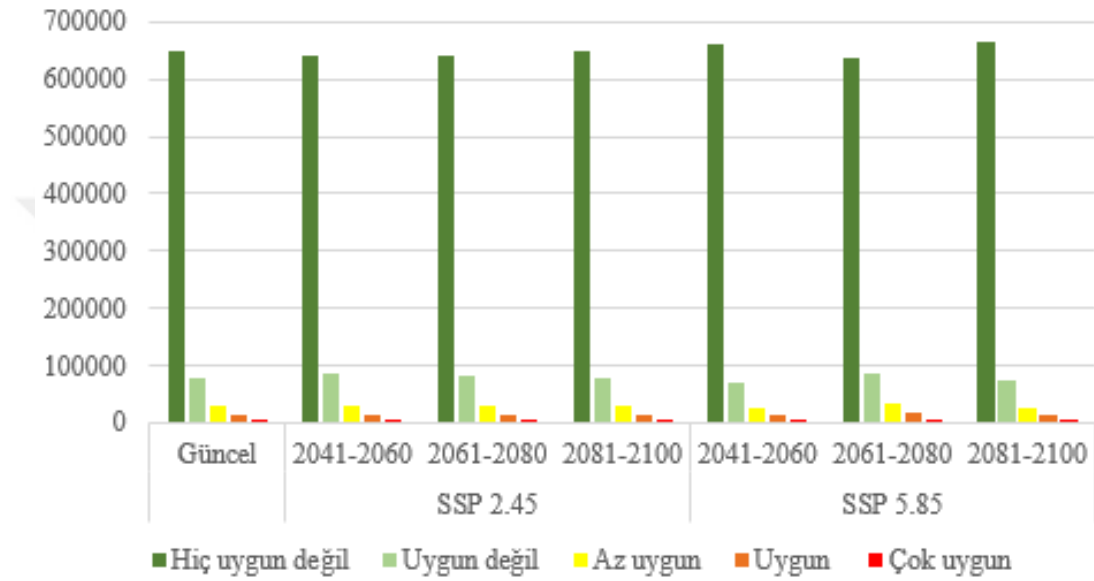


Şekil 3.23 : 2081-2100 Yılları HadGEM3-GC31-LL SSP 5-8,5 Senaryosu Altında
Yıllık Ortalama Yağış Haritası

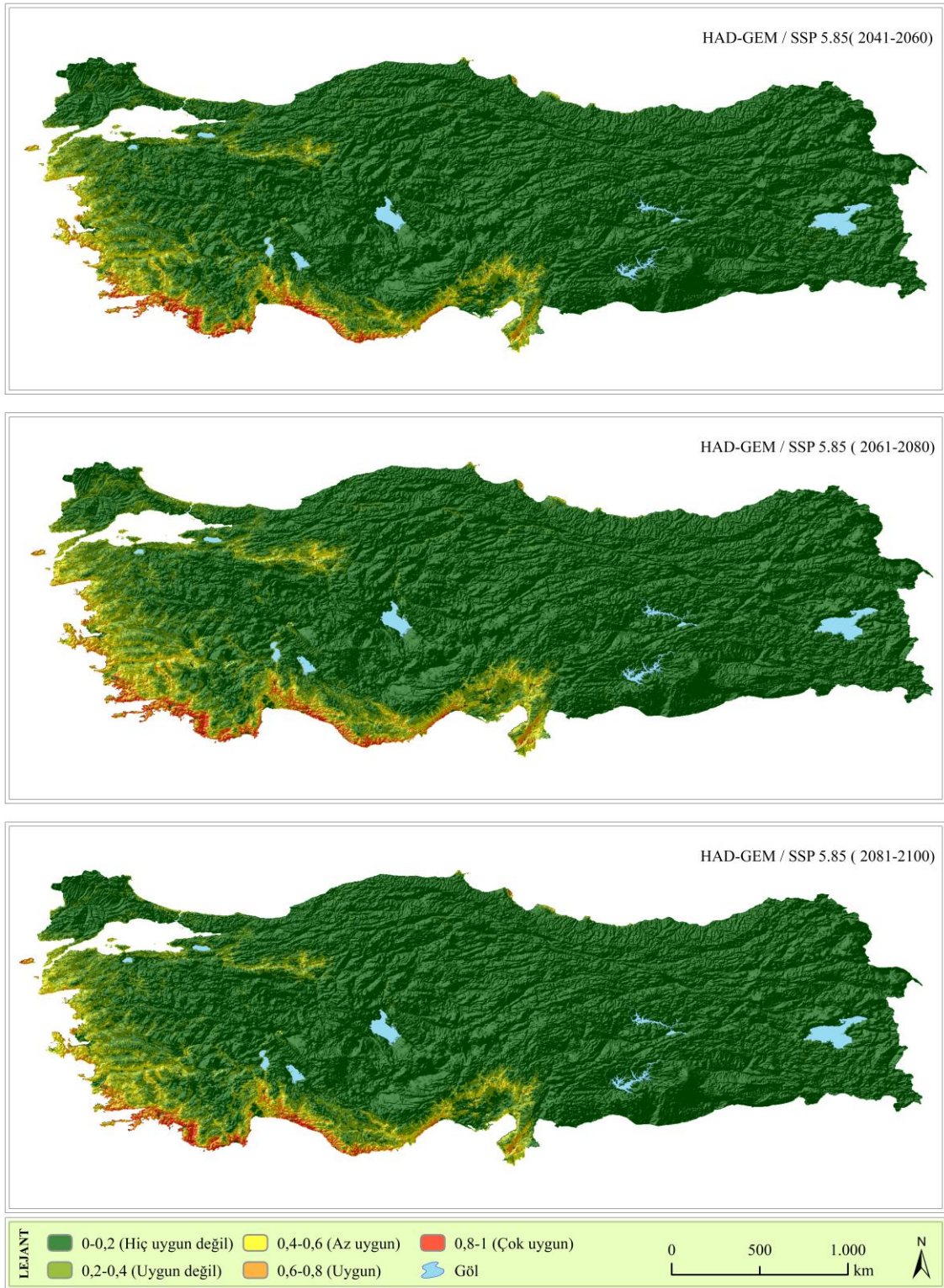
İlgili haritalar incelendiğinde, 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama yağış miktarının minimum değeri 246 mm, maksimum değeri ise 2.120 mm olarak öngörülmektedir. 2061-2080 dönemi için yıllık ortalama yağışın minimum değeri 246 mm, maksimum değeri 2.070 mm; 2081-2100 döneminde ise minimum yağış miktarı 252 mm, maksimum yağış miktarı 2.060 mm olarak tahmin edilmektedir.

Türün yüksek zorlama senaryosu altında 2041-2060 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 663.306, uygun değil 69.176, az uygun 24.858, uygun 12.731, çok uygun 4.657 km² olarak hesaplanmıştır. 2051-2080 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 635.373 uygun değil 84.211, az uygun 32.063, uygun 17.034, çok uygun 5.371 km² olarak hesaplanmıştır. Yüksek zorlama senaryosu

altında 2081-2100 yılları arasında türe ait tahmini dağılım alanları; hiç uygun değil 660.075, uygun değil 72.131, az uygun 25.628, uygun 12.665, çok uygun 4.171 km² olarak hesaplanmıştır. Alansal dağılımlar incelendiğinde ilgili yıllar arasında türe uygun alan sınıflarında değişim olduğu görülmektedir (Şekil 3.24). İlgili iklim modeli ve senaryosu için oluşturulan dağılım haritası Şekil 3.25’de verilmiştir.



Şekil 3.24 : HAD-GEM3-GC31-LL İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım Alanlarının Çizgi Grafik ile Gösterimi



Şekil 3.25 : *Pinus brutia* Ten. Türünün HAD-GEM3-GC31LL İklim Modeli Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı

HAD-GEM –GC3 –LL İklim Modeli ile yapılan modelleme sonuçlarında elde edilen rakamsal veriler Tablo 3.2’de verilmiştir. Tabloda türe ait dağılımın belirlenen beş sınıf içerisinde nasıl değişiklik gösterdiği izlenebilmektedir.

Tablo 3.2 : HAD-GEM –GC3 –LL İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım

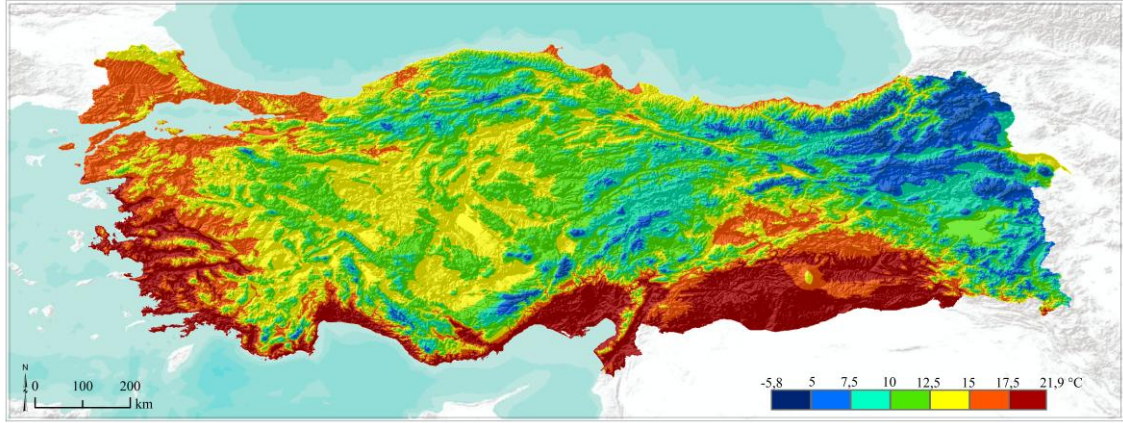
HAD-GEM –GC3 –LL			SSP. 2-4,5			SSP. 5-8,5		
Sınıf		Güncel	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Hiç uygun değil	Km ²	650.968	640.110	640.902	649.588	663.306	635..373	666.682
	%	83,07	81,69	81,79	82,90	84,65	81,08	84,24
Uygun değil	Km ²	77.633	86.613	83.127	78.010	69.176	84.211	73.721
	%	9,90	11,05	10,60	9,95	8,82	10,74	9,20
Az uygun	Km ²	28.950	29.635	30.881	28.373	24.858	32.063	26.185
	%	3,69	3,78	3,94	3,62	3,17	4,09	3,27
Uygun	Km ²	13.681	14.246	15.297	15.370	12.731	17.034	12.716
	%	1,74	1,81	1,95	1,96	1,62	2,17	1,61
Çok uygun	Km ²	3.449	4.053	3.845	3.333	4.657	5.371	4.256
	%	0,44	0,51	0,49	0,42	0,59	0,68	0,53
Toplam	Km ²	783.562	783.562	783.562	783.562	783.562	783.562	783.562
	%	100	100	100	100	100	100	100

3.3.2. MPI-ESM1-2-HR İklim Modeli

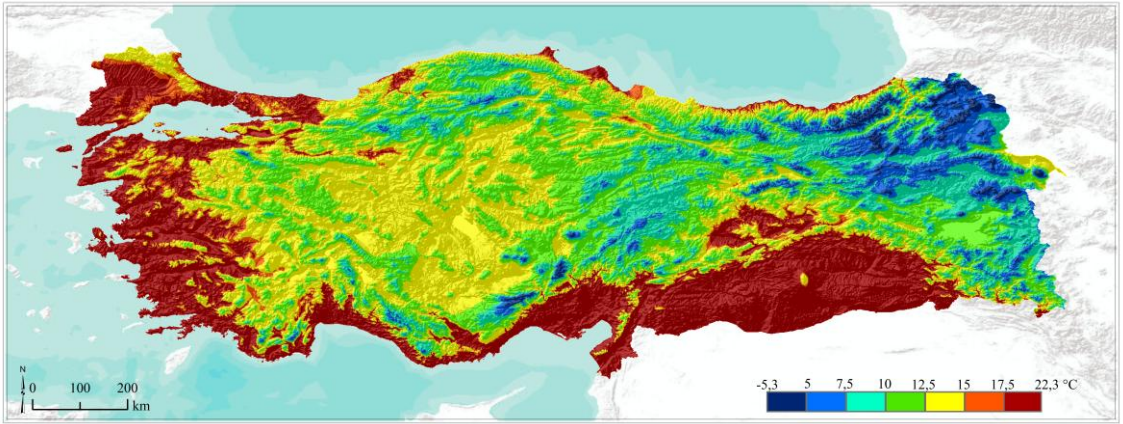
MPI-ESM1-2HR iklim modelinin orta zorlama (SSP 2-4,5) ve yüksek zorlama senaryosu (SSP 5-8,5) kullanılarak yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış haritaları 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 yılları için oluşturulmuştur. Hazırlanan sıcaklık haritaları için ilgili iklim modeline ait yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1) parametresi, yağış haritaları için ise ilgili iklim modeline ait yıllık ortalama yağış (BIO 12) parametresi kullanılmıştır. Maxent model çıktılarından elde edilen veriler ile türe ait gelecek yıllar tahmini dağılım alanlarının haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen haritalarda (Şekil 3.32 ve Şekil 3.40) *Pinus brutia* Ten.’nın gelecek mekânsal dağılımı görülmektedir.

3.3.2.1. Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5)

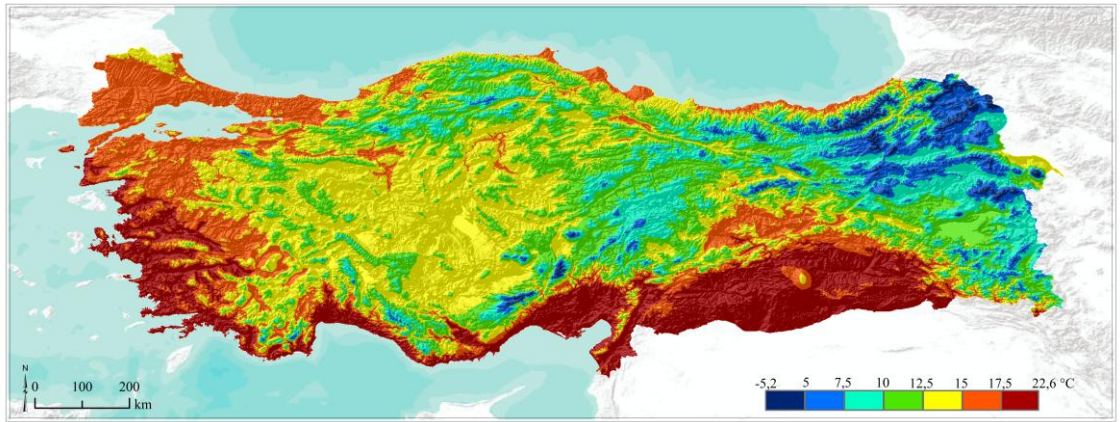
MPI-ESM1-2-HR iklim modeli SSP 2-4,5 senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerine ait yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de sunulmuştur. Haritalarda gözlemlenen sıcaklık değerleri, günümüz yıllık ortalama sıcaklık değerleriyle karşılaştırıldığında (Şekil 2.3), belirgin bir artış eğilimi göstermektedir.



Şekil 3.26 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



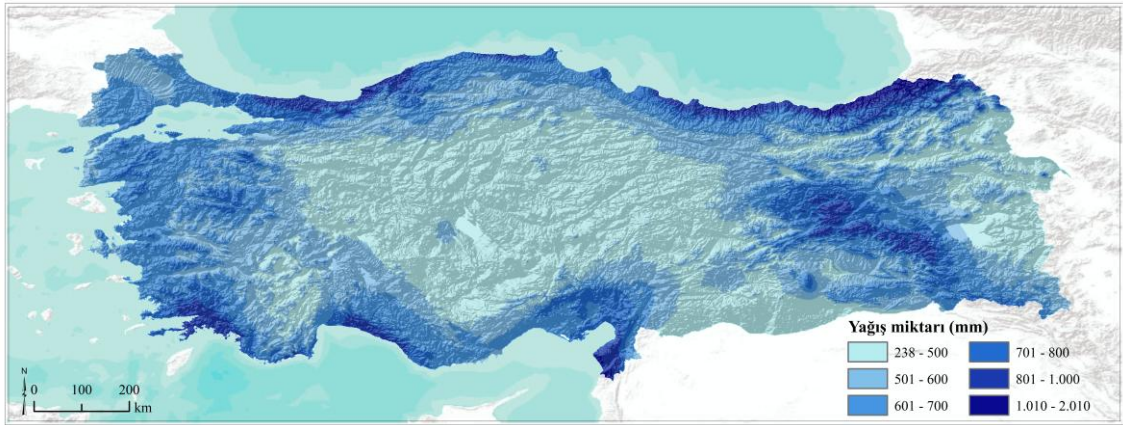
Şekil 3.27 : 2061-2080 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



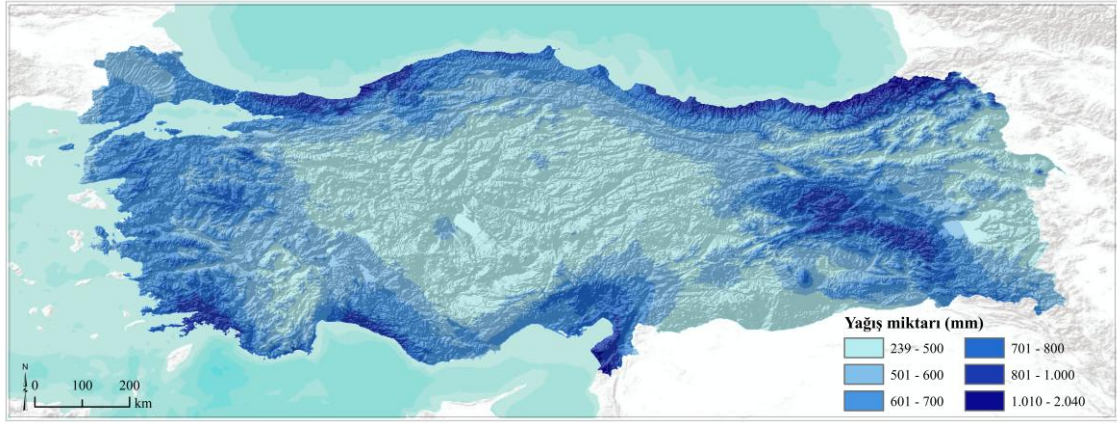
Şekil 3.28 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

İlgili haritalar incelendiğinde 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-5,8^{\circ}\text{C}$ maksimum değeri $21,9^{\circ}\text{C}$ olarak öngörülmektedir. 2061-2080 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-5,3^{\circ}\text{C}$, maksimum değeri $22,36^{\circ}\text{C}$ ve 2081-2100 yılları arasındaki dönemde ise yıllık ortalama sıcaklığın minimum değeri $-5,2^{\circ}\text{C}$, maksimum değeri $22,6^{\circ}\text{C}$ olarak öngörülmektedir. En yüksek sıcaklık değerleri Güneydoğu Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinin genelinde; Akdeniz bölgesinin kıyı kesimlerinde görülmektedir. En düşük sıcaklık değerleri ise Doğu Anadolu bölgesinin en yüksek rakımlı bölgelerinde görülmektedir.

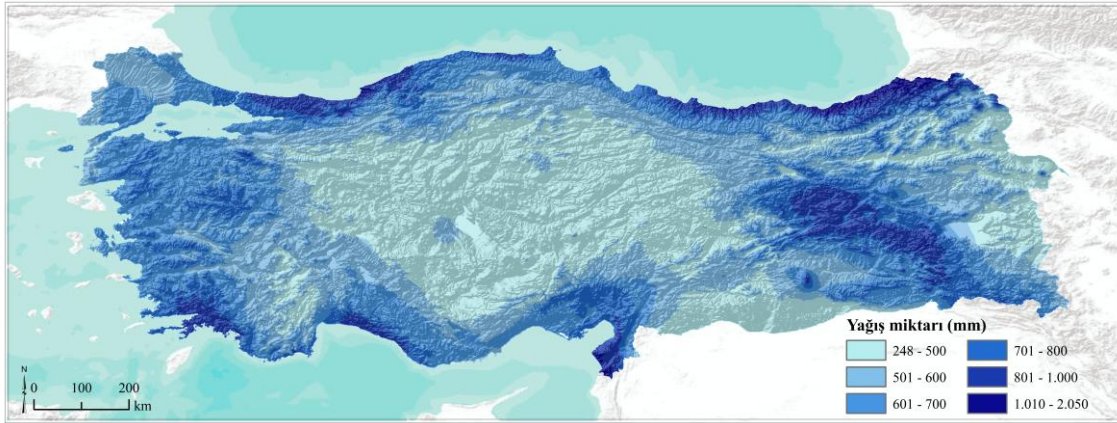
MPI-ESM1-2-HR iklim modeli SSP2-4,5 senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerine ait yıllık ortalama yağış miktarlarını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de sunulmuştur. Haritalarda gözlemlenen yağış değerleri, günümüz yıllık ortalama yağış miktarlarıyla karşılaştırıldığında (Şekil 2.4), bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak değişim eğilimindedir.



Şekil 3.29 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası



Şekil 3.30 : 2061-2081 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası



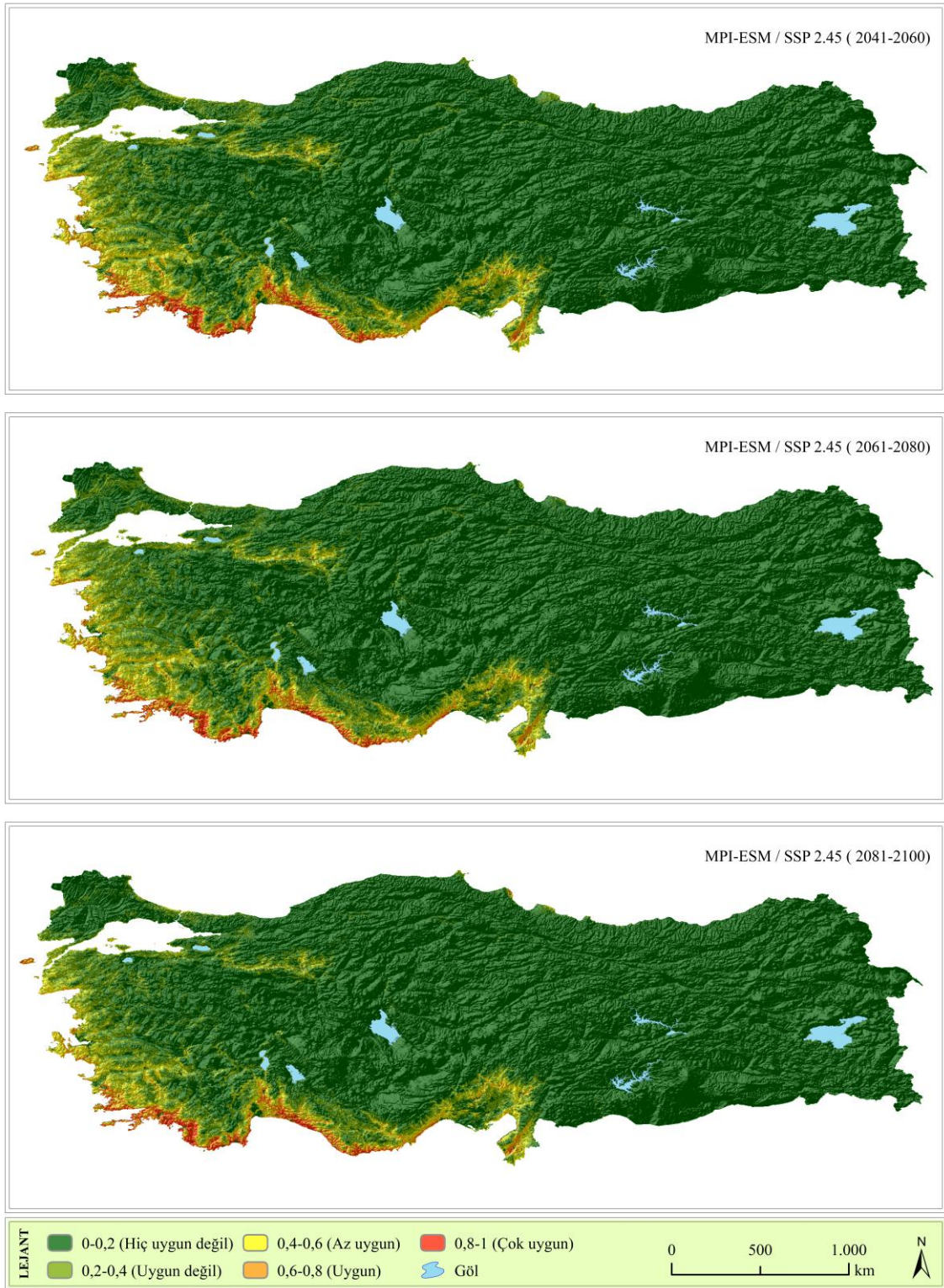
Şekil 3.31 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 2-4,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası

İlgili haritalar incelendiğinde, 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama yağış miktarının minimum değeri 248 mm, maksimum değeri ise 2.010 mm olarak öngörülmektedir. 2061-2080 dönemi için yıllık ortalama yağışın minimum değeri 239 mm, maksimum değeri 2.040 mm; 2081-2100 döneminde ise minimum yağış miktarı 248 mm, maksimum yağış miktarı 2.050 mm olarak tahmin edilmektedir.

Türün orta zorlama senaryosu altında 2041-2060 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 631.044, uygun değil 89.197, az uygun 31.934, uygun 16.321, çok uygun 5.556 km² olarak hesaplanmıştır. 2061-2080 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 633.770 uygun değil 86.571, az uygun 33.036, uygun 15.958, çok uygun 4.717 km² olarak hesaplanmıştır. Orta zorlama senaryosu

altında 2081-2100 yılları arasında türe ait tahmini dağılım alanları; hiç uygun değil 654.440, uygun değil 74.461, az uygun 26.440, uygun 13.474, çok uygun 5.236 km² olarak hesaplanmıştır. Alansal dağılımlar incelendiğinde ilgili yıllar arasında türe uygun alan sınıflarında değişim olduğu görülmektedir.

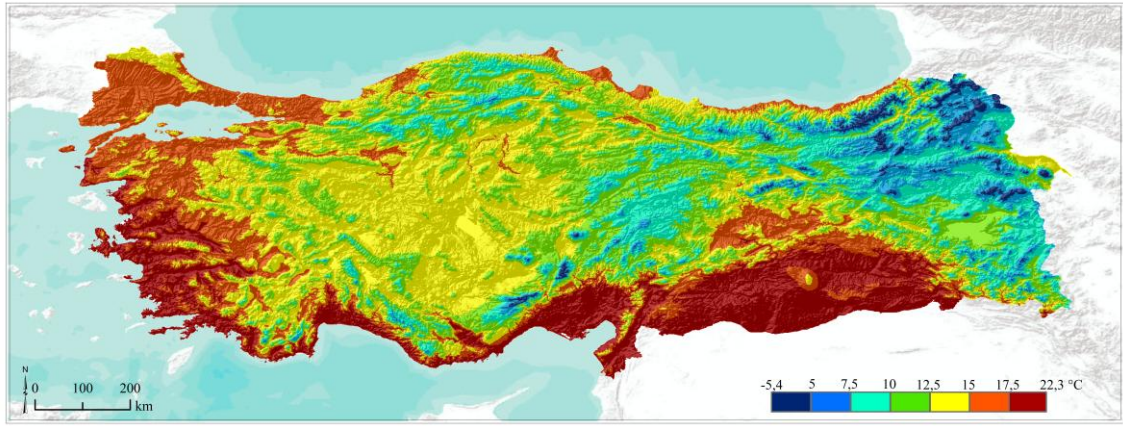




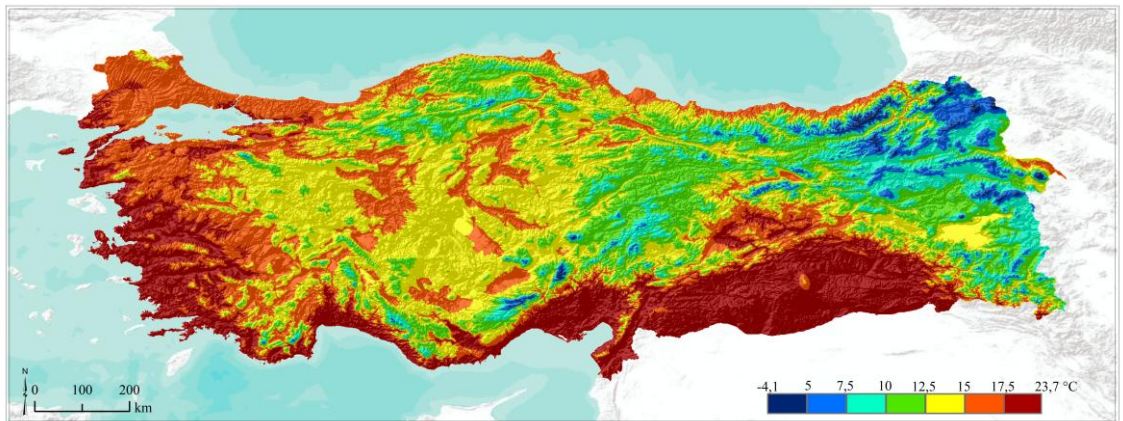
Şekil 3.32 : *Pinus brutia* Ten. Türünün MPI-ESM1-2-HR İklim Modeli Orta Zorlama Senaryosu (SSP 2-4,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı

3.2.2.2. Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5)

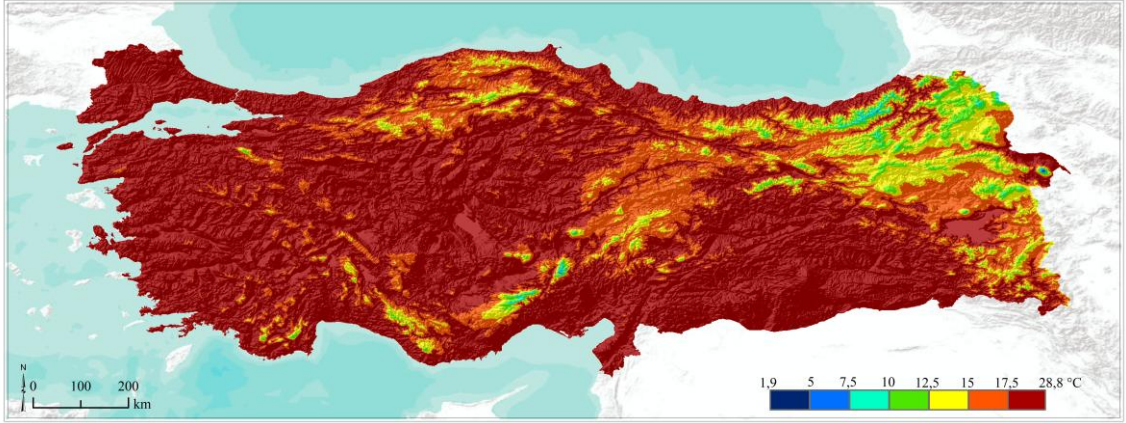
MPI-ESM1-2-HR iklim modeli kullanılarak yüksek emisyon senaryosu olan SSP5-8.5 kapsamında elde edilen projeksiyonlar doğrultusunda, Türkiye'nin yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarında gelecek yüzyıl içerisinde belirgin bir artış öngörülmektedir. Bu kapsamda, 2041–2060, 2061–2080 ve 2081–2100 yıllarını kapsayan üç farklı döneme ait yıllık ortalama sıcaklık dağılımları, sırasıyla Şekil 3.33, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'de sunulmuştur. Haritalarda yer alan veriler, günümüz iklim koşullarını temsil eden yıllık ortalama sıcaklıklarla (Şekil 2.3) karşılaştırıldığında, zamanla artan bir ısınma eğilimi sergilemektedir.



Şekil 3.33 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



Şekil 3.34 : 2061-2081 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

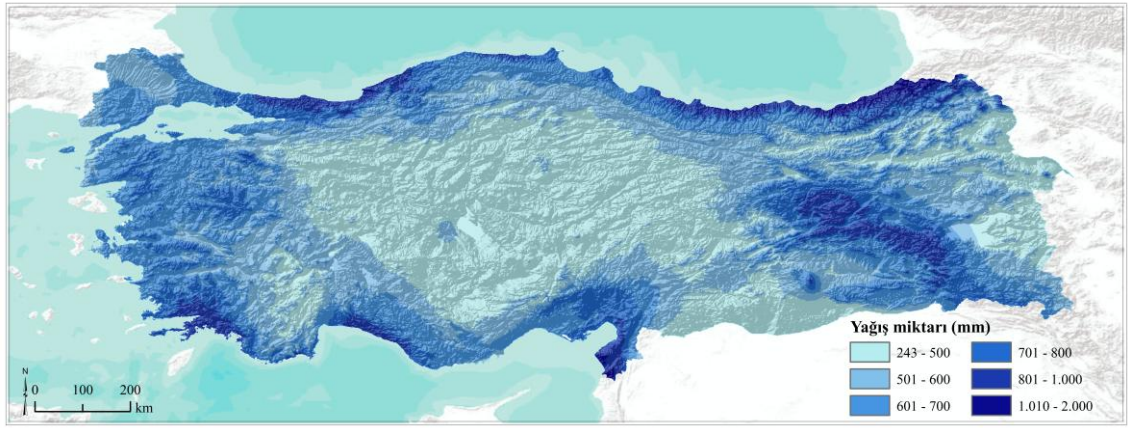


Şekil 3.35 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası

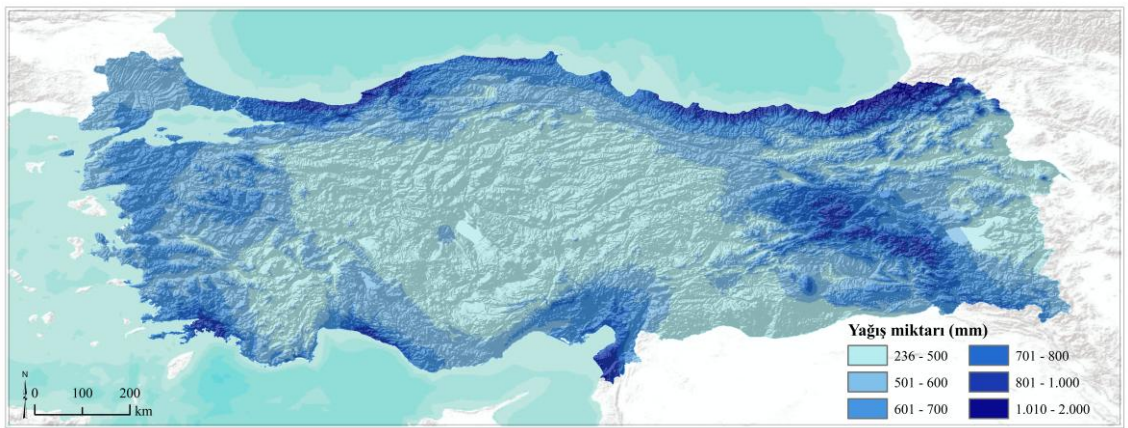
2041–2060 döneminde Türkiye genelinde yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde gözle görülür bir artış yaşanmaktadır. Model projeksiyonlarına göre, yıllık ortalama sıcaklık minimum $-5,4^{\circ}\text{C}$, maksimum $22,3^{\circ}\text{C}$ olarak tahmin edilmektedir. En düşük sıcaklık değerleri, Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek rakımlı dağlık alanlarında yoğunlaşmakta olup, bu durum bölgenin karasal iklimi ve topografik özellikleri ile ilişkilendirilmektedir. Buna karşın, en yüksek sıcaklık değerleri Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin alçak düzlükleri, Ege ve Marmara bölgelerinin iç kesimleri ile Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kuşağında tespit edilmektedir. 2061–2080 döneminde sıcaklık değerlerinde daha belirgin bir yükselme gözlenmektedir. Bu döneme ait model öngörülerine göre, yıllık ortalama sıcaklık minimum $-4,1^{\circ}\text{C}$, maksimum $23,7^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Sıcaklık artışı coğrafi olarak benzer bir dağılım sergilemekle birlikte, en yüksek sıcaklık değerlerinin etkili olduğu alanların genişlediği dikkat çekmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Batı Ege, Güney Marmara ve Akdeniz'in batı ve orta kıyı kesimlerinde sıcaklık değerleri önemli ölçüde artmıştır. 2081–2100 döneminde sıcaklık artışının ülke genelinde yaygınlaştığı ve yoğunlaştığı görülmektedir. Bu dönemde model sonuçlarına göre yıllık ortalama sıcaklık minimum $1,9^{\circ}\text{C}$, maksimum $28,8^{\circ}\text{C}$ seviyelerine ulaşmaktadır. Bu veriler, geçmiş dönemlerle karşılaştırıldığında dramatik bir ısınma eğilimine işaret etmektedir. Artık Doğu Anadolu'nun en yüksek rakımlı kesimlerinde dahi yıllık ortalama sıcaklıkların pozitif değerlere ulaştığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ise sıcaklık artışının en belirgin yaşandığı bölge olarak öne çıkmaktadır. Ege, Marmara ve Akdeniz kıyılarında da yıllık ortalamaların ciddi şekilde yükseldiği ve

tropik iklim koşullarına yaklaşan bir sıcaklık profili olduğu dikkat çekmektedir. MPI-ESM1-2-HR modelinin SSP5-8.5 senaryosu altında sunduğu projeksiyonlar, Türkiye'nin tüm bölgelerinde artan bir ısınma eğilimini açıkça ortaya koymaktadır.

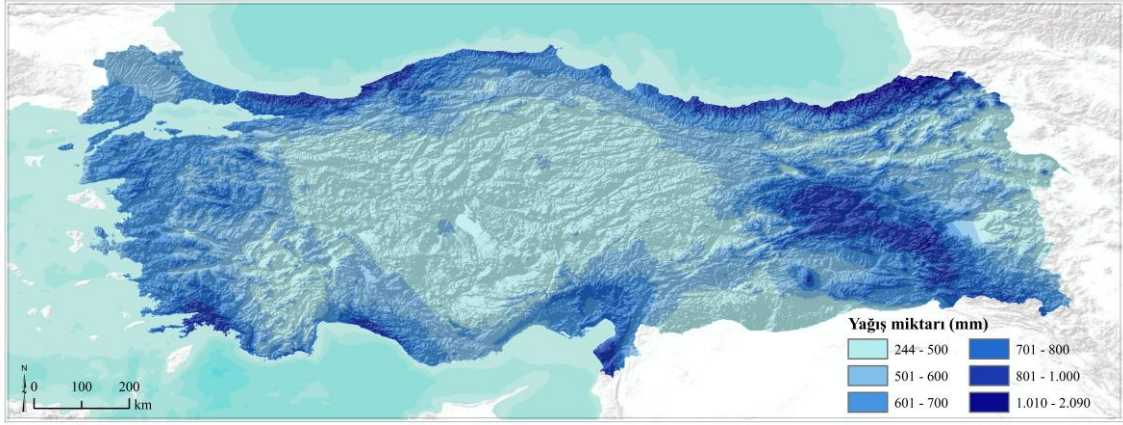
MPI-ESM1-2-HR iklim modeli SSP5-8,5 senaryosu altında 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerine ait yıllık ortalama yağış miktarlarını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.36, Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'de sunulmuştur. Haritalarda gözlemlenen yağış değerleri, günümüz yıllık ortalama yağış miktarlarıyla karşılaştırıldığında (Şekil 2.4), bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak değişim eğilimindedir.



Şekil 3.36 : 2041-2060 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası



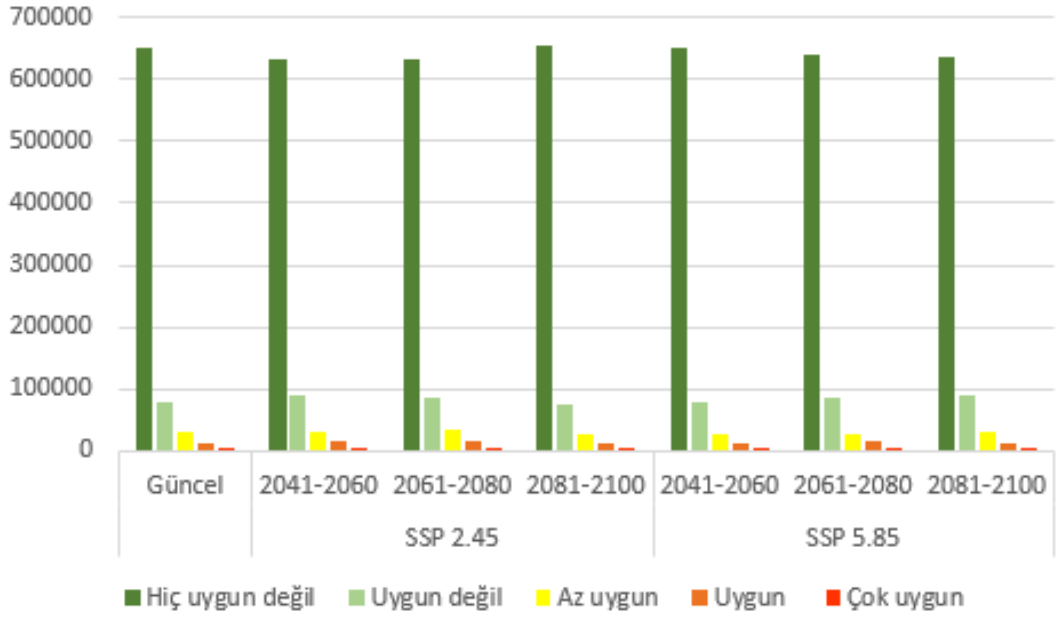
Şekil 3.37 : 2061-2080 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası



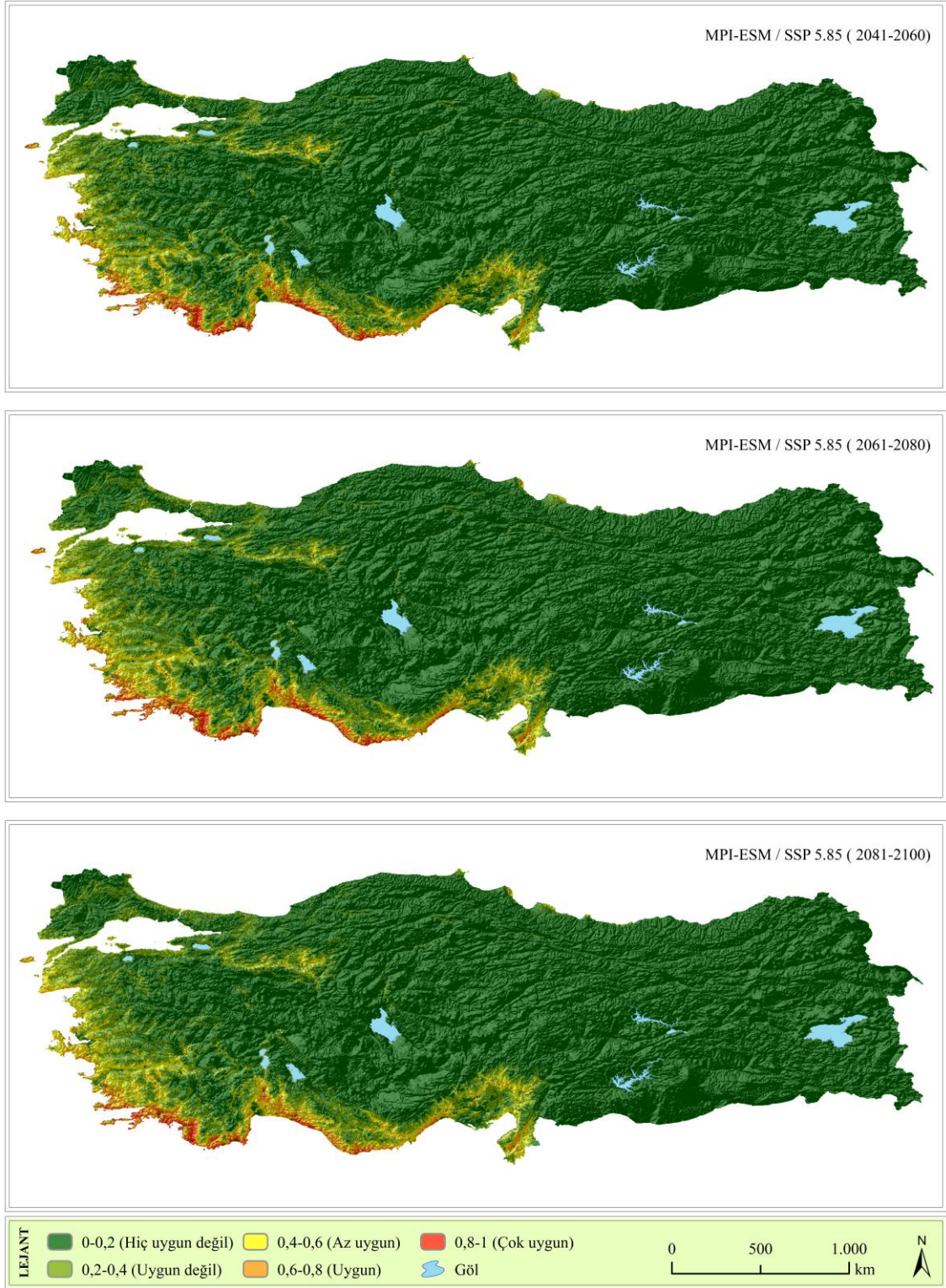
Şekil 3.38 : 2081-2100 Yılları MPI-ESM1-2HR SSP 5-8,5 Senaryosu Altında Yıllık Ortalama Yağış Haritası

İlgili haritalar incelendiğinde, 2041-2060 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama yağış miktarının minimum değeri 243 mm, maksimum değeri ise 2.000 mm olarak öngörülmektedir. 2061-2080 dönemi için yıllık ortalama yağışın minimum değeri 236 mm, maksimum değeri 2.000 mm; 2081-2100 döneminde ise minimum yağış miktarı 244 mm, maksimum yağış miktarı 2.090 mm olarak tahmin edilmektedir.

Türün yüksek zorlama senaryosu altında 2041-2060 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 650.689, uygun değil 79.012, az uygun 26.802, uygun 12.812, çok uygun 4.727 km² olarak hesaplanmıştır. 2061-2080 yılları arasında tahmin edilen dağılım alanları; hiç uygun değil 638.880 uygun değil 87.441, az uygun 27.897, uygun 14.764, çok uygun 5.069 km² olarak hesaplanmıştır. Yüksek zorlama senaryosu altında 2081-2100 yılları arasında türe ait tahmini dağılım alanları; hiç uygun değil 636.903, uygun değil 88.376, az uygun 31.161, uygun 13.998, çok uygun 3.614 km² olarak hesaplanmıştır. Alansal dağılımlar incelendiğinde ilgili yıllar arasında türe uygun alan sınıflarında değişim olduğu görülmektedir. Sınıflar arasındaki değişim Şekil 3.39’de verilen çizgi grafiğinde belirtilmiştir.



Şekil 3.39 : MPI-ESM1-2HR İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım Alanlarının Çizgi
Grafik ile Gösterimi



Şekil 3.40 : *Pinus brutia* Ten. Türünün MPI-ESM1-2-HR İklim Modeli Yüksek Zorlama Senaryosu (SSP 5-8,5) Altında Potansiyel Mekânsal Dağılımı

MPS-ESM1-2-HR İklim Modeli ile yapılan modelleme sonuçlarında elde edilen rakamsal veriler Tablo 3.3’de verilmiştir. Tabloda türe ait dağılımın belirlenen beş sınıf içerisinde nasıl değişiklik gösterdiği izlenebilmektedir.

Tablo 3.3 : Tablo 7: MPS-ESM1-2-HR İklim Modeline Ait Tahmini Dağılım

MPS-ESM1-2-HR			SSP. 2-4,5			SSP. 5-8,5		
Sınıf		Güncel	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Hiç uygun değil	Km ²	650.968	631.044	633.770	654.440	650.698	638.880	636.903
	%	83,07	80,53	80,88	83,52	83,04	81,53	81,28
Uygun değil	Km ²	77.633	89.197	86.571	74.461	79.012	87.441	88.376
	%	9,90	11,38	11,04	9,50	10,08	11,15	11,27
Az uygun	Km ²	28.950	31.934	33.036	26.440	26.802	27.897	31.161
	%	3,69	4,07	4,21	3,37	3,42	3,56	3,97
Uygun	Km ²	13.681	16.321	15.958	13.474	12.812	14.764	13.998
	%	1,74	2,08	2,03	1,71	1,63	1,88	1,78
Çok uygun	Km ²	3.449	5.556	4.717	5.236	4.727	5.069	3.614
	%	0,44	0,70	0,60	0,66	0,60	0,64	0,46
Toplam	Km ²	783.562	783.562	783.562	783.562	783.562	783.562	783.562
	%	100	100	100	100	100	100	100

4. BÖLÜM: TARTIŞMA

Pinus brutia Ten., Türkiye başta olmak üzere Akdeniz ve Karadeniz havzalarında yaygın olarak bulunan, ekolojik ve ekonomik açıdan son derece önemli bir ağaç türüdür. Geniş adaptasyon kabiliyeti sayesinde farklı toprak tiplerinde yetişebilmekte, kuraklık ve yangın gibi çevresel streslere karşı dayanıklılık gösterebilmektedir. Türkiye ormanlarının yaklaşık %23'ünü oluşturan *Pinus brutia* Ten., karbon yutağı olarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol üstlenmektedir. Aynı zamanda biyolojik çeşitliliği destekleyen ve bozulmuş ekosistemlerin restorasyonuna katkı sağlayan bu tür, hızlı büyüme potansiyeli ve yüksek genetik çeşitliliği ile sürdürülebilir ormancılık açısından da büyük değer taşımaktadır.

Çalışmada, Türkiye 'nin farklı bölgelerinde, özellikle Akdeniz İklimi 'nin hâkim olduğu alanlarda yaygın olan *Pinus brutia* Ten.'nin mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği senaryoları altında dağılımı tahmin edilmiştir. Çalışmanın temelinde kullanılan maksimum benzerlik algoritması, türe ait dağılım modelini doğru bir şekilde oluşturmayı hedeflemiştir. Modelleme işlemi, MaxEnt programı ve ArcGIS yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu sayede türe uygun alanlar haritalanmış ve mekânsal dağılımlarına dair veriler elde edilmiştir.

Araştırmada HAD-GEM3-GC31-LL ve MPI-ESM1-2-HR iklim modellerinin SSP2-4,5 ve SSP5-8,5 senaryoları kullanılmıştır. Modele yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1), günlük en yüksek ve en düşük sıcaklıkların ortalaması (BIO 2), izotermalite (eş ısı) (BIO3), mevsimsel sıcaklık (BIO4), en nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 8), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 9), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 10), yıllık yağış miktarı (BIO 12), en kurak ayın yağış miktarı (BIO 14), mevsimsel yağış miktarı (BIO 15) olmak üzere toplam 10 biyoklimatik değişken dahil edilmiştir. Biyoklimatik değişkenlere ek olarak bakı, pH, kil, silt, organik karbon ve katyon değişim kapasitesi olmak üzere toplam altı çevresel değişken modele dahil edilmiştir. Model çıktıları yorumlamak için güvenilirlik testleri uygulanmıştır. Jackknife test sonuçlarına göre modellemede en etkili değişkenler mevsimsel yağış miktarı (BIO 15), en kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 9), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 10) ve yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1) parametreleri olarak belirlenmiştir.

Pinus brutia Ten., Akdeniz ikliminin belirgin özelliklerinden biri olan yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı koşullara sahip bölgelerde yayılım göstermektedir. Doğal yayılış alanlarında, *Pinus brutia* Ten. bulunduğu ortamlarda yıllık ortalama sıcaklık 10-25 °C arasında değişirken, yıllık ortalama yağış miktarı 400 mm ile 2000 mm arasında farklılık göstermektedir (Karatepe vd., 2014). Buna karşın gelecek iklim değişikliği senaryolarının *Pinus brutia* Ten.'nın dağılım gösterdiği alanların sıcaklık ve yağış koşullarını da etkileyeceği tahmin edilmektedir.

Bağçacı ve diğerleri (2021) tarafından Türkiye genelinde yapılan bir iklim projeksiyon çalışmasında, CMIP5 ve CMIP6 modelleri kullanılarak 21. yüzyılın sonlarına doğru Türkiye'nin güneybatı ve güney bölgelerinde kuraklığın %25'e kadar artabileceği öngörülmüştür. Çalışmada belirtilen bu güney ve güneybatı bölgeleri, *Pinus brutia* Ten.'nın yaygın olarak bulunduğu alanlardır. Yeniden analiz edilen verilerle elde edilen sıcaklık değişimlerine göre, SSP2-4.5 senaryosunda sıcaklık artışının +2,5 °C olacağı, SSP5-8.5 senaryosu altında ise bu artışın +4,5 °C'ye kadar çıkacağı tahmin edilmiştir (Bağçacı vd., 2021). Bu sıcaklık artışlarının, *Pinus brutia* Ten.'nın yayılış alanlarını etkileyebileceği öngörülmektedir.

Şeker, (2024), Akdeniz bölgesinde yakın gelecek (2021-2060) ve uzak gelecek (2061-2100) için iki farklı senaryo olan SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 çıktıları kullanarak gelecek yıllarda sıcaklık ve yağış değişimini incelemiştir. Çalışma sonucunda yağışlarda azalma ve sıcaklıklarda artış öngörülmüştür. Bölgedeki yıllık ortalama toplam yağış miktarındaki azalma, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre sırasıyla yaklaşık %15 ve %20 olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık artışı ise SSP2-4.5 senaryosunda +1,0 ile +2,0 °C arasında, SSP5-8.5 senaryosunda ise +1,8 ile +3,1 °C arasında değişim göstermektedir (Şeker, 2024). Bu çalışmalar *Pinus brutia* Ten.'nın gelecek yıllarda dağılımının yorumlanması ve türün artış-azalış dinamiklerinin nedenini anlamak için önem arz etmektedir.

Karatepe vd., (2014) yaptıkları çalışma sonucunda; *Pinus brutia* Ten.'nın yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı bir tür olduğunu ve adaptasyon yeteneklerinin güçlü olduğunu teyit etmişlerdir. Bu çalışmada da türün adaptasyon yeteneklerinin arttığı ve yeni iklim koşullarına uygun alanlarda daha fazla yayılım gösterdiği düşünülmektedir. Karatepe vd., (2014) yaptıkları bu çalışma, araştırma bulgularında elde edilen SSP 2.45 senaryosunda,

2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 yılları arasındaki dönemde *Pinus brutia* Ten. için öngörülen artışa bir temel oluşturmaktadır. Ancak bu artışın sınırlı bir süre için geçerli olduğu ve uzun vadede iklim değişikliğinin daha karmaşık etkileri olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu duruma örnek bir çalışma olarak, Ertürk ve Arıçak (2024), MaxEnt model kullanarak *Pinus brutia* Ten.'nın Kastamonu'da iklim değişikliğinden nasıl etkileneceğini tahmin etmeye çalışmışlardır. Gelecek iklim modellemesinde SSP senaryolarından SSP1-2,6 SSP 3-7,0 ve SSP 5-8,5 senaryolarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda türün 2100 yılına kadar mevcut habitatından %15'den fazla alan kaybedeceğini hesaplamışlardır (Ertürk & Arıçak, 2024).

MPI-ESM1-2-HR ve HadGEM3-GC31-LL iklim modellerine dayalı olarak SSP2-4.5 senaryosu çerçevesinde yapılan projeksiyonlar, *Pinus brutia* Ten.'in gelecekteki mekânsal yayılışında genel bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Orta düzeyde emisyon artışını öngören bu senaryo, iklim koşullarındaki değişimin daha ılımlı seyredeceği bir gelecek senaryosunu temsil etmektedir. MPI-ESM1-2-HR modeline göre, 2041–2060 yılları arasında uygun habitatlarda 2.640 km² ve çok uygun habitatlarda 2.107 km²'lik bir artış öngörülmektedir. 2061–2080 döneminde de bu artış eğilimi sürmekte, ancak artış miktarı azalmakta olup sırasıyla 2.277 km² ve 1.268 km² olarak belirlenmiştir. 2081–2100 döneminde ise uygun alanlarda 207 km²'lik sınırlı bir azalma gözlenmesine rağmen, çok uygun habitatlarda 1.787 km²'lik kayda değer bir artış devam etmektedir. Bu bulgular, türün belirli dönemlerde habitat uygunluğu açısından daha yüksek kalitede alanlara yöneldiğini ve zamanla habitat kalitesinde iyileşme olabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, HadGEM3-GC31-LL modelinin SSP2-4.5 senaryosuna göre de yayılış alanlarında istikrarlı bir artış eğilimi söz konusudur. İlk iki dönemde (2041–2060 ve 2061–2080), uygun ve çok uygun alanlarda toplamda 2.181 km²'lik bir artış meydana gelmiş, bu eğilim 2081–2100 döneminde de sürmüş ve özellikle uygun alanlarda 1.689 km²'lik bir genişleme yaşanmıştır. Ancak bu son dönemde çok uygun alanlarda 116 km²'lik bir azalma dikkat çekmektedir. Bu durum, ilerleyen yıllarda bazı bölgelerde optimum habitat koşullarının aşılabileceği veya rekabet, toprak özellikleri gibi diğer çevresel faktörlerin etkili olabileceğini düşündürmektedir. Genel olarak, her iki iklim modelinin öngörülleri doğrultusunda SSP2-4.5 senaryosu altında *Pinus brutia* Ten.'nın yayılışında artış gözlemlenmiş olup, bu durum türün ılımlı sıcaklık artışlarına karşı olumlu adaptasyon kabiliyeti geliştirebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle

sıcaklık artışlarının türün ekolojik tolerans aralığında kalması durumunda, *Pinus brutia* Ten. 'ın yeni habitatlara yayılma ve mevcut alanlarda daha yoğun bir dağılım gösterme potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliği, *Pinus brutia* Ten. açısından bir tehditten ziyade, belirli sınırlar dâhilinde yayılış fırsatları sunabilir niteliktedir.

Yayılıştaki artış görülen Kuzey Ege, Küçük Menderes, Batı Akdeniz, Antalya, Doğu Akdeniz, Seyhan, Ceyhan ve Asi havzaları, iklimsel olarak sıcak ve kurak yazlar ile ılıman kışların görüldüğü tipik Akdeniz iklimi etkisindedir. Bu bölgelerde alçak rakımlı alanların yaygın olması, kireçtaşı türevli geçirgen toprak yapıları ve yüksek güneşlenme süreleri, *Pinus brutia* açısından habitat uygunluğunu artırmaktadır. Ayrıca bu bölgelerde yangın ekolojisine uyumlu adaptasyon mekanizmaları gelişmiş olan tür, yangın sonrası kendini hızla yenileyebilme kapasitesi ile avantaj sağlamaktadır. Özellikle Akdeniz kuşağındaki topoğrafik çeşitlilik sayesinde oluşan mikroklimatik bölgeler, türün ekolojik olarak sığınabileceği refüj alanlar meydana getirmekte ve yayılış potansiyelini desteklemektedir (Atalay, 1994). Buna karşılık Batı Karadeniz ve Sakarya havzalarında projeksiyonlara göre yayılıştaki azalma eğilimi gözlemlenmektedir. Bu bölgelerde Karadeniz iklimi hâkim olup, yıl boyunca süregelen nemli ve serin koşullar, *Pinus brutia*'nın kurak yaz koşullarına duyduğu gereksinimi karşılayamamakta ve türün yayılışını sınırlandırmaktadır (Çerçioğlu & Çetinkaya, 2021). Ayrıca bu bölgelerde doğal olarak yayılış gösteren nemci türlerin (örneğin *Fagus orientalis*, *Abies nordmanniana*) oluşturduğu yoğun rekabet baskısı, kızılçamın yayılmasını engelleyen diğer önemli bir faktördür. Yine kuzeye bakan yamaçların daha az güneş alması ve yüksek nem oranı, türün fizyolojik toleranslarını zorlayarak yayılıştaki gerilemelere neden olabilmektedir. Son dönem projeksiyonlarında (2081–2100), bazı bölgelerde habitat uygunluğunun doygunluğa ulaşması, sıcaklık artışının türün optimum tolerans sınırlarını aşması ya da toprak özelliklerindeki olumsuz değişimler nedeniyle kısmi yayılış kayıpları yaşanabileceği değerlendirilmektedir. Örneğin Küçük Menderes ve Sakarya havzalarında bu tür sınırlı azalmalar dikkat çekmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde rekabet baskısı, erozyon, toprak geçirgenliğinin azalması veya antropojenik baskılar (kentleşme, arazi kullanımı değişimleri vb.) türün potansiyel yayılımını engelleyen faktörler arasında sayılabilir (Keten & Gülsoy, 2020).

Araştırma bulgularına göre, MPI-ESM1-2-HR iklim modelinin SSP 5-8,5 senaryosunda 2041-2060 yılları arasındaki dönemde türe uygun alanlarda 869 km²'lik bir azalma, çok uygun alanlarda ise 1.278 km²'lik bir artış öngörülmüştür. 2061-2081 yılları arasındaki dönemde türe uygun alanlarda 1.083 km², çok uygun alanlarda 1.620 km², 2081-2100 yılları arasındaki dönemde ise türe uygun alanlarda 317 km², çok uygun alanlarda 165km²'lik bir artış öngörülmüştür. HAD-GEM3-GC31-LL iklim modelinin 5.85 senaryosunda 2041-2060 yılları arasındaki dönemde türe uygun alanlarda 3.353 km², çok uygun alanlarda 3.353 km², 2061-2080 yılları arasındaki dönemde türe uygun alanlarda 3.360 km², çok uygun alanlarda 1.922 km²'lik artış öngörülmüştür. 2081-2100 yılları arasındaki dönemde türe uygun alanlarda 965 km²'lik bir azalma ön görülürken, çok uygun alanlarda ise 807 km²'lik bir artış gözlemlenmektedir. MPI-ESM1-2-HR ve HadGEM3-GC31-LL iklim modellerine dayalı olarak SSP5-8.5 senaryoları çerçevesinde gerçekleştirilen modelleme çalışmaları, *Pinus brutia* Ten.'in gelecekteki yayılış alanlarında zamanla meydana gelebilecek değişimleri ortaya koymaktadır. MPI-ESM1-2-HR SSP5-8.5 modeline göre 2041–2060 döneminde uygun habitat alanlarında 869 km²'lik bir azalma yaşanırken, çok uygun habitatlarda 1.278 km²'lik bir artış öngörülmüştür. Bu durum, bazı bölgelerde uygunluk seviyesinin artarak, daha elverişli habitatlara dönüşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Takip eden dönemlerde, yani 2061–2080 ve 2081–2100 arasında ise hem uygun hem de çok uygun habitat alanlarında artışların devam ettiği, ancak bu artışların zaman içinde azaldığı görülmektedir. Bu durum, türün belirli dönemlerde ve alanlarda iklim değişikliğine adaptasyon gösterebildiğini işaret etmektedir. Benzer şekilde, HadGEM3-GC31-LL modeline dayalı SSP5-8.5 senaryosu kapsamında da 2041–2080 dönemlerinde hem uygun hem de çok uygun habitat alanlarında önemli artışlar öngörülmektedir. Ancak 2081–2100 döneminde uygun alanlarda 965 km²'lik bir azalma yaşanması, ilerleyen yıllarda bazı bölgelerde habitat kalitesinin düşebileceğine işaret etmektedir. Buna karşın aynı dönemde çok uygun alanlarda 807 km²'lik bir artışın gözlemlenmesi, türün belirli bölgelerde iklimsel streslere rağmen yayılış potansiyelini sürdürebileceğini göstermektedir. SSP5-8.5 senaryosu, küresel ölçekte sıcaklık artışlarının ve kuraklık olaylarının daha şiddetli yaşandığı bir projeksiyonu temsil etmektedir. Bu bağlamda, *Pinus brutia* Ten.'ın yüksek sıcaklıklara ve kuraklığa karşı gösterdiği adaptasyon kapasitesi, türün bu gibi stres faktörlerine karşı dirençli olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kurak ve sıcak iklim koşullarına doğal

olarak adapte olmuş olması, türün gelecekteki iklim senaryolarında rekabet avantajı elde etmesine olanak tanıyabilir.

Model projeksiyonlarına göre yayılışta artış gösteren havzalar arasında Batı Akdeniz, Antalya, Doğu Akdeniz, Asi, Ceyhan, Marmara, Kuzey Ege, Büyük ve Küçük Menderes havzaları öne çıkmaktadır. Bu bölgeler genel olarak Akdeniz iklimi etkisi altındadır ve sıcaklık ile kuraklık stresine karşı doğal adaptasyona sahip olan *Pinus brutia* için uygun ekolojik koşulları barındırmaktadır. Akdeniz ikliminin karakteristik özelliği olan uzun yaz kuraklığı, geçirgen kireçtaşı türevli topraklar ve yüksek güneşlenme süresi, bu tür için özellikle uygun habitatlar oluşturur (Çerçioğlu & Çetinkaya, 2021). Ayrıca yangın ekolojisine uyum sağlamış olması sayesinde, bu bölgelerde olası yangın sonrası hızlı rejenerasyon kabiliyeti türün yayılış potansiyelini artırmaktadır. SSP5-8.5 senaryosu altında öngörülen yüksek sıcaklık artışı ve kuraklık şiddetinin bazı bölgelerde türün lehine işlediği görülmektedir. Ancak Batı Karadeniz'in kıyı kesimlerinde ve Sakarya Havzası'nda gözlemlenen kısmi yayılış azalmaları, bu alanların yüksek nem, düşük güneşlenme ve serin iklim özellikleriyle türün fizyolojik tolerans aralığını zorladığını göstermektedir (Atalay, 2008).

Bu bulgular, Arslan vd. (2025) tarafından yapılan *Pinus brutia* Ten. 'in mevcut ve gelecekteki potansiyel yayılış alanlarını inceleyen çalışmalarla da örtüşmektedir. Söz konusu çalışma, yüksek emisyon senaryoları altında türün yayılışında sınırlı ancak stratejik artışlar olabileceğini göstermektedir. Genel olarak, *Pinus brutia* Ten. 'ın güçlü ekolojik toleransı ve uyum yeteneği, onu gelecekteki iklim değişikliklerine karşı dirençli türlerden biri olarak öne çıkarmaktadır.

5. BÖLÜM: SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye florasında önemli bir yer tutan ve özellikle Akdeniz iklim kuşağında yaygın olarak bulunan *Pinus brutia* Ten. (Kızılçam) türünün mevcut ve gelecekteki potansiyel dağılımını belirlemek çalışmada amaçlanmıştır. Kızılçam hem ekonomik hem de ekolojik açıdan yüksek öneme sahip olup, yangınlara dayanıklı yapısı, hızlı büyüme potansiyeli ve erozyon kontrolündeki rolü nedeniyle orman ekosistemlerinde kritik bir tür olarak öne çıkmaktadır. Ancak, küresel iklim değişikliğinin etkileri, özellikle sıcaklık ve yağış rejimlerindeki değişiklikler, bu türün doğal yayılış alanlarını değiştirebilir. Bu bağlamda, türün gelecekte karşı karşıya kalabileceği dağılım değişimlerini öngörmek, orman yönetimi, biyoçeşitlilik koruma stratejileri ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışmada, tür dağılım modellemesi alanında yüksek performans göstermesi ve çevresel değişkenlerle güçlü istatistiksel ilişkiler kurabilmesi nedeniyle MaxEnt algoritması tercih edilmiştir. MaxEnt, türün çevresel nişini tanımlayarak, hem güncel iklim koşullarına dayalı dağılımı tahmin edebilmekte hem de gelecekteki iklim senaryoları altında potansiyel dağılım alanlarını modelleyebilmektedir. Bu doğrultuda, çalışma 2041–2060, 2061–2080 ve 2081–2100 dönemlerini kapsayan ve iki farklı iklim modeline ait SSP senaryoları ile Kızılçam türünün yayılış alanlarındaki olası değişimleri değerlendirilmiştir. Böylece, türün iklim değişikliğine karşı duyarlılığı ortaya konulmakta ve geleceğe yönelik koruma ve yönetim planlarına bilimsel bir zemin hazırlanmaktadır.

MaxEnt modelleme yaklaşımı ve iki farklı iklim modeline (MPI-ESM1-2-HR ve HadGEM3-GC31-LL) dayalı olarak yapılan projeksiyonlar, özellikle SSP2-4.5 senaryosunda türün yayılış alanlarında belirgin artışlar olacağını göstermektedir. Bu artışlar, türün ılımlı sıcaklık artışlarına karşı yüksek adaptasyon kapasitesine sahip olduğunu ve ekolojik tolerans aralığı içerisinde kalan sıcaklık artışlarının yayılışını desteklediğini ortaya koymaktadır. SSP5-8.5 gibi yüksek emisyon senaryolarında ise, uygun habitat alanlarında yer yer azalmalar yaşanmasına rağmen, çok uygun alanlarda görece artışların devam etmesi, türün yüksek sıcaklık ve kuraklık stresine karşı da dirençli olabileceğini göstermektedir. Ancak bu artışların zaman içinde azalma eğilimi

göstermesi, habitat kalitesinde bozulmaların ve türün dağılım dinamiklerinde kırılmaların yaşanabileceğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda, elde edilen bulguların değerlendirilmesi ve araştırma kapsamında ulaşılan sonuçların daha etkili bir şekilde pratiğe yansıtılabilmesi amacıyla aşağıda yer alan öneriler geliştirilmiştir.

Pinus brutia Ten. gibi yüksek adaptasyon yeteneğine sahip türler, iklim değişikliğine uyum sağlayabilen orman kompozisyonlarının oluşturulmasında öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Bu türün gelecekte artış göstermesi beklenen bölgelerde yeniden ağaçlandırma ve doğal gençleştirme projeleri planlanabilir.

Çok uygun alanlarda azalmaların yaşandığı dönemlerde, toprak özellikleri, rekabet, yangın riski gibi diğer çevresel faktörlerin etkili olabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle detaylı mikroklimatik ve edafik analizlerin yapılması önerilmektedir.

Pinus brutia Ten.'in yüksek genetik çeşitliliği, adaptasyon kapasitesinin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle türün genetik kaynakları in-situ ve ex-situ yöntemlerle korunmalı, özellikle marjinal popülasyonlar izlenerek genetik erozyon önlenmelidir.

Çalışma bulguları, türün iklim değişikliğine karşı hem dirençli hem de fırsatları değerlendirme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Bu durum, iklim adaptasyon politikalarının oluşturulmasında *Pinus brutia* Ten. gibi türlerin anahtar rol üstlenebileceğini göstermektedir.

Pinus brutia Ten. türünün iklim değişikliğine karşı gösterdiği direnç, yalnızca ekolojik dinamiklerle değil, aynı zamanda insan kaynaklı etkilerle de şekillenmektedir. Bu bağlamda, özellikle Akdeniz iklim kuşağında yaşayan yerel halkın orman ekosistemlerinin işleyişi, iklim değişikliğinin etkileri ve bu türün önemi hakkında bilgilendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bölgeye özgü eğitim modülleri oluşturulmalı ve bu modüller kamu kurumları, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları iş birliğiyle yaygınlaştırılmalıdır.

Pinus brutia Ten. türünün doğal yayılım alanlarında yaşayan toplulukların ormancılık süreçlerine aktif katılımı sağlanmalıdır. Katılımcı orman yönetimi anlayışı kapsamında, köy kalkınma kooperatifleri ve yerel yönetimlerin katkısıyla hem ormanların korunması hem de türün sürdürülebilir yönetimi amacıyla yerel bilgi ve deneyimlere

dayanan uygulamalar desteklenmelidir. Bu sayede, yerel halkın orman ekosistemlerine aidiyet duygusu gelişecek ve koruma davranışı kalıcı hâle gelecektir.

İklim değişikliğine paralel olarak artış gösteren yangın riski, *Pinus brutia* Ten. türü için hem bir tehdit hem de bir adaptasyon fırsatıdır. Ancak insan kaynaklı yangınlar, bu türün varlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu nedenle, özellikle yaz aylarında yürütülecek bilinçlendirme kampanyaları ile yerel halkın ve ziyaretçilerin yangın öncesi, sonrası ve sonrası alması gereken önlemler hakkında farkındalık düzeyleri artırılmalıdır. Ayrıca, kuraklıkla mücadeleye yönelik su tasarrufu, toprak erozyonunun önlenmesi ve bitki örtüsünün korunması gibi konularda da uygulamalı bilgilendirme faaliyetleri düzenlenmelidir.

Mevcut modeller, iklim değişikliği dışında kalan yangın, zararlılar ve insan etkisi gibi faktörleri sınırlı ölçüde ele almaktadır. Gelecek çalışmalarda çok faktörlü ve entegre modelleme yaklaşımları geliştirilerek daha gerçekçi senaryolar oluşturulmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, E. H. A. R., & Musa, A. E. A. (2019). Biodiversity: Concepts, benefits, and values for economic and sustainable development. In *Biodiversity and Conservation* (pp. 1-26). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9780429425790-1>
- Akman, Y., & Ketenoğlu, O. (1986). The climate and vegetation of Turkey. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 89, 123-134. <https://doi.org/10.1017/s0269727000008964>
- Akyol, A., & Örüçü, Ö. K. (2019). İklim değişimi senaryoları ve tür dağılım modeline göre Kızılcık türünün (*Cornus mas* L.) odun dışı orman ürünleri kapsamında değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 224-233. <https://doi.org/10.31590/ejosat.615019>
- Akyol, A., Örüçü, Ö. K., & Arslan, E. S. (2020). Habitat suitability mapping of stone pine (*Pinus pinea* L.) under the effects of climate change. *Biologia*, 75, 2175-2187. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00594-9>
- Alkinzh, S., & Danilov, D. A. (2024). Economic substantiation of the expediency of transferring fallow lands to a forested area. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, (240), 130-148. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2022.240.130-148>
- ASF DAAC. (2014). *ALOS PALSAR High Resolution Radiometric Terrain Corrected Product [Data set]*. NASA Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>
- Andrews, M. B., Ridley, J. K., Wood, R. A., Andrews, T., Blockley, E. W., Booth, B., ... & Sutton, R. T. (2020). Historical simulations with HadGEM3-GC3. 1 for CMIP6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(6), e2019MS001995. <https://doi.org/10.1029/2019MS001995>
- Andrews, T., Andrews, M. B., Bodas-Salcedo, A., Jones, G. S., Kuhlbrodt, T., Manners, J., ... & Tang, Y. (2019). Forcings, feedbacks, and climate sensitivity in HadGEM3-GC3. 1 and UKESM1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(12),

4377-4394. <https://doi.org/10.1029/2019MS001866>

- Arslan, E. S., Gülçin, D., Sarıkaya, A. G., Ölmez, Z., Gülcü, S., Şen, İ., & Örücü, Ö. K. (2021). Kokulu Ardıç'ın (*Juniperus foetidissima* Willd.) Günümüz ve Gelecekteki Potansiyel Yayılışının Makine Öğrenmesi ile Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 1-12. <https://doi.org/10.31590/ejosat.848961>
- Arslan, E. S., Örücü, Ö. K., Gülcü, S., Dirlik, S., & Hoşgör, E. (2025). Prediction of the shift of the distribution of *Pinus brutia* Ten. Under future climate model. *New Forests*, 56(2), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11056-025-10092-y>
- Atalay, İ. (1994). *Türkiye vejetasyon coğrafyası*. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Atalay, İ. (2008). *Ekosistem ekolojisi ve coğrafyası*. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları.
- Atalay, İ. (2017). *Türkiye jeomorfolojisi. Meta Basım, İzmir*.
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological modelling*, 200(1-2), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005>
- Bağçacı, S. Ç., Yucel, I., Duzenli, E., & Yilmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256, 105576. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>
- Bayram, H., & Öztürk, A. B. (2020). Global climate change, desertification, and its consequences in Turkey and the Middle East. In *Climate change and global public health* (pp. 445-458). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8417-2>
- Bekele, M., Seifu, A., Wube, S., & Tilaye, G. (2023). Modeling the current and future potential distribution of *Arabis alpina* using MaxEnt software in selected mountains of Ethiopia. *Sustainability, Agriculture, Food and Environmental Research*, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.7770/safer-V12N1-art2680>
- Beşir, İ. H. (2018). *Rize ilindeki çift yaşarların dağılımlarının haritalanması* (Master's thesis, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Biyoloji

Anabilim Dalı).

- Biju Kumar, A., & Ravinesh, R. (2017). Climate change and biodiversity. *Bioresources and Bioprocess in Biotechnology: Volume 1: Status and Strategies for Exploration*, 99-124. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3573-9_5
- Çağlar, S. S. (2023). İnsanın Biyoçeşitlilik Üzerindeki Etkisi: Milyarlarca Yılda Oluşanı Birkaç Yüzyılda Yok Etmek. *Tabiat ve İnsan*, 2(193), 56-63.
- Çelikoğlu, İ. (2024). Tür Dağılım Modellemesinde Makine Öğrenme Yöntemleri. *Ecological Perspective*, 4(1), 17-40. <https://doi.org/10.53463/ecopers.20240253>
- Çerçioğlu, M., & Çetinkaya, D. (2021). Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) rakım, büyüme özellikleri ve kozalak verimi ilişkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 22(1), 17-24. <https://doi.org/10.18182/tjf.853078>
- Chao, A., & Colwell, R. K. (2022). Biodiversity : Concepts , Dimensions , and Measures. İçinde *The Ecological and Societal Consequences of Biodiversity Loss* (ss. 51–72). <https://doi.org/10.1002/9781119902911.ch2>
- Çolak, A. H., & Rotherham, I. D. (2006). A review of the forest vegetation of Turkey: its status past and present and its future conservation. In *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* (Vol. 106, No. 3, pp. 343-354). Royal Irish Academy.
- Corsi, F., Duprè, E., & Boitani, L. (1999). A large-scale model of wolf distribution in Italy for conservation planning. *Conservation Biology*, 13(1), 150-159. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97269.x>
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Dancey, C. P., & Reidy, J. (2007). *Statistics without maths for psychology*. Pearson education.
- Demir, A. (2009). Ekonomik Açıdan Biyolojik Çeşitliliğin Önemi The Importance of Biological Diversity In Terms Of Economic. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen*

Bilimleri Dergisi, 8(15), 55-68.

- Demiröz, F. (2023). *Beyağaç (Denizli) kızılçam meşcerelerinde Sydowia polyspora Bref. & Tavel'nın tespiti, hastalık şiddeti ve patojenisitesinin belirlenmesi* (Master's thesis, Pamukkale University).
- Dervişoğlu, S., Menzel, S., Soran, H., & Bögeholz, S. (2009). Değerler, inançlar ve problem algısının biyolojik çeşitliliği korumaya yönelik kişisel normlara etkisi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 37(37), 50-59.
- Dirik, H. (1994). Genetik çeşitlilik ve orman gen kaynaklarının korunması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 44(3-4), 113-122.
- Doğan, S., & Tüzer, M. (2011). Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri. *CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 21-34.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., ... & Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Eker, R., Alkış, K. C., Uçar, Z., & Aydın, A. (2023). Ormancılıkta Makine Öğrenmesi Kullanımı. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 24(2), 150-177. <https://doi.org/10.18182/tjf.1282768>
- Eliades, N. G. H., Aravanopoulos, F. P. A., & Christou, A. K. (2018). Mediterranean islands hosting marginal and peripheral forest tree populations: the case of *Pinus brutia* Ten. in Cyprus. *Forests*, 9(9), 514. <https://doi.org/10.3390/f9090514>
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40(1), 677-697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

- Erat, K., & Balık, H. İ. (2022). Bitkisel biyoçeşitlilik ve genetik kaynaklar. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 3(2), 117-125. <http://biyak.subu.edu.tr>
- Ergin, M. (2022). *İklim değişikliğinin Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarındaki bazı ağaç türlerinin yayılışına etkilerinin tahmini* (doktora tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=UZLhzTZ1NDte2eCmDu87yA>
- Erten, S. (2004). Uluslararası düzeyde yükselen bir değer olarak biyolojik çeşitlilik. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(27). <https://www.researchgate.net/publication/237235127%0AULUSLARARASI>
- Ertürk, N., & Arıcak, B. (2024). Possible changes in red pine (*Pinus brutia* Ten.) distribution areas in Kastamonu due to global climate change. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 10(1), 29-37. <https://doi.org/10.55385/kastamonujes.1474468>
- Escandón, M., Valledor, L., Lamelas, L., Álvarez, J. M., Cañal, M. J., & Meijón, M. (2024). Multiomics analyses reveal the central role of the nucleolus and its machinery during heat stress acclimation in *Pinus radiata*. *Journal of Experimental Botany*, 75(8), 2558-2573. <https://doi.org/10.1093/jxb/erae033>
- Esringü, A., Canpolat, N., & Barış, Ö. (2021). “İklim Değişikliğinde Yeşil Adımlar” TÜBİTAK 4004 Proje Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 883-902. <https://doi.org/10.53487/ataunisobil.825275>
- Evcin, Ö., & Kalleci, B. (2020). Glis glis (Nehring, 1903)(Rodentia: Gliridae) türünün Kastamonu ilindeki yayılış gösterdiği alanların ve potansiyel dağılımının tespit edilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 73-77. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.779010>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

- Fosso, L. C., Karahalil, U., Özdemir, M., Sonuç, C. Y., Üstün, D. H. D., Ünal, Y., & Tandoğan, M. (2023). Estimating potential future distribution of some selected Oak species in the Marmara Region. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 10(Özel Sayı), 1-11. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1282221>
- Frankis, M. (1999). 367. *Pinus brutia*: Pinaceae. *Curtis's Botanical Magazine*, 173-184.
- Fady, B., Semerci, H., & Vendramin, G. G. (2003). *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Aleppo pine (Pinus halepensis) and Brutia pine (Pinus brutia)*. Bioversity International.
- GBIF.org (05 Ocak 2023) GBIF Oluşumu İndirme <https://doi.org/10.15468/dl.fmzjy4>
- GBIF.org (23 Kasım 2023) GBIF Oluşumu İndirme <https://doi.org/10.15468/dl.8wbka4>
- GBIF.org (2024). *Global Biodiversity Information Facility: Occurrence data*. <https://www.gbif.org>
- Gülcü, S., & Çelik, S. (2009). Genetic variation in *Pinus brutia* Ten. seed stands and seed or chards for growth, stem form and crown characteristics. *African Journal of Biotechnology*, 8(18).
- Gutjahr, O., Putrasahan, D., Lohmann, K., Jungclaus, J. H., von Storch, J. S., Brüggemann, N., ... & Stössel, A. (2019). Max planck institute earth system model (MPI-ESM1. 2) for the high-resolution model intercomparison project (HighResMIP). *Geoscientific Model Development*, 12(7), 3241-3281. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3241-2019>
- Hewitt, H. T., Copsey, D., Culverwell, I. D., Harris, C. M., Hill, R. S. R., Keen, A. B., ... & Hunke, E. C. (2010). Design and implementation of the infrastructure of HadGEM3: The next-generation Met Office climate modelling system. *Geoscientific Model Development Discussions*, 3(4), 1861-1937. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-223-2011>
- Hoban, S., Archer, F. I., Bertola, L. D., Bragg, J. G., Breed, M. F., Bruford, M. W., ... & Hunter, M. E. (2022). Global genetic diversity status and trends: towards a suite of Essential Biodiversity Variables (EBVs) for genetic composition. *Biological Reviews*, 97(4), 1511-1538. <https://doi.org/10.1111/brv.12852>

- Houminer, N., Doron-Faigenboim, A., Shklar, G., De La Torre, A. R., Neale, D., Korol, L., ... & David-Schwartz, R. (2021). Transcriptome-based single-nucleotide polymorphism markers between *Pinus brutia* and *Pinus halepensis* and the analysis of their hybrids. *Tree Genetics & Genomes*, 17, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11295-021-01496-w>
- Houminer, N., Riov, J., Moshelion, M., Osem, Y., & David-Schwartz, R. (2022). Comparison of morphological and physiological traits between *pinus brutia*, *pinus halepensis*, and their vigorous F1 hybrids. *Forests*, 13(9), 1477. <https://doi.org/10.3390/f13091477>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri & L. A. Meyer (Eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC. (2021). *Summary for policymakers*. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ss. 3–32). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- ISRIC. (2020). *SoilGrids – global gridded soil information*. ISRIC – World Soil Information. <https://soilgrids.org>
- iNaturalist (2024). iNaturalist Araştırma Sınıfı Gözlemler. iNaturalist.org. Oluşum veri kümesine <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> 2024-12-31 tarihinde GBIF.org aracılığıyla erişilmiştir. <https://www.gbif.org/occurrence/4510325156>
- Jones, C., Hughes, J. K., Bellouin, N., Hardiman, S. C., Jones, G. S., Knight, J., ... & Zerroukat, M. (2011). The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geoscientific Model Development*, 4(3), 543-570. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-543-2011>
- Kamyo, T., & Asanok, L. (2020). Modeling habitat suitability of *Dipterocarpus alatus*

- (Dipterocarpaceae) using MaxEnt along the Chao Phraya River in Central Thailand. *Forest Science and Technology*, 16(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/21580103.2019.1687108>
- Karatepe, Y., Özçelik, R., Gürlevik, N., Yavuz, H., & Kiriş, R. (2014). Batı Akdeniz’de farklı yetiştirme ortamı bölgelerindeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarının vejetasyon yapısının ekolojik değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(1), 1-8. <https://doi.org/10.18182/tjf.97256>
- Kavgacı, A., & Tavşanoğlu, Ç. (2010). Akdeniz Tipi Ekosistemlerde Yangın Sonrası Vejetasyon Dinamiği. *Turkish Journal of Forestry*, 11(2), 149-166.
- Kavgacı, A., Tolunay, D., Sevgi, O., & Tutmaz, V. (2023). Orman yangınları terminolojisi. *Orman yangınları*, 3-17.
- Kaya, Z., & Raynal, D. J. (2001). Biodiversity and conservation of Turkish forests. *Biological conservation*, 97(2), 131-141. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00069-0)
- Kefelioğlu, H. (Ed.). (2017). Terme’nin biyoçeşitlilik ve doğal ortam özellikleri. Ascopy. ISBN 978-605-2104-03-3
- Kekeç, M., & Kadioğlu, İ. (2020). İklim Değişikliğine Bağlı Olarak *Xanthium strumarium* L.’un Türkiye’de Gelecekte Dağılım Alanlarının Belirlenmesi. *Turkish Journal of Weed Science*, 23(1), 1-14. <http://www.worldclim.org/>
- Keten, İ., & Gülsoy, S. (2020). Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında verimlilik ilişkileri. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 88-102.
- Kitikidou, K., Petrou, P., & Milios, E. (2012). Dominant height growth and site index curves for Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in central Cyprus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1323-1329. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.10.010>
- Kıcık, N. (2023). Küresel İklim Değişikliğinde Tarım ve Bir Çözüm Önerisi Olarak Modern Tarım Uygulamaları. *Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 31–41.

- Koç, D., Dalfes, H., & Avcı, M. (2022). Anadolu’da Konifer Ağaçların Yayılış Alanlarındaki Değişimler. *Coğrafya Dergisi / Journal of Geography*, 0(44), 81–95. <https://doi.org/10.26650/jgeog2022-974433>
- Koç, T., & Kesmen, E., (2010). *Türkiye’nin morfometrik özellikleri*. . Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu 2010 (Prof. Dr. Oğuz Erol onuruna) (pp.104-105). Afyonkarahisar, Turkey.
- Koçman, A. (1993). *Türkiye iklimi* (Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü Yayın No. 72) (83 s.). İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi.
- Kurt, Y., Cengel, B., Velioglu, E., Gonzalez-Martinez, S. C., Grivet, D., & Kaya, N. (2023). Chloroplast microsatellite diversity of *Pinus brutia* Ten. and *Pinus halepensis* Mill. populations across the Mediterranean basin: Inferences of their distributions. *Forest Systems*, 32(2). <https://doi.org/10.5424/fs/2023322-19729>
- Kuzucuoğlu, C. (2019). *The physical geography of Turkey: An outline* (Bölüm 2, ss. 7–15). In C. Kuzucuoğlu, A. Çiner, & N. Kazancı (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (World Geomorphological Landscapes, ss. 7–15). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_2
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385-393. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Neyişçi, T. (1987). Kızılçamın Doğal Yayılışı, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Muhtelif Yayınlar Serisi No: 52, 17s.
- Nilsson, N.J. (2005). *Introduction to Machine Learning* [Draft textbook]. Stanford Artificial Intelligence Laboratory. Retrieved from <http://ai.stanford.edu/~nilsson/MLBOOK.pdf>
- O’Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K.,

- Kriegler, E., Preston, B. L., Riahi, K., Sillmann, J., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D., Carlisle, D., Conde, C., Fuglestvedt, J., Green, C., Hasegawa, T., Leininger, J., Monteith, S., & Pichs-Madruga, R. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature Climate Change*, 10(12), 1074–1084. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-0>
- OGM. (2009). *Asli Ağaç Türleri*. [https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Yayinlar/Asli Ağaç Türleri.pdf](https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Yayinlar/Asli_Ağaç_Türleri.pdf)
- OGM. (2022). *Türkiye orman alanlarının ağaç türlerine göre dağılımı* [Ormancılık istatistikleri, 2022]. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.ogm.gov.tr>
- Onen, H. (2015). Küresel Isınma ve Biyolojik Çeşitlilik. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, January 2010.
- Örücü, Ö. K. (2019). Prediction of future and current distribution of Phoenix theophrasti Gr. with using MaxEnt model and its utilization for planting design. *Turkish Journal of Forestry*, 20(3), 274–283. <https://doi.org/10.18182/tjf.613205>
- Örücü, Ö. K., Gülçin, D., Özçiftçi, İ., & Arslan, E. S. (2021). Mor Çiçekli Ormangülünün (Rhododendron ponticum L.) günümüz ve gelecekteki iklim koşullarına göre yayılış alanlarının modellenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1), 26–41. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.834174>
- Özdemir, S. (2018). Potential Distribution Modelling and Mapping Using Random Forest Method: an Example of Yukarıgökdere District. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 51–56. <https://doi.org/10.18182/tjf.342504>
- Özdemir, S., Özkan, K., & Mert, A. (2020). Ekolojik bakış açısı ile iklim değişimi senaryoları. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3), 361–371. <https://doi.org/10.46309/biodicon.2020>.
- Özdemir, S. (2022). Batı Akdeniz’de iklim değişimine göre asli orman ağacı türlerinin dağılımı modellenmesi (doktora tezi). Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Özel, H. B., Yücedağ, C., & Aydınhan, V. (2018). Üç Farklı Kızılcām Populasyonu Fidanlarının Morfolojik Özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri*

- Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 29-32. <https://doi.org/10.29048/makufebed.365888>
- Öztop, Z. (2023). *Xanthium Spinosum L. 'un İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Global Düzeyde Potansiyel Dağılım Alanlarının Belirlenmesi*. Harran Üniverditesi.
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2021). Wildfires and global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(7), 387-395. <https://doi.org/https://doi.org/10.5531/cbc.ncep.0184>
- Pearson, R. G. (2007). *Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5531/cbc.ncep.0184>
- Phillips, S. B., Aneja, V. P., Kang, D., & Arya, S. P. (2006). Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2-3), 231-252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips, S. (2010). A Brief Tutorial on Maxent A Brief Tutorial on Maxent. *Center for Biodiversity and Conservation of the American Museum of Natural History*, 3(1), 107-135.
- Polat, N. (2017). Biyoçeşitlilik ve Önemi. İçinde C. Yılmaz & H. Korkmaz (Ed.), *Termenin Biyoçeşitlilik ve Doğal Ortam özellikleri* (ss. 1-12).
- Quezel, P. (2000). Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *Pinus brutia*). In G. Ne'eman & L. Trabaud (Eds.), *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin* (pp. 1-12). Backhuys Publishers.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Rawat, U. S., & Agarwal, N. K. (2015). Biodiversity: Concept, threats and conservation. *Environment Conservation Journal*, 16(3), 19-28.

<https://doi.org/10.36953/ecj.2015.16303>

- Reimann, L., Vollstedt, B., Koerth, J., Tsakiris, M., Beer, M., & Vafeidis, A. T. (2021). Extending the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) to support local adaptation planning—A climate service for Flensburg, Germany. *Futures*, 127, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102691>
- Riahi, K. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Roberts, M. J., Baker, A., Blockley, E. W., Calvert, D., Coward, A., Hewitt, H. T., ... & Vidale, P. L. (2019). Description of the resolution hierarchy of the global coupled HadGEM3-GC3.1 model as used in CMIP6 HighResMIP experiments. *Geoscientific Model Development*, 12(12), 4999-5028.
- Sağlamsoy, N. (2006). *Tokat-Turhal yöresinde yapılan bir kızılçam (Pinus brutia Ten.) ağaçlandırmasının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=r03uFhG4VqAon86XjqGnJQ>
- Şeker, M. (2024). *Farklı İklim Değişikliği Senaryoları Altında Akdeniz Bölgesindeki Kuraklığın Değerlendirilmesi*. Harran Üniversitesi. <http://hdl.handle.net/11513/3961>
- Selvi, G., Dağ, G., Dirican, E. G., Aktay, T., Aksu, S. M., Özdem, K., & Akcayol, M. A. (2021). Automated Machine Learning Platform. In *2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 769-774). IEEE. <https://doi.org/10.1109/UBMK52708.2021.9558961>
- Semerci, A., İmal, B., & Gonzalez-Benecke, C. A. (2021). Intraspecific variability in cold tolerance in *Pinus brutia* sampled from two contrasting provenance trials. *New Forests*, 52(4), 621-637. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09815-0>
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., & Balta, I. (2008). Türkiye iklimi. *Turkish State Meteorological Service (DMI), Ankara*.

- Tabachnick, B. G. (2007). Using multivariate statistics. *Alyn and Bacon*.
- Tampakis, A., Evgenia, P., Chatzistathis, T., & Karanikola, P. (2022). Comparing Soil Substrates of Low Cost for the Production of Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten) Seedlings Resilient to Unfavorable Conditions having in Mind the Climatic Change Phenomenon. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 18, 653–661. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.62>
- Tanfer, M. (2023). Biyotop haritalama ve iklim değışikliğı ilişkisi. *Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi*, 5(1), 1-8.
- Tozkar, C. Ö., Önde, S., & Kaya, Z. (2009). The phylogenetic relationship between populations of marginally and sympatrically located *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten. in Turkey, based on the ITS-2 region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(4), 363–373. <https://doi.org/10.3906/tar-0811-26>
- Tsaksira, M., Tsoulpha, P., Economou, A., & Scaltsoyiannes, A. (2023). Mitigation of Global Climate Change through Genetic Improvement of Resin Production from Resinous Pines: The Case of *Pinus halepensis* in Greece. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15108052>
- Tuğaç, Ç. (2023). İklim değışikliğinin küresel, bölgesel, ulusal ve yerel boyutları ve geleceğe dönük yaklaşımlar. In M. Sezik & G. Ç. Sümer (Eds.), *İklim değışikliğı: Disiplinlerarası bir değırlendirme* (ss. 51–85). İdealkent Yayınları.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., & Çetiner, G. (2000). Küresel İklim Değışikliğı ve Olası Etkileri. *Çevre Bakanlığı Birleşmiş Milletler İklim Değışikliğı Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları*, 7-24.
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değışikliğı nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değışiklikler. *İklim Değışikliğı ve Çevre*, 1(1), 26-37.
- Türkeş, M. (2014). Impacts of the Climate Change on Agricultural Food Security, Traditional Knowledge and Agroecology. *Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology*, 2(2), 71–85. <http://www.agrifoodscience.com/index.php/TURJAF/article/view/60>
- Türkeş, M. (2016). *Genel Klimatoloji*. Kriter Yayınevi.

- Türkeş, M., & Tolunay, D. (2023). İklim değişikliği ve orman yangınları. *Kavgacı, Ali ve Mehmet Ali Başaran (Der.), Orman Yangınları, (Ankara: Türkiye Ormancılar Derneği)*, 46-73.
- Turoğlu, H. (2016). Coğrafi bilgi sistemlerinin temel esasları. *İstanbul: Çantay Yayınları*.
- Uyanık, M., Kara, Ş. M., & Gürbüz, B. (2012). Sürdürülebilir kalkınmada biyoçeşitliliğin önemi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 125-127.
- Uzun, A., Aksu, B., & Uzun, T. (2020). MaxEnt Modeli Kullanılarak Acer campestre L. subsp. campestre (Ova Akçaağacı)'nin Tahmini Olarak Günümüz ve Gelecekteki Yayılış Alanlarının Belirlenmesi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 108-119.
- Uzun, A., & Örucü, Ö. K. (2020). Adenocarpus complicatus (L.) Gay türünün iklim değişkenlerine bağlı günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının tahmini. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4), 498-508. <https://doi.org/10.18182/tjf.779776>
- Weill, R. R., & Brady, N. C. (2002). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education.
- WorldClim. (2017). *WorldClim Version 2 climate data*. <https://www.worldclim.org/>
- Yalçın, M., Sarı, F., & Yıldız, A. (2023). Exploration of potential geothermal fields using MAXENT and AHP: A case study of the Büyük Menderes Graben. *Geothermics*, 114, 102792. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102792>
- Yücel, E. (2013). Türk Dünyası Biyolojik Çeşitliliği Ve Koruma Stratejileri. *Anadolu Üniversitesi, Uluslararası Türk Dünyası Çevre Sorunları Sempozyumu*.

ÖZGEÇMİŞ

