



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
SINIRLARINDAKİ BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN YAYILIŞINA ETKİLERİNİN
TAHMİNİ**

Mehmet ERGİN

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY**

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet ERGİN tarafından, Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY danışmanlığında hazırlanan "İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SINIRLARINDAKİ BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN YAYILIŞINA ETKİLERİNİN TAHMİNİ" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 24/06/2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Toprak İlmi Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ender MAKİNECİ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Toprak İlmi Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Ölçme Bilgisi ve Kadastro Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Oktay YILDIZ Düzce Üniversitesi Toprak İlmi Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Yasin KARATEPE İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Toprak İlmi Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret



Aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SINIRLARINDAKİ BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN YAYILIŞINA ETKİLERİNİN TAHMİNİ

Bu tez çalışması, 23.6301 / (2017-2020-2021) numaralı T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Ormancılık Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 23.6301 / (2017-2020-2021) numaralı İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Ormancılık Araştırma Projesi ile desteklenmiş ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma konusunun belirlenmesinden son aşamasına kadar her konuda desteğini hiç eksik etmeyen proje ve doktora tez danışmanım Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Proje ve tez çalışmaları esnasında coğrafi bilgi sistemleri ve modelleme teknikleri konularında yardım ve desteğini gördüğüm Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ'a ve proje hazırlık çalışmalarına destek veren meslektaşım Orman Yüksek Mühendisi Murat ÇETİNER'e çok teşekkür ederim. Çalışmada kullandığım verileri sağlayan Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlaması Daire Başkanlığı'na ve çalışanlarına, arazi çalışmaları esnasında destek veren Orman İşletme Müdürlükleri ve personeline teşekkür ederim.

Proje kapsamında gerekli tüm desteği sağlayan İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve arazi çalışmalarında emeği geçen Enstitü Müdürlüğü personeline teşekkürlerimi sunarım.

Üzerimde büyük emekleri olan aile üyelerim babam Sadık ERGİN'e ve annem Ayşe ERGİN'e, manevi olarak her zaman eşsiz destek sağlayan kardeşim Havva Ece ERGİN'e, yüksek lisans yıllarımda ve meslek hayatımın başından itibaren varlığıyla beni hep motive eden ve sonsuz sabırla beni destekleyen sevgili eşim Nalan ERGİN'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmanın, konuyla ilgilenen tüm meslektaşlarımıza ve ormancılığımıza faydalı olmasını temenni ederim.

Haziran 2022

Mehmet ERGİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ.....	xx
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET	xxvi
ABSTRACT	xxviii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.....	3
2.2. İKLİM MODELLERİ.....	6
2.3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI.....	8
2.4. TÜR DAĞILIM MODELLEMESİ	13
2.5. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE TÜRLERİN DAĞILIMININ MODELLEME İLE BELİRLENDİĞİ ÇALIŞMALAR.....	15
3. YÖNTEM.....	36
3.1. MATERYAL	36
3.1.1. Çalışma Alanının Konumu.....	36
3.1.2. Yeryüzü Şekli Özellikleri.....	37
3.1.3. Anakaya ve Toprak Özellikleri	37
3.1.4. İklim Özellikleri	40
3.1.5. Çalışma Alanındaki Ormanlar ve Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü.....	45
3.2. YÖNTEM	48
3.2.1. Arazi Çalışmaları.....	48
3.2.2. Verilerin Hazırlanması	49

3.2.3. İstatistiksel Yöntemler.....	55
3.2.4. Model Çıktısı Potansiyel Dağılımın Haritalanması ve Maskeleme	60
4. BULGULAR	62
4.1. KIZILÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)	62
4.1.1. Kızılçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)	66
4.1.2. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050).....	68
4.1.3. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070).....	72
4.2. KIZILÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)	76
4.2.1. Kızılçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)	80
4.2.2. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050).....	81
4.2.3. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070).....	84
4.3. KARAÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)	87
4.3.1. Karaçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4).....	92
4.3.2. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050).....	94
4.3.3. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070).....	97
4.4. KARAÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)	101
4.4.1. Karaçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1).....	106
4.4.2. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)	107
4.4.3. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)	111
4.5. SARIÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)	114
4.5.1. Sarıçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4).....	119
4.5.2. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)	121
4.5.3. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)	124
4.6. SARIÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)	127
4.6.1. Sarıçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1).....	131
4.6.2. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)	133
4.6.3. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)	136
4.7. KAZDAĞI GÖKNARI TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4).....	139
4.7.1. Kazdağı Göknarı Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4).....	144

4.7.2. Kazdağı Göknaarı Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)	146
4.7.3. Kazdağı Göknaarı Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)	149
4.8. KAZDAĞI GÖKNARI TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1).....	153
4.8.1. Kazdağı Göknaarı Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1).....	158
4.8.2. Kazdağı Göknaarı Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050) ..	159
4.8.3. Kazdağı Göknaarı Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070) ..	163
4.9. BİRLEŞTİRİLMİŞ TÜR DAĞILIM HARİTALARI (WorldClim sürüm 1.4).....	166
4.9.1. Tüm Türler Birlikte Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)	166
4.9.2. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050).....	168
4.9.3. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070).....	172
4.10. BİRLEŞTİRİLMİŞ TÜR DAĞILIM HARİTALARI (WorldClim sürüm 2.1).....	176
4.10.1. Tüm Türler Birlikte Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)	176
4.10.2. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050).....	178
4.10.3. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070).....	181
5. TARTIŞMA.....	185
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	196
KAYNAKLAR.....	199
EKLER	215
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	221
ETİK KURUL İZİN YAZISI	222
KURUM İZNİ YAZILARI.....	223
ÖZGEÇMİŞ	224

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Son 25 yıllık süreçte iklim modellerinin bileşen yapısındaki gelişim (IPCC, 2001).	6
Şekil 2.2: Emisyon senaryoları özel raporu (SRES) ve yıllık sera gazı emisyonları (IPCC, 2007).....	8
Şekil 2.3: Temsili konsantrasyon rotaları (RCPs) ve yıllık CO ₂ emisyonları (IPCC, 2014).....	9
Şekil 2.4: Ortak sosyoekonomik rotalar (SSPs) ve yıllık CO ₂ emisyonları (IPCC, 2021).....	11
Şekil 2.5: SSP senaryolarına göre küresel yüzey sıcaklıkları değişimi (IPCC, 2021).	12
Şekil 2.6: Çeşitli ölçeklerde değişik faktörlerin türlerin yayılışına etkileri (Pearson ve Dawson, 2003).....	14
Şekil 2.7: Tür dağılım modeli geliştirme ve tahmine dayalı haritalama adımları (Franklin, 2010).....	15
Şekil 3.1: Çalışma alanı konum haritası.	36
Şekil 3.2: Çalışma alanında yer alan bazı dağ ve tepeler.	37
Şekil 3.3: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü anakaya haritası (MTA, 2011).	39
Şekil 3.4: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü büyük toprak grupları haritası (KHGM, t.y.).....	39
Şekil 3.5: Erinç yağış etkinlik indisine göre iklim tipleri (Aydın ve diğ., 2019).	40
Şekil 3.6: Türkiye'nin Köppen-Geiger iklim tipleri haritası (Öztürk ve diğ., 2017).	40
Şekil 3.7: Yıllık ortalama sıcaklık (RCPs-Bio1) (Hijman ve diğ., 2005).....	41
Şekil 3.8: Yıllık toplam yağış miktarı (RCPs-Bio12) (Hijman ve diğ., 2005).....	42
Şekil 3.9: Yıllık ortalama sıcaklık (SSPs-Bio1) (Fick ve Hijmans, 2017).....	43
Şekil 3.10: Yıllık toplam yağış miktarı (SSPs-Bio12) (Fick ve Hijmans, 2017).	44
Şekil 3.11: Corine arazi örtüsü sınıflandırma haritası (URL-2).	47
Şekil 3.12: Kızılçam ve karaçam var-yok noktaları.	50
Şekil 3.13: Sarıçam ve Kazdağı göknarı var-yok noktaları.....	51

Şekil 3.14: Değişkenlerin kızılçam ve karaçam türlerine göre modellere katkı oranları.	54
Şekil 3.15: Değişkenlerin sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerine göre modellere katkı oranları.	55
Şekil 3.16: Spam veri setine ilişkin azalan şekilde sıralanmış 20 değişkenin önemi (Genuer ve Poggi, 2020).	57
Şekil 3.17: a) Yaş ve b) hormonal kontraseptiflerde yıllara dayalı kanser olasılığının etki grafikleri (Molnar, 2022).	57
Şekil 4.1: Korelasyon analizi sonucunda kızılçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.	62
Şekil 4.2: Kızılçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.	63
Şekil 4.3: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	63
Şekil 4.4: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	64
Şekil 4.5: a) En soğuk ayın minimum sıcaklığının kızılçamın dağılımına etkisi, b) En nemli üç ayın potansiyel buharlaşmasının kızılçamın dağılımına etkisi.	65
Şekil 4.6: Mevsimsel yağış değişkenliğinin kızılçamın dağılımına etkisi.	66
Şekil 4.7: Kızılçam türünün güncel dağılım haritası.	66
Şekil 4.8: Kızılçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.	67
Şekil 4.9: Kızılçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	68
Şekil 4.10: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	69
Şekil 4.11: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	70
Şekil 4.12: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	71
Şekil 4.13: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	72
Şekil 4.14: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	73
Şekil 4.15: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	73
Şekil 4.16: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	74

Şekil 4.17: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	75
Şekil 4.18: Korelasyon analizi sonucunda kızılçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.	76
Şekil 4.19: Kızılçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.	77
Şekil 4.20: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	77
Şekil 4.21: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	78
Şekil 4.22: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının kızılçamın dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının kızılçamın dağılımına etkisi.	79
Şekil 4.23: Mevsimsel yağış değişkenliğinin kızılçamın dağılımına etkisi.	79
Şekil 4.24: Kızılçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.	80
Şekil 4.25: Kızılçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	80
Şekil 4.26: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	81
Şekil 4.27: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	82
Şekil 4.28: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	83
Şekil 4.29: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	83
Şekil 4.30: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	84
Şekil 4.31: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	85
Şekil 4.32: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	86
Şekil 4.33: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	86
Şekil 4.34: Korelasyon analizi sonucunda karaçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.	87
Şekil 4.35: Karaçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.	88
Şekil 4.36: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	89

Şekil 4.37: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Mevsimsel sıcaklığın karaçamın dağılımına etkisi.	89
Şekil 4.38: a) En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Mevsimsel yağış değişkenliğinin karaçamın dağılımına etkisi.	90
Şekil 4.39: a) İzotermalitenin (eş ısı) karaçamın dağılımına etkisi, b) Topoğrafik nemlilik indeksinin karaçamın dağılımına etkisi.	91
Şekil 4.40: a) Eğimin karaçamın dağılımına etkisi, b) Topoğrafik pozisyon indeksinin karaçamın dağılımına etkisi.	91
Şekil 4.41: Bakı uygunluk indeksinin karaçamın dağılımına etkisi.	92
Şekil 4.42: Karaçam türünün güncel dağılım haritası.	92
Şekil 4.43: Karaçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.	93
Şekil 4.44: Karaçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	94
Şekil 4.45: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	95
Şekil 4.46: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	95
Şekil 4.47: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	96
Şekil 4.48: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	97
Şekil 4.49: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	98
Şekil 4.50: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	98
Şekil 4.51: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	100
Şekil 4.52: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	100
Şekil 4.53: Korelasyon analizi sonucunda karaçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.	101
Şekil 4.54: Karaçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.	102
Şekil 4.55: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	102
Şekil 4.56: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	103

Şekil 4.57: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Mevsimsel sıcaklığın karaçamın dağılımına etkisi.	104
Şekil 4.58: a) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Ocak ayı yağış miktarının karaçamın dağılımına etkisi.	104
Şekil 4.59: a) Mevsimsel yağış değişkenliğinin karaçamın dağılımına etkisi, b) İzotermalitenin (eş ısı) karaçamın dağılımına etkisi.	105
Şekil 4.60: Eğimin karaçamın dağılımına etkisi.	105
Şekil 4.61: Karaçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.	106
Şekil 4.62: Karaçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	107
Şekil 4.63: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	108
Şekil 4.64: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	109
Şekil 4.65: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	110
Şekil 4.66: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	110
Şekil 4.67: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	111
Şekil 4.68: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	112
Şekil 4.69: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	113
Şekil 4.70: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	113
Şekil 4.71: Korelasyon analizi sonucunda sarıçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.	114
Şekil 4.72: Sarıçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.	115
Şekil 4.73: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	115
Şekil 4.74: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	116
Şekil 4.75: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının sarıçamın dağılımına etkisi, b) En nemli üç ayın potansiyel buharlaşmasının sarıçamın dağılımına etkisi.	117

Şekil 4.76: a) Mevsimsel sıcaklığın sarıçamın dağılımına etkisi, b) İzotermalitenin sarıçamın dağılımına etkisi.	117
Şekil 4.77: a) Mevsimsel yağış değişkenliğinin sarıçamın dağılımına etkisi, b) Topoğrafik pozisyon indeksinin sarıçamın dağılımına etkisi.	118
Şekil 4.78: Eğimin sarıçamın dağılımına etkisi.	118
Şekil 4.79: Sarıçam türünün güncel dağılım haritası.	119
Şekil 4.80: Sarıçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.	119
Şekil 4.81: Sarıçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	120
Şekil 4.82: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	121
Şekil 4.83: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	122
Şekil 4.84: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	123
Şekil 4.85: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	123
Şekil 4.86: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	124
Şekil 4.87: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	125
Şekil 4.88: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	126
Şekil 4.89: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	126
Şekil 4.90: Korelasyon analizi sonucunda sarıçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.	127
Şekil 4.91: Sarıçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.	128
Şekil 4.92: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	128
Şekil 4.93: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.	129
Şekil 4.94: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının sarıçamın dağılımına etkisi, b) Ocak ayı yağış miktarının sarıçamın dağılımına etkisi.	130
Şekil 4.95: a) Mevsimsel sıcaklığın sarıçamın dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının sarıçamın dağılımına etkisi.	130

Şekil 4.96: İzotermalitenin (eş ısı) sarıçamın dağılımına etkisi.	131
Şekil 4.97: Sarıçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.	132
Şekil 4.98: Sarıçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	132
Şekil 4.99: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	133
Şekil 4.100: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	134
Şekil 4.101: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	135
Şekil 4.102: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	135
Şekil 4.103: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	136
Şekil 4.104: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	137
Şekil 4.105: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	138
Şekil 4.106: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	138
Şekil 4.107: Korelasyon analizi sonucunda Kazdağı göknarı tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.....	139
Şekil 4.108: Kazdağı göknarı random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri	140
Şekil 4.109: Değişkenlerin modele katkı oranları – önem düzeyleri	140
Şekil 4.110: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.....	141
Şekil 4.111: a) İzotermalitenin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Kasım ayı minimum sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.	142
Şekil 4.112: a) Mevsimsel sıcaklığın Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.	142
Şekil 4.113: a) Mevsimsel yağış değişkenliğinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Topografik pozisyon indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.....	143
Şekil 4.114: Topografik nemlilik indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.	143
Şekil 4.115: Kazdağı göknarı türünün güncel dağılım haritası.	144

Şekil 4.116: Kazdağı göknarı türünün güncel potansiyel dağılım haritası.....	145
Şekil 4.117: Kazdağı göknarı türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	146
Şekil 4.118: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	147
Şekil 4.119: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	147
Şekil 4.120: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	148
Şekil 4.121: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	149
Şekil 4.122: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	150
Şekil 4.123: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	150
Şekil 4.124: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	151
Şekil 4.125: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	152
Şekil 4.126: Korelasyon analizi sonucunda Kazdağı göknarı tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.....	153
Şekil 4.127: Kazdağı göknarı random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri	154
Şekil 4.128: Değişkenlerin modele katkı oranları – önem düzeyleri	155
Şekil 4.129: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) İzotermalitenin (eş ısı) Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.	155
Şekil 4.130: a) Mevsimsel sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.	156
Şekil 4.131: a) Ocak ayı yağış miktarının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Mevsimsel yağış değişkenliğinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.....	156
Şekil 4.132: a) Topografik pozisyon indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Eğimin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.....	157
Şekil 4.133: a) Topografik nemlilik indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Bakı uygunluk indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.	157
Şekil 4.134: Kazdağı göknarı türünün güncel potansiyel dağılım haritası.....	158

Şekil 4.135: Kazdağı göknarı türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	159
Şekil 4.136: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	160
Şekil 4.137: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	160
Şekil 4.138: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	162
Şekil 4.139: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	162
Şekil 4.140: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	163
Şekil 4.141: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.	164
Şekil 4.142: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	165
Şekil 4.143: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	165
Şekil 4.144: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte güncel potansiyel dağılım haritası.	166
Şekil 4.145: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.	167
Şekil 4.146: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	168
Şekil 4.147: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	169
Şekil 4.148: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	170
Şekil 4.149: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	171
Şekil 4.150: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	172

Şekil 4.151: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	173
Şekil 4.152: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	174
Şekil 4.153: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	175
Şekil 4.154: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte güncel potansiyel dağılım haritası.	176
Şekil 4.155: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.....	177
Şekil 4.156: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	178
Şekil 4.157: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	179
Şekil 4.158: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	180
Şekil 4.159: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	180
Şekil 4.160: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	181
Şekil 4.161: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	182
Şekil 4.162: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.	183
Şekil 4.163: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.	184

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: 2090-2099 yılları için 1980-1999 yıllarına göre SRES emisyon senaryoları temelinde öngörülen sıcaklık değişimleri (IPCC, 2007).	9
Tablo 2.2: 2100 yılı temsili konsantrasyon rotaları (RCPs) ve öngörülen ortalama sıcaklık artışları (Harris ve diğ., 2014).	11
Tablo 2.3: Ortak sosyoekonomik rotalar (SSPs) ve öngörülen ortalama sıcaklık artışları (IPCC, 2021).....	12
Tablo 3.1: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı ağaç türlerinin orman işletme müdürlüklerine göre alansal dağılımı (ha) (OGM, 2021; URL-1).	45
Tablo 3.2: Benzer özellikte toprak verme özelliğine sahip anakaya grupları.	53
Tablo 3.3: Performans ölçütlerinin formül ve yorumları (Liu ve diğ., 2005; Franklin, 2010; Gürsakal, 2018)	59
Tablo 3.4: Karmaşıklık matrisi (confusion matrix) (Gürsakal, 2018).	59
Tablo 4.1: Kızılçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	64
Tablo 4.2: Kızılçamın günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	67
Tablo 4.3: Kızılçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	70
Tablo 4.4: Kızılçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	74
Tablo 4.5: Kızılçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	78
Tablo 4.6: Kızılçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	82
Tablo 4.7: Kızılçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	85
Tablo 4.8: Karaçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	88
Tablo 4.9: Karaçamın günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	93

Tablo 4.10: Karaçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	96
Tablo 4.11: Karaçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	99
Tablo 4.12: Karaçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	103
Tablo 4.13: Karaçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	109
Tablo 4.14: Karaçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	112
Tablo 4.15: Sarıçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	116
Tablo 4.16: Sarıçamın günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	120
Tablo 4.17: Sarıçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	122
Tablo 4.18: Sarıçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	125
Tablo 4.19: Sarıçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	129
Tablo 4.20: Sarıçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	134
Tablo 4.21: Sarıçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	137
Tablo 4.22: Kazdağı göknarı türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	141
Tablo 4.23: Kazdağı göknarının günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	145
Tablo 4.24: Kazdağı göknarının RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	148
Tablo 4.25: Kazdağı göknarının RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	151
Tablo 4.26: Kazdağı göknarı türü için model seçimine ait performans ölçütleri.	154
Tablo 4.27: Kazdağı göknarının SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	161
Tablo 4.28: Kazdağı göknarının SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	164

Tablo 4.29: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte referans döneme (1960-1990) göre günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	167
Tablo 4.30: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP4.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	169
Tablo 4.31: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP8.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	171
Tablo 4.32: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP4.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	173
Tablo 4.33: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP8.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	175
Tablo 4.34: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte referans döneme (1970-2000) göre günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	177
Tablo 4.35: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP2-4.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	179
Tablo 4.36: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP5-8.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	181
Tablo 4.37: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP2-4.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	182
Tablo 4.38: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP5-8.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).	184

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler Açıklama

°C	: Santigrat Derece
W/m ²	: Metrekareye düşen güneş ışıınımı (radyatif zorlama)

Kisaltmalar Açıklama

ANN	: Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları)
AR4	: Fourth Assessment Report (Dördüncü Değerlendirme Raporu)
AR5	: Fifth Assessment Report (Beşinci Değerlendirme Raporu)
AR6	: Sixth Assessment Report (Altıncı Değerlendirme Raporu)
AUC	: Area Under the Curve (Eğrinin Altında Kalan Alan)
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BRT	: Boosted Regression Trees (Arttırılmış Regresyon Ağaçları)
BT	: Bagging Trees (Torbalama Ağaçları)
CART	: Classification and Regression Tree (Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı)
CMIP5	: Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz:5)
CMIP6	: Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz:6)
CTA	: Classification Tree Analysis (Sınıflandırma Ağacı Analizi)
COP	: Conference of the Parties (Taraflar Konferansı)
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EnvDis	: Environmental Distance (Çevresel Mesafe)
EnvScore	: Envelope Score (Zarf Puanı)
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
FDA	: Flexible Discriminant Analysis (Esnek Ayrım Analizi)
GAM	: Generalized Additive Models (Genelleştirilmiş Eklemeli Model)
GARP	: Genetic Algorithm for Rule-Set Production (Kural Kümesi Üretimi İçin Genetik Algoritma)

GBM	: Generalized Boosted Regression Models (Genelleştirilmiş Arttırılmış Regresyon Modelleri)
GCM₁	: General Circulation Model (Genel Dolaşım Modeli)
GCM₂	: Global Climate Model (Küresel İklim Modeli)
GLM	: Generalized Linear Model (Genelleştirilmiş Doğrusal Model)
HadGEM	: Hadley Centre Global Environment Model (Hadley Merkezi Küresel Çevre Modeli)
KHGM	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
IAMs	: Integrated Assesment Models (Entegre Değerlendirme Modelleri)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
KNN	: K-Nearest Neighbour (K En Yakın Komşu)
LR	: Logistic Regression (Lojistik Regresyon)
MARS	: Multivariate Adaptive Regression Splines (Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları)
MaxEnt	: Maximum Entropy (Maksimum Entropi)
MLR	: Multiple Linear Regression (Çoklu Doğrusal Regresyon)
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
RCM	: Regional Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)
RCP	: Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Rotaları)
RF	: Random Forest (Rassal Orman)
ROC	: Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi)
RTA	: Regression Tree Analysis (Regresyon Ağacı Analizi)
SRE	: Surface Range Envelope (Yüzey Aralığı Zarfı)
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios (Emisyon Senaryoları Özel Raporu)
SSP	: Shared Socioeconomic Parthways (Ortak Sosyoekonomik Rotalar)
SVM	: Support Vector Machines (Destek Vektör Makineleri)
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TDM	: Tür Dağılım Modellemesi
TSS	: True Skill Statistic
t.y.	: Tarih Yok

UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
VIF	: Variance Inflation Factor (Varyans Şişirme Faktörü)
WMO	: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)



ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

[İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SINIRLARINDAKİ BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN YAYILIŞINA ETKİLERİNİN TAHMİNİ]

[Mehmet ERGİN]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

[Danışman: Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY]

[Bu çalışma, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) ağaç türlerinin potansiyel dağılım alanlarını tespit etmek, RCP4.5, RCP8.5, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim değişikliği senaryolarına göre 2050 ve 2070 orta yıllarında bu türlerin gelecek potansiyel dağılım alanlarını modellemek ve bu sayede iklim değişikliğinin türlerin yayılışında bir etkiye sahip olup olmayacağı yönünde bir tahmin ortaya koymak için gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda araştırmaya konu türlerin Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki yayılış gösterdiği alanlardan var-yok verileri toplanmıştır. Orman İdaresi ve Planlama Dairesi'nin kullandığı amenajman plan yapım programı içerisinde örnek alanlarda ölçülen ve kaydedilen ağaç türlerine ait veriler çıkartılarak çalışmamızda alınan noktalara ilave var-yok noktaları üretilmiş ve son olarak tüm alanın temsil edilebilmesi amacıyla nokta alınamayan ve plan

programında örnek noktası bulunmayan alanlar için yine amenajman planlarının bölmecik katmanından noktalar üretilmiştir.

Modelleme aşamasında, ekolojik modelleme çalışmalarında yaygın olarak başvurulmuş çevresel değişkenler kullanılmıştır. Temin edilen ve üretilen tüm değişkenler korelasyon testine tabi tutulmuş, aralarında yüksek ilişki olan değişkenlerin elenmesiyle modelleme aşamasına geçilmiştir.

Modelleme çalışmaları R istatistik platformunda Random Forest (Rassal Orman) algoritması yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Modellemeler kızılçam, karaçam, sarıçam ve göknar türleri için ayrı ayrı yapılmış ve model başarıları ROC eğrisi ile değerlendirilmiştir.

Başarılı modellerin elde edilmesini takiben model tüm çalışma alanına uygulanmış ve potansiyel dağılım haritaları üretilmiştir. Daha sonra modellere iklim değişikliği senaryoları uygulanarak gelecek dönem potansiyel yayılım haritaları da elde edilmiştir. Böylece potansiyel yayılışlarda güncel durum ve gelecek dönemler arasında nasıl değişiklikler olabileceği tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma sonuçlarına göre temsili konsantrasyon rotaları (RCP) ve ortak sosyoekonomik rotalar (SSP) emisyon senaryoları temelinde 21. yüzyılın sonuna kadar kızılçam ve karaçamın dağılım alanları kuzeye ve yüksek rakımlara doğru artış gösterirken, hali hazırda yüksek rakımlarda yayılım gösteren sarıçam ve Kazdağı göknarının ise çalışma alanındaki yüksek rakımlı bölgelerin azlığı sebebiyle dağılım alanlarının daralacağı tahmin edilmektedir.

Sürdürülebilir orman yönetimi açısından güncel ve gelecek dönemlere ait potansiyel dağılım alanları hem ormanlara yapılacak müdahalelerde hem de ağaçlandırma çalışmalarında büyük bir öneme sahip olacaktır. Bu sebeple orman alanlarımızın geleceği için tüm ormancılık faaliyetlerinde iklim değişikliğinin etkileri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. |

Haziran 2022 , | 253 | sayfa.

| **Anahtar kelimeler:** İklim değişikliği, iklim projeksiyonları, tür dağılım modeli |

ABSTRACT

[Ph.D. THESIS]

[PREDICTION OF IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON DISTRIBUTION OF
SOME TREE SPECIES IN THE BOUNDARY OF ANKARA REGIONAL
DIRECTORATE OF FORESTRY]

[Mehmet ERGİN]

İstanbul University-Cerrahpaşa
Institute of Graduate Studies
Department of Forest Engineering
Forest Engineering Programme

[Supervisor: Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY]

[This study was conducted to determine the potential distribution areas of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.), Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Kazdağı fir (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) tree species in Ankara Regional Directorate of Forestry, to model the potential distribution areas in the mid-years of 2050 and 2070 according to the RCP4.5, RCP8.5, SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate change scenarios and to make an estimation of whether climate change will have an impact on the distribution of the species.

Presence and absence data points were collected from the areas where the species distributed. Additional the data points were extracted from the sample plots in the management plan making program used by the Forest Management and Planning Department. Also, for the areas without data, data points were produced from the sub-compartment layer of the management plans.

Environmental variables, which are widely used in ecological modeling studies, were used in the modeling stage. All provided and produced variables were subjected to the correlation test, and the modeling stage was started by eliminating the variables having high correlation.

Modeling was carried out with the help of Random Forest algorithm on the R statistics platform. Models were developed separately for Calabrian pine, Anatolian black pine, Scots pine and Kazdağı fir tree species and model success was evaluated with the ROC curve.

After successful models were developed, the models were applied to the entire study area and potential distribution maps were produced. Then, potential distributions of species were mapped for the future periods by applying climate change scenarios to the models. Thus, it has been tried to predict how potential distribution may change between the current and future periods.

According to the results of this study, based on repre representative concentration pathways (RCPs) and shared socioeconomic pathways (SSPs) while the distribution areas of Calabrian pine and Anatolian black pine will increase towards the north and high altitudes until the end of the 21st century, it is estimated that Scots pine and Kazdağı fir, which are currently distributed at high altitudes, will decrease in area due to the absence of high altitute regions in the study area.

In terms of sustainable forest management, potential distribution areas of current and future periods will have great importance both in interventions to forests and in afforestation activities. For this reason, the effects of climate change must be taken into account in all forestry activities for the future of our forest areas. |

June 2022, | 253 | pages.

| **Keywords:** Climate change, climate projections, species distribution model |

1. GİRİŞ

Tür-çevre ilişkisinin analizi ekolojinin merkezinde yer alan bir konudur ve tür-çevre ilişkilerinin nicelleştirilmesi ekolojide coğrafik modellemenin özünü oluşturur. Bu sayede elde edilen modeller genellikle çevresel faktörlerin tür ya da toplulukların yayılışını nasıl kontrol ettiğine dayanan hipotezler üzerine kurulur (Guisan ve Zimmermann, 2000). Türlerin dağılımına etkisi olan faktörlerin tanımlanması, değişen iklimin türlerin yayılış aralığının daralması ya da genişlemesi yönündeki etkisinin belirlenmesine hizmet etmektedir (Ray ve diğ., 2016).

İklim değişikliği, ekosistemlerin yapısını, işlevini ve ürettiği hizmetleri etkileyen ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli etkileri olan tehditlerden biri olarak kabul edilmektedir (Parmesan ve Yohe, 2003; IPBES, 2019). İklim değişikliğine dayalı olarak bölgesel iklimlerde farklılıkların ortaya çıkmaya başlamasıyla, dünya üzerinde birçok bölgede canlı türlerinin uygun coğrafik yayılış alanlarında ve yayılış aralıklarında kuzey enlemlere ve daha yüksek rakımlara doğru kaymalar gözlemlenmekte ve iklim değişikliği etkisiyle bu hareketliliğin devam edeceği hatta bazı durumlarda yerel ve bölgesel tür yok oluşlarının meydana gelebileceği tahmin edilmektedir (Wiens, 2016; EEA, 2017; IPCC, 2019).

Türler iklim değişikliğine karşı çeşitli tepkiler verebilir. Wiens (2016) bu tepkileri (1) türlerin evrimsel adaptasyon yoluyla yeni iklim koşullarına uyum sağlaması, (2) türlerin iklim koşullarına bağlı olarak daha yüksek enlemlere ve rakımlara doğru hareket etmesi ve (3) uyum sağlayamayarak nesillerinin tükenmesi şeklinde sıralamıştır.

İklimde bugüne kadar gözlemlenen ve gelecek için öngörülen değişikliklerin lokal olarak orman ekosistemleri üzerindeki etkilerini anlayabilmek için ağaç türlerinin büyüme ve verimliliklerinde, habitat uygunluk alanlarında meydana gelen değişikliklerin ve oluşan zararların süreçlerinin incelenmesi gibi alanlarda çalışmalar yapmak bir ihtiyaç haline gelmiştir (Lindner ve diğ., 2014). İklim değişikliğinin türler üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar tür dağılım modellemesi çalışmalarıdır.

Tür dağılım modelleri, çok sayıda tür üzerinde ve geniş alanlarda yapılacak çalışmalarda zaman kazanmada ve çalışma maliyetlerin düşürülmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. İklim değişikliğinin ormanlar üzerindeki potansiyel etkileri hakkındaki bilgi ve tecrübeler her geçen gün artmasına rağmen bu konuda uygulamacılara ve karar vericilere tavsiyeler sunma zorluğunu korumaktadır.

Bu çalışma ile öncelikle on ya da yirmi yıllık dönemlerle yoğun arazi çalışmaları yapılarak üretilen orman amenajman planlarındaki verilerin asli orman ağacı türlerinin potansiyel dağılımlarının belirlenmesinde kullanılıp kullanılamayacağını ve bu potansiyel dağılım alanlarının iklim değişikliği etkisiyle nasıl değişeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanı olarak seçilen Ankara Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) sınırlarındaki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) ağaç türleri seçilmiştir. Böylece sıralanan ağaç türlerinin potansiyel dağılım alanlarını tespit etmek, Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz-5 (CMIP5) kapsamında RCP4.5 ve RCP8.5 iklim değişikliği senaryolarına ve Faz-6 (CMIP6) kapsamında SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim değişikliği senaryolarına göre 2050 ve 2070 orta yıllarında bu türlerin potansiyel dağılım alanlarını kestirmek ve bu sayede iklim değişikliğinin türlerin dağılımı üzerinde etkiye sahip olup olmayacağı yönünde bir tahmin ortaya koymak çalışmanın amaçları olarak belirlenmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Dünyamızın karşı karşıya kaldığı en önemli sorunlardan bir tanesi olan iklim değişikliği, küresel ölçekli ve uzun dönemli etkileri olan dinamik bir olaydır. 542 milyar yıldan günümüze kadar dünyamız birçok kez doğal iklim değişimleriyle karşılaşmıştır. Fakat sanayi devrimi sonrasında insan kaynaklı aktiviteler sonucunda meydana gelen değişimler doğal seyrin dışında gelişmekte ve daha önceki doğal iklim değişikliklerine nazaran etkisini daha kısa vadede hissettirmektedir.

İklim, insan kaynaklı faaliyetlerin bir sonucu olarak yakın dönem tarihi içinde görülmeyen bir hızla değişmektedir. Bu değişiklikler küresel boyutlarda olup, dünyanın her bölgesinde birçok alanda etkilerini göstermeye devam etmektedir. İnsan kaynaklı etkilerin atmosferi, okyanusları ve toprağı ısıttığı, yaygın ve hızlı değişimlerin yaşanmasına sebep olduğu bilimsel raporlarda tartışmasız açık şekilde yer almaktadır (IPCC, 2021; 2022).

Ülkeler hızla gelişen iklim değişikliği olaylarına karşı bir mücadelenin gerekliliği konusunda bir araya gelerek Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine (BMİDÇS) taraf olmuşlardır. 1992 yılında imzaya açılan ve 1994 yılında yürürlüğe giren bu sözleşmeye taraf olan 197 ülke her yıl Taraflar Konferansı (COP) olarak adlandırılan toplantılarda iklim değişikliğiyle mücadele için yol haritası oluşturmaya çalışmaktadırlar. Ancak bugüne kadar iklim değişikliğiyle mücadele konusundaki adımlar yetersiz kalmıştır.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 1988 yılında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. IPCC'nin amacı ülkelere iklimle ilgili politikalar geliştirmelerinde kullanabilecekleri iklim değişikliği ile mücadele ve uyum konularında her seviyede bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilginin sağlanmasıdır (IPCC, 2001).

IPCC kurulduğundan bugüne belirli aralıklarla Değerlendirme Raporları yayınlamıştır. Dördüncü Değerlendirme Raporu (AR4) 2007 yılında, Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5) ise üç (3) alt çalışma grubunun hazırladığı raporlar olarak 2013 ve 2014 yıllarında

yayınlanmıştır (IPCC, 2007; 2014). 2021 yılına gelindiğinde Altıncı Değerlendirme Raporu'nun (AR6) birinci çalışma grubu raporu, onu takiben 2022 yılında da ikinci çalışma grubu raporu yayınlanmıştır (IPCC, 2021; 2022).

Beşinci Değerlendirme Raporu iklim sistemi üzerinde insan etkisinin, kıtalar ve okyanuslar üzerindeki gözlemlere dayanarak net şekilde ortaya olduğunu ve giderek arttığının altını çizmektedir. IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu bugüne kadar iklim sisteminde gözlemlenen değişiklikler ve nedenlerinden bahsederken insan kaynaklı aktiviteleri üst sıralara koymaktadır. İnsan kaynaklı faaliyetler sonucunda sera gazı emisyonlarının son 800 bin yıldaki en yüksek seyrinde devam ettiğini ve bunun bir geri dönüşü olarakta değişen iklim koşullarının insanlar ve doğal ekosistemlerin yaşamı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmaya başladığını belirtmektedir (IPCC, 2014). Beşinci Değerlendirme Raporu'nun yayınlanmasından Altıncı Değerlendirme Raporu'nun yayınlanmasına kadar geçen 10 yıldan az bir sürede bile sıcak hava dalgaları, yoğun yağışlar ve kuraklık gibi ekstrem koşullarda gözlemlenen değişiklikler insan etkisinin kanıtlarını güçlendirmektedir (IPCC, 2021; 2022).

Atmosferik sera gazı emisyonları endüstri devrimi öncesi dönemden bu yana hiç olmadığı kadar hızla artış göstermiştir. Bunun başlıca nedeni endüstri devrimiyle başlayan ekonomik gelişmeler ve giderek büyüyen nüfus artışlarıdır. Bütün bu gelişmeler karbondioksit, metan ve diazot monoksit konsantrasyonlarının atmosferde artışını hızlandırmıştır (IPCC, 2014).

Türkiye taraf olduğu uluslararası anlaşmalar gereği BMİDÇS kapsamında Yedinci İklim Değişikliği Ulusal Bildirimi'ni 2018 yılında sunmuştur. Bu bildirimde bugüne kadar gözlemlenen değişiklikler ve projeksiyonlara dayanan beklenen değişikliklere göre, bunların karasal ekosistemler üzerinde ne gibi etkileri olacağı konusu detaylıca incelenmiştir.

Yedinci Ulusal Bildirim'de orman ekosistemleri ile ilgili olarak, küresel ortalama sıcaklıklardaki 1°C'lik bir artışın, türlerin kompozisyonu ve ormanların işlevleri üzerinde önemli derece etkileri olabileceğinden, hastalık ve yangın gibi etkileri hızlandırabileceğinden bahsedilmiştir. Tür kompozisyonlarından beklenen değişikliklerin yanı sıra, bitki ve hayvan türlerinin değişen iklim koşullarına adapte olabilmek için, uygun yaşam alanlarının olduğu yerlere doğru göç etmeleri de muhtemel sonuçlar arasında görülmektedir. Dağlık alanlarda gördüğümüz vejetasyon kuşaklarında ve orman sınırında yüksek rakımlara doğru bir kayma beklentisi de bu göçlere örnek olarak verilmiştir (ÇŞB, 2018).

İklimlerdeki değişiklikler yeryüzündeki tüm kıtalarda doğal kaynaklar ve insanlar üzerinde etkilere sebep olmaktadır. Canlı sistemlerinin tümünde meydana gelen etkilerin gözlemlenen iklim değişikliklerinden kaynaklandığı ortaya konulmaktadır (IPCC, 2014).

Sera gazları emisyonlarının sürekli artması, iklim sisteminin tüm bileşenlerinde daha fazla ısınmaya ve uzun süreli etkilere sahip değişikliklere neden olarak, insanlar ve ekosistemler üzerinde şiddetli, yaygın ve geri döndürülemez sonuçlar doğurmaya devam edecektir (IPCC; 2021).

Kümülatif olarak CO₂ emisyonları 21. yüzyılın sonlarında ve sonrası dönemde küresel ortalama yüzey ısınmasını büyük ölçüde belirleyici olacaktır. Sera gazı emisyonu tahminleri, hem sosyo-ekonomik hem de iklim politikalarına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir.

Tüm emisyon senaryoları değerlendirmeleri, yüzey sıcaklığının 21. yüzyılda yükseleceği öngörüsünü desteklemektedir. Bu öngörüye ilaveten, sıcak hava dalgalarının daha sık meydana geleceği ve uzun süreler devam edeceği, yağışların düzensizleşeceği, bazı bölgelerde artarken bazı bölgelerde azalacağı öngörülmektedir. Okyanuslar içinde ısınma ve asitliğin artacağı, buzulların erimesi ve ısınan suların genişmesi nedeniyle deniz seviyelerinin yükselmesi beklenmektedir (IPCC; 2014; 2021; 2022, Tolunay, 2019). İklim değişikliğinin bu etkilerinin genetik seviyeden ekosistemler düzeyine ve hatta biyomlar düzeyinde biyolojik çeşitlilik üzerinde büyük oranda önemli sonuçları olacağı değerlendirilmektedir (Tolunay, 2019).

İklim değişiklikleriyle bugüne kadar gözlemlenen mevcut risklerin artacağı ve canlı sistemleri için yeni risklerin ortaya çıkacağı beklenmektedir. Mevcut riskler ve olası riskler dünya üzerinde eşit olarak dağıtılmış olmayacaktır; çünkü dezavantajlı ülkeler her zaman daha çok etkilenen konumda olacaklardır. Günümüzde insan kaynaklı sera gazı emisyonları durdurulsa bile, iklim değişikliği ve buna bağlı birçok etki yüzyıllarca devam edecektir. Isınmanın boyutu arttıkça geri döndürülemez sonuçların ortaya çıkma olasılığı sürekli artacaktır. Nitekim IPCC (2021) tarafından deniz seviyelerindeki yükselme ve buzulların erimesinin geri döndürülemez boyuta ulaştığı açıklanmıştır.

2.2. İKLİM MODELLERİ

Küresel İklim Modeli olarak da adlandırılan genel dolaşım modeli, iklim sisteminin atmosferin, okyanusların ve kara yüzeyinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine ve süreçlerine dayanan üç boyutlu, sayısal bir temsildir (Edwards, 2011; Harris ve diğ., 2014). Bu yönüyle, küresel iklim modelleri atmosferdeki artan sera gazı emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki etkisini tahmin etmeye hizmet edecek en gelişmiş araçlar olarak tanımlanmaktadır (MGM, 2015).

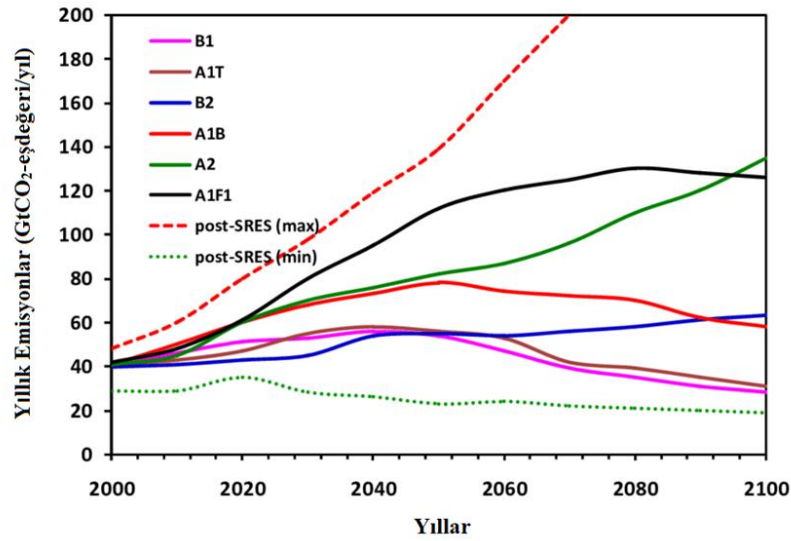
İklim modelleri sayesinde gelecek dönemler için yapılacak tahminler, birtakım belirsizliklere ve kısıtlara sahiptir. Bünyesinde barındırdığı belirsizlikler ve zorluklara rağmen yine de gelecekteki iklimlerin tahminini yapabilmenin vazgeçilmez araçları iklim modelleridir. Gelecek dönem iklim tahminleri için kullanılan genel dolaşım modellerinin çok büyük pikseller üzerinden üretilmesi yerelde anlamlı yorumlar yapmayı zorlaştırmaktadır. Bunun üstesinden gelebilmek adına yapılan işlemlerden bir tanesi ölçek küçültme işlemidir. Fakat ölçek küçültme işleminin uygulanmasıyla veride yine birtakım belirsizliklerin olacağı unutulmamalıdır (Flint ve Flint, 2012; Lindner ve diğ., 2014; MGM, 2015). Bölgesel veya ülke düzeyinde daha ayrıntılı bilgiler sağlamak amacıyla, bölgenin topoğrafyasını daha iyi temsil eden ve topoğrafyanın iklim üzerindeki etkilerini göz ardı etmeyecek ölçek küçültme ile elde edilen bölgesel iklim modelleri (RCM), küresel iklim modellerine (global climate model (GCM₂)) göre daha avantajlı ve kullanışlıdır (Lindner ve diğ., 2014; MGM, 2015).

Türkiye için bölgesel iklim modeli üretilmesi amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından küresel iklim modellerine göre sıcaklık ortalamaları karşılaştırılmış ve Türkiye ve çevresini temsil eden en tutarlı küresel iklim modellerinden birisinin HadGEM2 model ailesi olduğu tespit edilmiştir (MGM, 2015; ÇŞB, 2016; 2018). HadGEM2 İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen iklim projeksiyon modelidir. HadGEM2 model ailesi, birleştirilmiş atmosfer-okyanus yapılandırması ile içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi ve atmosfer kimyasının bulunduğu bir yeryüzü sistemi bileşenlerini içermektedir (Collins ve diğ., 2011; Martin ve diğ., 2011). Bitki örtüsü ve karasal karbon döngüsünün HadGEM2-ES modeline dahil edilmesinin nedeni, atmosfer ile karasal biyosfer arasındaki CO₂ değişimini ve vejetasyon dağılımındaki değişiklikleri modellemek olarak ifade edilmiştir (Collins ve diğ., 2011).

2.3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI

Hükümetlere iklim ile ilgili politika geliştirmelerinde kullanabilecekleri iklim değişikliğinin bilimsel temeli, etkileri ve gelecekteki riskleri ile mücadele ve uyum konularında değerlendirmeler ve bilgiler sağlamak amacıyla 1988’de kurulan IPCC, 1992 yılında küresel dolaşım modellerinde kullanılacak ve iklim değişikliği senaryolarını geliştirmeye hizmet edecek ilk emisyon senaryolarını (IS92) yayınlamıştır (IPCC, 2000). İlk emisyon senaryosu IPCC’nin belirli aralıklarla yayınladığı değerlendirme raporlarında yer bulmuş ve bu süreç dönem dönem farklı yaklaşımlarla yeni emisyon senaryolarının üretilmesiyle devam etmiştir.

IPCC tarafından 2007 yılında Dördüncü Değerlendirme Raporunun (AR4) yayınlanmasıyla iklim modellerinde Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES) ile emisyon senaryoları kullanıma sunulmuştur. SRES emisyon senaryoları farklı demografik, ekonomik ve teknolojik süreçler sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını kapsayan ve alternatif kalkınma koşullarını araştıran A1, A2, B1 ve B2 şeklinde gruplandırılmış dört senaryo ailesinden meydana gelmektedir (Şekil 2.2) (IPCC, 2007).



Şekil 2.2: Emisyon senaryoları özel raporu (SRES) ve yıllık sera gazı emisyonları (IPCC, 2007).

SRES emisyon senaryolarından A1 senaryosu teknolojik değişimin alternatif yönlerini tanımlayan A1FI (fosil yakıt yoğun), A1T (fosil olmayan enerji kaynakları) ve A1B (tüm kaynaklar arasında denge) şeklinde tanımlanan üç alt gruba ayrılır. B1 senaryosu A1 senaryosu ile aynı küresel nüfusa sahip fakat ekonomik yapılarda daha hızlı değişkenliklerin olduğu dünyayı tanımlarken, B2 senaryosu ise ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlikte yerel

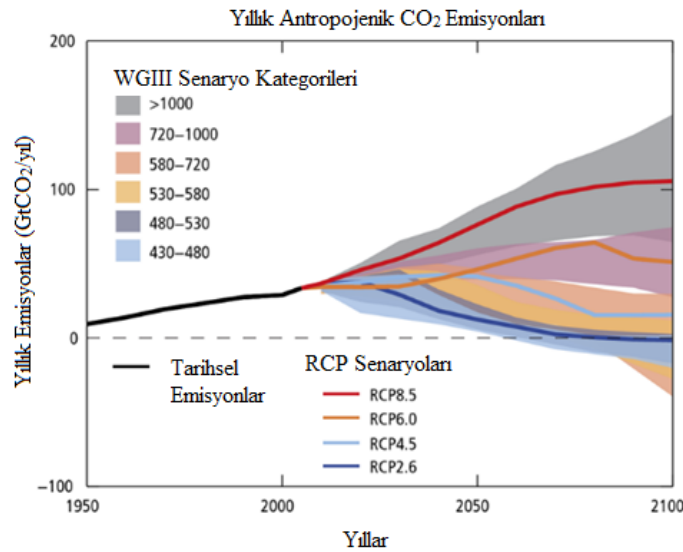
çözümleri ön plana çıkaran, orta derece nüfusa sahip, ekonomik büyüme temelli bir yapıya dayanır. Son olarak A2 senaryosu da yüksek nüfus artışının, yavaş ekonomik gelişmelerin ve durağan teknolojik değişimin varsayıldığı bir dünyayı tanımlamaktadır (IPCC, 2007).

Tablo 2.1: 2090-2099 yılları için 1980-1999 yıllarına göre SRES emisyon senaryoları temelinde öngörülen sıcaklık değişimleri (IPCC, 2007).

SRES	Sıcaklık değişimi (°C) (2090-2099'da 1980-1999'a göre)	
	En iyi tahmin (°C)	Muhtemel aralık (°C)
Sabit yıl 2000 konsantrasyonları	0,6	0,3-0,9
B1	1,8	1,1-2,9
A1T	2,4	1,4-3,8
B2	2,4	1,4-3,8
A1B	2,8	1,7-4,4
A2	3,4	2,0-5,4
A1FI	4,0	2,4-6,4

Beşinci Değerlendirme Raporunun (AR5) 2013-2014 yıllarında yayınlanmasıyla, iklim modellerinde SRES emisyon senaryolarının yerini Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) senaryoları almıştır (Harris ve diğ., 2014).

Temsili Konsantrasyon Rotaları, 21. yüzyılın 4 farklı rotasını tanımlamaktadır. Bunlar; sera gazı emisyonları ve atmosferik konsantrasyonları, hava kirliliği emisyonları ve arazi kullanımından oluşmaktadır. RCP'ler, iklim sistemi için sonuçları yansıtmak üzere çeşitli iklim modeli simülasyonlarına girdi olarak Entegre Değerlendirme Modellerinin (IAMs) kullanılmasıyla geliştirilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Temsili konsantrasyon rotaları (RCPs) ve yıllık CO₂ emisyonları (IPCC, 2014).

Harris ve diğ. (2014)'e göre iklim projeksiyonları gelecekteki iklimin tahminleri değildir. Bunlar, bilimsel çalışmalara dayanan bir dizi makul iklim senaryosu altında gelecekteki olası iklimlerin modellerinden türetilmiş açıklamalarıdır. Temsili Konsantrasyon Rotaları, entegre değerlendirme modelleyicileri, iklim modelleyicileri, karasal ekosistem modelleyicileri ve emisyon envanteri uzmanları arasında geliştirilen iş birliğinin bir ürünüdür (Van Vuuren ve diğ., 2011a).

Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) 2.6, yüzyılın sonunda $2,6 \text{ W/m}^2$ (yaklaşık 450 ppm CO_2 eşdeğeri) radyatif (ışınımsal) zorlama değerine düşürmek için önemli derecede bir emisyon azaltımı senaryosudur. Bu senaryoya göre, yüzyıl boyunca kümülatif emisyon azaltımı referans seviyeye kıyasla yaklaşık %70'e ve 2100 yılında ise %95'in üzerine ulaşmaktadır (Van Vuuren ve diğ., 2011b).

Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) 4.5, 2100 yılında $4,5 \text{ W/m}^2$ (yaklaşık 650 ppm CO_2 eşdeğeri) radyatif (ışınımsal) zorlama değerini aşmadan bu değerinde stabilize eden uzun dönemli, küresel sera gazları emisyonlarını, kısa yaşam süreli türleri ve arazi kullanımı arazi örtüsünün bir senaryosudur (Thomson ve diğ., 2011).

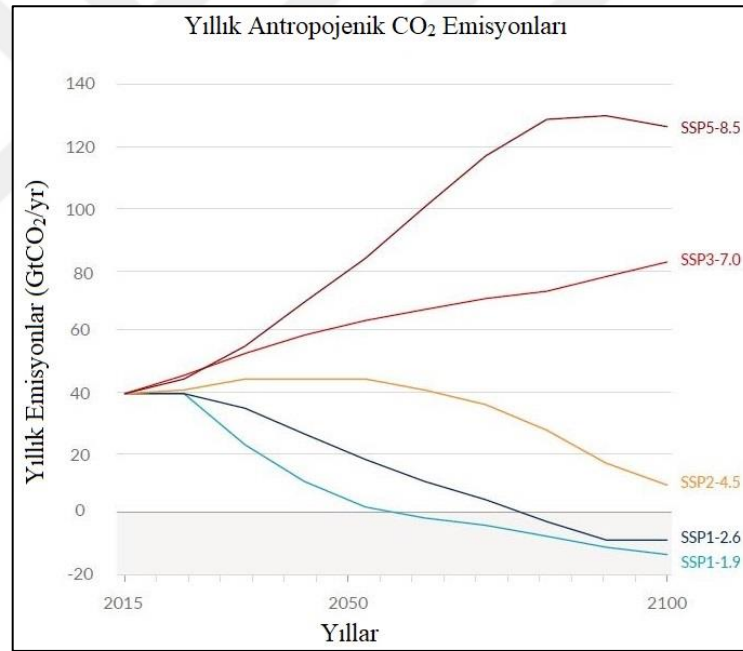
Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) 6.0, 2100 yılında $6,0 \text{ W/m}^2$ (yaklaşık 850 ppm CO_2 eşdeğeri) radyatif (ışınımsal) zorlama değerini aşmaması hedeflenen ve bunun için iklim politikasına müdahale eden bir stabilizasyon senaryosudur. Buna göre emisyon azaltımına yönelik açık ve net politikalar olmaz ise 2100 yılına gelindiğinde radyatif zorlamanın $6,0 \text{ W/m}^2$ 'yi aşacağı beklenmektedir (Masui ve diğ., 2011).

Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) 8.5, yüzyılın sonunda $8,5 \text{ W/m}^2$ (yaklaşık 1.350 ppm CO_2 eşdeğeri) radyatif (ışınımsal) zorlama değerine ulaşan yüksek bir sera gazı emisyonu ifade eden ve herhangi bir spesifik emisyon azaltım hedefi içermeyen bir senaryodur (Riahi ve diğ., 2011). 2100 yılına kadar öngörülen küresel ortalama sıcaklık artışları için dört farklı senaryo grubuna ayrı ayrı bakıldığında, RCP2.6'ya göre $0,2-1,8^\circ\text{C}$, RCP4.5'e göre, $1,0-2,6^\circ\text{C}$, RCP6.0'a göre $1,3-3,2^\circ\text{C}$ ve RCP8.5'e göre $2,6-4,8^\circ\text{C}$ aralığında sıcaklık artışları beklenmektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: 2100 yılı temsili konsantrasyon rotaları (RCPs) ve öngörülen ortalama sıcaklık artışları (Harris ve diğ., 2014).

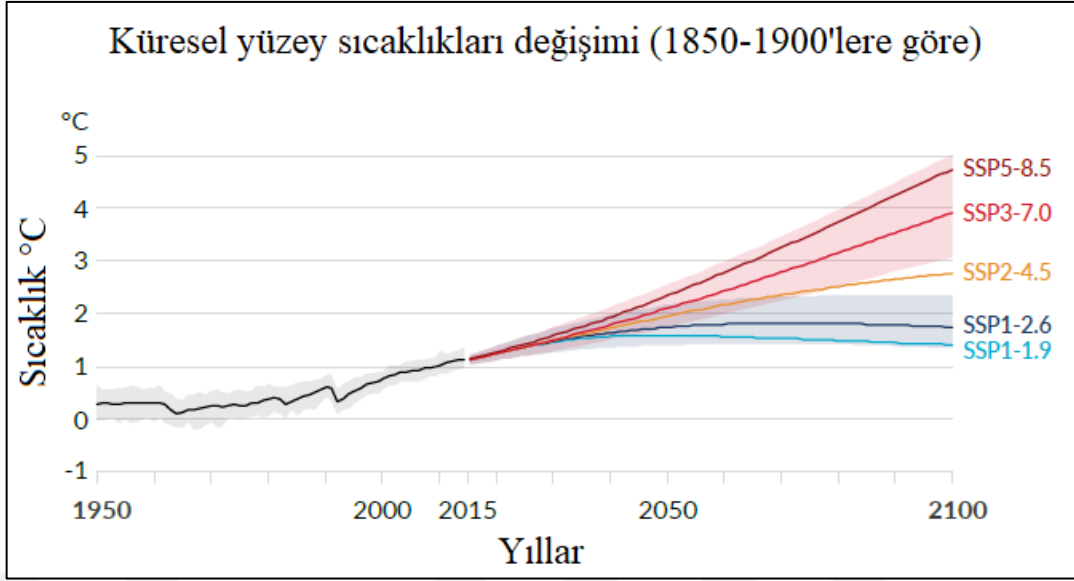
RCPs	Işınımsal Zorlama (W/m ²)	CO ₂ Eşdeğeri Konsantrasyon (ppm)	Işınımsal Zorlama Değişimi	Küresel Ortalama Sıcaklıklarda Öngörülen Artış (1990'a göre 2100 için)	En Yakın SRES Eşdeğeri
RCP8.5	8,5	1.350	Yükselme	2,6-4,8 °C	SRES A1F1
RCP6.0	6,0	850	Hedefi Geçmeden Stabilizasyon	1,3-3,2 °C	SRES B2
RCP4.5	4,5	650	Hedefi Geçmeden Stabilizasyon	1,0-2,6 °C	SRES B1
RCP2.6	2,6	450	Düşüş	0,2-1,8 °C	Eşdeğeri Yok

IPCC tarafından 2021 yılında Altıncı Değerlendirme Raporunun (AR6) I. Çalışma Grubu Raporu'nun yayınlanmasıyla, iklim modellerinde Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) emisyon senaryolarının yerini Ortak Sosyoekonomik Rotalar (SSP) emisyon senaryosu grupları almıştır (Şekil 2.4) (IPCC, 2021).



Şekil 2.4: Ortak sosyoekonomik rotalar (SSPs) ve yıllık CO₂ emisyonları (IPCC, 2021).

Altıncı Değerlendirme Raporu'nda ele alınan orta (SSP2-4.5), yüksek (SSP3-7.0) ve çok yüksek (SSP5-8.5) sera gazı emisyonu senaryolarına göre 1850-1900'lere kıyasla 1,5°C'lik ısınmanın 21. yüzyılın sonuna gelmeden aşılmış olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 2.5; Tablo 2.3) (IPCC, 2021; 2022).



Şekil 2.5: SSP senaryolarına göre küresel yüzey sıcaklıkları değişimi (IPCC, 2021).

Tablo 2.3: Ortak sosyoekonomik rotalar (SSPs) ve öngörülen ortalama sıcaklık artışları (IPCC, 2021).

SSPs	Kısa Vade (2021-2040)		Orta Vade (2041-2060)		Uzun Vade (2081-2100)	
	En iyi tahmin (°C)	Muhtemel aralık (°C)	En iyi tahmin (°C)	Muhtemel aralık (°C)	En iyi tahmin (°C)	Muhtemel aralık (°C)
SSP5-8.5	1,6	1,3-1,9	2,4	1,9-3,0	4,4	3,3-5,7
SSP3-7.0	1,5	1,2-1,8	2,1	1,7-2,6	3,6	2,8-4,6
SSP2-4.5	1,5	1,2-1,8	2,0	1,6-2,5	2,7	2,1-3,5
SSP1-2.6	1,5	1,2-1,8	1,7	1,3-2,2	1,8	1,3-2,4
SSP1-1.9	1,5	1,2-1,7	1,6	1,2-2,0	1,4	1,0-1,8

2.4. TÜR DAĞILIM MODELLEMESİ

Bir ekosistemin var olmasını sağlayan faktörler biyotik ve abiyotik olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu faktörlerin kendi arasında ve birbirleri üzerinde çeşitli etki ve ilişkileri vardır ve bu faktörler doğal koşullar altında denge halindedirler. Orman ekosistemine bakıldığında, bir ağacın bulunduğu yerde tutunması, gelişmesi ve varlığını sürdürebilmesi, iklim, toprak, ana materyal, topoğrafya ve biyotik faktörler gibi ekosistemi oluşturan çok sayıda ekolojik faktöre bağlıdır ve bu ekolojik faktörlerin ağacın hayatı üzerinde bir dizi etkisi vardır (Çepel, 1988; Kantarcı, 2000; Kantarcı, 2005).

Bitkiler âleminde bitki ve bitkilerin yayılışı ile fiziksel çevre etmenlerinin ilişkilendirilmesi eskiden beri süre gelen bir gelenektir. Bitki türlerinin hayatını devam ettirdiği çevrelerde çeşitli iklim elemanlarının ve karmaşık çevresel faktörlerinin etkisi büyüktür. Bitkiler bu iklim elemanları ve faktörlerinin ekstrem değerleri arasında varlığını sürdürürler ve bu faktörlere karşı belirli bir tolerans sınırları vardır. Bu ekstrem değerler onların yaşam alanlarını kısıtlayan sınırları ortaya koyar, bu sınırlar dışında varlıklarını ve nesillerini sürdüremezler (Odum ve Barrett, 2008; Akman, 2011). Bu sınırlara sahip alanlar türlerin uygun yetiştirme ortamlarını yani potansiyel dağılım alanlarını oluştururlar. Fakat türlerin mevcut yayılış gösterdiği alanlar yani aktüel alanlar her zaman türün potansiyel dağılım alanlarını temsil etmeyebilir bununla beraber sebeplerinden bir tanesi insan kaynaklı etkiler yüzünden doğanın tahrip edilmesindendir (Şentürk, 2012). Doğal dengesi bozulmuş alanların tekrar eski haline getirilmesine yönelik çalışmalarda türlerin ya da ekosistemlerin potansiyellerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

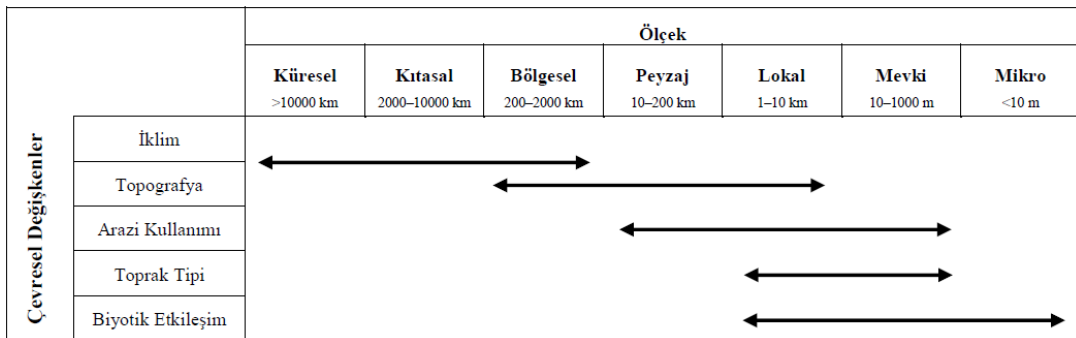
Ağaç türlerine ait potansiyel dağılım haritaları ağaçlandırma çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Bu altlık haritalar doğru tür ve/veya orijin seçiminde önemli katkılar sağlamaktadır. Türlerin potansiyel dağılım alanlarının belirlenmesi ve haritalanması doğal kaynak yönetiminden ekosistemlerin restorasyonuna ekoloji tabanlı birçok çalışmada önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmalara biyolojik çeşitlilik değerlendirme, yetiştirme ortamı yönetimi, ekosistemlerin restorasyonu, tür ve habitat koruma planlama, istilacı tür yönetimi, ekosistem modelleme ve çevresel değişimlerin türler ve ekosistemler üzerindeki etkilerinin tahmini örnek olarak verilebilir. Bu çalışmaların gerçekleştirilmesinde de tür dağılım modellemesine başvurulmaktadır (Franklin, 2010). Son yıllarda tür dağılım modellerine ilgi her geçen gün artmaktadır.

İklim değişikliğinin ormanların gelecekteki ağaç türü kompozisyonlarına etkilerinin değerlendirilebilmesi için ormanların mevcut coğrafik yayılışlarını kontrol eden faktörlerin iyi anlaşılması ve modellenmesi gerekmektedir. Bu faktörlerin güncel şartlar altında başarılı şekilde modellenmesi, türlerin potansiyel dağılımlarının tespitinde ve değişen çevresel şartlar altındaki yeni yayılış ve limitlerin tahmininde de önemli rol oynamaktadır (Sykes ve Prentice, 1996).

Ağaç türü dağılım modelleriyle iklimin nasıl değişeceğine dair varsayımlar içeren iklim senaryoları temelinde türler için uygun yayılış alanlarında meydana gelebilecek değişiklikler tahmin edilir ancak bu modeller genellikle toprak uygunluğu, coğrafik bariyerler ve tohum yayılış mesafeleri gibi kısıtlayıcı faktörleri hesaba katmazlar (Price ve diğ. 2013).

López-Tirado ve Hidalgo (2016) ağaç türlerinin küresel değişimlerin etkisiyle yayılış alanlarında değişikliklere gittiklerini ve bu durumun en çok kendi yayılış alanlarının sınırlarında büyüyen türler için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Yayılış alanı sınırlarında bulunan bireyler değişimlerden en çok etkilenebilecek hassas konumdadırlar.

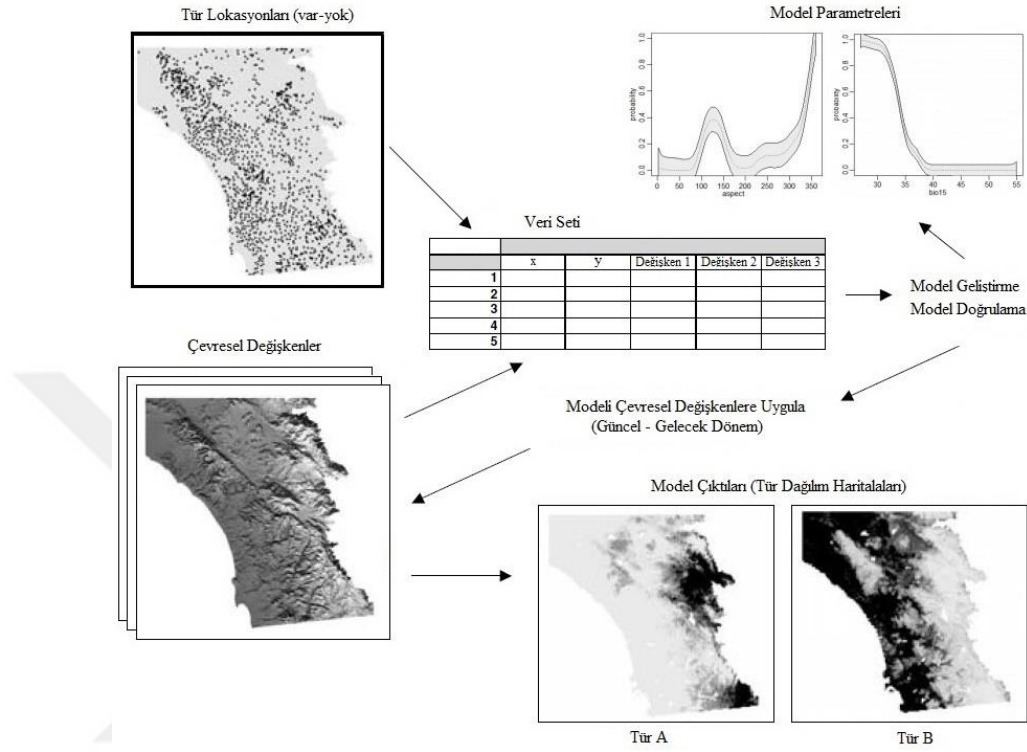
İklim değişikliğinin türler üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar tür dağılım modellemesi çalışmalarıdır. Tür dağılım modelleri iklim değişikliği gibi çevresel faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir. Bazı faktörler kısıtlı alanlarda etki gösterirken, iklimin türlerin yayılışı üzerindeki etkisi küresel ölçekten lokal ölçeğe kadar farklı düzeylerde değişmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Çeşitli ölçeklerde değişik faktörlerin türlerin yayılışına etkileri (Pearson ve Dawson, 2003).

Bugün tür dağılım modellemesi adıyla anılan türlerin yayılışı ile çevresel faktörler arasındaki ilişkiye dayanan çalışmalar, geçmişte habitat uygunluk indeksi haritalama (Clark ve diğ., 1993), tahmini vejetasyon haritalama tahmini (Franklin, 1995), habitat dağılım modelleme (Guisan ve Zimmermann, 2000), biyoklimatik örtü modelleme (Pearson ve Dawson, 2003), niş modelleme

(Stockwell, 2006) ve habitat uygunluk modelleme (Hirzel ve Le Lay, 2008) gibi dönem dönem farklı isimlerle anılmışlardır (Miller, 2010). Tür dağılım modeli geliştirme ve tahmine dayalı haritalama işlemlerine ait işlem adımları Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Tür dağılım modeli geliştirme ve tahmine dayalı haritalama adımları (Franklin, 2010).

2.5. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE TÜRLERİN DAĞILIMININ MODELLEME İLE BELİRLENDİĞİ ÇALIŞMALAR

Dünyada ve ülkemizde birçok tür için tür dağılım modelleri geliştirilmiş ve iklimin türlerin yayılış alanları üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu bölümde tür dağılım modelleri kullanılarak ağaç türlerinin potansiyel dağılım alanlarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Song ve diğ. (2004) Tibet platosunda mevcut ve gelecekteki iklim senaryoları altında altı baskın ağaç türünün dağılımını modellemişlerdir. Modelde en soğuk ayın minimum sıcaklığı, en sıcak ayın maksimum sıcaklığı ve vejetasyon dönemindeki toprak neminin minimum değeri biyolojik değişkenler olarak kullanılmıştır. Modelleden sonra simüle edilen potansiyel dağılım ve aktüel dağılım karşılaştırılmıştır. *Abies spectabilis* (D. Don) Spach, *Picea likiangensis* var. *linzhiensis* W.C. Cheng & L.K. Fu, *Pinus densata* Masters, *Larix griffithiana* Carrière gibi ağaç türlerinin simüle edilen alanı aktüel alanlarından biraz daha geniş çıkmıştır. *Quercus*

aquifolioides Rehder & E.H. Wilson ve *Betula patyphylla* Sukaczew türlerinin simüle edilen alanları da aktüel alanlardan daha dar çıkmıştır. Genel olarak potansiyel dağılım ile aktüel dağılımların tutarlı olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar modeli 2100 yılı için atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun 500 ppm olduğu bir senaryoya göre simüle etmişlerdir. Modelleme sonuçlarına göre, *Abies spectabilis*, *Picea likiangensis* var. *linzhiensis*, *Pinus densata* türlerinin yayılış alanlarının kuzey ve batı yönüne kayacağı ve genişleyeceği, *Larix griffithiana* ve *Quercus aquifolioides* türlerinin yayılış alanlarının batıya doğru uzanacağı ve kuzeye doğru kayacağı tahmin edilirken Himalaya huşu (*Betula utilis* D. Don) türünün yayılış alanının kuzeye doğru kayacağı, fakat alan olarak daralacağı tahmin edilmiştir.

Garzon ve diğ. (2006) İber Yarımadası için üç farklı makine öğrenmesi tekniği kullanarak sarıçamın (*Pinus sylvestris* L.) potansiyel dağılımını modellemişler ve habitat uygunluklarını tahmin etmişlerdir. Modelleme çalışmalarında sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği (CART), yapay sinir ağları (ANN) ve random forest (RF) algoritmalarını kullanmışlar, iklimsel ve topoğrafik değişkenler üzerinden sarıçam var-yok haritalarını üretmişlerdir. Uygulamada model değerlendirmeleri ve değişken seçimlerini ROC analizine göre ve nihai var-yok haritalarını da kappa istatistiğinin maksimizasyonu yoluyla elde etmişlerdir. Model başarısının değerlendirmesinde elde ettikleri eğrinin altında kalan alan (AUC) değerleri CART, ANN ve RF için sırasıyla 0,92; 0,94 ve 0,98'dir. Üç algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, RF tekniğinin en başarılı sonucu verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Tüm model sonuçları, İber Yarımadası'nda sarıçamın potansiyel dağılımının güncel dağılımdan oldukça fazla olduğunu göstermiştir.

Prasad ve diğ. (2006) Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusunda yaygın olarak yayılış gösteren dört ağaç türünde güncel döneminin ve iklim değişikliği senaryolarına göre gelecek dönemin vejetasyon haritası için modelleme çalışması yapmışlardır. Modellenen ağaç türleri *Pinus taeda* L., şeker akçaağacı (*Acer saccharum* Marshall), Amerika kayını (*Fagus grandifolia* Ehrh.) ve ak meşe (*Quercus alba* L.) türleridir. Çalışmada regresyon ağacı analizi (RTA), torbalama ağaçları (BT), rassal orman (RF) ve çok değişkenli uyarlanabilir regresyon uzanımları (MARS) istatistik modelleri kullanılarak ağaç türlerinin önem değerlerinin (importance values) mekânsal dağılımı üzerinden tahmini vejetasyon haritaları oluşturulmuştur. Daha sonra modeller, kappa istatistiği ve korelasyon tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Nihai sonuçlara bakıldığında, BT ve RF'nin belirlenen değişkenler yardımıyla türlerin güncel ve gelecek yayılışlarında en yorumlanabilir ve açıklayıcı model başarısını gösterdiği görülmüştür. RTA'nın da BT ve RF

kadar olmasa da iyi sonuçlar verdiğini, fakat MARS'ın sadece güncel durum için elverişli gelecek dönem tahminleri için uygun sonuçlar sağlamadığı sonucuna ulaşmışlardır. Her modelin kendine göre güçlü yönleri göz önünde bulundurulduğunda RTA, BT ve RF istatistik modellerinin beraber kullanılmasıyla elde edilecek sonuçların daha elverişli olabileceği ifade edilmiştir. Tek bir model kullanma durumunda ise RF'nin diğerlerine göre oldukça öne çıkan bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gómez-Mendoza ve Arriaga (2007) Meksika'da meşe ve çam türlerinin yayılışına iklim değişikliği etkilerinin modellenmesi çalışmasında, 34 farklı meşe ve çam türü hassasiyetini incelemişlerdir. HadCM2 iklim modelini bölgesel ölçeğe indirgemişler ve ortalama yıllık sıcaklık ile yağış değişkenlerini kullanmışlardır. Kural kümesi üretimi için genetik algoritma (GARP) modelinin kullanıldığı çalışmada şiddetli (IPCC-IS92a) ve mutedil (IPCC-IS92b) ısınma düzeyinde iki farklı iklim değişikliği senaryosu test edilmiştir. Güncel yayılışlarda ortalama sıcaklık 20,2 °C ve yağış 793 mm'dir. 2050 yılı için şiddetli senaryoda ortalama sıcaklık 22,7 °C ve yağış 660 mm, mutedil senaryoya göre ise ortalama sıcaklık 21,8 °C ve yağış 721 mm'dir. Modelleme sonuçlarına göre toplam 34 ağaç türünden 4 çam ve 4 meşe türünün iklim değişikliğinden daha fazla etkilenecekleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre araştırmacılar koruma tedbirlerinin alınmasının önemine vurgu yapmış, gerek görülmesi halinde gen kaynaklarını korumak için ex-situ korumaya başvurulmasını önermişlerdir.

Evans ve Cushman (2009) Amerika Birleşik Devletleri Idaho Panhandle Ulusal Ormanları'nda geleneksel vejetasyon haritalarına alternatif olarak türlerin bulunma oranlarını tür düzeyinde ve piksel ölçeğinde tahmin edip sürekli bir peyzaj değişkeni olarak haritalamak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada random forest topluluk öğrenme yaklaşımı kullanılarak 3.883 km² alanda dört (4) ibrelili ağaç türü (Alpin göknarı (*Abies lasiocarpa* Endl.), Panderosa çamı (*Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson), boylu mazı (*Thuja plicata* Donn) ve adi duglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) için iklim, topoğrafya ve spektral değişkenlere dayanan bulunma olasılığı tahmini yapmışlardır. Modelleme işlemi sonunda model başarısının değerlendirilmesini, duyarlılık, özgüllük, kappa, AUC değerleri ile yapmışlar ve oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Dört tür içinde elde edilen ayrı ayrı modellerde kappa istatistikleri 0,86'dan yüksek, duyarlılık ve özgüllük değerleri çapraz doğrulamada istatistiksel önemde sonuçlar vermiş ve AUC değeri ise her model için 0,98'in üzerinde sonuçlanmıştır. Modelleme sonucunda, dört türünde var olmalarını en açıklayıcı ve önemli değişkenlerin iklimsel değişkenler olduğu ortaya konmuştur.

Trisurat ve diğ. (2009) Tayland'ın kuzeyinde orman ağaçlarının yayılışlarının modellenmesi ve iklim değişikliğine uyum konusunda yaptıkları çalışmada genetik kaynakların korunması ve yönetimi amacıyla 6 herdem yeşil ve 16 yapraklı ağaç türü seçmişlerdir. Bu ağaç türlerinin yayılışlarındaki iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesinde 2050 yılı için HadCM3 iklim modeli ve SRES-A2 emisyon senaryosu kullanılmıştır. Tür dağılım haritalarının üretilmesinde maksimum entropi (MaxEnt) tekniği kullanılmıştır. Her türün dağılım gösterdiği alanlarda bulunma verisinin %75'i model geliştirmek ve %25'lik kısmı ise model başarısının test edilmesi için bağımsız veri seti olarak ayrılmıştır. Model başarısı değerlendirmesi için de AUC metriğine başvurulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen konumsal yayılış modellerinden çıkarılan sonuçlara göre, seçilen türlerin mevcut yayılışları ile tahmin edilen gelecekteki yayılışları arasında toplam alan kapsamında çok büyük farklılıklar yoktur. Fakat ana değişiklikler batı ve kuzey bölgelerde gözlemlenmiştir. Genel hatlarıyla, herdem yeşil ağaç türlerinin yapraklılardan daha fazla etkilenmesi beklenmektedir. Bu bağlamda, herdem yeşil ağaç türü topluluklarının 2050 yılında daha düşük sıcaklıkların olacağı öngörülen kuzeye doğru kayacakları, yapraklı türlerin ise yayılış aralıklarını genişleteceği tahmin edilmektedir.

Özkan ve Mert (2010) 'nin Isparta-Yukarı Gökdere Yöresi'nde kasnak meşesi (*Quercus vulcanica* Boiss. & Heldr. ex Kotschy) üzerine yaptıkları 2050 ve 2080 yılı muhtemel potansiyel dağılım alanları çalışmasında, mevcut iklim verileri ile yayılışlar arasındaki ilişkileri regresyon ağacı yöntemi ile araştırmışlar ve IPCC'nin SRES A2 ve B2 senaryolarına göre 2050 ve 2080 yılları için kestirimde bulunmuşlardır. Analiz sonuçlarına göre kasnak meşesinin yayılışında etkisi olan en önemli değişkenin temmuz ve aralık aylarına ait yağışların olduğunu tespit etmişlerdir. Bu değerlendirme sonucuna göre, B2 senaryosu altında 2080 yılında kasnak meşesinin yayılış alanının yoğun şekilde daralacağı, A2 senaryosuna göre ise 2080 yılında türün yayılış göstermeyeceği yönünde bir kestirimde bulunmuşlardır.

Şentürk ve diğ. (2010) Sütçüler Yöresi Sipahiler-Hacıaliler Mevkiinde orta ölçekte bir alanda karaçam ve kızılçam potansiyel dağılım haritalarını çıkarmışlardır. Çalışmada açıklayıcı değişkenler olarak alana ait sayısal iklim verilerini kullanmışlardır. Türlerin potansiyel dağılım haritalarını üretmek için Desktop Garp yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen haritalar örnek alanların gerçek verileri ile karşılaştırıldığında doğruluk yüzdelerinin kızılçam için %91 ve karaçam için %86 olduğu belirlenmiştir.

Zeydanlı ve diğ. (2010)'nın Seyhan Havzasında yaptıkları bir modelleme çalışmasında kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Toros göknarı (*Abies cilicica* (Antoine & Kotschy) Carrière) ve Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich) için A2 ve B2 senaryolarını kullanarak 2020, 2050 ve 2080 yılları için tahminler yapmışlardır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, güncel dağılım alanlarından kızılçamda %56,2'sinin, karaçamda %68,5'inin, Toros göknarında %85,7'sinin ve Toros sedirinde %93,1'inin 2050 yılı için potansiyel dağılım alanı olarak uygun olmayacağını öngörmüşlerdir.

Fer (2011) iklim değişikliğinin Türkiye orman ekosistemleri üzerine etkilerinin modellenmesi isimli yüksek lisans çalışmasında, LPJ-GUESS (Lund-Potsdam-Jena General Ecosystem Simulator) modeli kullanılarak ekosistem dağılımını 1961-1990 dönemi için iklim ve atmosferik CO₂ konsantrasyon verileri ve FAO dünya toprak sınıflandırması verilerini kullanarak modellemiştir. Daha sonra SRES-A2 senaryosuna göre de 2010-2100 arası dönemdeki dağılımı tahmin etmiştir. Yapılan simülasyonlara göre artan sıcaklık ve uzayan büyüme sezonunun Akdeniz iğne yapraklı türler ile sığağa ve kuraklığa dayanıklı çalı türlerinin kuzeye doğru ilerleyeceği sonucunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak çıktılar biyokütle ve ekosistem yıllık net üretimi değerleri yönünden de irdelenmiştir.

Güner ve diğ. (2011) kuşburnu (*Rosa canina* L.) dağılımında etkisi olan çevresel faktörlerin belirlenmesi ve potansiyel dağılımların modellenmesi için bir çalışma yürütmüşlerdir. Potansiyel dağılımın modellenmesinde genelleştirilmiş eklemeli model (GAM) uygulanmış olup yükselti, eğim derecesi, bakı ve anakaya değişkenlerinin dağılımda etkili olduğu ortaya konmuştur. Aynı zamanda kuşburnu için uygun habitat alanlarının belirlenmesinde yardımcı olacak gösterge türlerin tespiti de interspesifik korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Model sonuçlarına göre kuşburnu kuzeybakılı, eğimli ve orta yamaçları ya da metamorfik ana materyalin olduğu 1.440 m'nin üstündeki sarp alanları tercih etmektedir.

Özkan ve diğ. (2011) Göller Yöresinde ticari değere sahip odun dışı orman ürünlerinin en yüksek potansiyel zenginliğe sahip potansiyel dağılım alanlarını haritalamak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bağımlı değişken olarak tür zenginliği, açıklayıcı değişkenler olarak yeryüzü şekli özellikleri ve iklime ait veriler kullanılmıştır. Bağımlı değişkenin potansiyel dağılım modellemesi için sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği kullanılmıştır. Model bulgularına göre, ticari odun dışı orman ürünleri zenginliğinin coğrafi

dağılımında etkili olan değişkenler yıllık ortalama sıcaklık, radyasyon indeksi, arazi eğim derecesi ve yükselti olarak bulunmuştur.

Özkan ve Şentürk (2012) Akdeniz Bölgesi Yukarıgökdere yöresinde menengiç ağacı (*Pistacia terebinthus* L. subsp. *palaestina* (Boiss.) Engler) için potansiyel dağılım alanlarını modellemişlerdir. Modellemelerde açıklayıcı değişkenler olarak, yükselti, anakaya, eğim, radyasyon indeksi ve topoğrafik pozisyon indeksi kullanılmıştır. Menengiç türünün potansiyel dağılım olasılıkları diskriminant analiz, lojistik regresyon analizi, genelleştirilmiş eklemeli model, sınıflandırma ağacı tekniği gibi farklı teknikler kullanılarak oluşturulmuştur. Bütün modellemelerin sonuçlarına göre, yükseltinin menengiç türünün yayılışını etkileyen en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Her bir modelin başarısı için AUC ölçütüne başvurulmuştur. Oluşturulan 4 model karşılaştırıldığında ise en iyi performans gösteren modelin 0,960 AUC değeriyle genelleştirilmiş eklemeli model olduğu sonucuna varılmıştır.

Şentürk (2012) Akdeniz Bölgesi Sütçüler Yöresinde asli orman ağacı türlerinin potansiyel dağılım alanlarının modellenmesi isimli doktora çalışmasında, mevcut türlerin yayılış gösterebileceği uygun coğrafik dağılım alanlarını tespit etmiştir. Potansiyel dağılımların modellenmesinde lojistik regresyon (LR) analizi ve sınıflandırma ağacı tekniği kullanılmıştır. Sonuçlar çalışma sahasının güneydoğu ve güneybatısındaki 300-1.050 m yüksekliklerin kızılçam için, 1.150-1.700 m arasının karaçam için ve 1.200-1.500 m arasında kireçtaşının hâkim olduğu yerlerde ise boylu ardıcın yetişmesine uygun alanlar olduğunu göstermektedir.

Yalçın (2012) kızılçam ve doğu kayının (*Fagus orientalis* Lipsky.) bugün ve gelecekteki A2 ve B2 senaryoları göre iklim değişikliği altında modellenmesi adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, kızılçamın yüksek irtifalarda daha uygun yetiştirme ortamı bulacağını ve Türkiye'nin kuzey ve kuzeydoğu bölgeleri yönünde kayacağını tahmin etmiştir. Doğru kayının ise, güncel dağılım alanlarının çoğunlukla yok olacağını ve toplam kayın dağılım alanının daralacağını bildirmiştir.

Zeydanlı ve diğ. (2012) Ankara OBM sınırlarında kalan karaçam sahaları için yapmış oldukları çalışmada A2 ve B2 senaryolarına göre, 2050 yılına kadar bölgede doğal olarak yayılış gösteren karaçamların %37,5 inin yaşam alanında bugüne göre hassaslaşma ve uyumsuzluk olacağını tahmin etmektedirler.

Garcia ve diğ. (2013) tarafından Filipinler'de tehdit altındaki 14 orman ağacı türünün habitat uygunlukları ve coğrafik yayılışları üzerinde iklim değişikliğinin sonuçlarını değerlendirmek

için bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada modellemeler biyoklimatik ve biyofiziksel değişkenler kullanılarak MaxEnt yaklaşımıyla yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre tehdit altındaki orman ağacı türlerinin yayılışlarında biyofiziksel değişkenlerin biyoklimatik değişkenlere göre daha belirleyici olduğu belirtilmiştir. Modelleme sonucunda 7 tür için habitat uygunluklarının iklim değişikliğinden pozitif yönde etkilenecek daha geniş yayılış alanları bulacağı, diğer 7 türün ise iklim değişikliğinden negatif etkilenecek mevcut habitatlarından bir kısmını kaybedeceği sonucu çıkmıştır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen tür dağılım modeli ve habitat uygunluk haritaları tehlike altındaki türlerin iklim değişikliğine uyumu kapsamında daha iyi ve sürdürülebilir yönetilmesine temel oluşturacak bir kaynak olarak ele alınabilir.

Özkan (2013) Yukarıgökdere yöresinde Toros sedirinin potansiyel dağılım alanının modellenmesi ve gösterge türlerinin belirlenmesi için yürüttüğü çalışmada açıklayıcı değişkenler olarak iklim ve topoğrafik verileri kullanmıştır. Gösterge türlerin tespitinde ise interspesifik korelasyon analizi uygulamış ve Toros sediri için yörede pozitif ve negatif gösterge türlerini ortaya koymuştur. Potansiyel dağılım olasılıklarını sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği kullanarak görselleştirmiştir. Modeli oluşturan değişkenler yükselti, sıcaklık indeksi, yıllık yağış, eğim derecesi, arazi şekli, topoğrafik pozisyon indeksi'dir. Bunların içerisinde Toros sedirinin yayılışında en önemli etki yapan faktörün yükselti olduğunu tespit etmiştir.

Bede-Fazekas ve diğ. (2014) Akdeniz ibreli türlerinden kızılçam, Halep çamı (*Pinus halepensis* Mill.), sahil çamı (*Pinus pinaster* Aiton.), ve fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) türlerinin iklim örtü modeli (Climate Envelope Model) ile Doğu Avrupa'da Karpatya havzasında don koruması olmaksızın dekoratif amaçlı kullanıma uygun olup olmayacağını incelemişlerdir. Çalışmada IPCC SRES-A1B senaryosuna göre, 2041-2070 yılları arası dönemde iklim değişikliğiyle kızılçam tehlike altında olabileceği tahmin edilirken, havzanın güney bölgesinde Halep çamı ve batı bölgesinde sahil çamı günümüz referans dönemine göre benzer iklim özelliklerine sahip yeni alanlar bulabileceği tahmin edilmektedir.

López-Tirado ve Hidalgo (2014) tarafından İspanya'nın güneyinde Akdeniz Dağları'ndaki sarıçam (*Pinus sylvestris* L. var. *nevadensis* H. Christ), karaçam (*Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco) ve İspanya göknarı (*Abies pinsapo* Boiss.) kalıntı ağaçlarının yayılış alanları modellenmiştir. Çalışmada 250 m çözünürlükte raster haritalar kullanılmıştır. Modelleme çalışmaları SPSS platformunda ikili lojistik regresyon modeli kullanılarak

geliştirilmiş ve geliştirilen tür dağılım modellerinde dört topoğrafik ve sekiz iklimsel değişken kullanılmıştır. Modele katkı yapan değişkenlerden mevsimsel yağış ve ortalama sıcaklıklar en açıklayıcı değişkenler iken, topoğrafik değişkenlerin açıklayıcılığı daha düşük çıkmıştır. Modeller İspanya göknarının okyanusa yakın yağışlı bölgelerde büyüdüğünü, sarıçam ve karaçam türlerinin ise iç bölgelerde yağışın daha düşük olduğu karasal bölgelerde yayılış göstermektedir. Model çıktısı haritalar incelendiğinde, potansiyel dağılım alanlarının her üç türün de güncel dağılım alanlarından daha büyük olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmada kullanılan 250 m çözünürlüğün, çalışma alanında yapılacak olan ağaçlandırma ve planlama faaliyetlerinde uygun alanların belirlenmesinde daha güvenilir sonuçlar sağlayacağı ifade edilmektedir.

Şentürk ve diğ. (2014) Amasya Aydıncı Yöresi'nde saçlı meşenin (*Quercus cerris* L.) yayılışı ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkiyi tür dağılım modellemesi kullanarak incelemişlerdir. Sayısal yükseklik modeli kullanılarak 21 çevresel değişken elde edilmiş ve çalışmada açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmıştır. Saçlı meşe türünün dağılım modellemesi için elde edilen değişkenlere sırasıyla lojistik regresyon analizi ile sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği uygulanmış ve tür modellenmiştir. Model sonuçlarına göre yöredeki yükselti farklılığının saçlı meşenin yayılışında en etkili çevresel faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapıldığında yükseltiye bağlı olarak iklim özelliklerinin önemine değinilmiş ve uygulanacak ormancılık faaliyetlerinde iklim özelliklerinin mutlak suretle dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Gelviz-Gelvez ve diğ. (2015) Meksika'da iklim değişikliği senaryoları altında ekolojik niş modelleme ile yarı kurak alanlarda ekolojik restorasyon çalışmalarında kullanılacak uygun çalı türlerini seçmeye yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. İklim değişikliğine tolerans dahil türlerin ekolojik karakteristikleri dikkate alınmıştır. 17 farklı yarı kurak çalılık alandan 46 farklı tür kaydedilmiş ve en yüksek karakteristik değerine sahip 10 tür seçilmiştir. Bu türlerin iklim değişikliğine tepkisinin ne olacağı tür dağılım modellemesi yardımıyla A2 iklim değişikliği senaryosunun uygulanması ile MaxEnt üzerinden yapılmıştır. Gelecek için yapılan modellemelerde yayılış alanlarını koruyan ya da artıran türler tespit edilmiş ve orta düzey ve uzun dönem restorasyon çalışmalarında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Hu ve diğ. (2015) tarafından Çin'de geniş alanlarda yayılış gösteren doğu mazısı (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) türünün dağılımı üzerinde gelecek iklim değişikliklerinin etkisinin

tahmini yapılmıştır. Bugünkü yayılışlardan yola çıkarak o türün yayılışında yıllık sıcaklık ortalaması, aylık minimum ve maksimum ultraviyole-B ışımları ve yağışlı gün sıklığı gibi faktörlerin en belirleyici parametreler olduğunu tespit etmişlerdir. Sera gazı emisyonlarının en düşük ve en yüksek konsantrasyon seviyesini baz alan senaryolara göre tahminler yapmışlar ve farklı sonuçlar ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında genel hatlarıyla türün yayılış aralığının iklim değişikliğinin artış yoğunluğuyla birlikte yüksek enlemlere ve yüksek mıntikalara doğru kayacağını ve alçak enlemlerde yaşam alanlarının daralacağını ifade etmişlerdir.

Remya ve diğ. (2015) tarafından Hindistan'ın doğusunda Kolli Hill'de ekolojik ve ekonomik yönden önemli ağaç türlerinden *Myristica dactyloides* Gaertn. için yapılan bir çalışmada, güncel ve gelecek için türün potansiyel uygunluk habitatları MaxEnt tür dağılım modeli kullanılarak modellenmiştir. Eğitim veri seti için 0,896 ve test veri seti için 0,924 AUC değeriyle oldukça yüksek bir model başarısı sağlanmıştır. Modelleme sonucunda, türün yayılışında etkin olan değişkenlerin yıllık sıcaklık, yıllık yağış ve en nemli ayın yağışı olduğu tespit edilmiştir. 2050 ve 2070 yılı habitat uygunlukları bakımından model sonuçlarına göre, türün uygun yayılış alanlarında önemli miktarda bir azalmanın olacağı tahmin edilmektedir. Gelecekte türün neslinin tükenmesi riskine önlem olarak, mevcut yaşam alanlarında restorasyon ve koruma tedbirlerine gelecek iklim senaryolarının dahil edilmesini önermişlerdir.

Rodrigues ve diğ. (2015) tarafından Brezilya'da mevsimlik kurak tropik ormanlarda üç ağaç türü (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Aspidosperma pyrifolium* Mart. ve *Myracrodruon urundeuva* Allemão) üzerinde yaptıkları çalışmada, 2080 yılı için en karamsar senaryoya göre gelecek yayılışlar modellenmiştir. Modellemede MaxEnt yaklaşımı kullanılmıştır. RCP8.5 senaryosuna göre kuraklığın daha da artacağı ve günümüzde yağmur ormanları ve savanlarla kaplı alanların gelecekte çalışmaya konu olan üç kurak alan ağaç türü için daha uygun habitatlar haline geleceği öngörülmektedir. Tür dağılım modeline en büyük katkıyı sağlayan değişkenler, en yağışlı çeyreğin yağışı ve mevsimsel sıcaklıktır.

Şenol (2015) Türkmen Dağı'nda saçlı meşe (*Quercus cerris* L.) ve tüylü meşe (*Quercus pubescens* Willd.) türlerinin potansiyel dağılım modellemeleri isimli yüksek lisans çalışmasında, yöredeki saçlı meşe ve tüylü meşe ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkileri lojistik regresyon, sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği ile ortaya koyup modellemiştir. Saçlı meşeye ait lojistik regresyon modeli testi geçememiş ve sınıflandırma ağacı modeline göre yükselti, radyasyon indeksi ve eğim; tüylü meşe için lojistik regresyon

modelinde yükselti ve anakayalar, sınıflandırma ağacı modeline göre de yükselti ve radyasyon indeksi değişkenleri bu türlerin yayılışında etkili çevresel faktörler olduğu bulunmuştur.

Özkan ve diğ. (2015) Yukarıgökdere yöresinde türlerin potansiyel dağılımlarını tahmin etmede kullanılan grup ayırım ve profil tekniklerini karşılaştıran bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada dört grup ayırım ve iki profil tekniği kullanılmıştır. Grup ayırım teknikleri, ayırım analizi, lojistik regresyon analizi, genelleştirilmiş eklemeli model ve sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği, profil teknikleri ise MaxEnt ve GARP'tır. Modellemelerde kullanılan açıklayıcı değişkenler yükselti, anakaya, eğim, radyasyon indeksi ve topoğrafik pozisyon indeksidir. Modellemeler gerçekleştirildikten sonra AUC ölçütüne göre model performansları test edilmiş, grup ayırım tekniklerinin profil tekniklerine göre daha iyi sonuç verdiğini ve grup ayırım tekniklerinden de genelleştirilmiş eklemeli modelin en iyi performansa sahip olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

Chakraborty ve diğ. (2016) Himaleya Bölgesi'nde hâkim orman ağacı türlerinin (*Quercus leucotrichophora* A. Camus, *Quercus semecarpifolia* Sm., *Quercus floribunda* Wall. ve *Pinus roxburghii* Sarg.) günümüz ve gelecek yayılışlarını MaxEnt tür dağılım modelini kullanarak modellemişlerdir. Modelin gelecek için yaygınlaştırılmasında 2050 ve 2070 yılları için 4 farklı RCP senaryosu kullanılmıştır. Biyoiklim, topoğrafya ve toprak değişkenlerinden oluşan 24 değişkenlik bir veri setinden korelasyon analizi sonrasında kalan 13 değişkenle modellemeler yapılmıştır. Bu değişkenler Bio2, Bio3, Bio4, Bio7, Bio12, Bio17, Bio18, Bio19, yükselti, eğim, bakı, güneş radyasyonu ve toprak tipidir. Modellere en çok katkı sağlayan değişkenler ağaç türleri bakımından incelendiğinde *Quercus leucotrichophora* için Bio4 (mevsimsel sıcaklık) ve yükselti, *Quercus semecarpifolia* için yükselti, Bio7 (yıllık sıcaklık aralığı) ve Bio19 (en soğuk çeyreğin yağışı), *Quercus floribunda* için yükselti, Bio7 ve Bio4, *Pinus roxburghii* için Bio4 ve yükselti değişkenlerinin modellere en yüksek katkı sağladığı tespit edilmiştir. Model çıktılarına göre türün yayılışında uygun alanlar düşük, orta ve yüksek şeklinde 3 grupta sınıflandırılmıştır. İklim senaryolarına göre modellemede *Pinus roxburghii* türünün yüksek uygunluktaki alanlarında artış, orta uygunluktaki alanlarında hafif artış tahmin edilirken, düşük uygunluktaki alanlarında ise bir azalma tahmin edilmiştir. Modelleme sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, iklim değişikliği etkisiyle çam türlerinin yayılış alanlarında artış, meşe türlerinin yayılış alanlarında ise düşüş beklenmektedir.

Cruz-Cárdenas ve diğ. (2016) tarafından Meksika Michoacan'da yaptıkları çalışmada, ekolojik niş modelleri aracılığıyla (MaxEnt) Pinaceae familyasının 12 farklı türünün potansiyel dağılımlarını hem günümüz iklimi hem de gelecek iklim değişikliği senaryoları çerçevesinde değerlendirmişlerdir. Çalışmada çevresel değişkenler olarak güncel iklim verileri, gelecek iklim senaryoları, toprak özellikleri ve sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. 27 iklim, toprak ve topoğrafya değişkeninden 7 tanesi modellemede kullanılmıştır. Bunlar: en sıcak ayın maksimum sıcaklığı (Bio5), en soğuk ayın minimum sıcaklığı (Bio6), yıllık sıcaklık aralığı (Bio7), en kurak çeyreğin yağışı (Bio17), topraktaki çözünür potasyum (K) katyonu, pH ve yükseklik değişkenleridir. Çalışma sonucunda model çıktıları 3 gruba ayrılmıştır, bunlar; uygun olmayan alanlar, marjinal alanlar ve uygun alanlar. Modeller 2015-2039 ve 2075-2099 periyotlarında uygun alanlarda %16 dan %40 kadar bir azalma göstermektedir. Model sonuçlarına göre bu durumdan en çok etkilenecek türler *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham., *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. ve *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham. olacaktır.

Gülsoy ve diğ. (2016) Vezirköprü Kunduz Yöresi ormanlarında saçlı meşe türü için potansiyel dağılımı modellemişlerdir. Modelleme çalışmalarında sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniğinden faydalanılmış ve model çıktılarına göre modele katkı sağlayan en önemli değişkenler yükselti, radyasyon indeksi ve metakumtaşı anakaya formasyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre yükseltiye bağlı iklimsel değişimlerin saçlı meşenin yayılışında önemli bir etkisi olduğu belirtilmiştir.

López-Tirado ve Hidalgo (2016) tarafından İspanya'nın güneyindeki Endülüs bölgesindeki klimaks meşe ağaçlarının tahmini modellenmesi çalışmasında, 5 farklı meşe türü üzerinde çalışmışlardır. Bu meşe türleri: *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp., *Quercus suber* L., *Quercus faginea* Lam., *Quercus pyrenaica* Willd. ve *Quercus canariensis* Willd. türleridir. Çalışmada 4 farklı dönem üzerinden lojistik regresyon kullanılmıştır. Bu periyotlar günümüz (1961-2000), erken 21. Yüzyıl (2011-2040), orta 21. Yüzyıl (2041-2070) ve geç 21. Yüzyıl (2071-2100)'dır ve bu periyotlar 200 m çözünürlükte A1B senaryosunda CNCM3 modeli kullanılarak incelenmiştir. En uygun potansiyel dağılım haritalarını sağlayan modeller uzun dönemli veri setlerinden oluşturulan 13 açıklayıcı değişkenden oluşturulmuştur. Model sonuçlarına göre, *Quercus suber*, *Quercus faginea* ve *Quercus canariensis* potansiyel dağılımlarında önemli azalmalar görüleceği beklenirken, *Quercus pyrenaica* ve *Quercus canariensis* daha yüksek rakımlarda uygun yetiştirme alanları bulabileceği ve istisna olarak

Quercus ilex subsp. *ballota* diğer 4 türle ters eğilim (trend) gösterip küresel ısınmadan faydalanarak alanını genişletebileceği tahmin edilmiştir.

Mert ve diğ. (2016) tarafından Akdeniz Bölgesi geçiş zonunda yer alan Sütçüler Yöresindeki saçlı meşe meşcerelerinin günümüz ve değişen iklim koşullarında gelecek için potansiyel dağılımları sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada gelecek iklim senaryolarından IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporunda yer alan B2 senaryosu kullanılmıştır. Model başarısı AUC metriğine göre değerlendirilmiş olup, eğitim veri seti için 0,837 ve test veri seti için 0,817 olarak bulunmuştur. Modele 6 açıklayıcı değişken katkı sağlamıştır. Bunlar en yüksek katkı yapandan en düşük katkı yapana doğru sırasıyla “en soğuk ayın minimum sıcaklığı”, “yıllık yağış miktarı”, “eğim”, “kireç taşı”, “topoğrafik pozisyon indeksi” ve “kum taşı” şeklindedir. Çalışmanın sonuçları özellikle yöredeki Kocadağ’ın batısı ve güneyindeki günümüzde uygun olan habitatlar küresel ısınmayla bu yüzyılın sonunda saçlı meşe için uygun olmayacağını ortaya koymuştur.

Priti ve diğ. (2016) Hindistan’da Batı Ghats bölgesinde Myristicaceae familyasından beş tür için tür yayılış verileri kullanılarak mevcut coğrafik yayılışın tanımlanması, potansiyel dağılım gösterebileceği alanların tahmini ve SRES A1B ve SRES A2A iklim değişikliği senaryoları altında potansiyel gelecek yayılışlara iklim değişikliğinin etkisini tahmin etmek amacıyla, MaxEnt yazılımı kullanılarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Modelde çalışılanlar *Gymnocranthera canarica* (Bedd. ex king) Warb., *Myristica fatua* Lam., *Knema attenuata* (Wall. ex Hook. f & Thomson) Warb, *Myristica dactyloides* Wall. ve *Myristica malabarica* Lam. türleridir.

Ray ve diğ. (2016) Hindistan’daki iki biyocoğrafik bölgede yani Batı Hint Dağları Geçidi ve Kuzeydoğu’ da kauçuk (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.) ağaçlarının mevcut ve potansiyel gelecek dağılımlarını analiz etmek için Ekolojik Niş Modelleme (MaxEnt) yaklaşımını kullanmışlardır. 2050 yılı için bir iklim değişikliği senaryosu altında kauçuk ağacı plantasyonları için uygun alanların tahmin edilmesi için MaxEnt yazılımını kullanmışlardır. Çalışmada biyoiklimsel değişkenlerin yanı sıra yükselti, toprak ve sosyo-ekonomik faktörler de modele dâhil edilmiştir. Fakat bu değişkenlerin eklenmesi modelin performansında herhangi kayda değer bir artış sağlamamıştır. Böylece, kauçuk ağacı yayılışında en etkili faktörün iklim olduğu sonucu çıkmıştır. Kuzeydoğu’da en kurak ayın yağışı ve sıcaklık mevsimselliği kauçuk ağacı yayılışını en iyi açıklayan faktördür. Batı Ghats’da kauçuk ağacı yayılışında ortalama

günlük sıcaklık farkı, sıcaklık mevsimselliği, en soğuk ve en kurak çeyrek boyunca yağış etkili olmuştur. Model sonuçlarına göre kauçuk plantasyonları için kuzeydoğu bölgesinde daha fazla uygun alan bulunabileceği ifade edilmiştir.

Sohel ve diğ. (2016) iklim değişikliğinin Bangladeş'in kuzeydoğu bölgelerindeki nesli tehlike altındaki önemli ağaç türlerinden *Dysoxylum binectariferum* (Roxb.) Hook. f. ex Bedd. (Meliaceae) türü üzerinde etkisini tahmin etmek amacıyla MaxEnt modeli kullanılarak bir modelleme çalışması yürütmüşlerdir. Türün gelecek yayılışının tahminleri 2050 ve 2070 yılları için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları üzerinden yapılmıştır. 19 biyoiklim değişkeninden aralarında yüksek korelasyon olanların elenmesiyle yıllık sıcaklık aralığı (Bio7), en sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı (Bio10), en soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı (Bio11), mevsimsel yağış miktarı (Bio15) ve en kurak çeyreğin yağışı (Bio17) ile türün yayılışı modellenmiştir. Kullanılan 5 değişkenden yıllık sıcaklık aralığı (Bio7) ve en soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı (Bio11) değişkenlerinin modele en yüksek katkıyı sağladığı saptanmıştır. Model çıktılarından tepki eğrilerine bakıldığında, türün yayılışının büyük oranda sıcaklık ve yağışla ilişkili olduğu görülmektedir. Türün var olma olasılığı artan yıllık sıcaklık aralığı (Bio7) ile artmış ve 23-25°C arasında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bir diğer etkili değişken olan en sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığına (Bio10) bakıldığında ise sıcaklıklar 27°C aştığında türün yayılışında azalmalar görülmektedir. Genel olarak, model sonucunda üretilen potansiyel uygunluk haritalarına göre 2050 ve 2070 yıllarında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre *Dysoxylum binectariferum* türünün tamamen alanda yok olacağı tahmin edilmektedir.

Yılmaz ve Yılmaz (2016) Türkiye'de biyoiklimsel faktörlerin saplı meşe (*Quercus robur* L.) alt türlerinin dağılımına etkisini belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada multinominal lojistik regresyon modeli kullanılmıştır. Model çıktılarına göre en soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı (Bio11), en soğuk ayın minimum sıcaklığı (Bio6), yıllık sıcaklık aralığı (Bio7), mevsimsel sıcaklık (Bio4), mevsimsel yağış miktarı (Bio15), izotermalite (Bio3) ve yıllık ortalama sıcaklık (Bio1) değişkenlerinin saplı meşe alt türlerinin dağılımında oldukça yüksek etkisi olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar mevcut yayılışlarda mevsimsel sıcaklık (Bio4) değişkeninin tek başına yayılışı açıkladığını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, *Quercus robur* subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky alttürünün ekstrem sıcaklık ve soğuklara karşı daha toleranslı olduğunu gösterirken, alttür *Quercus robur* L. subsp. *robur* daha hassas özellik göstermektedir.

Yılmaz ve diğ. (2017) Batı Anadolu Kaz Dağları'nda Gönen Baraj Havzası alanında endemik soğanlı bir bitki türü olan *Muscari latifolium* J. Kirk. türünün dağılımını etkileyen faktörleri ve bu faktörlerin dağılıma ne derece etkisi olduğunu belirlemek için bir tür dağılım modeli çalışması yapmışlardır. Çalışmada BRT metodu ile var-yok veri seti üzerinden modelleme yapılmıştır. Modelleme sonunda 14 ana değişkenin tür dağılımına etkisi olduğu belirlenmiş ve bu 14 değişkenden 5 tanesinin (anakaya tipi, saçlı meşe yoğunluğu, en nemli ayın yağıışı, karaçam yoğunluğu ve kuzeylilik değişkenleri) ise türün yayılışını açıklamada %60 önem düzeyine sahip olduğu görülmüştür. Veri setinden 10 rastgele alt örnekle yapılan performans tahmininde maksimum 0,93 ile ortalama 0,80 AUC değeri elde edilmiş ve oldukça iyi kabul edilebilecek bir model başarısı yakalanmıştır.

López-Tirado ve diğ. (2018) Avrupa'nın güney batısında dört ülkede (Portekiz, İspanya, Fransa ve İtalya) ve yakın adalarda herdem yeşil dört meşe türünün (pırnal meşesi (*Quercus ilex* L. subsp. *ilex*), pırnal maşesi (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.), mantar meşesi (*Quercus suber* L.) ve kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.)) tür dağılım modellerini üç farklı algoritma (AmxEnt, LR ve EnvDis) kullanarak oluşturmuşlardır. Model doğrulukları AUC metriğine göre değerlendirilmiştir. Çalışmada, mevcut dönem için potansiyel dağılım modellendikten sonra kuzey yarım küre için kalibre edilmiş 13 iklim modelinin ortalamasıyla 2050 ve 2070 yılları için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gelecek dönem tahminleri yapılmıştır. Model sonuçlarına göre, türlerin potansiyel dağılım alanları güncel dağılımlarından daha fazla bulunmuş ve gelecekteki yayılışlarında ise iklim değişikliğinden faydalanan alanlarını genişleteceği tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarının iklim değişikliği koşullarında orman alanlarının yönetilmesinde, ağaçlandırma ve restorasyon faaliyetlerinde kullanışlı bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir.

Akyol ve Örucü (2019) tarafından MaxEnt algoritması kullanılarak fıstık çamının Türkiye için mevcut ve iklim değişikliği senaryoları altında gelecek dönem potansiyel dağılım modellemesi yapılmıştır. Çalışmada iklim modeli olarak HadGEM2-ES modeli, senaryo grupları olarak da 2050 ve 2070 için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmıştır. Model başarı ölçütü olarak AUC metriğine başvurulmuştur. 0,925 AUC değeri ile model oldukça başarılı kabul edilmiş ve modele en yüksek katkı sağlayan ve türün yayılışı üzerinde etkisi olan değişkenlerin en soğuk ayın minimum sıcaklığı (Bio6), yıllık yağış (Bio12) ve en nemli yıllık çeyreğin yağışı (bio16) olduğu tespit edilmiştir. Model çıktılarına göre, fıstık çamı için günümüzde 125.427 km² potansiyel dağılım alanı tahmin edilirken, fıstık çamının potansiyel uygun habitat alanları 2050

yılı için RCP4.5 senaryosuna göre 55.331 km², RCP8.5'e göre 47.726 km², 2070 yılı için RCP4.5'e göre 40.037 km², RCP8.5'e göre 17.793 km² olarak tahmin edilmektedir. İklim değişikliği etkisiyle, gelecek iki dönem için her iki senaryo grubuna göre fıstık çamının uygun habitat alanlarının azalması beklenmektedir. Model çıktılarına göre mevcut durum ve gelecek tahminleri birlikte değerlendirildiğinde, uygun habitat alanlarındaki azalmanın özellikle Türkiye'nin güney ve batı bölgelerinde meydana geleceği ve yayılış alanlarının kuzey bölgelere ve yüksek rakımlara doğru kayacağı tahmin edilmektedir.

Buras ve Menzel (2019) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında 2061-2090 dönemi için Avrupa ormanlarının ağaç türü kompozisyonlarının değişimini modellemişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmada dört tür (*Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur*) için güney enlemlerde ve alçak rakımlarda bolluk olasılığı azalış göstermiştir. Bu azalış trendi ışığında dünyada oldukça geniş bir yayılışa sahip olan *Pinus sylvestris* türünün orta ve güneydoğu Avrupa'dan Alpler ve Karpatlar'ın daha yüksek kesimlerine doğru yöneleceği, Orta Avrupa ovalarında tamamen yok olacağı ve Kuzey Avrupa'ya doğru geri çekileceği tahmin edilmektedir. Bu durum RCP8.5 senaryosunda daha belirgindir. *Pinus sylvestris* türünün yanı sıra benzer durum *Picea abies* için de geçerlidir. Ek olarak *Fagus sylvatica* türünün de kuzeye doğru göç edeceği ve Orta Avrupa'nın büyük kısmında yayılış alanlarının önemli ölçüde azalacağı öngörülmektedir. *Quercus robur* için de benzer durum geçerli olup, güneydeki konumlarını terk edip daha kuzey alanlarda yayılışının artacağı modellenmiştir.

Kargar ve diğ. (2019) İran'ın kuzeyinde Mazandaran eyalatında 5 (beş) baskın mera bitki türünün (ayrık otu (*Agropyron repens* (L.) P. Beauv.), mavi koyun yumağı (*Festuca ovina* L.), (*Leucopoa sclerophylla* (Boiss. & Hohen.) V. I. Krecz. & Bobr.), tüylü dağ çayı (*Stachys lavandulifolia* Vahl) ve yemlik (*Tragopogon* L.)) potansiyel dağılımı beş farklı model (GLM, CART, BRT, GAM ve RF) yardımıyla modellenmiştir. Model başarısı "AUC", "TSS" ve "Kappa" metriklerine göre değerlendirilmiş, çalışma alanı özelindeki türler üzerinde en tutarlı (uygun) tahmin yapan modelin GAM olduğu tespit edilmiştir. N, pH ve bakı modele katkı yapan en önemli çevresel değişkenlerdir.

Mohapatra ve diğ. (2019) Hindu-Kush Himalaya'larda Random Forest yaklaşımını kullanarak iklim değişikliği senaryolarına göre Himalaya huşu türünün dağılımını modellemişlerdir. Çalışmada iklim değişikliğine bağlı ısınmaların ve kar erimelerinin ağaç sınırında yaşayan türler için yüksek dağlık alanlarda yeni uygun alanların ortaya çıkması anlamına geldiği

şeklinde yorumlanmıştır. Çalışmada potansiyel dağılım alanlarının modellenmesi son buzullar arası dönem (Last Inter-Glaciation), güncel dönem (1970-2000) ve gelecek dönem (2061-2080) çevresel koşulları için ayrı ayrı yapılmıştır. Gelecek dönem modellemesine RCP8.5 senaryosu konu edilmiştir. Model duyarlılığı bağımsız veri seti vasıtasıyla hesaplanmıştır. Modelleme sonuçlarına göre türün iklim değişikliği sebebiyle 21. yüzyılın sonuna doğru daha fazla hassaslaşacağı, türün en uygun yayılış alanlarının son buzullar arası dönemde görüldüğü, güncel ve gelecek dönem senaryolarına göre ise daha yüksek rakımlara doğru kayacağı belirtilmiştir.

Ramírez-Preciado ve diğ. (2019) Meksika'nın Baja California Yarımadası'nda yayılış gösteren altı meşe türünün (*Quercus agrifolia* Née, *Quercus cedrosensis* C. H. Mull., *Quercus chrysolepis* Liebm., *Quercus devia* Goldman, *Quercus palmeri* Engelm. ve *Quercus peninsularis* Trel.) iki farklı küresel ısınma senaryosuna (RCP4.5 ve RCP8.5) göre gelecekteki yayılışlarını R platformunda Biomod2 paketi yardımıyla yedi farklı modelleme algoritması kullanarak modellemişler ve topluluk modeli ile nihai modeli elde etmişlerdir. Model başarıları AUC ve TSS metriklerine göre değerlendirilmiştir. Modellerde 11 biyoiklim değişkeni kullanılmıştır. Her tür için değişkenlerin modele katkıları ve etkileri farklı olmuştur. Bio17 (en kurak çeyreğin yağışı), Bio8 (en nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı) ve Bio15 (yağış mevsimselliği) tüm türler için en önemli değişkenlerdir. Modelleme sonuçlarına göre çalışmaya konu türlerin hepsinin coğrafi yayılışlarında birtakım değişiklikler beklenmektedir. İki gelecek senaryo grubuna göre *Quercus peninsularis*, *Quercus cedrosensis* ve *Quercus chrysolepis* türlerinin uygun habitatlarının %12'sinden fazlasını, *Quercus devia* türünün ise uygun habitat alanını %95'ten fazla kaybedeceği tahmin edilmektedir. Bunların yanı sıra *Quercus palmeri* türünün uygun habitat alanlarında RCP8.5'e göre %9 artış, RCP4.5'e göre %3 azalış tahmin edilirken, *Quercus agrifolia* türünün uygun habitat alanlarında RCP4.5'e göre %7 ve RCP8.5'e göre %16'lık bir artış tahmin edilmektedir.

Barrio-Anta ve diğ. (2020) İspanya'da sahil çamı popülasyonlarının güncel ve gelecek dönemlerde farklı iklim değişikliği senaryolarına göre habitat uygunluğunu ve verimliliğini tahmin etmek için raster tabanlı potansiyel dağılım ve verimlilik modelleri geliştirmişlerdir. Modelleme sürecinde iklim, topoğrafya ve toprak karakteristiklerinden oluşan 50 çevresel değişken yer almıştır. İklim değişkenlerinin gelecek projeksiyonlarında IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu'nda yer alan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmıştır. Tür dağılım modellemesi için yapay sinir ağları (ANN), sınıflandırma ağacı analizi (CTA), esnek ayırım

analizi (FDA), GAM, GBM, GLM, MARS, RF ve SRE modelleme teknikleri kullanılmıştır. Tür dağılım modellemesi için 0,807 AUC değeri ile ve verimlilik modellemesi için 0,595 R^2 ile RF algoritması her iki uygulamada da en iyi model seçilmiştir. Model performansı oldukça iyi bulunmuştur. Modele katkı sağlayan değişkenler, en yüksek katkı sağlayanlardan en aza doğru Bio1, Bio3, Bio4, Bio16, Bio15, hacim ağırlığı, toz yüzdesi, R horizonu yüzdesi, arazi formu, toprak referans grubu ve toprak derinliği olarak sıralanmaktadır. Model sonuçları İspanya’da sahil çamının yayılışında en etkili çevresel karakteristiklerin sıcaklıkla ilgili değişkenlerden kaynaklandığını göstermektedir. İklim değişikliğiyle sahil çamının uygun habitat alanlarında 2070 yılına kadar artış olacağı tahmin edilmekte ve bu sayede ağaçlandırmalarda yaygın olarak kullanılması önerilmektedir.

Dağtekin ve diğ. (2020) doğu kayınının Kuvaterner dağılımını araştırmak ve iklim değişikliği senaryolarına göre gelecekteki dağılımını tahmin etmek amacıyla yürüttükleri çalışmada paleobotanik, filocoğrafik ve modelleme yaklaşımını kombine ederek kullanmış ve değerlendirmeleri buna göre yapmışlardır. Çalışmada R platformunda “Biomod2” paketi üzerinden GLM, GAM, RF, BIOCLIM ve MaxEnt’den oluşan beş farklı tür dağılım modeli algoritması kullanılmıştır. Modellerin performanslarının değerlendirmesi AUC metriğine göre yapılmış ve AUC değerleri 0,79 ile 0,99 arasında bulunmuştur. En iyi performansı RF algoritması göstermektedir. Modellemeler son buzul maksimumu ve orta-holosen geçmiş dönemleri, mevcut dönem ve RCP senaryolarına göre 2050 ve 2070 gelecek dönemleri için yapılmıştır. Model çıktılarına göre, doğu kayınının son buzul maksimumu ve orta-holosen dönemine ait yayılış tahminlerinin polen kayıtlarıyla kabaca uyumlu olduğu, devam eden iklim değişikliğinin beraberinde gelecek dönemlerde türün mevcut yayılışının kuzeydoğusuna doğru bir yönelim olacağı ve Batı Avrasya bölgesinde artan kuraklık etkisiyle türün yayılış alanlarının daralacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışma, model çıktıları ile değişen çevresel koşullarda kayıtlı gözlem ve ölçüm sonuçlarının birlikte değerlendirilmesinin destekleyici olduğuna ve önemine dikkat çekmektedir.

Kekeç ve Kadioğlu (2020) tarafından tarım alanlarında ve dışında çok fazla soruna sebep olan pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) türünün potansiyel dağılımını modellemişlerdir. Türün modellenmesinde bu tip çalışmalarda oldukça yaygın kullanılan tekniklerden MaxEnt kullanılmıştır. Pıtrak türünün potansiyel dağılımı mevcut dönem için ve gelecek dönem içinde RCP2.6 ve RCP8.5 senaryolarına göre tahmin edilmiştir. Model başarısı AUC ve TSS metriklerine göre değerlendirilmiştir. Bu çalışma için $AUC > 0,90$ ve $TSS > 0,70$ değerleriyle

model oldukça başarılı bulunmuştur. Modele en fazla katkı sağlayan değişkenler sırasıyla Bio10 (en sıcak 3 ayın ortalama sıcaklığı), Bio11 (en soğuk 3 ayın ortalama sıcaklığı), Bio4 (sıcaklık) ve Bio12 (yıllık yağış miktarı)'den oluşmaktadır. Model sonucu potansiyel dağılım alanları incelendiğinde potansiyel alanların %50'si bitkinin koordinatlı noktalarına yakın ve üzerindeyken %50'si türün hiç tespit edilmediği alanlar olduğu görülmüştür. Bu da türün oldukça geniş bir yayılış potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Model sonuçlarına göre küresel ısınma sonucunda türün gelecekte mevcut dağılım alanını genişleteceği tahmin edilmektedir. Pıtrak istilacı bir tür olması sebebiyle, model çıktılarının türün potansiyel dağılım alanlarında gerekli önlemlerin alınmasında destekleyici olacağı düşünülmektedir.

Özdemir ve diğ. (2020) Akdeniz Bölgesi'nin batısında Burdur, Isparta ve Antalya illerini içine alan Göller Bölgesi'nde boylu ardıç (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) türünün iklim değişikliği altında mevcut ve gelecek dönem potansiyel dağılımını modellemişlerdir. MaxEnt algoritması kullanılarak yapılan modellemede gelecek tahminleri 2070 yılı için dört farklı RCP senaryosuna (RCP2.6, 4.5, 6.0 ve 8.5) göre oluşturulmuştur. Korelasyon analizi sonucunda aralarında çoklu bağlantı problemi olan değişkenler elenmiş ve kalan beş değişken ortalama günlük sıcaklık aralığı (Bio2), mevsimsel sıcaklık (Bio4), en sıcak ayın maksimum sıcaklığı (Bio5), en kurak ayın yağışı (Bio14) ve en soğuk çeyreğin yağışı (Bio19) üzerinden model geliştirilmiştir. Model başarısı AUC metriği ile değerlendirilmiş, 0,966 AUC değeriyle model oldukça başarılı bulunmuştur. Model sonucunda elde edilen potansiyel dağılım alanları incelendiğinde, türün yayılış gösterdiği alanların tüm senaryolarda önemli ölçüde azalış göstereceği beklenmekte ve ülke ölçeğinde bakıldığında ise, yayılış alanlarının Batı Karadeniz ve Batı Anadolu'nun iç kesimlerine doğru kayacağı tahmin edilmektedir. Kötümser senaryo gruplarında potansiyel dağılım alanlarındaki düşüşün daha dikkat çekici olduğu ifade edilmiştir.

López-Tirado ve diğ. (2021) Toros sedirinin Lübnan, Suriye ve Türkiye'de potansiyel dağılımına iklim değişikliğinin etkisinin araştırılması amacıyla model çalışması yapmışlar ve modellemede 13 genel dolaşım modeli ve 6 modelleme algoritması kullanılmıştır. Modellemeler 21 iklimsel ve 3 topoğrafik değişken üzerinden yapılmıştır. Modellerin başarısı ve uygunluğu için AUC ölçütü kullanılmıştır. Yüksek AUC değerleriyle EnvDis ve destek vektör makineleri (SVM) en iyi modelleri verirken, EnvScore ve MaxEnt daha düşük AUC değerlerine sahiptir. Modellemeler sonucunda elde edilen habitat uygunluk haritasına göre, uygun habitat alanları RCP4.5 senaryosuna göre 2050 yılında RCP8.5 senaryosuna göre 2070 yılından daha yüksektir. Uygun habitat alanlarının 2070 yılında yüksek rakımlara kaymalarla

daha kısıtlı hale gelebilecek olmasına rağmen, gelecek senaryolar temelinde güncel duruma kıyasla genişleyeceği tahmin edilmektedir. Toros sediri için potansiyel dağılımlar Akdeniz ikliminden etkilenen kıyı bölgelerdir. Suriye'nin iç kesimlerinde kurak koşullar nedeniyle yüksek bir potansiyel görülmemektedir. Çalışma sonuçlarında, Türkiye'nin kuzey kesimlerine doğru bir yönelmeden bahsedilmektedir. Bunun sonucu olarakta, kuzeyde optimal bölgelerinde yayılış gösteren türlerle (doğu kayını, kestane (*Castanea sativa* Mill.), gürgen türleri, meşe türleri, Doğu Karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach), karaçam v.b.) rekabetin söz konusu olacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada ayrıca ağaçlandırma alanları da dikkate alınmış ve dikim yoluyla yetişen meşcerelerin büyüme ve gelişmelerinin iklimsel uyumu hakkında bir bilgi kaynağı oluşturacağından bahsedilmiştir.

Navarro-Cerrillo ve diğ. (2021) tarafından İspanya'nın güneyinde nesli tehlikede olan İspanya göknarı türünün mevcut dönemde ve iklim değişikliği etkisiyle gelecekteki potansiyel dağılımı modellenerek türün restorasyonu ve koruma stratejilerini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada araştırmacılar tehdit altındaki türün mevcut dönemde ve gelecekteki uygun habitat dağılımını tahmin etmek, türün yayılışı açısından çevresel değişkenlerin önemini değerlendirmek ve sonuçları tür restorasyonunda öncelikli alanlar önermek için kullanmak gibi araştırma kavramlarının üzerinde durmuşlardır. Çalışmanın yürütüldüğü alanda 261 bulunma ve 224 yokluk envanter verilerinden, daha önceki çalışmalardan ve çalışma kapsamında yürütülen saha çalışmasıyla toplanmıştır. Varlık ve yokluk verilerinden birbirine yakın olanların mekânsal otokorelasyondan kaçınmak amacıyla silinmesiyle 222 varlık ve 221 yokluk verisiyle çalışma yürütülmüştür. İspanya göknarının potansiyel habitat modellemesinde RF modeli kullanılmıştır. Model performansının değerlendirilmesinde AUC, Cohen's Kappa ve TSS metriklerine başvurulmuştur. SRES A1B, A2 ve B1 emisyon senaryoları temelinde gelecek dönem modellenmiştir. RF modeli sonuçlarına göre, tahmin edilen habitat alanlarının iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceği beklenmektedir. Tüm iklim değişikliği projeksiyonlarına göre alanda türün gelecekteki yayılışında mevcut dağılıma göre 2040 yılında bir miktar azalma, 2070'lere doğru hafif artışı takiben yüzyılın sonunda 2099 için ciddi bir düşüş tahmin edilmiştir. İspanya göknarı ormanlarının, iklim değişikliğine karşı oldukça hassas hale geleceği ifade edilmiştir.

Cantürk ve Kulaç (2021) Türkiye'de ekonomik, ekolojik ve sosyal değeri olan üç ıhlamur türünün (gümüşü ıhlamur (*Tilia tomentosa* Moench), küçük yapraklı ıhlamur (*Tilia cordata* Mill.) ve büyük yapraklı ıhlamur (*Tilia platyphyllos* Scop.)) küresel iklim değişikliğinden nasıl

etkileneceğini tahmin etmek ve bu türlerin gelecekteki potansiyel dağılım alanlarını belirlemek amacıyla bir modelleme çalışması yürütmüşlerdir. Modelleme çalışması kapsamında biyoiklim, emberger iklim sınıflandırması, bakı ve yükseklik değişkenleri kullanılmıştır. Gelecek potansiyel alanlar 2100 yılına kadar 20 yıllık periyotlar için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre modellenmiştir. Modellere en yüksek katkıyı yapan açıklayıcı değişkenler gümüşi ıhlamur için yükseklik, en kurak çeyreğin yağışı (Bio17) ve en sıcak çeyreğin yağışı (Bio18) değişkenleri, küçük yapraklı ıhlamur için yıllık sıcaklık aralığı (Bio7), mevsimsel sıcaklık (Bio4) ve mevsimsel yağış miktarı (Bio15) değişkenleri, büyük yapraklı ıhlamur için ise izotermalite (Bio3), mevsimsel sıcaklık (Bio4) ve yıllık sıcaklık aralığı (Bio7) değişkenlerinden meydana gelmiştir. Her iki senaryoya göre modellerin sonuçları değerlendirildiğinde, tüm türler için en uygun yayılış alanlarının İstanbul civarında olduğu ortaya konulmuştur. Her tür için modellenen yayılış alanları her iki senaryo grubuna göre günümüzden 2100 yılına kadar 20 yıllık periyotlar için hesaplanmış ve çalışmada detaylıca verilmiştir.

Varol ve diğ. (2021) iklim değişikliğinin Türkiye'deki adi dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) yayılışı üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla hem güncel dönem hem de gelecek dönem için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 (Ortak Sosyoekonomik Rotalar) senaryolarına göre adi dişbudak türünün potansiyel dağılımlarını 2040, 2060, 2080 ve 2100 yılları için modellemişlerdir. Modellemede MaxEnt yaklaşımı tercih edilmiş ve model başarıları AUC metriğine göre değerlendirilmiştir. Modele en yüksek katkı yapan değişkenler en kurak ayın yağışı (Bio14), en kurak çeyreğin yağışı (Bio17) ve en sıcak çeyreğin yağışı (Bio18) olarak bulunmuştur. Model çıktıları senaryo dönemlerine göre değerlendirildiğinde, SSP2-4.5 senaryosu için dişbudak yayılış alanlarında 2100 yılına kadar sürekli bir azalış görüleceği ve toplam alanın %7,58 oranında daralacağı, SSP5-8.5 senaryosu için ise 2080 yılına kadar azalma trendi daha sonra bir miktar yükselişle toplamda %6,28'lik bir azalma tahmin edilmektedir.

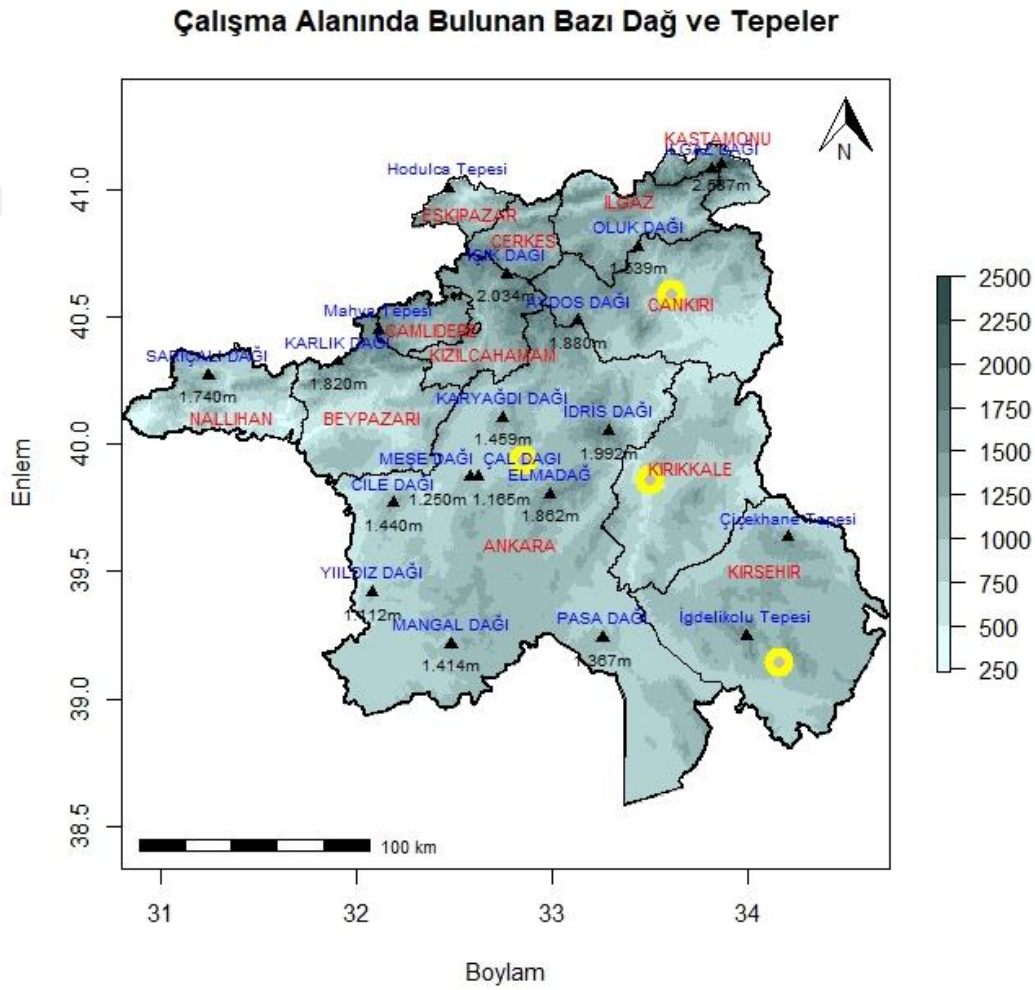
Ayan ve diğ. (2022) doğu kayınının Türkiye'deki mevcut potansiyel habitatlarını ve HadGEM2-ES iklim modeli temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre gelecekteki potansiyel habitatlarını MaxEnt yaklaşımı ile modellemişlerdir. Modelleme literatürde en yaygın tercih edilen sekiz biyoiklim değişkeni kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model performansı AUC metriği ile değerlendirilmiş ve %93,5 ile oldukça başarılı olduğu kabul edilmiştir. Değişkenlerin modele katkıları incelendiğinde, modele en fazla katkı sağlayan ve açıklayıcı değişken ortalama günlük sıcaklık farkı (Bio2) iken, en kurak ayın yağışı (Bio14) ve

en sıcak çeyreğin yağışı (Bio18) değişkenleride sırasıyla Bio2'den sonraki en açıklayıcı değişkenler olarak modelde yer almıştır. Model çıktılarına göre, RCP4.5 senaryosu temelinde 2050 ve 2070 orta yıllarının her ikisi içinde Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda bulunan izole ve marjinal yayılış alanlarının yok olacağı ve Trakya'da Istranca Dağları'ndaki yayılışların ise daralmasıyla Marmara Bölgesi'nde alansal bir azalma tahmin edilmektedir. Kayının ana yayılış bölgelerinden olan Karadeniz bölgesinin doğusunda ise yağış ve nemlilik yönünden avantajlı olan dağların kuzey yamaçlarında popülasyonların mevcut dağılımına göre daha dar bir alanda şerit şeklinde yayılışını sürdüreceği tahmin edilmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise, yine Akdeniz bölgesinin doğusundaki marjinal alanlarda yok olmalar, Karadeniz bölgesinden İç Anadolu'ya sokulan popülasyonlarda ise önemli azalmalar olacağı tahmin edilmektedir. Model sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye'deki doğu kayını popülasyonlarında iklim değişikliği etkisiyle önemli azalmalar olacağı tahmin edilmekte ve genetik havuzlarının yok olmaması için Türkiye'de kayın popülasyonlarında genetik koruma programının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Şekil 3.1: Çalışma alanı konum haritası.

3.1.2. Yeryüzü Şekli Özellikleri

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü alanlarının yükseltisi 250 ile 2.500 metre arasında değişmektedir (Şekil 3.2). Çalışma alanında yer alan plan ünitelerinde Yıldız Dağı (1.112 m), Çile Dağı (1.440 m), Mangal Dağı (1.414 m), Meşe Dağı (1.250 m), Çal Dağı (1.165 m), Paia Dağı (1.367 m), İdris Dağı (1.992 m), Elmadağ (1.862 m), Karlık Dağı (1.820 m), Sarıçalı Dağı (1.740 m), Karyağdı Dağı (1.459 m), Oluk Dağı (1.539 m), Işık Dağı (2.034 m), ve Ilgaz Dağı (2.587 m) başlıca dağlardan bazılarıdır (Şekil 3.2).



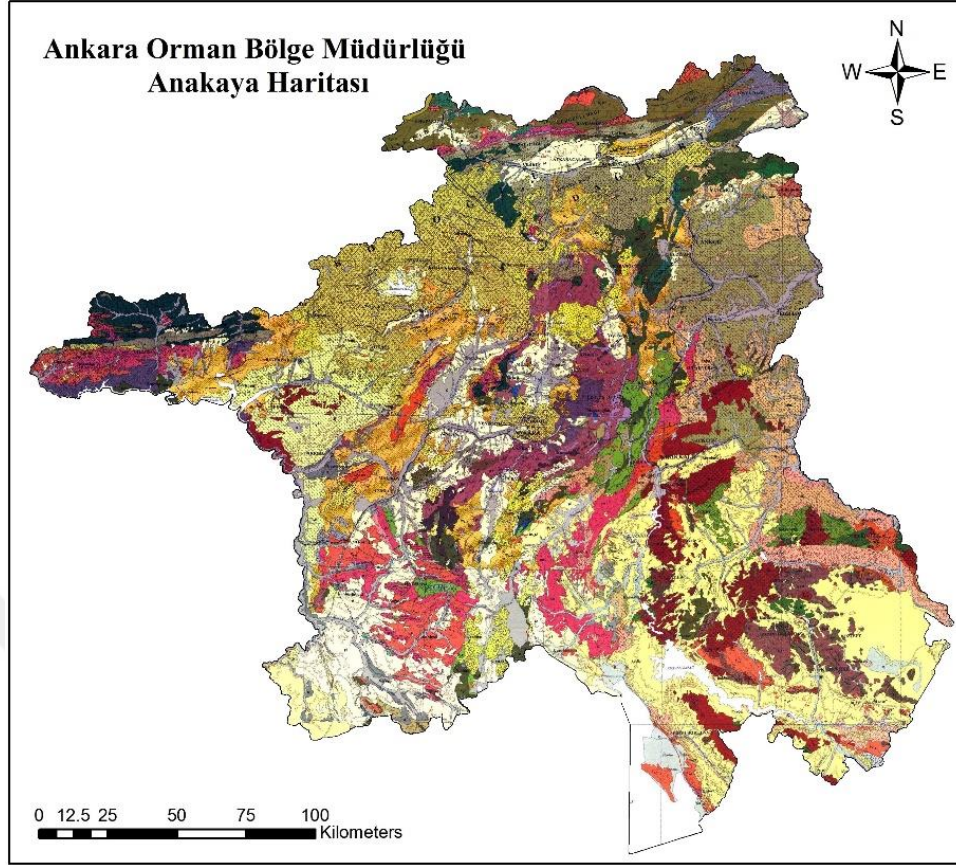
Şekil 3.2: Çalışma alanında yer alan bazı dağ ve tepeler.

3.1.3. Anakaya ve Toprak Özellikleri

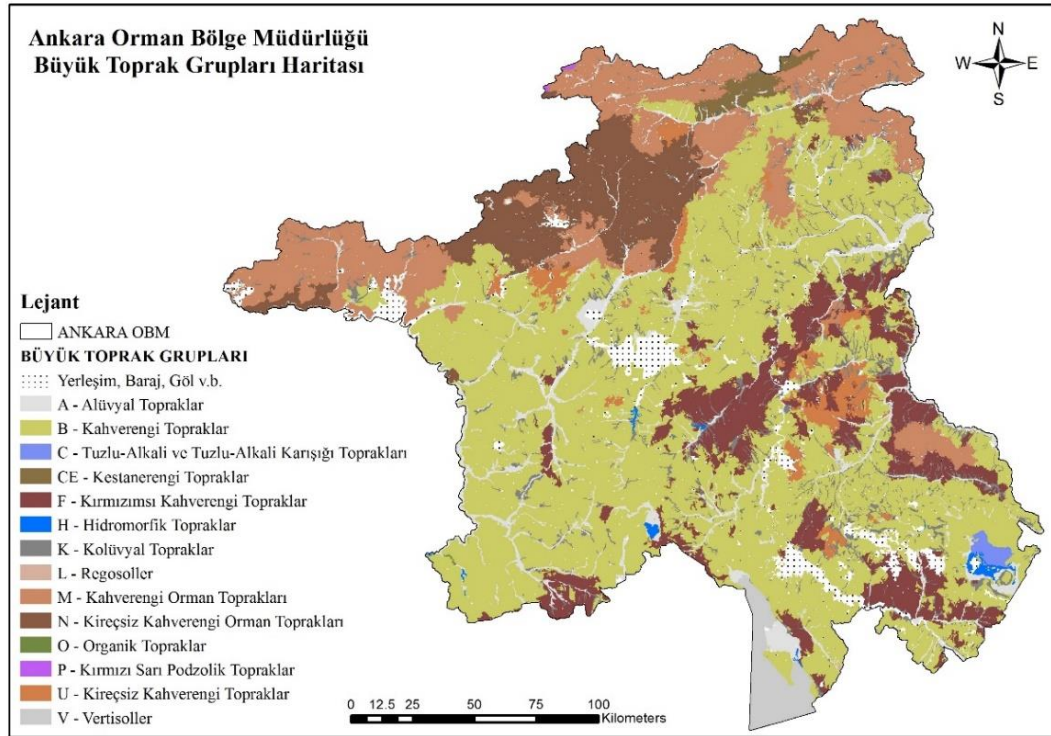
Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nün sınırları Ankara, Çankırı, Kırıkkale ve Kırşehir illerini kapsayan 11 Orman İşletme Müdürlüğü'ne ayrılmış olup farklı yetişme ortamı özelliklerini bünyesinde barındıran çok geniş bir alana sahiptir. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nün anakaya özelliklerinin belirlenmesinde Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü jeoloji haritalarından faydalanılmıştır. MTA (2011)'e göre Çamlıdere ve Kızılcahamam Orman

İşletme Müdürlüklerinin (OİM) alanlarının büyük kısmı andezit-dasit tüflerden ve proklastik kayalardan oluşmaktadır. Çamlıdere barajı etrafında çakıltaşı ve kumtaşları görülmektedir. Kızılcahamam OİM'nin güney batısı ise kireçtaşıdan meydana gelmektedir. Nallıhan OİM'nin kuzeyi kireçtaşı, kırıntılılar ve yer yer karbonatlardan, orta kısımlar pelajik kireçtaşı ve karasal kırıntılılardan, güney sınırlarına doğru şist, fillit, mermer, metabazit görülürken, güneydoğusu karasal kırıntılılar ve kireçtaşıdan oluşmaktadır. Beypazarı OİM'nin kuzey kesimleri andezit-dasit tüflerden ve proklastik kayalardan oluşmakta iken güneyi ise kireçtaşıdan oluşmaktadır. Ilgaz OİM'nin kuzeyi kırıntılılar ve karbonatlardan, güneye doğru paleojik kireç taşı, gölsel kireçtaşı, en güneyi ise bazalt, güneydoğusu andezit-dasit tüflerden ve proklastik kayalardan, Tosya Dağı dolayları ise şist, fillit, mermer, metabazitlerden oluşmaktadır. Çankırı OİM'nin büyük bir kısmı neritik kireçtaşıdan, batısı gölsel kireçtaşıdan, batısı andezit-dasit tüflerden ve proklastik kayalardan, batıya doğru orta kısımlar ayrılmamış bazik ve ultra bazik kayalardan, yastık lav ve sedimentlerden oluşmaktadır. Kırıkkale OİM'de dağınık olarak granit, granodiyorit, diyorit, siyenit ve gabro bulunmaktadır, kuzeyi karasal kırıntılılardan, güneydoğusu filişlerden meydana gelmektedir. Kırşehirde OİM'de ise yer yer mermer mevcuttur, karasal kırıntılılar büyük alan kaplar ve ayrılmamış gnays, metagranit, şist, mermer, amfibolit vb. granit, granodiyorit, diyorit, siyenit ve gabro bulunmaktadır. Tuz Gölü etrafı ayrılmamış kuvaterner, Haymana yakınları kırıntılılar ve karbonatlar, prioklastik kayalar, neritik kireçtaşı, Polatlı ve Haymana karasal kırıntılılar, Haymana'nın güneyinde ofiyolitik melanjlarda dağınık halde, Polatlı'nın kuzeyi andezit, bazalt ve kireçtaşı, Gölbaşı'nın güneyi ise gölsel kireçtaşıdan meydana gelmektedir (Şekil 3.3). Anakaya haritasının lejantı Ek 1'de verilmiştir.

Bölge Müdürlüğü sınırları içindeki toprakların özellikleri için Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından ülke geneli için hazırlanan büyük toprak grupları haritasından yararlanılmıştır (Şekil 3.4). Büyük toprak grupları daha çok tarım arazileri için çalışılmıştır ve bu alanlara ilişkin toprak özelliklerine yönelik bilgiler sağlamaktadır. Orman alanlarının bulunduğu bölgeler genellikle kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi orman toprakları şeklinde iki grup olarak gösterilmiştir ve orman ağacı yayılışları üzerinde lokal olarak önemli olan toprak derinliği, tekstür, taşlılık gibi toprak özellikleri hakkındaki bilgiler bu alanlar için oldukça yetersizdir. Bu sebeple çalışma kapsamında toprak haritasının altlık olarak analize dahil edilmesi yerine çalışma alanına ait bilgi olarak verilmesi kararlaştırılmıştır (Şekil 3.4).



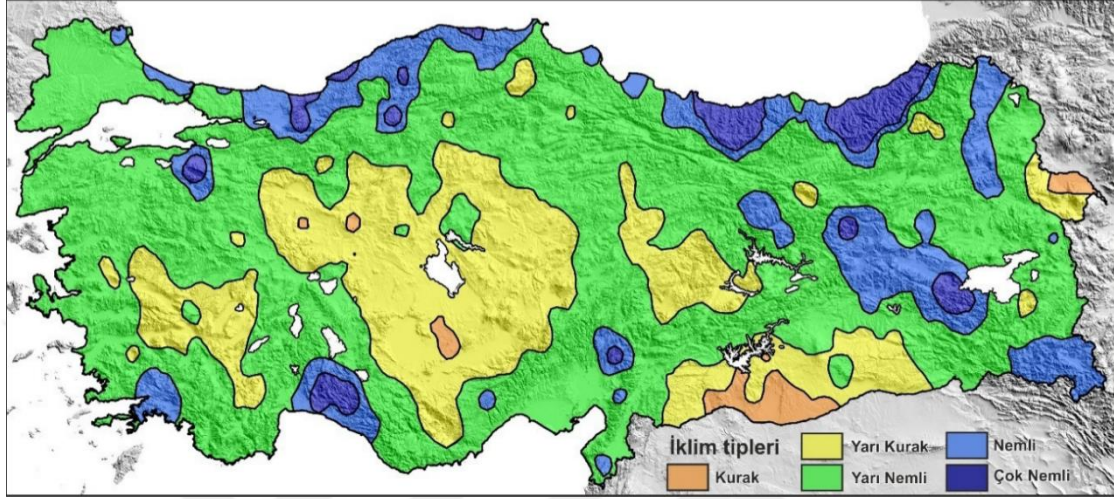
Şekil 3.3: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü anakaya haritası (MTA, 2011).



Şekil 3.4: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü büyük toprak grupları haritası (KHGM, t.y.).

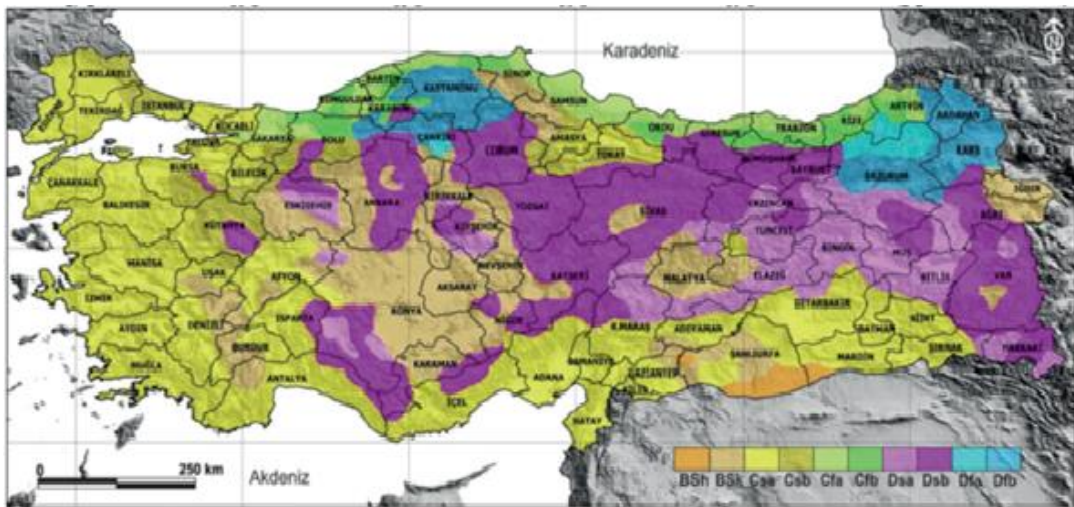
3.1.4. İklim Özellikleri

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü alanları İç Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. İç Anadolu Bölgesi karasal iklimin egemen olduğu Karadeniz ardı kısımlarda yarı nemli, güney kesimleri ise büyük oranda yarı kurak iklim tipine sahiptir (Şekil 3.5; Şekil 3.6).



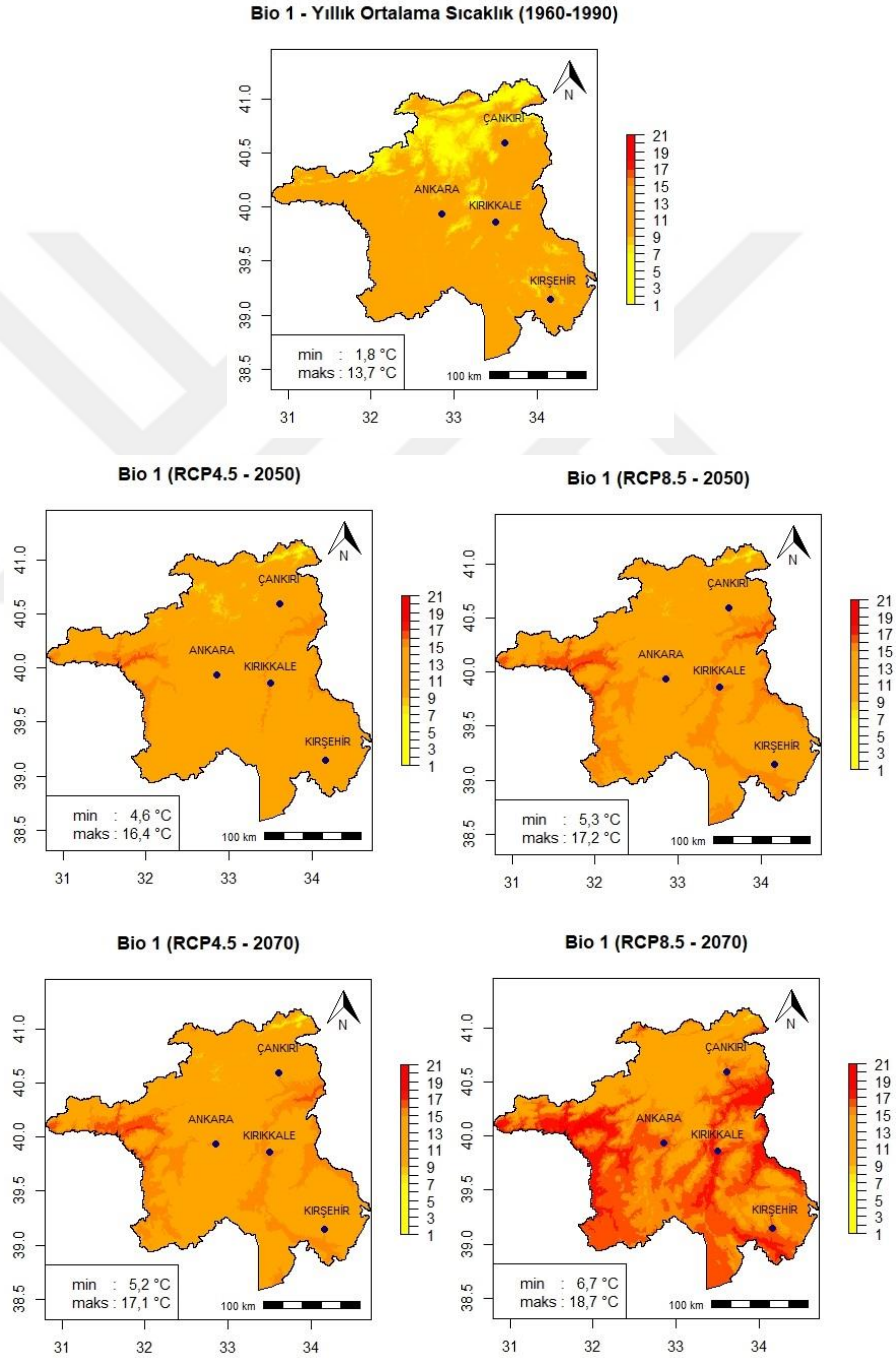
Şekil 3.5: Erinç yağış etkinlik indisine göre iklim tipleri (Aydın ve diğ., 2019).

Dünyada en yaygın kullanılan iklim sınıflandırmalarından biri olan Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre, Türkiye'nin görülen iklim tipleri sırasıyla kışları ılıman nemli orta enlem iklim tipi (C), kışları soğuk nemli orta enlem iklim tipi ve kurak iklim tipi (B) şeklinde sıralanmaktadır (Öztürk ve diğ., 2017). İç Anadolu Bölgesi'nde en geniş etki alanına sahip iklim tipinin kurak iklim (B) ve bunu takiben dağlık alanlarda ise karasal iklim olarak da adlandırılan kışları soğuk nemli orta enlem iklim tipinin (D) hâkim olduğu görülmektedir.



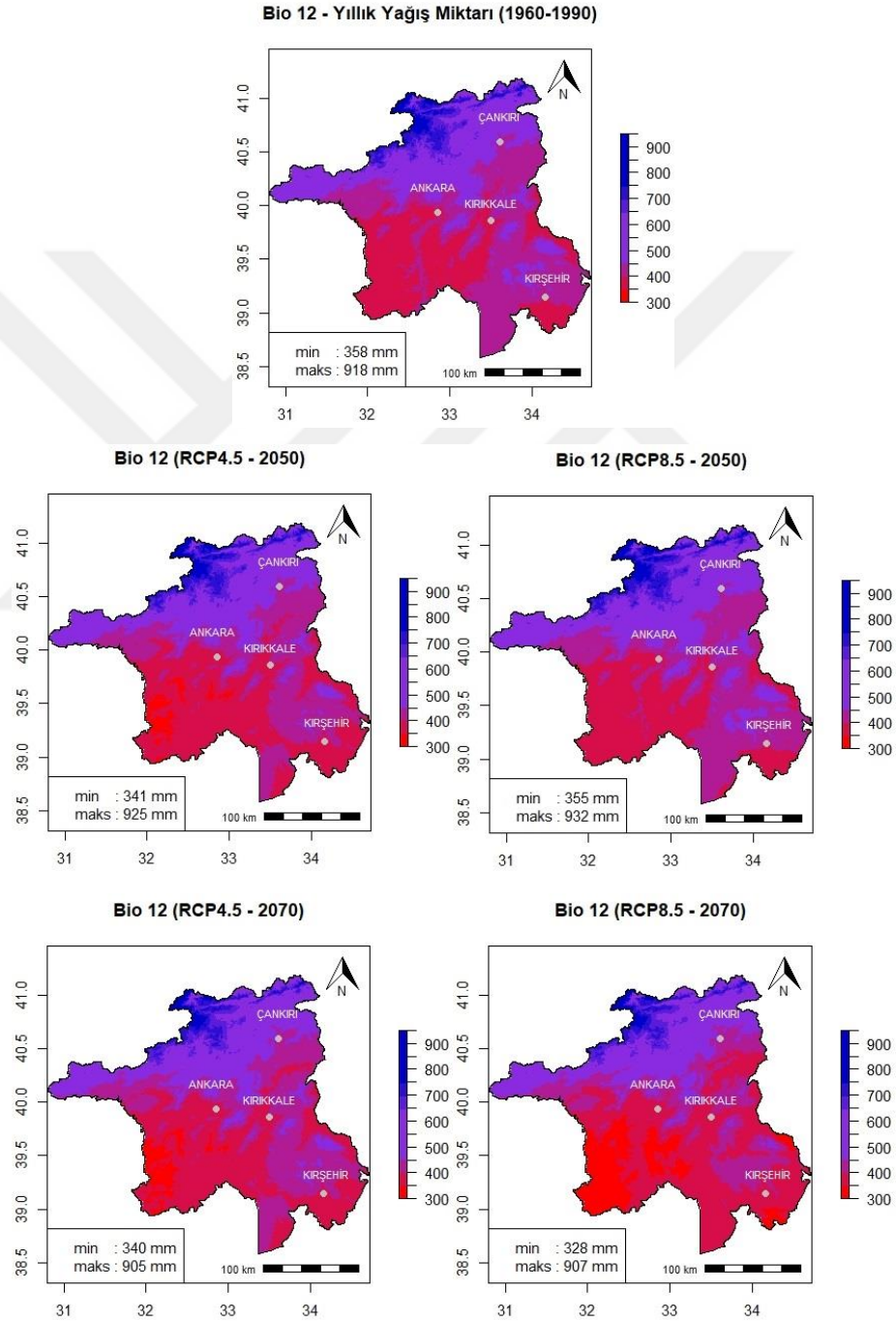
Şekil 3.6: Türkiye'nin Köppen-Geiger iklim tipleri haritası (Öztürk ve diğ., 2017).

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içinde 1960-1990 referans dönemi için ortalama yıllık sıcaklıklar 1,8 °C ile 13,7 °C arasında değişmektedir. 2050 orta yılında RCP4.5 senaryosuna göre 4,6 °C ile 16,4 °C, RCP8.5 senaryosuna göre ise 5,3 °C ile 17,2 °C arasında değişeceği öngörülmektedir. 2070 orta yılı için RCP4.5'e göre 5,2 °C ile 17,1 °C arasında olacağı tahmin edilen ortalama yıllık sıcaklıklar RCP8.5'e göre 6,7 °C ile 18,7 °C arasında kalacaktır (Şekil 3.7).



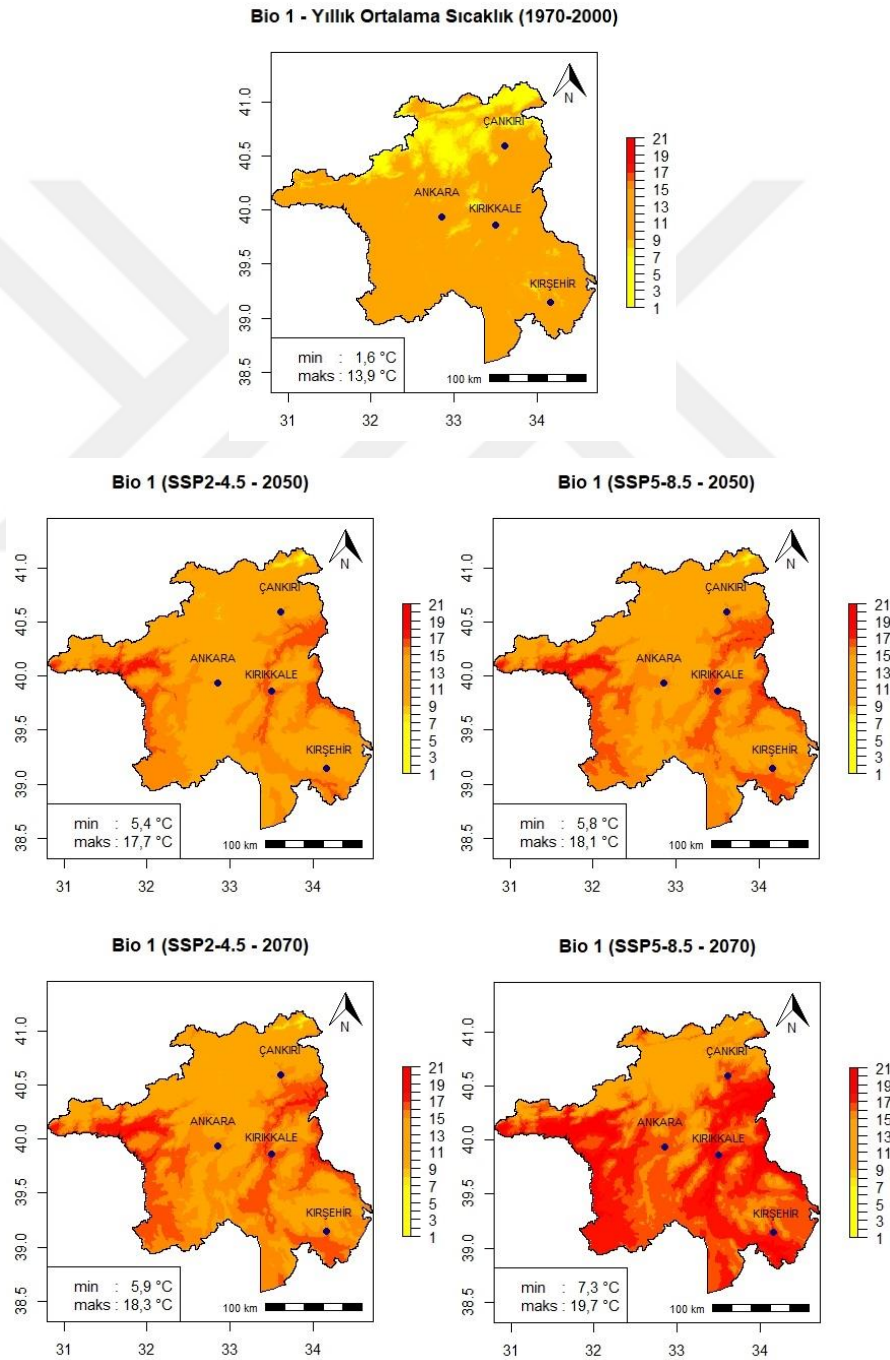
Şekil 3.7: Yıllık ortalama sıcaklık (RCPs-Bio1) (Hijman ve diğ., 2005).

Ortalama yıllık toplam yağış miktarları ise 1960-1990 referans dönemi için 358 mm ile 918 mm arasında değişmiştir. 2050 orta yılında RCP4.5 senaryosuna göre 341 mm ile 925 mm arasında, RCP8.5 senaryosuna göre 355 mm ile 932 mm arasında olacağı kestirilen yıllık ortalama toplam yağışlar, 2070 orta yılı için RCP4.5'e göre 340 mm ile 905 mm, RCP8.5'e göre de 328 mm ile 907 mm arasında değişeceği tahmin edilmektedir (Şekil 3.8).



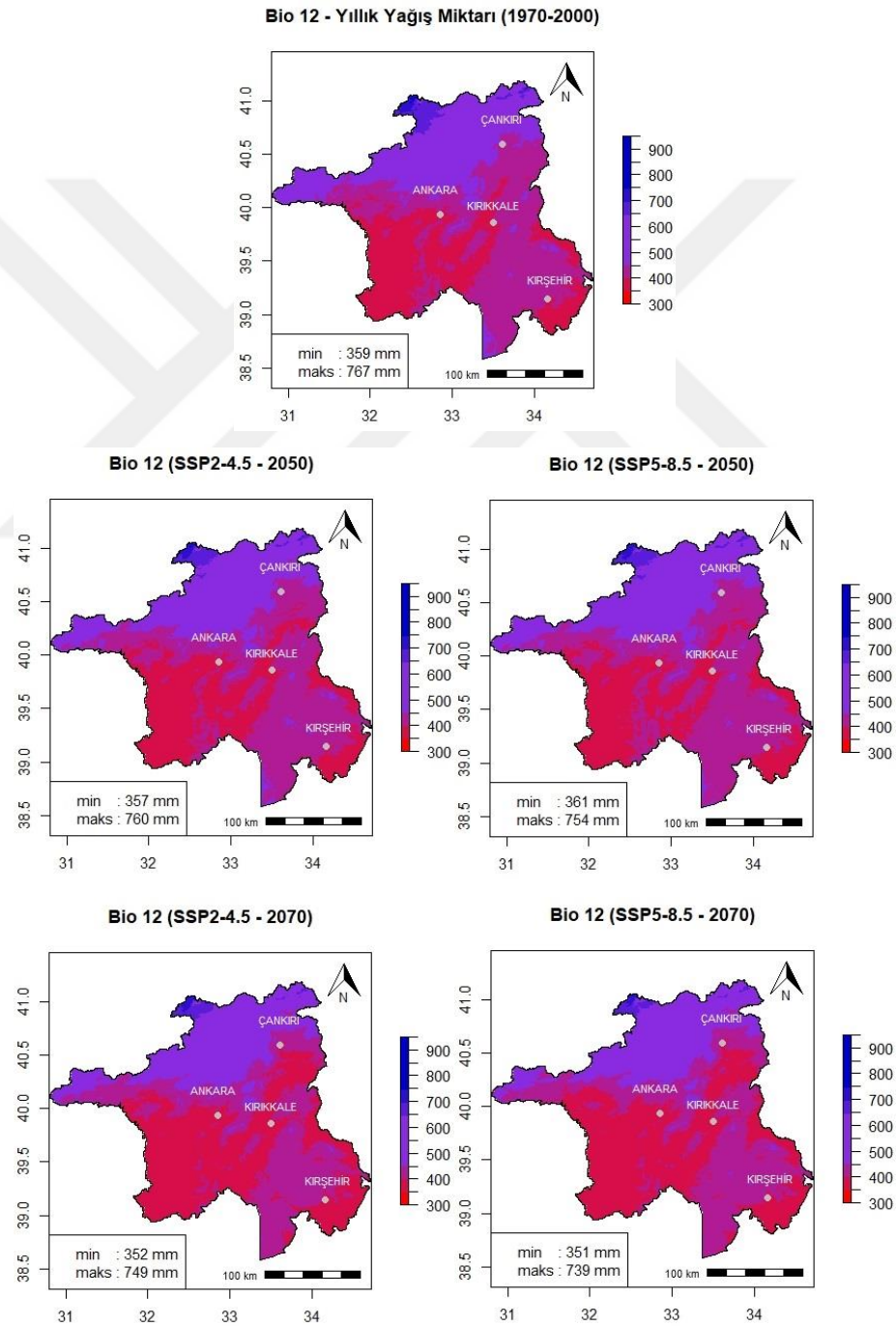
Şekil 3.8: Yıllık toplam yağış miktarı (RCPs-Bio12) (Hijman ve diğ., 2005).

WorldClim veri tabanı sürüm 2.1’de 1970-2000 referans dönemi için ortalama yıllık sıcaklıklar 1,6 °C ile 13,9 °C arasındadır. SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılını kapsayan dönem için 5,4 °C ile 17,7 °C arasında ve en karamsar senaryo olan SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 5,8 °C ile 18,1°C arasında değişeceğine yönelik tahminler elde edilmiştir. Yine aynı senaryo grupları için 2070 orta yılında SSP2-4.5’e göre 5,9 °C ile 18,3 °C arasında olacağı tahmin edilen ortalama yıllık sıcaklıkların SSP5-8.5’e göre 7,3 °C ile 19,7 °C arasında kalacağı öngörülmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Yıllık ortalama sıcaklık (SSPs-Bio1) (Fick ve Hijmans, 2017).

1970-2000 referans dönemine ait ortalama yıllık toplam yağış miktarları 359 mm ile 767 mm arasında değişmiştir. Kötünün iyisi olarak tanımlanan SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılında yıllık yağış miktarları 357 mm ile 760 mm arasında, en karamsar senaryo olarak kabul edilen SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 361 mm ile 754 mm arasında olacağı tahmin edilen yıllık toplam yağışlar, sırasıyla aynı senaryo gruplarına göre SSP2-4.5'te 2070 orta yılı için 352 mm ile 749 mm arasında ve SSP5-8.5'te 351 mm ile 739 mm arasında değişeceği tahmin edilmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Yıllık toplam yağış miktarı (SSPs-Bio12) (Fick ve Hijmans, 2017).

3.1.5. Çalışma Alanındaki Ormanlar ve Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü 2020 yılı itibariyle 4.511.198 ha genel alana sahip ve bu alanın 788.884 ha orman alanı ve 333.477 ha orman içi açıklıktan oluşmaktadır. Bölge Müdürlüğü orman alanları 460.237 ha verimli ve 328.647 ha ise boşluklu kapalı ormanlardan meydana gelmektedir (OGM, 2021).

Ankara OBM’de kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı ormanlarının alanları 2020 Ormancılık İstatistikleri’ne göre sırasıyla 32.600, 367.273, 77.211 ve 17.959 ha’dır (Tablo 3.1). Bölge Müdürlüğü plan ünitelerinde yayılış gösteren ağaç türleri ve ormanlar hakkında orman işletme müdürlükleri bazında amenajman planlarından faydalanılarak genel bilgiler verilmiştir (OGM, 2010; 2011; 2012a, 2012b; 2012c; 2014; 2015, 2016, 2018).

Tablo 3.1: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı ağaç türlerinin orman işletme müdürlüklerine göre alansal dağılımı (ha) (OGM, 2021; URL-1).

ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜKLERİ	Kızılçam		Karaçam		Sarıçam		Kazdağı göknarı	
	Normal Kapalı (ha)	Boşluklu Kapalı (ha)	Normal Kapalı (ha)	Boşluklu Kapalı (ha)	Normal Kapalı (ha)	Boşluklu Kapalı (ha)	Normal Kapalı (ha)	Boşluklu Kapalı (ha)
Ankara	-	-	46.949,27	4.517,65	4.658,43	2.415,56	-	-
Beyşehir	796,79	478,45	24.928,72	16.730,35	5.814,44	250,39	592,34	-
Çamlıdere	59,23	20,38	9.155,40	6.437,29	13.703,97	764,75	2.653,09	36,88
Çankırı	-	-	32.679,72	23.122,99	4.366,09	1.586,76	1.149,32	364,91
Çerkeş	-	-	10.892,28	8.861,58	8.389,19	2.480,58	3.355,29	77,64
Eskipazar	369,73	-	14.127,20	4.427,39	4.368,00	239,71	1.376,70	15,53
İlgaz	-	-	25.775,19	18.179,29	8.304,16	1.529,50	4.780,72	315,41
Kırıkkale	-	-	12.196,38	6,79	-	-	-	-
Kırşehir	-	-	14.653,61	1.497,47	-	-	-	-
Kızılcahamam	-	-	20.158,51	7.730,84	16.842,39	1.497,47	3.215,81	26,20
Nallıhan	18.537,23	12.338,86	43.655,12	20.590,00	-	-	-	-
TOPLAM ALAN	19.762,99	12.837,69	255.171,42	112.101,65	66.446,66	10.764,72	17.123,27	836,57
AĞAÇ TÜRLERİ TOPLAM ALANI	32.600		367.273		77.211		17.959	

Ankara OİM’de yetişme ortamı özelliklerine bağlı olarak doğal yayılış gösteren türlerin başında meşe, ardıç ve karaçam gelmektedir. Plan ünitesinde ardıç ve meşeler doğal, karaçam ise hem doğal hem ağaçlandırma yoluyla kurulmuş meşcerelerden oluşmaktadır. Karaçam ağaçlandırmalarının yanı sıra sedir, sarıçam ve diğer yapraklı türlerin karışımında olduğu ağaçlandırma kökenli meşcereler de bulunmaktadır.

Nallıhan OİM alanlarında kuzey bölgelerde karaçam ve meşe meşcereleri, güney bakılarda ve alçak rakımlı alanlarda kızılçam, karaçam, ardıç, meşe ve ağaçlandırma kökenli fıstıkçanı

meşcereleri mevcuttur. Kızılçam ile karaçam yer yer karışık meşcereler kurmaktadır. Ağaçlandırma alanlarında sıklıkla kullanılan türler karaçam ve kızılçamdır.

Beyazır OİM’de kızılçam, karaçam, sarıçam, ardıç ve meşe türlerinden meydana gelen meşcereler görülmektedir. Karaçamlar genellikle saf, az oranda da sarıçam ve meşe ile karışık meşcereler kurmaktadır. Yetiştirme ortamı özelliklerine bağlı olarak ağaçlandırmalarda kızılçam, karaçam, sedir ve diğer yapraklı türler kullanılmaktadır.

Çamlıdere OİM’de ana ağaç türleri olan karaçam, sarıçam, Kazdağı göknarı ve meşelerden meydana gelen meşcereler görülmektedir. Sarıçamlar hem karaçam ile hem de Kazdağı göknarı ile karışık meşcereler kurmaktadır.

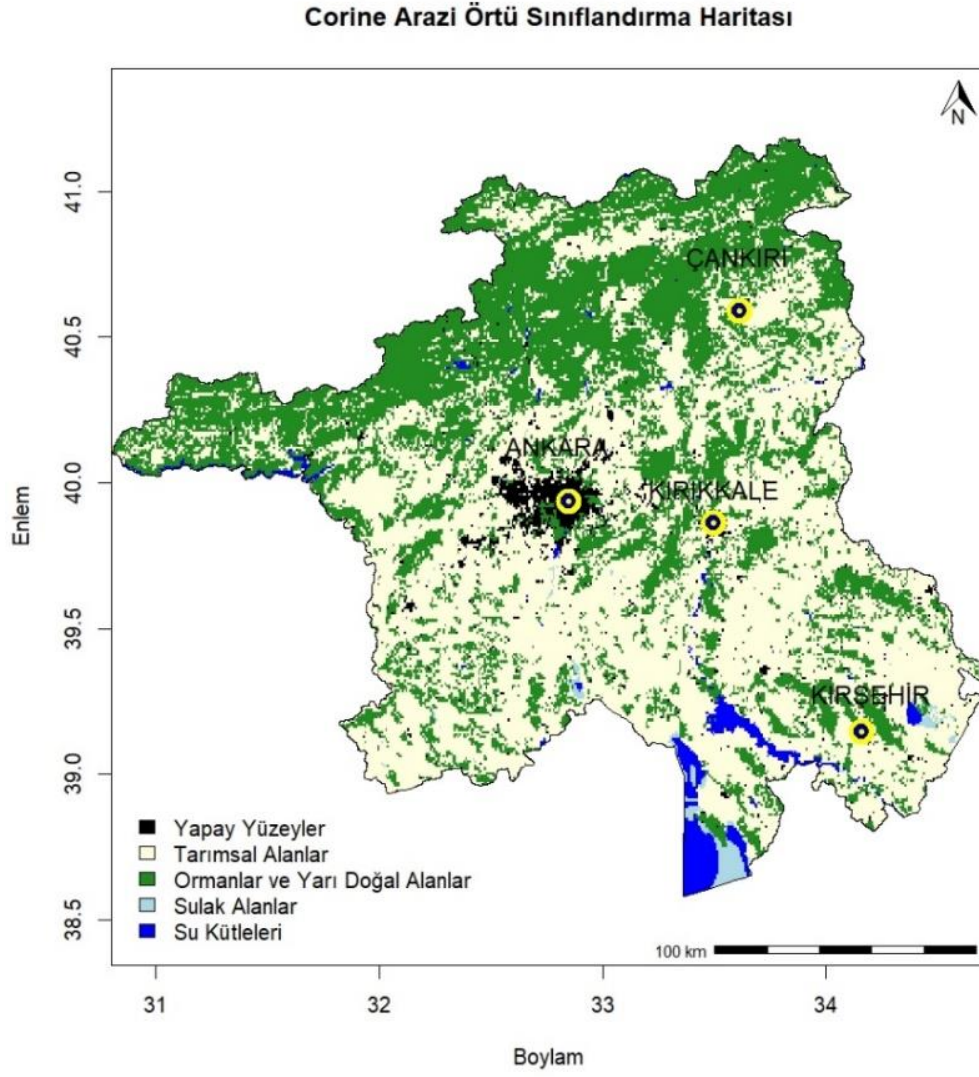
Kızılcahamam OİM’de asli ağaç türleri karaçam, sarıçam, Kazdağı göknarı, meşe ve kavaktır. Kazdağı göknarı oldukça dar alanda, sarıçamlar ise yükseltinin fazla olduğu alanlarda yayılış göstermektedirler. Karaçam meşcereleri genellikle saf meşcereler halinde yayılış göstermekte olup az miktarda sarıçamlarla karışık meşcereler de bulunmaktadır.

İlgaz OİM’de ana ağaç türleri karaçam, sarıçam, Kazdağı göknarı ve mazı meşesi türlerinden oluşmaktadır. Plan ünitelerinde hem saf meşcereler hem de yükseklik ve bakıya bağlı karışımlar görülmektedir.

Çankırı OİM’de kuzeyde saf ve karışık halde sarıçam, karaçam, meşe ve Kazdağı göknarı meşcereleri, güney ve orta kesimlerde ise karaçam ve meşe meşcereleri bulunmaktadır. Plan ünitelerinde geniş ağaçlandırma sahaları mevcut olup fazlaca karaçam kullanılmakta ve az miktarda sedir ve diğer yapraklı türlerde ağaçlandırmalarda rastlanmaktadır.

Kırıkkale ve Kırşehir Orman İşletme Müdürlükleri alanlarında yetiştirme ortamı koşullarına bağlı olarak doğal ormanlar için ana ağaç türü meşedir. Plan ünitelerinde ağaçlandırma yoluyla getirilmiş karaçam, sedir, sarıçam ve diğer yapraklı türlerin karışımında olduğu genç meşcereler mevcuttur.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü genelinde arazi kullanımında orman alanları genellikle bölge müdürlüğünün kuzey bölgelerinde Karadeniz ardı iklim özellikleri görülen alanlarda yer almaktadır. Bölge müdürlüğünün güney kesimlerinde ise orman yayılışının oldukça az ve daha çok tarım alanlarının hâkim olduğu arazi kullanım tipi görülmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Corine arazi örtüsü sınıflandırma haritası (URL-2).

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Arazi Çalışmaları

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde asli ağaç türlerinin başında meşe, karaçam, sarıçam, ardıç ve Kazdağı göknarı gelmektedir (OGM, 2021). Bölge Müdürlüğünde kızılçam da azımsanmayacak bir alana sahiptir. Bu türlerden meşe ve ardıçların envanteri cins bazında yapılmıştır. Örneğin İç Anadolu Bölgesinde *Quercus pubescens* Willd., *Quercus ithaburensis* Decne. ve *Quercus cerris* L. türleri yayılış göstermektedir. Meşe türlerinin her birinin ekolojik istekleri ve biyolojilerinin farklı olması, meşelerin amenajman planlarında genellikle cins bazında yer alması ve tür bazında henüz yeterli envanter kaydı bulunmaması sebebiyle meşeler çalışmaya dahil edilmemiştir. Benzer şekilde ardıç türleri de çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Böylece çalışmada Bölge Müdürlüğü sınırları içinde en fazla alansal yayılışa sahip kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) türleri çalışmaya konu edilmiştir. Çalışmada öncelikle Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarında kalan tüm orman amenajman planlarından yararlanılarak söz konusu dört türün günümüz dağılımları tespit edilmiştir.

Ağaç türlerinin var-yok verisi oluşturulurken doğal meşcerelerin bulunduğu orman alanlarından faydalanılmıştır. Bu bölgede ağaçlandırmalarda genellikle karaçam, sedir gibi doğal türlerimiz olmasına rağmen yerel olmayan türlerin kullanılmış olması sebebiyle ağaçlandırma sahaları planlardan ve ilgili işletmelerden tespit edilerek örneklem dışında tutulmuştur.

Doğal saf ve karışık meşcerelerden oluşturulan noktalara ek olarak arazi gözlemleriyle türlerin amenajman planlarında gösterilmeyen yayılış alanları da belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla var-yok verisi elde etmek için Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içinde orman amenajmanı verisi olmayan ya da yetersiz olan orman alanlarından koordinatlarıyla birlikte 500 örnek alan alınmış ve bu alanlarda 400 m² büyüklükteki alanlarda ağaç türleri belirlenmiştir.

Tür topluluklarına ait çalışmalarda, türün varlığı veya yokluğu genellikle “varlık-yokluk” kayıtları ile tespit edilmekte ve örneklenmektedir. Bolluk tahminlerinde kullanılan birey sayısı örneklemelerine göre daha kolay elde edilebilen var-yok verileri birçok çalışmada yaygın şekilde kullanılmaktadır (Dorazio ve diğ., 2011). Bu nedenle çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Var-yok örneklemelerinde türün var olduğu noktalar “1” ile türün yok olduğu yani bulunmadığı noktalar ise “0” ile gösterilmektedir.

3.2.2. Verilerin Hazırlanması

3.2.2.1. Türlerin Var-Yok Veri Setlerinin Oluşturulması

Araştırmaya konu olan ilgili türlerin Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde yayılış gösterdiği alanlar Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Amenajman Başmühendislikleri tarafından hazırlanan sayısal meşcere haritaları altlık olarak kullanılarak tespit edilmiştir. Sayısal meşcere haritalarında ağaç türlerinin var olduğu alanlar poligonlar halinde shape (.shp) dosyası olarak üretilmektedir. Her türden veriyi kapsayacak şekilde türlerin ayrı ayrı yayılış gösterdiği alanlara farklı yükseklik, topoğrafya, bakı, eğim v.b. gibi faktörleri göz önüne alınarak araziden alınmış 500 örnek nokta coğrafi bilgi sistemi ortamına aktarılmıştır. Koordinatları belirli bu noktalarda hangi ağaç türüne ait var-yok verilerine sahipse çalışılacak ana türler ile gösterge türler noktada var ise "1" ile yok ise "0" ile veri matrisine işlenmiştir.

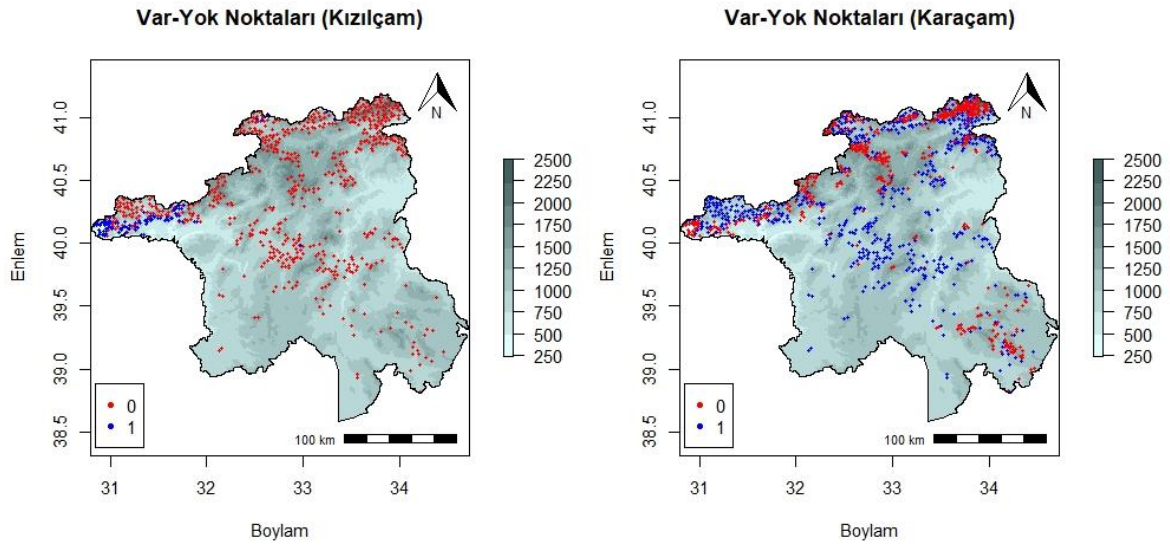
Bunun yanı sıra, amenajman planları hazırlanırken amenajman heyetleri tarafından envanter çalışmaları esnasında alınan örnek noktalarda plan uygulaması içerisinde nokta shape formatında yer almaktadır. Orman İdaresi ve Planlama Dairesi'nin kullandığı amenajman plan programı içerisinde örnek alanlarda ölçülen ve kaydedilen ağaç türlerine ait veriler çıkartılarak çalışmamızda alınan noktalara ek yeni noktalarında üretilmesinde kullanılmıştır.

Bu iki işleme ilaveten amenajman planlarında örnek nokta verisi olmayan ve arazi çalışmaları esnasında gidilemeyen sahalar için ise yine amenajman planlarında bulunan bölmecik katmanından faydalanılarak bölmecikler düzeyinde noktalar oluşturulmuştur. Bu noktalara ilişkin bilgiler amenajman planlarının 13 numaralı tablolardan alınarak kullanılmıştır.

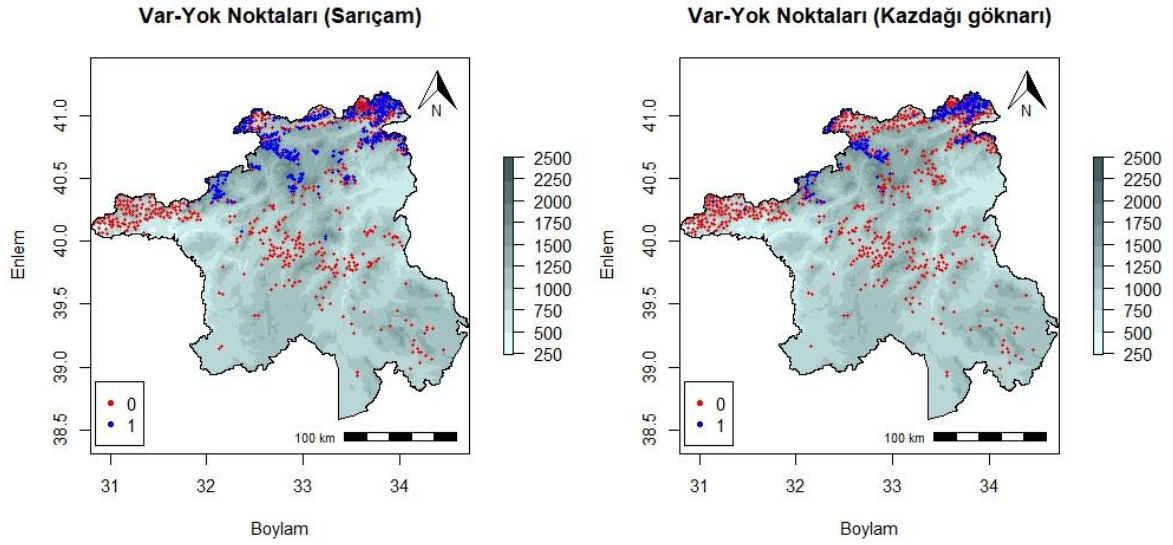
Bu aşamaların sonunda arazide alınan, plan uygulamasından alınan ve bölmecik katmanı üzerinden üretilen noktalardan çalışma alanı içerisinde toplam 1000'in üzerinde nokta elde edilmiştir. Modelleme aşamasında kullanılacak olan raster haritaların çözünürlüğünün ~1 km olması sebebiyle, bazı piksellere birden fazla nokta düşmektedir. Bu durumu engellemek amacıyla çalışmaya konu her tür için ayrı ayrı nokta veri setleri düzenlenmiş (Şekil 3.12; Şekil 3.13) ve birbirine yakın olan noktalar R istatistik platformunda spThin (Aiello-Lammens ve diğ., 2015) paketi yardımıyla veri yalnlılığının önüne geçmek amacıyla mekânsal olarak seyreltilmiştir. Bu algoritma paketi ekolojik modelleme çalışmalarında tür kayıtlarının mekânsal seyreltilmesi (spatial thinning) işleminde kullanılmaktadır. Kullanılan altlık haritaların çözünürlüğüne göre bir piksele birden fazla nokta düşmesi durumunda bazı noktaların elenmesi işlemi manuel olarak da yapılabilir. Fakat bu işlem oldukça zaman alıcı olmaktadır. Bu sebeple ilgili paket yardımıyla veri seti üzerindeki tür kayıtlarının en yakın

komşu mesafesi (km olarak) kısıtları ve tekrar sayısı belirtilerek seyreltme işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmiş ve aralarında belirli mesafeden daha yakın kayıtların bulunmadığı maksimum kayıt sayısına sahip bir alt veri kümesi oluşturulmuştur (Aiello-Lammens ve diğ., 2015).

Türlerin var-yok verileri toplanırken dikkat edilmesi gereken önemli hususlar vardır ve bunlar modelleme aşaması ile sonrasında çıktıların yorumlanmasında göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer bir tür ekolojik isteklerine uygun bir alanda bulunmuyorsa burada dikkatli olmak gerekmektedir. Örneğin Elith ve diğ. (2011)'ne göre geçmişte yaşandığı bilinen zararlardan kaynaklı bir yok oluş söz konusuysa mevcut ekolojik bilgiye dayanarak türün burada var olduğu kabul edilmeli ya da yok olduğu kesin şekilde kabul edilmemelidir. Aksi takdirde ekolojik olarak uygun olan bu alan modele yok olarak tanımlanırsa, uygun alanların tahmininde bu alan uygun olmayan yer şeklinde tarif edilmiş olacaktır. Buna benzer durumların önüne geçebilmek amacıyla doğal zarar görmüş alanlar ve yapay ağaçlandırma sahaları örneklem dışında tutulmuştur.



Şekil 3.12: Kızılcçam ve karaçam var-yok noktaları.



Şekil 3.13: Sarıçam ve Kazdağı göknarı var-yok noktaları.

3.2.2.2. Çevresel Değişkenlerin Temini ve Üretilmesi

Tür dağılım modellerinde çoğunlukla çevresel değişkenler olarak iklim, topoğrafya, anakaya ve toprak özellikleri kullanılmaktadır.

İklim özelliklerine ait değişkenler WorldClim veri tabanı sürüm 1.4 (Hijman ve diğ., 2005)’den temin edilmiştir. WorldClim veri tabanında modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan 19 biyoiklim değişkeni, aylık minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklar ve aylık toplam yağış değişkenleri bulunmaktadır (Ek 2). WorldClim veri tabanından IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5)’nda kabul edilen (CMIP5) “Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)” kapsamında oluşturulan senaryo grupları arasından 2050 (2041-2060 periyodu) ve 2070 (2061-2080 periyodu) orta yılları için orta derecede ışımsal (radyatif) zorlama (4.5 W/m^2) RCP4.5 senaryoları ve üst derece ışımsal (radyatif) zorlama (8.5 W/m^2) RCP8.5 senaryolarına dayanan İngiltere Meteoroloji Ofisi Hadley Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen iklim projeksiyonu modeli HadGEM2-ES’in kullanılmasına karar verilmiştir. Türkiye’nin 6. ve 7. ulusal bildirimlerinde HadGEM2-ES modelinin küresel iklim modellerinin ortalama sıcaklık karşılaştırmalarına göre Türkiye ve çevresindeki sıcaklık değerlerini temsil eden tutarlı küresel modellerden bir tanesi olduğundan bahsedilmektedir (ÇŞB, 2016; 2018). Senaryo grupları seçiminde ise oldukça iyimser olan ve bu nedenle ulaşılması oldukça zor olduğu düşünülen RCP2.6 senaryosunun yerine, tüm dünyada yaygın olarak tercih edilen kötünün iyisi olarak adlandırılan RCP4.5 ile en karamsar senaryo olan RCP8.5’in kullanılmasına karar verilmiştir. Bu iki senaryo grubu Türkiye’nin 6. ve 7. ulusal

bildirimlerinde yer alan ve aynı zamanda Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün iklim çalışmalarında Türkiye için özellikle tercih edilen senaryolar olarak kullanılmaktadır (MGM, 2015; SYGM, 2016;2020, ÇŞB, 2016;2018).

Günümüze ait ve bu senaryolar ve projeksiyonlara dayalı gelecek dönem biyoiklim, sıcaklık ve yağış değişkenlerinin raster haritaları çalışma alanına uygun olarak kesilerek hazırlanmıştır.

WorldClim veri tabanından elde edilen iklim değişkenlerin yanı sıra başkaca kaynaklardan da veri temin edilmiştir. Title ve Bemmels (2018) tarafından ekolojik modelleme çalışmalarında kullanılabilecek WorldClim (Hijman ve diğ., 2005) değişkenleri ile aynı çözünürlükte (30 arc-seconds ekvatorda ~1 km) üretilen iklimsel değişkenlerden faydalanılmıştır. Title ve Bemmels (2018) ürettikleri raster verileri kullanıma hazır halde sunmanın yanı sıra farklı zaman periyodları veya veri setleri için araştırmacıların kendi verilerini üretmesine imkân sağlayacak bir R paket programını (envirem) da kullanıma sunmuşlardır. Bu sayede bu çalışmada, envirem (Title ve Bemmels, 2018) paketi yardımıyla R istatistik platformunda (R Core Team, 2019) 2050 ve 2070 orta yılları için RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre envirem değişkenleri üretilmiştir.

Trabucco ve Zomer (2018) tarafından potansiyel buharlaşma verileri 30 arc-seconds ekvatorda ~1 km çözünürlükte hazırlanarak kullanıma sunulmuştur. Bu veri setinde WorldClim sürüm 2.0' ye ait mevcut dönem verileri kullanılmıştır. Çalışmamızda iklim projeksiyonlarına göre gelecek dönem verileri kullanılacağı için WorldClim sürüm 2.0'da gelecek dönem verilerinin henüz kullanıma sunulmaması sebebiyle WorldClim sürüm 1.4 (Hijman ve diğ., 2005) verileri kullanılarak Trabucco ve Zomer (2018)'in çalışmalarında kullandığı metodolojiye göre ihtiyaç duyulan değişkenler yine mevcut dönem ve gelecek dönem için R platformunda envirem (Title ve Bemmels, 2018) paketi yardımıyla yeniden üretilmiştir. WorldClim sürüm 2.1 (Fick ve Hijman, 2017)'in 30 arc-seconds (ekvatorda ~1 km) çözünürlükteki verilerinin 2022 yılında yayınlanmasıyla birlikte çalışma kapsamında bahsi geçen tüm değişkenler bir önceki sürüm verilerine uygulanan yöntemler aracılığıyla yeni nesil veriler ile yeniden üretilmiş ve kullanılmıştır. Yeni sürüm verilerin iklim modeli seçiminde diğer sürümde olduğu gibi Türkiye ve çevresindeki sıcaklık değerlerini temsil eden tutarlı küresel modellerden bir tanesi olarak kabul edilen İngiltere Meteoroloji Ofisi Hadley Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen iklim projeksiyonu modeli HadGEM2'nin bir sonraki nesil modeli olan HadGEM3'in kullanılmasına karar verilmiştir.

İklimsel değişkenlerin yanı sıra topoğrafik değişkenlerden eğim, topoğrafik pozisyon indeksi, topoğrafik engebelilik indeksi ve topoğrafik pürüzlülük indeksleri R platformunda raster (Hijmans, 2021) paketi yardımıyla üretilmiştir. Bakı uygunluk, radyasyon ve topoğrafik nemlilik indeksi değişkenlerinin oluşturulmasında SAGA-GIS ve ArcGIS yazılımlarının ilgili araçlarından yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında temin edilen ve üretilen değişkenlerin tümü Ek 2’de liste halinde verilmiştir.

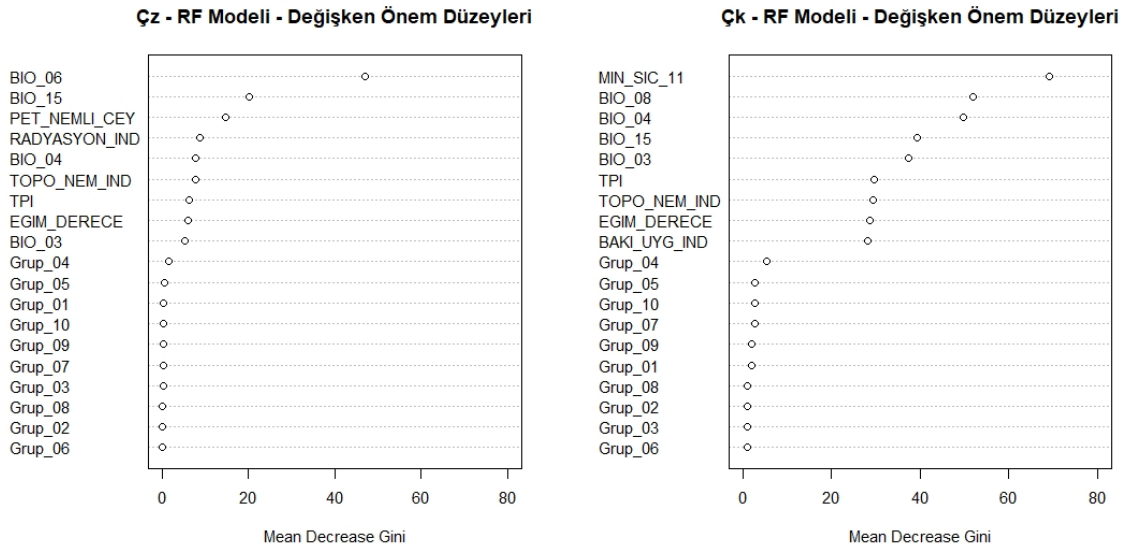
Anakaya değişkeni için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarından faydalanılmıştır (MTA, 2011). Vektör formatında temin edilen jeoloji haritaları çok fazla anakaya sınıfı içermesi sebebiyle toprak derinliği, taşlılık ve toprak türü gibi ağaç gelişimine etki eden faktörler göz önünde bulundurularak 11 grup altında birleştirilmiştir (Tablo 3.2). Birleştirilen gruplar modelleme aşamasında kullanılmak üzere çalışma ölçeğine uygun raster formata dönüştürülmüştür.

Tablo 3.2: Benzer özellikte toprak verme özelliğine sahip anakaya grupları.

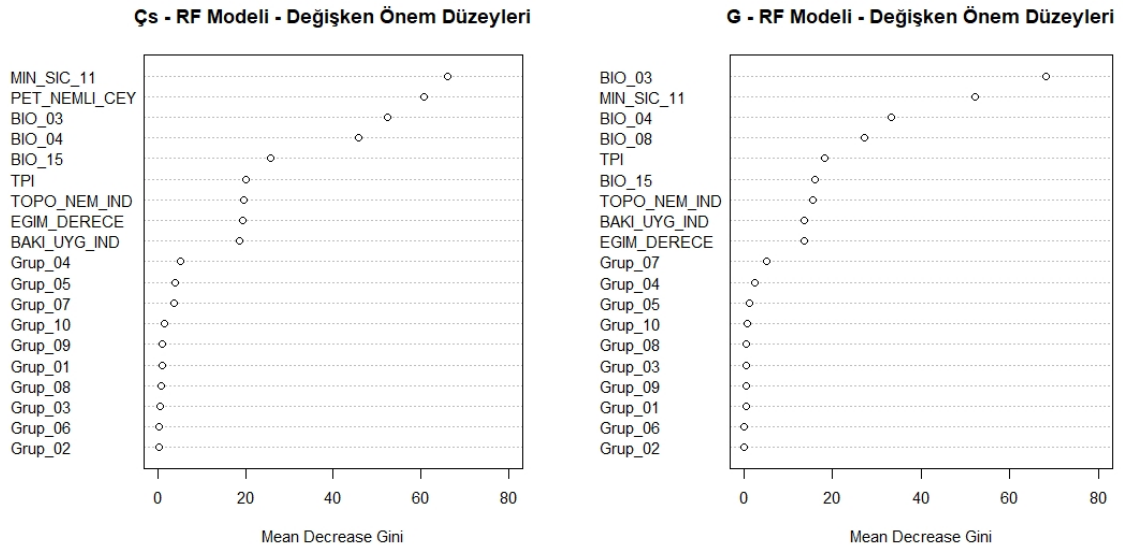
Grup 1	Kireçtaşı, mermer, killi kireçtaşı karbonatlı kil, çörtlü kireçtaşı, dolomit, traverten, kalış-taraça.	Killi ve kireçli topraklar. Topraklar genellikle sıg ve orta derinliktedir (kireçli tortul ya da magmatik kaya).
Grup 2	Granit, granodiyorit, monzonit.	Orta ve derin kumlu topraklar (magmatik kaya).
Grup 3	Alüvyon, eski alüvyon, alüvyon yelpazesi.	Derin topraklar. Topraklar kumlu, balçık ya da killi olabilir.
Grup 4	Çakıl taşı, çamur taşı, çakıl taşı-kumtaşı-çamur taşı, kumtaşı-çamur taşı-kireçtaşı, çakıl taşı-kumtaşı-çamur taşı-(şeyl), kumtaşı-çamur taşı, kumtaşı-çamur taşı-(şeyl), şeyl, kumtaşı, kuvarsit-kuvars şist.	Killi, kireçli, çoğunlukla taşlı sıg ve orta derinlikte topraklar (tortul kaya-başkalaşım kayası).
Grup 5	Serpantin, peridotit, melanj, çört-bazalt-şeyl, listvenit.	Killi sıg toprak. Serpantin ana kayası içerdiği mg nedeniyle orman ağacı türleri için marjinaldir (Not: melanjlar çoğunlukla ofiyolitik olduğu için buraya alınmıştır).
Grup 6	Jips, evaporit.	Orman ağaçları için marjinal. Killi ve kireçli sıg-orta derinlikte topraklar.
Grup 7	Andezit, aglomera, andezit-piroklastik kaya, aglomera-tüf, aglomera-tüf-andezit, andezit-bazalt-tüf, andezit-dasit-tüf volkanit-çökel kaya, dasitüriyolit, ignimbirit.	Magmatik kayalar, balçık ya da killi topraklar. Derinlikleri değişkendir.
Grup 8	Bazalt, gabro, diyabaz, piroksenit, levha dayk, lampofir.	Magmatik kayalar, sıg ve killi topraklar.
Grup 9	Yamaç molozu-birikinti konisi.	Taşlı ve derin topraklar. Toprak türü değişkendir.
Grup 10	Metavolkanit metakumtaşı-metaçakıltaşı metabazik, migmatit-gnays.	Sıg topraklar.
Grup 11	Bataklık, göl, deniz.	

Çalışma kapsamında jeoloji haritalarının yanı sıra toprak haritaları da temin edilmiştir. Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından üretilen büyük toprak grupları haritasında daha çok tarım alanlarını kapsayan eğim, derinlik, drenaj durumu, tuzluluk, erozyon dereceleri ve arazi kullanımı bilgileri mevcuttur. Bu durum orman alanları için geçerli değildir. Bu haritalarda orman alanlarının bulunduğu bölgeler genellikle kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi orman toprakları şeklinde iki grup olarak gösterilmiş ve orman ağacı yayılışları üzerinde lokal olarak önemli olan toprak derinliği, tekstür, taşlılık gibi toprak özellikleri hakkındaki bilgilere yer verilmemiştir. Bu sebeple toprak haritalarının modelleme sürecine dahil edilmesinin elverişli olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Proje kapsamında çalışmaya konu dört türden her birisi için ayrı ayrı geliştirilen tür dağılım modellerinde, iklimsel ve topoğrafik değişkenlerin yanı sıra ağaç gelişiminde etkisi olan faktörlere dayanan anakaya gruplandırılmalarının kategorik değişken olarak modelleme çalışmalarına dahil edilmesi planlanmış ve bu anakaya grubu değişkenlerinin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Ancak tür dağılım modellerinde iklimsel ve bazı topoğrafik değişkenler modele en fazla katkı sağlayan değişkenler olarak tespit edilirken anakaya grubu değişkenlerinin modele katkısının çok düşük seviyelerde olması türlerin dağılımını açıklamaya elverişli sonuçlar sağlamadığını göstermiştir (Şekil 3.14; Şekil 3.15). Böylece anakaya grubu değişkenlerinin ilerleyen aşamalarda analizlere dahil edilmemesine karar verilmiştir.



Şekil 3.14: Değişkenlerin kızılçam ve karaçam türlerine göre modellere katkı oranları.



Şekil 3.15: Değişkenlerin sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerine göre modellere katkı oranları.

3.2.3. İstatistiksel Yöntemler

Makine öğrenmesi karmaşık ve aralarında doğrusal olmayan ilişkiler barındıran yapıları tanımlayabilme ve bunlar üzerinden tahminler geliştirebilen modeller üretmeyle ilgilenen bir alandır. Son zamanlardaki teknolojiye gelişmelerle birlikte, uzaktan algılama ve veri arşivleri gibi veri toplamayı kolaylaştıran ve yüksek kaliteli veri sağlamaya imkân veren gelişmeler sayesinde birçok alanda kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Olden ve diğ., 2008).

Bu gelişmeleri takiben, birçok alanda olduğu gibi ekoloji alanında da geleneksel yaklaşımların yerini makine öğrenmesi teknikleri almaya başlamıştır. Ekoloji uzmanları, canlı sistemlerinde bileşenler aralarındaki ilişkilerin tespiti, tanımlanması veya sistemlerde meydana gelebilecek değişimler neticesinde oluşacak yeni koşullardaki ilişkilerin tahmini için modellere başvurumaktadırlar (Elith ve diğ., 2008).

3.2.3.1. Korelasyon Analizi

Çalışmada ağaç türlerinin var-yok verileri ile iklim ve topoğrafya ile ilgili değişkenler arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile test edilmiştir. Ek olarak değişkenler arasında otokorelasyon olup olmadığı da incelenmiştir. Çalışmamızda Kalaycı (2017)'nin yorumuna göre yüksek ilişkinin başlangıç eşiği olan 0,70 değeri kullanılmıştır. Korelasyon analizi R platformunda caret (Kuhn, 2021) ve corrplot (Wei ve Simko, 2021) paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Aralarında yüksek ilişki olan değişkenlerin modelde birlikte kullanılmaları yorumlanması güç sonuçların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Modellemelerde amaç gerçekte var olan durumu basitleştirmek ve mümkün olan en az değişkenle olayı açıklayabilmektir. Bu nedenle aralarında yüksek korelasyon olan değişkenler değerlendirme dışında bırakılmıştır.

3.2.3.2. *Modelleme Tekniği: Rassal Orman (Random Forest)*

Rassal Orman, CART (Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları) ve Bagging (Torbalama) yaklaşımlarından geliştirilen bir algoritmadır (Breiman, 2001). Bu algoritmanın kullanımı uzaktan algılama, ormancılık, ekoloji ve iklim değişikliği çalışmalarından giderek yaygınlaşmaktadır (Evans ve diğ., 2011).

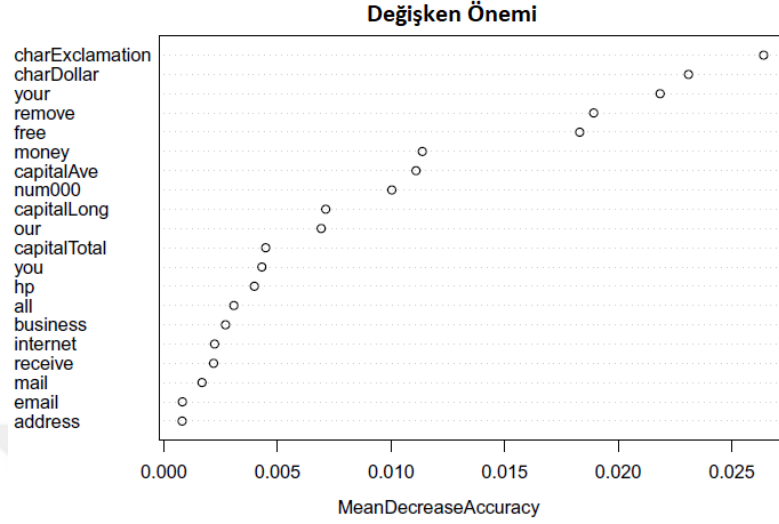
Rassal Orman algoritması çok sayıda karar ağacını (sınıflandırma veya regresyon) bir veri kümesine toplar ve sonra tüm ağaçlardan yapılan tahminleri birleştirir böylece daha iyi tahminler yapılmasını sağlar (Cutler, 2007). Bu yönüyle “topluluk öğrenmesi” adını alır ve bir manada “makine öğrenmesinin demokratik platformu” olarak nitelendirilmektedir (Gürsakal, 2018).

Algoritma, verilerden bir miktar önyükleme örneğinin seçilmesiyle başlar. Tipik bir önyükleme örneğinde, orijinal gözlemlerin yaklaşık 2/3'ü en az bir kez yüklenir. Orijinal veri kümesindeki bir önyükleme örneğinde bulunmayan gözlemlere torba dışı (out-of-bag) yani test gözlemleri denir. Her önyükleme örneğine bir sınıflandırma ağacı yerleştirilir, ancak her düğümde ikili bölümlenme için yalnızca az sayıda rastgele seçilen değişken (örn. değişken sayısının karekökü) kullanılabilir. Ağaçlar budanmadan tamamen büyür ve torba dışı gözlemleri tahmin etmek için kullanılır. Bir gözlemin tahmin edilen sınıfı, bu gözlem için torba dışı tahminlerin çoğunluk oyuyla hesaplanmaktadır (Prasad ve diğ., 2006; Cutler, 2007; Franklin, 2010). Torba dışı örnekler, model hatasını ve değişken seçim için değişkenlerin önemini belirlemede kullanılır.

Çalışma kapsamında teknik, R istatistik platformunda RandomForest (Liav ve Wiener, 2002) ve rfUtilities (Evans ve Murphy, 2019) paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

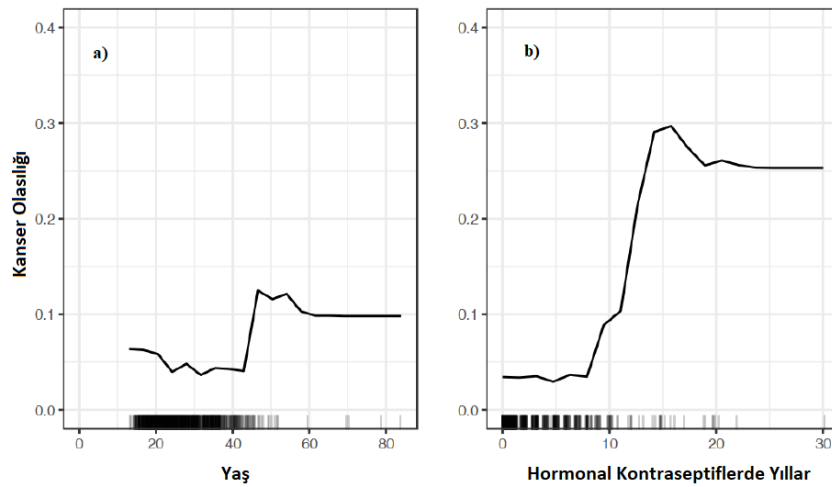
Değişken önem düzeyi, modelleme sürecinde değişken seçiminden tahmin performansı yüksek model elde etmeye ve model sonuçlarının yorumlanmasına kadar birçok aşamada kullanışlı bilgiler sağlamaktadır (Cutler ve diğ., 2012; Genuer ve Poggi, 2020). Şekil 3.16'da örnek bir veri setinden elde edilen modelde yer alan değişkenlerin önem düzeyi gösterilmiştir. En üstte

yer alan değişkenin modelden çıkartılmasının model performansının düşmesi yönünde bir etkisi olduğu gösterilmektedir (Genuer ve Poggi, 2020).



Şekil 3.16: Spam veri setine ilişkin azalan şekilde sıralanmış 20 değişkenin önemi (Genuer ve Poggi, 2020).

Değişken etki grafiklerinin yorumlanmasının bir örnek ile açıklanmasının yararlı olacağı değerlendirilmiştir. Bu amaçla Molnar (2022) Şekil 3.17’de verilen kanser olasılığı üzerinde yapılan bir modelleme çalışması örnek olarak alınmıştır. Molnar (2022) değişken etki grafiklerinin yorumlanmasını “Model sonuçlarına göre yaşın kanser olasılığı üzerindeki etkisinin 40 yaşına kadar düşük fakat sonraki yıllarda arttığı tahmin edilmektedir (Şekil 3.17.a) ve hormonal kontraseptiflerde ne kadar uzun yıllar varsa, bilhassa 10 yıl sonra, kanser olasılığı riski artmaktadır (Şekil 3.17.b)” şeklinde yapmıştır.



Şekil 3.17: a) Yaş ve b) hormonal kontraseptiflerde yıllara dayalı kanser olasılığının etki grafikleri (Molnar, 2022).

Çalışma kapsamında modelleme, R istatistik platformunda RandomForest (Liav ve Wiener, 2002) ve rfUtilities (Evans ve Murphy, 2019) paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonuçlarında R istatistik platformunda oluşturulan değişken etki grafikleri üzerindeki çizgi kesikli çizgi olarak verilmiştir. Kesikli çizgiler, değişkenin türün 0-1 (yok-var) arasındaki olasılık değeri üzerindeki etkisini göstermektedir.

3.2.3.3. Model Performanslarının Değerlendirilmesi ve Model Seçimi

Modellerin performanslarının başka bir ifadeyle geçerliliğinin test edilmesi modelleme süreçlerinin vazgeçilmez tamamlayıcı bir parçasıdır (Overton, 1977; Rykiel, 1996). Franklin (2010) tüm modellerin tahmin hatalarının olduğunu bunun sebebinin de modellerin gerçeği basitleştiren bir araç olmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Bu nedenle model sonuçlarının gerçek olup olmadığına değil, gerçekte var olan durumu açıklamakta nasıl bir performans gösterdiğine bakmak gerekmektedir. Model performansının değerlendirilmesinin temeli, geliştirilen modelin amaçlanan kullanım için elverişli olup olmadığının tespiti yani gerçek olayları ne kadar tasvir veya taklit edebildiğinin ortaya konulmasına dayanır (Rykiel, 1996). Çünkü doğa karmaşık ve dinamik bir yapıya sahiptir, bu yönüyle bire bir kapsayıcı ve doğru şekilde tahmin edilmesi oldukça güçtür.

Model performanslarının belirlenmesinde birçok ölçüt kullanılmaktadır. Ölçütlerden bahsetmeden önce bunların uygulanacağı veri setlerinden bahsetmek yerinde olacaktır. Bu noktada, iki farklı uygulama bulunmaktadır. Birinci uygulama genel itibarıyla az sayıda örneğe sahip olunan durumda, modelin eğitilmesinin ve testinin aynı örnek veri seti üzerinden yapılmasıdır. Tek bir veri setinde çapraz doğrulama, jack-knife ve önyükleme tekniklerinin uygulanması ile model başarısı test edilir. İkinci uygulama ise eğitim ve test veri setlerinin birbirinden bağımsız ayrı örneklemeler olarak mevcut olduğu durumdur. Burada model, eğitim veri seti ile çalıştırılır, test veri seti ile model başarısı test edilir. İkinci durumda ayrı ayrı iki veri seti şeklinde örneklem yapılabilmesi gibi büyük bir veri setinin farklı oranlarda iki veri kümesine bölünmesi yoluyla da uygulanabilir (Fielding ve Bell, 1997; Fielding, 1999; Guisan ve Zimmermann, 2000; Franklin, 1998; 2002; 2010; Korjus ve diğ., 2016).

Çalışmada test verilerinin bağımsız bir veri seti olarak sürece dâhil edilmesi durumu tercih edilmiştir. Bu amaçla büyük veri setinden test veri seti ayrılması için Franklin (2010) tarafından önerilen pratik bir oran formülü kullanılmıştır. Buna göre, test verilerinin oranı $1 / (1 + \sqrt{p - 1})$ olmalıdır, burada p modelde kullanılacak değişken sayısını ifade

etmektedir. Bu çalışmada modellerde kullanılan değişken sayıları 6 ile 11 arasında değiştiğinden test veri setinin veri kümesine oranı %25-30 arasında değişmektedir. Bu nedenle test veri setinin oranının tüm verilerde %25 olarak kullanılması tercih edilmiştir.

Duyarlılık, özgüllük, genel tahmin başarısı, kappa istatistiği, göreceli olasılık oranı ve normalleştirilmiş karşılıklı bilgi istatistiği gibi birçok ölçüt (Tablo 3.3) tür dağılım modeli başarısının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Liu ve diğ., 2005). Tüm bu indisler (Tablo 3.3) karmaşıklık matrisindeki (Tablo 3.4) bilgiler yardımıyla hesaplanmaktadır.

Tablo 3.3: Performans ölçütlerinin formül ve yorumları (Liu ve diğ., 2005; Franklin, 2010; Gürsaka, 2018)

Performans Ölçütü	Formül	Yorumu
Duyarlılık (Sensitivity, Recall)	$TP / (TP+FP)$	Gerçek durum olarak 1'lerin hangi yüzdesinin doğru tahmin edildiği
Özgüllük (Specificity)	$TN / (FN+TN)$	Gerçek durum olarak 0'ların hangi yüzdesinin doğru tahmin edildiği
Pozitif kestirimsel değer (Pos Pred Value)	$TP / (TP+FN)$	Tahmin edilen 1'lerin hangi yüzdesinin doğru tahmin edildiği
Negatif kestirimsel değer (Neg Pred Value)	$TN / (TN+FP)$	Tahmin edilen 0'ların hangi yüzdesinin doğru tahmin edildiği
Yaygınlık (Prevalence)	$(TP+FP) / (TP+FN+FP+TN)$	Gerçek 1'lerin örneklemdeki yüzdesi
Belirleme oranı (Detection Rate)	$TP / (TP+FN+FP+TN)$	Doğru tahmin edilen 1'lerin örneklemdeki oranı
Yaygınlık belirlenme (Detection Prevalence)	$(TP+FN) / (TP+FN+FP+TN)$	Örneklemde 1 olarak tahmin edilenlerin yüzdesi
Dengeli doğruluk (Balanced Accuracy)	$(\text{Duyarlılık} + \text{Özgüllük}) / 2$	1'lerin ve 0'ların doğru tahmini arasındaki denge
Kesinlik (Precision)	$TP / (TP+FN)$	Tahmin edilen 0'ların hangi oranı doğru?
F1 sayısı	$2 * \text{Duyarlılık} * \text{Kesinlik} / (\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik})$	Duyarlılık ve kesinliğin harmonik ortalaması
Cohen'in kappa değeri	$(\text{Gözlenen doğruluk} - \text{Beklenen doğruluk}) / (1 - \text{Beklenen doğruluk})$	Doğruluk terimleriyle modelin rassal tahminleri ne ölçüde aştığı
AUROC	ROC eğrisinin altında kalan alan	Bütün olasılık eşik değerlerine göre modelin performansı
Gini katsayısı	$(2 * \text{AUROC}) - 1$	ROC terimleriyle modelin rassal tahminleri ne ölçüde aştığı
KS istatistiği (Kolmogorov Smirnov)	$\text{Max} (1'lerin birikimli yüzdesi - 0'ların birikimli yüzdesi)$	Tahmin edilen frekanslarla gözlenen frekanslar arasındaki uygunluk

(TP=Doğru Pozitifler, TN=Doğru Negatifler, FP=Hatalı Pozitifler, FN=Hatalı Negatifler)

Tablo 3.4: Karmaşıklık matrisi (confusion matrix) (Gürsaka, 2018).

Tür		GERÇEK DURUM		
		Yok (0)	Var (1)	TOPLAM
TAHMİN EDİLEN	Yok (0)	TP (Doğru Pozitifler) 90	FN (Hatalı Negatifler) 20	110
	Var (1)	FP (Hatalı Pozitifler) 10	TN (Doğru Negatifler) 30	40
	TOPLAM	100	50	150

Leroy ve diğ. (2018)'e göre AUC-ROC, kappa ve TSS ekolojide en çok kullanılan değerlendirme yöntemidir. Bu konuda yaygın kullanılan metotlardan bir tanesi eğrinin altında kalan alan (AUC) ölçütüdür (Fawcett, 2006; Peterson ve diğ., 2008; Dormann ve diğ., 2008; Xu ve diğ., 2018; Amiri ve diğ., 2020). AUC, ROC eğrisi altında kalan alanı ifade eder. ROC-AUC değeri 0,50-0,70 arasında ise düşük, 0,70-0,90 arasında ise orta ve 0,90'dan büyük ise model yüksek performansa sahiptir (Swets, 1988; Manel ve diğ., 2001; Shrestha ve Bawa, 2014). Model başarısının değerlendirilmesindeki temel mantık, elde edilen doğruluğun tesadüfi elde edilebilenden daha iyi olduğunu ortaya koymaktır (Fielding, 1999).

Model performansının değerlendirilmesinde bir diğer aşama model seçimidir. Model seçimi işlemi yine R istatistik platformunda rfUtilities (Evans ve Murphy, 2019) paketi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Model elde edildikten sonra modeli oluşturan değişkenlerin modele katkısı değerlendirilmiştir. Modelin çok sayıda değişkenden meydana gelmesinin aşırı uyum problemlerine sebep olabileceği ve yorumlamalarda güçlükler yol açabileceği bazı araştırmacılar tarafından tartışılmakta ve daha az değişken ile nihai model elde etmenin birçok çalışma için yeterli olabileceği, model başarısını artıracak ve karmaşıklığı sınırlandırarak çıkarım yapmada kolaylıklar sunabileceği ifade edilmektedir (Evans ve diğ., 2011; Peterson ve diğ., 2011). Tüm bunlardan hareketle, modelde yer alan değişkenlerden modele katkısı en düşük olan değişkenlerin çıkartılması ile daha az sayıda değişkenden meydana gelen modeller üretilmektedir. Bu elde edilen modeller sınıflandırma hatası, torba dışı tahmin hatası, kappa, TSS ve F-score ölçütleri yönünden değerlendirilmiş ve diğerlerine göre en yüksek performansa sahip model nihai model olarak belirlenmiştir.

3.2.4. Model Çıktısı Potansiyel Dağılımın Haritalanması ve Maskeleme

Çalışma kapsamında elde edilen tür dağılım modellerinin çevresel değişkenleri içeren raster verilere uygulanması ile türler için potansiyel dağılım haritaları elde edilmektedir. Tür dağılım modeli çıktısı olarak elde edilen potansiyel dağılım haritalarında her bir piksel 0 ile 1 arasında değişen lojistik formatta bir bulunma olasılığı değeri almakta (Phillips, 2017; Navarro-Cerrillo ve diğ., 2018) ve bu olasılık değeri 1'e yaklaştıkça türün dağılım gösterme (bulunma) olasılığının yüksek olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Tüm türler için elde edilen potansiyel dağılım alanlarında olasılık değerleri görsel yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla 0-0,25; 0,25-0,50; 0,50-0,75 ve 0,75-1,00 şeklinde dört kategoriye bölünmüş (Navarro-Cerrillo ve diğ., 2018; Amiri ve diğ., 2020) ve 0,50 ile 0,75'ten yüksek

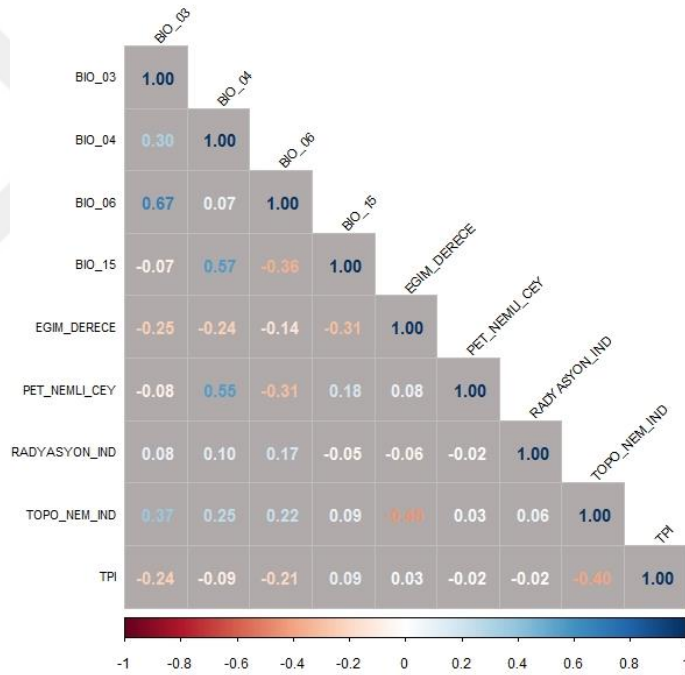
olasılık değerine sahip kategorilerin alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan alanlar her tür için ayrı ayrı tablolar halinde sunulmuştur.

Elde edilen potansiyel dağılım haritaları çalışma alanının tamamında herhangi bir eleme yapılmaksızın tüm alanı kapsamaktadır. Bir canlının varlığını sürdüremeyeceği koşullar ve dağılımını kısıtlayan fiziksel engeller var olabilmektedir (Cox ve diğ., 2020). Bu nedenle, iskân alanları, ziraat alanları ve yollar gibi sürekli insan etkilerinin görüldüğü türün dağılımına engel teşkil eden fiziksel bariyerler maskeleme işlemi uygulanarak çalışma alanlarından çıkartılmıştır. Böylece potansiyel alan olarak tahmin edilip türün dağılım göstermesinin mümkün olmadığı alanlar haritalardan çıkartılarak maskelenmiş potansiyel dağılım alanları elde edilmiş ve maskelenmiş potansiyel dağılım alanları da yine her tür için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

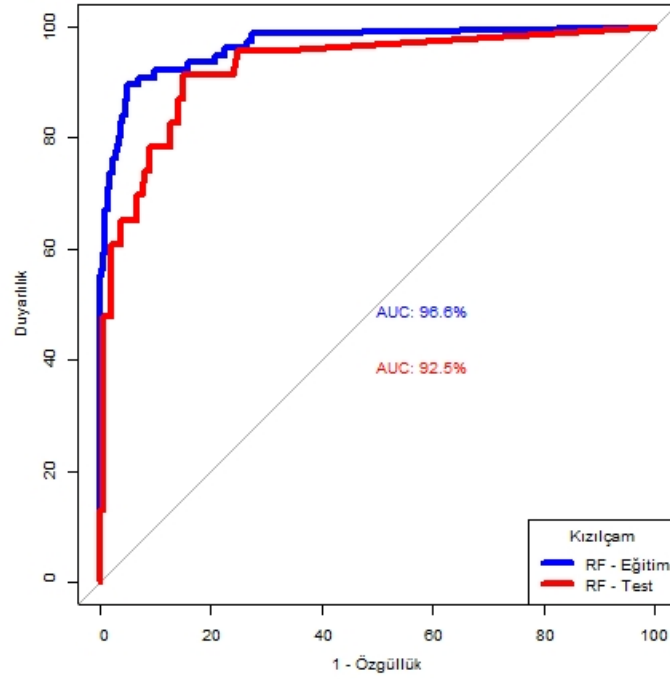
4.1. KIZILÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)

Modelleme çalışmalarına başlamadan temin edilen ve üretilen tüm değişkenlerin aralarındaki ilişkilerin ortaya konulması amacıyla uygulanan korelasyon analizi sonucunda aralarında güçlü ilişkiler tespit edilen (otokorelasyon olan) değişkenler elenmiş ve korelasyon katsayısı 0,70'ten küçük olan değişkenlerle modelleme aşamasına geçilmiştir. Kızılçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



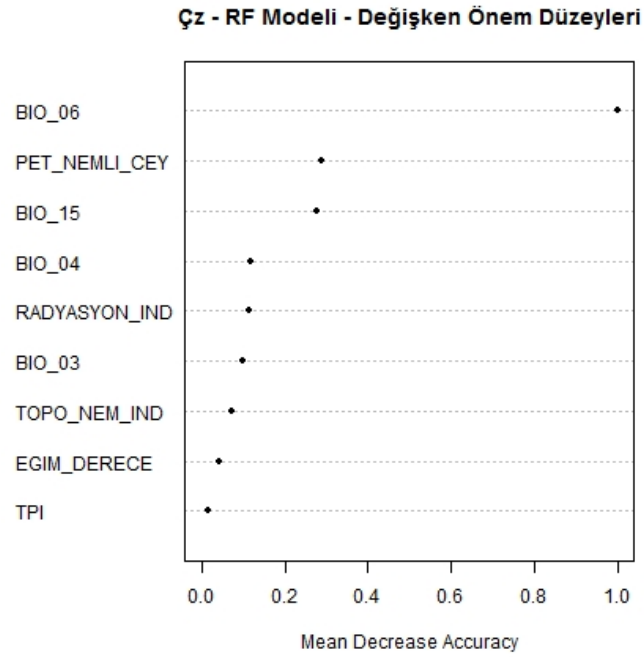
Şekil 4.1: Korelasyon analizi sonucunda kızılçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam tür dağılım modeli elde etmek amacıyla geliştirilen random forest (RF) modelinin eğitim ve test veri setleri için ROC eğrisi AUC değerleri sırasıyla 0,966 ve 0,925 olarak bulunmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Kızılcām random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.

Kızılcām tür dağılım modelinde kullanılan değişkenlerin modele katkıları incelendiğinde Bio6, Bio15 ve PET nemli çeyrek gibi iklim değişkenlerinin modele katkısının radyasyon indeksi ve eğim gibi topoğrafik temelli değişkenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).



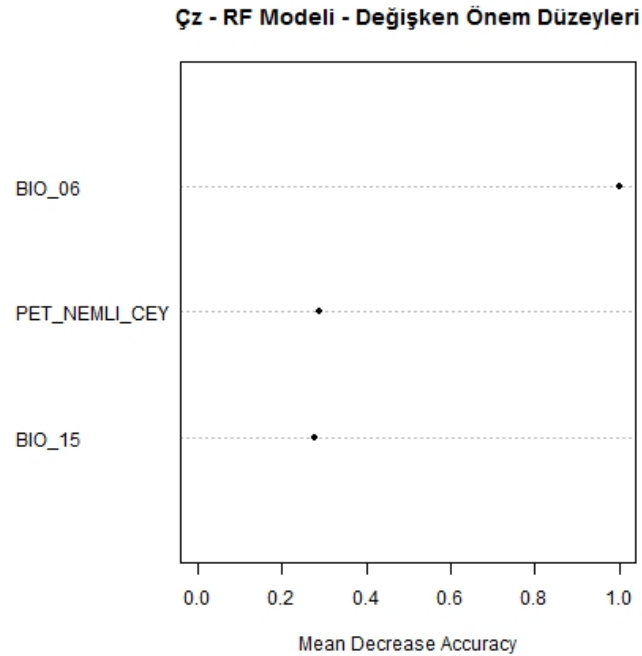
Şekil 4.3: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Modeli oluşturan değişkenlerden modele katkısı çok düşük olan değişkenlerin çıkartılması ve tahmin gücü daha yüksek model elde etmek amacıyla model seçimi yapılmıştır. Kızılçam türü için geliştirilen tür dağılım modelinde model seçimi aşamasında farklı değişken sayıları ile denenen dört modelden en yüksek performansa sahip model en düşük sınıflandırma hatasına ve torba dışı tahmin hatasına sahip olması, kappa, TSS ve F-score ölçütleri yönünden de diğerlerine göre yüksek performans göstermesi sebebiyle Model 4 olmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Kızılçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

Kızılçam	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8447	0,7384	0,6894	0,9667	5,8182	27,6316	9
Model 2	0,8371	0,7220	0,6742	0,9646	6,0000	28,6287	7
Model 3	0,8402	0,7420	0,6805	0,9678	5,8182	29,0595	5
Model 4	0,8679	0,7566	0,7357	0,9675	5,6364	22,7645	3

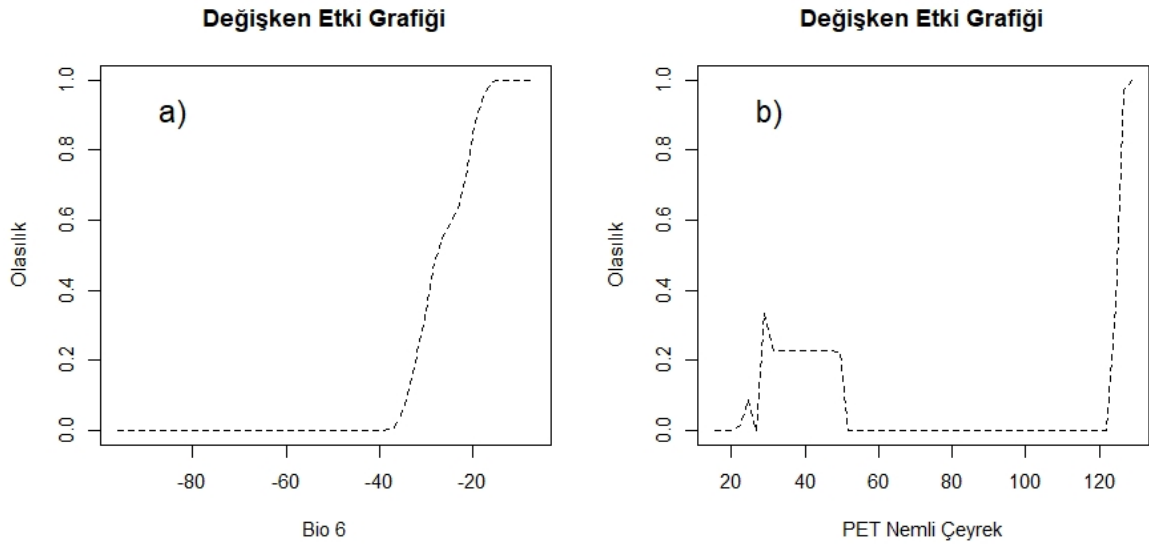
Model seçiminde modele dahil edilen değişkenler tekrar tekrar kullanılarak en etkili değişkenler grubu ve model elde edilmektedir. Bu aşama sonucunda hata oranı en düşük model üç değişkenden oluşan modeldir (Tablo 4.1; Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

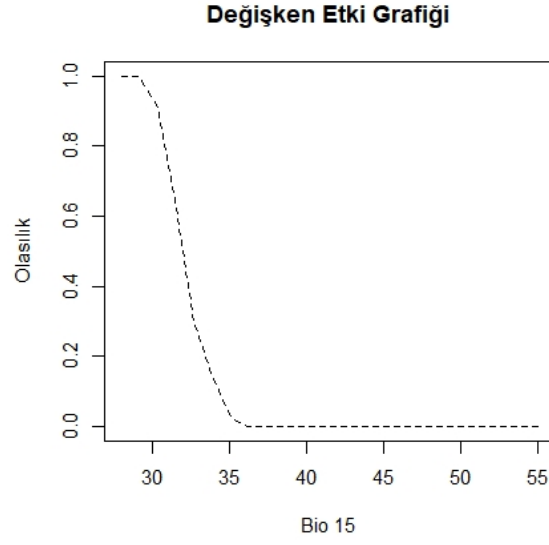
Modele katkı sağlayan değişkenlerin türün bulunması (var olması) ya da bulunmaması üzerindeki kısmi bağımlılıklarının (etkilerinin) grafikleri üretilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde kızılçam tür dağılım modeline en fazla katkı sağlayan değişken Bio6 (en soğuk ayın minimum sıcaklığı) değeri arttıkça kızılçamın bulunma olasılığının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.5.a). En soğuk ayın minimum sıcaklığının -4°C 'nin altına düştüğü yerlerde türün bulunma olasılığının olmadığı tahmin edilmektedir.

Modele Bio6'dan sonraki yüksek katkıyı PET nemli çeyrek değişkeni yapmaktadır. Buna göre buharlaşma değerinin çok yüksek olduğu durumlarda türün bulunma olasılığında bir artış söz konusudur (Şekil 4.5.b).



Şekil 4.5: a) En soğuk ayın minimum sıcaklığının kızılçamın dağılımına etkisi, b) En nemli üç ayın potansiyel buharlaşmasının kızılçamın dağılımına etkisi.

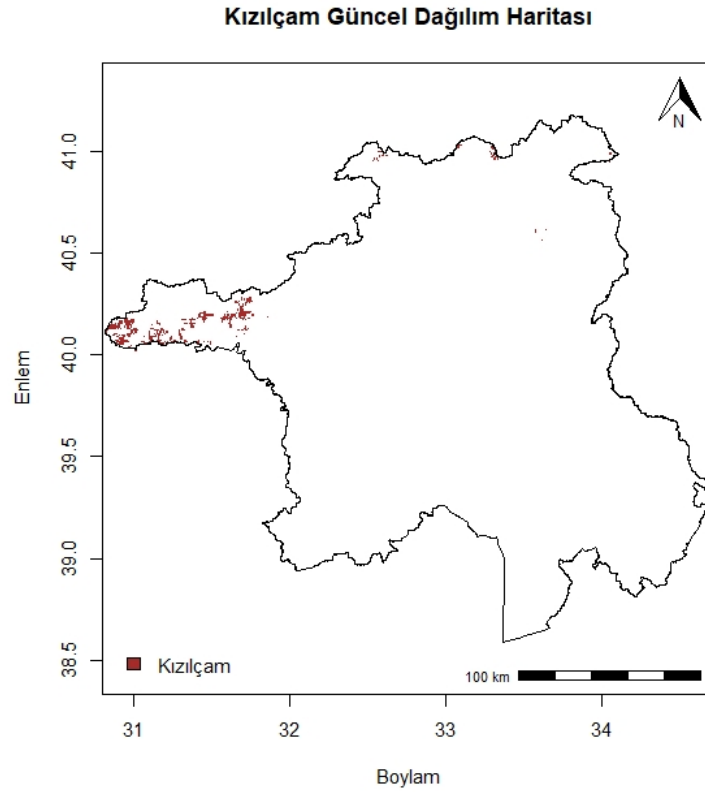
PET nemli çeyrek değişkenini takiben sonraki en yüksek katkıyı Bio15 (mevsimsel yağış değişkenliği) değişkeni yapmaktadır. Mevsimsel yağış değişkenliğinin az olduğu durumlarda kızılçamın bulunma olasılığı yüksek iken, mevsimsel yağış değişkenliği arttıkça türün bulunma olasılığının düştüğü görülmektedir (Şekil 4.6).



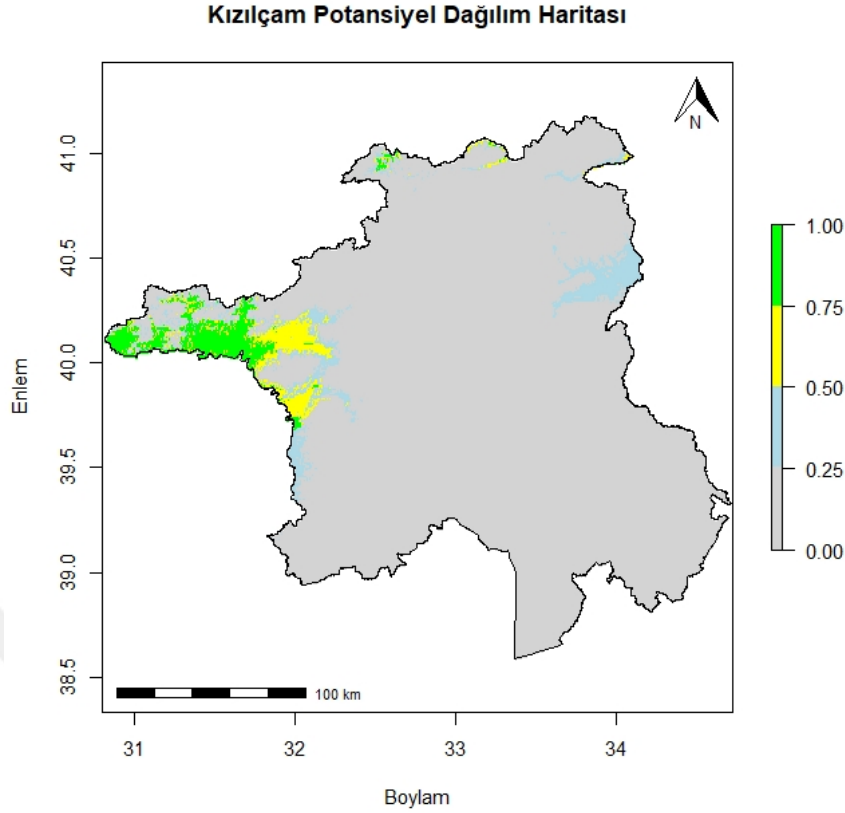
Şekil 4.6: Mevsimsel yağış değişkenliğinin kızılçamın dağılımına etkisi.

4.1.1. Kızılçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü amenajman planlarında yer alan kızılçamın güncel dağılımı Şekil 4.7’de ve tür dağılım modeli çıktısı olarak elde edilen kızılçamın günümüzdeki potansiyel dağılımı ise Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7: Kızılçam türünün güncel dağılım haritası.



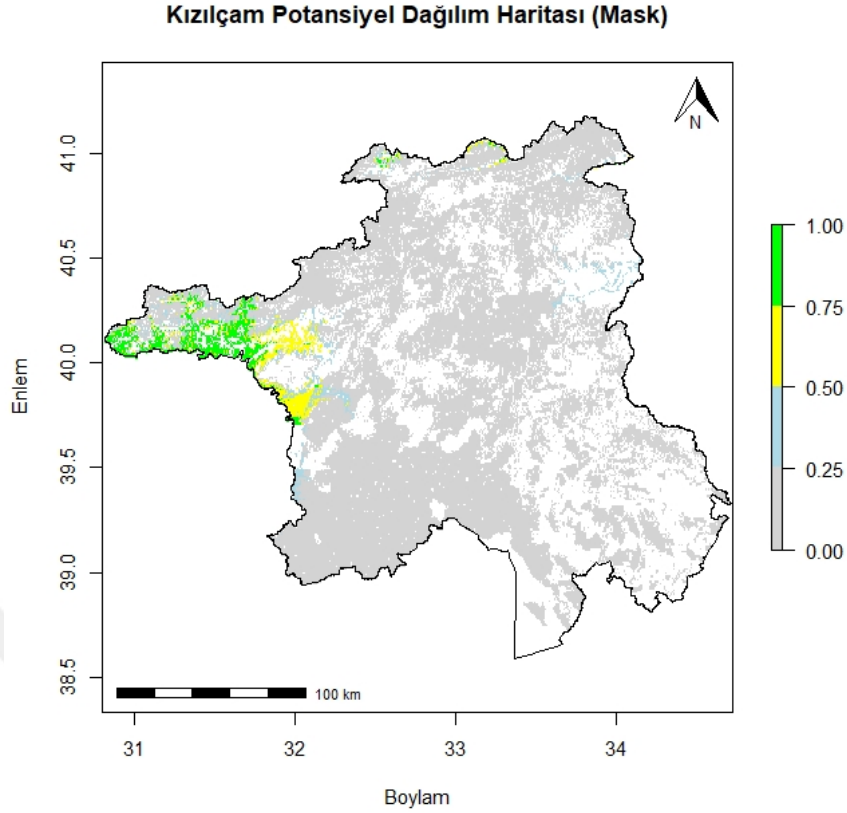
Şekil 4.8: Kızılçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.

Kızılçam potansiyel dağılım alanlarında olasılık değerleri 0,50-1,00 aralığı ve 0,75-1,00 aralığı şeklinde iki kademedeki tahmin edilen alanlar ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 4.8; Tablo 4.2). Kızılçamın çalışma alanındaki güncel dağılım alanları 33.242 ha iken, 0,50 değerinden daha yüksek olasılık değerine sahip potansiyel dağılım alanları 228.339 ha, 0,75'ten yüksek olasılık değerine sahip alanlar ise 127.066 ha bulunmuştur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Kızılçamın günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KIZILÇAM	0,50–1,00		Yükselti		0,75–1,00		Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)		Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	
Güncel Dağılım	33.241,51	1.132	278					
Güncel Potansiyel Dağılım	228.339,25	1.273	242		127.066,08	956	242	
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	154.318,03	1.273	243		85.627,22	956	243	

Kızılçam, güncel dağılım alanlarında 278-1.132 metre yükseklik aralığında görülürken, 0,50'den yüksek olasılığa sahip potansiyel dağılım alanlarında 242-1.273 metre arası rakımlarda, 0,75'ten yüksek olasılıklı alanlarda ise 242-956 metre arası rakımlarda bulunabileceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.2).

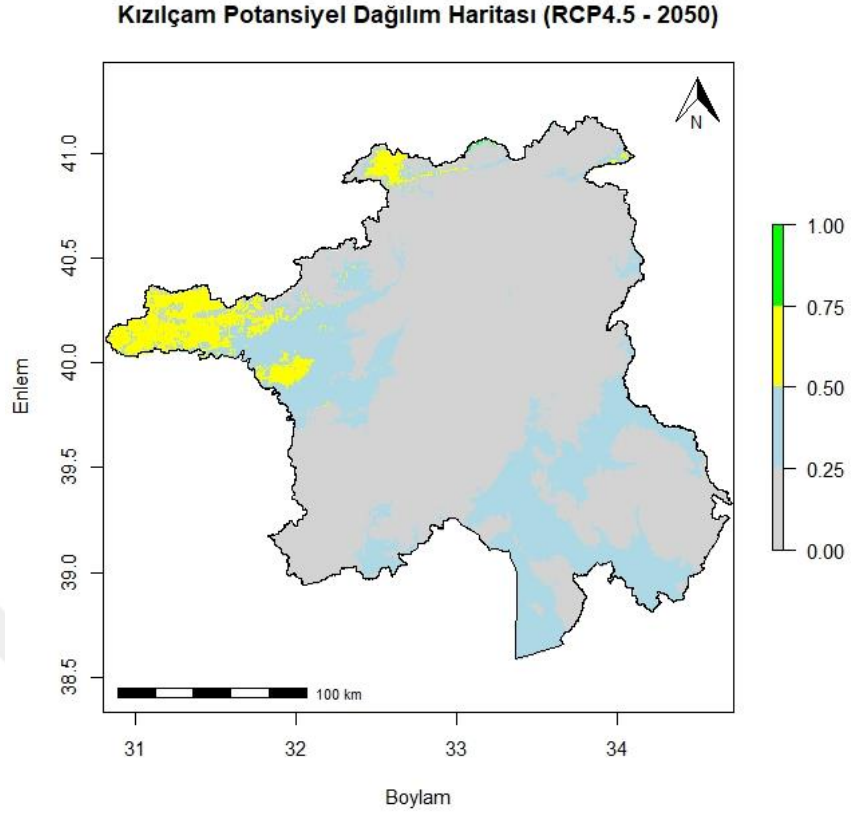


Şekil 4.9: Kızılçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı alanların maskeleme uygulanarak potansiyel alanlardan çıkartılmasıyla, 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 228.339 ha olarak tahmin edilen potansiyel dağılım alanının, 154.318 ha'a, 0,75'ten yüksek değere sahip 127.066 ha alanının ise 85.627 ha'a düşeceği öngörülmektedir (Şekil 4.9; Tablo 4.2).

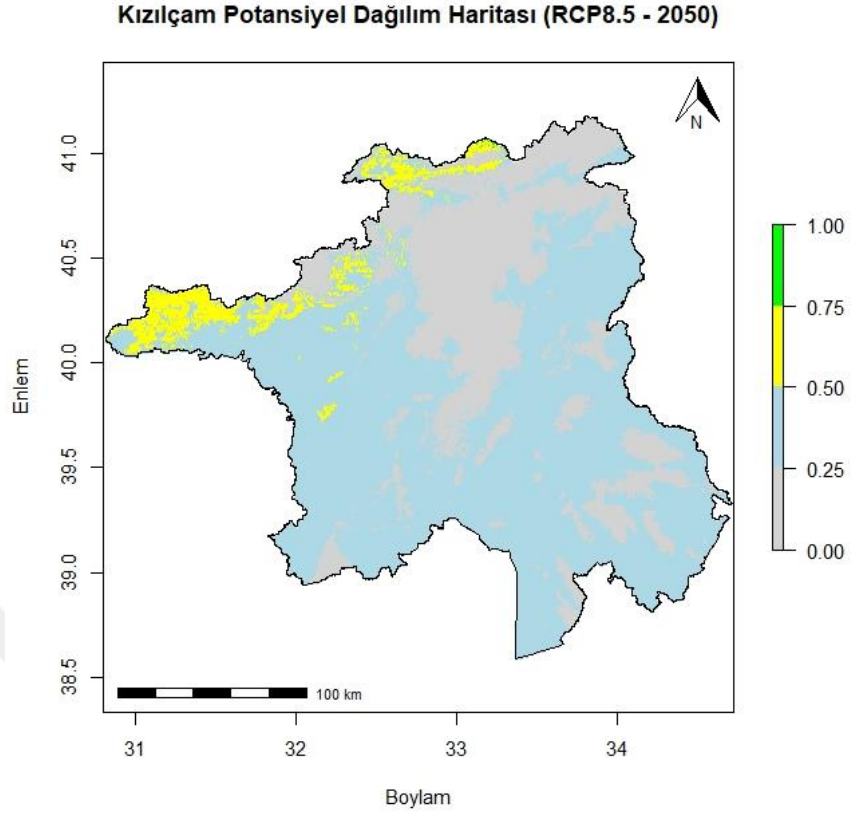
4.1.2. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)

Kızılçam ağaç türü için geliştirilen tür dağılım modeline 2050 yılı için RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları uygulandığında, çalışma alanı için elde edilen potansiyel dağılım haritasına göre gelecek potansiyel dağılımlarda birtakım değişiklikler olacağı düşünülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre 2050 yılında potansiyel dağılım alanlarının güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına göre yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere doğru kayması beklenmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

RCP8.5 senaryosuna göre ise yine güncel döneme göre yayılış alanlarında hem yüksek rakımlara doğru bir genişleme olması, daha fazla kuzeye ve kuzeydoğuya doğru yönelme olması ve bir miktar güney enlemlerden çekilmenin olması beklenmektedir (Şekil 4.11).



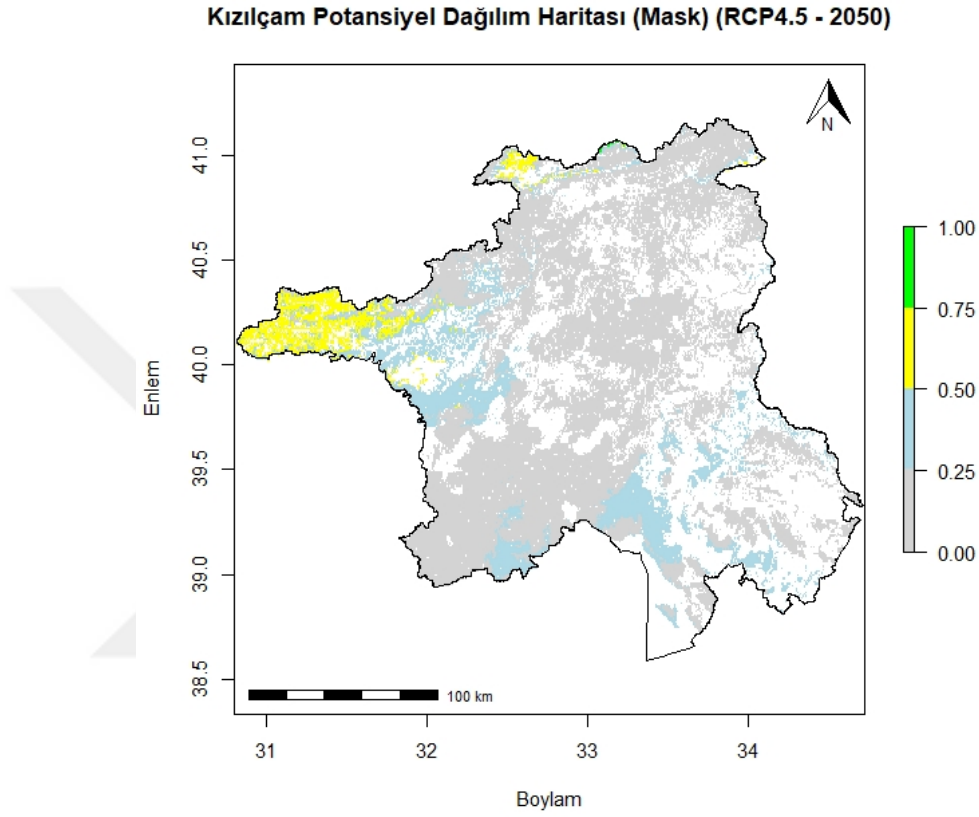
Şekil 4.11: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Potansiyel dağılım alanlarındaki yükselti incelendiğinde, güncel dönem dağılımlar 1.273 metre yükseklikteki rakımlara çıkabilirken, 2050 orta yılında RCP4.5 senaryosuna göre bu sınırın 1.350 metreye, RCP8.5 senaryosunda ise 1.471 metre yüksekliklere kadar ilerleyebileceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Kızılçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KIZILÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	33.241,51	1.132	278			
Güncel Potansiyel Dağılım	228.339,25	1.273	242	127.066,08	956	242
RCP4.5-2050	225.734,12	1.350	242	903,74	1.145	551
RCP8.5-2050	205.984,03	1.471	535	1.420,42	912	565
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	154.318,03	1.273	243	85.627,22	956	243
Maskelenmiş RCP4.5-2050	149.824,05	1.350	243	903,74	1.145	551
Maskelenmiş RCP8.5-2050	158.950,33	1.471	551	1.162,09	912	602

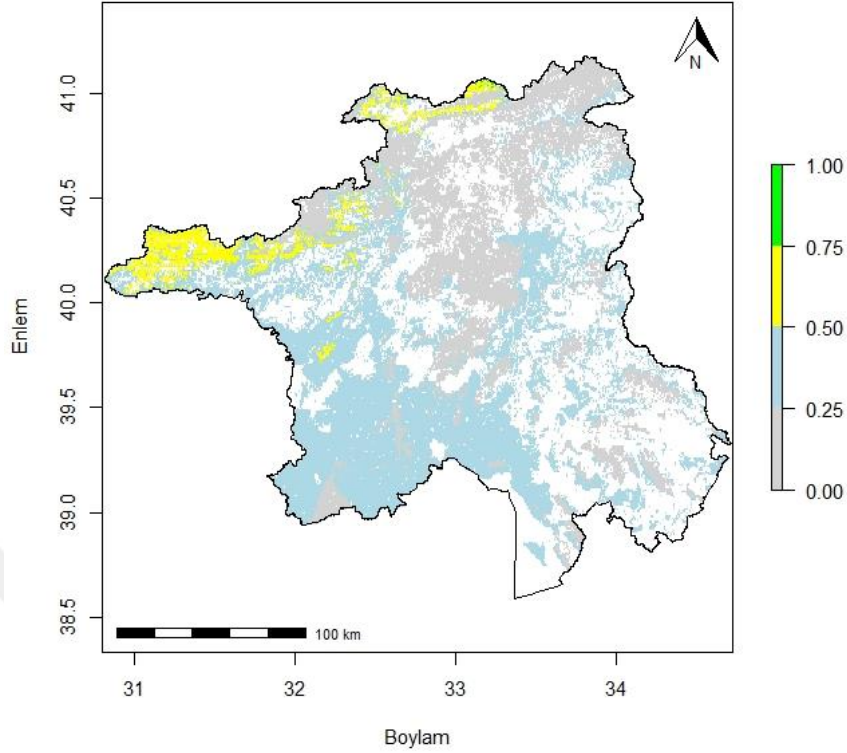
RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için elde edilen dağılım haritasına maskeleme uygulanması ile 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 225.734 ha olarak tahmin edilen potansiyel dağılım alanının, maskeleme sonucunda 149.824 ha'a, 0,75'ten yüksek değere sahip 903,74 ha alanın ise aynı kalacağı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.12; Tablo 4.3).



Şekil 4.12: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Maskeleme işlemi 2050 orta yılı için RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen dağılım haritasına uygulandığında 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 205.984 ha olarak hesaplanan potansiyel dağılım alanının 158.950 ha düştüğü, 0,75'ten yüksek değere sahip 1.420 ha'lık potansiyel alanın ise 1.162 ha'a düşeceği öngörülmektedir (Şekil 4.13; Tablo 4.3).

Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2050)

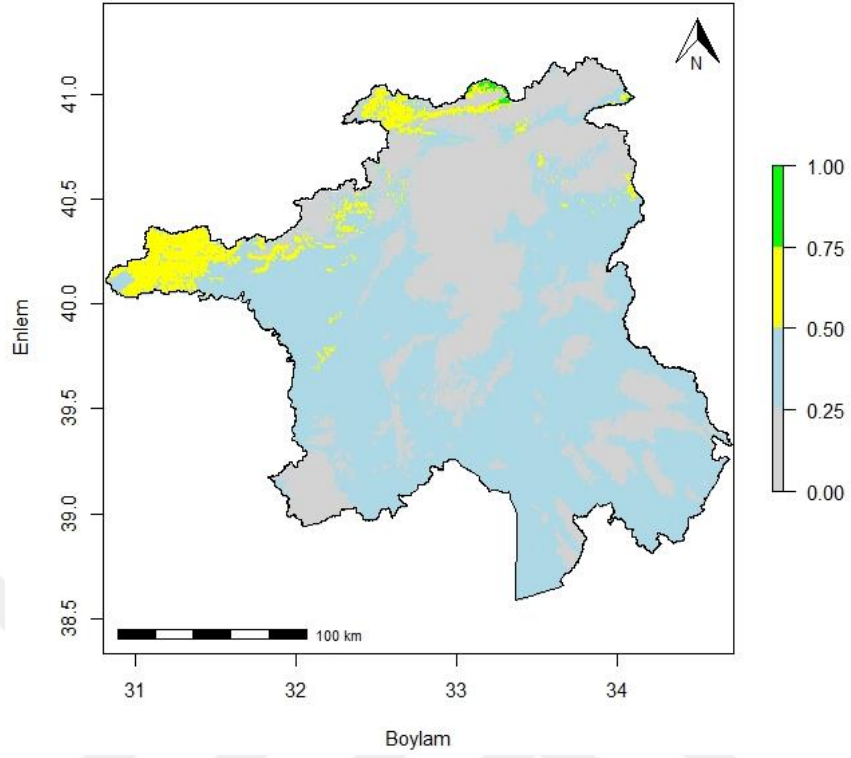


Şekil 4.13: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.1.3. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)

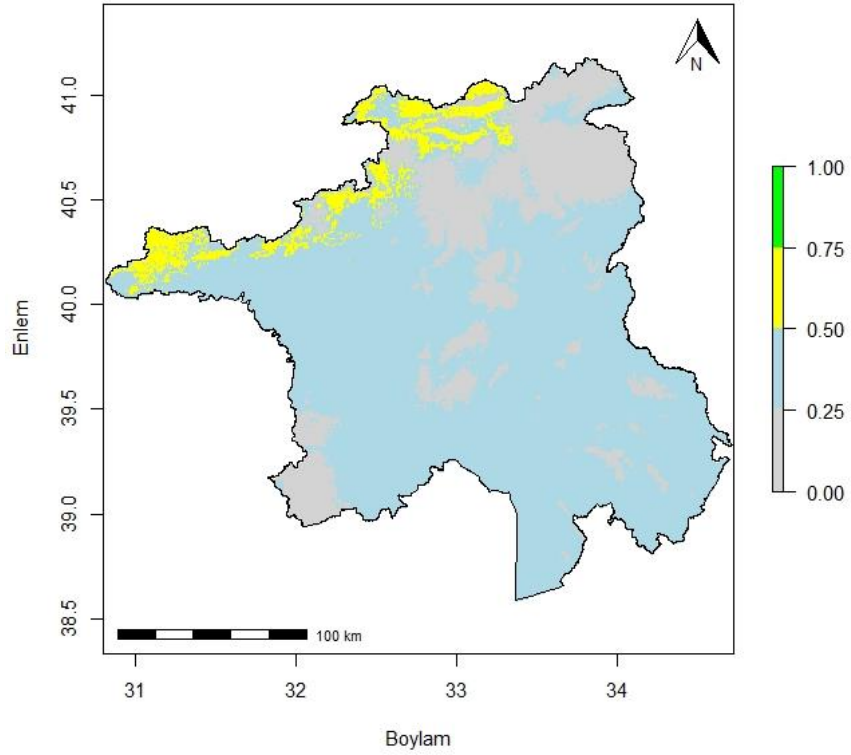
Elde edilen tür dağılım modeline 2070 orta yılı için RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları uygulandığında, gelecek döneme ait potansiyel dağılımlarda 2050 orta yılına benzer değişiklikler söz konusu olacaktır. RCP4.5 senaryosuna göre model sonucu üretilen haritalar incelendiğinde 2070 orta yılı için potansiyel dağılım alanlarının daha yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere doğru bir genişleme eğilimi gösterebileceği (Şekil 4.14), RCP8.5 senaryosuna göre ise RCP4.5 senaryosuna kıyasla daha yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere yönelmenin görüleceği, bunun yanı sıra güney enlemlerden 2050 orta yılına göre daha fazla çekilmenin olabileceği öngörülmektedir (Şekil 4.15).

Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (RCP4.5 - 2070)



Şekil 4.14: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (RCP8.5 - 2070)



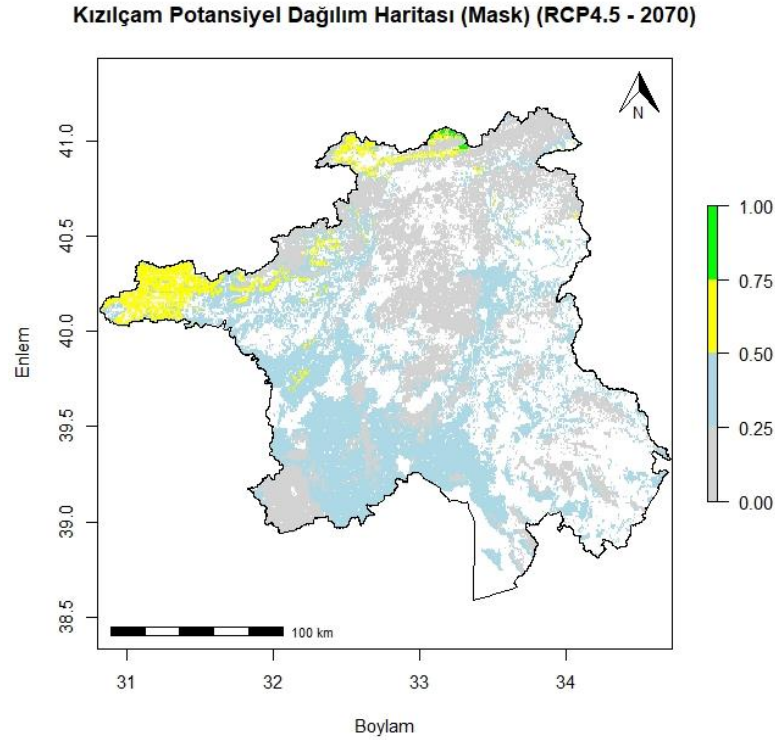
Şekil 4.15: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Potansiyel dağılımların yükselteleri incelendiğinde 2070 orta yılı için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre, güncel dönem dağılımlarının üst sınırı 1.273 metre iken, RCP4.5'ta bu sınırın 1.445 metreye, RCP8.5 için ise 1.628 metre yüksekliklere kadar ilerleyebileceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Kızılçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KIZILÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	33.241,51	1.132	278			
Güncel Potansiyel Dağılım	228.339,25	1.273	242	127.066,08	956	242
RCP4.5-2070	240.913,18	1.445	535	6.652,27	1.001	565
RCP8.5-2070	235.525,29	1.628	551	-	-	-
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	154.318,03	1.273	243	85.627,22	956	243
Maskelenmiş RCP4.5-2070	178.541,58	1.445	551	5.101,58	1.001	602
Maskelenmiş RCP8.5-2070	174.346,98	1.628	551	-	-	-

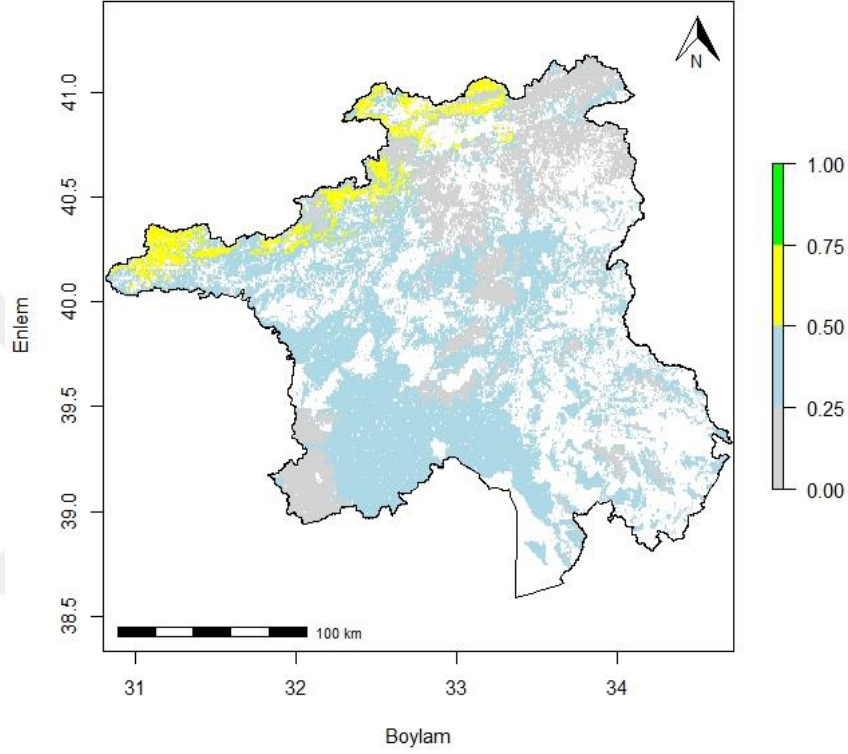
RCP4.5 senaryosuna göre 2070 yılı için üretilen potansiyel dağılım haritasına maskeleme uygulanması ile türün bulunma olasılığı 0,50'den yüksek değeri sahip 243.913 ha olarak tahmin edilen alanın 178.542 ha'a, 0,75'ten yüksek değere sahip 6.652 ha alanın ise 5.102 ha'a düşmesi söz konusudur (Şekil 4.16; Tablo 4.4).



Şekil 4.16: Kızılçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Yüzyılın ortası için RCP8.5 senaryosuna göre üretilen dağılım haritasına uygulanan maskeleme sonucunda 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 235.525 ha olarak tahmin edilen potansiyel dağılım alanının 174.347 ha'a düştüğü ve 0,75'ten yüksek olasılık değerine sahip alanın bulunmayacağı öngörülmektedir (Şekil 4.17; Tablo 4.4).

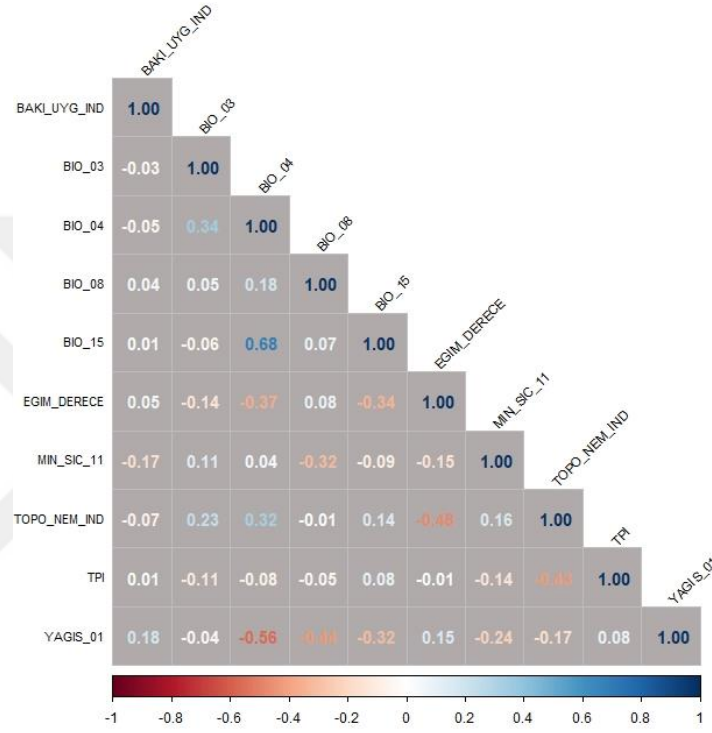
Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2070)



Şekil 4.17: Kızılçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

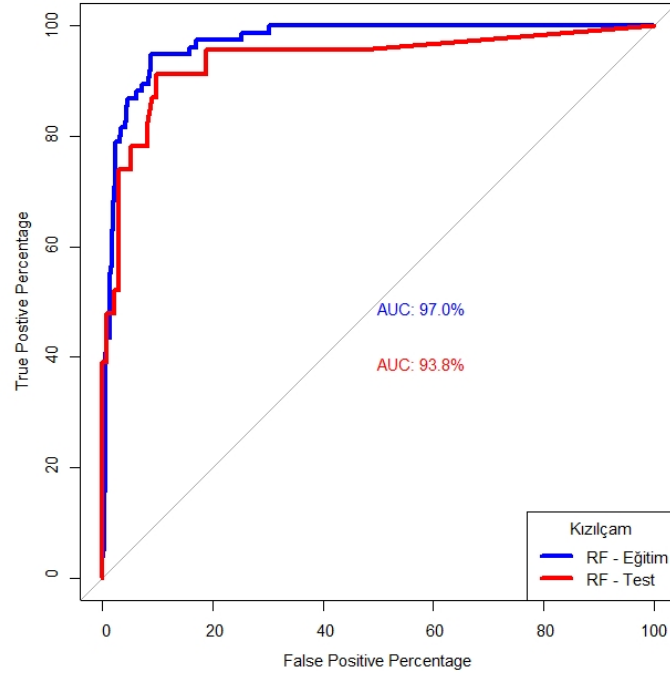
4.2. KIZILÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)

Kızılçam tür dağılım modeli elde etmek için elde edilen tüm değişkenlere korelasyon analizi uygulanmış ve aralarında yüksek ilişki ($>0,70$) bulunan (otokorelasyon olan) değişkenlerin elenmesi suretiyle modelde kullanılmak üzere kalan değişkenler ve korelasyon katsayıları Şekil 4.18’de verilmiştir.



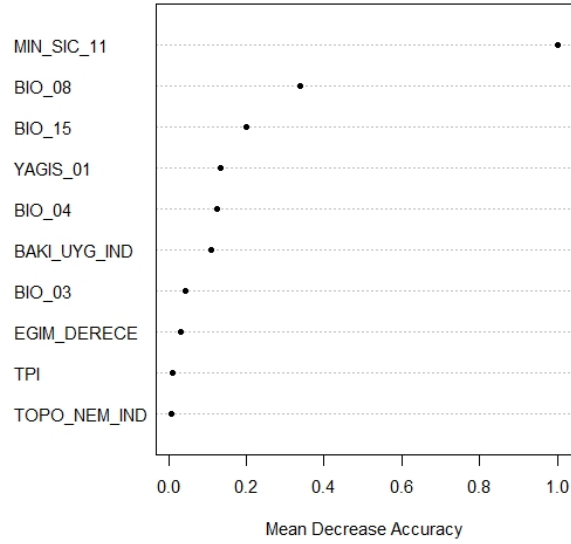
Şekil 4.18: Korelasyon analizi sonucunda kızılçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.

Kızılçam tür dağılımı için geliştirilen random forest (RF) modelinin eğitim ve test veri setleri için ROC eğrisi AUC değerleri sırasıyla 0,970 ve 0,938 olarak bulunmuştur (Şekil 4.19). Kızılçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenlerin modele katkıları incelendiğinde kasım ayı minimum sıcaklığı ve en yağışlı üç ayın minimum ortalama sıcaklığı (Bio8) sırasıyla modele en yüksek katkıyı sağlayan değişkenlerdir. Topografik değişkenlerden eğim, topografik pozisyon indeksi ve topografik nemlilik indeksi ise modelde en düşük etkiye sahip değişkenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.20).



Şekil 4.19: Kızılcām random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.

Çz - RF Modeli - Değişken Önem Düzeyleri



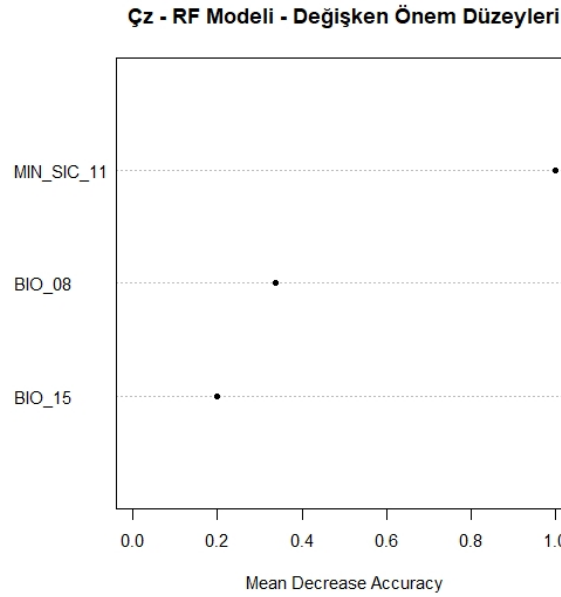
Şekil 4.20: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Model seçimiyle modelde kullanılan değişkenlerden modele katkısı düşük değişkenlerin çıkartılması yoluyla daha az değişkenle daha yüksek tahmin gücüne sahip model elde etmek hedeflenmiştir. Yapılan model seçimi sonucunda performans ölçütleri değerlendirildiğinde Model 4 üç değişkenden meydana gelen en düşük sınıflandırma hatasına sahip model olarak karşımıza çıkmaktadır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Kızılçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

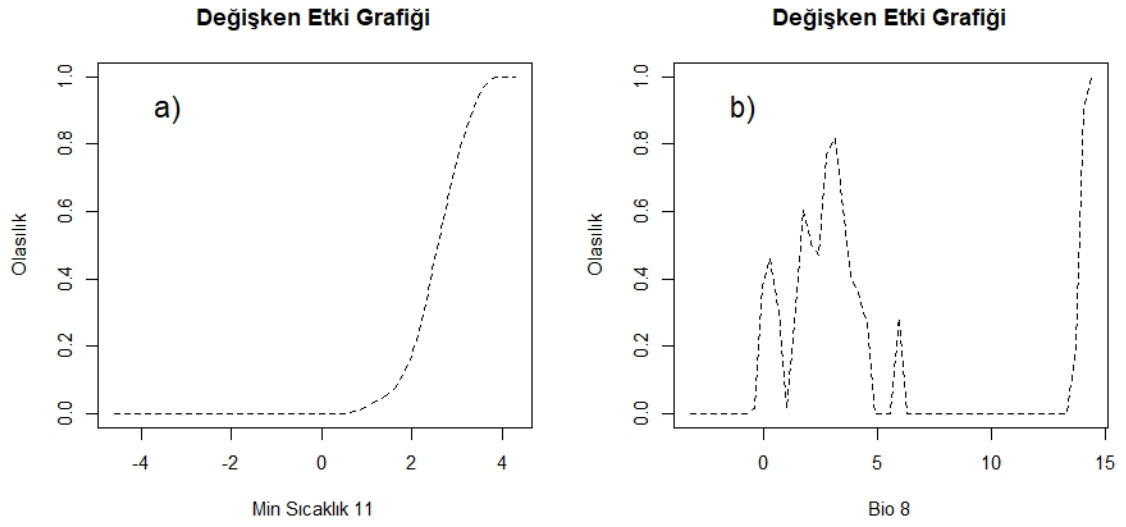
Kızılçam	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8787	0,7923	0,7573	0,9728	4,9091	23,6842	10
Model 2	0,8731	0,7899	0,7463	0,9729	4,7273	25,3859	7
Model 3	0,8876	0,7839	0,7752	0,9705	4,9091	21,3464	5
Model 4	0,8821	0,7814	0,7642	0,9706	4,9091	21,0229	3

Model seçimi sonucunda elde edilen nihai modelde (Model 4) yer alan değişkenlerin model performansına etkisi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



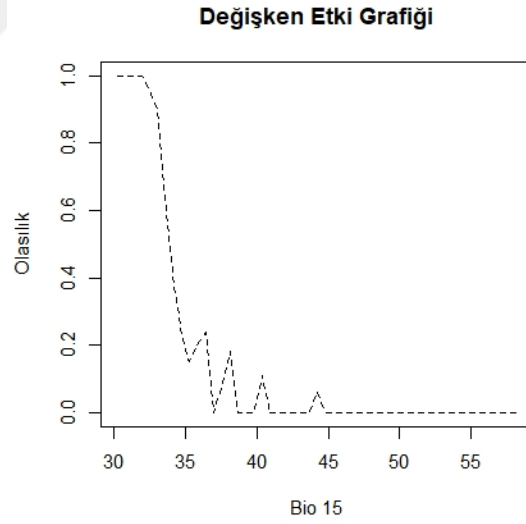
Şekil 4.21: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Modeli oluşturan değişkenlerin her birisi için türün bulunması (var olması) ya da bulunmaması üzerindeki etkilerini gösteren değişken etki grafikleri üretilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, kızılçam tür dağılım modelinde en yüksek etkiye sahip değişken olan kasım ayı minimum sıcaklığı değeri arttıkça türün bulunma olasılığı artmaktadır (Şekil 4.22.a). En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığındaki (Bio8) artışın kızılçam türü üzerindeki etkisi değişkendir (Şekil 4.22.b).



Şekil 4.22: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının kızılcamın dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının kızılcamın dağılımına etkisi.

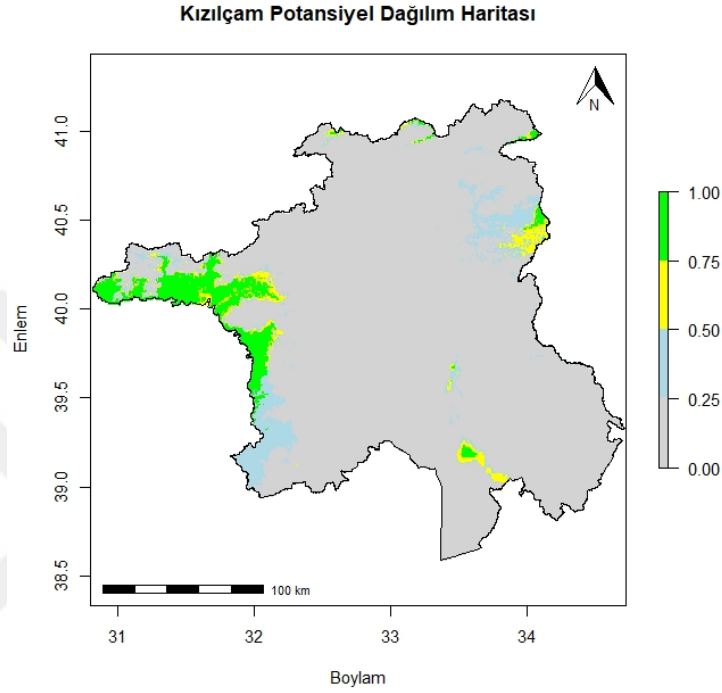
Üç değişkenli modelde en düşük etkiye sahip değişken olan mevsimsel yağış değişkenliğinin (Bio15) etkisi incelendiğinde, Bio15 değeri arttıkça tür önemli derece olumsuz etkilenmektedir (Şekil 4.23).



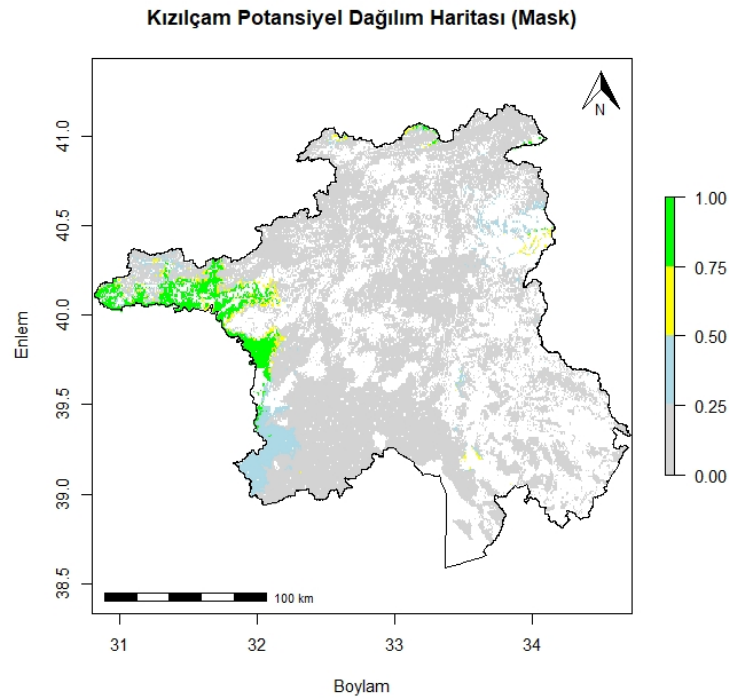
Şekil 4.23: Mevsimsel yağış değişkenliğinin kızılcamın dağılımına etkisi.

4.2.1. Kızılçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)

Orman amenajman planlarında yer alan kızılçamın güncel dağılımı Şekil 4.7’de, kızılçam tür dağılım modeli çıktısı olarak elde edilen güncel potansiyel dağılımı Şekil 4.24’te ve türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı alanların maskelenmesiyle elde edilen maskelenmiş potansiyel dağılım haritası Şekil 4.25’te verilmiştir.



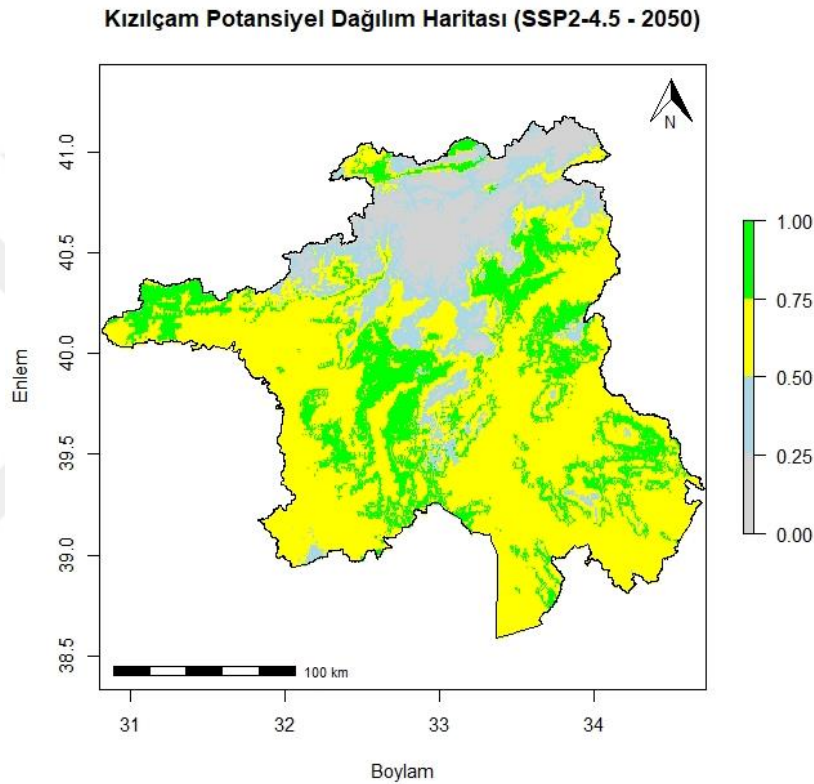
Şekil 4.24: Kızılçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.



Şekil 4.25: Kızılçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.2.2. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)

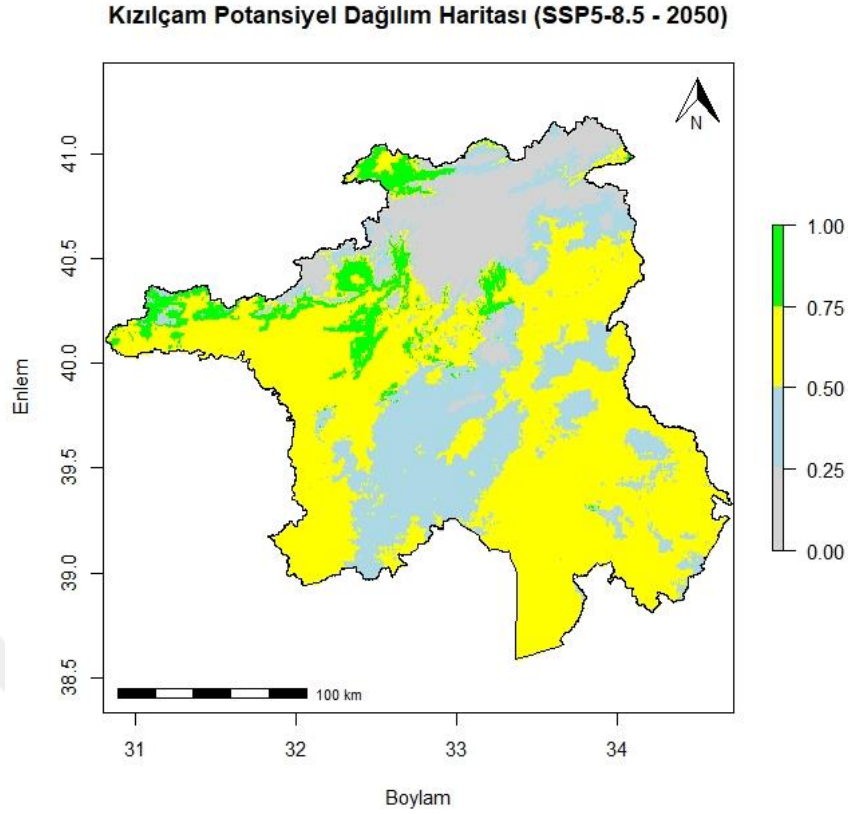
Kızılçam tür dağılım modeline 2050 orta yılı için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim senaryoları uygulandığında, çalışma alanı potansiyel dağılım haritasına göre gelecek potansiyel dağılımlarında bazı değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre 2050 orta yılında güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına göre gelecek potansiyel dağılım alanlarının yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere doğru kayması beklenmektedir (Şekil 4.26; Şekil 4.27).



Şekil 4.26: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

SSP2-45 senaryosu temelinde elde edilen 2050 orta yılı potansiyel dağılım haritasında, 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip potansiyel dağılım alanı 3.565.832 ha iken, maskelenmiş potansiyel alan 2.013.928 ha olarak hesaplanmış olup aynı dönem için 0,75'den yüksek bulunma olasılığına sahip potansiyel dağılım alanı 1.112.651 ha iken, maskelenmiş potansiyel dağılım alanı da 663.428 ha olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.6; Şekil 4.26; Şekil 4.28).

Potansiyel dağılım alanlarındaki yükseltiler incelendiğinde, güncel dönem potansiyel dağılım alanlarında (Şekill 4.24) kızılçam türü 1.274 metre rakımlara çıkarken, 2050 yılında SSP2-4.5 senaryosuna göre elde edilen gelecek dönem potansiyel dağılım haritasında (Şekil 4.26) üst rakımın 1.669 metre yüksekliklere çıkabileceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.6).

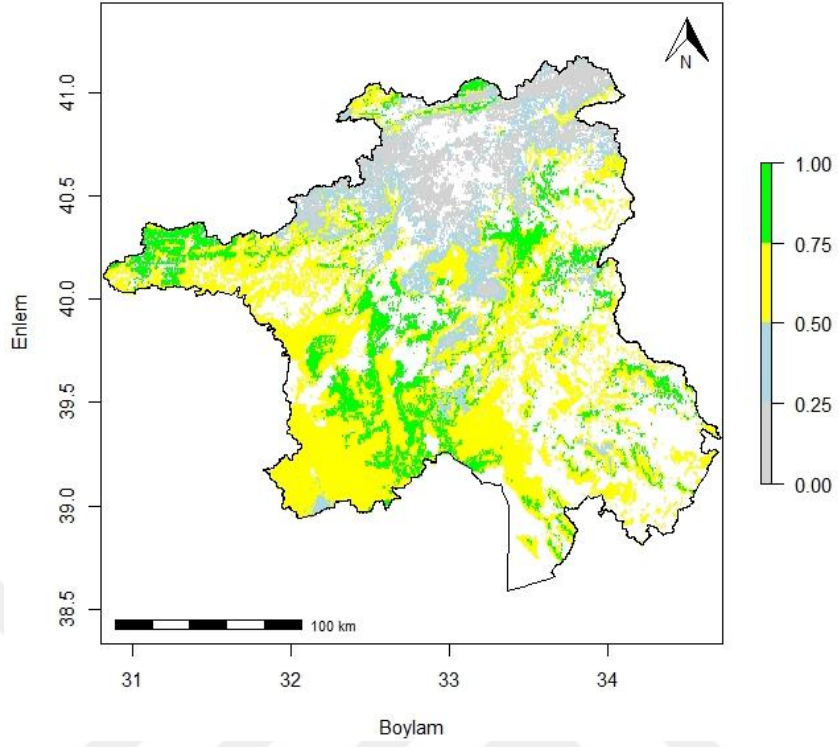


Şekil 4.27: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası. Gelecek potansiyel dağılım alanları 2050 orta yılında SSP5-8.5 senaryosuna göre güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına göre daha yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere doğru kayacağı düşünülmektedir (Şekil 4.27). SSP5-8.5 senaryosuna göre 0,50 bulunma olasılığı değerinden yüksek potansiyel dağılım alanı 2.831.171 ha ve yükselti üst sınırı 1.662 metre iken, maskelenmiş potansiyel dağılım alanı 1.487.114 ha olarak hesaplanmıştır. Aynı senaryoya göre 0,75 olasılık değerinden yüksek potansiyel dağılım alanı 268.856 ha iken, maskelenmiş alanı ise 195.040 ha olarak tahmin edilmiştir (Tablo 4.6; Şekil 4.27; Şekil 4.29).

Tablo 4.6: Kızılçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

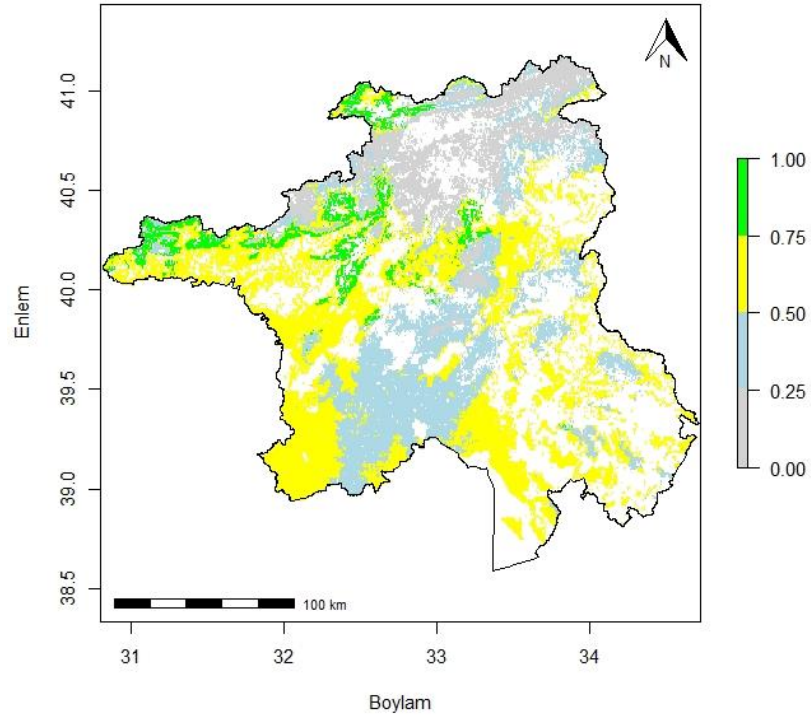
KIZILÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	33.241,51	1.132	278			
Güncel Potansiyel Dağılım	323.039,96	1.274	243	223.222,05	971	243
SSP2-4.5 -2050	3.565.831,94	1.669	243	1.112.651,42	1.404	562
SSP5-8.5 -2050	2.831.170,86	1.662	243	268.856,49	1.524	243
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	181.140,36	1.274	260	142.388,70	971	260
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2050	2.013.927,75	1.669	260	663.427,77	1.404	603
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2050	1.487.114,18	1.662	260	195.039,58	1.524	260

Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2050)



Şekil 4.28: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2050)

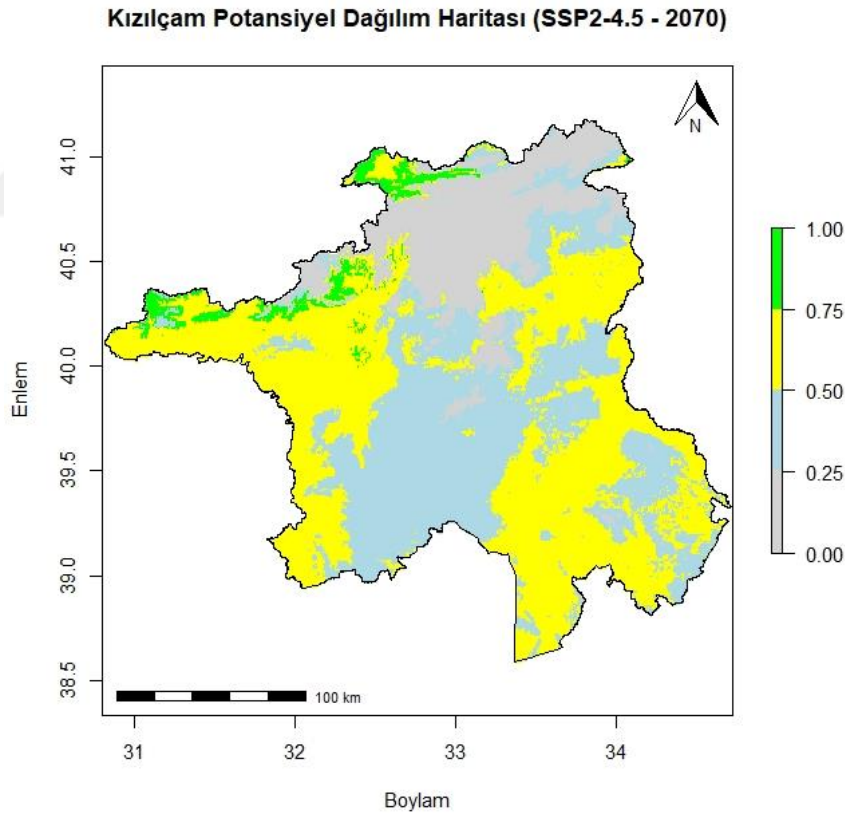


Şekil 4.29: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

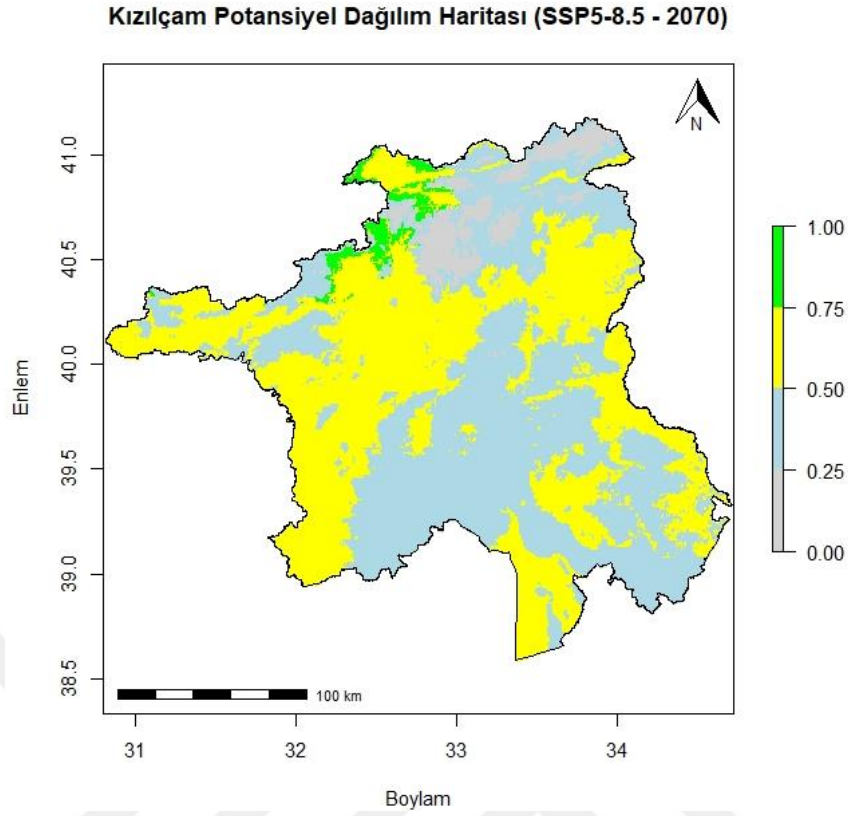
4.2.3. Kızılçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)

Kızılçam tür dağılım modeline 2070 orta yılı için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim senaryoları uygulandığında, güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına göre SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları temelinde gelecek potansiyel dağılım alanlarının daha yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere doğru yönelmesi yönünde değişiklikler beklenmektedir (Şekil 4.30; Şekil 4.31).

Kızılçamın 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 323.040 ha olarak tahmin edilen güncel potansiyel dağılım alanı, 2070 orta yılında SSP2-4.5 senaryosuna göre 2.185.487 ha ve SSP5-8.5 senaryosuna göre de 2.183.011 ha olarak hesaplanmıştır. 0,75 olasılık değerinden yüksek alanlar ise güncel potansiyel dağılım için 223.222 ha, SSP2-4.5'e göre 129.078 ha ve SSP5-8.5'e göre 84.479 ha olacağı tahmin edilmektedir. Güncel dönem potansiyel dağılımında en yüksek rakım 1.274 metre iken SSP2-4.5'e göre 1.662 metre ve SSP5-8.5'e göre ise 1.733 metre seviyelerine ulaşabileceği öngörülmektedir (Tablo 4.7; Şekil 4.30; Şekil 4.31).



Şekil 4.30: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.



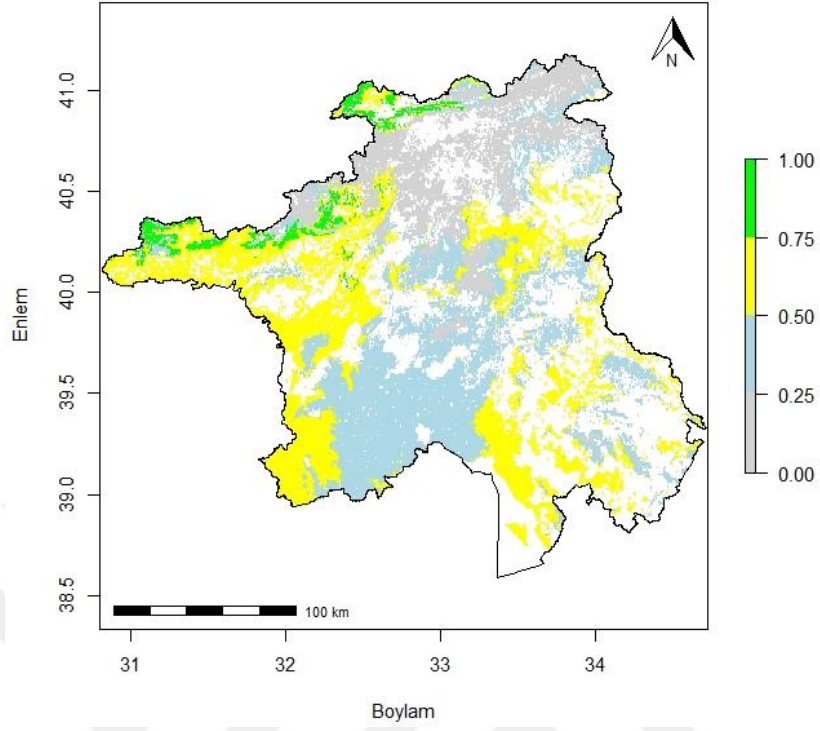
Şekil 4.31: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.7: Kızılçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KIZILÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	33.241,51	1.132	278			
Güncel Potansiyel Dağılım	323.039,96	1.274	243	223.222,05	971	243
SSP2-4.5 -2070	2.185.487,37	1.662	243	129.078,13	1.580	567
SSP5-8.5 -2070	2.183.010,61	1.733	243	84.478,99	1.677	1.160
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	181.140,36	1.274	260	142.388,70	971	260
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2070	1.143.938,07	1.662	260	100.861,00	1.580	260
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2070	1.195.698,33	1.733	260	65.420,96	1.677	1.182

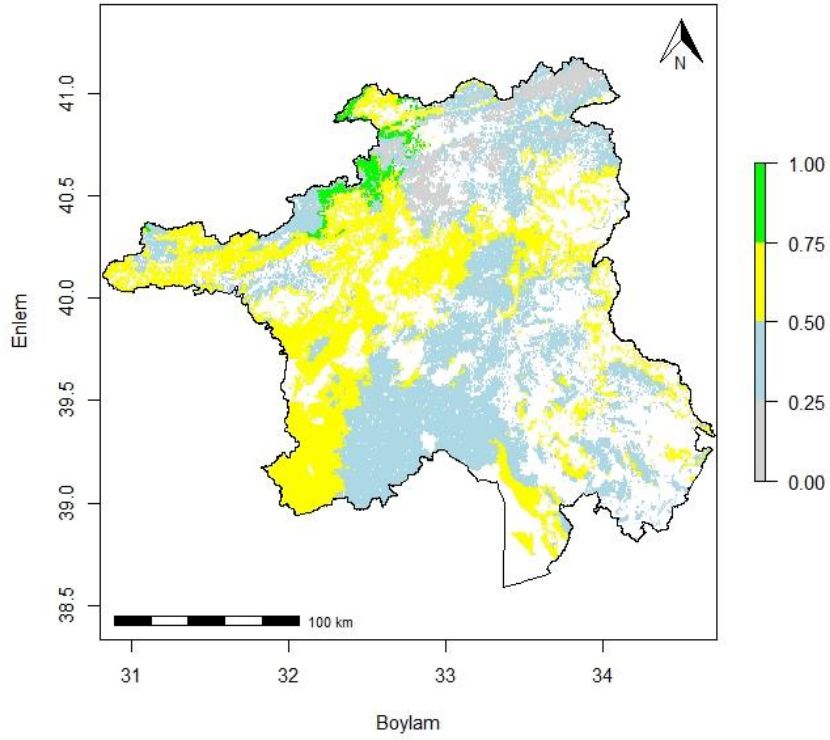
Tür dağılım modeli yardımıyla üretilen potansiyel dağılım haritalarında türün bulunmasının mümkün olmadığı alanların maskelenmesi sonucunda SSP2-4.5 senaryosuna göre 0,50'den yüksek olasılık değerine sahip alan 2.185.487 ha'dan 1.143.938 ha'a ve SSP5-8.5 senaryosuna göre 2.183.011 ha olan alanın da 1.195.698 ha'a düşeceği düşünülmektedir (Tablo 4.7; Şekil 4.32; Şekil 4.33).

Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2070)



Şekil 4.32: Kızılçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

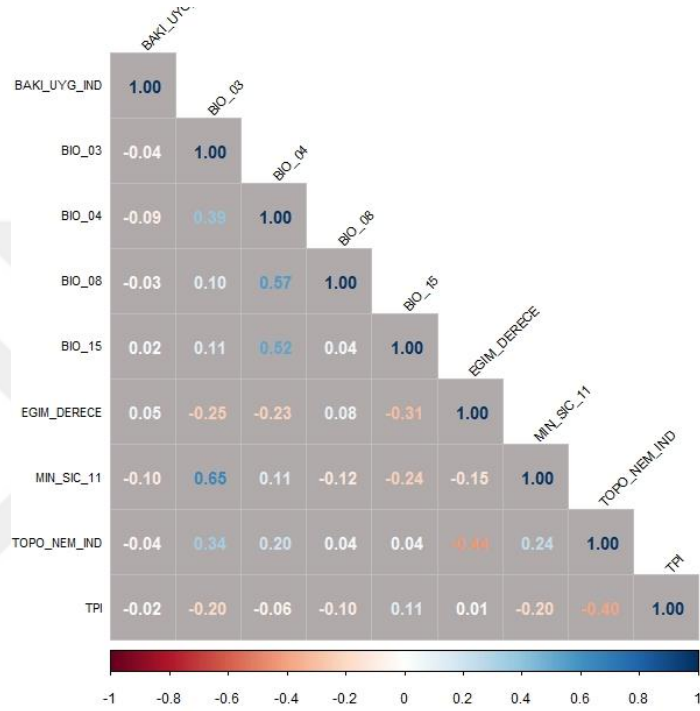
Kızılçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2070)



Şekil 4.33: Kızılçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

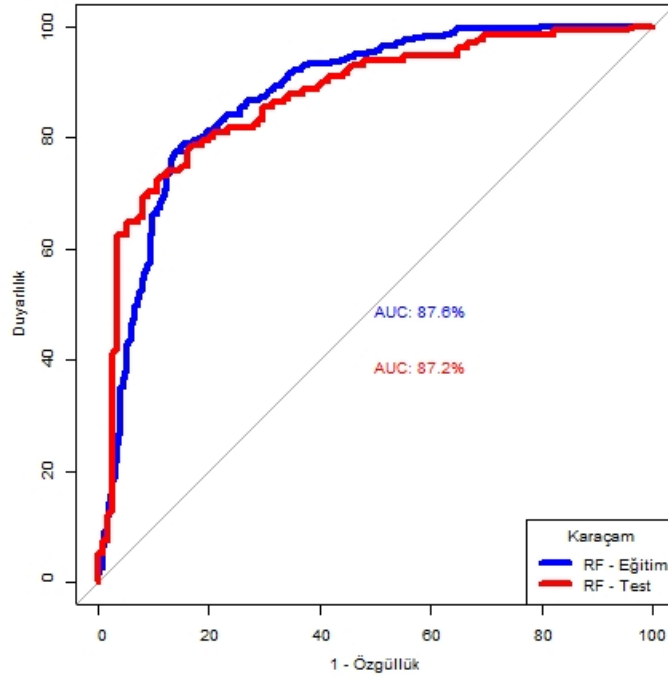
4.3. KARAÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)

Karaçam tür dağılım modeli elde etmek için temin edilen tüm çevresel değişkenler korelasyon analizine tabi tutulmuş ve aralarından yüksek ilişki ($>0,70$) bulunan (otokorelasyon olan) değişkenler elenmiştir. Korelasyon analizi sonrası kalan değişkenlere ait korelasyon katsayıları Şekil 4.34’de verilmiş ve bu değişkenlerle modelleme aşamasına geçilmiştir.



Şekil 4.34: Korelasyon analizi sonucunda karaçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.

Çalışma alanı kapsamında karaçam türü için elde edilen RF modelinin eğitim ve test veri setlerine ait ROC değerleri sırasıyla 0,876 ve 0,872 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.35).



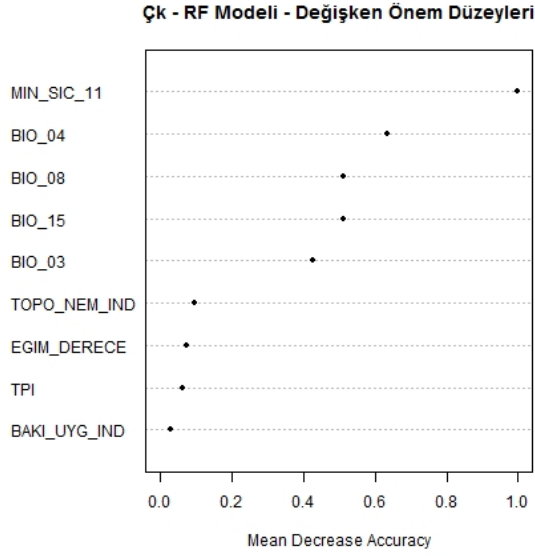
Şekil 4.35: Karaçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.

Karaçam tür dağılım modeli seçimi için farklı değişken sayıları ile denenen dört modelden tüm değişkenlerin kullanılmasıyla elde edilen Model 1 performans ölçütleri yönünden diğerlerine göre daha yüksek değere sahip olan ve torba dışı tahmin hatası en düşük olan model olarak seçilmiştir (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: Karaçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

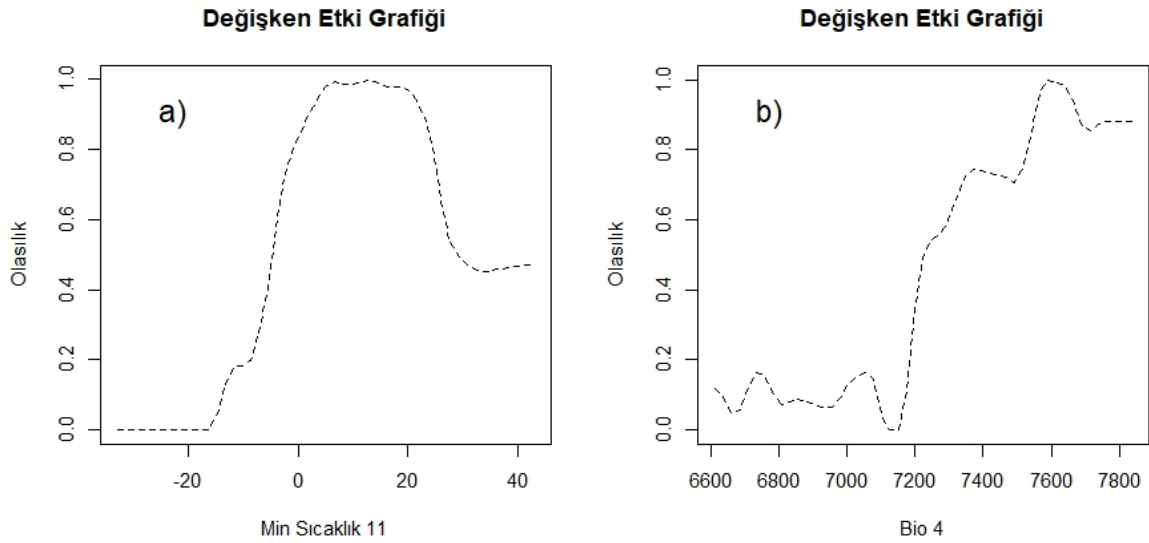
Karaçam	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8031	0,6050	0,6061	0,8010	19,5214	22,0588	9
Model 2	0,8016	0,6023	0,6031	0,8015	20,5290	18,1562	7
Model 3	0,7990	0,5972	0,5979	0,7995	20,2771	18,7678	5
Model 4	0,7635	0,5265	0,5271	0,7656	24,3073	23,8403	3

Karaçam için elde edilen tür dağılım modelinde değişkenlerin modele katkı düzeyleri incelendiğinde yüksekte düşüğe doğru kasım ayı minimum sıcaklığı, Bio4 (mevsimsel sıcaklık), Bio8 (en yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı), Bio15 (mevsimsel yağış miktarı), Bio3 (eş ısı), topoğrafik nemlilik indeksi, eğim, topoğrafik pozisyon indeksi ve bakı uygunluk indeksi olarak sıralanmaktadır. Burada iklimsel değişkenlerin topoğrafik değişkenlere göre daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 4.36).



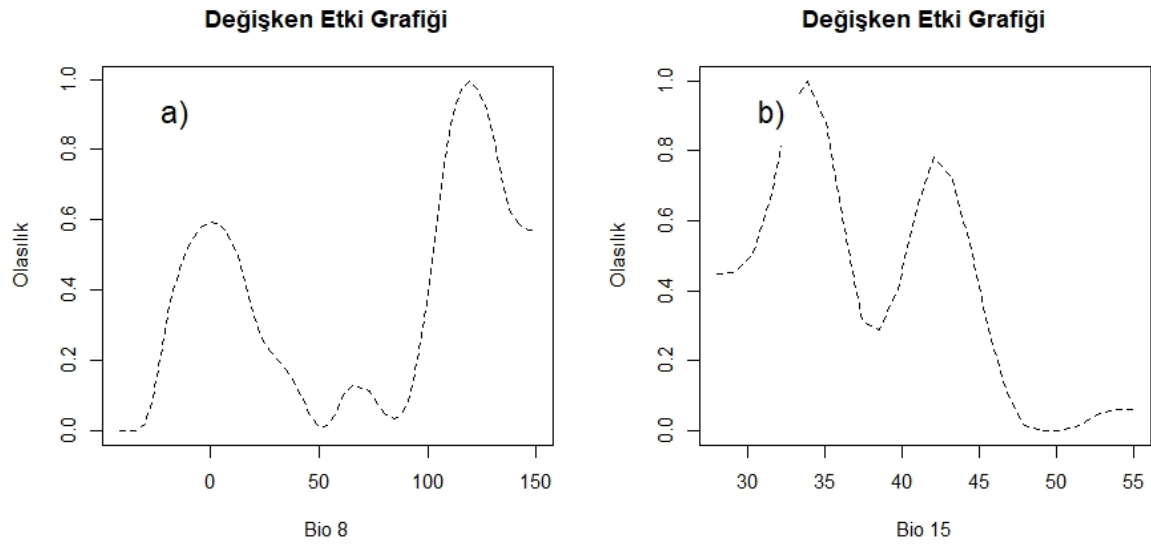
Şekil 4.36: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Modelde kullanılan değişkenlerin türün dağılımı üzerindeki etkilerini temsil eden grafikler üretilmiştir. Buna göre, modelde karaçam yayılışında en fazla etkiye sahip değişken kasım ayı minimum sıcaklığıdır. Kasım ayı minimum sıcaklığının -20°C 'nin altında olduğu alanlarda türün bulunma olasılığı oldukça düşüktür, artan minimum sıcaklıklar karaçam için olumlu etkiyi ifade etmektedir (Şekil 4.37.a). Mevsimsel sıcaklıkların yüksek olmasının karaçam için olumlu yönde etkisi olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.37.b).



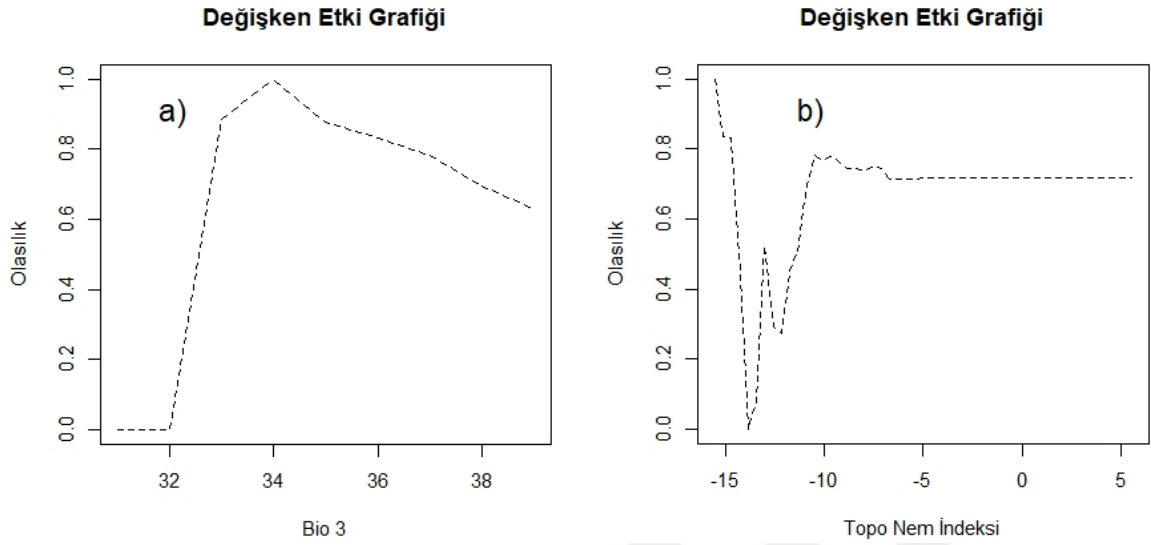
Şekil 4.37: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Mevsimsel sıcaklığın karaçamın dağılımına etkisi.

En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığının (Bio8) karaçam dağılımı üzerindeki etkisi düzensizdir. Yağışlı çeyrekte ortalama sıcaklıkların 0°C 'nin altında ve bir miktar üstünde olması durumunda türün bulunma olasılığı üzerinde olumsuz etki, 10°C 'nin üstündeki sıcaklıklarda belirli bir düzeye kadar olumlu ve daha sonra yine olumsuz bir etki beklenmektedir (Şekil 4.38.a). Mevsimsel yağış değişkenliği (Bio15) değerindeki artış ise karaçam dağılımını olumsuz etkilenmektedir (Şekil 4.38.b).



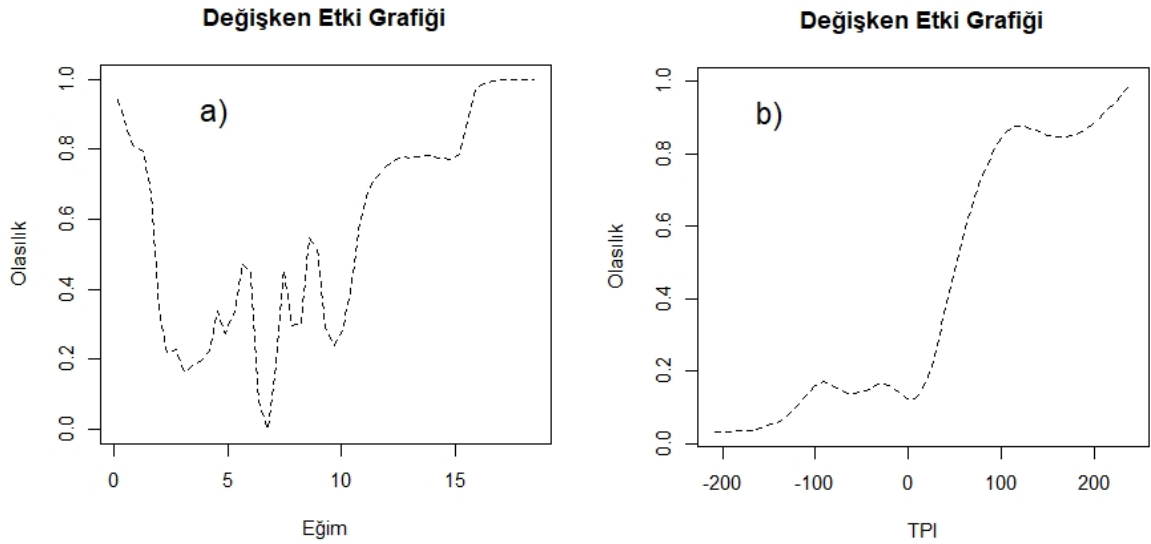
Şekil 4.38: a) En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Mevsimsel yağış değişkenliğinin karaçamın dağılımına etkisi.

Yıllık sıcaklık farklarına göre günlük sıcaklıkların ne kadar büyük farklılık gösterdiğini ölçen izotermalite (Bio3) değeri arttıkça türün bulunma olasılığı artış göstermekte ve belirli bir düzeyden sonra azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 4.39.a). Topoğrafik pozisyon indeksi (TPI) değişkeninin türün bulunma olasılığına etkisi, indeks değeri arttıkça tür için olumlu etki göstermektedir (Şekil 4.39.b).



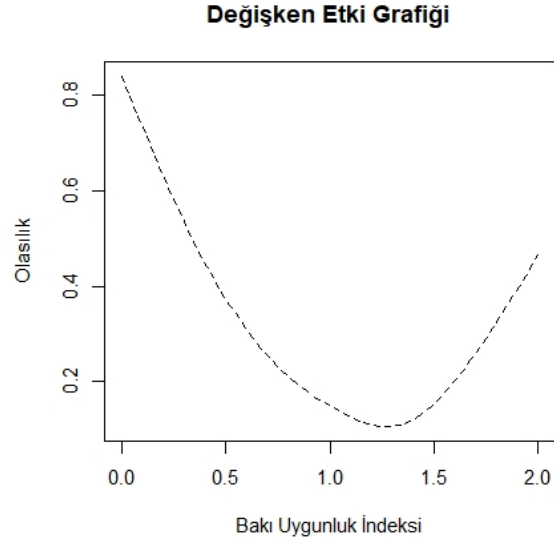
Şekil 4.39: a) İzotermalitenin (eş ısı) karaçamın dağılımına etkisi, b) Topoğrafik nemlilik indeksinin karaçamın dağılımına etkisi.

Topoğrafik nemlilik indeksinin artması karaçamın dağılımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip iken, değerin düşük olması önemli miktarda olumsuz etkiye sahiptir (Şekil 4.40.a). Karaçam dağılımı eğim artışından olumlu yönde etkilenmektedir (Şekil 4.40.b).



Şekil 4.40: a) Eğimin karaçamın dağılımına etkisi, b) Topoğrafik pozisyon indeksinin karaçamın dağılımına etkisi.

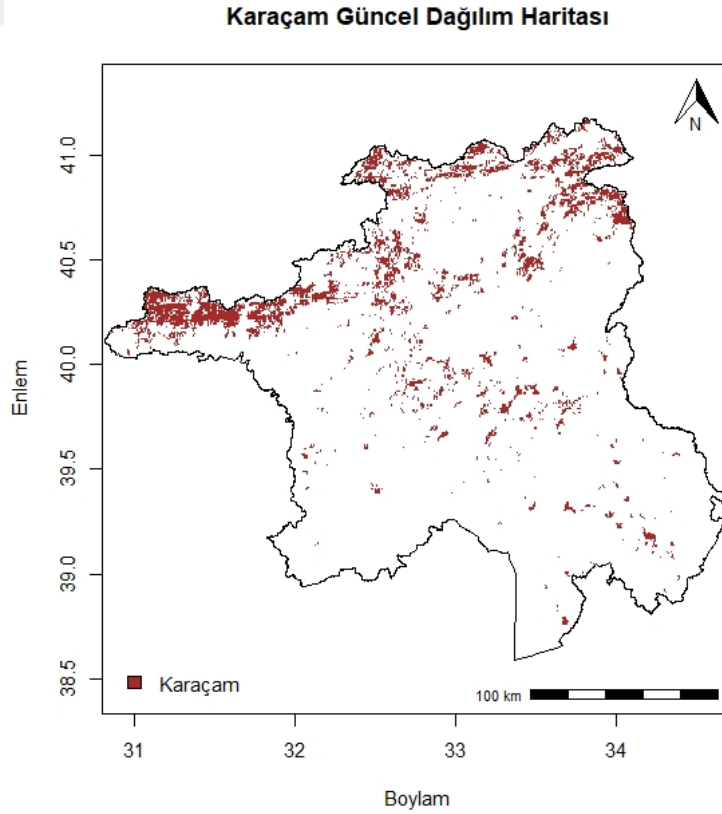
Bakının nemlilik koşulları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bakı uygunluk indeksinin karaçamın dağılımına etkisine bakıldığında, güney bakı grubunda türün bulunma olasılığının azaldığı, kuzey bakı grubunda ise daha yüksek bulunma olasılığına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.41).



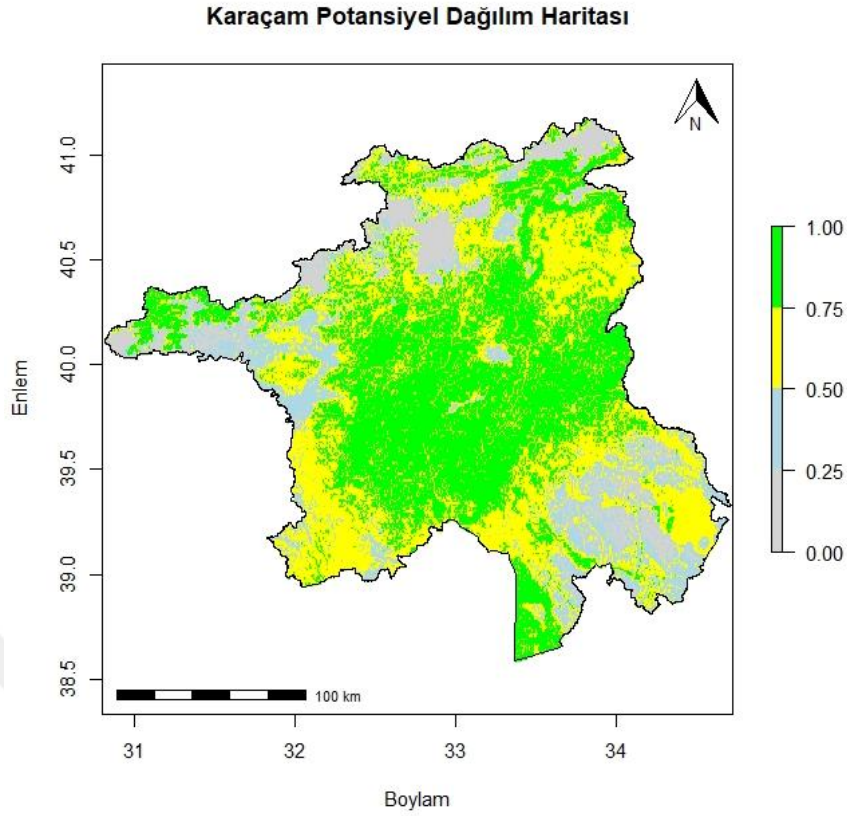
Şekil 4.41: Bakı uygunluk indeksinin karaçamın dağılımına etkisi.

4.3.1. Karaçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)

Karaçamın Ankara OBM'deki güncel dağılımları Şekil 4.42'de ve model yardımıyla elde edilen potansiyel dağılımı ise Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.42: Karaçam türünün güncel dağılım haritası.



Şekil 4.43: Karaçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.

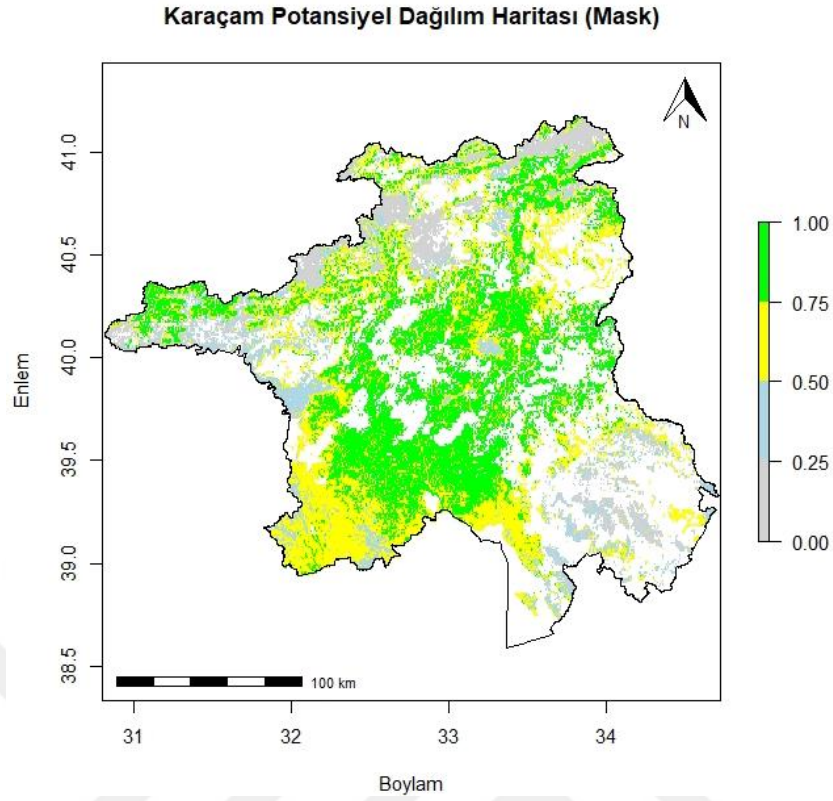
Karaçam potansiyel dağılım alanlarına ait olasılık değerleri 0,50-1,00 aralığı ve 0,75-1,00 aralığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 4.43; Tablo 4.9).

Karaçamın çalışma alanındaki güncel dağılım alanı 356.898 ha iken, bulunma olasılığı değeri 0,50'den büyük olan potansiyel dağılım alanları 3.518.877 ha, 0,75'ten büyük değere sahip alanlar ise 1.765.002 ha olarak bulunmuştur (Tablo 4.9).

Tablo 4.9: Karaçamın günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KARAÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	356.897,80	1.910	555			
Güncel Potansiyel Dağılım	3.518.877,02	1.771	518	1.765.002,27	1.678	561
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	2.082.782,02	1.760	518	1.101.820,36	1.678	561

Karaçam, güncel dağılım alanlarında 555-1.910 metre yükseklik aralığında görülürken, potansiyel dağılım 0,50'den yüksek olasılık değerine sahip alanlarda 518-1.771 metre arası rakımlarda, 0,75'ten yüksek değere sahip alanlarda ise 561-1.678 metre arası rakımlarda görüleceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.9).



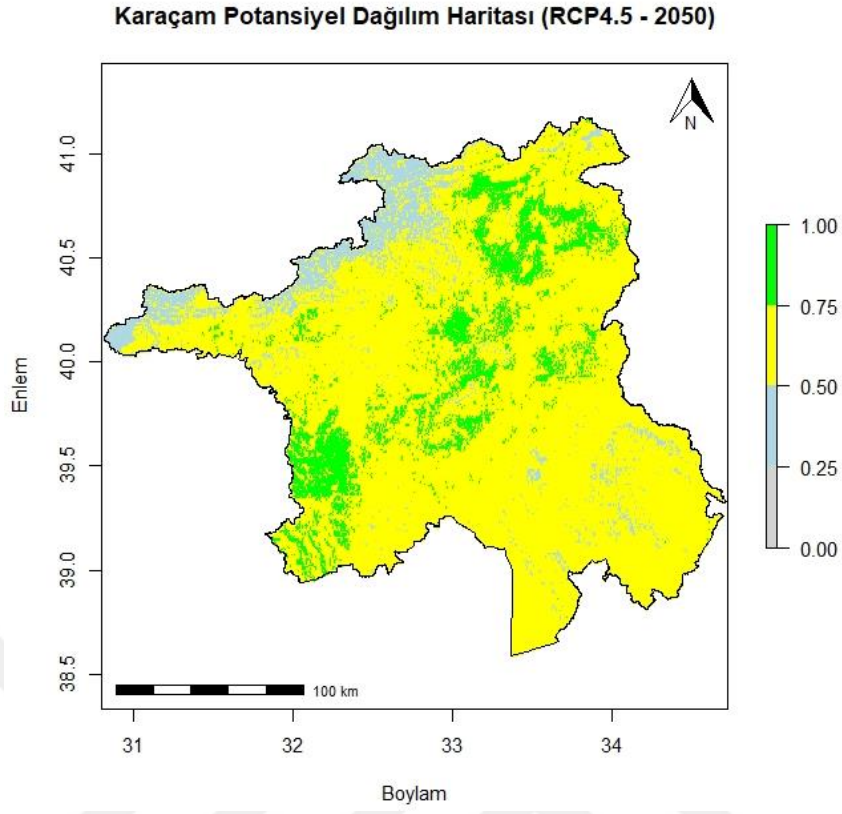
Şekil 4.44: Karaçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Potansiyel dağılım alanlarında türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı alanlar maskeleme yapılarak potansiyel alandan çıkartılmıştır. Bu durumda 0,50 üstü olasılık değerine sahip 3.518.877 ha potansiyel dağılım alanının, maskeleme sonucunda 2.082.782 ha'a gerilemesi, 0,75 üstü değere sahip 1.765.002 ha alanın ise 1.101.820 ha'a düşmesi söz konusu olacaktır (Tablo 4.9).

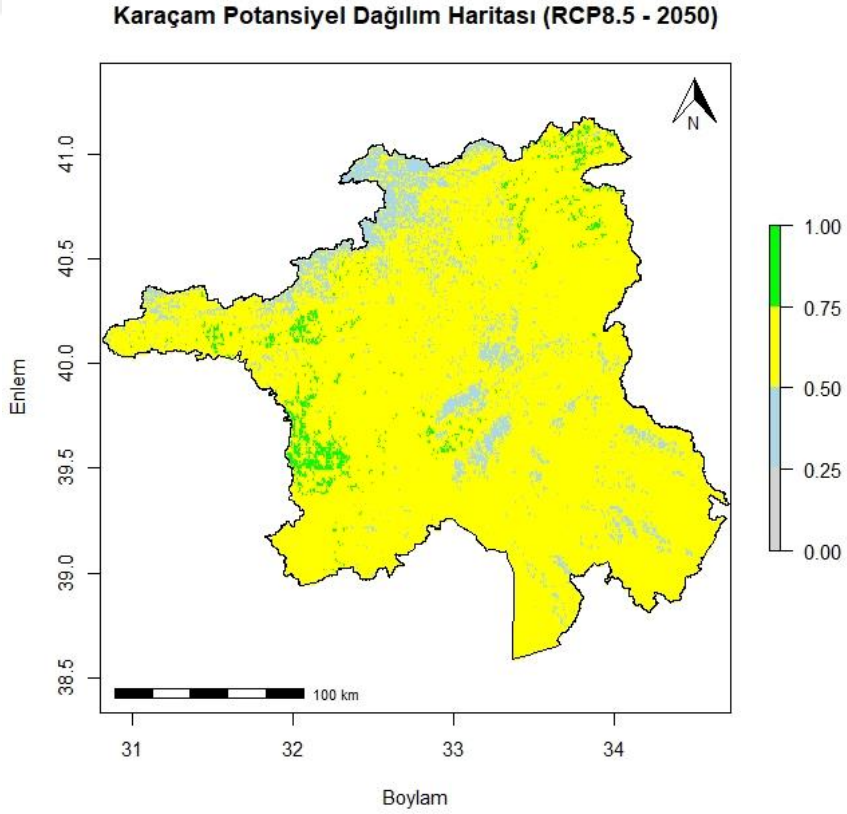
4.3.2. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)

Karaçam ağaç türü için geliştirilen tür dağılım modeline 2050 yılı için RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına uygulandığında, çalışma alanı için elde edilen potansiyel dağılım haritasına göre gelecek potansiyel dağılımlarda değişiklikler olacağı öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre 2050 yılında potansiyel dağılım alanlarının güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına göre hem alçak rakımlara hem de yüksek rakımlara doğru bir genişleme ile potansiyel alanını artıracakları düşünülmektedir (Şekil 4.45).

RCP8.5 senaryosuna göre ise yine güncel döneme göre yayılış alanlarında hem alçak rakımlarda hem yüksek rakımlarda bir genişleme olacağı, bir miktar daha fazla kuzeye yönelme olacağı ve yer yer güney enlemlerde bazı alanlardan çekileceği tahmin edilmektedir (Şekil 4.46).



Şekil 4.45: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.



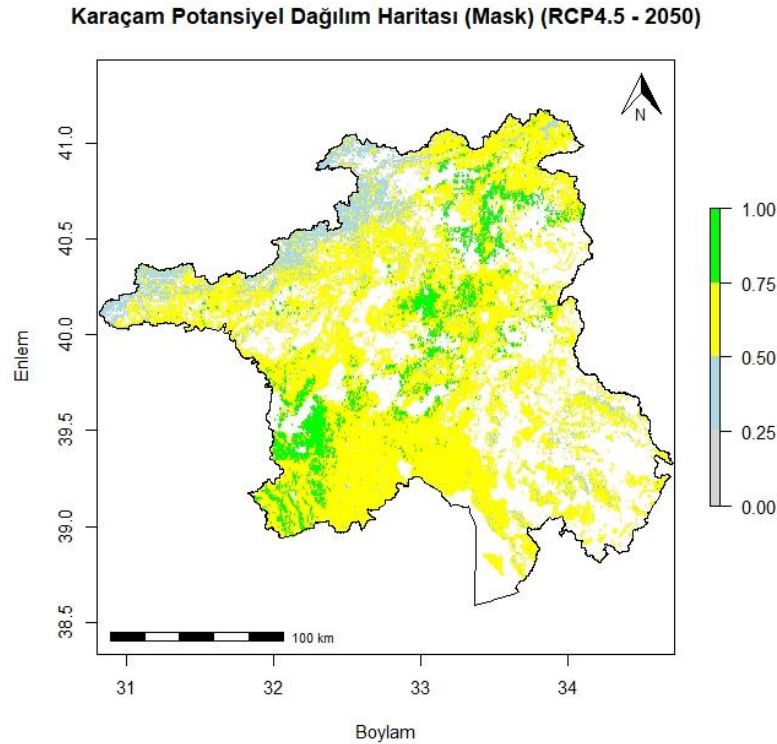
Şekil 4.46: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Karaçamın potansiyel dağılım gösterebileceği alanlarda üst sınır 1.771 metre iken, RCP4.5 senaryosuna göre 2.163 metre, RCP8.5 senaryosuna göre ise 2.286 metre rakımlara kadar yayılış gösterebileceği sonucuna ulaşılmaktadır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: Karaçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

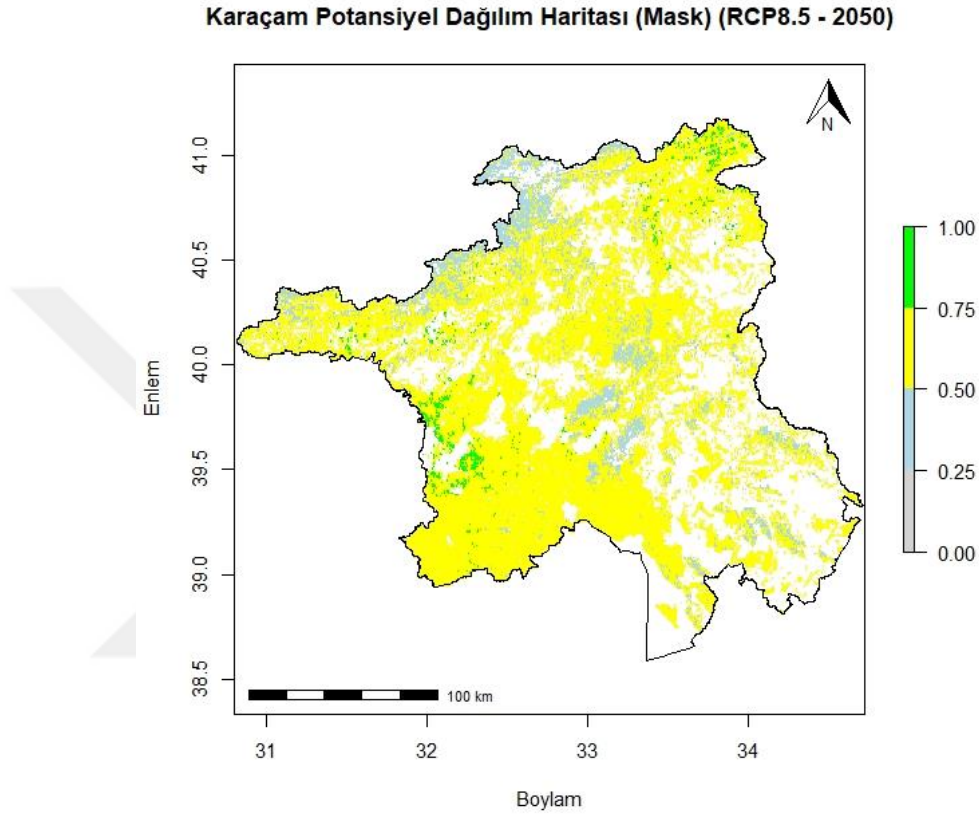
KARAÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	356.897,80	1.910	555			
Güncel Potansiyel Dağılım	3.518.877,02	1.771	518	1.765.002,27	1.678	561
RCP4.5-2050	4.179.452,84	2.163	363	503.173,10	1.776	460
RCP8.5-2050	4.151.466,88	2.286	242	108.949,02	2.042	459
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	2.082.782,02	1.760	518	1.101.820,36	1.678	561
Maskelenmiş RCP4.5-2050	2.470.306,23	2.163	363	316.777,07	1.776	540
Maskelenmiş RCP8.5-2050	2.431.686,10	2.286	259	66.431,38	2.042	507

Tür dağılımını sınırlayacağı düşünülen doğal ve yapay bariyer kabul edilen alanlar maskelendiğinde, 2050 yılı için RCP4.5 senaryosunda 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 4.179.453 ha potansiyel dağılım alanının, 2.470.306 ha'a düşeceği tahmin edilirken, 0,75'ten yüksek olasılığa sahip 503.173 ha alanın, 316.777 ha'a düşeceği hesaplanmaktadır (Şekil 4.47; Tablo 4.10).



Şekil 4.47: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Maskeleme işlemi 2050 yılı için RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen potansiyel dağılım haritasına uygulandığında, 0,50'den yüksek olasılık değerine sahip potansiyel alan 2.431.686 ha, 0,75'ten yüksek olasılık değerine sahip alan ise 66.431 ha olarak tespit edilmektedir (Şekil 4.48; Tablo 4.10).

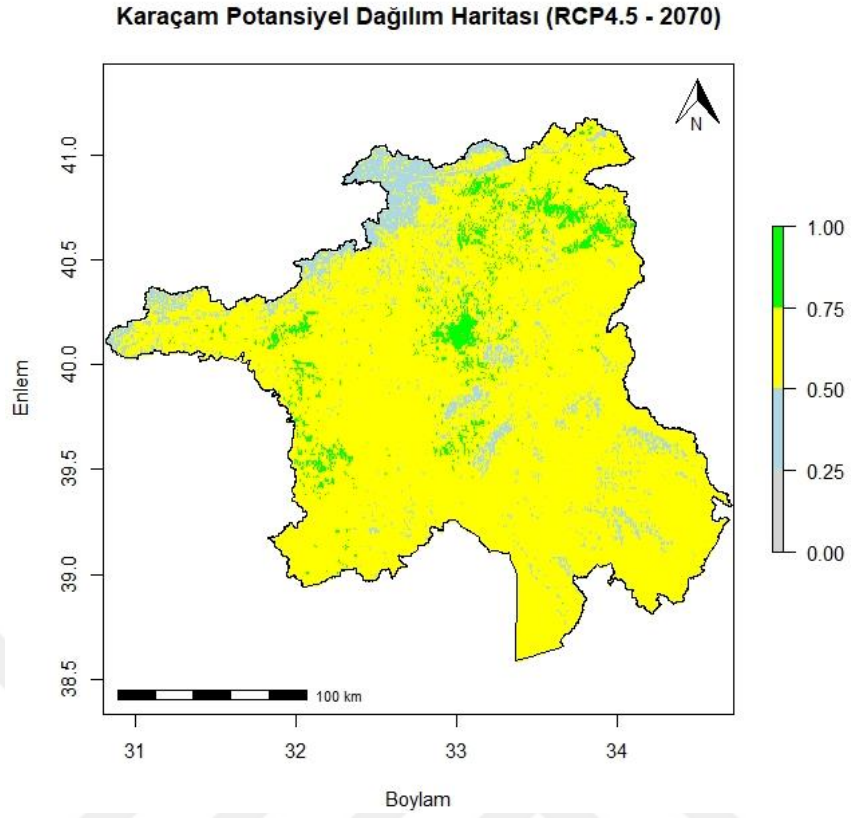


Şekil 4.48: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

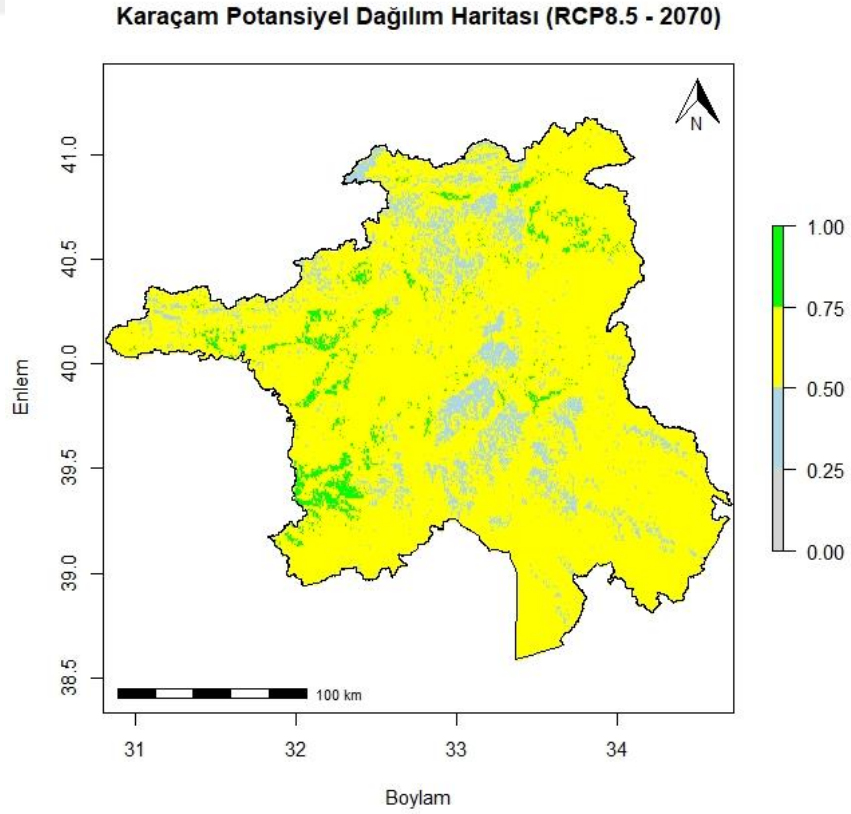
4.3.3. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)

Karaçam ağaç türü için geliştirilen model RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre 2070 yılı için uygulandığında, çalışma alanı için elde edilen potansiyel dağılım haritasına göre gelecek potansiyel dağılımlarda bazı değişiklikler olacağı öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre modellenen 2070 yılı potansiyel dağılım alanlarının güncel dönem alanlarına göre daha yüksek rakımlara ve kuzeye doğru bir ilerlemenin yanı sıra alansal olarak da daha fazla alana yayılması beklenmektedir (Şekil 4.49).

Aynı dönem için RCP8.5 senaryosuna göre ise daha kuzey enlemlere ve yükseltilere ilerleme devam ederken, güney enlemlerde ise RCP4.5'e göre daha fazla alanı terk edeceği düşünülmektedir (Şekil 4.50).



Şekil 4.49: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.



Şekil 4.50: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Güncel dağılımlarda yükselti üst sınır 1.910 metre iken, güncel dönem ve gelecek dönem potansiyel dağılımlarında yayılış alanlarının üst sınırlarına bakıldığında, güncel dönemde 1.771 metre olan üst sınırın, RCP4.5 senaryosuyla 2.272 metre, RCP8.5 senaryosuyla ise 2.410 metre seviyelerine ulaşabileceği sonucuna ulaşılmaktadır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: Karaçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

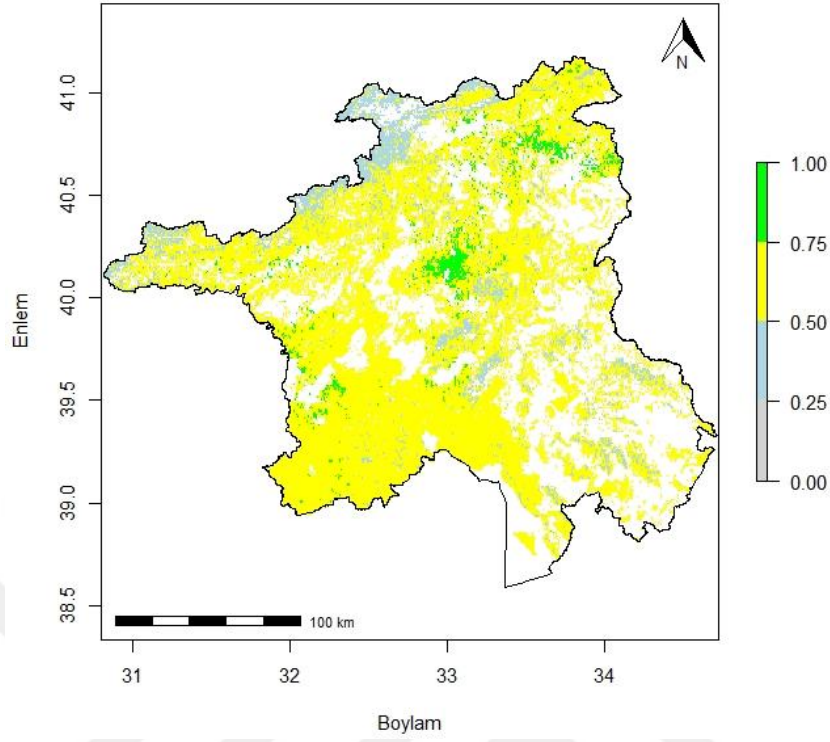
KARAÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	356.897,80	1.910	555			
Güncel Potansiyel Dağılım	3.518.877,02	1.771	518	1.765.002,27	1.678	561
RCP4.5-2070	4.168.457,01	2.272	291	181.896,04	1.907	496
RCP8.5-2070	4.105.865,57	2.410	242	146.371,06	2.039	458
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	2.082.782,02	1.760	518	1.101.820,36	1.678	561
Maskelenmiş RCP4.5-2070	2.450.660,56	2.272	291	107.981,75	1.907	522
Maskelenmiş RCP8.5-2070	2.400.918,43	2.410	243	88.875,91	2.039	481

Yükselti üst sınırlarından sonra alansal tahminlere bakıldığında, karaçamın güncel dağılım alanı 356.898 ha iken, potansiyeli 3.518.877 ha olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelecek dönemler için ise bu değer RCP4.5 senaryosunda 4.168.457 ha'a, RCP8.5 senaryosunda ise 4.105.866 ha'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir. RCP8.5 senaryosunda güney enlemlerden çekilmelerle RCP4.5 senaryosundan bir miktar az alana sahip olacağı hesaplanmaktadır (Şekil 4.35; Şekil 4.36; Tablo 4.8).

Türün dağılımına engel teşkil eden alanlar potansiyel alanlardan çıkartılarak potansiyel dağılımların tekrar değerlendirilmesiyle, 0,50'den yüksek olasılıklı alanlardan RCP4.5 senaryosunda 4.168.457 ha olan alan, 2.450.661 ha olarak, RCP8.5 senaryosunda ise 4.105.866 ha olan alan, 2.400.918 ha olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.51; Şekil 4.52; Tablo 4.11).

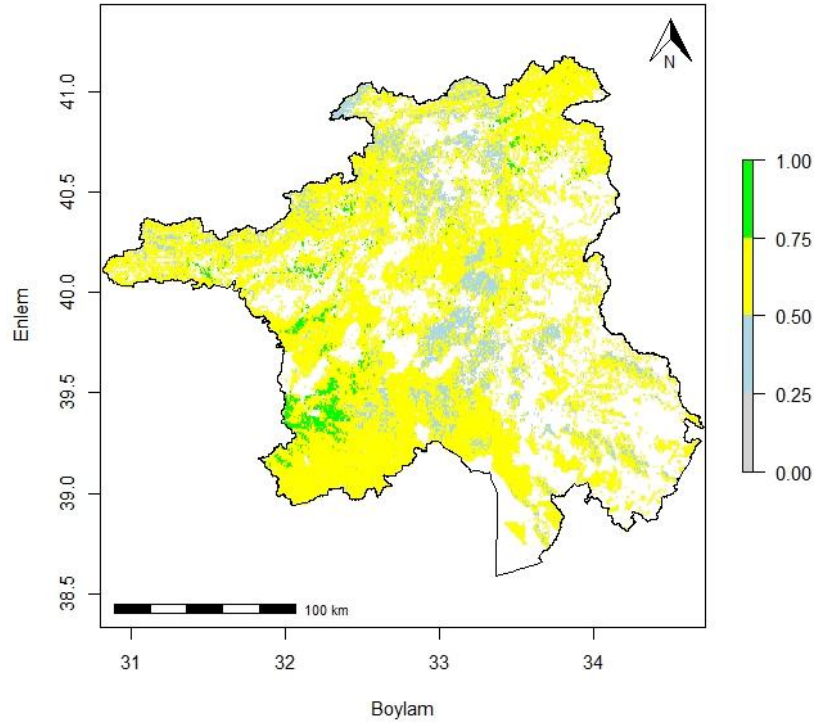
Aynı zaman periyodunda olasılık değeri 0,75'ten yüksek alanlar değerlendirilmeye alındığında, RCP4.5'e göre 181.896 ha'lık potansiyel alan maskeleme sonucunda 107.982 ha'a, RCP8.5'e göre ise 146.371 ha olan potansiyel alan 88.876 ha'a düşmektedir (Şekil 4.51; Şekil 4.52; Tablo 4.11).

Karaçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP4.5 - 2070)



Şekil 4.51: Karaçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

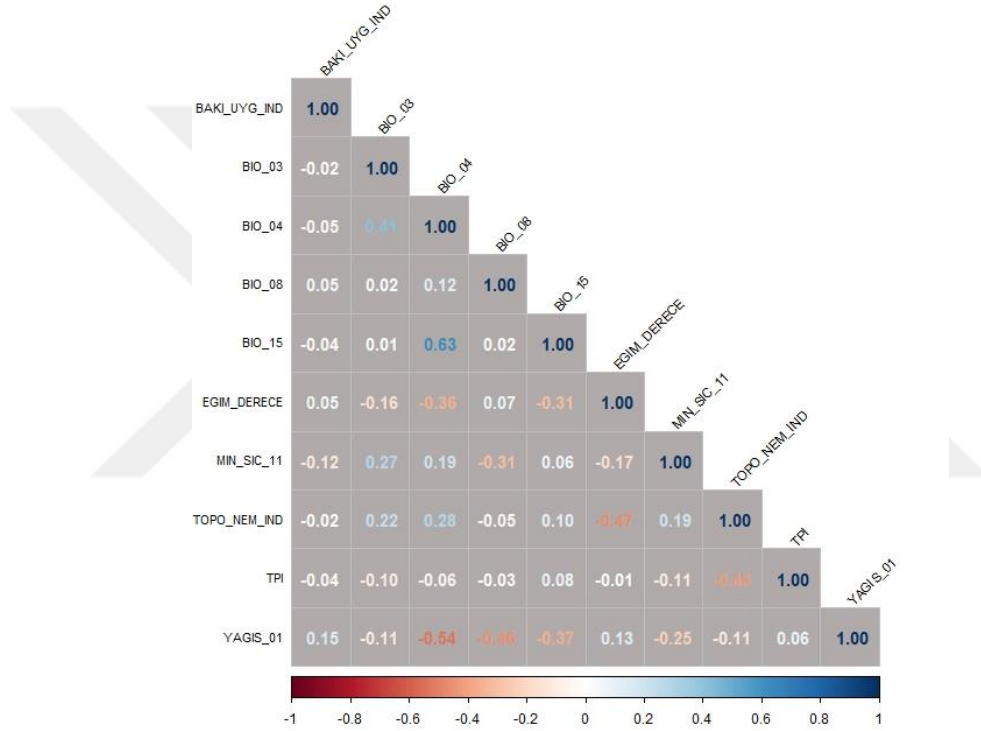
Karaçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2070)



Şekil 4.52: Karaçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

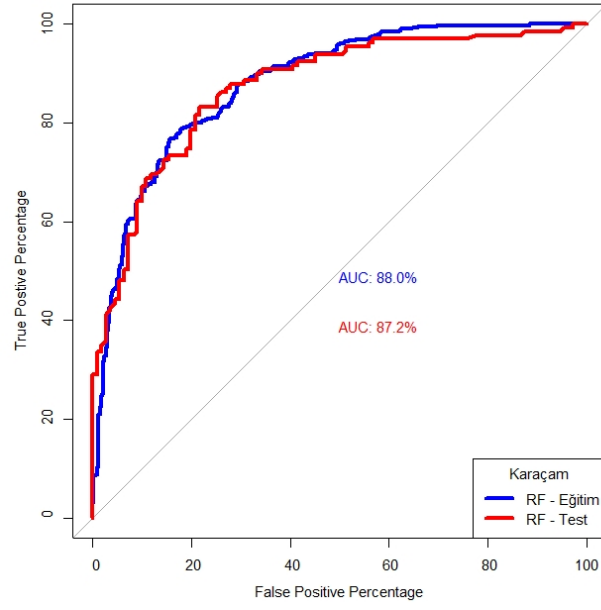
4.4. KARAÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)

Modelleme çalışmalarına başlamadan tüm değişkenlerin aralarındaki ilişkilerin ortaya konulması amacıyla korelasyon analizi uygulanmıştır. Korelasyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0,70'ten büyük olan değişkenler aralarındaki ilişkilerin güçlü olması (otokorelasyon olması) sebebiyle elenmiş ve kalan değişkenlerle modelleme aşamasına geçilmiştir. Kızılcım tür dağılım modelinde kullanılan değişkenlere ait korelasyon katsayıları Şekil 4.53'te verilmiştir.



Şekil 4.53: Korelasyon analizi sonucunda karaçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.

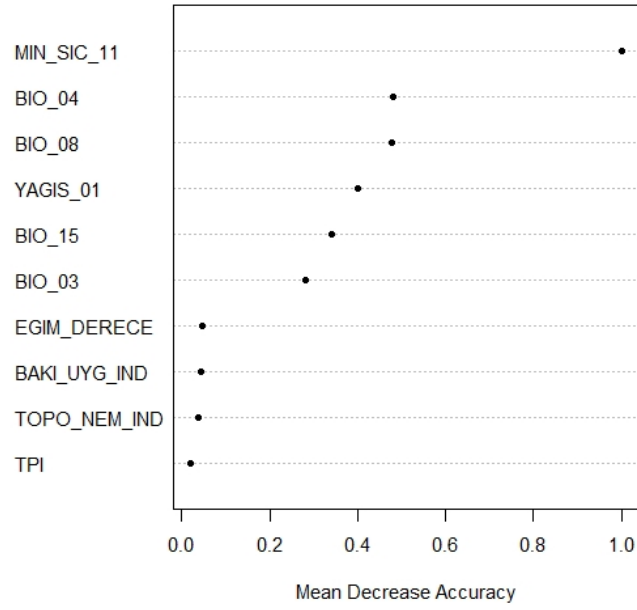
Karaçam tür dağılımı için üretilen RF modelinin ROC eğrisi AUC değerleri, eğitim verisi için 0,880 ve test verisi için 0,872 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54: Karaçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.

Modelleme aşaması için Şekil 4.53'te bahsi geçen değişkenlerden elde edilen RF modelinde değişkenlerin modele katkı oranları ve model içerisindeki önem düzeyleri şekil 4.55'te verilmiştir.

Çk - RF Modeli - Değişken Önem Düzeyleri



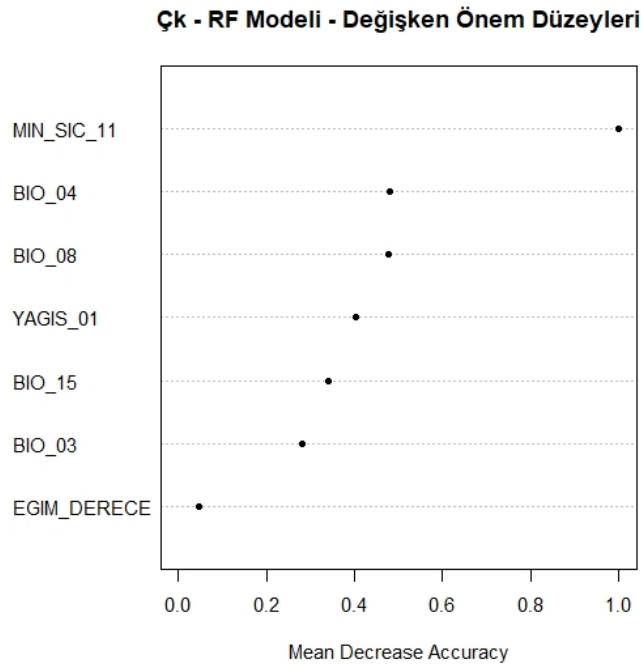
Şekil 4.55: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Korelasyon analizi sonucunda kalan değişkenlerden üretilen farklı değişken sayılarına sahip dört model performans ölçütleri çerçevesinde değerlendirilmesiyle en düşük sınıflandırma ve torba dışı tahmin hatası, en yüksek kappa, TSS, F-Score ve dengelenmiş doğruluk değerleri ile yedi değişkenden meydana gelen Model 2 en uygun model olarak seçilmiştir (Tablo 4.12).

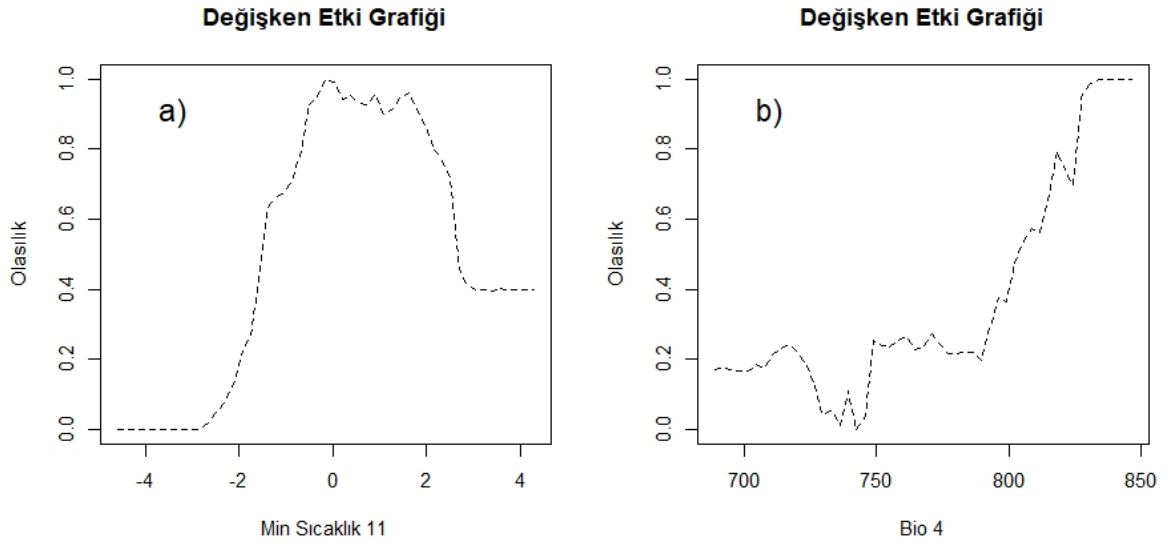
Tablo 4.12: Karaçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

Karaçam	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,7971	0,5942	0,5942	0,8025	20,4030	20,9845	10
Model 2	0,7995	0,5991	0,5990	0,8059	20,2771	20,7923	7
Model 3	0,7805	0,5613	0,5611	0,7878	21,9144	21,9851	5
Model 4	0,7831	0,5663	0,5661	0,7902	21,4106	23,3582	3

En uygun model olarak seçilen Model 2’de yer alan değişkenlerin modele katkı oranları ve modeldeki önem düzeyleri Şekil 4.56’da gösterilmiştir. Modelde kullanılan değişkenler önem düzeyleri itibari ile değerlendirildiğinde, modelde baskın unsurun iklimsel değişkenler olduğu görülmektedir (Şekil 4.56).

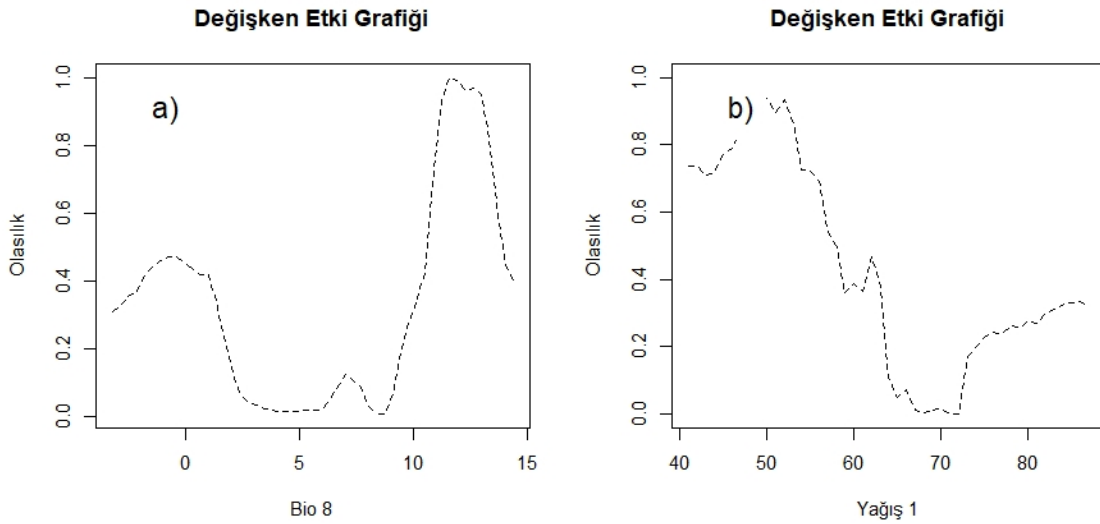


Şekil 4.56: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.



Şekil 4.57: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Mevsimsel sıcaklığın karaçamın dağılımına etkisi.

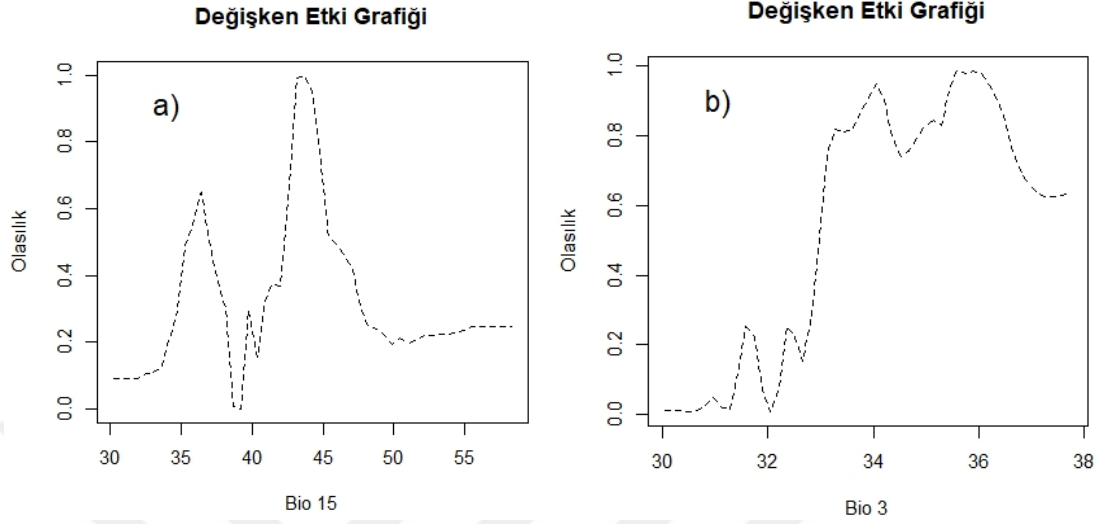
Karaçam tür dağılım modeli çerçevesinde, modele en yüksek katkıyı sağlayan ve en önemli değişken olan kasım ayı minimum sıcaklığındaki artış karaçam tür dağılımını belirli bir seviyeye kadar oldukça olumlu etkilemiş ve sonra bir miktar olumsuz etkiye sebep olmuştur (Şekil 4.57.a). Modeldeki en önemli bir diğer değişken olan mevsimsel sıcaklıkta (Bio4) görülen artışın türün bulunma olasılığı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Şekil 4.57.b).



Şekil 4.58: a) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının karaçamın dağılımına etkisi, b) Ocak ayı yağış miktarının karaçamın dağılımına etkisi.

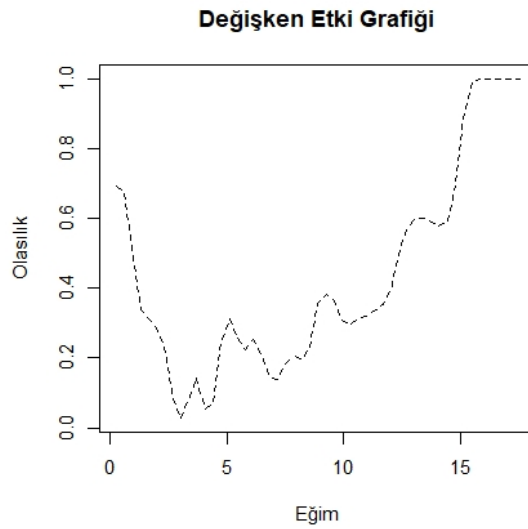
En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığındaki (Bi8) değişimin etkisi düzensiz seyretmektedir. Bu etki bir noktaya kadar olumlu iken, belirli bir düzeyin üzerinde olumsuz etki meydana

getirmektedir (Şekil 4.58.a). Ocak ayı yağış miktarındaki azalışında önemli seviyede olumsuz etkisi gözlemlenmektedir (Şekil 4.58.b).



Şekil 4.59: a) Mevsimsel yağış değişkenliğinin karaçamın dağılımına etkisi, b) İzotermalitenin (eş ısı) karaçamın dağılımına etkisi.

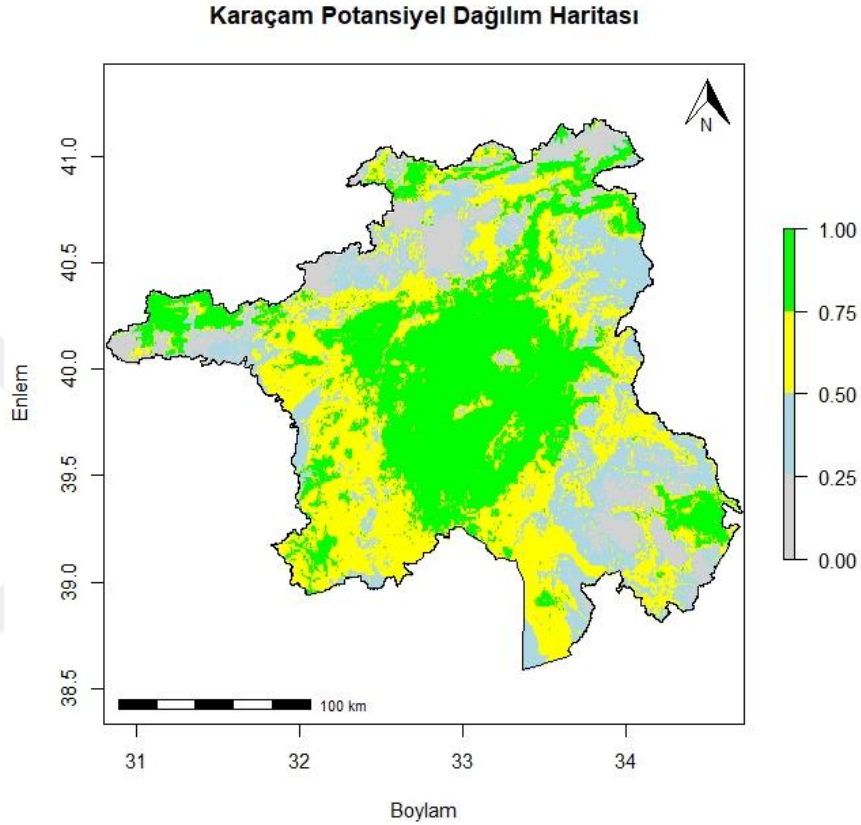
Karaçam tür dağılımı üzerinde mevsimsel yağış değişkenliğinin (Bio15) etkisi de oldukça düzensizdir (Şekil 4.59.a). İzotermalite (Bio3) yıllık sıcaklık farklarına göre günlük sıcaklık farklarının ne kadar büyük farklılık gösterdiğini ölçen önemli bir göstergedir. Bio3 değerindeki artış türün bulunma olasılığında önemli bir artış göstermektedir (Şekil 4.59.b). Model içerisinde en düşük etkiye sahip değişken olan eğimin karaçamın dağılımı üzerinde genel itibariyle olumlu bir etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 4.60).



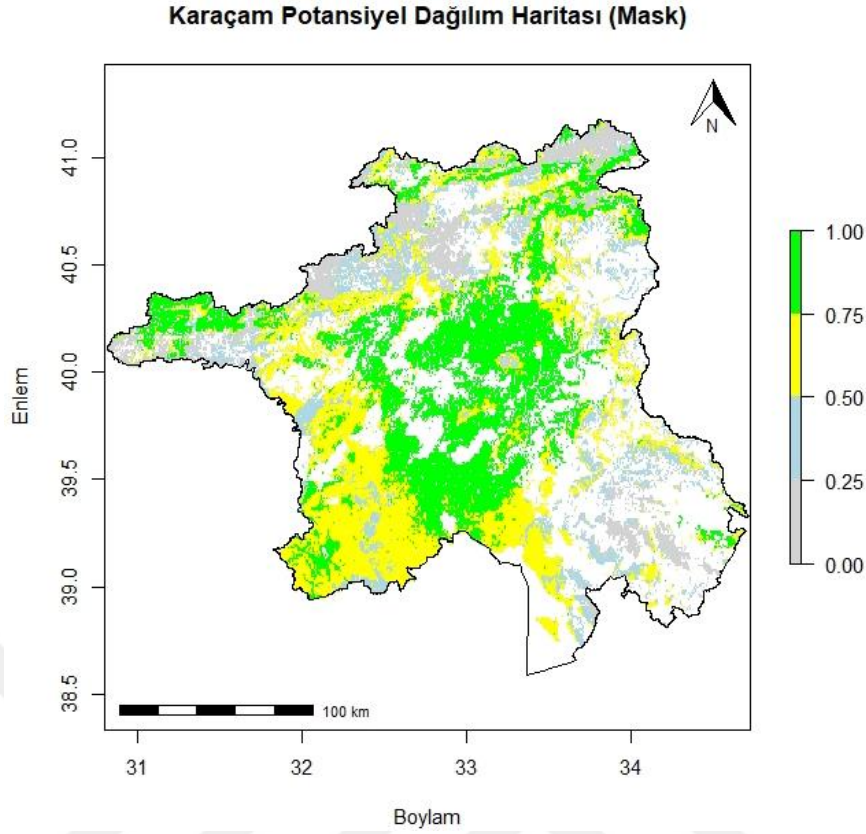
Şekil 4.60: Eğimin karaçamın dağılımına etkisi.

4.4.1. Karaçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)

Karaçam türü için orman amenajman planlarına göre güncel dağılımı Şekil 4.42’de, tür dağılım modeli çıktısı karaçam güncel potansiyel dağılım haritası Şekil 4.61’de ve türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı alanların maskelenmesi neticesinde üretilen maskelenmiş potansiyel dağılım haritası Şekil 4.62’de verilmiştir.



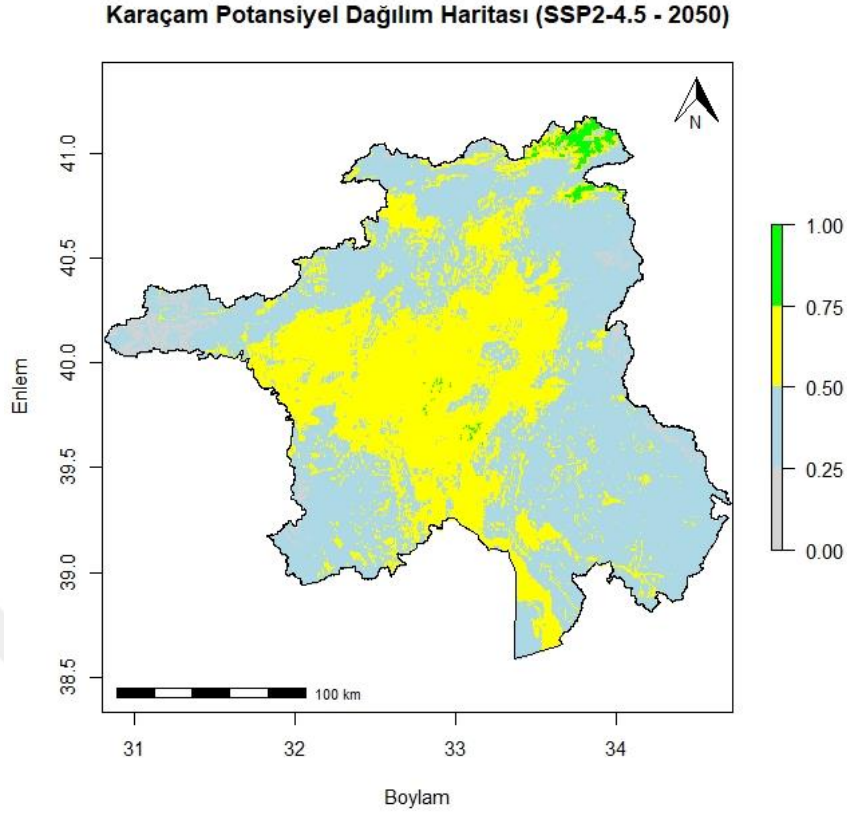
Şekil 4.61: Karaçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.



Şekil 4.62: Karaçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

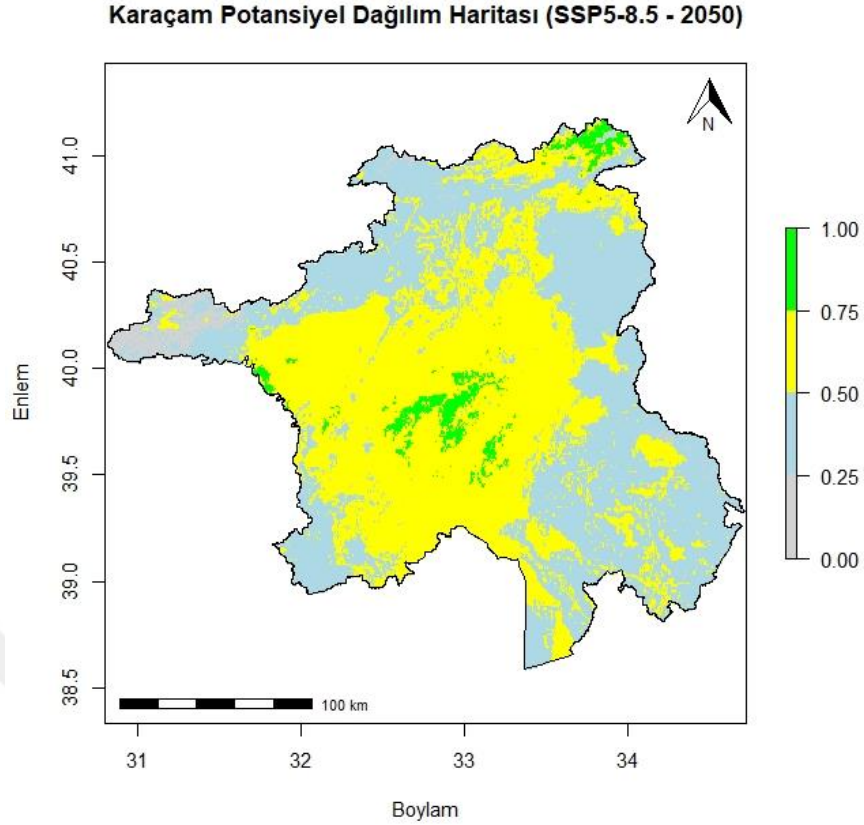
4.4.2. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)

Yeni nesil iklim senaryolarından SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'in 2050 orta yılı için karaçam türüne ait tür dağılım modeline uygulanmasıyla, güncel potansiyel dağılım haritasına göre gelecek potansiyel dağılımlarında önemli değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir. 2050 orta yılında SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre potansiyel dağılım alanlarının daha yüksek irtifalı alanlara doğru kayması ancak alansal olarak ise önemli bir potansiyel alan kaybı yaşaması beklenmektedir (Şekil 4.63; Şekil 4.64).



Şekil 4.63: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Karaçamın 3.120.004 ha olarak tahmin edilen 0,50'den yüksek olasılık değerine sahip güncel potansiyel alanın SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 yılında 1.728.491 ha'a ve SSP5-8.5 senaryosu temelinde ise 2.387.015 ha'a düşeceği tahmin edilirken, 0,75'den yüksek değere sahip 1.520.617 ha güncel potansiyel alan, SSP2-4.5'e göre 42.416 ha'a ve SSP5-8.5'e göre de 122.077 ha'a kadar düşeceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.13; Şekil 4.63; Şekil 4.64). Yükselti yönünde değerlendirildiğinde, güncel dönem potansiyel dağılımda en yüksek irtifalı alan 1.779 metre iken, SSP2-4.5'e göre 2.217 metre ve SSP5-8.5'e göre ise 2.185 metre yükseltilere kadar ulaşabileceği öngörülmektedir (Tablo 4.13).



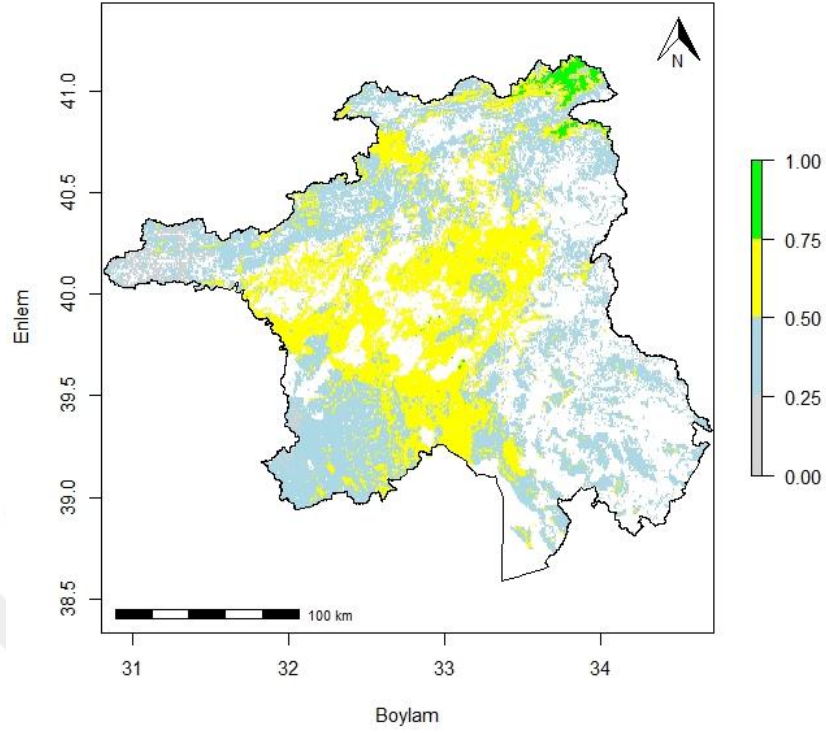
Şekil 4.64: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.13: Karaçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KARAÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	356.897,80	1.910	555			
Güncel Potansiyel Dağılım	3.120.003,79	1.779	513	1.520.616,89	1.650	620
SSP2-4.5 -2050	1.728.490,75	2.217	461	42.416,37	2.060	698
SSP5-8.5 -2050	2.387.014,60	2.185	461	122.076,74	2.060	513
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	1.981.240,51	1.736	513	1.019.020,63	1.650	620
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2050	1.121.600,71	2.217	474	38.086,00	2.060	698
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2050	1.622.543,08	2.185	471	94.744,16	2.060	513

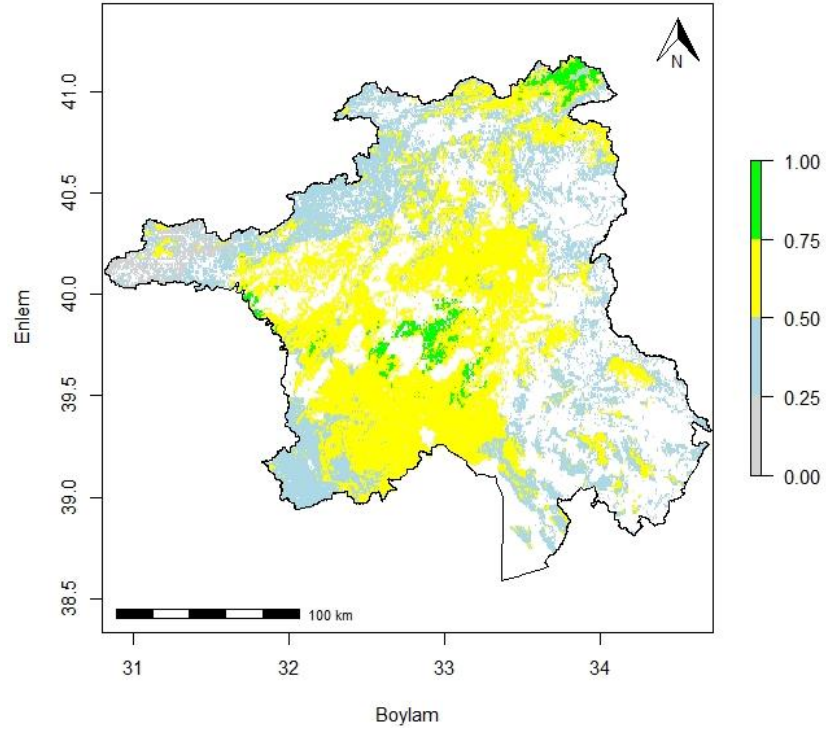
Potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilen ancak türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı doğal ve yapay bariyer olarak görülen alanların maskelenmesiyle maskelenmiş potansiyel alanlar elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda, karaçam türü için 0,50'den yüksek olasılık değerine sahip 3.120.004 ha olarak hesaplanan güncel potansiyel dağılım alanının 1.981.241 ha'a, 2050 yılı için SSP2-45 temelinde 1.728.491 ha olarak hesaplanan gelecek potansiyel alanının 1.121.601 ha'a ve SSP5-8.5 temelinde hesaplanan 2.387.015 ha alanın 1.622.543 ha'a düşeceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.13; Şekil 4.65; Şekil 4.66).

Karaçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2050)



Şekil 4.65: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

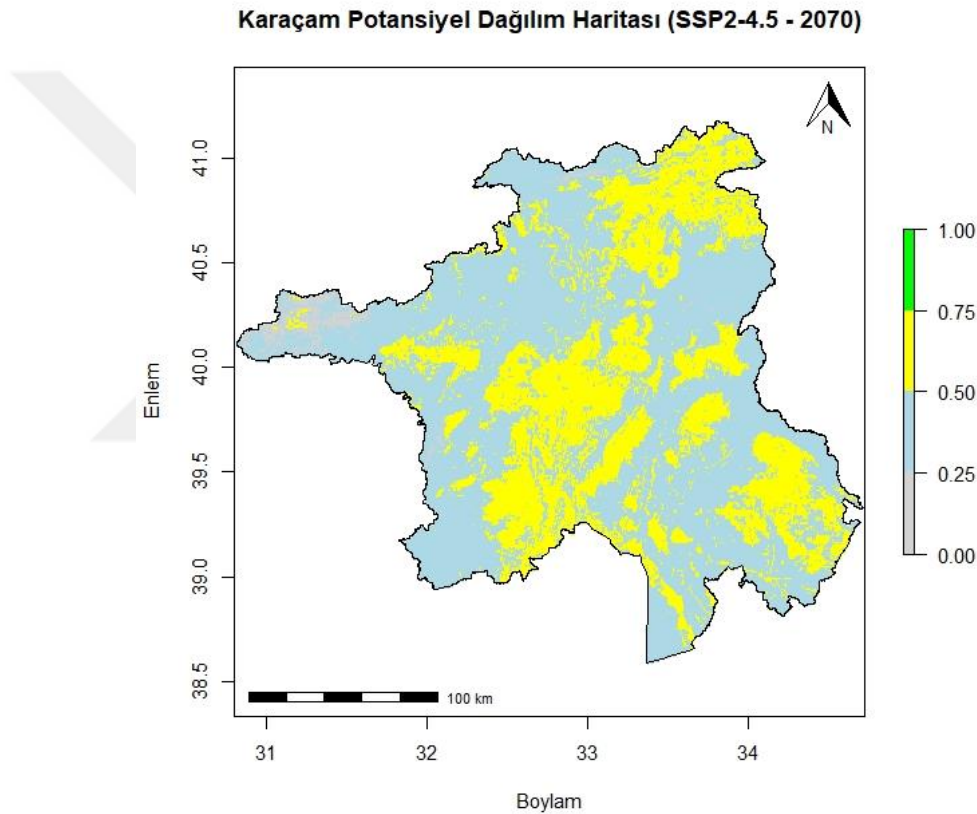
Karaçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2050)



Şekil 4.66: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.4.3. Karaçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)

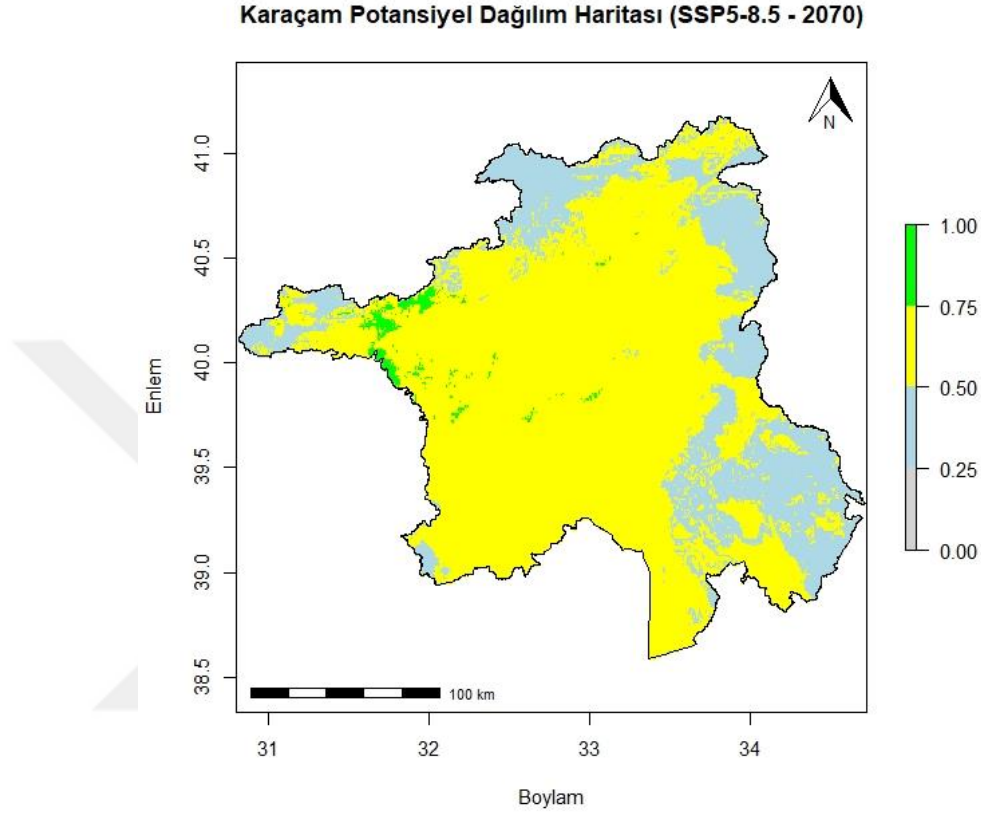
Karaçam tür dağılım modeline 2070 yılı için yeni nesil iklim senaryolarından SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'in uygulanması neticesinde, gelecek potansiyel dağılım alanlarında da bazı önemli değişiklikler olacağı öngörülmektedir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları temelinde 2070 orta yılında potansiyel dağılım alanlarının üst sınırlarının daha yüksek rakımlara kayması, 2050 yılına benzer şekilde SSP2-4.5'te alansal olarak önemli bir potansiyel alan kaybı yaşaması ancak SSP5-8.5 senaryosu temelinde ise potansiyel alanda bir miktar daha fazla artış ve yüksek rakımlı alanlara kaymanın ise daha fazla olması beklenmektedir (Şekil 4.67; Şekil 4.68).



Şekil 4.67: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Güncel potansiyel dağılım haritasında 0,50'den yüksek bulunma olasılığı değerine sahip 3.120.004 ha olarak hesaplanan karaçam potansiyel alanının, 2070 orta yılında SSP2-4.5 senaryosuna göre 1.553.405 ha'a düşeceği, SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 3.404.983 ha'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Güncel dönem potansiyel dağılımda en yüksek rakım 1.779 metre iken SSP2-4.5'e göre 2.079 metre ve SSP5-8.5'e göre ise 2.395 metre rakıma kadar ulaşabileceği öngörülmektedir (Tablo 4.14; Şekil 4.67; Şekil 4.68). 2070 yılı için iki senaryo grubu temelinde elde edilen potansiyel alanlar maskeleme işlemine tabi tutulduğunda, 0,50'den

yüksek değerli SSP2-4.5 senaryosuna göre 1.553.405 ha olan potansiyel alan 1.001.581 ha'a ve SSP5-8.5 senaryosuna göre 3.404.983 ha olan potansiyel alanın 2.200.459 ha'a düşeceği hesaplanmıştır (Tablo 4.14; Şekil 4.69; Şekil 4.70).

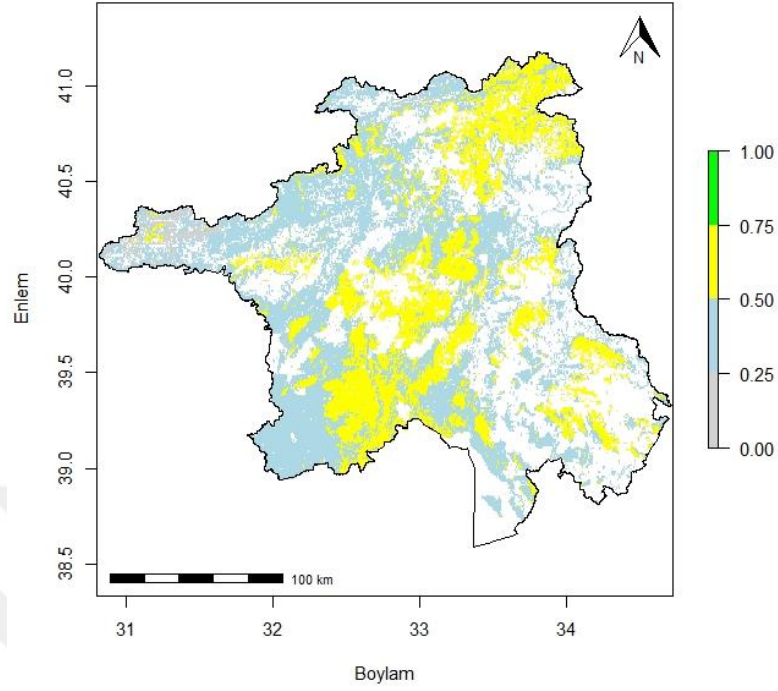


Şekil 4.68: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.14: Karaçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

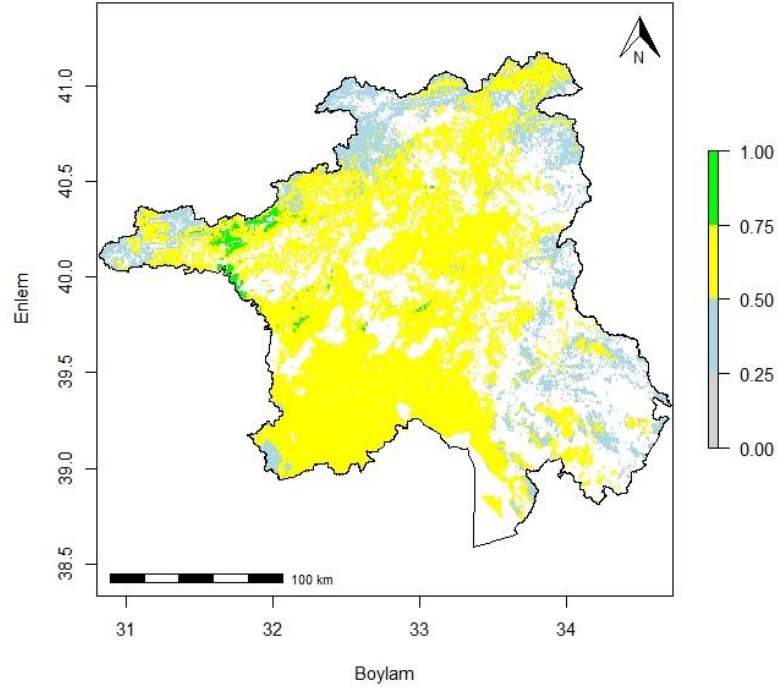
KARAÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	356.897,80	1.910	555			
Güncel Potansiyel Dağılım	3.120.003,79	1.779	513	1.520.616,89	1.650	620
SSP2-4.5 -2070	1.553.404,65	2.079	466	-	-	-
SSP5-8.5 -2070	3.404.983,18	2.395	351	55.851,83	1.917	461
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	1.981.240,51	1.736	513	1.019.020,63	1.650	620
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2070	1.001.581,16	2.079	481	-	-	-
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2070	2.200.458,72	2.395	351	42.570,37	1.917	481

Karaçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2070)



Şekil 4.69: Karaçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

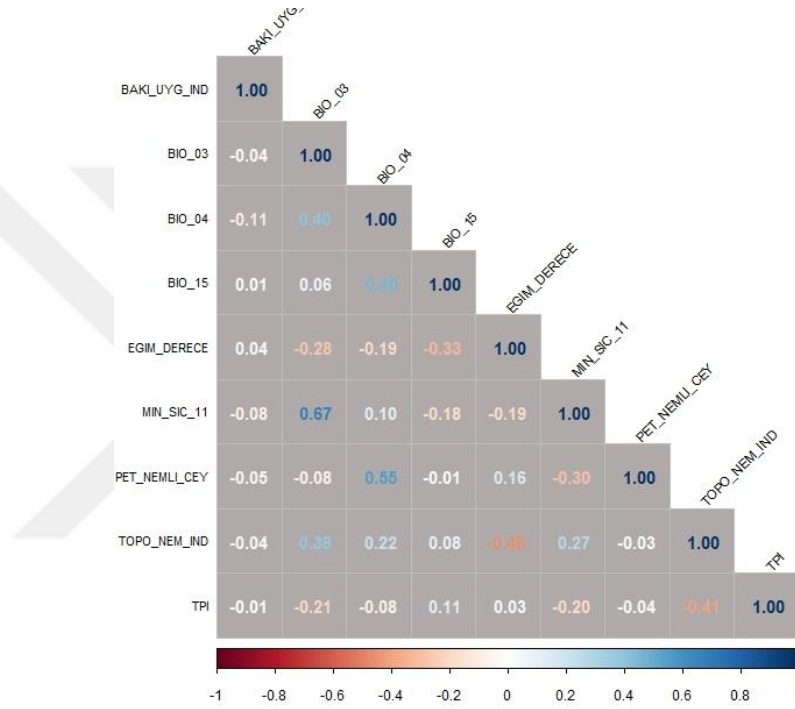
Karaçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2070)



Şekil 4.70: Karaçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

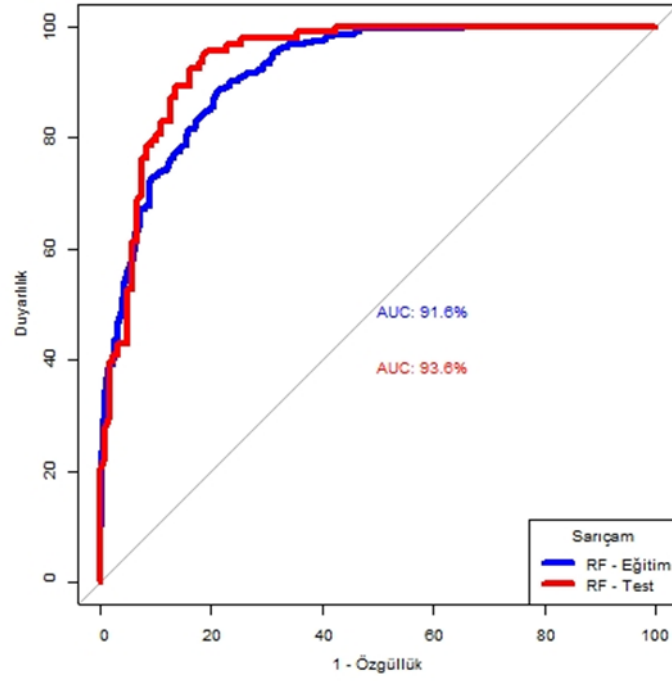
4.5. SARIÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)

Sarıçam ağaç türü için tür dağılım modeli geliştirmek üzere çalışma kapsamında elde edilen tüm değişkenlere korelasyon analizi uygulanmış ve analiz sonucunda aralarında yüksek ilişki tespit edilen değişkenler elenmiştir. Korelasyon analizi yardımıyla aralarında yüksek ilişki bulunan (otokorelasyon olan) değişkenler çıkartılmış ve modellemede kullanılması için bırakılan değişkenlerin korelasyon katsayıları Şekil 4.71’de verilmiştir.



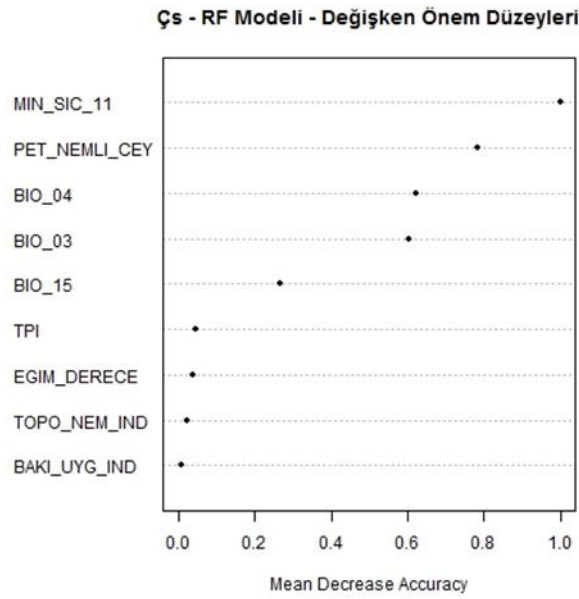
Şekil 4.71: Korelasyon analizi sonucunda sarıçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.

Ankara OBM alanlarında sarıçam türü için geliştirilen RF tür dağılım modelinin eğitim ve test veri setleri için ROC değerleri sırasıyla 0,916 ve 0,936 olarak bulunmuştur (Şekil 4.72).



Şekil 4.72: Sarıçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.

Çalışma kapsamında diğer türlerde olduğu gibi sarıçam tür dağılım modelinde de iklimsel parametrelerin topoğrafik parametrelere göre oldukça yüksek açıklayıcı rolü olduğu görülmektedir (Şekil 4.73).



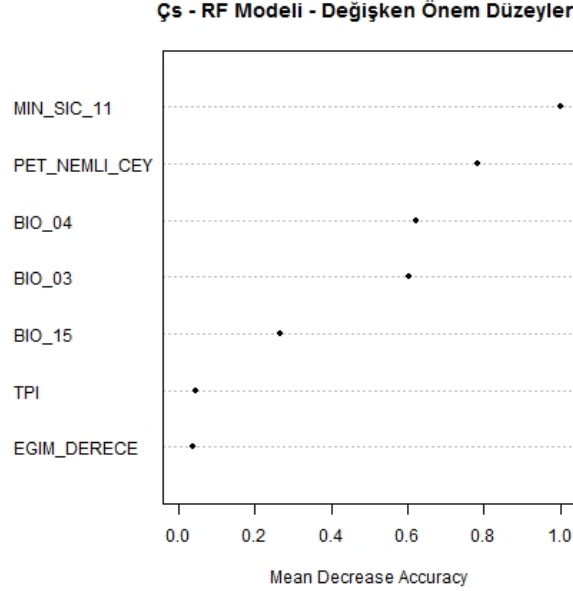
Şekil 4.73: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Sarıçam tür dağılım modeli seçiminde en düşük sınıflandırma hatası ve torba dışı tahmin hatasına sahip olan ve kappa, TSS ve F-score performans ölçütleri yönünden en yüksek performansa sahip olan model yedi değişken ile geliştirilen Model 2 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.15).

Tablo 4.15: Sarıçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

Sarıçam	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8324	0,6638	0,6648	0,8413	16,8994	17,4986	9
Model 2	0,8339	0,6667	0,6678	0,8424	16,7598	17,6647	7
Model 3	0,8264	0,6523	0,6528	0,8368	17,5978	18,7997	5
Model 4	0,8176	0,6352	0,6352	0,8298	18,4358	20,8268	3

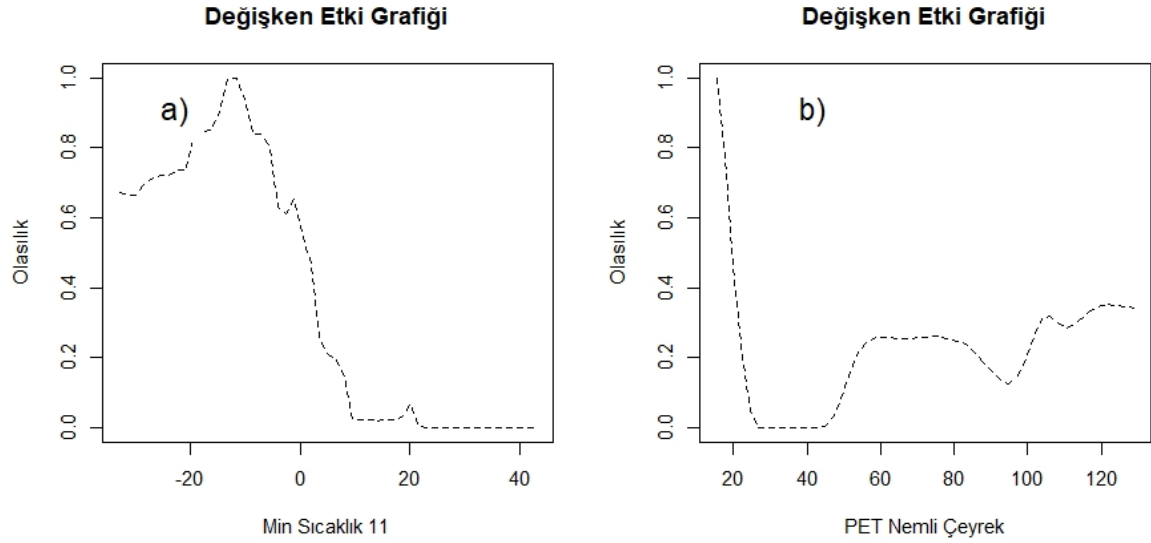
Sarıçam tür dağılım modelinde, türün dağılımını açıklamada modele katkı sağlayan değişkenler en fazla etkiye sahip olandan düşük olana doğru kasım ayı minimum sıcaklığı, nemli çeyreğin potansiyel buharlaşması, Bio4, Bio3, Bio15, topoğrafik pozisyon indeksi ve eğim şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 4.74).



Şekil 4.74: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

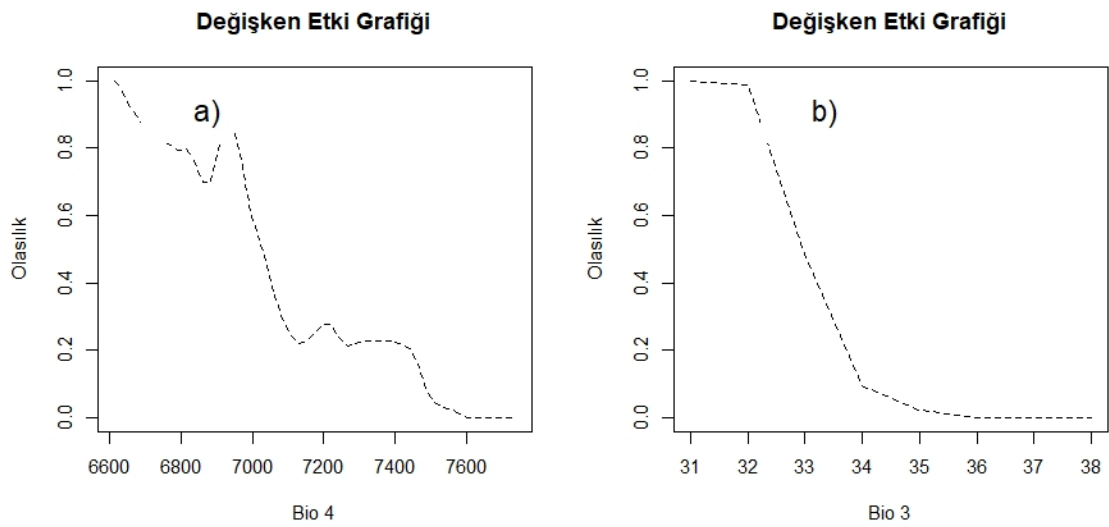
Modelde kullanılan değişkenlerin sarıçamın dağılımına etkileri ayrı ayrı değerlendirilecek olursa, model de en güçlü etkiye sahip kasım ayı minimum sıcaklığının yüksek olduğu alanlar sarıçamın bulunma olasılığını olumsuz etkilemektedir (Şekil 4.75.a). Modele katkısı en güçlü ikinci değişken olan nemli çeyreğin buharlaşması incelendiğinde, potansiyel buharlaşmanın

artış göstermesi türün yayılış göstermesinde önemli bir kısıt olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.75.b).



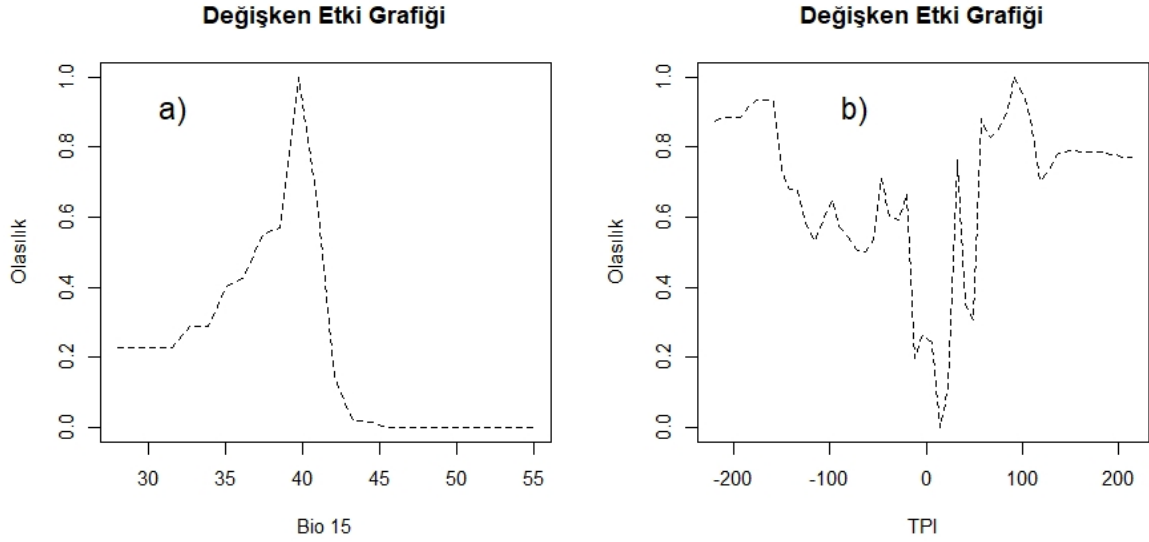
Şekil 4.75: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının sarıçamın dağılımına etkisi, b) En nemli üç ayın potansiyel buharlaşmasının sarıçamın dağılımına etkisi.

Mevsimsel sıcaklıklardaki artışın sarıçamın yayılışı üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu görülmektedir. Mevsimsel sıcaklıkların düşük olduğu kesimlerde türün yayılış olasılığı fazla iken, mevsimsel sıcaklıkların yüksek olduğu alanlarda bulunma olasılığının düşük olduğu öngörülmektedir (Şekil 4.76.a). İzotermalite türün yayılışında olumsuz bir etkiye sahiptir (Şekil 4.76.b).



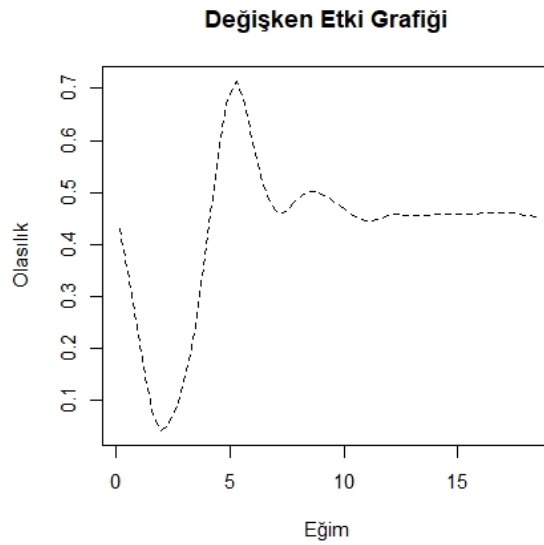
Şekil 4.76: a) Mevsimsel sıcaklığın sarıçamın dağılımına etkisi, b) İzotermalitenin sarıçamın dağılımına etkisi.

Mevsimsel yağış değişkenliği sarıçam tür dağılımı üzerinde bir miktar olumlu etki ederken, artan değişkenlikler dağılımı belirgin şekilde olumsuz etkilemektedir (Şekil 4.77.a). Topoğrafik pozisyon indeksinin çok yüksek ve çok düşük değerlerde türün dağılımını olumlu yönde etkilediği tahmin edilmektedir (Şekil 4.77.b).



Şekil 4.77: a) Mevsimsel yağış değişkenliğinin sarıçamın dağılımına etkisi, b) Topoğrafik pozisyon indeksinin sarıçamın dağılımına etkisi.

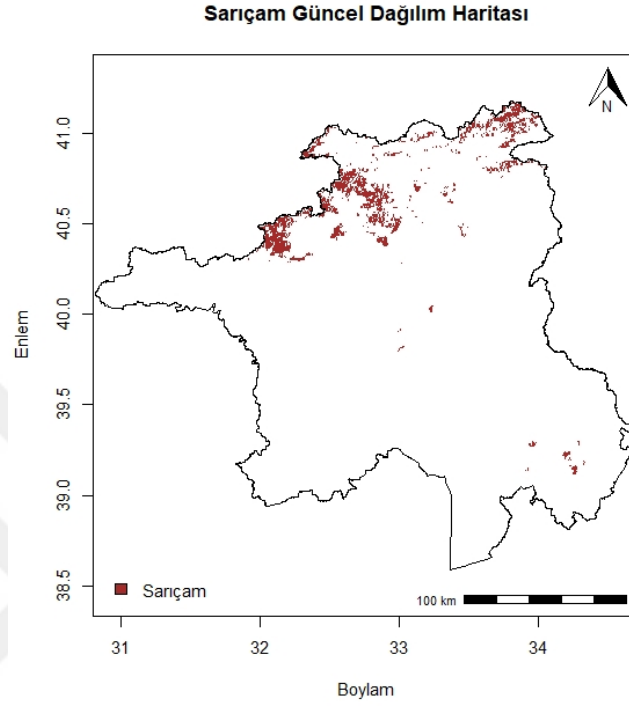
Eğimin artışının düşük eğimlerde az da olsa sarıçamın bulunma olasılığını artırdığı, ancak eğimin daha fazla artmasının bulunma olasılığını çok fazla etkilemediği değerlendirilmiştir (Şekil 4.78).



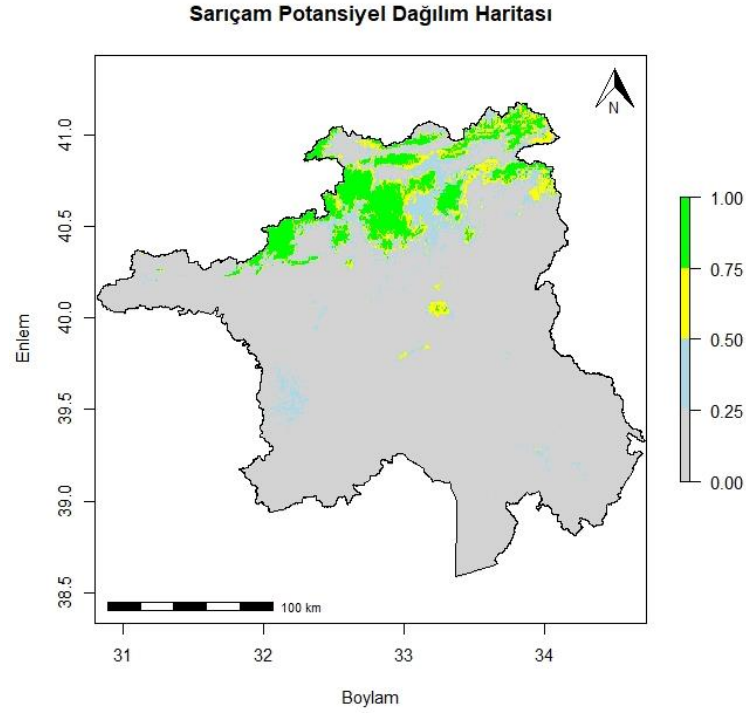
Şekil 4.78: Eğimin sarıçamın dağılımına etkisi.

4.5.1. Sarıçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)

Ankara OBM alanlarında sarıçamın güncel dağılımı Şekil 4.79’da ve model çıktısı potansiyel dağılımı ise Şekil 4.80’de verilmiştir.



Şekil 4.79: Sarıçam türünün güncel dağılım haritası.



Şekil 4.80: Sarıçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.

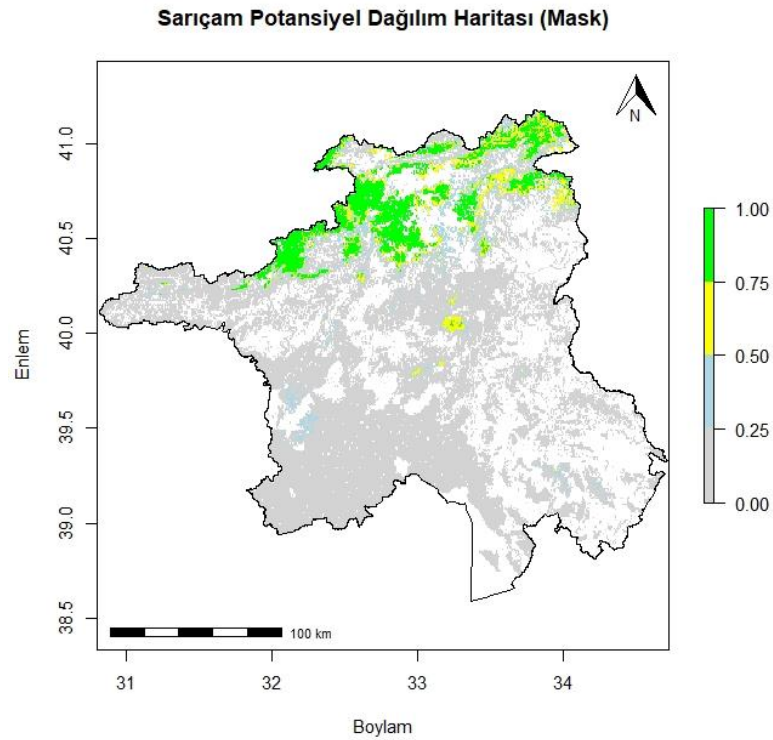
Sarıçamın çalışma alanındaki güncel dağılım alanı 145.784 ha iken potansiyel dağılım alanı ise 487.090 ha olarak tahmin edilmektedir (Tablo 4.16).

Sarıçam potansiyel dağılım alanları hesaplanırken 0,50-1,00 aralığı ve 0,75-1,00 aralığı için iki olasılık kademesi için ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 4.81; Tablo 4.16).

Tablo 4.16: Sarıçamın günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

SARIÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	145.784,35	2.163	994			
Güncel Potansiyel Dağılım	487.090,34	2.494	694	311.734,90	2.494	795
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	403.832,02	2.494	694	270.836,73	2.494	924

Çalışma alanında güncel dağılım alanı 145.784 ha olan sarıçam türünün modelleme sonucunda potansiyel dağılımı 0,50 ve 0,75'ten yüksek olasılık değerine sahip alanlar için sırasıyla 487.090 ha ve 311.735 ha olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.16). Sarıçam, güncel dağılım alanlarında 994-2.163 metre yükseklik aralığında görülürken, potansiyel dağılım 0,50'den yüksek olasılığa sahip alanlarda 694-2.494 metre arası rakımlarda, 0,75'ten yüksek olasılıklı alanlarda ise 795-2.494 metre arası rakımlarda görülmesi beklenmektedir (Tablo 4.16).

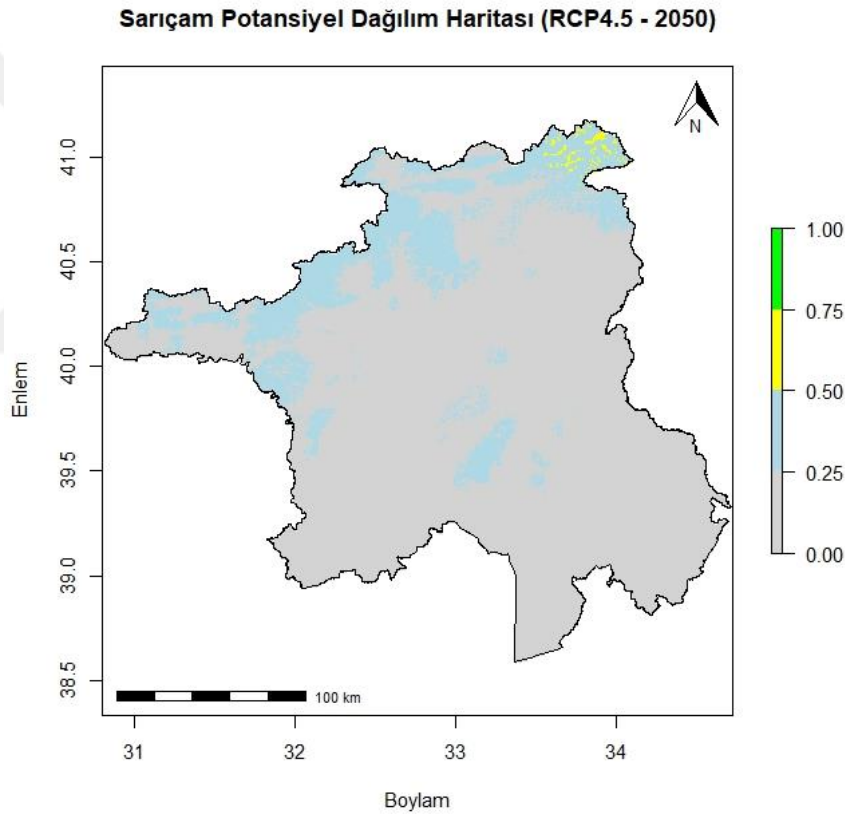


Şekil 4.81: Sarıçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

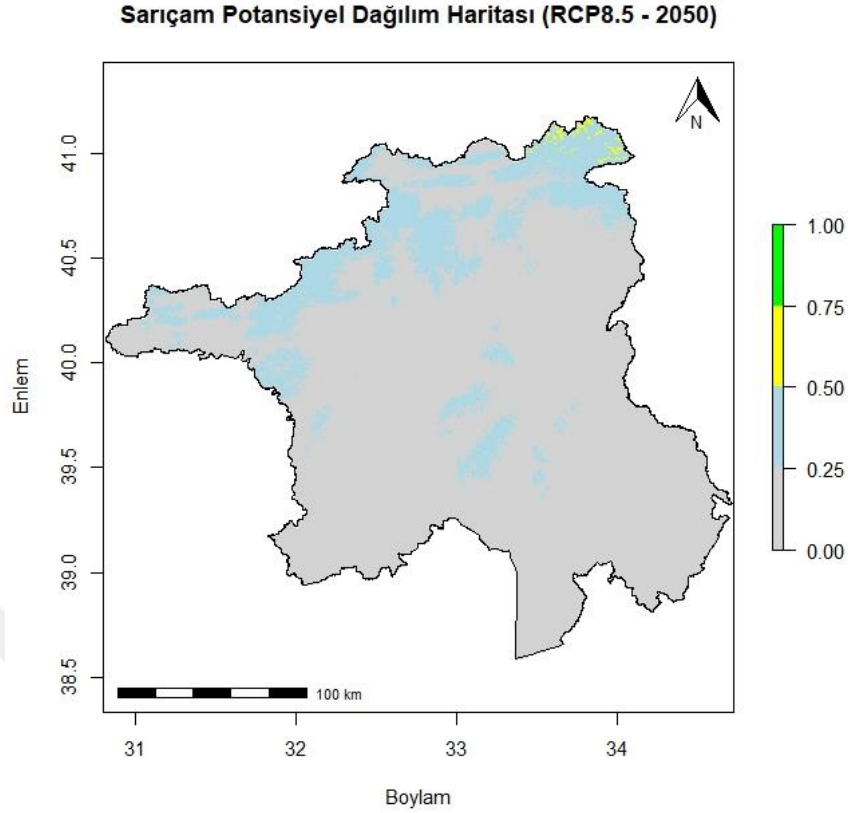
Potansiyel dağılım alanları içerisinde tür yayılışının mümkün olmadığı alanlar için maskeleme uygulamasına başvurulmuş ve bu alanlar potansiyel alanlardan çıkartılmıştır. Böylece 487.090 ha olarak tahmin edilen potansiyel dağılım alanı, maskeleme sonucunda 403.832 ha olarak bulunmuştur (Şekil 4.81; Tablo 4.16).

4.5.2. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)

Sarıçam ağaç türü için geliştirilen model RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre 2050 yılı için uygulandığında, türün yayılışının kuzey enlemlere ve daha yüksek rakımlara yöneleceği tahmin edilmektedir. Çalışma alanında yüksek rakımlı alanların kısıtlı olması sebebiyle türün yayılış alanında ciddi azalmaların olacağı düşünülmektedir (Şekil 4.82; Şekil 4.83).



Şekil 4.82: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.



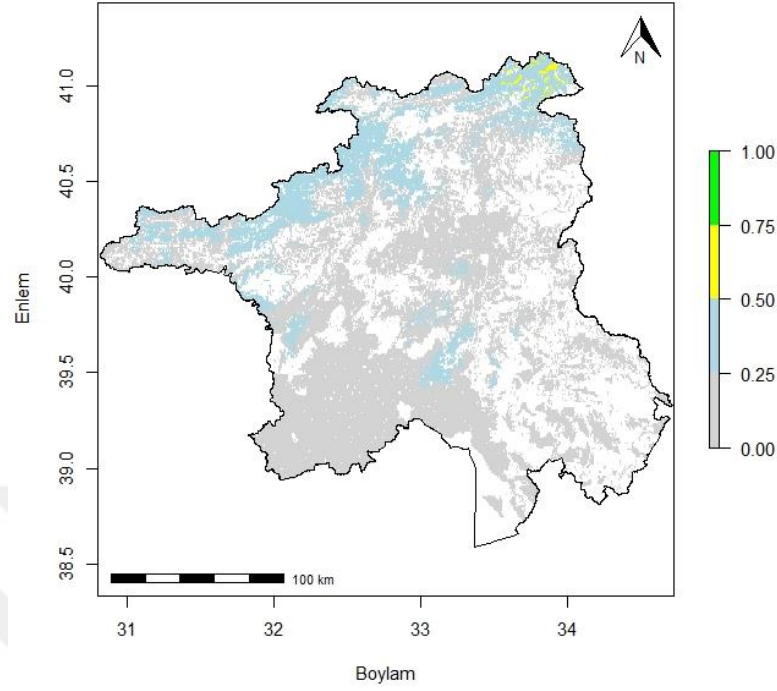
Şekil 4.83: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Sarıçam türünün yüzyılın yarısı için RCP4.5 senaryosu temelinde 0,50 olasılık değerinden yüksek potansiyel dağılım alanı miktarı 15.498 ha iken 0,75'ten yüksek olasılık değerli alan bulunmamaktadır. 15.498 ha'lık alandan türün dağılımını engelleyebilecek alanların çıkartılmasıyla potansiyel dağılım alanı miktarı 11.750 ha'a gerilemektedir. RCP8.5 senaryosu için ise 0,50'den yüksek olasılık değerine sahip alan 9.873 ha'dan maskeleme sonucunda 6.774 ha'a düşmektedir. 0,75'ten yüksek olasılık değerine sahip alan miktarı RCP4.5 senaryosunda olduğu gibi RCP8.5 senaryosuna göre de bulunmamaktadır (Şekil 4.84; Şekil 4.85; Tablo 4.17).

Tablo 4.17: Sarıçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

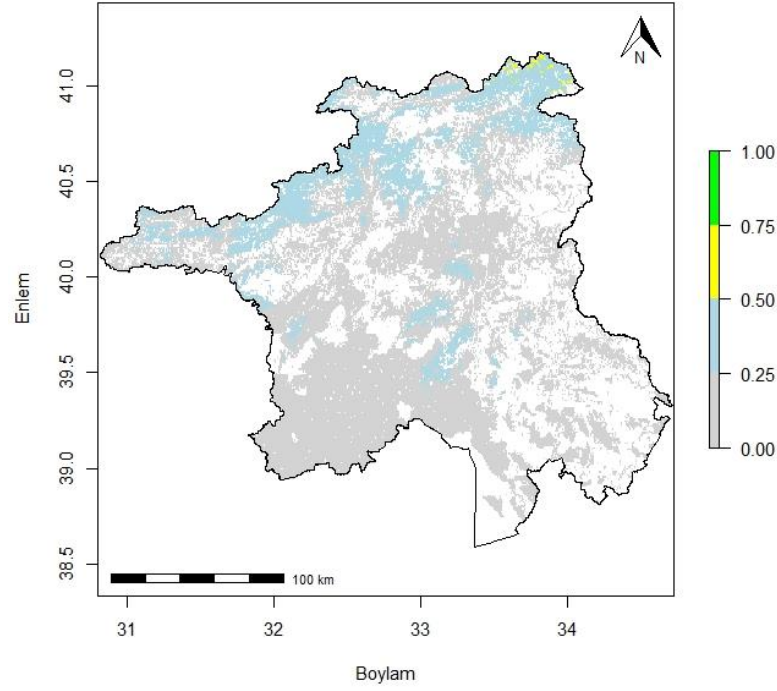
SARIÇAM	0,50–1,00		Yükselti		0,75–1,00		Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)		Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	
Güncel Dağılım	145.784,35	2.163	994					
Güncel Potansiyel Dağılım	487.090,34	2.494	694		311.734,90	2.494	795	
RCP4.5-2050	15.498,47	2.494	620		-	-	-	
RCP8.5-2050	9.872,80	2.494	649		-	-	-	
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	403.832,02	2.494	694		270.836,73	2.494	924	
Maskelenmiş RCP4.5-2050	11.750,05	2.494	628		-	-	-	
Maskelenmiş RCP8.5-2050	6.773,74	2.494	744		-	-	-	

Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP4.5 - 2050)



Şekil 4.84: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

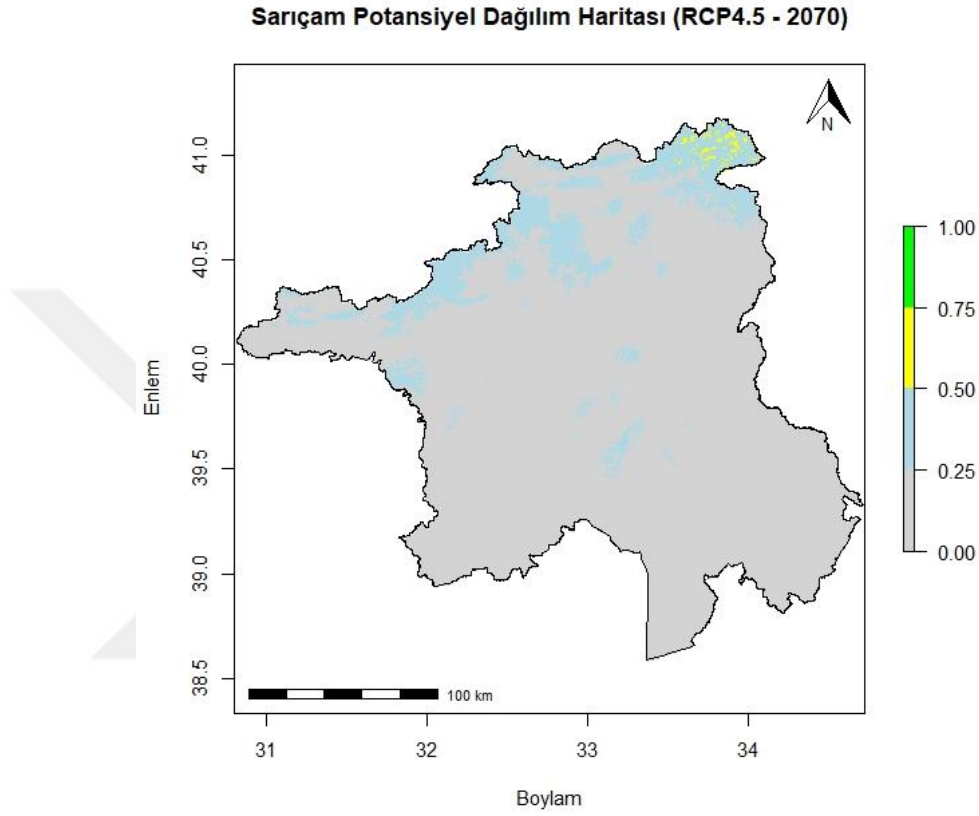
Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2050)



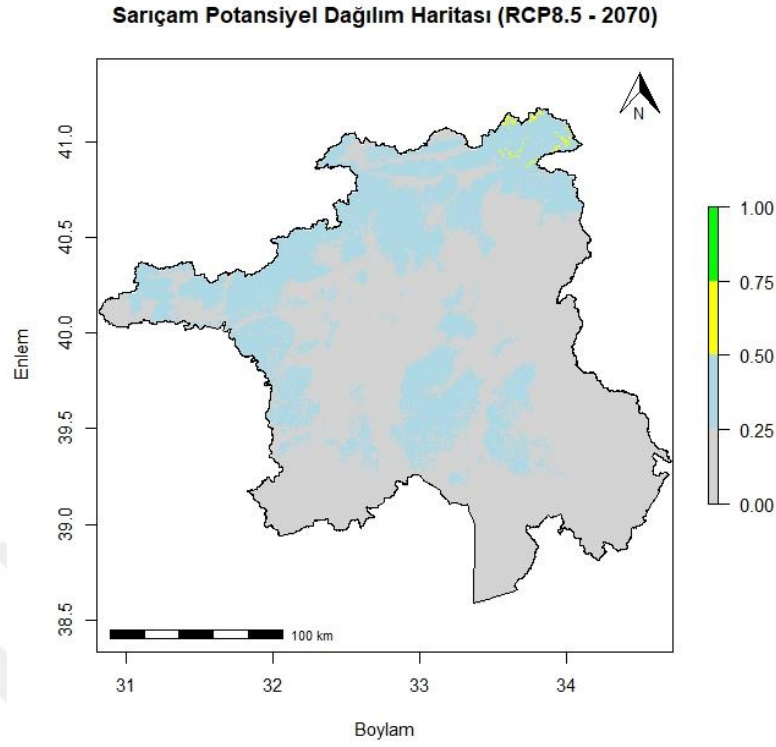
Şekil 4.85: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.5.3. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)

Sarıçam ağaç türü için geliştirilen model RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre 2070 yılı için uygulandığında, 2050 yılına benzer şekilde alansal bir azalışın söz konusu olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4.86; Şekil 4.87).



Şekil 4.86: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.



Şekil 4.87: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

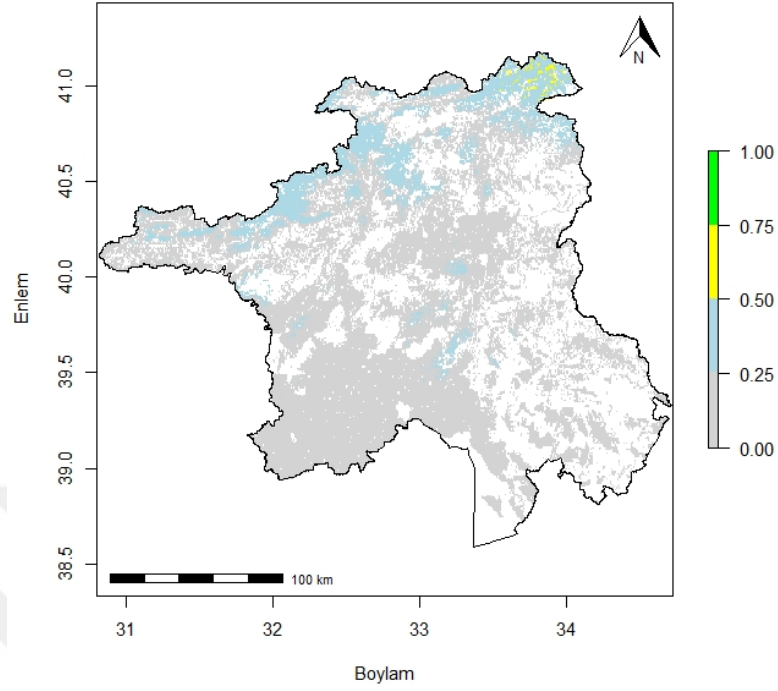
Sarıçam türünün 2070 orta yılı için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre elde edilen gelecek potansiyel dağılım alanları 0,50'den yüksek olasılıklı olanlar sırasıyla 13.816 ve 9.172 ha olarak hesaplanmıştır. Her iki senaryoya görede 0,75 olasılık değerinden yüksek bulunma olasılığına sahip alan bulunmamaktadır (Şekil 4.86; Şekil 4.87; Tablo 4.18).

Tablo 4.18: Sarıçamın RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

SARIÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	145.784,35	2.163	994			
Güncel Potansiyel Dağılım	487.090,34	2.494	694	311.734,90	2.494	795
RCP4.5-2070	13.815,99	2.494	651	-	-	-
RCP8.5-2070	9.172,24	1.465	742	-	-	-
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	403.832,02	2.494	694	270.836,73	2.494	924
Maskelenmiş RCP4.5-2070	9.939,84	2.494	671	-	-	-
Maskelenmiş RCP8.5-2070	5.096,43	1.465	744	-	-	-

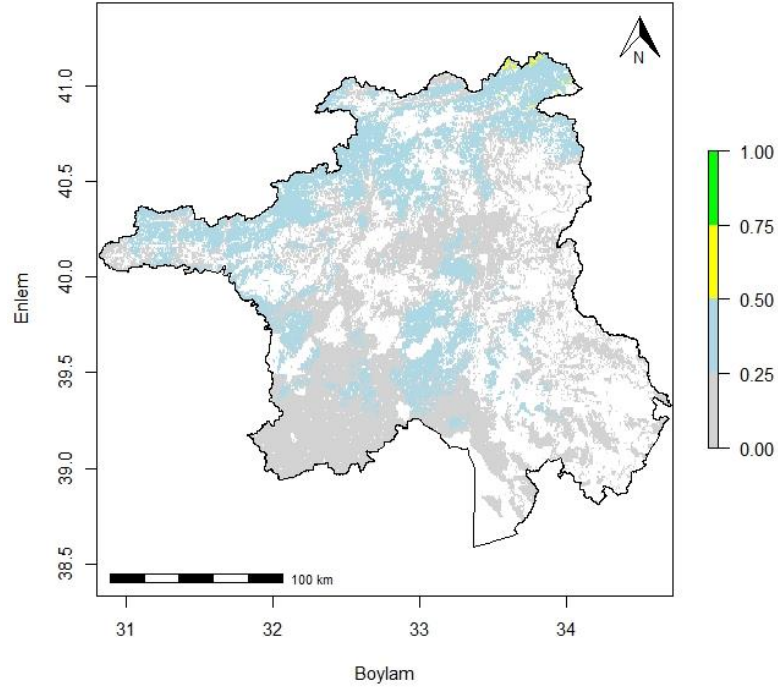
Potansiyel tür dağılım alanlarından türlerin dağılımını engelleyen fiziksel bariyerlerin çıkartılmasıyla, sarıçam türü için RCP4.5 senaryosuna göre 9.940 ha ve RCP8.5 senaryosuna göre 5.096 ha'lık potansiyel dağılım alanı kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır (Şekil 4.88; Şekil 4.89; Tablo 4.18).

Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP4.5 - 2070)



Şekil 4.88: Sarıçam türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

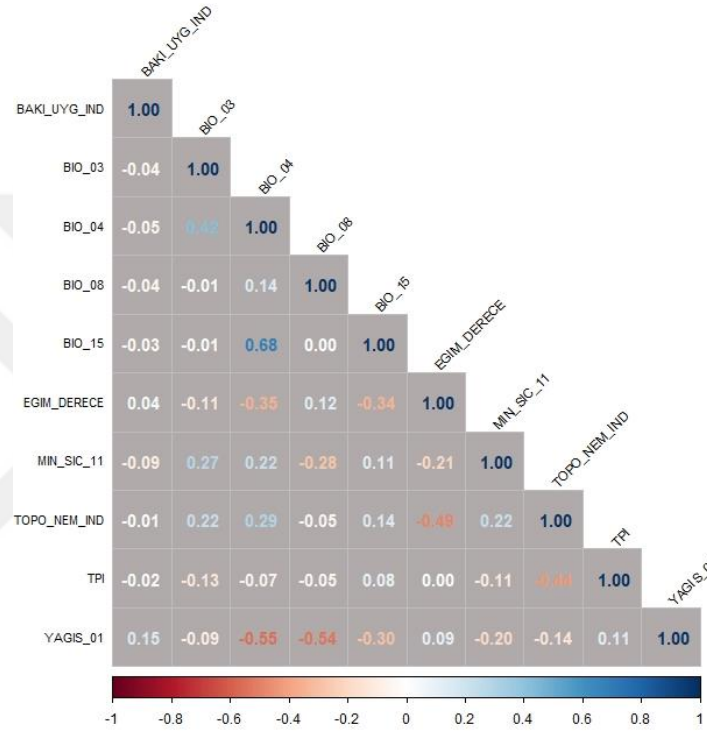
Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2070)



Şekil 4.89: Sarıçam türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

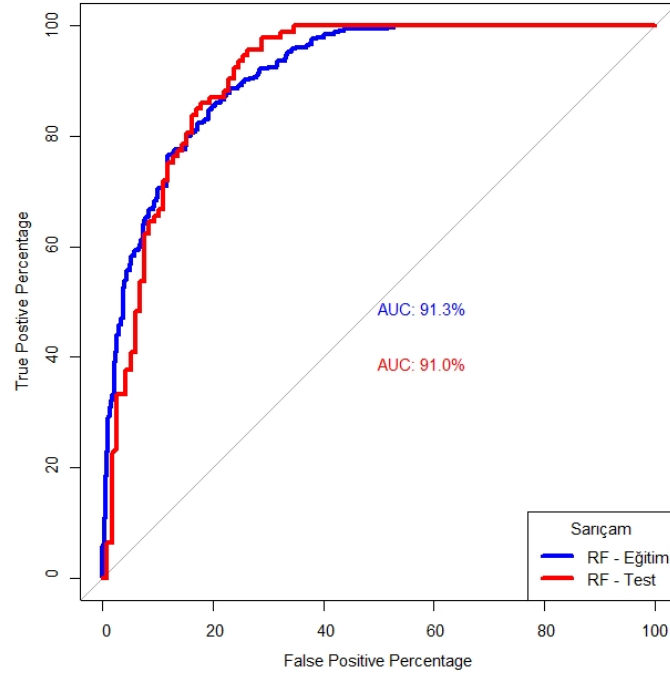
4.6. SARIÇAM TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)

Sarıçam dağılım modeli geliştirmek üzere çalışma kapsamında tüm değişkenler korelasyon analizine tabi tutulmuş ve korelasyon analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0,70'ten büyük değişkenler elenmiştir. Aralarında yüksek ilişki tespit edilen (otokorelasyon olan) değişkenlerin veri setinden çıkartılması sonucunda modellemede kullanılmak üzere ayrılan değişkenlere ait korelasyon katsayıları Şekil 4.90'da gösterilmiştir.



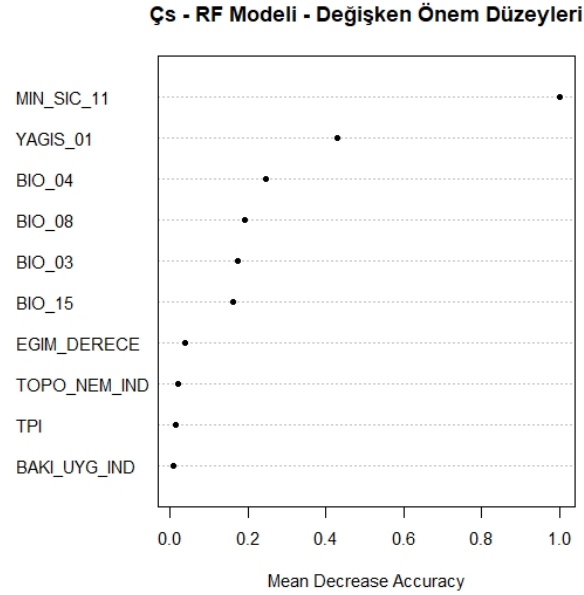
Şekil 4.90: Korelasyon analizi sonucunda sarıçam tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları.

Karaçam türü için geliştirilen RF modelinin eğitim veri setine ait ROC değeri 0,913 iken test veri setine ait ROC değeri de 0,910 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.91).



Şekil 4.91: Sarıçam random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri.

Geliştirilen RF modelinde değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri şekil 4.92’de gösterilmiştir.



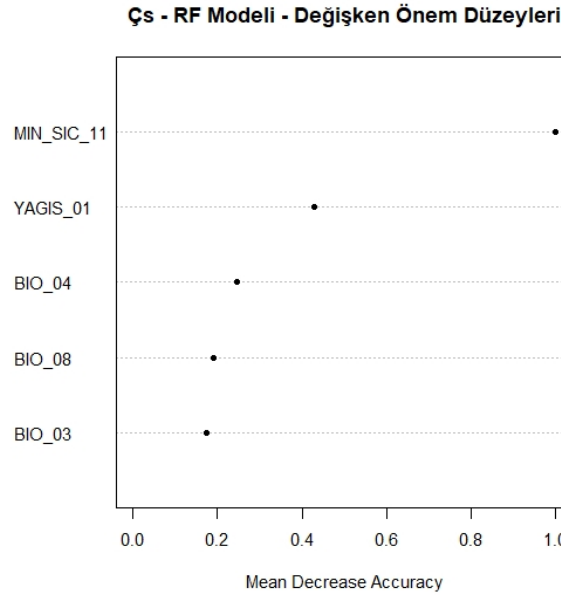
Şekil 4.92: Değişkenlerin modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

Geliştirilen tür dağılım modelinde model seçimi aşamasında farklı değişken sayıları ile elde edilen dört modelden en yüksek performansa sahip model en düşük sınıflandırma ve torba dışı tahmin hatasına sahip olması, TSS ölçütü yönünden de diğerlerine göre yüksek performans göstermesi sebebiyle Model 3 olarak tespit edilmiştir. Dengelenmiş doğruluk, kappa ve F-Score ölçütleri her ne kadar Model 4'te daha çok ön plana çıksa da sınıflandırma hatası ve torba dışı tahmin hatasının oldukça düşük olması sebebiyle Model 3 en uygun model olarak tercih edilmiştir (Tablo 4.19).

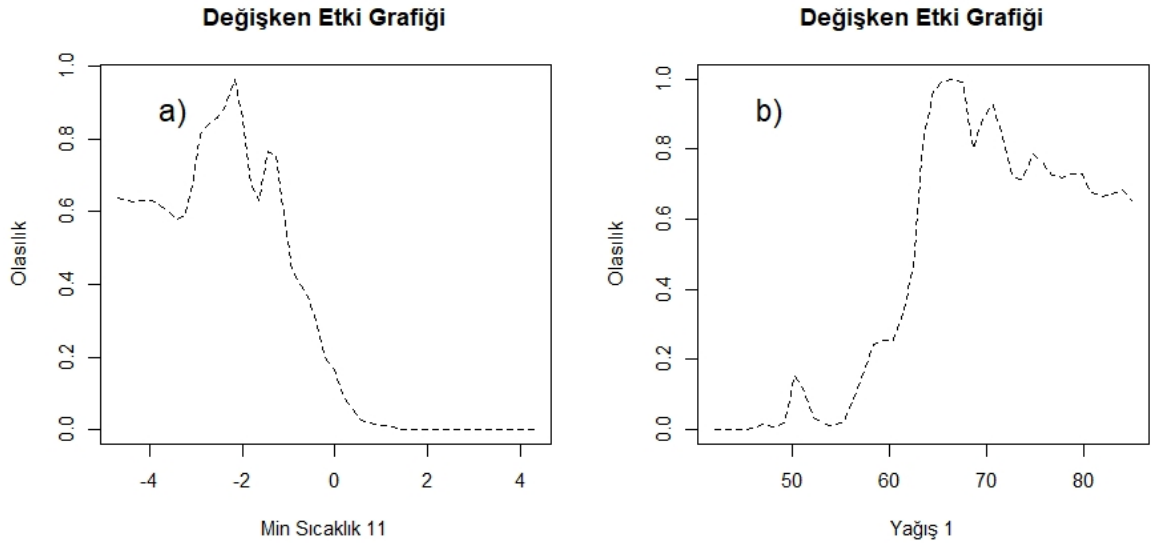
Tablo 4.19: Sarıçam türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

Sarıçam	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8281	0,6553	0,6562	0,8375	17,3184	17,5393	10
Model 2	0,8311	0,6611	0,6622	0,8397	17,5978	17,7747	7
Model 3	0,8230	0,6445	0,6461	0,8309	17,1788	16,8945	5
Model 4	0,8103	0,6193	0,6207	0,8191	19,6927	19,9844	3

Sarıçam türü için tercih edilen nihai modelde tüm değişkenler iklimsel temelli değişkenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.93).

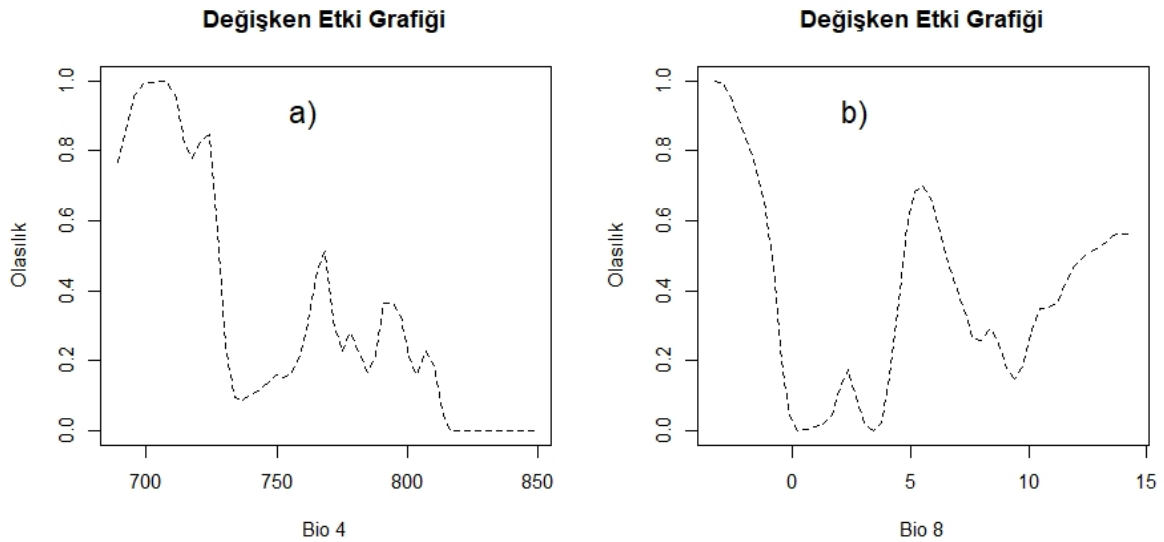


Şekil 4.93: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.



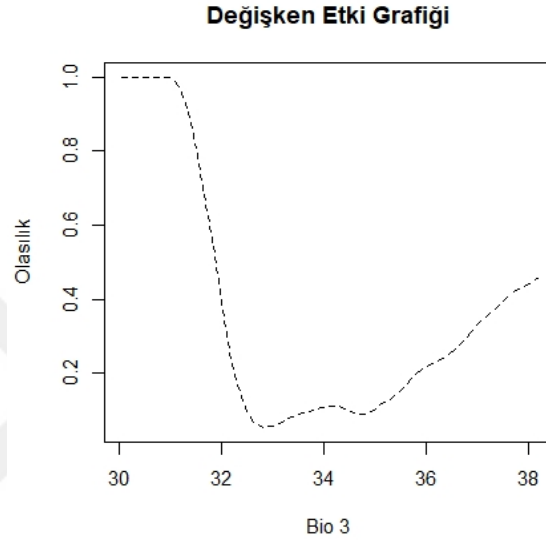
Şekil 4.94: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının sarıçamın dağılımına etkisi, b) Ocak ayı yağış miktarının sarıçamın dağılımına etkisi.

İklimsel temelli değişkenler üzerinden geliştirilen modelin değişkenlerinin sarıçam dağılım üzerindeki etkileri incelendiğinde, modele en yüksek katkıyı sağlayan değişken olan kasım ayı minimum sıcaklığındaki artışın sarıçam tür dağılımını olumsuz etkilediği düşünülürken (Şekil 4.94.a), diğer bir önemli değişken olan ocak ayı yağış miktarının artması sarıçam tür dağılımını olumlu etkilediği düşünülmektedir (Şekil 4.94.b).



Şekil 4.95: a) Mevsimsel sıcaklığın sarıçamın dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının sarıçamın dağılımına etkisi.

Mevsimsel sıcaklıklardaki artış sarıçam türü üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Mevsimsel sıcaklıkların (Bio4) düşük olduğu alanlarda türün bulunma olasılığı yüksek iken sıcaklık artışının önemli oranda olumsuz etki gösterdiği tahmin edilmektedir (Şekil 4.95.a). En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığı (Bio8) dikkate alındığında, yorumu güç düzensiz bir etki göze çarpmaktadır (Şekil 4.95.b).

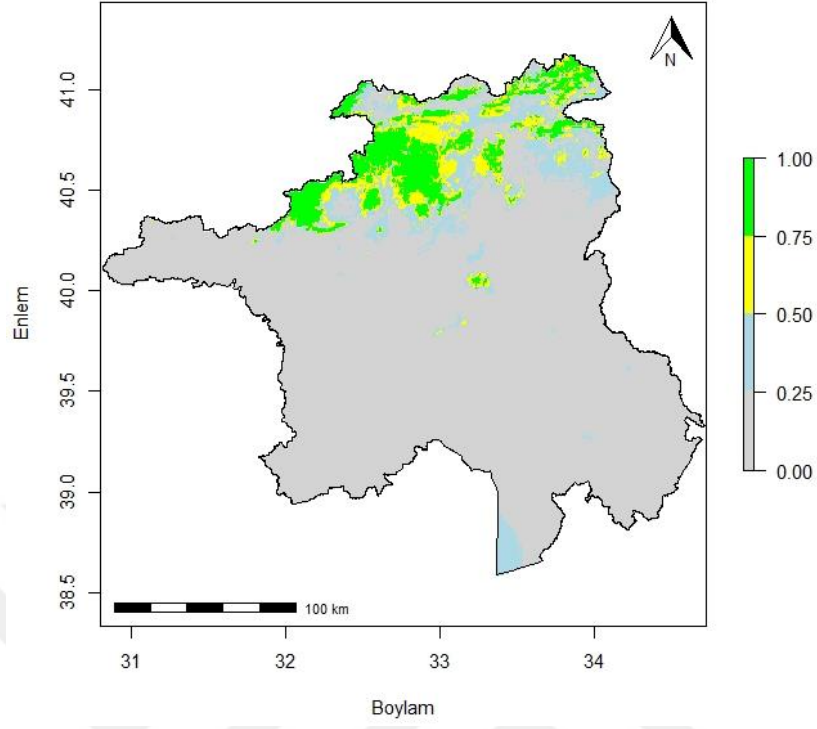
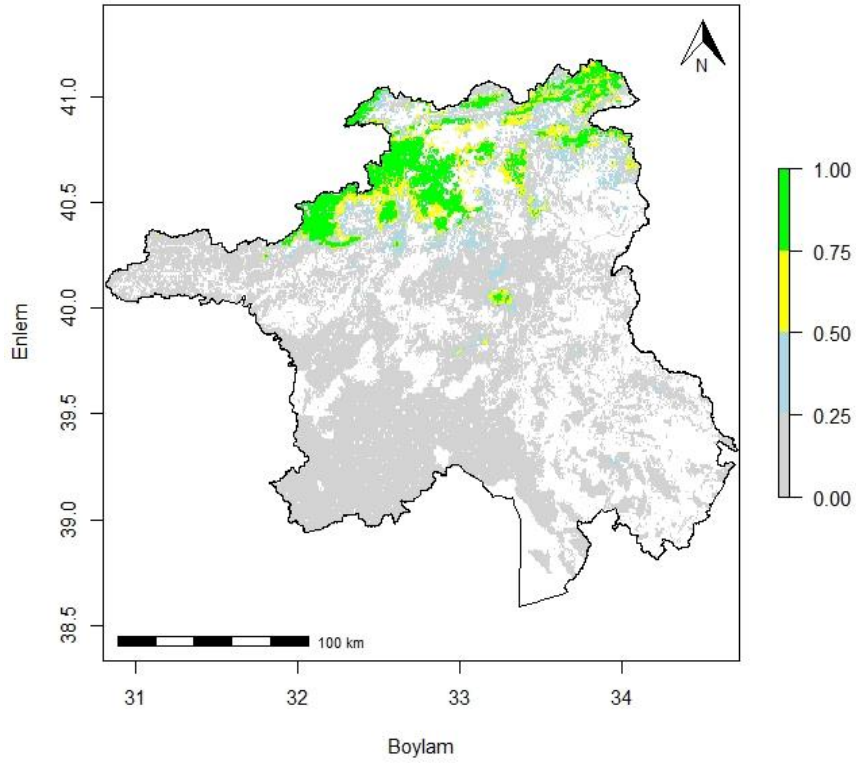


Şekil 4.96: İzotermalitenin (eş ısı) sarıçamın dağılımına etkisi.

İzotermalitenin (Bio3) çok düşük olduğu durumlarda sarıçam türünün bulunma olasılığı yüksek, belirli bir düzeyde düşüş ve sonra tekrar yükseliş göstermektedir (Şekil 4.96).

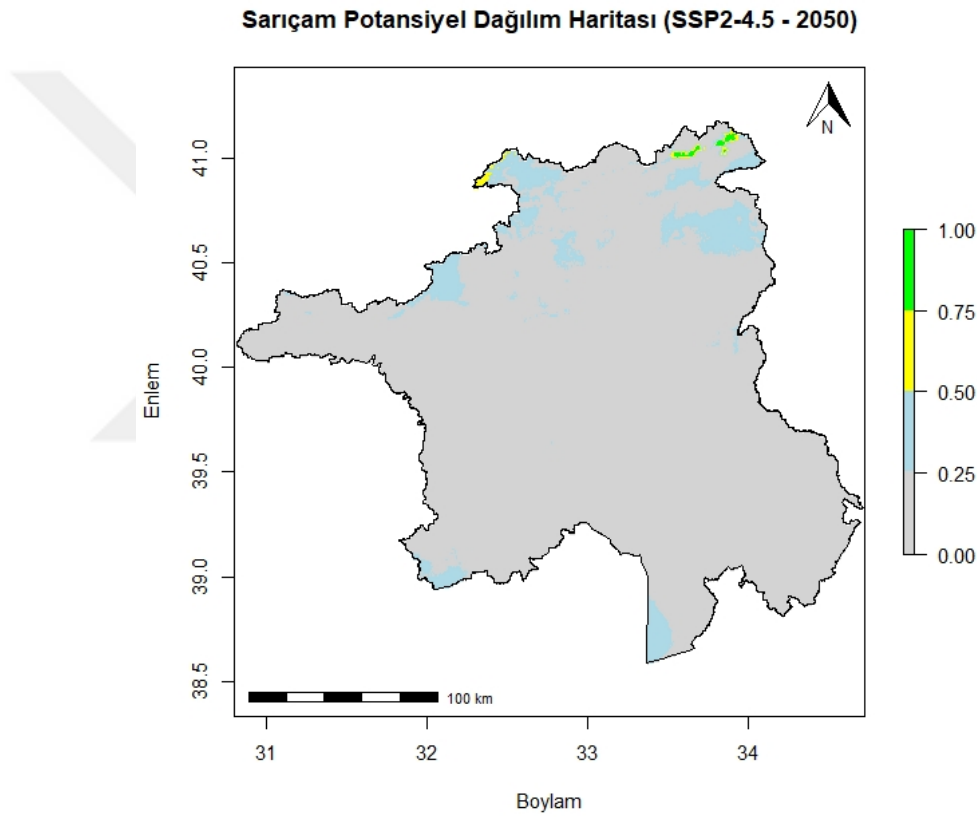
4.6.1. Sarıçam Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)

Orman amenajman planı verilerine göre Ankara OBM alanlarında sarıçamın güncel dağılım haritası Şekil 4.79’da ve çalışma kapsamında elde edilen tür dağılım model çıktısı potansiyel dağılım haritası Şekil 4.97’de verilmiştir.

Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası**Şekil 4.97:** Sarıçam türünün güncel potansiyel dağılım haritası.**Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask)****Şekil 4.98:** Sarıçam türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

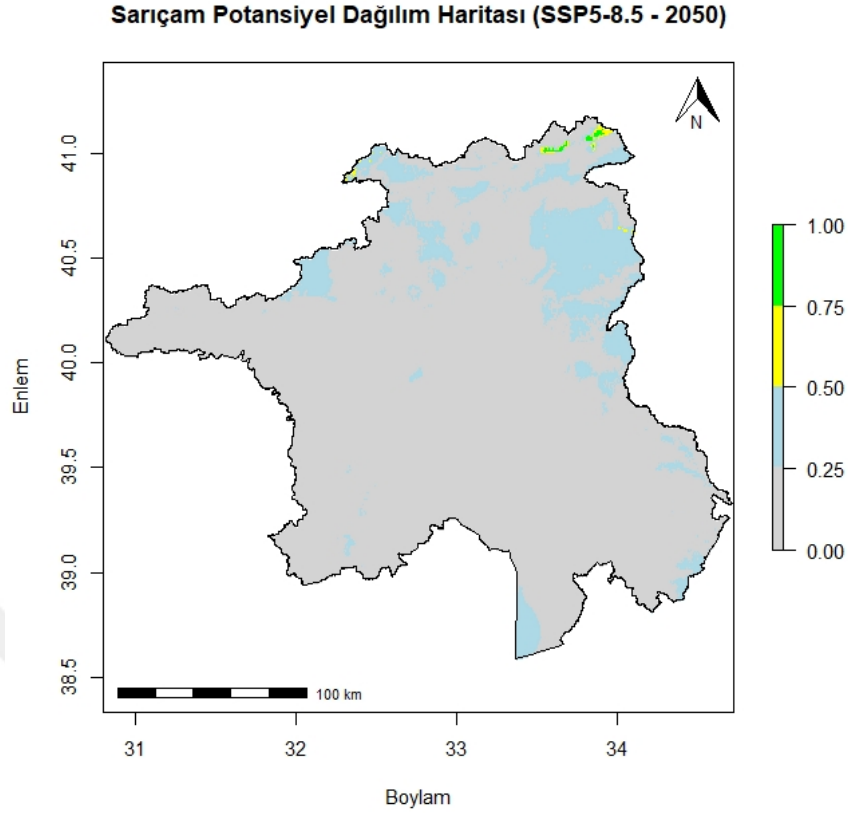
4.6.2. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)

SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim senaryolarının 2050 orta yılı için sarıçam tür dağılım modelinde kullanılmasıyla, sarıçamın gelecek potansiyel dağılımlarında bazı değişiklikler olması beklenmektedir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları temelinde 2050 orta yılında güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına göre çalışma alanında daha yüksek rakımlı alanların olmaması sebebiyle alansal olarak azalacak olan sarıçam ağaç türünün gelecek potansiyel dağılım alanlarının alt sınırlarının daha yüksek rakımlara çekilmesi ve daha kuzey enlemlere doğru kayması öngörülmektedir (Şekil 4.99; Şekil 4.100).



Şekil 4.99: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Sarıçam ağaç türü için 503.701 ha olan 0,50 olasılık değerinden yüksek güncel potansiyel dağılım alanının, SSP2-4.5 senaryosuna göre 15.951 ha alana ve SSP5-8.5 senaryosuna göre 11.427 ha alana düşeceği tahmin edilmektedir. Güncel potansiyelde 849 metre olan alt yükselti sınırının SSP2-4.5'te 1.178 metre seviyelerine, SSP5-8.5'te ise 921 metre seviyelerine kayacağı öngörülmektedir (Tablo 4.20; Şekil 4.99; Şekil 4.100).



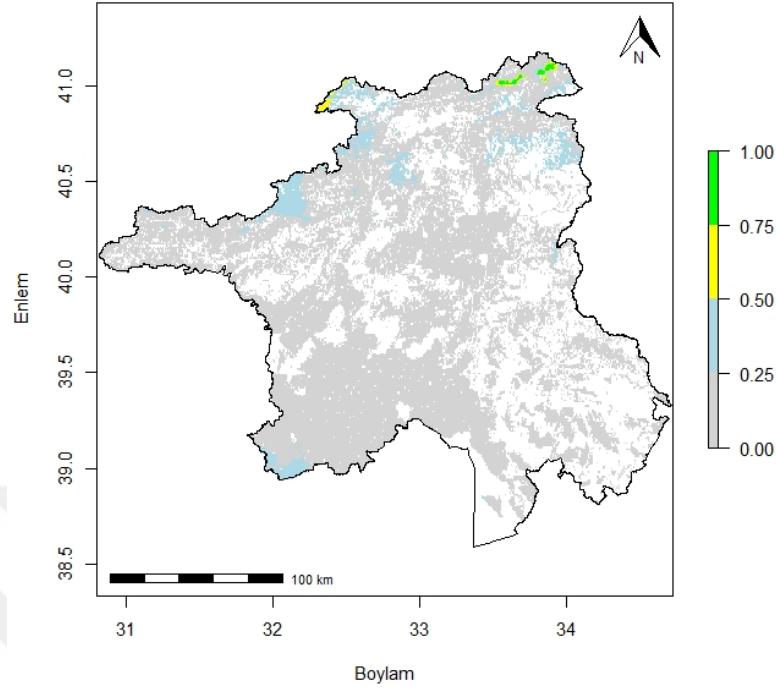
Şekil 4.100: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.20: Sarıçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

SARIÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	145.784,35	2.163	994			
Güncel Potansiyel Dağılım	503.700,94	2.448	849	292.584,17	2.448	888
SSP2-4.5 -2050	15.950,51	2.448	1.178	5.485,58	2.448	1.991
SSP5-8.5 -2050	11.427,24	2.448	921	4.194,33	2.448	2.025
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	399.973,18	2.448	856	256.911,41	2.448	918
Maskelenmiş SSP2-4.5 - 2050	15.756,78	2.448	1.184	5.421,05	2.448	1.991
Maskelenmiş SSP5-8.5 - 2050	11.362,68	2.448	921	4.130,32	2.448	2.025

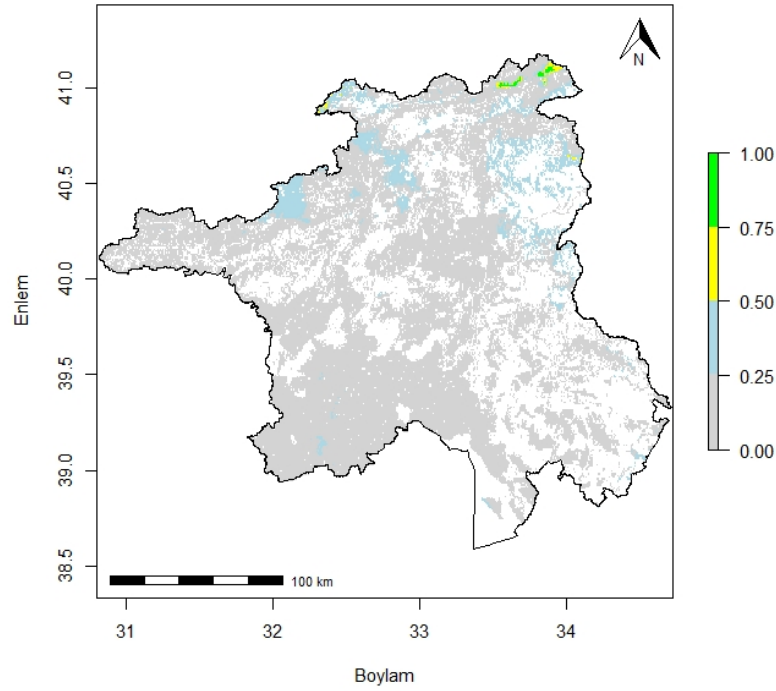
Türün yayılışını kısıtlayıcı özellikteki alanların maskeleye ile potansiyel alanlardan çıkartılması sonucunda, 503.701 ha olan sarıçam güncel potansiyel dağılım alanının 399.973 ha olarak, SSP2-4.5'e göre 15.951 ha olan alanın 15.757 ha'a ve SSP5-8.5'e göre 11.427 ha olan alanın 11.363 ha'a düşmesi beklenmektedir (Tablo 4.20; Şekil 4.101; Şekil 4.102).

Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2050)



Şekil 4.101: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2050)

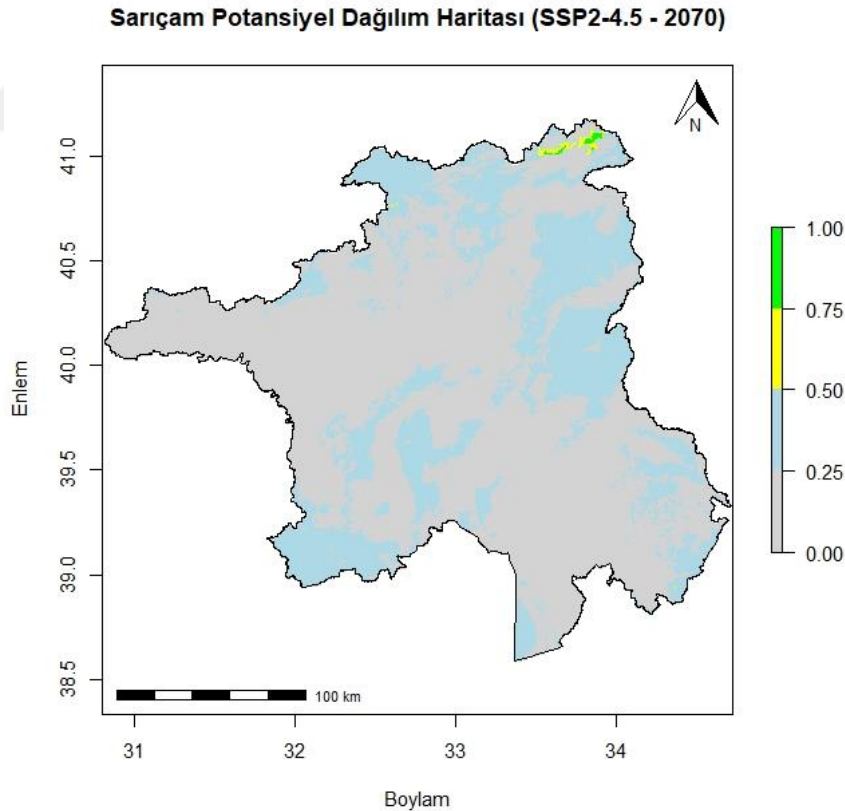


Şekil 4.102: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

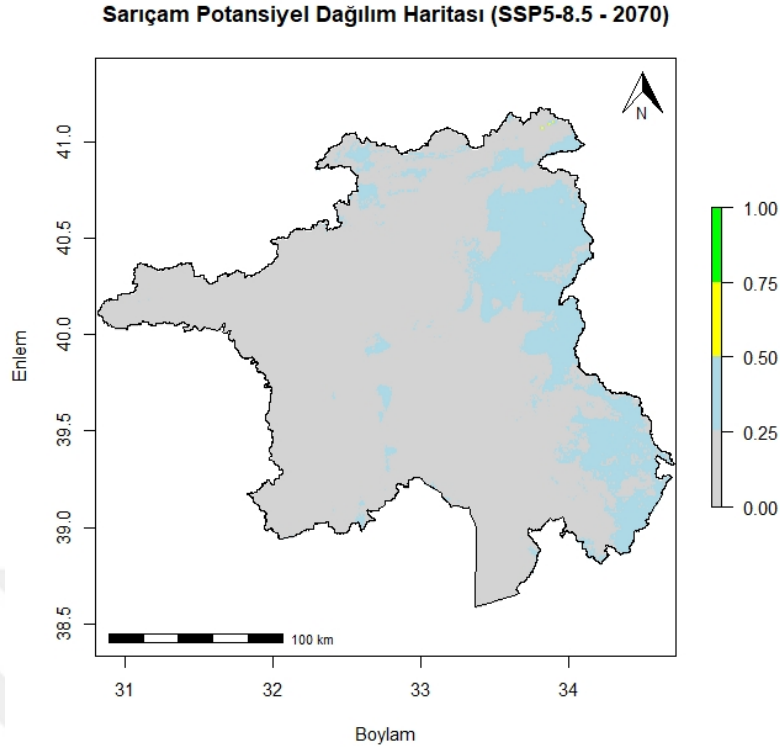
4.6.3. Sarıçam Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)

Sarıçam ağaç türüne ait tür dağılım modeline 2070 yılı için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim senaryoları uygulandığında, sarıçamın güncel dönem potansiyel dağılım alanlarına kıyasla SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları üzerinden elde edilen potansiyel dağılım alanları daha yüksek rakımlara ve kuzey enlemlere kayması ve yüksek rakımlı alanların azlığı sebebiyle alansal olarak azalması yönünde değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4.103; Şekil 4.104).

Türün bulunma olasılığı 0,50'den yüksek olarak tahmin edilen 503.701 ha güncel potansiyel dağılım alanının SSP2-4.5 senaryosu temelindeki tahminlerde 15.299 ha'a kadar ve SSP5-8.5 senaryosu temelindeki tahminlerde ise 387 ha'a kadar düşeceği hesaplanmaktadır. Güncel dönem potansiyelinde 849 metre olan alt sınır, SSP2-4.5'te 1.067 metre ve SSP5-8.5'te 2.351 metre rakımlı alanlara kadar çıkarak daha yüksek rakımlı alan yokluğu sebebiyle türün çok dar bir alanda kısıtlı kalacağı öngörülmektedir (Tablo 4.21; Şekil 4.103; Şekil 4.104).



Şekil 4.103: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.



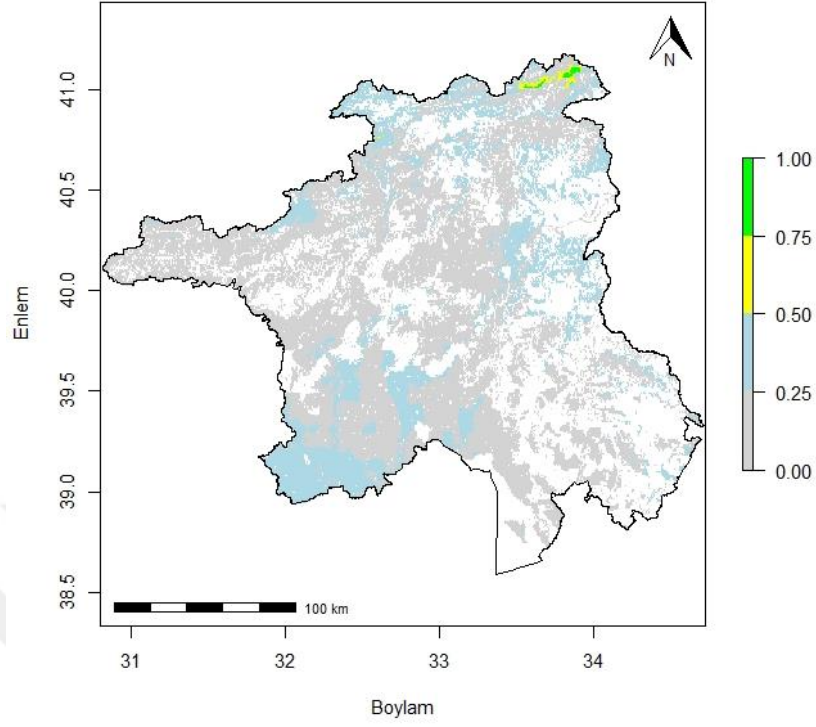
Şekil 4.104: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.21: Sarıçamın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

SARIÇAM	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	145.784,35	2.163	994			
Güncel Potansiyel Dağılım	503.700,94	2.448	849	292.584,17	2.448	888
SSP2-4.5 -2070	15.298,95	2.448	1.067	4.194,33	2.448	2.040
SSP5-8.5 -2070	387,05	2.448	2.351	-	-	-
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	399.973,18	2.448	856	256.911,41	2.448	918
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2070	14.845,21	2.448	1.443	4.129,80	2.448	2.040
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2070	387,05	2.448	2.351	-	-	-

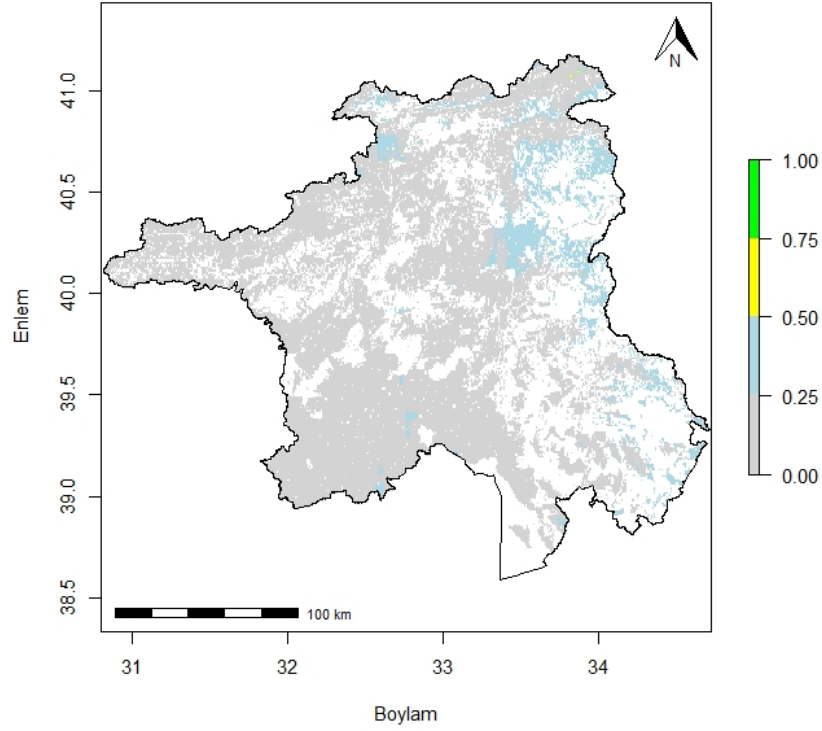
Potansiyel dağılım alanlarında türün bulunma olasılığının mümkün olmadığı alanların maskelenmesi sonucunda, sarıçam türünün gelecek potansiyel dağılımlarında önemli kabul edilecek değişiklikler öngörülmemektedir (Tablo 4.21; Şekil 4.105; Şekil 4.106). Bunun sebebi türün hali hazırda oldukça yüksek rakımlı alanlarda bulunması gösterilebilir.

Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2070)



Şekil 4.105: Sarıçam türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

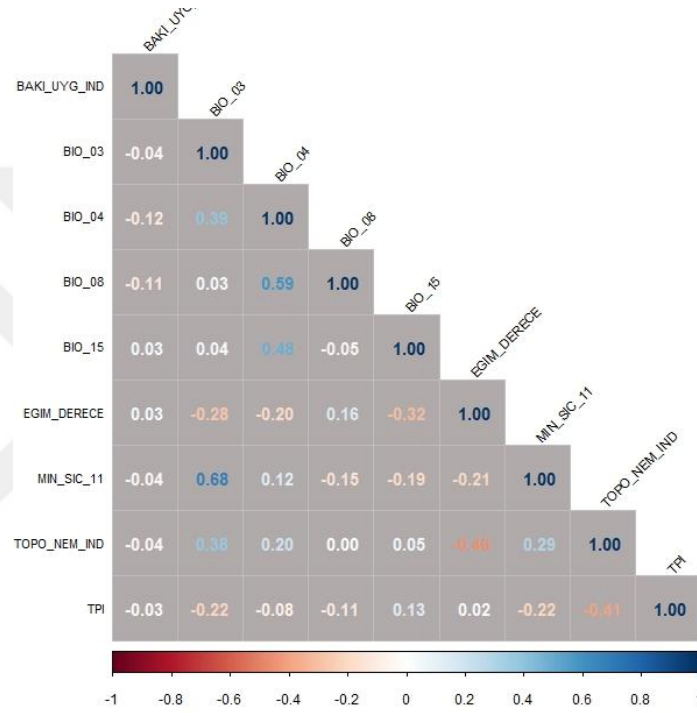
Sarıçam Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2070)



Şekil 4.106: Sarıçam türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

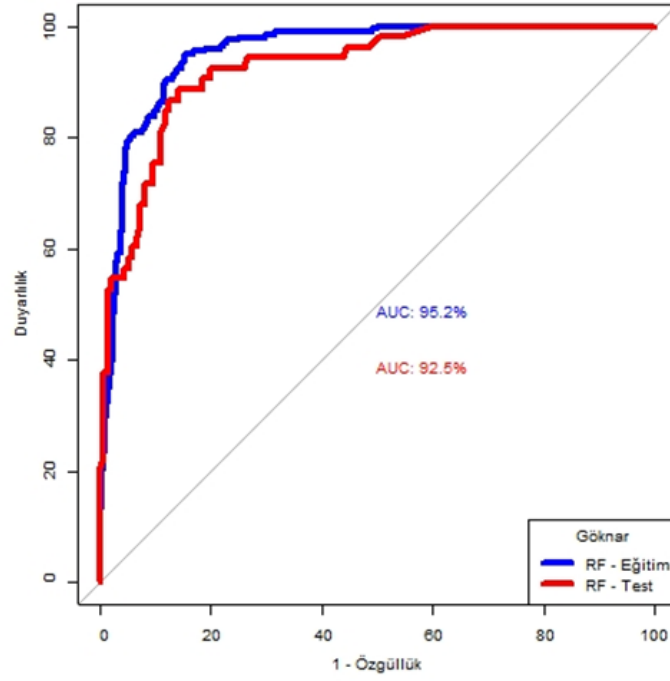
4.7. KAZDAĞI GÖKNARI TÜR DAĞILIM MODELİNİN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 1.4)

Kazdağı göknarı tür dağılım modeli için aralarında yüksek ilişki bulunan değişkenlerin elenmesi amacıyla tüm değişkenler korelasyon analizini tabi tutulmuş ve korelasyon katsayısı 0,70 üzerinde olan (aralarında otokorelasyon bulunan) değişkenler veri setinden çıkartılmıştır. Aralarında yüksek ilişki olmayan değişkenlerle Kazdağı göknarı tür dağılım modeli elde edilmiş ve bu değişkenlere ilişkin korelasyon katsayıları da Şekil 4.107’de gösterilmiştir.



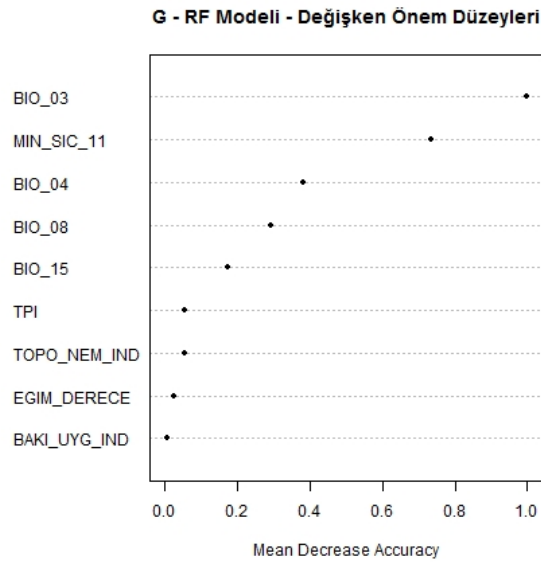
Şekil 4.107: Korelasyon analizi sonucunda Kazdağı göknarı tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları

Çalışma kapsamında Ankara OBM alanlarında Kazdağı göknarı tür dağılım modeli için geliştirilen RF modelinin eğitim ve test veri setlerinin ROC değerleri sırasıyla 0,952 ve 0,925 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.108).



Şekil 4.108: Kazdağı göknarı random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri

Kazdağı göknarı tür dağılım modelinde Bio15 (mevsimsel yağış miktarı) haricinde, diğer türlerde olduğu gibi iklimsel değişkenler topografik değişkenlerden daha yüksek önem düzeyine sahiptir (Şekil 4.109).



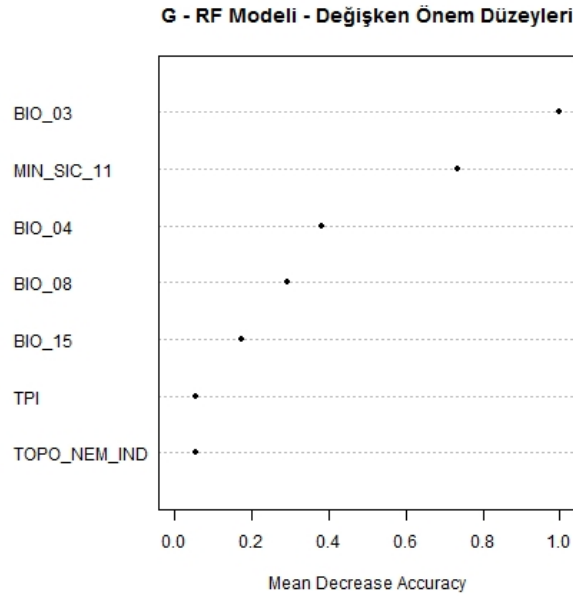
Şekil 4.109: Değişkenlerin modele katkı oranları – önem düzeyleri

Kazdağı göknarı tür dağılım modeli için farklı değişkenler ile geliştirilen modellerden model seçiminde sınıflandırma hatası ve torba dışı tahmin hatası en düşük olan ve TSS ölçütü yönünden en yüksek performansa sahip olan yedi değişkenli Model 2 öne çıkmıştır. Kappa ve F-score ölçütlerine göre Model 1 daha yüksek performansa sahip gibi gözükmemektedir. Ancak Model 2'nin kappa ve F-score'larının Model 1'e oldukça yakın olması ve daha az değişken içermesi aynı zamanda sınıflandırma hatası ve torba dışı tahmin hatasının düşük olması sebebiyle nihai model olarak Model 2 seçilmiştir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: Kazdağı göknarı türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

Kazdağı göknarı	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8662	0,7427	0,7323	0,9231	11,0940	18,5930	9
Model 2	0,8681	0,7384	0,7363	0,9202	10,4777	17,9166	7
Model 3	0,8341	0,6720	0,6683	0,9004	13,8675	23,2138	5
Model 4	0,8427	0,7134	0,6854	0,9181	11,8644	26,2194	3

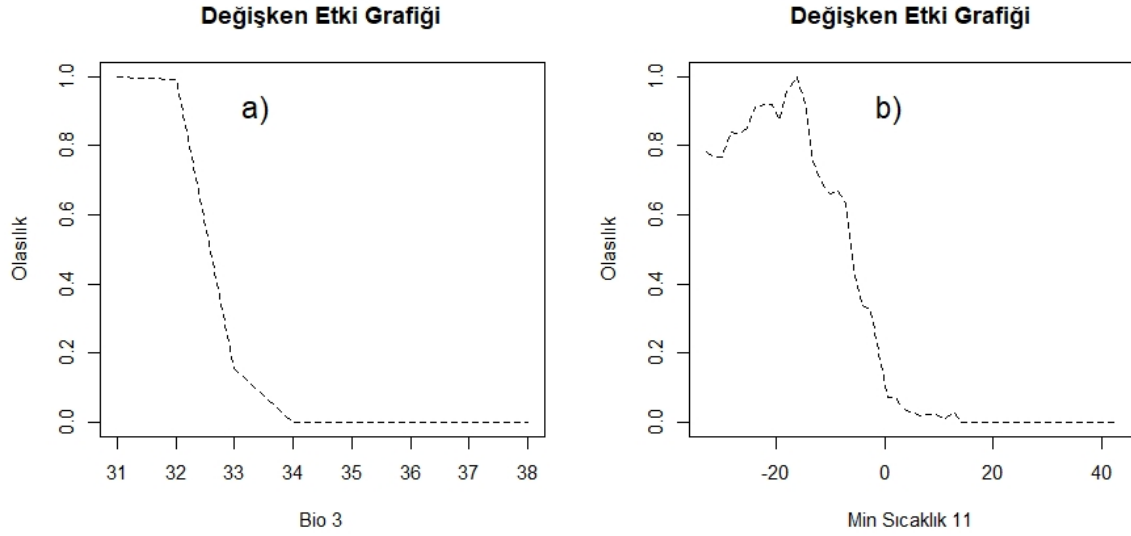
Nihai modelde en fazla etkiye sahip değişkenler Bio3, kasım ayı minimum sıcaklığı, Bio4, Bio8, Bio15, topografik pozisyon indeksi ve topografik nemlilik indeksi olarak sıralanmaktadır (Şekil 4.110).



Şekil 4.110: Değişkenlerin nihai modele katkı oranları ve önem düzeyleri.

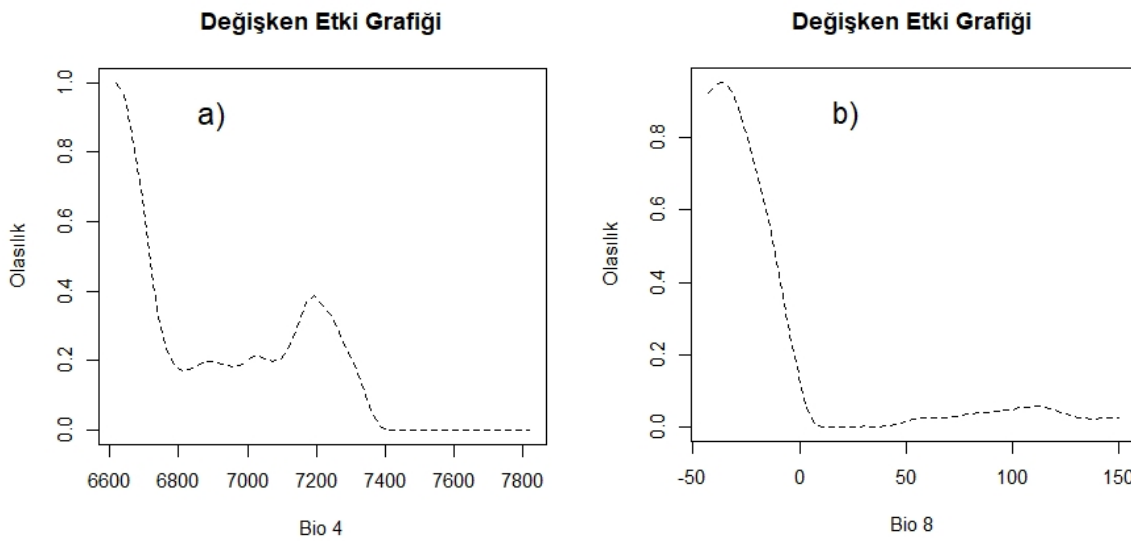
İzotermalite değişkeni Kazdağı göknarı yayılışında belirgin bir olumsuz etkiye sahiptir (Şekil 4.111.a). Kasım ayı minimum sıcaklığının düşmesi türün yayılışını olumsuz etkilemekte, kasım

ay ısı sıcaklığı 0'ın üzerinde olduğu durumda türün yayılış gösterme olasılığı bulunmamaktadır (Şekil 4.111.b).



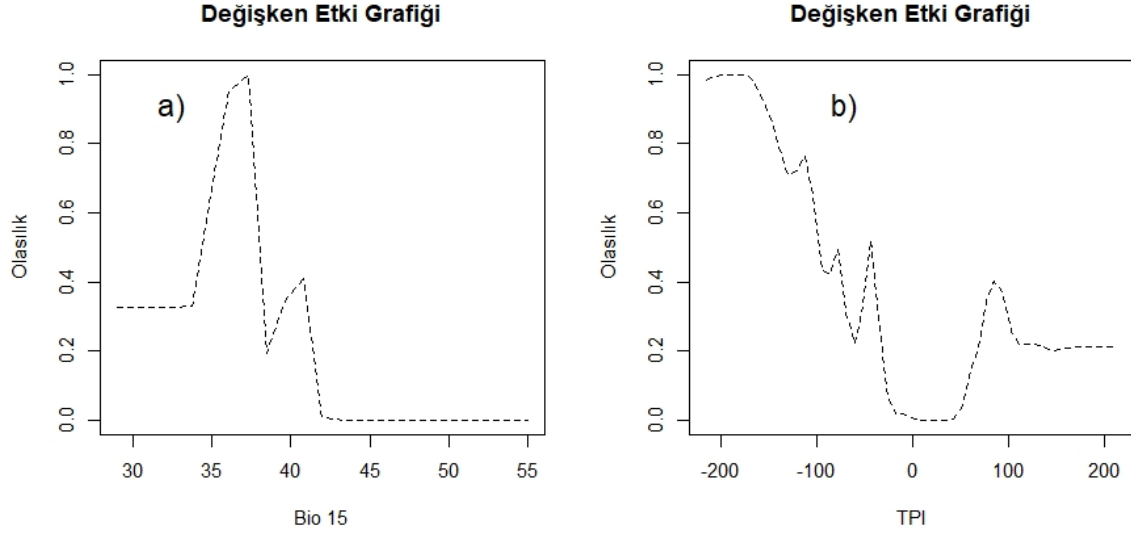
Şekil 4.111: a) İzotermalitenin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Kasım ayı minimum sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

Mevsimsel sıcaklıkta görülen artış tür için olumsuz etkiye sahiptir. Mevsimsel sıcaklığın düşük olduğu alanlarda türün bulunma olasılığı yüksek iken, değer arttıkça bulunma olasılığı düşüş göstermektedir (Şekil 4.112.a). En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklıklarında da benzer durum söz konusudur. Bu çeyrekte sıcaklıklardaki artışla türün bulunma olasılığında bir düşüş beklenmektedir (Şekil 4.112.b).



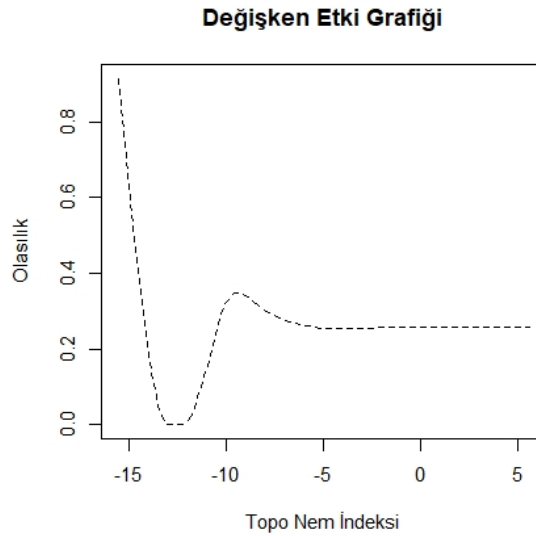
Şekil 4.112: a) Mevsimsel sıcaklığın Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

Mevsimsel yağış değişkenliğindeki artış belirli bir noktadan sonra Kazdağı göknarı dağılımına olumsuz etki etmektedir (Şekil 4.113.a). Topografik pozisyon indeksi değerinin artışıyla türün bulunma olasılığında düşüş öngörülmektedir (Şekil 4.113.b).



Şekil 4.113: a) Mevsimsel yağış değişkenliğinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Topografik pozisyon indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi

Topografik nemlilik indeksi düşük ise türün bulunma olasılığı yüksek, indeks arttıkça bulunma olasılığı olumsuz etkilenmektedir (Şekil 4.114).



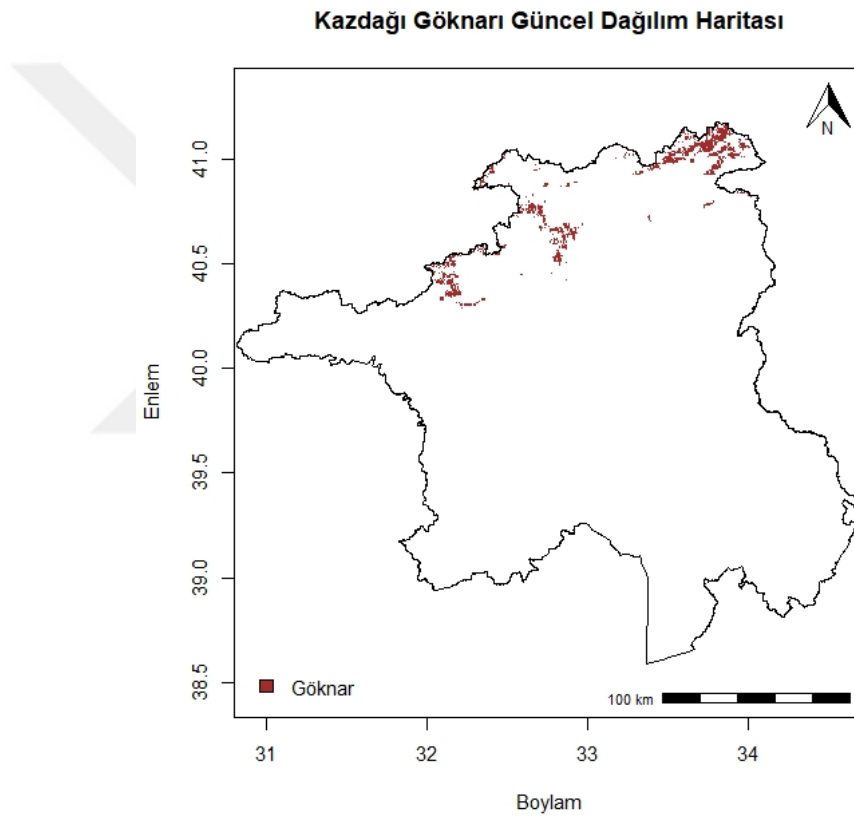
Şekil 4.114: Topografik nemlilik indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

4.7.1. Kazdağı Göknaarı Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)

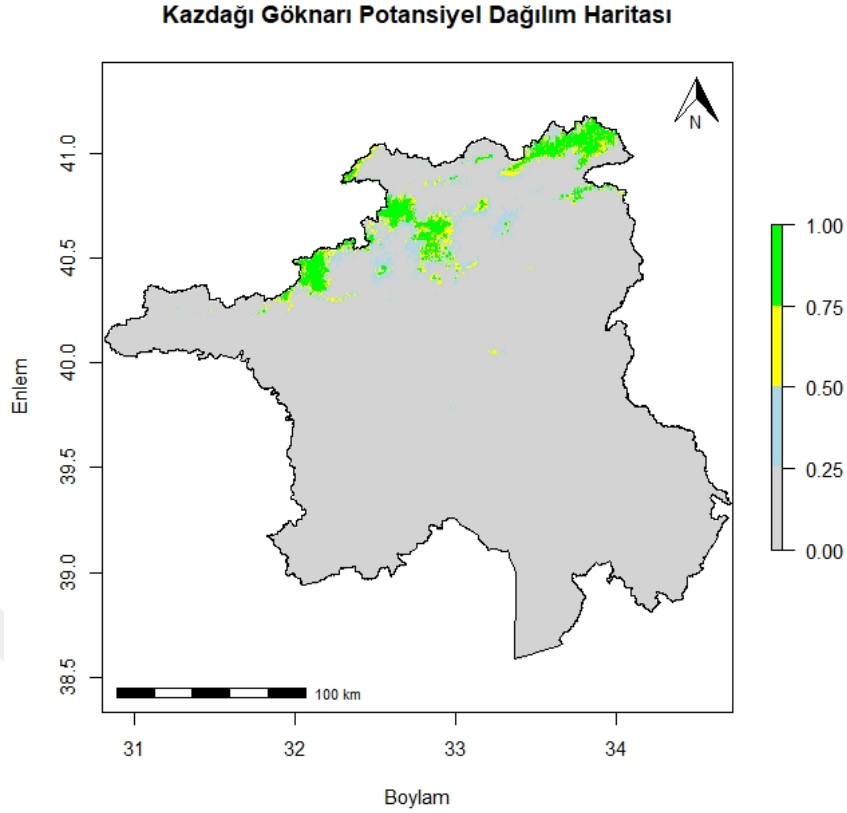
Kazdağı göknarı türüne ait Ankara OBM'deki güncel dağılım Şekil 4.115'te ve model çıktıları yardımıyla elde edilen potansiyel dağılım ise Şekil 4.116'da verilmiştir.

Kazdağı göknarı çalışma alanındaki güncel dağılım alanı 67.842 ha iken potansiyel dağılım alanı ise 194.178 ha olarak bulunmuştur (Tablo 4.23).

Kazdağı göknarı türü için potansiyel dağılım alanları 0,50-1,00 ve 0,75-1,00 olasılık değeri aralıklarına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 4.116; Tablo 4.23).



Şekil 4.115: Kazdağı göknarı türünün güncel dağılım haritası.

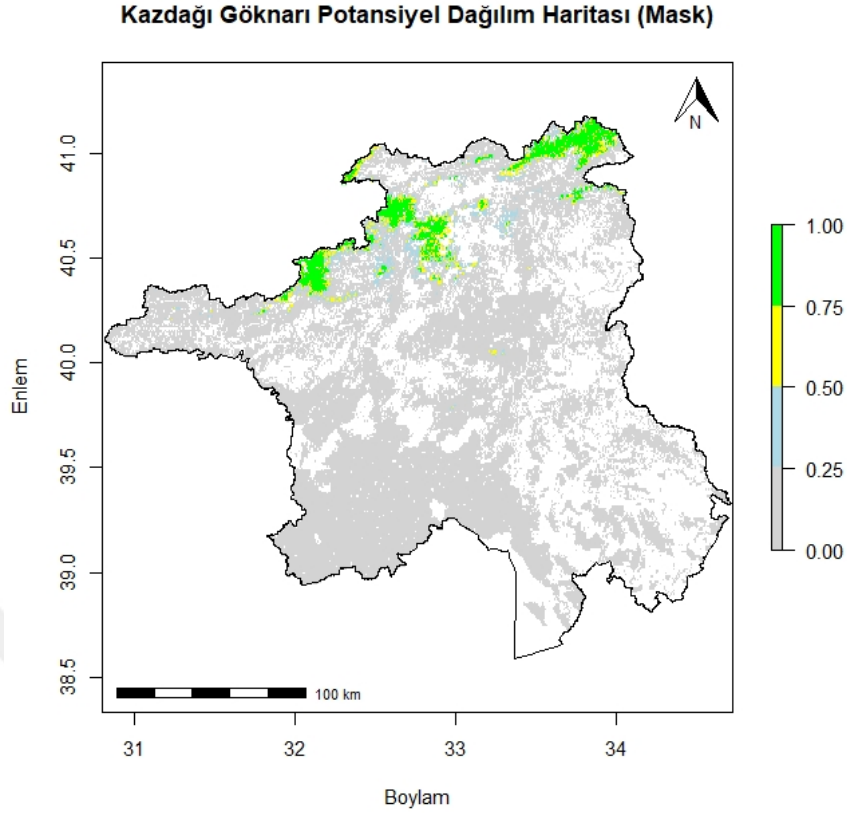


Şekil 4.116: Kazdağı göknarı türünün güncel potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.23: Kazdağı göknarının günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KAZDAĞI GÖKNARI	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	67.842,12	2.163	857			
Güncel Potansiyel Dağılım	194.177,71	2.494	1.225	122.896,45	2.494	1.225
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	180.660,70	2.494	1.225	118.212,27	2.494	1.225

Kazdağı göknarı türü mevcut plan verilerine göre 67.842 ha güncel dağılıma sahipken, geliştirilen tür dağılım modeline göre 0,50'den yüksek olasılığa sahip 194.178 ha ve 0,75'ten yüksek olasılık değerine sahip 122.896 ha potansiyel dağılım alanına sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (Tablo 4.23). Kazdağı göknarı, güncel dağılım alanlarında 857-2.163 metre yükseklik aralığında görülürken, potansiyel dağılımın 0,50'den yüksek olasılığa sahip alanlarda 1.225-2.494 metre arası rakımlarda, 0,75'ten yüksek olasılıklı alanlarda ise 1.225-2.494 metre arası rakımlarda görüleceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.23).



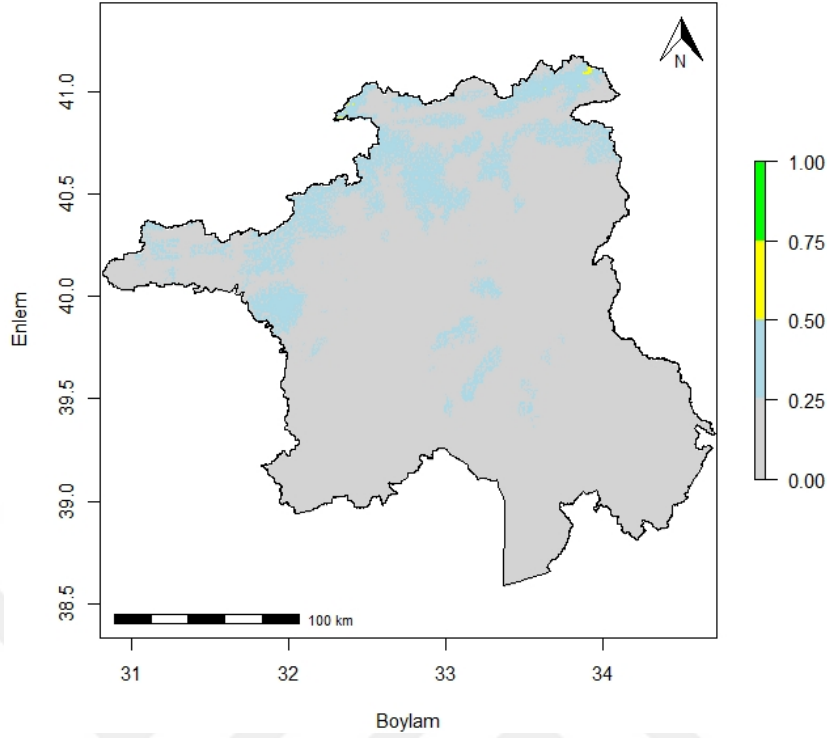
Şekil 4.117: Kazdağı göknarı türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Potansiyel dağılım alanlarında türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı düşünülen alanlara uygulanan maskeleme işlemi sonrasında, 194.178 ha olarak tahmin edilen potansiyel dağılım alanının 180.661 ha'a düşmesi beklenmektedir (Tablo 4.23).

4.7.2. Kazdağı Gökarnı Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)

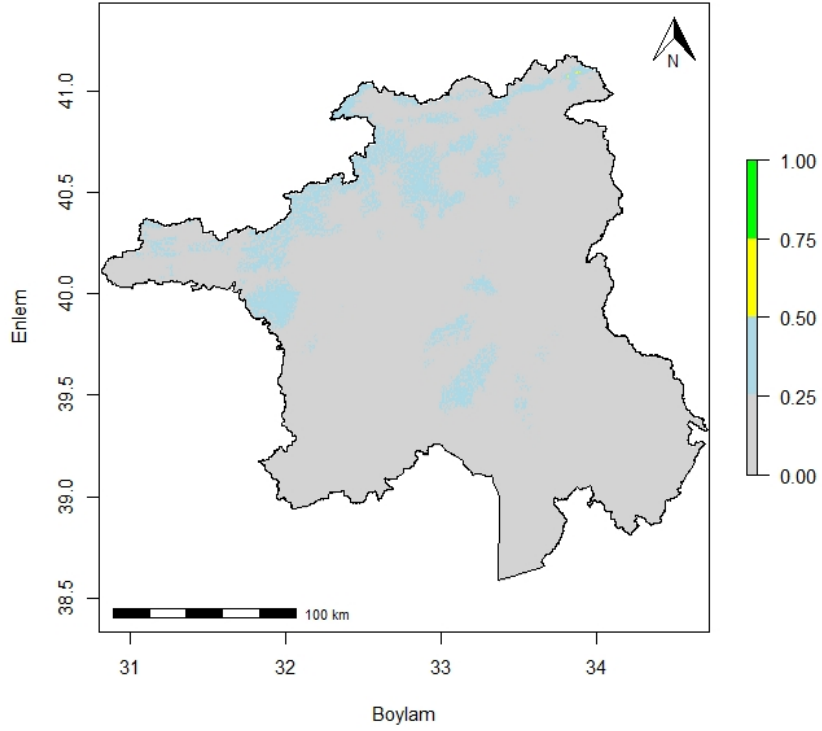
Kazdağı göknarı ağaç türü için geliştirilen model RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre 2050 yılı için uygulandığında, gelecek dönem potansiyel dağılımlarda azalmalar olacağı öngörülmektedir. Yüzyılın ortasında hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryosuna göre Kazdağı göknarı dağılım alanlarının önemli oranda azalacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4.118; Şekil 4.119).

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (RCP4.5 - 2050)



Şekil 4.118: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (RCP8.5 - 2050)



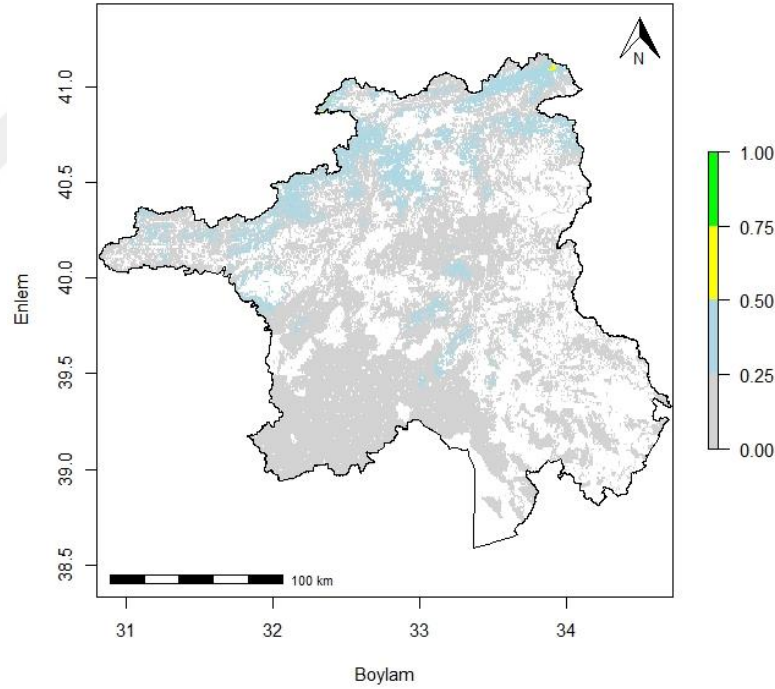
Şekil 4.119: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Çalışma alanında yüksek rakımlı alanların sınırlı olması sebebiyle Kazdağı göknarının potansiyel dağılım alanı 194.178 ha'dan RCP4.5'e göre 1.936 ha'a, RCP8.5'e göre 323 ha'a düşeceği öngörülmektedir (Şekil 4.118, Şekil 4.119; Tablo 4.24).

Tablo 4.24: Kazdağı göknarının RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

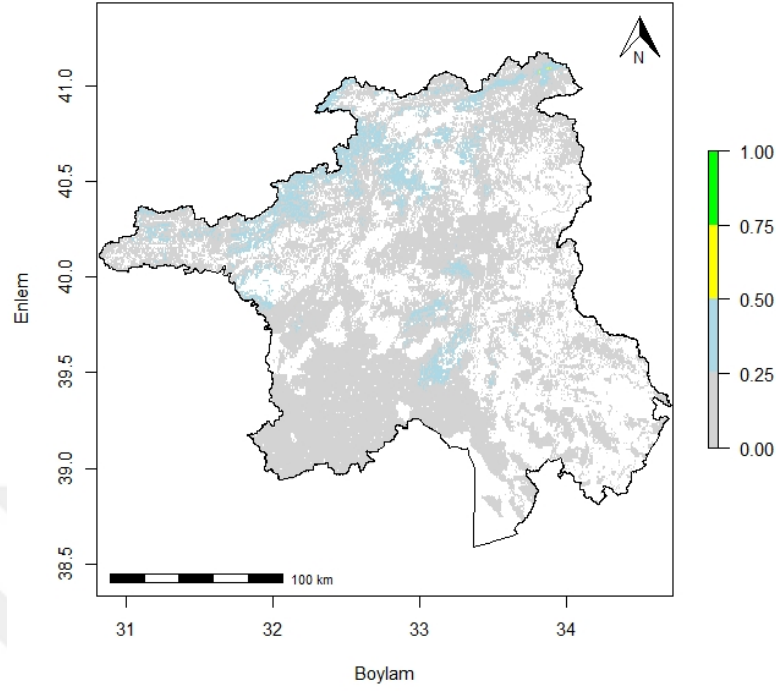
KAZDAĞI GÖKNARI	0,50–1,00		Yükselti		0,75–1,00		Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)		Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	
Güncel Dağılım	67.842,12	2.163	857					
Güncel Potansiyel Dağılım	194.177,71	2.494	1.225		122.896,45	2.494	1.225	
RCP4.5-2050	1.935,71	2.398	1.289		-	-	-	
RCP8.5-2050	322,56	2.494	2.242		-	-	-	
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	180.660,70	2.494	1.225		118.212,27	2.494	1.225	
Maskelenmiş RCP4.5-2050	1.870,84	2.398	1.289		-	-	-	
Maskelenmiş RCP8.5-2050	322,56	2.494	2.242		-	-	-	

Kazdağı Göknarı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP4.5 - 2050)



Şekil 4.120: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Gökarnı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2050)

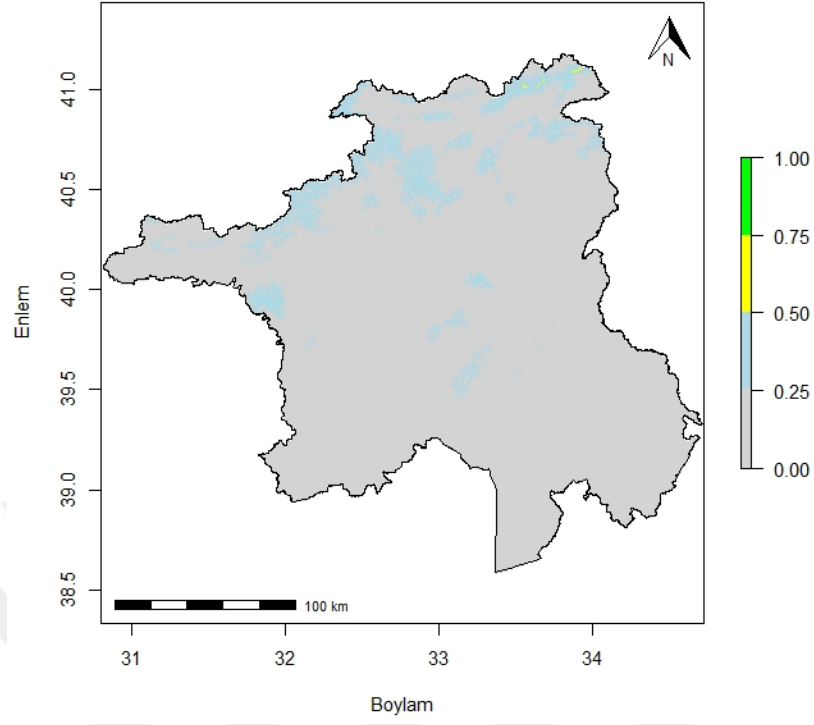


Şekil 4.121: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.7.3. Kazdağı Gökarnı Türü İçin Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)

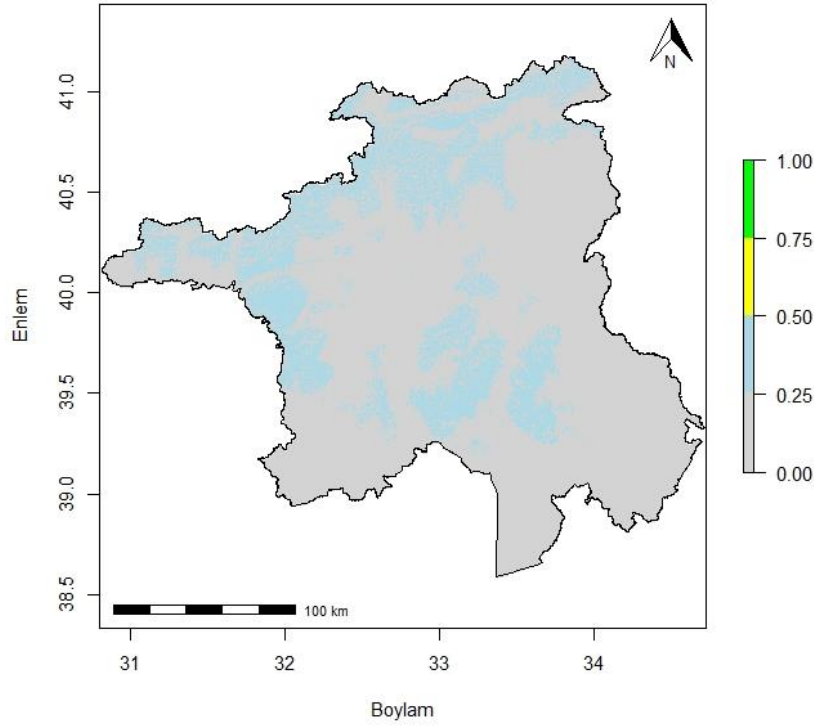
Kazdağı göknarı ağaç türü için geliştirilen model 2070 yılı için uygulandığında ise Kazdağı göknarı RCP4.5 senaryosuna göre alt rakımlardaki yayılışını terk edip çok yüksek rakımlarda oldukça dar bir alanda az miktarda kalacağı, RCP8.5 senaryosuna göre ise alandan kaybolacağı düşünülmektedir (Şekil 4.122; Şekil 4.123).

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (RCP4.5 - 2070)



Şekil 4.122: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (RCP8.5 - 2070)



Şekil 4.123: Kazdağı göknarı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

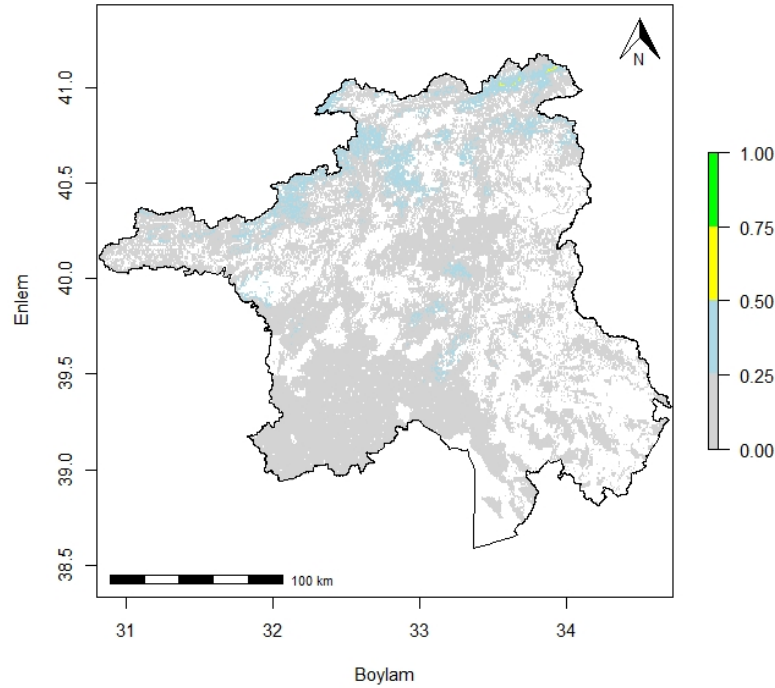
Güncel dağılım rakımları 857-2.163 metre aralığında iken, potansiyel dağılım alanları 1.225-2.494 metre aralığında değişmekte olan Kazdağı göknarının, RCP4.5 senaryosuna göre 2070 yılında 2.045-2.398 metre aralığında yayılış gösterebileceği, RCP8.5 senaryosuna göre ise 2070 yılında bu aralıklarda varlık gösteremeyeceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.25).

Tablo 4.25: Kazdağı göknarının RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KAZDAĞI GÖKNARI	0,50–1,00		Yükselti		0,75–1,00		Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)		Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	
Güncel Dağılım	67.842,12	2.163	857					
Güncel Potansiyel Dağılım	194.177,71	2.494	1.225		122.896,45	2.494	1.225	
RCP4.5-2070	1.161,65	2.398	2.045		-	-	-	
RCP8.5-2070	-	-	-		-	-	-	
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	180.660,70	2.494	1.225		118.212,27	2.494	1.225	
Maskelenmiş RCP4.5-2070	1.161,65	2.398	2.045		-	-	-	
Maskelenmiş RCP8.5-2070	-	-	-		-	-	-	

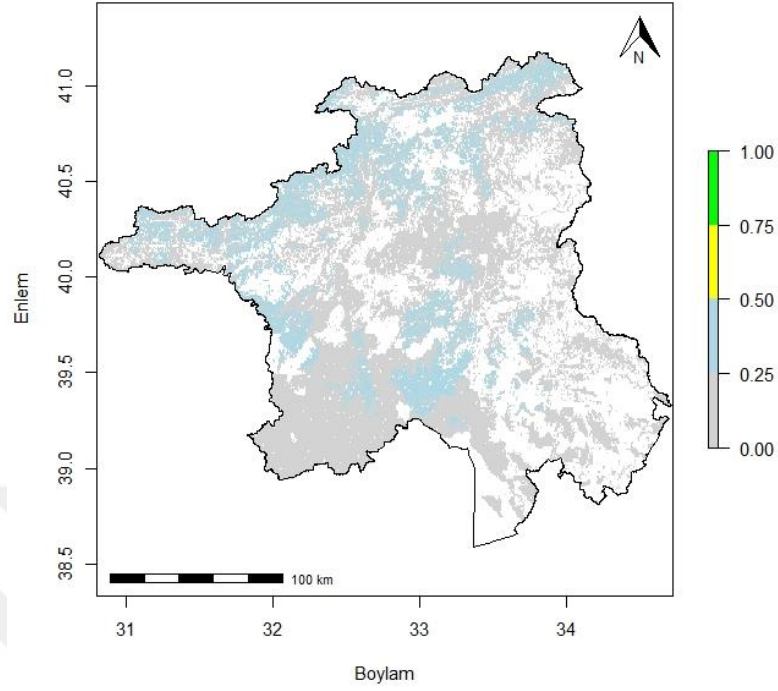
Kazdağı göknarı türü için yüzyılın sonuna doğru potansiyel dağılım alanı RCP4.5 senaryosuna göre 1.162 ha gibi oldukça sınırlı bir alanda kısıtlı kalacağından maskeleme sonucunda da bir değişiklik beklenmemektedir (Şekil 4.124; Tablo 4.25).

Kazdağı Göknarı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP4.5 - 2070)



Şekil 4.124: Kazdağı göknarı türünün RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

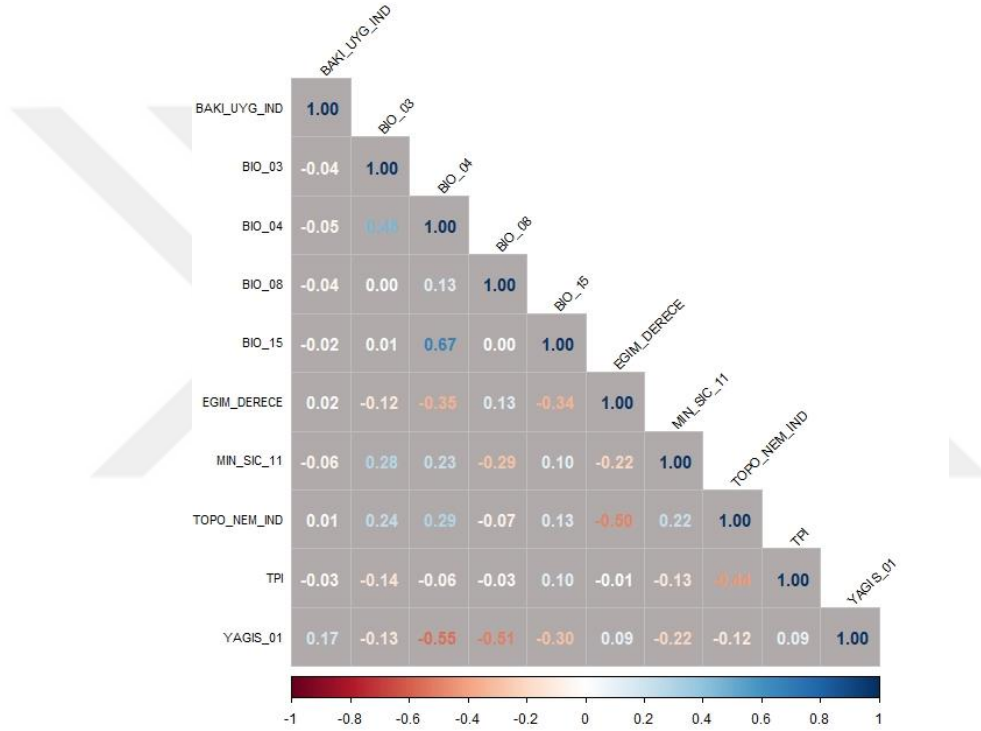
Kazdağı Gökıarı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (RCP8.5 - 2070)



Şekil 4.125: Kazdağı gökırı türünün RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

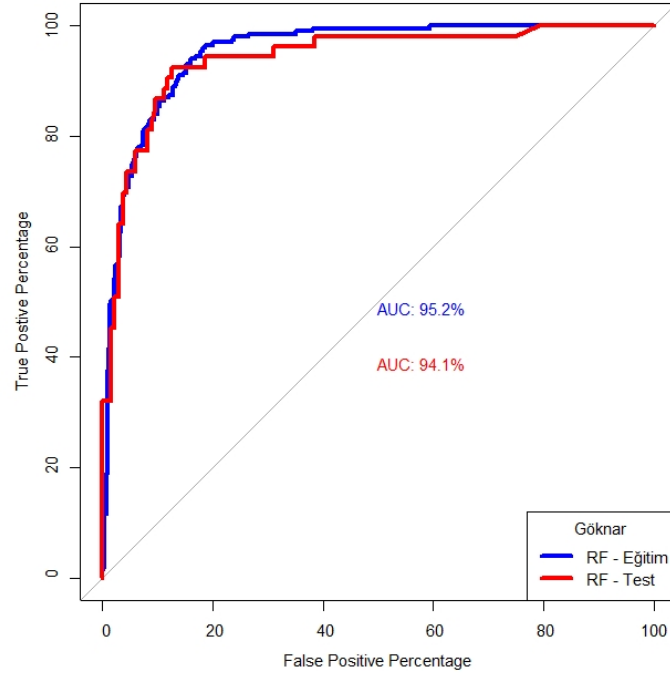
4.8. KAZDAĞI GÖKNARI TÜRÜNÜN GÜNCEL VE GELECEKTEKİ DAĞILIMI (WorldClim sürüm 2.1)

Modelleme çalışmaları kapsamında elde edilen tüm değişkenlere korelasyon analizi uygulanmış ve analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0,70'ten büyük olan değişkenler veri setinden çıkartılmıştır. Aralarında yüksek ilişki bulunan (otokorelasyon olan) değişkenlerin çıkartılmasıyla kalan değişkenler üzerinden modelleme aşamasına geçilmiştir. Kazdağı göknarı tür dağılım modelinde kullanılan değişkenlerin korelasyon katsayıları Şekil 4.126'da gösterilmiştir.



Şekil 4.126: Korelasyon analizi sonucunda Kazdağı göknarı tür dağılım modelinde kullanılan değişkenler ve korelasyon katsayıları

Kazdağı göknarı ağaç türünün dağılımını tahmin etmek için geliştirilen RF modelinin eğitim ve test veri setlerine ait ROC eğrisi AUC değerleri sırasıyla 0,952 ve 0,941 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.127).



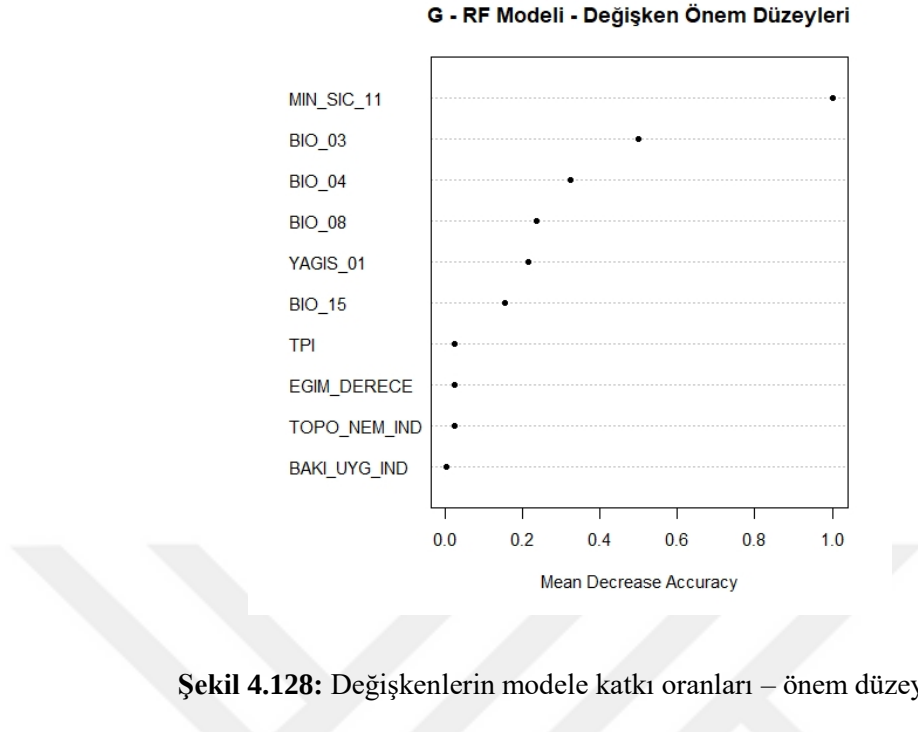
Şekil 4.127: Kazdağı göknarı random forest modeli ROC eğrisi AUC değeri

Geliştirilen modellerden en uygun modelin seçimi için farklı değişken sayıları ile elde edilen dört modelden tüm değişkenlerin kullanıldığı Model 1 en düşük sınıflandırma ve torba dışı tahmin hatasına sahip olması, dengelenmiş doğruluk, kappa, TSS ve F-Score ölçütleri yönünden diğer modellere göre daha yüksek performansa sahip olması sebebiyle nihai model olarak seçilmiştir (Tablo 4.26).

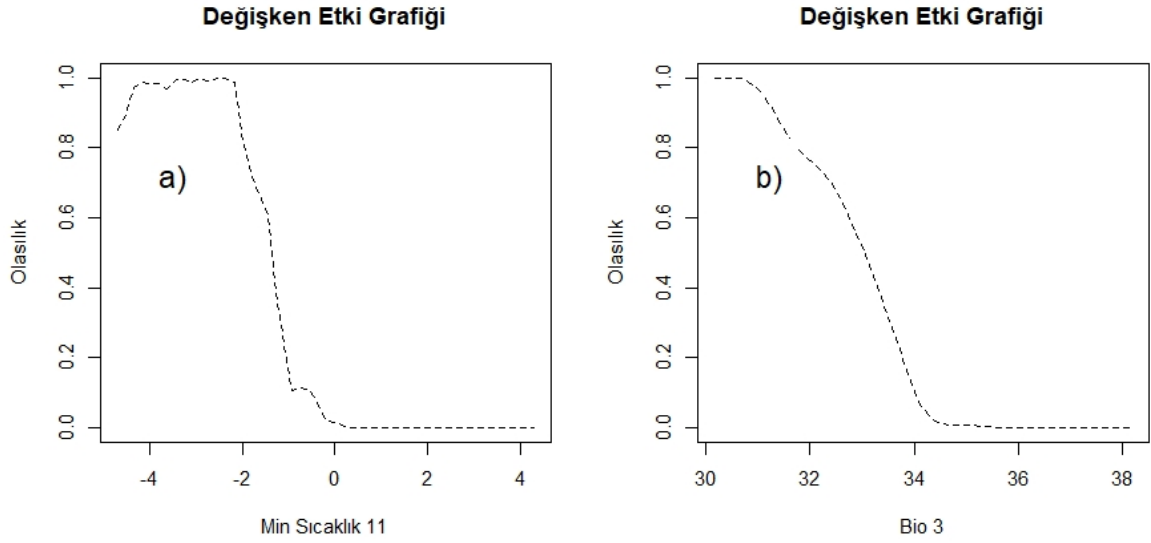
Tablo 4.26: Kazdağı göknarı türü için model seçimine ait performans ölçütleri.

Kazdağı göknarı	Dengelenmiş Doğruluk	Kappa	TSS	F-Score	Torba Dışı Tahmin Hatası (%)	Sınıflandırma Hatası (%)	Değişken Sayısı
Model 1	0,8681	0,7384	0,7363	0,9202	10,9399	19,0955	10
Model 2	0,8559	0,7158	0,7117	0,9137	12,4807	21,5001	7
Model 3	0,8445	0,6861	0,6889	0,9030	14,0216	22,4368	5
Model 4	0,8579	0,7117	0,7157	0,9107	13,0971	20,5566	3

Kazdağı göknarı türü için tercih edilen nihai modelde iklimsel değişkenlerin topografik değişkenlere göre oldukça yüksek önem düzeyine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.128).



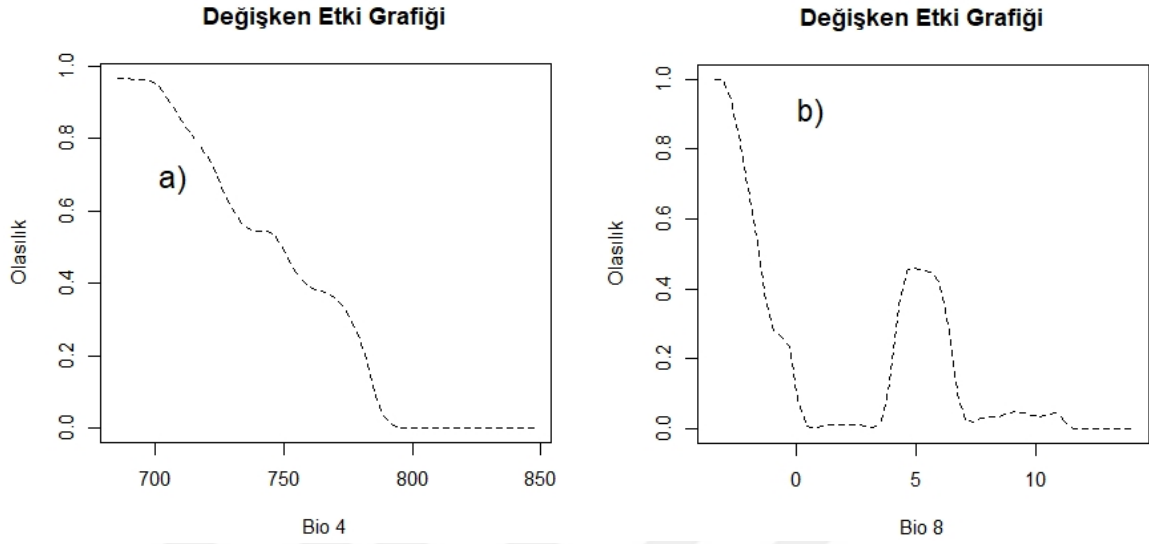
Şekil 4.128: Değişkenlerin modele katkı oranları – önem düzeyleri



Şekil 4.129: a) Kasım ayı minimum sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) İzotermalitenin (eş ısı) Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

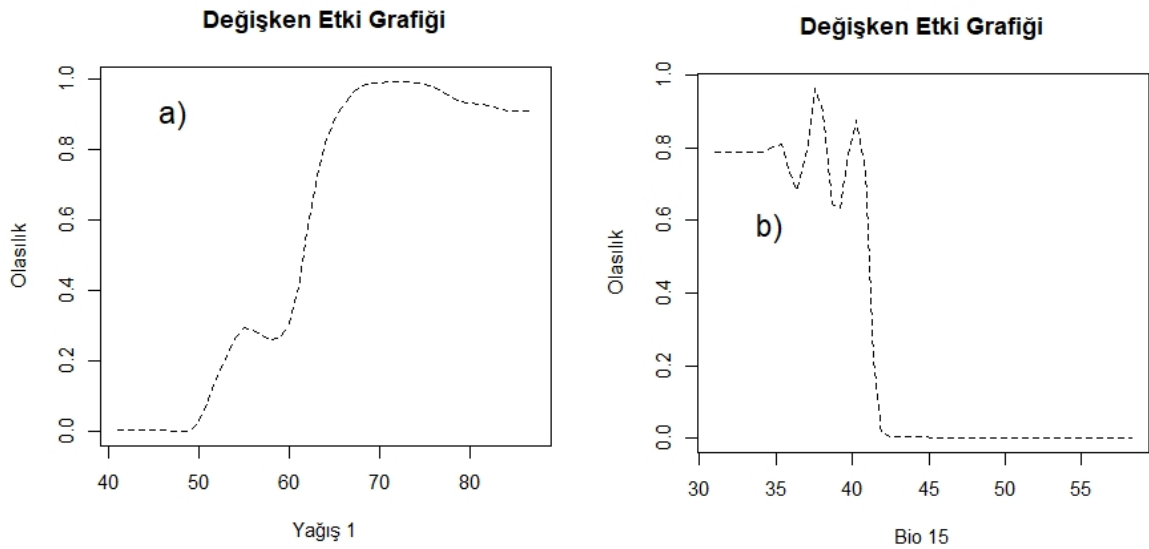
Kazdağı göknarı türü için geliştirilen tür dağılım modelinin en yüksek önem düzeyine sahip değişkeni olan kasım ayı minimum sıcaklığının artışı türün dağılımı üzerinde önemli derecede olumsuz bir etkiye sahiptir (Şekil 4.129.a). Yıllık sıcaklık farklarına göre günlük sıcaklık farklarının ne kadar büyük farklılık gösterdiğini ifade eden izotermalite (Bio3) değişkenindeki artış yine kasım ayı minimum sıcaklığı gibi Kazdağı göknarı tür dağılımında olumsuz bir etkiye

sebeptir. İzotermalite değeri arttıkça türün bulunma olasılığı düşmekte ve belirli bir düzeyden sonra neredeyse yok olma durumuna gelmektedir (Şekil 4.129.b).



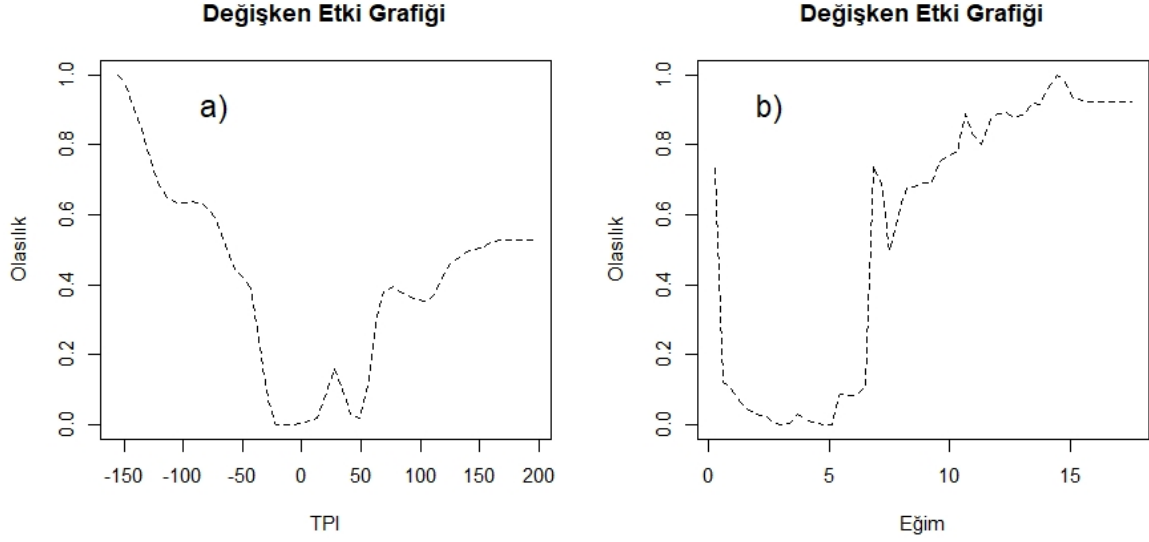
Şekil 4.130: a) Mevsimsel sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

Türün dağılımı üzerinde yine olumsuz etkiye sahip önemli değişkenlerden bir tanesi de mevsimsel sıcaklık (Bi4) değişkenidir. Mevsimsel sıcaklıkta görülen artışla Kazdağı göknarının bulunma olasılığı düşmektedir (Şekil 4.130.a). En yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığındaki (Bio8) meydana gelen artış Kazdağı göknarı üzerindeki bir diğer olumsuz etkiyi bünyesinde barındırmaktadır (Şekil 4.130.b).



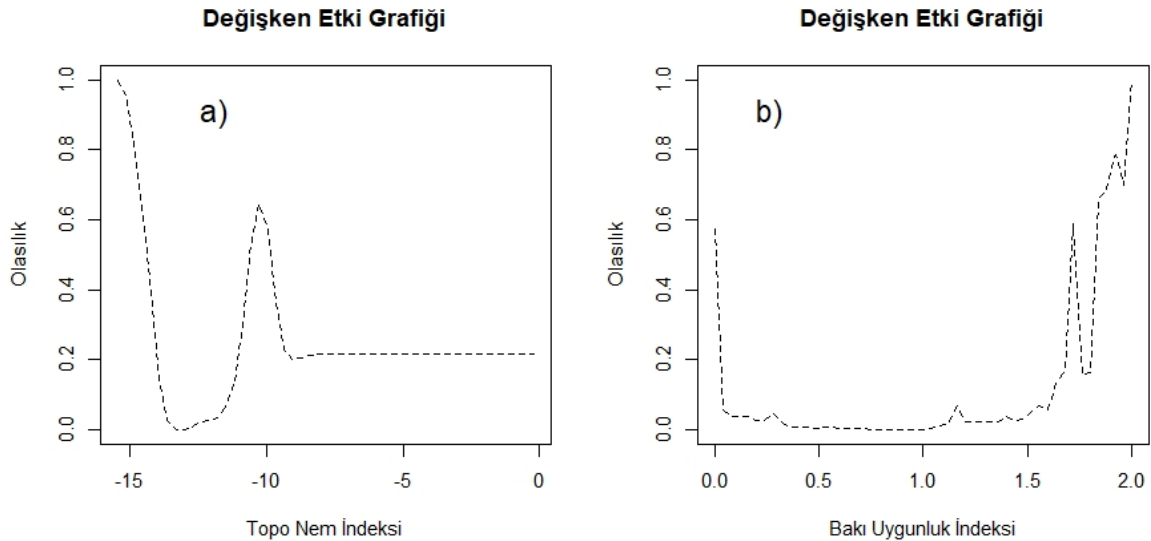
Şekil 4.131: a) Ocak ayı yağış miktarının Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Mevsimsel yağış değişkenliğinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

Kazdağı göknarı ağaç türünün bulunması üzerinde olumlu etkiye sahip değişkenler ocak ayı yağış miktarındaki artış ve eğim artışıdır (Şekil 4.131.a; Şekil 4.132.b).



Şekil 4.132: a) Topografik pozisyon indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Eğimin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

Topografik pozisyon indeksi ve topografik nemlilik indekslerinin Kazdağı göknarının bulunması üzerindeki etkisi düzensizdir (Şekil 4.132.a; Şekil 4.133.a).

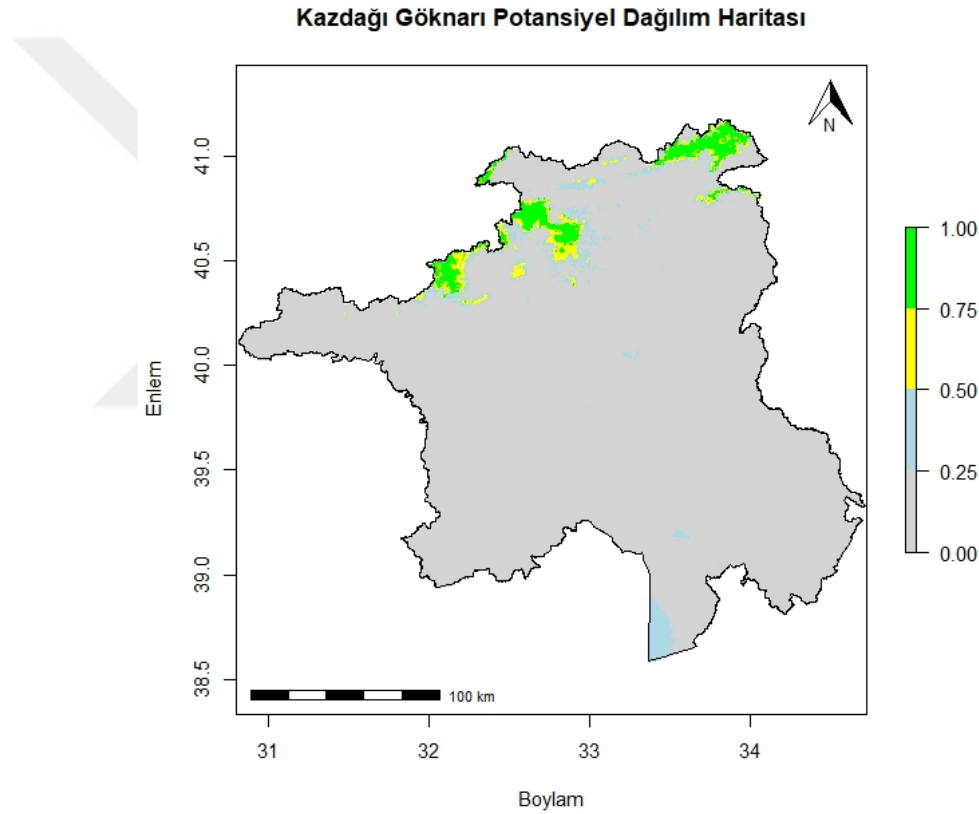


Şekil 4.133: a) Topografik nemlilik indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi, b) Bakı uygunluk indeksinin Kazdağı göknarının dağılımına etkisi.

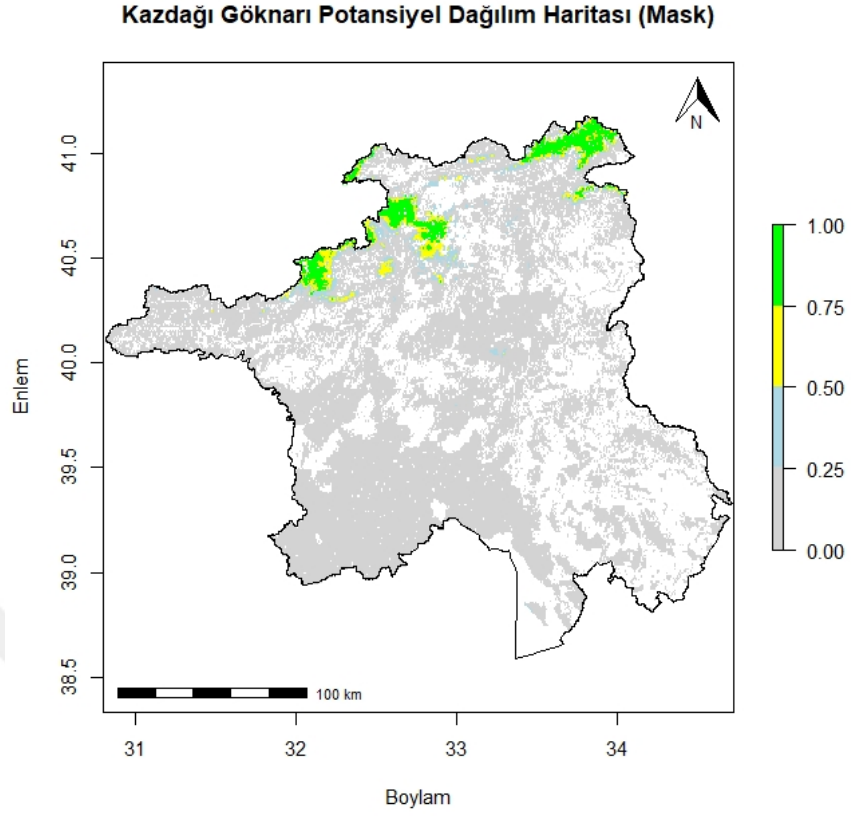
Çok düşük ve çok yüksek bakı uygunluk indeksi değerleri kuzey bakıları ifade etmektedir ve kuzey bakıların Kazdağı göknarının bulunma olasılığı üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır (Şekil 4.133.b).

4.8.1. Kazdağı Göknarı Türü İçin Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)

Orman amenajman planlarına göre Ankara OBM'deki Kazdağı göknarı ağaç türüne ait güncel dağılım haritası Şekil 4.115'de, Kazdağı göknarı tür dağılım modeli çıktısı ile elde edilen potansiyel dağılım haritası Şekil 4.134'te ve türün bulunmasının mümkün olmadığı alanların maskelenmesiyle elde edilen maskelenmiş potansiyel dağılım haritası Şekil 4.135'te verilmiştir.



Şekil 4.134: Kazdağı göknarı türünün güncel potansiyel dağılım haritası.

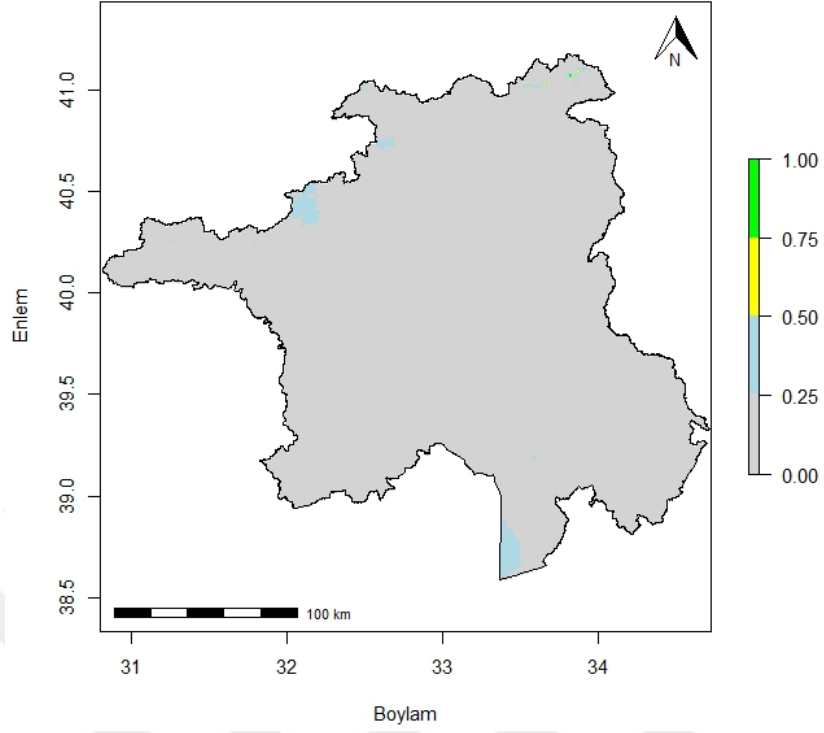


Şekil 4.135: Kazdağı göknarı türünün maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.8.2. Kazdağı Gökıarı Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)

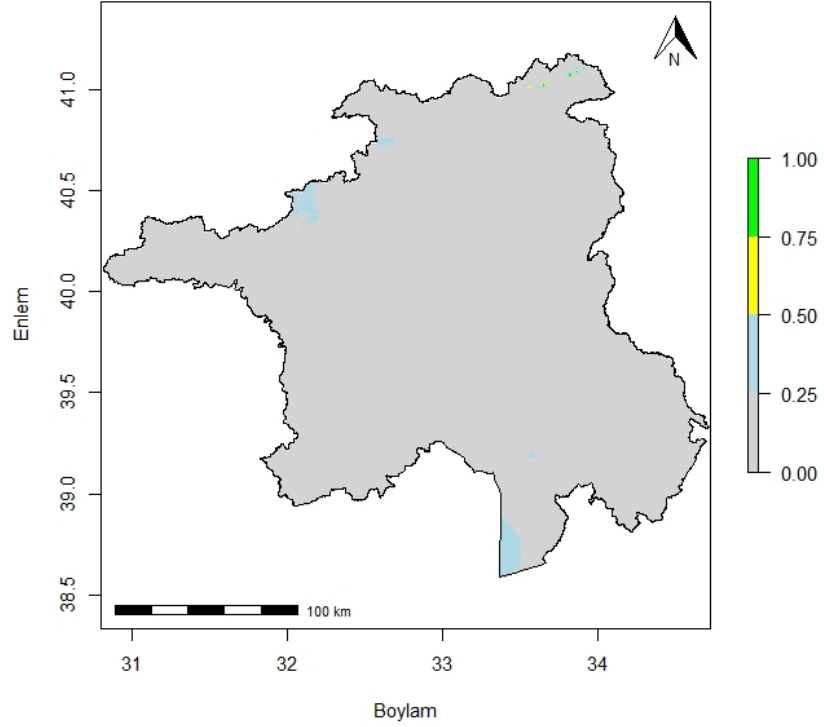
Yüzyılın ortası için SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 iklim senaryolarına göre geliştirilen tür dağılım modeline göre Kazdağı göknarı türünün gelecek dönem potansiyel dağılımında önemli oranda azalmalar olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4.136; Şekil 4.137).

Kazdağı Gökıarı Potansiyel Dağılım Haritası (SSP2-4.5 - 2050)



Şekil 4.136: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Gökıarı Potansiyel Dağılım Haritası (SSP5-8.5 - 2050)



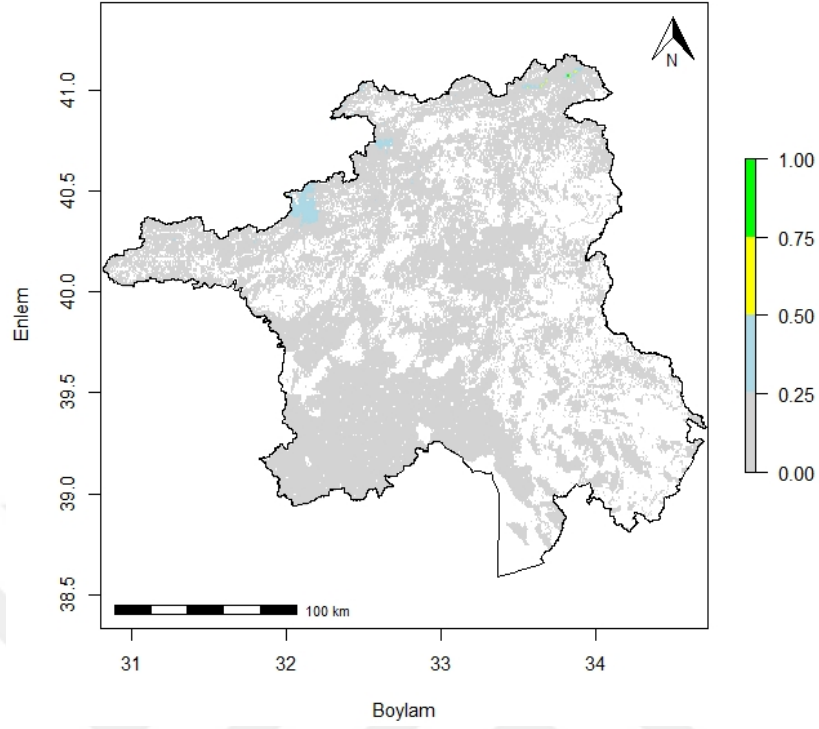
Şekil 4.137: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Güncel dönem tahminlerinde 0,50'den yüksek olasılığa sahip 173.222 ha olarak hesaplanan potansiyel Kazdağı göknarı alanının, yüzyılın ortasında SSP2-4.5 senaryosuna göre 774 ha seviyelerine ve SSP5-8.5 senaryosuna göre ise 1.098 ha seviyelerine düşeceği öngörülmektedir (Tablo 4.27; Şekil 4.136; Şekil 4.137). Bu alanlardaki Kazdağı göknarının yükselti değişiklikleri incelendiğinde daha yüksek rakımlı alan yokluğu sebebiyle çok dar alanda kısıtlı kalacağı düşünülmektedir. Alt sınır yükseltisinin güncel dönem potansiyel alanlarda 1.277 metre seviyesinden SSP2-4.5'e göre 1.880 metreye ve SSP5-8.5'e göre de 2.168 metreye çıkabileceği düşünülmektedir (Tablo 4.27). Türün yayılış göstermesinin mümkün olmadığı alanların maskelenmesi neticesinde, Kazdağı göknarı alanlarında herhangi bir değişiklik gözlemlenmemektedir (Tablo 4.27; Şekil 4.138; Şekil 4.139).

Tablo 4.27: Kazdağı göknarının SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

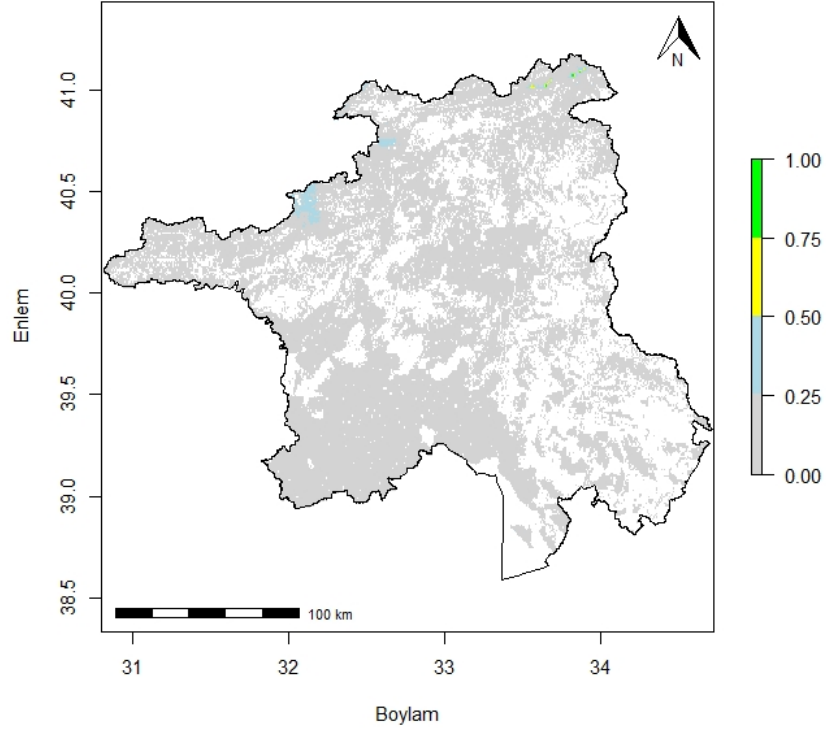
KAZDAĞI GÖKNARI	0,50–1,00	Yükselti		0,75–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Güncel Dağılım	67.842,12	2.163	857			
Güncel Potansiyel Dağılım	173.222,35	2.448	1.277	101.716,25	2.413	1.321
SSP2-4.5 -2050	774,48	2.448	1.880	129,06	2.448	2.413
SSP5-8.5 -2050	1.097,53	2.448	2.168	258,11	2.448	2.329
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	164.593,67	2.448	1.277	98.656,97	2.413	1.321
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2050	774,48	2.448	1.880	129,06	2.448	2.413
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2050	1.097,53	2.448	2.168	258,11	2.448	2.329

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2050)



Şekil 4.138: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2050)

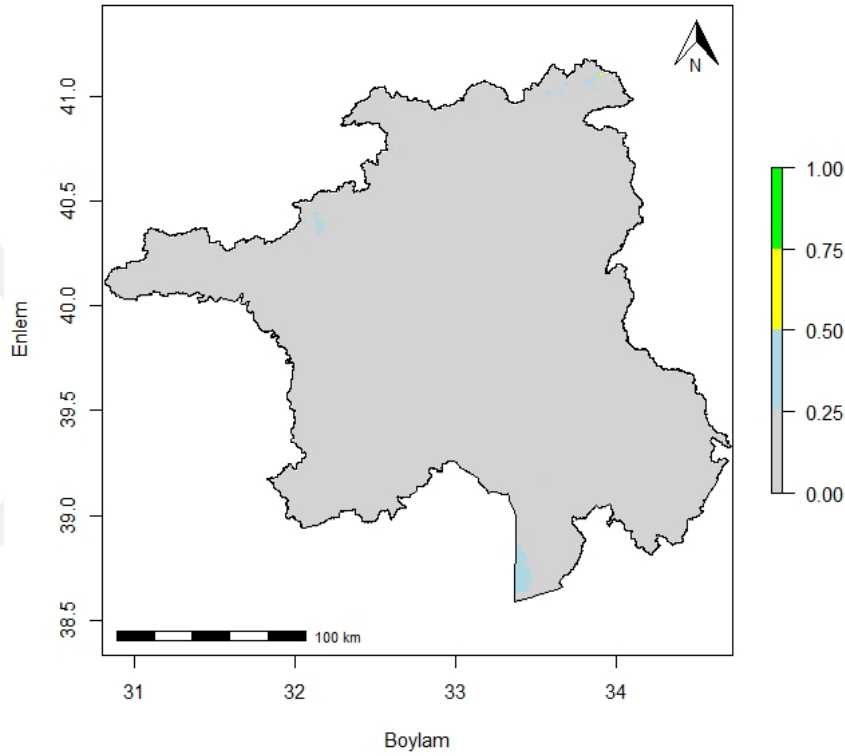


Şekil 4.139: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

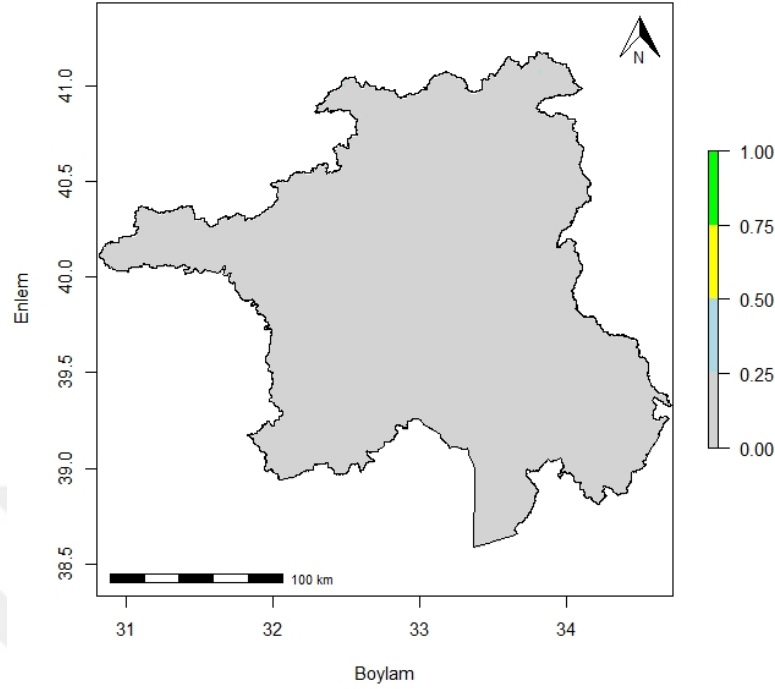
4.8.3. Kazdağı Göknarı Türü İçin Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)

Kazdağı göknarı ağaç türü için geliştirilen tür dağılım modelinde 2070 yılı için SSP2-4.5 senaryosuna göre, Kazdağı göknarının düşük rakımlardaki yayılış alanlarını kaybederek daha yüksek rakımlarda oldukça sınırlı bir alanda kalacağı, yine aynı dönem için SSP5-8.5 senaryosuna göre ise alanı tamamen terkedeceği tahmin edilmektedir (Şekil 4.140; Şekil 4.141).

Kazdağı Göknarı Potansiyel Dağılım Haritası (SSP2-4.5 - 2070)



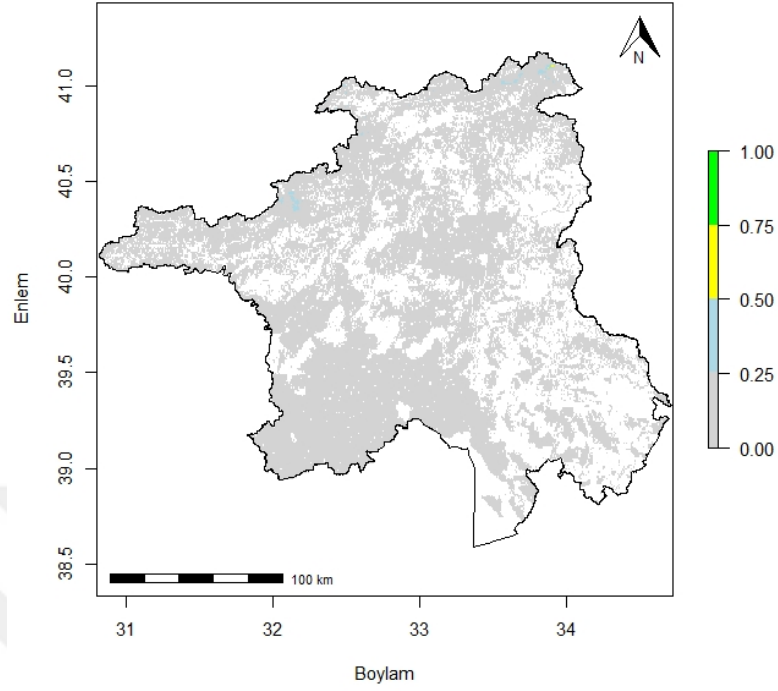
Şekil 4.140: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Göknaarı Potansiyel Dağılım Haritası (SSP5-8.5 - 2070)**Şekil 4.141:** Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için potansiyel dağılım haritası.**Tablo 4.28:** Kazdağı göknarının SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

KAZDAĞI GÖKNARI	0,50–1,00		Yükselti		0,75–1,00		Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)		Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	
Güncel Dağılım	67.842,12	2.163	857					
Güncel Potansiyel Dağılım	173.222,35	2.448	1.277		101.716,25	2.413	1.321	
SSP2-4.5 -2070	193,49	2.365	2.251		-	-	-	
SSP5-8.5 -2070	-	-	-		-	-	-	
Maskelenmiş Güncel Potansiyel Dağılım	164.593,67	2.448	1.277		98.656,97	2.413	1.321	
Maskelenmiş SSP2-4.5 -2070	193,49	2.365	2.251		-	-	-	
Maskelenmiş SSP5-8.5 -2070	-	-	-		-	-	-	

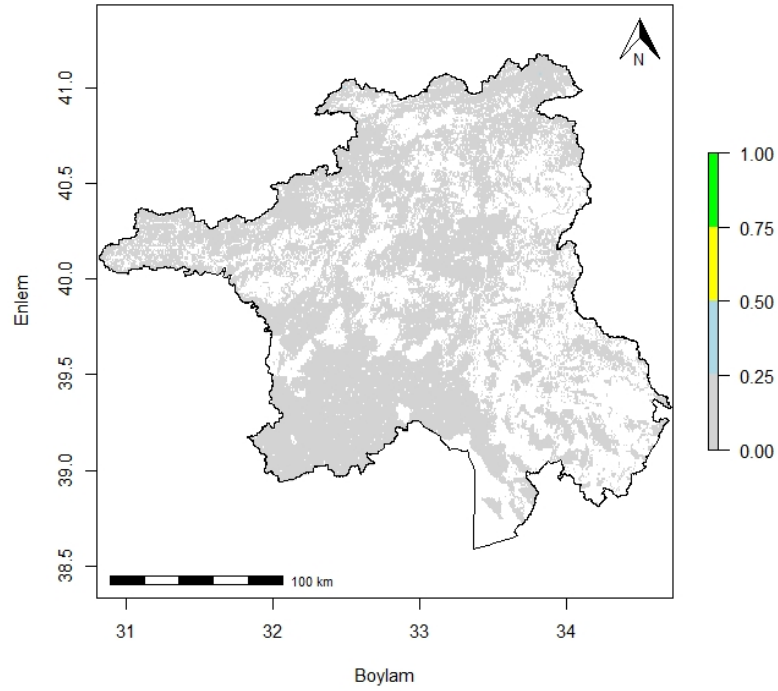
Kazdağı göknarı türünün güncel potansiyel dağılım alanı 173.222 ha iken, SSP2-4.5 senaryosunun potansiyel dağılım alanının 2070 orta yılında 193 ha'a düşeceği, SSP5-8.5 senaryosunun uygulanması ile de alanda varlık gösteremeyeceği tahmin edilmektedir (Tablo 4.28; Şekil 4.140; Şekil 4.141). Türün varlık göstermesinin mümkün olmayabileceği fiziksel bariyerlerin olduğu alanların maskelenmesi işleminin 2070 yılında Kazdağı göknarı tür dağılımı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı hesaplanmıştır (Tablo 4.28; Şekil 4.142; Şekil 4.143).

Kazdağı Göknaı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP2-4.5 - 2070)



Şekil 4.142: Kazdağı göknarı türünün SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Kazdağı Göknaı Potansiyel Dağılım Haritası (Mask) (SSP5-8.5 - 2070)

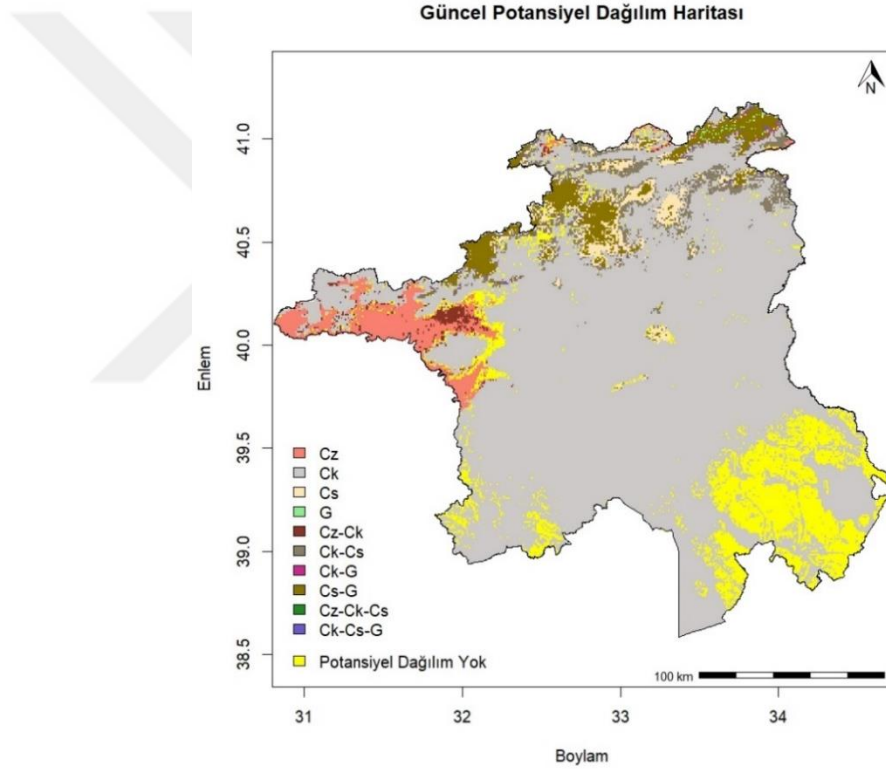


Şekil 4.143: Kazdağı göknarı türünün SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

4.9. BİRLEŞTİRİLMİŞ TÜR DAĞILIM HARİTALARI (WorldClim sürüm 1.4)

4.9.1. Tüm Türler Birlikte Güncel Durum (WorldClim sürüm 1.4)

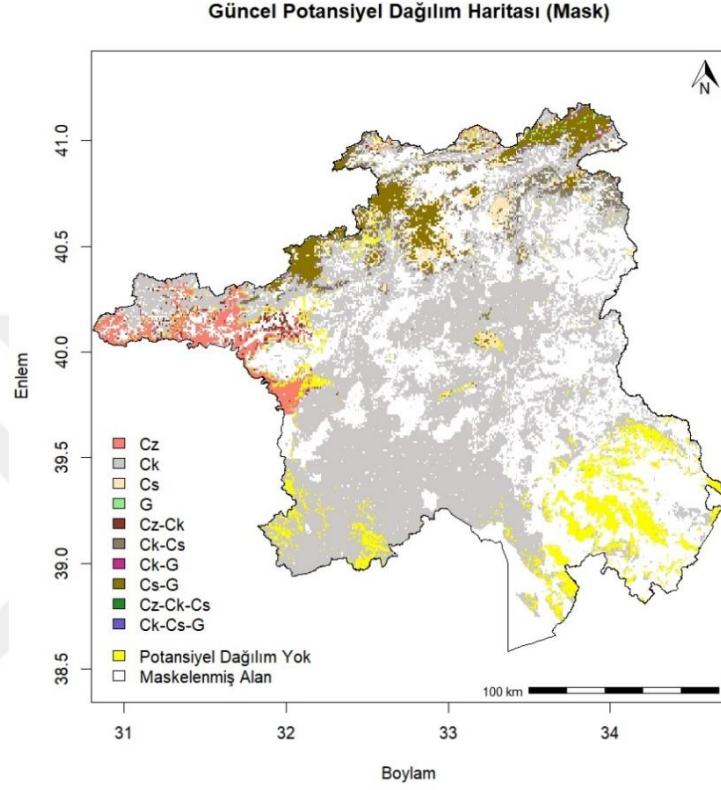
Güncel dönem için 1960-1990 referans dönemi verilerine göre elde edilen kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerine ait potansiyel dağılım alanları çalışma alanı düzeyinde birleştirilerek tüm türlerin potansiyel dağılımının haritalanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı düzeyinde elde edilen tüm türlerin birlikte potansiyel dağılım haritası Şekil 4.144'te ve maskelenmiş potansiyel dağılımları da Şekil 4.145'te verilmiştir. Normal ve maskelenmiş potansiyel dağılım haritalarına ait alan (ha) ve yükselti (m) aralıklar değerleri de Tablo 4.29'da detaylı şekilde sunulmuştur.



Şekil 4.144: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte güncel potansiyel dağılım haritası.

Tüm türlerin birleştirildiği potansiyel dağılım haritası değerlendirildiğinde, 1960-1990 referans dönemine göre modellenen potansiyel dağılımlar sırasıyla kızılçam türü için 192.333,71 ha, karaçam türü için 3.305.304,95 ha, sarıçam türü için 124.085,46 ha ve Kazdağı göknarı türü için 3.890,77 ha olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanı kapsamında en az iki tür için potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilen alanlar sırasıyla kızılçam-karaçam için 36.761,45 ha, karaçam-sarıçam için 176.153,17 ha, karaçam-göknar için 2.401,69 ha ve sarıçam-göknar için

177.891,21 ha olarak belirlenmiştir. Yine aynı şekilde 64,88 ha alan kızılçam-karaçam-sarıçam için ve 10.487,61 ha alan da karaçam-sarıçam-gökmar türleri için potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilmektedir (Tablo 4.29). Potansiyel dağılım alanlarının maskeleme sonucu durumu da yine Tablo 4.29’da ayrıntılı olarak verilmiştir.



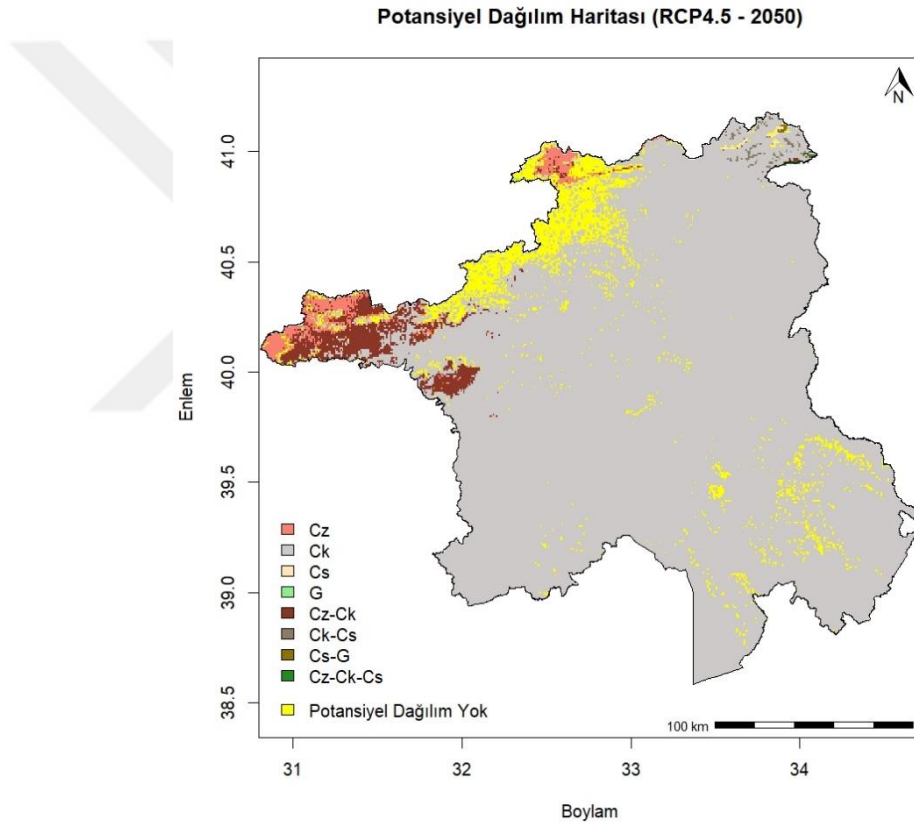
Şekil 4.145: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü’nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.29: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte referans döneme (1960-1990) göre günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

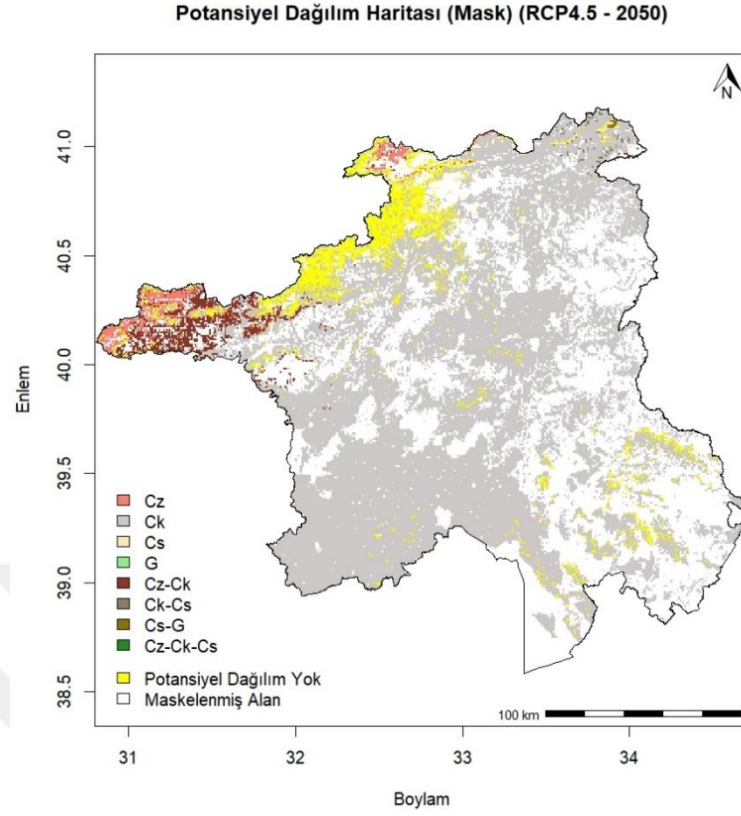
Türler (Güncel)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00		Yükselti	0,50–1,00		Yükselti
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	192.333,71	966	242	131.630,85	966	243
Çk	3.305.304,95	1.674	535	1.923.145,58	1.674	535
Çs	124.085,46	2.293	1.016	98.141,56	2.293	1.016
G	3.890,77	2.130	1.379	3.761,12	2.130	1.444
Çz-Çk	36.761,46	1.273	518	23.241,82	1.273	518
Çk-Çs	176.153,17	1.771	694	131.675,97	1.735	694
Çk-G	2.401,69	1.550	1.225	1.947,08	1.491	1.225
Çs-G	177.891,21	2.494	1.281	165.961,61	2.494	1.335
Çz-Çk-Çs	64,88	751	751	-	-	-
Çk-Çs-G	10.487,61	1.745	1.283	9.446,85	1.745	1.283
Potansiyel Dağılım Yok	547.451,50	2.096	536	290.518,12	2.096	536

4.9.2. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2050)

Çalışmada incelenen 4 türün RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 2050 yılındaki potansiyel dağılımları Şekil 4.146-4.149'da gösterilmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için model sonucu üretilen potansiyel dağılım alanları hesaplandığında kızılçam türü için 84.601,26 ha, karaçam türü için 4.043.415,87 ha, sarıçam türü için 3.435,72 ha ve Kazdağı göknarı türü için 584,65 ha olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra, 138.917,41 ha'lık alan kızılçam-karaçam için, 8.950,76 ha'lık alan karaçam-sarıçam için, 1.295,77 ha'lık alan sarıçam-göknar için ve 1.752,83 ha'lık alan ise kızılçam-karaçam-sarıçam gibi birden fazla tür için potansiyel alan olabileceği tahmin edilmiştir (Tablo 4.30).



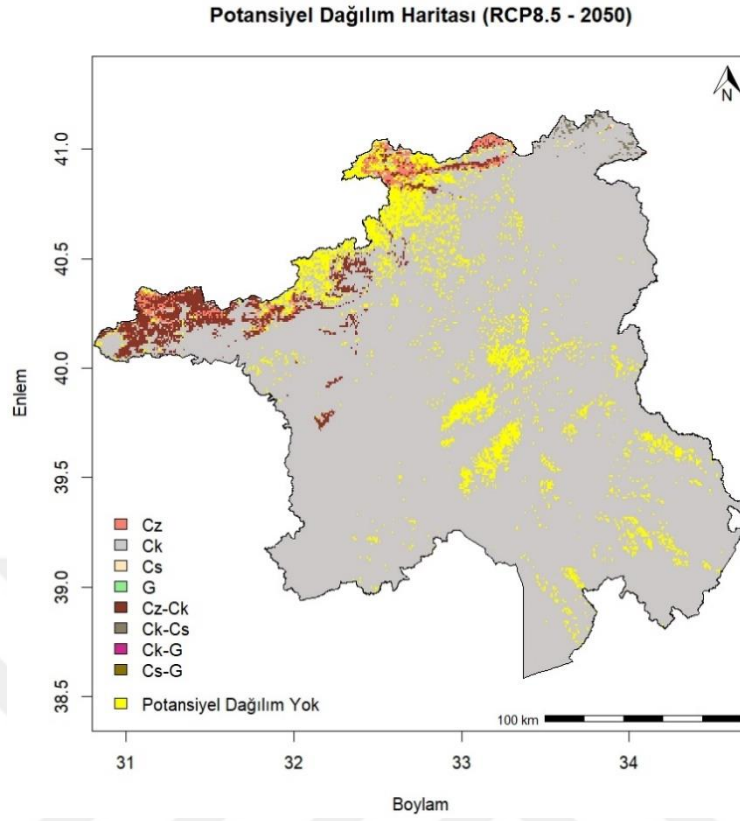
Şekil 4.146: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.



Şekil 4.147: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

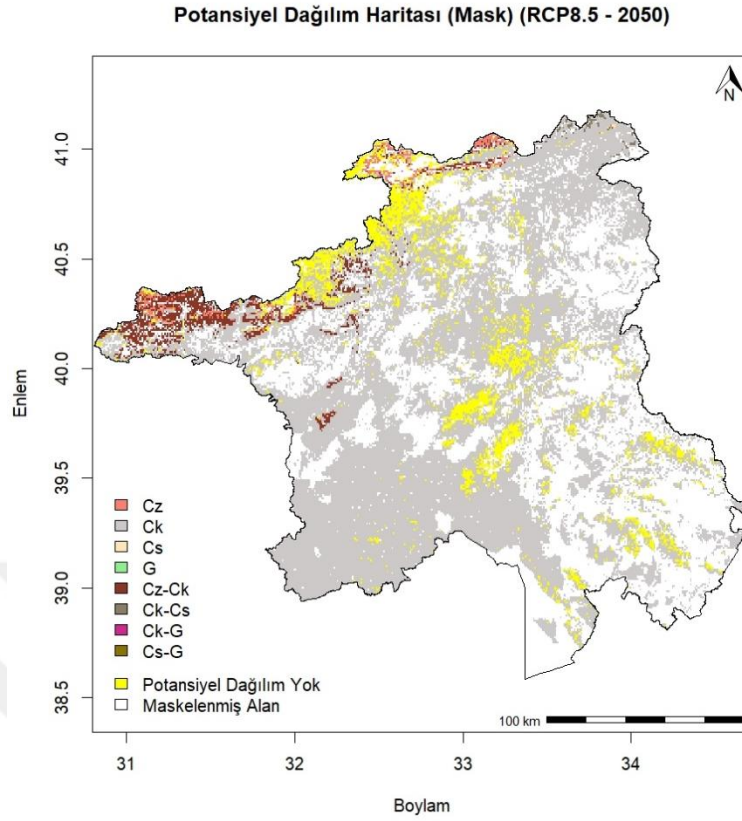
Tablo 4.30: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP4.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (RCP4.5 – 2050)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00		Yükselti	0,50–1,00		Yükselti
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	84.601,26	1.350	242	61.795,77	1.350	243
Çk	4.043.415,87	2.077	379	2.383.316,87	2.077	385
Çs	3.435,72	2.494	2.079	3.370,88	2.494	2.079
G	584,65	2.081	1.289	584,65	2.081	1.289
Çz-Çk	138.917,41	1.350	363	86.874,67	1.350	363
Çk-Çs	8.950,76	2.163	795	6.420,96	2.163	903
Çs-G	1.295,77	2.398	2.092	1.295,77	2.398	2.092
Çz-Çk-Çs	1.752,83	754	620	584,37	716	628
Potansiyel Dağılım Yok	293.872,15	2.125	384	235.226,62	2.125	384



Şekil 4.148: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.

RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılında çalışma alanının 57.238,77 ha'ında kızılçam, 4.006.951,65 ha'ında karaçam, 648,15 ha'ında sarıçam ve 64,79 ha'ında Kazdağı göknarının dağılım gösterebileceği belirlenmiştir. 147.036,44 ha kızılçam-karaçam, 8.881,14 ha karaçam-sarıçam, 64,78 ha karaçam-göknar ve 194,39 ha sarıçam-göknar türleri gibi birden fazla tür için potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilmiştir. (Tablo 4.31).



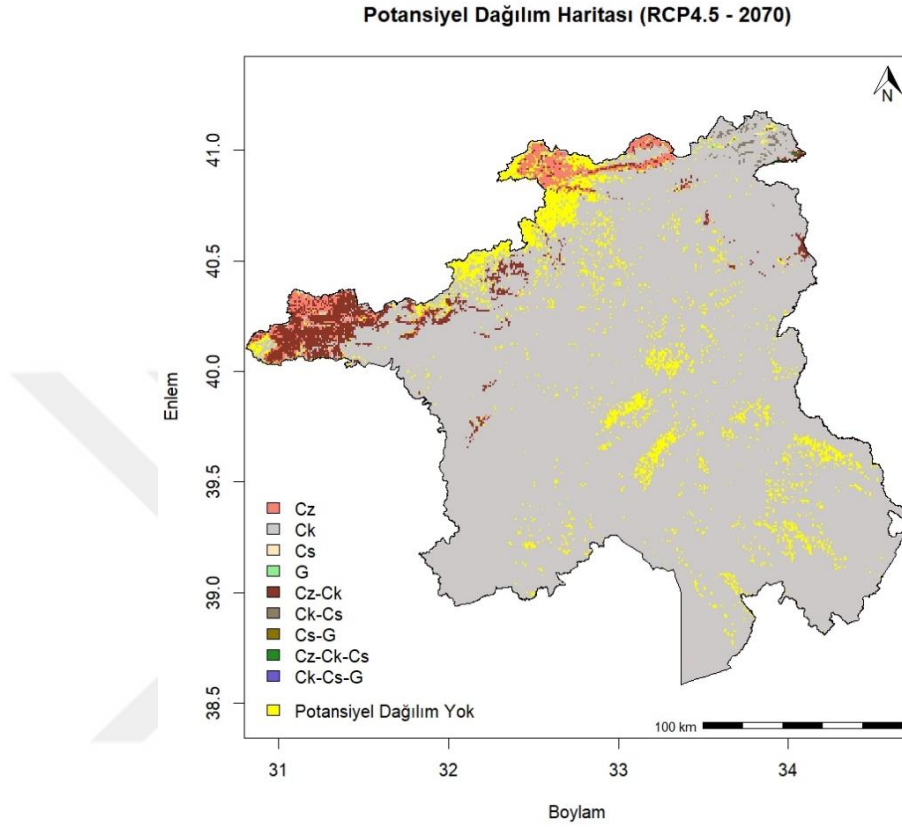
Şekil 4.149: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.31: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP8.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (RCP8.5 – 2050)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	57.238,77	1.458	551	42.920,21	1.458	551
Çk	4.006.951,65	2.256	242	2.315.672,98	2.256	259
Çs	648,15	2.410	2.247	648,25	2.410	2.247
G	64,79	2.260	2.260	64,79	2.260	2.260
Çz-Çk	147.036,44	1.471	535	115.110,14	1.471	602
Çk-Çs	8.881,14	2.286	649	5.832,89	2.286	744
Çk-G	64,78	2.242	2.242	64,78	2.242	2.242
Çs-G	194,39	2.494	2.398	194,39	2.494	2.398
Potansiyel Dağılım Yok	355.746,30	2.280	242	298.962,24	2.251	243

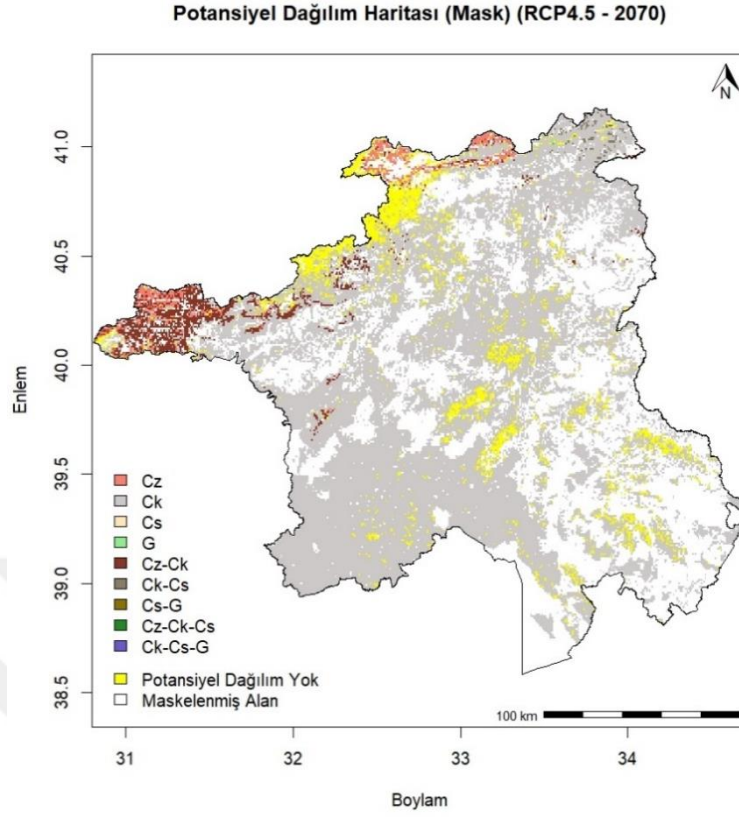
4.9.3. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (RCP4.5 ve RCP8.5-2070)

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 2070 orta yılı için de incelenen türlerin potansiyel dağılım alanları birleştirilerek tek haritada gösterilmiştir (Şekil 4.150-Şekil 4.153).



Şekil 4.150: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.

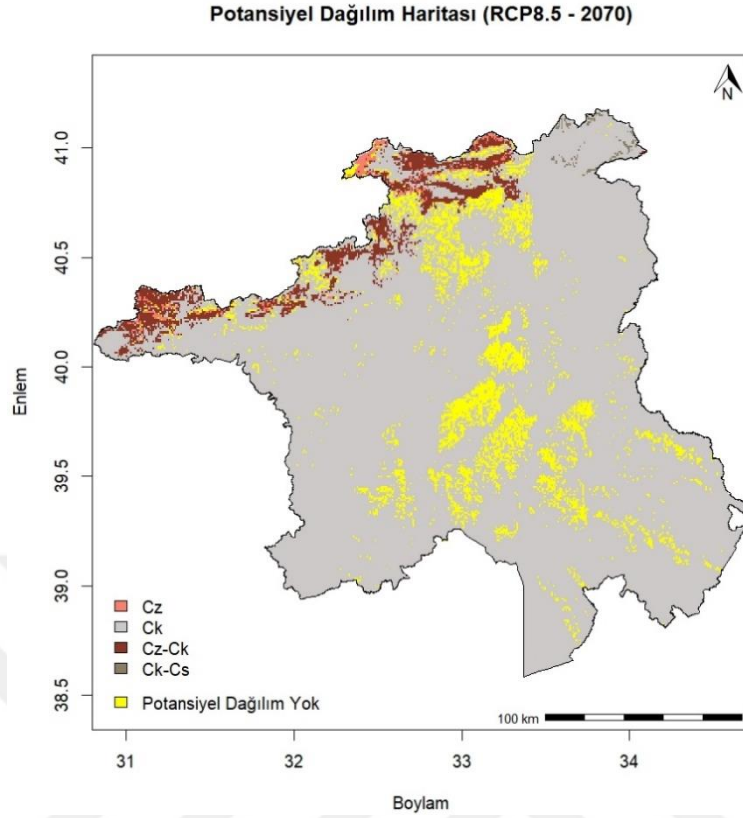
RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılında 90.449,18 ha kızılçam, 4.021.198,15 ha karaçam, 1.620,04 ha sarıçam ve 583,44 ha Kazdağı göknarı türü için potansiyel olarak uygun bulunmuştur. Çalışma alanının 148.268,91 ha'ı kızılçam-karaçam, 10.375,74 ha'ı karaçam-sarıçam, 518,49 ha'ı sarıçam-göknar, 908,83 ha'ı kızılçam-karaçam-sarıçam ve 64,87 ha'ı da karaçam-sarıçam-göknar gibi birden fazla tür için potansiyel olarak uygun olabileceği tahmin edilmiştir (Tablo 4.32).



Şekil 4.151: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

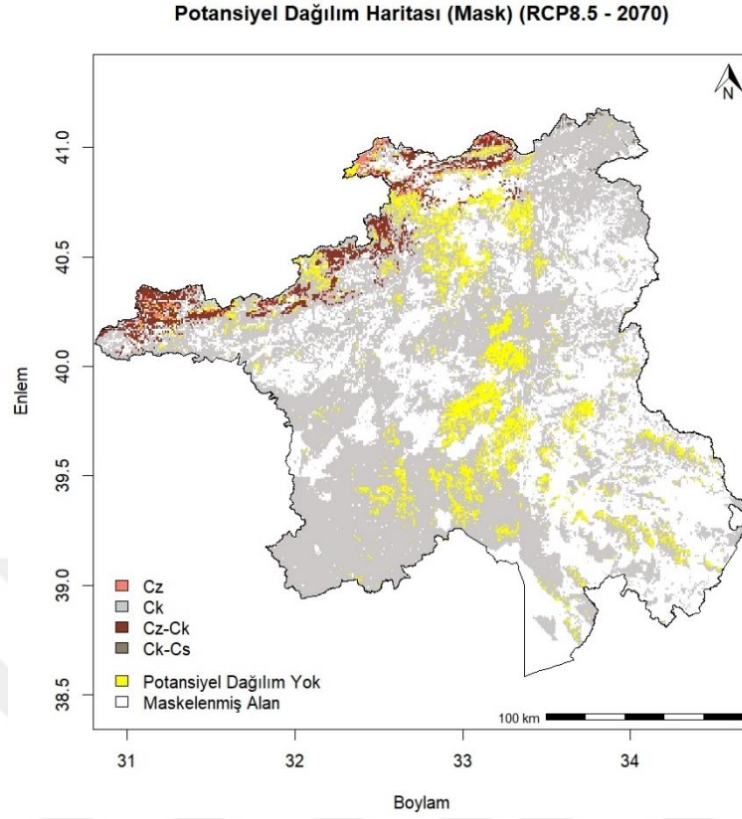
Tablo 4.32: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP4.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (RCP4.5 – 2070)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	90.449,18	1.433	551	67.538,37	1.433	551
Çk	4.021.198,15	2.163	291	2.339.112,03	2.163	291
Çs	1.620,04	2.494	2.125	1.555,20	2.494	2.125
G	583,44	2.208	2.045	583,44	2.208	2.045
Çz-Çk	148.268,91	1.445	535	109.978,23	1.445	602
Çk-Çs	10.375,74	2.252	706	7.392,05	2.252	706
Çs-G	518,49	2.398	2.195	518,49	2.398	2.195
Çz-Çk-Çs	908,83	754	651	129,87	680	671
Çk-Çs-G	64,87	2.272	2.272	64,87	2.272	2.272
Potansiyel Dağılım Yok	302.838,77	2.170	242	252.598,02	2.170	243



Şekil 4.152: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.

RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için tahmin edilen potansiyel dağılım alanları değerlendirildiğinde, kızılçam türü için 39.304,89 ha ve karaçam türü için 3.910.908,55 ha'lık alanlar sadece tek tür için uygun olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, 195.748,08 ha'lık alan kızılçam-karaçam türleri için ve 8.951,36 ha'lık alanın da karaçam-sarıçam türleri gibi birden fazla tür için potansiyel olarak uygun olabileceği tahmin edilmiştir. Potansiyel dağılım alanlarının maskelenmesi sonucu potansiyel dağılımlara ilişkin alan (ha) ve yükselti (m) aralıkları değerleri de Tablo 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.153: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde RCP8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.33: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte RCP8.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

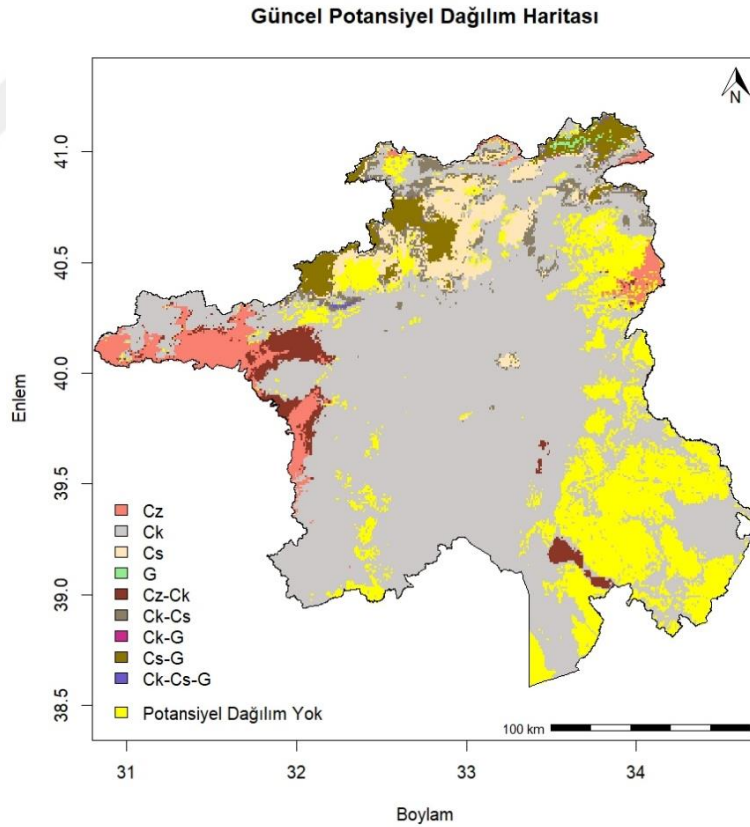
Türler (RCP8.5 – 2070)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	39.304,89	1.610	551	32.986,95	1.610	551
Çk	3.910.908,55	2.410	242	2.259.452,59	2.410	243
Çz-Çk	195.748,08	1.628	565	141.006,96	1.628	602
Çk-Çs	8.951,36	1.465	742	4.927,22	1.465	744
Potansiyel Dağılım Yok	421.913,53	2.494	504	341.096,84	2.494	504

4.10. BİRLEŞTİRİLMİŞ TÜR DAĞILIM HARİTALARI (WorldClim sürüm 2.1)

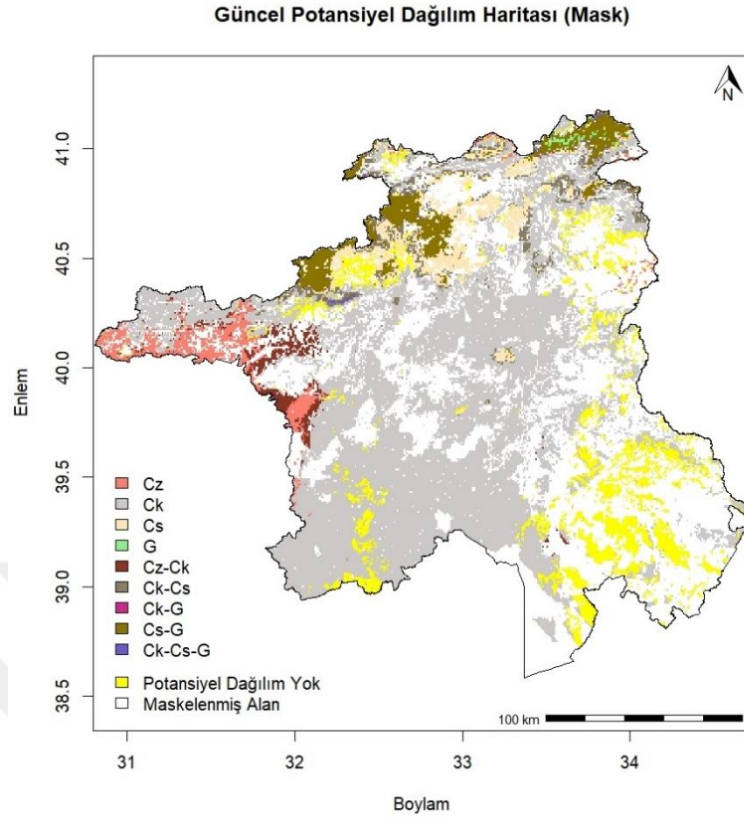
4.10.1. Tüm Türler Birlikte Güncel Durum (WorldClim sürüm 2.1)

Referans dönem (1970-2000) verilerine göre üretilen kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerine ait potansiyel dağılımları gösterir haritalar çalışma alanı düzeyinde birleştirilerek tüm türlerin potansiyel dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.154; Şekil 4.155).

Güncel potansiyel dağılımlar kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türleri için sırasıyla 208.729,83 ha, 2.878.491,96 ha, 212.208,81 ha ve 7.522,14 ha olarak hesaplanmıştır. Türlerin potansiyel dağılım alanlarının birlikte haritalanması sonucu birden fazla tür için potansiyel olabilecek alanlar kızılçam-karaçam için 115.366,63 ha, karaçam-sarıçam için 127.671,42 ha, karaçam-göknar için 649,82 ha, sarıçam-göknar için 157.875,46 ha ve karaçam-sarıçam-göknar türleri için potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilen alan 7.560,19 ha'dır (Tablo 4.34).



Şekil 4.154: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte güncel potansiyel dağılım haritası.



Şekil 4.155: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş güncel potansiyel dağılım haritası.

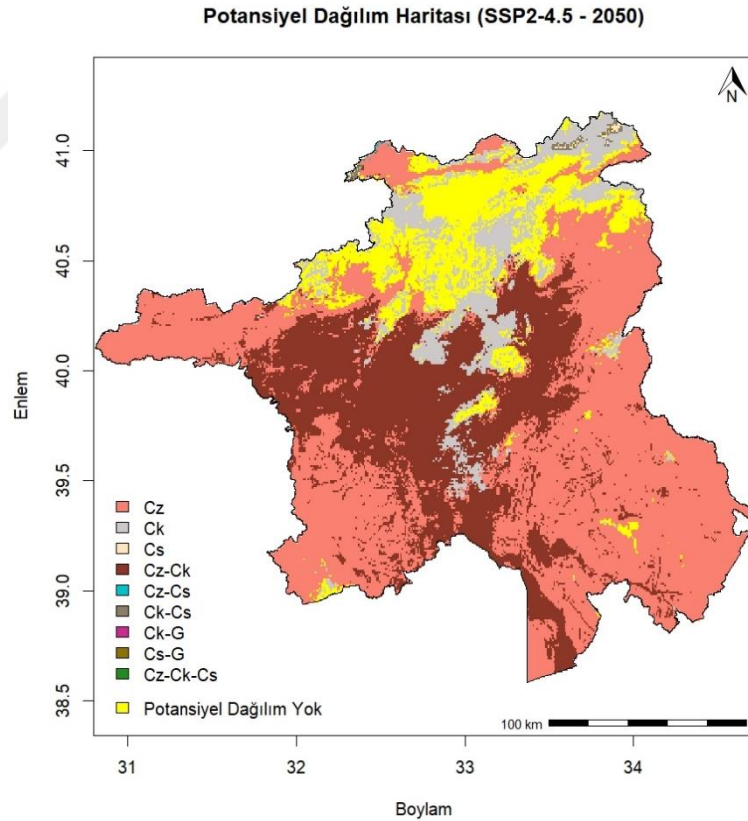
Tablo 4.34: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte referans döneme (1970-2000) göre günümüze ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (Güncel)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	208.729,83	987	243	119.241,14	987	260
Çk	2.878.491,96	1.686	552	1.819.495,41	1.686	558
Çs	212.208,81	1.984	849	145.792,37	1.984	879
G	7.522,14	2.126	1.306	7.198,07	2.126	1.306
Çz-Çk	115.366,63	1.274	513	62.487,40	1.274	513
Çk-Çs	127.671,42	1.779	856	98.250,08	1.736	856
Çk-G	649,82	1.598	1.277	519,94	1.598	1.277
Çs-G	157.875,46	2.448	1.338	150.120,24	2.448	1.338
Çk-Çs-G	7.560,19	1.672	1.280	7.169,38	1.672	1.280
Potansiyel Dağılım Yok	860.750,16	2.088	536	369.196,53	2.088	536

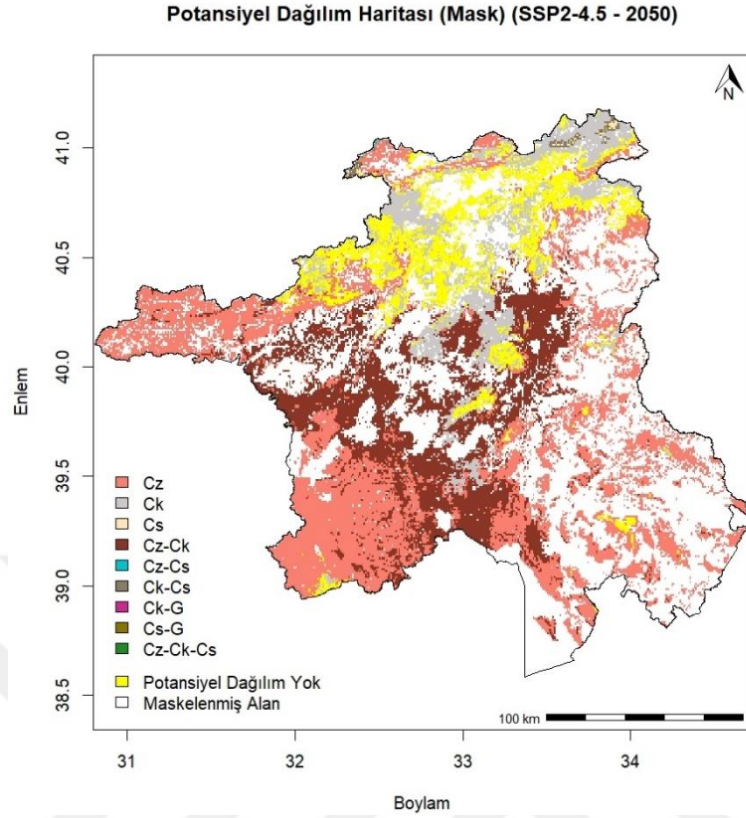
4.10.2. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2050)

İklim değişikliği ile ilgili en güncel senaryolar olan SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre 2050 yılında incelenen dört türün potansiyel dağılımları Şekil 4.156-Şekil 4.159’da gösterilmiştir. Buna göre SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için türlerin 0,50’den daha yükske bulunma olasılığı olan alanlar kızılçam için 2.302.609,58 ha, karaçam için 440.637,84 ha ve sarıçam için 4.280,71 ha olarak hesaplanmıştır. Birden fazla tür için potansiyel olabilecek alanlar değerlendirildiğinde, kızılçam-karaçam için 1.274.705,23 ha, kızılçam-sarıçam için 1.038,32 ha, karaçam-sarıçam için 9.600,36 ha, karaçam-gökmar için 130,77 ha, sarıçam-gökmar için 648,19 ha ve kızılçam-karaçam-sarıçam türleri için 324,71 ha’lık alan potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilmiştir (Tablo 4.35).

SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılında kızılçamın potansiyel dağılım alanı SSP2-4.5 senaryosuna göre azalırken, karaçamın artmaktadır. Her iki senaryoda da Kazdağı gökmarının tek başına bulunabileceği alan bulunmamaktadır (Tablo 4.36).



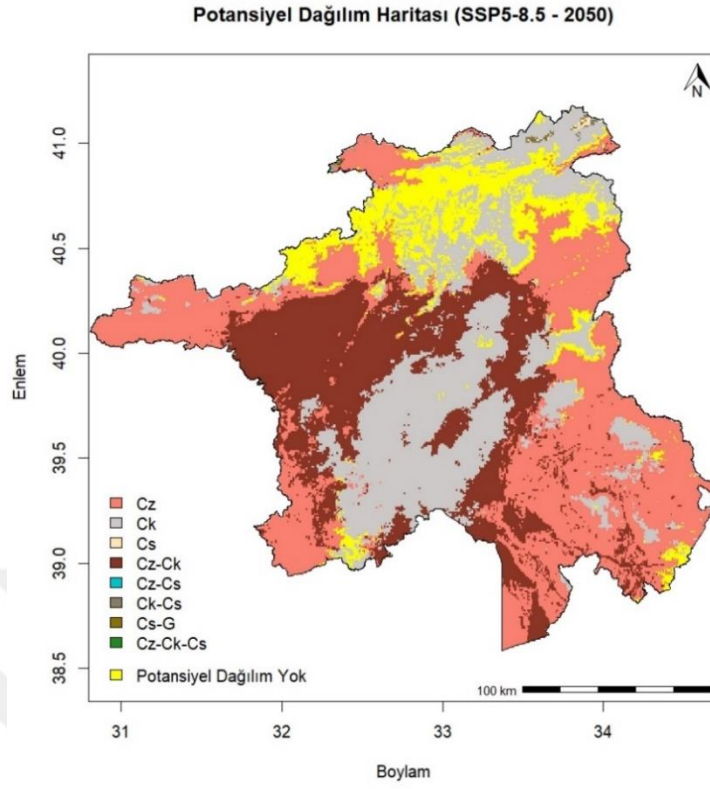
Şekil 4.156: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü’nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı gökmarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.



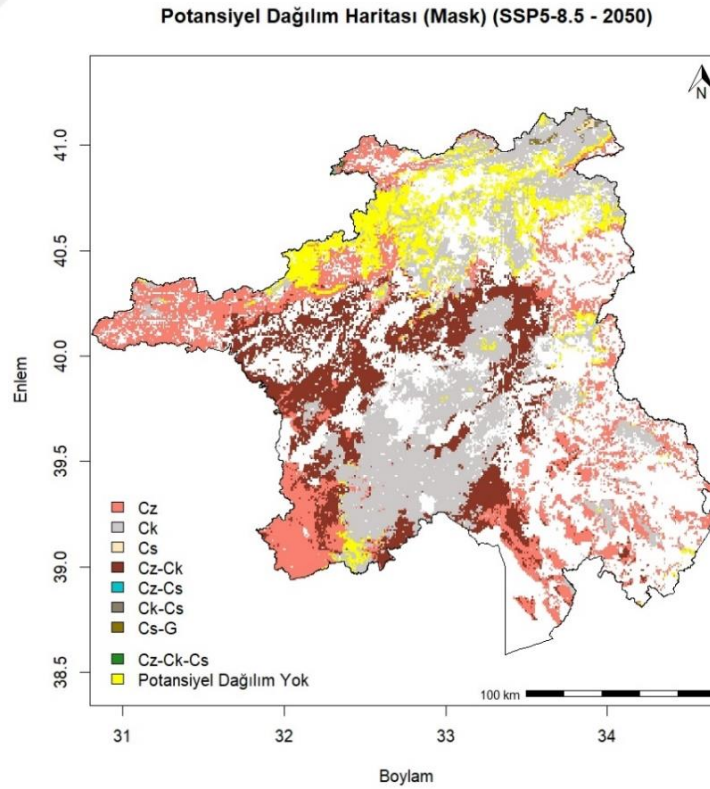
Şekil 4.157: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.35: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP2-4.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (SSP2-4.5 – 2050)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	2.302.609,58	1.633	243	1.265.061,55	1.633	260
Çk	440.637,84	2.088	732	355.049,50	2.088	752
Çs	4.280,71	2.351	1.442	4.215,87	2.351	1.442
Çz-Çk	1.274.705,23	1.669	461	754.165,50	1.669	474
Çz-Çs	1.038,32	1.548	1.178	973,39	1.548	1.184
Çk-Çs	9.600,36	2.217	1.439	9.535,37	2.217	1.439
Çk-G	130,77	1.888	1.880	130,77	1.888	1.880
Çs-G	648,19	2.448	2.217	648,19	2.448	2.217
Çz-Çk-Çs	324,71	1.465	1.436	324,71	1.465	1.436
Potansiyel Dağılım Yok	542.850,70	1.984	778	389.365,72	1.984	783



Şekil 4.158: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.



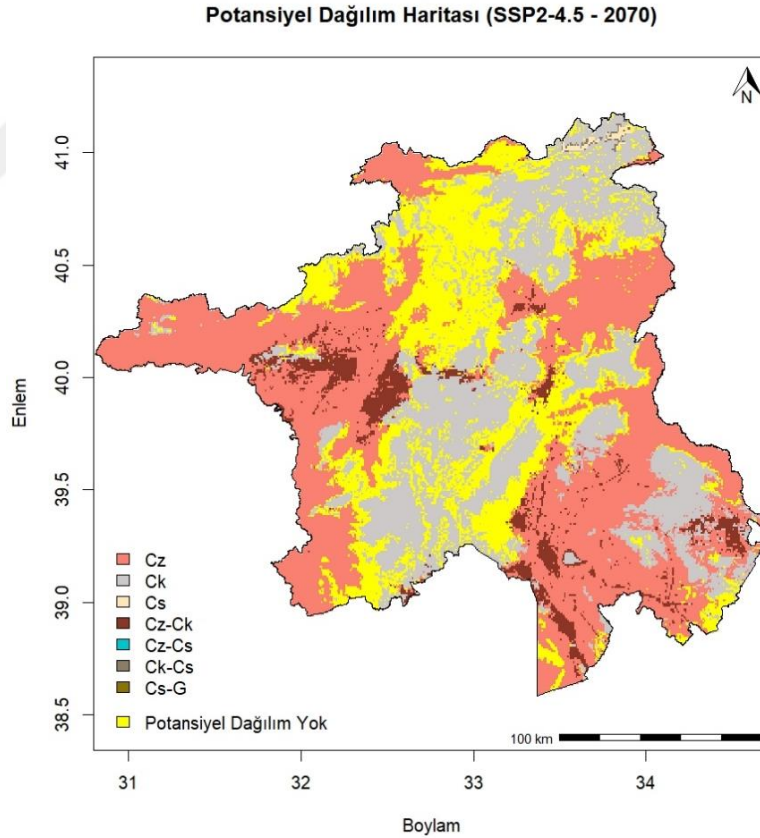
Şekil 4.159: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2050 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.36: Kızılcım, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP5-8.5 senaryosu için 2050 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (SSP5-8.5 – 2050)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	1.675.402,91	1.604	243	822.624,81	1.604	260
Çk	1.220.980,74	2.096	537	950.845,13	2.096	809
Çs	3.956,98	2.310	921	3.892,14	2.310	921
Çz-Çk	1.160.542,82	1.615	461	666.266,98	1.615	471
Çz-Çs	584,66	1.589	1.103	584,66	1.589	1.103
Çk-Çs	5.251,90	2.185	960	5.251,90	2.185	960
Çs-G	1.102,12	2.448	2.168	1.102,12	2.448	2.168
Çz-Çk-Çs	519,76	1.662	1.499	519,76	1.662	1.499
Potansiyel Dağılım Yok	508.484,52	1.984	575	328.383,06	1.984	575

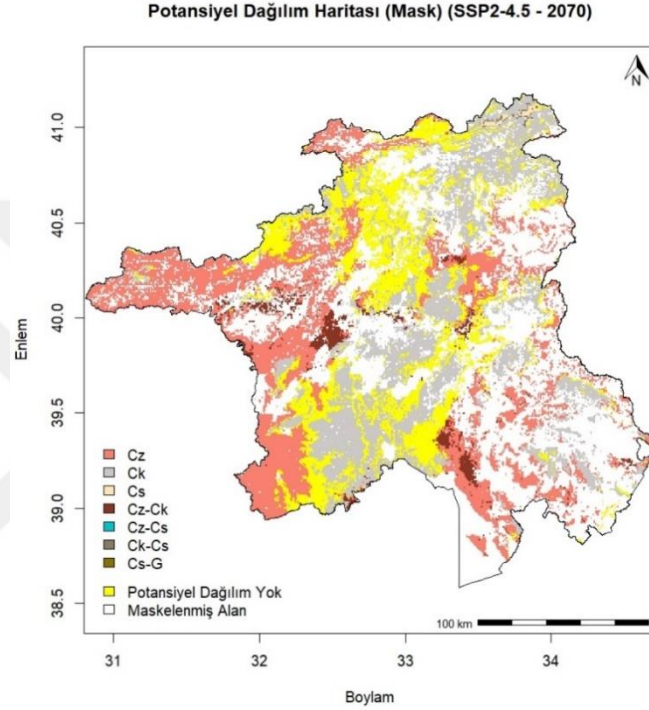
4.10.3. Tüm Türler Birlikte Gelecekteki Durum (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5-2070)

Ortak sosyo-ekonomik rota senaryolarından SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 için de incelenen dört türün 2070 yılındaki birleştirilmiş dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.160- Şekil 4.163).



Şekil 4.160: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılcım, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.

Çalışma kapsamında geliştirilen tür dağılım modelinin SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için uygulanması sonucunda çalışma alanının 1.950.088,34 ha'ı kızılçam, 1.300.488,73 ha'ı karaçam ve 9.014,96 ha'ı sarıçam ağaç türü için potansiyel dağılım alanı olarak bulunmuştur. 238.381,73 ha kızılçam-karaçam, 64,85 ha kızılçam-sarıçam, 5.970,22 ha karaçam-sarıçam ve 194,34 ha sarıçam-göknar türleri gibi birden fazla tür için potansiyel dağılım alanı olarak tahmin edilmiştir. (Tablo 4.37).

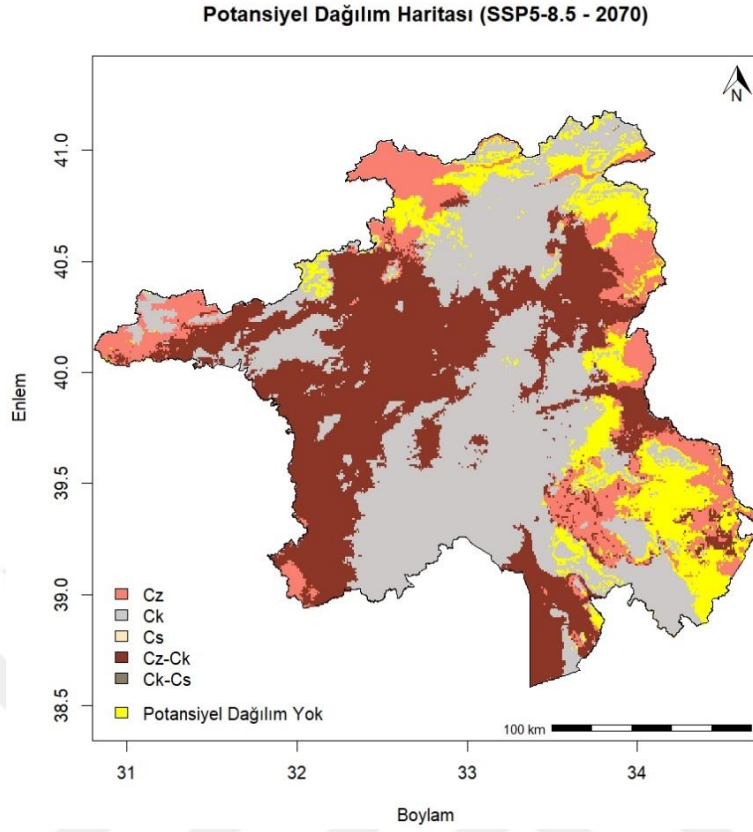


Şekil 4.161: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP2-4.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

Tür dağılımının mümkün olmayacağı alanların maskelenmesi sonucunda elde edilen potansiyel dağılıma ilişkin alan (ha) ve yükselti (m) aralık değerleri Tablo 4.37'de verilmiştir.

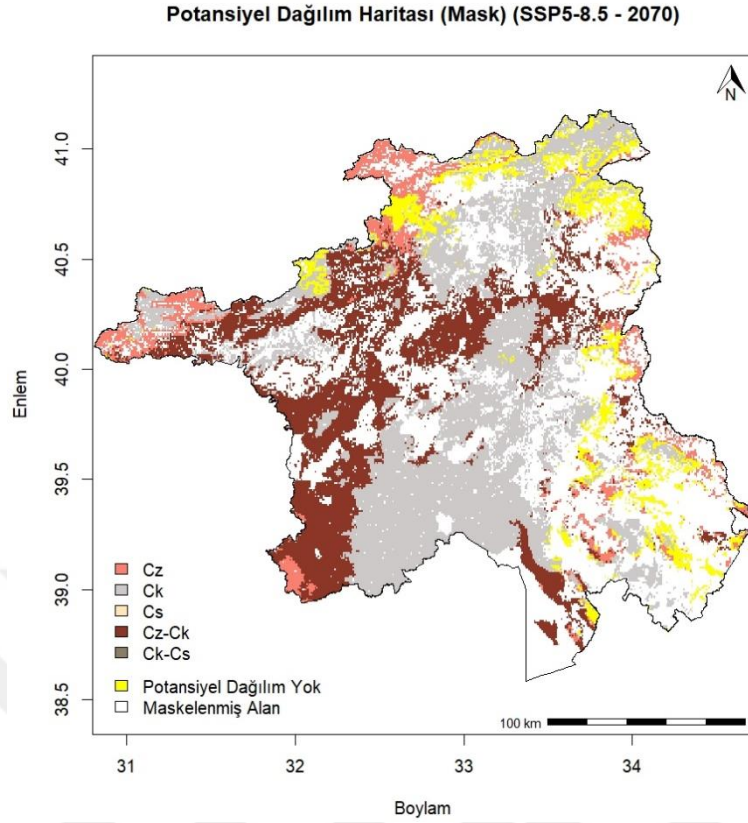
Tablo 4.37: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP2-4.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (SSP2-4.5 – 2070)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00	Yükselti		0,50–1,00	Yükselti	
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	1.950.088,34	1.604	243	1.045.060,85	1.604	260
Çk	1.300.488,73	2.070	514	890.344,88	2.070	529
Çs	9.014,96	2.448	1.067	8.816,45	2.448	1.619
Çz-Çk	238.381,73	1.662	466	99.520,83	1.662	509
Çz-Çs	64,85	1.443	1.443	64,85	1.443	1.443
Çk-Çs	5.970,22	2.079	1.086	5.771,71	2.079	1.619
Çs-G	194,34	2.365	2.251	194,34	2.365	2.251
Potansiyel Dağılım Yok	1.072.623,25	2.100	525	729.696,65	2.100	525



Şekil 4.162: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte potansiyel dağılım haritası.

SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılında çalışma alanında Kazdağı göknarına uygun alanlar kalmamaktadır. Kızılçamın tek başına dağılım gösterebileceği alanlar ise SSP2-4.5 senaryosuna göre önemli ölçüde azalmaktadır (Tablo 4.38).



Şekil 4.163: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde SSP5-8.5 senaryosuna göre 2070 orta yılı için kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte maskelenmiş potansiyel dağılım haritası.

Tablo 4.38: Kızılçam, karaçam, sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin birlikte SSP5-8.5 senaryosu için 2070 orta yılına ait potansiyel dağılım alanları (ha) ve yükselti aralıkları (m).

Türler (SSP5-8.5 – 2070)	Normal			Maskelenmiş		
	0,50–1,00		Yükselti	0,50–1,00		Yükselti
	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)	Alan (ha)	Maks. (m)	Min. (m)
Çz	614.740,05	1.733	243	287.689,03	1.733	260
Çk	1.837.359,57	2.310	351	1.292.809,25	2.310	351
Çs	194,40	2.448	2.366	194,40	2.448	2.366
Çz-Çk	1.576.290,36	1.662	378	912.660,49	1.662	378
Çk-Çs	194,35	2.395	2.351	194,35	2.395	2.351
Potansiyel Dağılım Yok	548.047,67	2.329	253	285.923,04	2.329	353

5. TARTIŞMA

Ağaç türlerinin yeryüzündeki dağılımı, iklim, toprak ve topoğrafya değişkenlerinin bir fonksiyonudur (Meier ve diğ., 2010; Hanewinkel ve diğ., 2013). Bunlardan iklim dağılımı tür yayılışını daha geniş alanlarda etkilerken topoğrafya ve toprak ise küçük alanlarda ön plana çıkmaktadır. Diğer bir ekolojik faktör olan canlılar ve canlılar arasındaki ilişkiler de (örneğin rekabet gibi) dağılımı etkileyebilmektedir.

İklim ve toprak özelliklerinde zamansal değişikliklerin olması muhtemel iken, topoğrafik değişkenlerde değişim meydana gelmesi kolay bir süreç değildir. Bu çalışmada tür dağılım modeli elde edilmesinde iklimsel ve topoğrafik değişkenler kullanılmış, toprak değişkeni topraklara dair veri eksikliği nedeniyle modellerde kullanılmamıştır. Modellerin iklim değişikliği senaryolarına göre gelecek dönemlere yaygınlaştırılması planlandığından elde edilen modellere zamansal değişkenlik gösteren iklim verileri uygulanmış ve gelecek potansiyel dağılımlar modellenmiştir.

Geliştirilen tür dağılım modellerinde ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) değeri 0,50-0,70 arasında ise düşük, 0,70-0,90 arasında ise orta ve 0,90'dan büyük ise modelin yüksek performansa sahip olduğu değerlendirilmiştir (Swets, 1988; Manel ve diğ., 2001; Shrestha ve Bawa, 2014). Bu çalışmada kızılçam ağaç türü için geliştirilen hem RCP hem de SSP senaryoları temelli modellerde ROC eğrisi AUC değerleri 0,90'dan büyük olduğundan model performansları yüksek kabul edilmektedir.

Kızılçam tür dağılım modeline en fazla katkı sağlayan değişken Bio6 (en soğuk ayın minimum sıcaklığı) değeri arttıkça kızılçamın bulunma olasılığının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şeki 4.5.a). Kızılçamın gelişiminde genellikle yağış, sıcaklık, eğim ve anakayanın etkileşimi belirleyici olmaktadır (Boydak ve diğ., 2006). En soğuk ayın minimum sıcaklığının -4°C 'nin altına düştüğü yerlerde türün bulunma olasılığının olmadığı tahmin edilmektedir.

Kızılçam daha az termofiliktir (minimum sıcaklık -5 ile 10°C arasında), ancak daha fazla su ister (yıllık yağış miktarı 400 ila 1.300 mm arasında değişen nemli/yarı nemli iklimlere ihtiyaç duyar). Bu türün rakım sınırları 0 ile 600 m arasındadır, ancak doğal yayılışının güney

kesiminde 1.200-1.400 m'ye (Türkiye'de Toroslarda 1.650 m) ulaşabilir (Chambel ve diğ., 2013).

Mevsimsel yağış değişkenliğinin az olduğu durumlarda kızılçamın bulunma olasılığı yüksek iken, mevsimsel yağış değişkenliği arttıkça türün bulunma olasılığının düştüğü görülmektedir. Yağış değişkenliğinin tür dağılımı üzerinde güçlü bir etkisi olması sebebiyle, yağış değişkenliği yüzdesinin yüksek olduğu yerlerde yağış anormalliklerinden bahsedilebilir ve yağış ortalamalarında düzensizlikler görülebilmektedir. Yüzde ne kadar büyükse yağış değişkenliğinin o kadar fazla olduğu belirtilmektedir (O'Donnell ve Ignizio, 2012). Ülkemizde kızılçam dağılım alanlarında yıllık ortalama 400-2.000 mm arasında yağış görülmektedir (Atalay ve Efe, 2015). Buna göre nemli ve yarı kurak bölgelerde yetişebilen kızılçam yağış miktarının artmasından olumlu etkilenmekte iken yağış değişkenliğinin artması ise olumsuz etkiye sahiptir.

RCP senaryosu temelli kızılçam modelinin, hata payı oranları ve model başarısı dikkate alındığında Bio6, PET Nemli Çeyrek ve Bio15 değişkenleri ile modelin istenilen ve yüksek doğrulukta tahminleri yapabilmeye yeterli olduğu görülmektedir. Kızılçam türünün güncel dağılım alanları ile model sonucu tahmin edilen potansiyel dağılım alanları arasında bir uyum söz konusudur. Ancak çalışma alanında kızılçam çoğunlukla Sakarya Nehrinin oluşturduğu vadilerde bulunmaktadır. Bu durum vadilerden deniz etkisinin iç kesimlere kadar sokulması ve buralarda lokal iklim koşullarının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Tür dağılım modellerinde bu gibi lokal iklim farklılıklarının ortaya konulabilmesi çok mümkün değildir. Atalay ve Efe (2015) Karadeniz ardı bölgelerde Kızılırmak Nehri'nin kollarından olan Devrez Çayı vadilerinin alçak kısımlarında kümeler halinde kızılçam yayılışından bahsetmektedirler. Çankırı ilinin kuzeydoğusunda bulunan bu alan model sonucu elde edilen haritada da potansiyel dağılım alanı olarak sınıflandırılmıştır. Bu durum Bio6, PET Nemli Çeyrek ve Bio15 değişkenlerinin kızılçam türünün potansiyel dağılımını belirlemede oldukça başarılı olduğu şekilde yorumlanabilir. Ancak yine de vadilerde deniz etkisinin iç kesimlere girişi modellerle tam olarak belirlenemediği için gelecekteki dağılım öngörülerine tedbirli yaklaşmak gerekecektir.

SSP senaryosuna göre geliştirilen kızılçam tür dağılım modelinin hata payı oranları ve model başarısı dikkate alındığında ise Bio15 değişkeninin her iki nihai modelde yer aldığı ve diğer modelden farklı olarak kasım ayı minimum sıcaklığı ve Bio8 değişkenleri ile modelin yüksek

performanslı tahminleri yapabilmeye yeterli olduğu görülmektedir. Modele en fazla katkı sağlayan değişken olan kasım ayı minimum sıcaklığı değerinin artması kızılçamın bulunma olasılığında önemli bir artış göstermektedir (Şekil 4.22.a).

Kızılçamın gelecek dönem iklim koşulları altında kuzey enlemlere ve yüksek rakımlara doğru kayması ile bazı bölgelerde iç vadilerde yayılış göstermesine yönelik tahminler Yalçın (2012) tarafından tüm ülke geneli için yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir.

Karaçam ağaç türü için geliştirilen hem RCP hem de SSP senaryoları temelli tür dağılım modellerinde ROC eğrisi AUC değerleri 0,70 ile 0,90 arasında olduğu için modelin orta düzeyde bir performansının olduğu söylenebilir.

Karaçam dağılımının görüldüğü alanlarda yıllık ortalama sıcaklık İç Anadolu Bölgesi'nde 12 °C'ye, yüksek dağlık kesimlerde ise 6 °C'ye kadar düşmektedir (Atalay ve Efe, 2010). Model sonuçlarında bakı uygunluk indeksinin karaçamın dağılımına etkisi incelendiğinde, güney bakılarda türün bulunma olasılığının azaldığı, kuzey bakılarda ise daha yüksek bulunma olasılığına sahip olduğu görülmektedir. Atalay ve Efe (2010; 2015) karaçamların kuzey bakılarda güney bakılı alanlara göre hem alansal olarak fazla yayılış gösterdiğini hem de gelişim yönünden daha iyi performans sergilediklerini ifade etmişlerdir.

Karaçam yörede ağaçlandırma çalışmalarında fazla tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında tespit edilebilen ağaçlandırma sahaları türün bulunma verisinde kullanılmamıştır. Bunun sebebi ise bu sahaların türün yayılış gösterdiği alanlar olarak modele dâhil edilmesi halinde, türün doğal yayılış sınırlarının dışındaki sahaların potansiyel dağılım alanları arasında yer alabilecek olmasıdır. Tür dağılım modeli çalışmalarında türün tolerans aralığını doğru tayin edebilmek potansiyel dağılım alanlarının belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Aksi takdirde uygun olmayan alanlarda potansiyel olarak sınıflandırılabilir. Bu durum hatalı uygulamalara yol açabilmektedir. Örneğin, sıcaklık artışları ve azalan yağışlarla birlikte artan kurak koşullarda Güney İspanya'da ağaçlandırma sahalarındaki karaçamların doğal meşcerelere göre büyümesinde düşüşler ve şiddetli kurak dönemler sonrası yoğun ibre kaybı yaşanmıştır (Sánchez-Salguero ve diğ., 2013). Yazarlar gözlemlenen bu etkilerin dikim yoluyla kurulan karaçam meşcerelerinin kuraklık stresine karşı daha savunmasız ve düşük direnç sahip olmasından kaynaklandığını ifade etmektedirler. Ülkemizde benzer bir durum Trakya'daki karaçam ağaçlandırmalarında yaşanmaktadır. Son 5-6 yıldır karaçam ağaçlandırmalarında yaşanan kurumaların nedeni tam olarak belirlenemese de yörenin doğal türü olmayan

karaçamların kurumasında iklim değişikliğinin etkisi olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak karaçamların orijinlerine dair kayıtlar tutulmadığı için bu değerlendirmenin doğruluğu da tartışmaya açıktır.

Ağaç büyümesinin iklimden nasıl etkilendiğinin araştırıldığı Batı Toros’larda Sandıras Dağı’nın güney ve kuzey yamaçlarının alt ve üst yükseltilerinde yaşlı karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen yıllık halka incelemesi çalışmaları neticesinde, büyüme mevsiminin başında artan sıcaklık ve yüksek yağışlar karaçam gelişimini olumlu etkilerken, yüksek yaz sıcaklıkları neticesinde artan kuraklığın karaçam yetiştirme ortamının alt sınırında bulunan meşcerelerde karaçam ağaçlarının gelişimini belirgin şekilde sınırlandırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma dağlık alanlarda yürütüldüğü için alt ve üst orman sınırlarından alınan örneklerden türün yükseltiye bağlı iklime tepkilerinin net şekilde ayrıldığı görülmüştür. Buna göre karaçam meşcerelerinde alt sınırlardaki bireylerin, üst sınırlarda yetişen bireylere göre iklimde meydana gelen değişkenliğe karşı daha duyarlı olduğunu tespit edilmiştir (Doğan ve Köse, 2019). Ülkemizde yine iklim değişikliği etkisiyle artan sıcaklıklarla kurak dönemlerin artacağı dikkate alındığında, bu durumun karaçamları olumsuz etkileyeceği (Janssen ve diğ., 2018; Köse, 2019), özellikle İç Anadolu Bölgesi’nde stepe geçiş zonu ve Akdeniz Bölgesi’nde karaçam yetiştirme ortamlarının alt sınırlarında önemli etkiye sahip olacağı tahmin edilmektedir (Köse, 2019). Bu çalışmada geliştirilen model sonuçlarında da karaçamlar için alt sınırlarda değişimler olacağı öngörülmektedir. Bizim model sonuçlarımızda ek olarak kızılçam ve karaçam türlerinin yüksek rakımlarda daha fazla yayılış alanı bulacağı yönünde sonuçlar ön plana çıkmaktadır.

Kızılçam ve karaçam türleri çalışma alanında potansiyel dağılım alanlarında gelecekte kaymalar beklense de en geniş yayılışa sahip ağaç türleridir. Bu nedenle İç Anadolu’daki ormanlaştırma ve yeniden ormanlaştırma çalışmalarında kullanılmaları önerilebilir. Ancak bu konuda yukarıda da değinildiği üzere özellikle ağaçlandırma çalışmalarında orijine dikkat edilmesi türlerin bozkırlara sokulan meşcerelerin tohum kaynağı olarak kullanılmasına dikkat edilmelidir.

ROC eğrisi AUC değerleri hem RCP hem de SSP senaryolarına dayanan modellerde 0,90’dan fazla olan sarıçam ağaç türü için geliştirilen tür dağılım modeli performansı bu nedenle yüksektir.

RCP ve SSP senaryolarına göre sarıçam ağaç türü için geliştirilen her iki tür dağılım modelinin açıklayıcılığında en fazla etkiye sahip olan kasım ayı minimum sıcaklığının yüksek olduğu

alanlar sarıçamın bulunma olasılığını olumsuz etkilemektedir. Modellerde yer alan değişkenlerden kasım ayını minimum sıcaklığı, Bio3, Bio4 ve Bio8 değişkenleri her iki tür dağılım modelinde ortak değişken olarak katkı sağlamıştır. Sarıçamlar ülkemizde genellikle sıcaklığın en düşük olduğu, kar yağışının etkili olduğu ve yüksek sıcaklıkların 30°C'nin üzerine nadiren çıktığı alanlarda optimum gelişim gösterir. Sarıçamın optimum yetiştirme ortamlarında ortalama sıcaklıklar ocak ayı için -5°C/-10°C, temmuz ayı için 15°C/17°C arasında değişmektedir (Atalay ve Efe, 2012). Avrupa'da yaygın olarak bulunan ve ekonomik değeri olan sarıçam ve ladin türlerinde bölgesel ağaç ölümleri gözlenmektedir. Birçok araştırmacı tarafından bu ağaç ölümlerinin sebebinin artan sıcaklıklar ve kuraklıklar olduğu düşünülmektedir (Buras ve diğ., 2018; Buras ve Menzel, 2019). Avrupa'da sarıçamın güney yayılış sınırlarında yakın geçmişte yaşanan şiddetli kurak dönemlerle birlikte artan kurumalar gözlenmiştir (Buras ve Menzel, 2019). Sarıçamlarda kuzeydeki kısıtlayıcı faktör sıcaklık iken, güney sınırı edafik ve nem koşulları tarafından belirlenme eğilimindedir (Krakau ve diğ., 2013).

RCP senaryoları temelli sarıçam tür dağılım modeli için en yüksek etkiye sahip ikinci değişken olan potansiyel buharlaşmanın artış göstermesinin türün dağılımında önemli bir kısıt olduğu tahmin edilmektedir. SSP senaryolarına dayanan modeldeki en yüksek etkiye sahip ikinci değişken olan ocak ayı yağış miktarında görülen artış sarıçam dağılımına olumlu etki etmektedir. Bu bağlamda Atalay ve Efe (2012)'nin buharlaşmanın fazla olduğu ve kuraklığın yoğun görüldüğü karasal yetiştirme ortamlarında sarıçamın yayılışı olumsuz etkilendiğini ifade etmeleri model sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Reich ve Oleksyn (2008) Avrupa'da 90 bölgede yetişen 283 popülasyondan elde edilen veriler yardımıyla küresel ısınmanın sarıçamın büyümesi ve hayatta kalması üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma sonuçlarına göre geniş bir coğrafik yayılış aralığına sahip olan sarıçam ağaç türünün ısınmanın kuzey enlemlerde soğuk stresi ve ağaç büyümesindeki sınırlamaları azaltıcı etkisiyle avantaj sağlayacağı fakat güney enlemlerde diğer türlerin rekabet koşullarını artırması neticesinde ise sarıçamlar için dezavantaj sağlayacağı ifade edilmektedir. Yine benzer şekilde Mátyás ve diğ. (2004)'de iklim değişikliğinden öncelikli olarak güney uç yayılışların etkileneceğini ifade etmişlerdir. Model sonuçları da izotermalite ve mevsimsel sıcaklıklardaki artışın türün dağılımı üzerinde belirgin olumsuz etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu çalışma özelinde de güney yayılışlarda iklim değişikliği etkisiyle çekilmeler olacağı tahmin edilmektedir. Dünya üzerinde oldukça geniş bir yayılışa sahip olan sarıçam türü için ülkemiz türün dünyadaki güney yayılış alanları arasında yer

almaktadır. Bu nedenle türün güvence altına alınması için koruma önlemlerinin alınması uygun olacaktır.

Kazdağı göknarı için geliştirilen hem RCP hem de SSP senaryolarına dayanan tür dağılım modellerinde kızılçam ve sarıçam türlerinde olduğu gibi ROC eğrisi AUC değerleri 0,90'dan büyüktür ve bu nedenle model performansı yüksektir.

RCP ve SSP senaryoları temelli geliştirilen Kazdağı göknarı tür dağılım modelleri farklı sayıda değişkenlerden meydana gelmiş olup en yüksek katkıyı sağlayan bazı değişkenler aynıdır. Her iki modelde en yüksek katkıyı sağlayan ortak değişkenlerden izotermalite, kasım ayı minimum sıcaklığı, mevsimsel sıcaklık ve en yağışlı üç ayın ortalama sıcaklığı gibi iklimsel değişkenlerin tümünde artan sıcaklıkların Kazdağı göknarı türünün yayılışında olumsuz bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Zeydanlı ve diğ. (2010) tarafından Adana Seyhan Havzası'nda yapılan model çalışma sonuçlarında kurak dönemlerdeki uzun ve sıcak yaz aylarının göknar türlerinin hayatiyetlerini devam ettirmede önemli sorunlar oluşturacağı ifade edilmektedir. Genellikle yazların yağışlı ve serin yazların geçtiği, hava neminin yüksek olduğu yerleri tercih eden göknar türlerinin iklim değişikliği etkisiyle yayılışlarına ilişkin Zeydanlı ve diğ. (2010)'nin tahminleri bu çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

İklim değişikliği etkisiyle ülkemizde yayılış gösteren asli orman ağacı türlerinde önemli değişiklikler olması beklenmektedir. Dikkat çeken değişikliklerin başında, ısınan hava ve değişen yağış miktarları ile kızılçamın daha geniş yayılış alanı bulabileceği iken, daha serin ve nemli hava isteyen sarıçam ve göknar türlerinin ise alandan kaybolma tehlikesi yaşayabileceği kritik tahminler arasında yer almaktadır (Reich ve Oleksyn, 2008; Zeydanlı ve diğ., 2010; Yalçın, 2012; Krakau ve diğ., 2013; Buras ve Menzel, 2019). Çalışma alanımızdaki sarıçam ve Kazdağı göknarı türlerinin de gelecekte yayılış alanlarının önemli bir kısmını kaybedeceği, hatta kötümser senaryolara göre çalışma alanında Kazdağı göknarı için uygun alan kalmayacağı sonucuna ulaşılmış olup, sıralanan bu literatür ile uyumludur. Diğer yandan ülkemizde halen göknar türlerinde çeşitli böcek zararları, devrikler ve ökse otu nedeniyle sorunlar olduğu bilinmektedir. Örneğin çalışma alanımızda kalan Ilgaz Dağlarında *Cryphalus picea*, *Ips acuminatus*, *Orthotomicus erosus*, *Pityogenes quadridens*, *Ips (Pityokteines) curvidens*, *Trypodendron lineatus* ve *Pissodes piceae* türleri göknar ormanlarında gözlenmiştir (Şimşek ve Öner, 2003).

Geliştirilen tür dağılım modellerine göre tüm türler için kuzey enlemlere doğru bir yöneliş ve yüksek rakımlara doğru bir hareket söz konusu olabileceği model sonuçlarında karşımıza çıkmaktadır. Yayılış alanlarının kuzeye doğru genişlemesi ve artan kış sıcaklıkları bazı türler için avantaj oluşturabilecektir. Nitekim, Avrupa’da yürütülen bazı çalışmalarda kurak koşullara daha iyi adapte olabilme kabiliyeti nedeniyle tüylü meşenin sarıçamdan boşalan alanlarda potansiyel olarak yer alabileceği rapor edilmiştir (Buras ve Menzel, 2019). Ancak çalışma alanımızda meşelere ait envanterler cins bazında tutulduğu için çalışma alanımızda sarıçamın terk ettiği alanlara tüylü meşe türünün gelip gelemeyeceği konusunda bir değerlendirme yapılamamıştır. Ülkemizde orman amenajman planlarında meşelerin tür bazında envanteri yakın zamanda başlamıştır. Bu nedenle ileriki yıllarda meşe türlerinin de güncel ve gelecekteki potansiyel dağılımlarının modellenmesi gerekmektedir.

Dyderski ve diğ. (2018) ağaç türlerinin iklim değişikliğine karşı tepkilerini “kazananlar”, “kaybedenler” ve “yabancı türler” olarak üç gruba ayırmaktadır. Değişen iklim ile bazı ağaç türlerinde ölümler ve yok oluşlar beklenirken, diğer taraftan yeni türlerin yayılış göstermesine imkân verecek olmasıyla, yöredeki ağaç türü çeşitliliğinde değişiklikler meydana getirebileceği de olumlu görüşler arasında yer almaktadır (Buras ve Menzel, 2019).

İklim değişikliğinin ağaç türü dağılımında değişiklikler meydana getirmesi elbetteki uzun dönemli bir sonuç olacaktır bu nedenle ormanlarımızın ve ormancılığımızın bu süreçlere hazırlıklı olması gerekmektedir. Bu amaca hizmet edecek en etkin yöntemlerden biri de tür dağılım modellemesi çalışmalarıdır. Tür dağılım modelleri, iklim değişikliğinin türler üzerindeki etkileri, doğa koruma planlamaları, biyocoğrafya çalışmaları, yaban hayatı ve nadir tür yönetimi gibi birçok alanda etkin şekilde kullanılmaktadır (Araujo ve Guisan, 2006; Bucklin ve diğ., 2015; Navarro-Cerrillo ve diğ., 2018).

Hangi türlerin veya bölgelerin iklim değişikliğine karşı en fazla risk altında olduğunu belirlemek için, aşırı uçlar ve bitkilerin hangi süreçlerinde hassasiyeti olduğu hakkındaki bilgiler büyük önem taşımaktadır (Reyer ve diğ., 2013).

Tür dağılım modeli çalışmalarında amaca hizmet edecek en önemli veri kaynağını açıklayıcı değişkenler oluşturmaktadır ve ekolojik modellemelerde kullanılabilecek değişken sayısı da oldukça fazladır. İklimden topoğrafik değişkenlere birçok değişken bu çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu değişkenlerin birçoğunun arasında otokorelasyon söz konusudur. Bu nedenle modelleme çalışmalarında aralarında bağlantı problemi olan değişkenlerin elenerek en

az sayıda değişkenle modelleme aşamasına geçmek büyük önem arz etmektedir (Peterson ve diğ., 2007).

Modelleme çalışmalarında açıklayıcı değişkenlerin en önemli veri kaynağı olmasının yanı sıra birtakım zorlukların kaynağı olması da üzerinde durulması gereken önemli bir husustur. Tür dağılım modeli geliştirmede karşılaşılan zorlukların başında kullanılacak açıklayıcı değişken seçimi gelmektedir (Araujo ve Guisan, 2006). Değişken seçiminden çıktılarına kadar modelleme çalışmalarında birçok süreç her zaman tartışmalara konu olmuştur. Tür dağılım modellerinde iklim ve topoğrafya değişkenlerinin yaygın olarak kullanılması buna karşılık biyotik değişkenlerin hesaba katılmaması en fazla eleştirilen konulardandır (Meier ve diğ., 2010). Bazı araştırmacılara göre türlerin yayılışı ve büyüklüğünde iklim tek başına etkili değildir (Soberon, 2007), bazılarına göre ise türlerin yayılışı ile iklim koşulları arasında oldukça güçlü bir ilişki mevcuttur ve uygun habitat tahminlerinde etkili sonuçlar sağlar (Guisan ve Thuiller, 2005; Peterson ve diğ., 2007; Bucklin ve diğ., 2015). Zimmermann ve diğ. (2009) mevcut tür dağılım modelleme süreçlerinde kullanılan ortalama iklim parametrelerine iklim ekstremlerinin eklenmesinin modellerin tahmin güçlerini geliştirdiğini belirtmektedir. Pearson ve Dawson (2003) türler arası etkileşim ve toprak özellikleri gibi biyotik değişkenlerin daha yerel ve mikro ölçeklerde etkin olduğunu, iklim ve topoğrafya gibi fiziksel değişkenlerin bölgesel ölçekten itibaren daha belirleyici etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu yaklaşıma dayanarak çalışmamızda türler arası etkileşim gibi mikro ölçekte etkisi daha yüksek olan değişkenler yerine daha geniş alanlarda etkisi tespit edilebilen iklimsel ve topoğrafik parametreler tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra abiyotik ve biyotik değişkenleri eş zamanlı olarak modellere uygulamak zaman ve kaynak bakımından güçtür (Bucklin ve diğ., 2015) ve iklim değişikliği etkilerinin tahmininde modele yorumlanması güç belirsizlikler dahil edilmiş olmaktadır (Meier ve diğ., 2010). Tüm bunların yanı sıra biyotik değişkenlere dair veriler de oldukça kısıtlıdır (Almpanidou ve diğ., 2016). Bu nedenle birçok modelleme çalışmasında en güçlü ve kapsayıcı etkiye sahip değişkenler ön plana çıkarılmakta ve türler arası rekabet gibi değişkenlerin sabit kaldığı varsayılmaktadır (Guisan ve Thuiller, 2005). Böylece yorumlanması ve çıkarımlar yapılması daha kolay çıktılar elde edilebilmektedir. Biyotik değişkenlere ait elverişli bilgiler var ise bunlar sonuçların yorumlanması aşamasında uzman görüşü olarak ele alınabilir ve böylece modellerin güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirme imkânı sağlanabilir.

Çalışma kapsamı her tür için ayrı modelleme olarak planlanmış olması sebebiyle amenajman planı envanter alanlarındaki verilerden kolaylıkla varlık-yokluk verisi elde edilebilmiştir. Bu

planlara ait envanter kayıtlarında örnek alanlarda birden fazla tür bulunmasının daha sonra türlerin birlikte modellenmesi ile ilgili çalışmalarda kullanılabilecek önemli bir kaynak olduğu dikkate alınmalı ve yeni çalışmaların yürütülmesinde arazi yoğun çalışmalar yerine ciddi zaman tasarrufu sağlamaya hizmet edeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca orman amenajmanı arazi çalışmalarında toprak, ağaççık ve çalı türlerinin de kayıt altına alınması halinde gelecekte modelleme çalışmalarında toprak özelliklerinin ve gösterge türlerin de kullanılarak model başarısının artırılması imkânı bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında temin edilen bir diğer veri grubu olan jeoloji haritaları (MTA, 2011) ve toprak haritaları (KHGM, t.y.) modelleme aşamasında kullanılamamıştır. Jeoloji haritalarının çok fazla jeolojik anakaya grubu içermesi sebebiyle ağaç gelişimi üzerinde önemli etkileri olan toprak derinliği, toprak türü gibi faktörlere dayanan bir gruplandırma yapılarak modelde kullanılabilirliği denenmiş ve elverişli sonuçlar sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda jeoloji haritalarının içerdiği oldukça fazla bilginin uygun gruplandırmalar veya temsili nitelikler seçilerek modelleme süreçlerine dâhil edilmesinin olanakları araştırılmalıdır. Toprak haritaları ise jeoloji haritalarının aksine bu haritaların orman toprakları için yeterli bilgiye sahip olmaması sebebiyle kullanılamamıştır. Canlı faaliyetlerinin tümünün gerçekleştiği topraklar için orman alanlarımızda daha detaylı bilgilerin üretilmesi konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Buna Hengl ve diğ. (2017) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı bir çalışma önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Hengl ve diğ. (2017) toprak profili verilerinin ve çevresel katmanların küresel bir derlemesine dayanan dijital toprak haritalama sistemi olan SoilGrids projesini gerçekleştirmişlerdir. Bu proje kapsamında küresel boyutta organik karbon miktarı, katyon değişim kapasitesi, pH, toprak tekstürü ve toprak derinliği gibi toprak özellikleri makine öğrenmesi tekniği ile modellenerek tüm dünya için 250 m çözünürlükte raster haritalar üretilmiş ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. SoilGrids veri bankasından Türkiye toprak verilerine ulaşılması da mümkündür. Ancak küresel ölçekte toprak haritaları üretmek için oluşturulan SoilGrids'te Türkiye'ye ait veriler oldukça sınırlı sayıdaki toprak profilinden üretildiği için çalışmada kullanılmamıştır. Toprak özellikleri bölgesel ölçekte olmasa da daha küçük alanlarda türlerin yayılışı üzerinde son derece etkilidir. Örneğin çoğu orman ağacı türü tuzlu ya da jipsli topraklar üzerinde yetişmemektedir. Benzer şekilde fizyolojik toprak derinliği, taşlılık gibi toprak özellikleri de türlerin yayılışını sınırlayabilmektedir. Özellikle orman alanlarımızdaki topraklar

hakkında sayısal olarak elde edebileceğimiz kapsamlı veriler bize ileride yetiştirme ortamlarına yönelik gerçekleştirilebilecek modelleme çalışmalarında önemli katkılar sağlayacaktır.

Modelleme çalışmalarındaki en önemli hususlardan bir tanesi model sonuçlarının gerçek dünya ile uyumu ve bu bilgilerle yorumlanabilmesidir. Model sonuçlarının sadece istatistiksel sonuçlara ve değerlendirme kriterlerine göre doğru kabul etmek, özellikle doğa bilimleri gibi arasında etkileşimin fazla olduğu objeler üzerindeki çalışmalarda yanlışlara ve hatalı çıkarımlara yönelmeyi teşvik edecek ve hızlandıracaktır. Burada önemle üzerinde durulması gereken husus ekoloji bilgisinden uzaklaşmadan sonuçları ekolojik bilgiler ve gerçeklikler ile değerlendirmek ve çıkarımlar yapabilmekten geçmektedir.

Her ne kadar iklim değişikliğinin etkileri üzerine yürütülen çalışmalarda girdi olarak az sayıda iklim değişkenine sahip basit senaryoların kullanılmasının gelecekte iklim değişikliğinden kaynaklı beklenen olası değişikliklerin tam resmini çekme konusunda sınırlamalar getirdiği (Lindner ve diğ., 2014) yönünde düşünceler var olsa da, az değişkenle çıkarımlar yapmaya imkan veren model çalışmalar her zaman doğal kaynakların olası tehlikelere karşı korunmasında ve planlamasında önemli bir yere sahip olacaktır.

Delzon ve diğ. (2013) birçok türün geçmişte yaşanan iklim değişikliklerinde yayılış alanlarını kolonizasyon kabiliyetleri sayesinde yavaş yavaş genişlettiğini ve yeni alanlarda habitatlar oluşturduklarını belirtmektedirler. Fakat türlerin geçmişteki değişikliklere kıyasla bugün karşı karşıya olduğumuz şiddetini her geçen gün artıran bir süreç olan iklim değişikliği altında özellikle ağaçların düşük kolonizasyon kabiliyetleri sebebiyle geçmişteki gibi bir uyum ve yayılış göstermeyebileceklerini ifade etmektedir. Yeni alanlara adapte olabilme açısından yayılma kapasitesi tüm organizmalar için büyük önem taşımaktadır. Türlerin yaşam alanları, çevresel faktörler ve iklim değişebilir böylece türlerin yeni veya zorlu koşullarla başa çıkmak için tolerans aralıklarını değiştirmesi gerekebilir. Bir türün coğrafi dağılımının geniş olması o türün varlığını sürdürebileceği tolerans aralığının geniş olduğunu ve yeni alanlara yayılabileceğini göstermektedir (Cox ve diğ., 2020).

Bu kapsamda geçmişte çok uzun yıllarda ve yavaş yavaş değişen iklim koşullarının günümüzde çok hızlı değişmesi de diğer bir sorundur. Günümüzdeki modellemeler en uzun 21. Yüzyılın sonuna kadar yapılabilmektedir. Bu nedenle 80 yıllık bir zaman dilimi için yapılan ancak çoğu orman ağacının ömründen kısa olan modelleme süresi içinde türlerin yer değiştireceğini, kuzeye ya da dağların zirvesine doğru kayacak türlerin boşalttığı yerlere yeni türlerin geleceğini

iddia etmek de oldukça tartışmalıdır. Çünkü ağaç türlerinin yer değiştirmesi süreci tohumlarının taşınması, uygun ekolojik koşullar (iklim, toprak vb.) altında bu tohumların çimlenmesi, tohumların olgun ağaçlara dönüşerek yeni alanlara doğru yeniden ilerleme şeklinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle türlerin yer değiştirme süreci modellenen sürelerden çok daha uzun olacaktır.

İklim değişikliği etkilerine yönelik ekosistem temelli uyum stratejileri tasarlamada, türlerin doğal uyum kapasitesi ile iklim değişikliği arasındaki etkileşimlerini anlamak önemli bir yere sahip olacaktır (Reyer ve diğ., 2013). Pecchi ve diğ. (2019) ağaç türlerinin doğal yayılış alanları dışında farklı koşullar altında büyüyüp gelişebilmesinin, bu türlerin iklim değişikliğine nasıl tepki verebilecekleri anlamada önemli bir rolü olduğunu belirtmektedir. Bu kapsamda konu ile ilgilenen araştırmacılar doğal yayılış alanları dışında kurulmuş olan deneme alanlarındaki (orijin denemeleri) ağaçlara ait ölçümlerin ve değerlendirmelerin adaptasyon konusunda önemli bilgiler sağlayabileceğinin altını çizmektedir.

Hem türlerin farklı ekolojik karakterleri hem de modellemelerin sınırlı sayıda değişkenle yapılmış olmalarından dolayı tür dağılım modellemesi sonuçları bir kesinlikten orman yönetimi ve planlamasında karar destek aracı olarak değerlendirilmelidir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliğinin orman ağaçlarının dağılımını etkiyeceği bilinmektedir. Gerek dünyada gerekse ülkemizde yapılan çok sayıda çalışma ile bu etkilenmenin türlerin kuzeye ve dağların zirvelerine doğru yer değiştirme şeklinde olacağı ortaya konmuştur. Türlerin dağılımının belirlenmesinde türlerin güncel dağılım bilgilerine ve bu alanlardaki ekolojik (iklim, topoğrafya, anakaya-toprak, canlılar) değişkenlere ait verilere gereksinim bulunmaktadır. Bu veriler elde edildikten sonra çeşitli makine öğrenmesi teknikleri yardımıyla türlerin günümüzdeki ve gelecekteki dağılımları modellenenilmekte ve model çıktıları haritalara dökülerek görselleştirilebilmektedir. Bu gibi çalışmalarda güncel tür dağılımlarının bilinmesi ve buralardaki çeşitli ekolojik değişkenlere ait sağlıklı ve doğru bilgilerin elde edilebilmesidir. Ülkemizde türlerin güncel yayılışlarına dair bilgiler orman amenajman planlarından elde edilebilmektedir. 10 ya da 20 yılda bir güncellenen bu amenajman planlarında verilen meşcere tipleri haritaları bir bakıma türlerin güncel dağılım haritalarına karşılık gelmektedir. Ancak meşcere tipleri haritalarında karışımlarda %10'dan da az bulunan türler gösterilmemektedir. Benzer şekilde özellikle bazı yapraklı ağaç türleri “diğer yapraklılar” adı altında gruplandırılarak verilebilmektedir. Buna karşılık orman amenajman çalışmalarında arazide 300 m x 300 m aralıklarla değişik büyüklükte örnek alanlar alınmakta ve buralarda ağaç türleri dahil olmak üzere çeşitli ölçümler yapılmaktadır. Bu çalışma ile orman amenajman planı yapım sürecinde elde edilen yersel verilerin tür dağılım modellemesinde kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiştir. Sonuç olarak bu verilerin var-yok verisi elde etmede kullanılabileceği ve türlerin güncel potansiyel dağılımlarının ortaya konmasında oldukça yararlı olduğu kanaatine ulaşılmıştır. Hatta orman amenajman verilerinin toplanması sırasında örnek alanlarda ağaççık ve çalı türlerinin tespit edilmesi, topraklarla ilgili fizyolojik derinlik, toprak türü, taşlılık gibi verilerin toplanması halinde tür dağılım modellerinin daha sağlıklı yapılması olanağı da olacaktır.

Çalışmada iklim ve topoğrafya değişkenleri kullanılarak tür dağılım modellerinin performansları kızılçam, sarıçam ve Kazdağı göknarında yüksek, karaçam türünde ise orta seviyede bulunmuştur. Ancak anakaya ve toprak değişkenleri ile özellikle türler arasındaki rekabet gibi biyolojik faktörler modellemelerde kullanılmamıştır. Tür dağılım modellerindeki

bu gibi kısıtlar anakaya ve tematik toprak (derinlik, taşlılık, toprak türü vb.) haritalarının üretilmesiyle aşılabilecektir. Ülkemizde toprak tipleri haritaları ile seri bazlı toprak haritaları bulunmaktadır. Ancak bu haritalar tarım alanları için üretildiğinden orman topraklarını kapsamamaktadır. Bu nedenle ormanlarımız için tematik toprak haritalarına gereksinim bulunmaktadır. Toprak ve anakaya ile ilgili değişkenleri çoğunlukla küçük alanlarda tür dağılışı üzerinde etkiliyken, bölgesel ölçekte yapılan çalışmalarda iklim ve topoğrafya değişkenlerinin yeterli olduğu belirtilmektedir. Buna rağmen bu iki ekolojik faktörün haricindeki değişkenlerin de modellere eklenmesinin daha gerçekçi tür dağılım modellemesine olanak sağlayabilecektir.

İklim değişikliği etkileri bağlamında en fazla etkileneceği düşünülen türlerin yayılış sınırları ve orman kenarlarının üzerinde durmak oldukça önemlidir. Düşük çözünürlükte yapılan çalışmalarda dağlık alanlarda ve vadilerde yükseklik farklarının tam olarak yansıtılamaması önemli bir kısıttır. Bu durumda lokal iklim ve mikro iklim koşullarının bu modellerde değerlendirilebilmesi güçtür. Bu nedenle dağlık bölgelerde ve vadilerde modellenen potansiyel dağılımlar dikkatli bir şekilde yorumlanmalı ve sonraki çalışmalarda topoğrafyayı daha iyi yansıtacak ölçeklerde altlık haritaların üretilmesi veya temin edilmesiyle daha kapsamlı çalışma imkanları araştırılmalıdır.

Bu çalışma sonuçları temsili konsantrasyon rotaları (RCP) ve ortak sosyoekonomik rotalar (SSP) emisyon senaryoları temelinde dört ağaç türü içinde 21. yüzyılın sonuna kadar hem alansal hem yükseltisel önemli değişiklikler olacağını göstermektedir. Kızılçam ve karaçamın dağılımı kuzeye ve yüksek rakımlara doğru artış gösterirken, hali hazırda yüksek rakımlarda dağılım gösteren sarıçam ve Kazdağı göknarında ise çalışma alanındaki yüksek rakımlı bölgelerin azlığı sebebiyle alansal azalma trendi görülebileceği tahmin edilmektedir. Bu öngörüler ışığında bölgede yapılacak ormanlaştırma ve yeniden ormanlaştırma çalışmalarında bu bulgular dikkate alınmalı, karaçam ve kızılçamın bozkıra sokulan meşcereleri tohum kaynağı olarak kullanılmalıdır. Sarıçam ve Kazdağı göknarı ise bölgeden çekilme süresinde oldukları için mevcut ve gelecekteki potansiyel dağılım alanları korunmalıdır.

İç Anadolu Bölgesi gibi ağaçlandırma çalışmalarında ciddi kaynak ve emek harcanan bölgelerde, iklim değişikliği temelinde geliştirilen tür dağılım modeli sonuçları ağaçlandırma çalışmalarında hem tür seçimi hem de uygun alan belirlenmesinde önemli hizmetler sağlayabilir. Bu sayede ağaçlandırma çalışmalarında ciddi emek ve kaynak tasarrufu sağlanarak ağaçlandırma başarısına katkı sağlanabilir.

Diğer yandan çalışmada meşe türlerinin dağılım haritaları yapılamamıştır. Meşe türleri İç Anadolu bölgesinde geniş alanlar kaplamaktadır ve gelecekte de dağılım alanlarını genişletmeleri beklenmelidir. Özellikle yer değiştiren türlerin terk ettikleri alanlara meşe türlerinin gelmesi olasılığı oldukça yüksektir. Ancak bunun için meşe türlerinin güncel dağılımlarına dair veri üretilmesi gerekmektedir. Benzer bir durum yine cins bazında envanteri yapılan ardıçlar için de geçerlidir. Ek olarak çalışma alanında bulunmayan türler de ağaçlandırma için bir alternatiftir. İç Anadolu Bölgesinde Toros sediri yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak çalışma alanında tür değişikliğine gidilebilmesi için de başta tür denemeleri olmak üzere çeşitli araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Değişen iklim koşulları dikkate alınmadan yapılacak tür değişikliklikleri başarısızlıkla sonuçlanabilecektir.



KAYNAKLAR

- Aiello-Lammens, M.E., Boria, R.A., Radosavljevic, A., Vilela, B. and Anderson, R.P., 2015, spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models, *Ecography*, 38 (5), 541-545.
- Akman, Y., 2011, *İklim ve Biyoiklim: Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri*, Palme Yayınları, Ankara, ISBN: 978-605-4414-46-8.
- Akyol, A. and Örüçü, Ö. K., 2019, Investigation and evaluation of stone pine (*Pinus pinea* L.) current and future potential distribution under climate change in Turkey, *Cerne*, 25, 415-423.
- Almpanidou, V., Schofield, G., Kallimanis, A. S., Türkozan, O., Hays, G. C., & Mazaris, A. D., 2016, Using climatic suitability thresholds to identify past, present and future population viability, *Ecological Indicators*, 71, 551-556.
- Amiri, M., Tarkesh, M., Jafari, R. and Jetschke, G., 2020, Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling?, *Ecological Informatics*, 101060.
- Araujo, M. B. and Guisan, A., 2006, Five (or so) challenges for species distribution modelling, *Journal of Biogeography*, 33 (10), 1677-1688.
- Atalay, İ. ve Efe, R., 2010, *Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe) 'nın ekolojisi ve tohum nakli açısından bölgelere ayrılması*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Ağaçları ve Tohumları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Çeşitli Yayınlar Serisi, (4), Ankara.
- Atalay, İ. ve Efe, R., 2012, *Sarıçam (Pinus sylvestris var. sylvestris) ormanlarının ekolojisi ve tohum nakli açısından bölgelere ayrılması*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Ağaçları ve Tohumları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Çeşitli Yayınlar Serisi, (5), Ankara.
- Atalay, İ. ve Efe, R., 2015, *Türkiye Biyocoğrafyası*, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Ayan, S., Bugday, E., Varol, T., Özel, H. B. and Thurm, E. A., 2022, Effect of climate change on potential distribution of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in the twenty-first century in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, 1-13.
- Aydın, S., Şimşek, M., Çetinkaya, G., ve Öztürk, M. Z., 2019, Erinç Yağış Etkinlik İndisi'ne göre belirlenen Türkiye iklim bölgelerinin rejim karakteristikleri, *1. İstanbul Uluslararası*

Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı, 20-22 Haziran 2019 İstanbul, Istanbul University Press, e-ISBN: 978-605-07-0714-4, 752-760.

- Barrio-Anta, M., Castedo-Dorado, F., Cámara-Obregón, A. and López-Sánchez, C. A., 2020, Predicting current and future suitable habitat and productivity for Atlantic populations of maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton) in Spain, *Annals of Forest Science*, 77 (2), 1-19.
- Bede-Fazekas, Á., Horváth, L. and Kocsis, M., 2014, Impact of climate change on the potential distribution of Mediterranean pines, *Idojaras/Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 118 (1), 41–52.
- Breiman, L., 2001, Random forests, *Machine Learning*, 45 (1), 5-32.
- Boydak, M., Dirik, H. ve Çalıkoğlu, M., 2006, *Kızılçamın (Pinus brutia Ten.) Biyolojisi ve Silvikültürü*, OGEM-VAK, Ankara.
- Bucklin, D. N., Basille, M., Benscoter, A. M., Brandt, L. A., Mazzotti, F. J., Romanach, S. S., ... and Watling, J. I., 2015, Comparing species distribution models constructed with different subsets of environmental predictors, *Diversity and Distributions*, 21 (1), 23-35.
- Buras, A., Schunk, C., Zeiträg, C., Herrmann, C., Kaiser, L., Lemme, H., Straub, C., Taeger, S., Gößwein, S., Klemmt, H.J. and Menzel, A., 2018, Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality?, *Environmental Research Letters*, 13 (2), 025001.
- Buras, A. and Menzel, A., 2019, Projecting tree species composition changes of European forests for 2061–2090 under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, *Frontiers in Plant Science*, 9, 1986.
- Canturk, U. and Kulaç, Ş., 2021, The effects of climate change scenarios on *Tilia* ssp. in Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (12), 1-15.
- Chakraborty, A., Joshi, P.K. and Sachdeva, K., 2016, Predicting distribution of major forest tree species to potential impacts of climate change in the central Himalayan region, *Ecological Engineering*, 97, 593-609.
- Chambel, M.R., Climent, J., Pichot, C. and Ducci, F., 2013, *Mediterranean pines (Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten.), Forest Tree Breeding in Europe, In: Pâques, L.E., ed), Chapter 5, Springer, ISBN: 978-94-007-6145-2, 229-265.
- Clark, J., Dunn, J. and Smith, K., 1993, A multivariate model of female black bear habitat use for a Geographic Information Systems, *Journal of Wildlife Management*, 57 (3), 519-526.
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., C'onnor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A. and Woodward, S., 2011, Development and

- evaluation of an Earth-System model – HadGEM2, *Geoscientific Model Development*, 4, 1051–1075,
- Cox, C.B., Ladle, R.J. and Moore, P.D., 2020, *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*, Tenth Edition, John Wiley & Sons.
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J.T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F. and López-Sandoval, J. A., 2016, Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22 (2), 135-148.
- Cutler A., Cutler D.R. and Stevens J.R., 2012, *Random Forests*, Ensemble Machine Learning, In: Zhang, C. and Ma, Y., (eds), Chapter 5, Springer, ISBN: 978-1-4419-9325-0, 157-175.
- Cutler, D.R., Edwards Jr, T.C., Beard, K.H., Cutler, A., Hess, K.T., Gibson, J. and Lawler, J. J., 2007, Random forests for classification in ecology, *Ecology*, 88 (11), 2783-2792.
- Çepel, N., 1988, *Orman Ekolojisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3518, O.F. Yayın No: 399, İstanbul, ISBN: 975-404-061-3.
- ÇŞB, 2016, *Türkiye İklim Değişikliği Altıncı Ulusal Bildirimi*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- ÇŞB, 2018, *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Kapsamında Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Dağtekin, D., Şahan, E.A., Denk, T., Köse, N. and Dalfes, H.N., 2020, Past, present and future distributions of Oriental beech (*Fagus orientalis*) under climate change projections, *PLoS ONE*, 15 (11), e0242280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242280>
- Delzon, S., Urli, M., Samalens, J.C., Lamy, J.B., Lischke, H., Sin, F., Zimmermann, N.E. and Porte, A.J., 2013, Field evidence of colonisation by Holm oak, at the northern margin of its distribution range, during the Anthropocene period, *PLoS ONE*, 8 (11): e80443.
- Doğan, M. and Köse, N., 2019, Influence of climate on radial growth of black pine on the mountain regions of southwestern Turkey, *Plants*, 8(8), 276.
- Dorazio, R.M., Gotelli, N.J. and Ellison, A.M., 2011, Modern methods of estimating biodiversity from presence-absence surveys, *Biodiversity Loss in a Changing Planet*, 277-302.
- Dormann, C.F., Porschke, O., Márquez, J.R.G., Lautenbach, S. and Schröder, B., 2008, Components of uncertainty in species distribution analysis: a case study of the great grey shrike, *Ecology*, 89 (12), 3371-3386.

- Dyderski, M.K., Paż, S., Frelich, L.E. and Jagodziński, A.M., 2018, How much does climate change threaten European forest tree species distributions?, *Global Change Biology*, 24 (3), 1150-1163.
- Edwards, P.N., 2011, History of climate modeling, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2 (1), 128-139.
- EEA, 2017, *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*, An indicator-based report, European Environment Agency, Report No: 1/2017.
- Elith, J., Leathwick, J.R. and Hastie, T., 2008, A working guide to boosted regression trees, *Journal of Animal Ecology*, 77 (4), 802-813.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. and Yates, C.J., 2011, A statistical explanation of MaxEnt for ecologists, *Diversity and Distributions*, 17 (1), 43-57.
- Evans, J.S. and Cushman, S.A., 2009, Gradient modeling of conifer species using random forests. *Landscape Ecology*, 24 (5), 673-683.
- Evans, J.S. and Murphy, M.A., 2019, R package 'rfUtilities': Random Forests Model Selection and Performance Evaluation, Version 2.1-5), URL: <https://cran.r-project.org/package=rfUtilities>.
- Evans, J.S., Murphy, M.A., Holden, Z.A. and Cushman, S.A., 2011, *Modeling Species Distribution and Change Using Random Forest*, Predictive Species and Habitat Modeling in Landscape Ecology, In: Drew, C.A and Wiersma, Y.F. (eds), Chapter 8, Springer, New York, NY, 139-159.
- Fawcett, T., 2006, An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters*, 27 (8), 861-874.
- Fer, İ., 2011, *Modelling climate change effects on forest ecosystems of Turkey*, Master Thesis. Informatic Institute of İstanbul Technical University, İstanbul.
- Fick, S.E. and 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.
- Fielding, A.H. and Bell, J.F., 1997, A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models, *Environmental Conservation*, 24 (1), 38-49.
- Fielding, A., 1999, *How should accuracy be measured?*, Machine Learning Methods for Ecological Applications, In: Fielding, A. (Ed.), Chapter 8, Springer Science & Business Media, LLC, 209-223
- Flint, L.E. and Flint, A.L., 2012, Downscaling future climate scenarios to fine scales for hydrologic and ecological modeling and analysis, *Ecological Processes*, 1 (1), 2.

- Franklin, J., 1995, Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients, *Progress in Physical Geography* 19, 474–499.
- Franklin, J., 1998, Predicting the distribution of shrub species in southern California from climate and terrain-derived variables, *Journal of Vegetation Science*, 9 (5), 733-748.
- Franklin, J., 2002, Enhancing a regional vegetation map with predictive models of dominant plant species in chaparral, *Applied Vegetation Science*, 5 (1), 135-146.
- Franklin, J., 2010, *Mapping Species Distributions: spatial inference and prediction*, Cambridge University Press.
- Garcia, K., Lasco, R., Ines, A., Lyon, B. and Pulhin, F., 2013, Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the Philippines, *Applied Geography*, 44, 12-22.
- Garzon, M.B., Blazek, R., Neteler, M., De Dios, R.S., Ollero, H.S. and Furlanello, C., 2006, Predicting habitat suitability with machine learning models: the potential area of *Pinus sylvestris* L. in the Iberian Peninsula, *Ecological Modelling*, 197 (3-4), 383-393.
- Gelviz-Gelvez, S.M., Pavón, N.P., Illoldi-Rangel, P. and Ballesteros-Barrera, C., 2015, Ecological niche modeling under climate change to select shrubs for ecological restoration in Central Mexico, *Ecological Engineering*, 74, 302-309.
- Genuer, R. and Poggi, J.M., 2020, *Random Forests with R*, Springer, Cham, Switzerland, ISBN: 978-3-030-56484-1
- Gómez-Mendoza, L. and Arriaga, L., 2007, Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico, *Conservation Biology*, 21 (6), 1545-1555.
- Guisan, A. and Thuiller, W., 2005, Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology Letters*, 8 (9), 993-1009.
- Guisan, A. and Zimmermann, N., 2000, Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modelling*, 135, pp. 147-186.
- Gülsoy, S., Şentürk, Ö., ve Karakaya, F., 2016, Kunduz Yöresi (Vezirköprü) Ormanlarında Saçlı Meşe (*Quercus cerris* L.) Türünün Potansiyel Dağılım Modellemesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (2).
- Güner, S.T., Özkan, K. and Çömez, A., 2011, Key Factors in the Site Selection of *Rosa canina* (L.)-Applying the Generalized Additive Model, *Polish Journal of Ecology*, 59 (3), 475-482.
- Gürsakal, N., 2018, *Makine Öğrenmesi*, 1. Baskı, Dora, Bursa, ISBN: 978-605-247-063-3.

- Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.J. and Zimmermann, N.E., 2013, Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land, *Nature Climate Change*, 3 (3), 203-207.
- Harris, R.M.B., Grose, M.R., Lee, G., Bindoff, N.L., Porfirio, L.L. and Fox-Hughes, P., 2014, Climate projections for ecologists, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5 (5), 621-637.
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G.B., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shanggua, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S. And Kempen, B., 2017, SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning, *PLoS ONE*, 12 (2): e0169748.
- Hijmans, R.J., Cameron, S. E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A., 2005, Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25 (15), 1965-1978.
- Hijmans, R.J., 2021, R package 'raster': Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.5-2. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hirzel, A. and Le Lay, G., 2008, Habitat suitability modelling and niche theory, *Journal of Applied Ecology*, 45, 1372-1381.
- Hu, X.G., Jin, Y., Wang X.R., Mao, J.F. and Li, Y., 2015, Predicting Impacts of Future Climate Change on the Distribution of the Widespread Conifer *Platycladus orientalis*, *PLoS ONE*, 10 (7): e0132326.
- IPBES, 2019, Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds., IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A., eds.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

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 and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2019, Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

IPCC, 2021, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., 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 and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

IPCC, 2022, Summary for Policymakers. In Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.

Janssen, E., Kint, V., Bontemps, J.D., Özkan, K., Mert, A., Köse, N., Icel, B. and Muys, B., 2018, Recent growth trends of black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) in the eastern mediterranean, *Forest Ecology and Management*, 412, 21-28.

Kalaycı, Ş., 2017, *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Vol:8, Dinamik Akademi Yayın Dağıtım, Ankara.

Kantarıcı D., 2000, *Toprak İlmi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 4261, O.F. Yayın No: 462, İstanbul.

Kantarıcı D., 2005, *Orman Ekosistemleri Bilgisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 4594, O.F. Yayın No: 488, İstanbul.

Kargar, M., Akhzari, D. and Saadatfar, A., 2019, Comparing Different Modeling Techniques for Predicting Presence-absence of Some Dominant Plant Species in Mountain Rangelands, Mazandaran Province, *Journal of Rangeland Science*, 9 (3), 219-233.

- Kekeç, M. ve 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.
- KHGM, t.y., *Büyük Toprak Grupları Haritası*. Mülga Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Korjus, K., Hebart, M. N. and Vicente, R., 2016, An efficient data partitioning to improve classification performance while keeping parameters interpretable, *PLoS ONE*, 11(8), e0161788.
- Köse, 2019, How Does Climate Change Affect Tree Species in Turkey?, *Proceedings of the Conference on Climate Change and Forestry*, 13-14 November 2019 Antalya-Turkey, Ankara, The Foresters' Association of Turkey, ISBN: 978-975-93478-6-4, 110-115.
- Krakau, U.K., Liesebach, M., Aronen, T., Lelu-Walter, M.A. and Schneck, V., 2013, *Scots pine* (*Pinus sylvestris* L.), Forest tree breeding in Europe, In: Pâques, L.E. (ed), Chapter 6, Springer, Dordrecht, ISBN: 978-94-007-6145-2, 267-323.
- Kuhn, M., 2021, R package 'caret': Classification and Regression Training, R package version 6.0-90, <https://CRAN.R-project.org/package=caret>.
- Leroy, B., Delsol, R., Hugueny, B., Meynard, C.N., Barhoumi, C., Barbet-Massin, M. and Bellard, C., 2018, Without quality presence-absence data, discrimination metrics such as TSS can be misleading measures of model performance, *Journal of Biogeography*, 45 (9), 1994-2002.
- Liaw, A. and Wiener, M., 2002, Classification and Regression by randomForest, *R News*, 2 (3), 18-22.
- Lindner, M., Fitzgerald, J.B., Zimmermann, N.E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., Schelhaas, M.J., Lasch, P., Eggers, J., van der Maaten-Theunissen, M., Suchow, F., Psomas, A., Poulter, B. and Hanewinkel, M., 2014, Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management?, *Journal of Environmental Management*, 146, 69-83.
- Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. and Pearson, R.G., 2005, Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions, *Ecography*, 28 (3), 385-393.
- López-Tirado, J. and Hidalgo, P. J., 2014, A high resolution predictive model for relict trees in the Mediterranean-mountain forests (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arnold and *Abies pinsapo* Boiss.) from the south of Spain: A reliable management tool for reforestation, *Forest Ecology and Management*, 330, 105-114.
- López-Tirado, J. and Hidalgo, P.J., 2016, Predictive modelling of climax oak trees in southern Spain: insights in a scenario of global change, *Plant Ecology*, 217 (4), 451-463.

- López-Tirado, J., Vessella, F., Schirone, B. and Hidalgo, P.J., 2018, Trends in evergreen oak suitability from assembled species distribution models: assessing climate change in southwestern Europe, *New Forests*, 49 (4), 471-487.
- López-Tirado, J., Vessella, F., Stephan, J., Ayan, S., Schirone, B., and Hidalgo, P.J., 2021, Effect of climate change on potential distribution of *Cedrus libani* A. Rich in the twenty-first century: an Ecological Niche Modeling assessment, *New Forests*, 52(3), 363-376.
- Manel, S., Williams, H.C. and Ormerod, S.J., 2001, Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence, *Journal of Applied Ecology*, 38 (5), 921-931.
- Martin, G.M., Bellouin, N., Collins, W.J., Culverwell, I.D., Halloran, P.R., Hardiman, S.C., Hinton, T.J., Jones, C.D., McDonald, R.E., McLaren, A.J., O'Connor, F.M., Roberts, M.J., Rodriguez, J.M., Woodward, S., Best, M.J., Brooks, M.E., Brown, A.R., Butchart, N., Dearden, C., Derbyshire, S.H., Dharssi, I., Doutriaux-Boucher, M., Edwards, J.M., Falloon, P.D., Gedney, N., Gray, L.J., Hewitt, H.T., Hobson, M., Huddleston, M.R., Ineson, S., Ingram, W.J., James, P.M., Johns, T.C., Johnson, C.E., Jones, A., Jones, C.P., Joshi, M.M., Keen, A.B., Liddicoat, S., Lock, A.P., Maidens, A.V., Manners, J.C., Milton, S.F., Rae, J.G.L., Ridley, J.K., Sellar, A., Senior, C.A., Totterdell, I.J., Verhoef, A., Vidale, P.L. and Wiltshire, A., 2011, The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations, *Geoscientific Model Development*, 4 (3), 723-757.
- Masui, T., Matsumoto, K., Hijioka, Y., Kinoshita, T., Nozawa, T., Ishiwatari, S., Kato, E., Shukla, P.R., Yamagata, Y. and Kainuma, M., 2011, An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing, *Climatic Change*, 109 (1), 59-76.
- Mátyás, C., Ackzell, L. and Samuel, C.J.A., 2004, *Technical guidelines for genetic conservation and use for Scots pine (Pinus sylvestris)*, Bioversity International, EUFORGEN.
- Meier, E.S., Kienast, F., Pearman, P.B., Svenning, J.C., Thuiller, W., Araújo, M.B., Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2010, Biotic and abiotic variables show little redundancy in explaining tree species distributions, *Ecography*, 33 (6), 1038-1048.
- Mert, A., Özkan, K., Şentürk, Ö. and Negiz, M.G., 2016, Changing the Potential Distribution of Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) under Climate Change in Turkey, *Polish Journal of Environmental Studies*, 25 (4).
- MGM, 2015, *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*, TR2015-CC, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Miller, J., 2010, Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4 (6), 490-509.

- Mohapatra, J., Singh, C.P., Hamid, M., Verma, A., Semwal, S.C., Gajmer, B., Khuroo, A.A., Kumar, A., Nautiyal, M.C., Sharma, N. and Pandya, H.A., 2019, Modelling *Betula utilis* distribution in response to climate-warming scenarios in Hindu-Kush Himalaya using random forest, *Biodiversity and Conservation*, 28 (8-9), 2295-2317.
- Molnar, C., 2022, *Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable*, Second Edition, Munich, Germany, ISBN: 9798411463330.
- MTA, 2011, *Sayısal Türkiye Jeoloji Haritası*, 1:25.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Navarro-Cerrillo, R.M., Duque-Lazo, J., Delgado Manzanedo, R., Sanchez-Salguero, R. and Palacios-Rodriguez, G., 2018, Climate change may threaten the southernmost *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco populations: an ensemble niche-based approach, *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 11 (3), 396-405.
- Navarro-Cerrillo, R.N. Duque-Lazo, J., Ríos-Gil, N., Guerrero-Álvarez, J.J., López-Quintanilla, J. and Palacios-Rodríguez, G., 2021, Can habitat prediction models contribute to the restoration and conservation of the threatened tree *Abies pinsapo* Boiss. in Southern Spain?, *New Forests*, 52 (1), 89-112.
- O'Donnell, M.S. and Ignizio, D.A., 2012, *Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States*, Data Series 691, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Odum, E.P. ve Barrett, G.W., 2008, *Ekoloji'nin Temel İlkeleri*, Işık, K. (Çeviri Editörü), Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-9944-341-74-5.
- OGM, 2010, *Ankara OBM Çankırı OİM Çankırı Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2011, *Ankara OBM Nallıhan OİM Nallıhan Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2012a, *Ankara OBM Ankara OİM Ankara Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2012b, *Ankara OBM Kırıkkale OİM Kırıkkale Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2012c, *Ankara OBM Kırşehir OİM Kırşehir Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2014, *Ankara OBM Çamlıdere OİM Çamlıdere Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

- OGM, 2015, *Ankara OBM Kızılcahamam OİM Kızılcahamam Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara
- OGM, 2016, *Ankara OBM Beypazarı OİM Beypazarı Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara
- OGM, 2018, *Ankara OBM Ilgaz OİM Ilgaz Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara
- OGM, 2021, *Ormancılık İstatistikleri*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Olden, J.D., Lawler, J.J. and Poff, N.L., 2008, Machine learning methods without tears: a primer for ecologists, *The Quarterly Review of Biology*, 83 (2), 171-193.
- Overton, W.S., 1977, *A strategy of model construction*, Ecosystem modeling in theory and practice: an introduction with case histories, In: Hall, C.A. and Day Jr, J.W. (Eds), University Press of Colorado, 49-73.
- Özdemir, S., Gülsoy, S. and Mert, A., 2020, Predicting the Effect of Climate Change on the Potential Distribution of Crimean Juniper, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 133-142.
- Özkan, K. ve Mert, A., 2010, Isparta Yukarıgökdere Yöresi'nde Kasnak Meşesinin (*Quercus vulcanica* Boiss. & Heldr. Ex Kostchy.) SRES-IPCC'nin A2 ve B2 Senaryolarına Göre 2050 ve 2080 Yıllarında Muhtemel Potansiyel dağılım Alanları, *Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu*, 17-18 Haziran 2010 Çorum.
- Özkan, K., Mert, A. and Şentürk, Ö., 2011, Estimation of Potential Distribution of Non-Wood Trading Species Richness Using Classification and Regression Tree Technique: A case study from Lakes district, *II. International Non-Wood Forest Products Symposium*, in Turkey, Fakir, H., Dutkuner, İ., Gürlevik, N., Sarıkaya, and Babalık, A. (Eds), 238-246.
- Özkan, K. and Şentürk, Ö., 2012, The Application of Group Discrimination Techniques to Predict the Potential Distribution of Turbentine Tree, In: *Internatinal Scientific Conference People Buildings And Environment*, Vol:7.
- Özkan, K., 2013, Using the Non-Parametric Classifier CART to Model Lebanon Cedar (*Cedrus libani* A. Rich) Distribution in a Mountain Mediterranean Forest District, *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (2)
- Özkan, K., Şentürk, Ö., Mert, A. and Negiz, M.G., 2015, Modeling and mapping potential distribution of Crimean juniper (*Juniperus excelsa* Bieb.) using correlative approaches, *Journal of Environmental Biology*, 36 (1), 9.
- Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., ve Aydın, S., 2017, Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri, *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27.

- Parmesan, C. and Yohe, G., 2003, A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems, *Nature*, 421, 37–42.
- Pearson, R.G. and Dawson, T.P., 2003, Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?, *Global Ecology and Biogeography*, 12 (5), 361-371.
- Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M. and Chirici, G., 2019, Species distribution modelling to support forest management, A literature review, *Ecological Modelling*, 411, 108817.
- Peterson, A.T., Papeş, M. and Eaton, M., 2007, Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and MaxEnt, *Ecography*, 30 (4), 550-560.
- Peterson, A.T., Papeş, M. and Soberón, J., 2008, Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling, *Ecological Modelling*, 213 (1), 63-72.
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. and Araújo, M.B., 2011, *Ecological Niches and Geographic Distributions* (MPB-49), Princeton University Press, Princeton and Oxford, ISBN: 978-0-691-13686-8.
- Phillips, S.J., 2017, *A Brief Tutorial on MaxEnt*, Available from URL: <http://biodiversityinformatics.amnh.org/>, [Accessed on 15.06.2021].
- Prasad, A.M., Iverson, L.R. and Liaw, A., 2006, Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction, *Ecosystems*, 9 (2), 181-199.
- Price, D.T., Alfaro, R.I., Brown, K.J., Flannigan, M.D., Fleming, R.A., Hogg, E.H., Girardin, M.P., Lakusta, T., Johnston, M., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stratton, T., Sturrock, R.N., Thompson, I.D., Trofymow, J.A. and Venier, L.A., 2013, Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems, *Environmental Reviews*, 21 (4), 322-365.
- Priti, H., Aravind, N.A., Shaanker, R.U. and Ravikanth, G., 2016, Modeling impacts of future climate on the distribution of Myristicaceae species in the Western Ghats, India, *Ecological Engineering*, 89, 14-23.
- R Core Team, 2019, *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL: <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Preciado, R.P., Gasca-Pineda, J. and Arteaga, M.C., 2019, Effects of global warming on the potential distribution ranges of six *Quercus* species (Fagaceae), *Flora*, 251, 32-38.

- Ray, D., Behera, M.D. and Jacob, J., 2016, Predicting the distribution of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) through ecological niche modelling with climate, soil, topography and socioeconomic factors, *Ecological Research*, 31 (1), 75-91.
- Reich, P.B. and Oleksyn, J., 2008, Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far North, *Ecology Letters*, 11 (6), 588-597.
- Remya, K., Ramachandran, A. and Jayakumar, S., 2015, Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India, *Ecological Engineering*, 82, 184-188.
- Reyer, C. P., Leuzinger, S., Rammig, A., Wolf, A., Bartholomeus, R. P., Bonfante, A., de Lorenzi, F., Dury, M., Gloning, P., Jaoude, R.A., Klein, T., Kuster, T.M., Martins, M., Niedrist, G., Riccardi, M., Wohlfahrt, G., de Angelis, P., de Dato, G., François, L., Menzel, A. and Pereira, M., 2013, A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability, *Global Change Biology*, 19 (1), 75-89.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N. and Rafaj, P., 2011, RCP8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions, *Climatic Change*, 109 (1), 33-57.
- Rodrigues, P.M.S., Silva, J.O., Eisenlohr, P.V. and Schaefer, C.E.G.R., 2015, Climate change effects on the geographic distribution of specialist tree species of the Brazilian tropical dry forests, *Brazilian Journal of Biology*, 75 (3), 679-684.
- Rykiel Jr, E.J., 1996, Testing ecological models: the meaning of validation, *Ecological Modelling*, 90 (3), 229-244.
- Sánchez-Salguero, R., Camarero, J.J., Dobbertin, M., Fernández-Cancio, Á., Vilà-Cabrera, A., Manzanedo, R.D., Zavala, M.A. and Navarro-Cerrillo, R.M., 2013, Contrasting vulnerability and resilience to drought-induced decline of densely planted vs. natural rear-edge *Pinus nigra* forests, *Forest Ecology and Management*, 310, 956-967.
- Shrestha, U.B. and Bawa, K.rS., 2014, Impact of climate change on potential distribution of Chinese caterpillar fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in Nepal Himalaya, *PLoS ONE*, 9 (9): e106405.
- Soberon, J., 2007, Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species, *Ecology letters*, 10 (12), 1115-1123.
- Sohel, S.I., Akhter, S., Ullah, H., Haque, E. and Rana, P., 2016, Predicting impacts of climate change on forest tree species of Bangladesh: evidence from threatened *Dysoxylum binectariferum* (Roxb.) Hook. f. ex Bedd., *Meliaceae*, *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10 (1), 154.

- Song, M., Zhou, C. and Ouyang, H., 2004, Distributions of dominant tree species on the Tibetan Plateau under current and future climate scenarios, *Mountain Research and Development*, 24 (2), 166-173.
- Stockwell, D., 2006, *Niche Modeling: predictions from statistical distributions*, Chapman and Hall/CRC Press.
- Swets, J.A., 1988, Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*, 240 (4857), 1285-1293.
- SYGM, 2016, *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*, Proje Nihai Raporu, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- SYGM, 2020, *İklim Değişikliği ve Uyum*, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sykes, M.T. and Prentice, I.C., 1996, Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe, *Climatic Change*, 34 (2), 161-177.
- Şenol, A., 2015, *Türkmen Dağı'nda Saçlı Meşe (Quercus Cerris L.) ve Tüylü Meşe (Quercus Pubescens Willd.) Türlerinin Potansiyel Dağılım Modellemeleri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Şentürk, Ö., Mert, A., Gülsoy, S., Özkan, K. ve Özdemir, İ., 2010, Sipahiler-Hacıaliler Mevkisinde Karaçam ve Kızılçam Türlerinin Potansiyel dağılımlarının Modellenmesi, *Isparta İli Değerleri ve Değer Yaratma Potansiyeli Sempozyumları Bildiriler Kitabı*, 26 Nisan - 3 Mayıs 2010 Isparta, 917-926.
- Şentürk, Ö., 2012, *Sütçüler yöresi asli orman ağacı türlerinin potansiyel dağılım alanlarının modellenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Şentürk, Ö., Gülsoy, S. and Tümer, İ., 2014, Aydınca Yöresi (Amasya) Ormanlarında Saçlı Meşe (*Quercus cerris* L.) Türünün Dağılımı İle Yetiştirme Ortamı Faktörleri Arasındaki İlişkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (2), 13-21.
- Şimşek, Z., Öner, N. 2003. Ilgaz (Derbent ve Doruk)'da Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf) Meşcerelerinin Silvikültürel Özellikleri ile Saptanan Kabuk böcekleri ve Mücadele Yöntemleri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, Sayı:2: 49-60.
- Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E. and Edmonds, J.A., 2011, RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100, *Climatic Change*, 109 (1), 77-94.

- Title, P. O. and Bemmels, J. B., 2018, ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling, *Ecography*, 41 (2), 291-307.
- Tolunay, D., 2019, *İklim Değişikliğinin Ekolojik Sistemlerdeki Yeri*. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 5, www.iklimin.org, Ankara.
- Trabucco, A. and Zomer, R.J., 2018, Global Aridity Index and Potential Evapo-Transpiration (ET0) Climate Database v2, *CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)*, Available on CGIAR-CSI GeoPortal.
- Trisurat, Y., Alkemade, J. R. M. and Arets, E. J. M. M., 2009, Projecting forest tree distributions and adaptation to climate change in northern Thailand, *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 1 (3), 55-63.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurt, G.C., Kram, T., Krey V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K., 2011a, The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change*, 109 (1-2), 5.
- Van Vuuren, D.P., Stehfest, E., den Elzen, M.G.J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., Isaac, M., Goldewijk, K.K., Hof, A., Beltran, A.M., Oostenrijk, R. and van Ruijven, B., 2011b, RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C, *Climatic change*, 109 (1), 95-116.
- Varol, T., Canturk, U., Cetin, M., Ozel, H.B. and Sevik, H., 2021, Impacts of climate change scenarios on European ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) in Turkey, *Forest Ecology and Management*, 491, 119199.
- Wei, T. and Simko, V., 2021, R package ‘corrplot’: Visualization of a Correlation Matrix., Version 0.91), <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Wiens, J.J., 2016, Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species, *PLoS Biology*, 14 (12): e2001104.
- Xu, X., Zhang, H., Yue, J., Xie, T., Xu, Y. and Tian, Y., 2018, Predicting shifts in the suitable climatic distribution of walnut (*Juglans regia* L.) in China: Maximum entropy model paves the way to forest management, *Forests*, 9 (3), 103.
- Yalçın, S., 2012, *Modeling the current and future ranges of Turkish pine (Pinus brutia) and oriental beech (Fagus orientalis) in Turkey in the face of climate change*, Master's Thesis. Middle East Technical University, Ankara.
- Yılmaz, O.Y. and Yılmaz, H., 2016, Bioclimatic factors affecting the distribution of *Quercus robur* L., pedunculate oak) subspecies in Turkey, *Eurasian Journal of Forest Science*, 4 (1), 31-39.

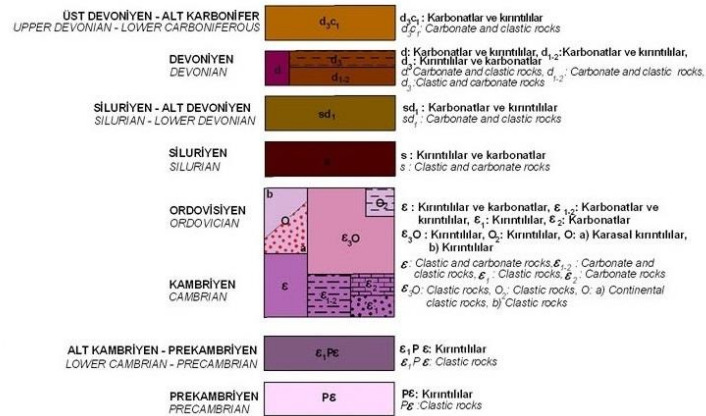
- Yılmaz, H., Yılmaz, O.Y. and Akyüz, Y.F., 2017, Determining the factors affecting the distribution of *Muscari latifolium*, an endemic plant of Turkey, and a mapping species distribution model, *Ecology and Evolution*, 7 (4), 1112-1124.
- Zeydanlı, U., Turak, A., Bilgin, C., Kınıkoğlu, Y., Yalçın, S., ve Doğan, H., 2010, *İklim Değişikliği ve Ormancılık: Modellerden Uygulamaya*, Doğa Koruma Merkezi, Ankara.
- Zeydanlı, U., Turak, A., Kurt, B., Özüt, D., Çekiç, O., ve Bilgin, C., 2012, *İklim Değişikliğine Uyum ve Azaltım Önerileri: Orman Ekosistemleri*, Doğa Koruma Merkezi, Ankara.
- Zimmermann, N.E., Yoccoz, N.G., Edwards, T.C., Meier, E.S., Thuiller, W., Guisan, A., Schmatz, D.R. and Pearman, P.B., 2009, Climatic extremes improve predictions of spatial patterns of tree species, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (Supplement 2), 19723-19728.
- URL-1: <https://ankaraobm.ogm.gov.tr> (Erişim tarihi: 20.02.2022).
- URL-2: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (Erişim tarihi: 20.02.2022).

VOLKANİK KAYALAR / VOLCANIC ROCKS

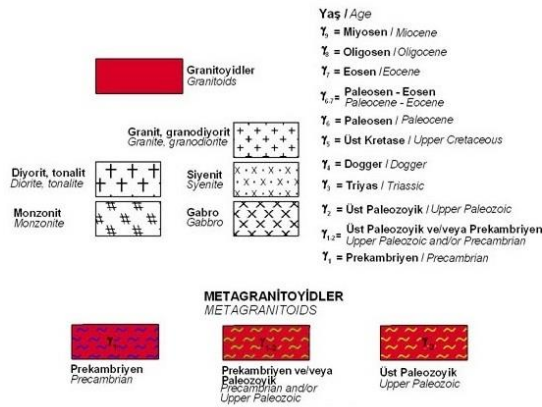
KUVATERNER QUATERNARY		Bazalt Basalt
KUVATERNER QUATERNARY		Andezit Andesite
KUVATERNER QUATERNARY		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
PLİYOSEN - KUVATERNER PLIOCENE - QUATERNARY		Bazalt Basalt
PLİYOSEN - KUVATERNER PLIOCENE - QUATERNARY		Andezit Andesite
PLİYOSEN - KUVATERNER PLIOCENE - QUATERNARY		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
PLİYOSEN PLIOCENE		Bazalt Basalt
PLİYOSEN PLIOCENE		Andezit Andesite
PLİYOSEN PLIOCENE		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
ÜST MİYOSEN - PLİYOSEN UPPER MIOCENE - PLIOCENE		Bazalt Basalt
ÜST MİYOSEN - PLİYOSEN UPPER MIOCENE - PLIOCENE		Andezit Andesite
ÜST MİYOSEN - PLİYOSEN UPPER MIOCENE - PLIOCENE		Dasit, riyolit, riyodasit Dacite, rhyolite, rhyodacite
ÜST MİYOSEN - PLİYOSEN UPPER MIOCENE - PLIOCENE		Ayrılmamış volkanitler Undifferentiated volcanic rocks
ÜST MİYOSEN - PLİYOSEN UPPER MIOCENE - PLIOCENE		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
ÜST MİYOSEN UPPER MIOCENE		Bazalt Basalt
ÜST MİYOSEN UPPER MIOCENE		Andezit Andesite
ÜST MİYOSEN UPPER MIOCENE		Dasit Dacite
ÜST MİYOSEN UPPER MIOCENE		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
ORTA - ÜST MİYOSEN MIDDLE - UPPER MIOCENE		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
ORTA MİYOSEN MIDDLE MIOCENE		Bazalt Basalt
ORTA MİYOSEN MIDDLE MIOCENE		Andezit Andesite
ORTA MİYOSEN MIDDLE MIOCENE		Dasit, riyolit, riyodasit Dacite, rhyolite, rhyodacite
ORTA MİYOSEN MIDDLE MIOCENE		Piroklastik kayalar Pyroclastic rocks
ALT - ORTA MİYOSEN LOWER - MIDDLE MIOCENE		Bazalt, andezit, bazalt Basalt, andesite, basalt
ALT - ORTA MİYOSEN LOWER - MIDDLE MIOCENE		Ayrılmamış volkanitler, dakit, riyolit, riyodasit Undifferentiated volcanic rocks, dacite, rhyolite, rhyodacite
ALT - ORTA MİYOSEN LOWER - MIDDLE MIOCENE		Piroklastikler Pyroclastic rocks
OLİGOSEN OLIGOCENE		Ayrılmamış volkanitler Undifferentiated volcanic rocks
EOSEN EOCENE		Bazalt Basalt
EOSEN EOCENE		Andezit Andesite
EOSEN EOCENE		Ayrılmamış volkanitler Undifferentiated volcanic rocks
PALEOSEN PALEOCENE		Ayrılmamış volkanitler Undifferentiated volcanic rocks
ÜST KRETASE - PALEOSEN UPPER CRETACEOUS - PALEOCENE		Bazalt, spilit, andezit vb. Basalt, spilit, andesite etc.
ÜST KRETASE UPPER CRETACEOUS		Bazalt, spilit, v, ayrılmamış andezit, piroklastikler vb. Basalt, spilit, v, undifferentiated andesite, pyroclastics etc.
ÜST KRETASE UPPER CRETACEOUS		Dasit, riyolit, riyodasit Dacite, rhyolite, rhyodacite
ALT - ORTA JURA LOWER - MIDDLE JURASSIC		Bazalt, spilit vb. Basalt, spilit etc.
ALT - ORTA JURA LOWER - MIDDLE JURASSIC		Dasit Dacite
ORTA - ÜST TRİYAS MIDDLE - UPPER TRIASSIC		Bazalt, spilit Basalt, spilit
ORTA - ÜST TRİYAS MIDDLE - UPPER TRIASSIC		Piroklastik kayalar (yer yer ofiyolit dilimli) Pyroclastic rocks (ophiolitic sheet in places)

Ek Şekil 2: Türkiye jeoloji haritası lejantı (Volkanik kayalar) (MTA, 2011).

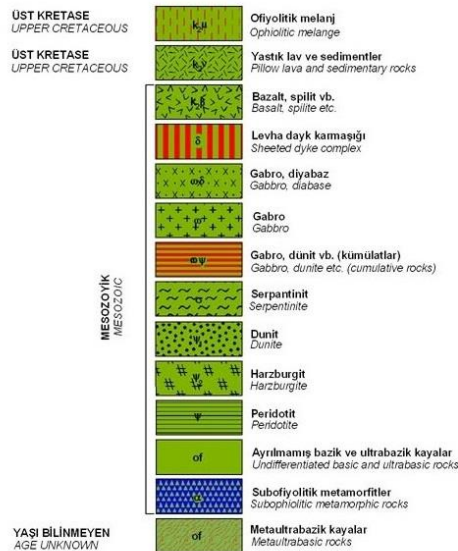
SEDİMENTER KAYALAR / SEDIMENTARY ROCKS



PLUTONİK KAYALAR / PLUTONIC ROCKS



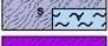
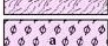
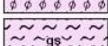
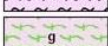
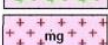
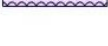
OFİYOLİTİK KAYALAR / OPHIOLITIC ROCKS



Ek Şekil 3: Türkiye jeoloji haritası lejantı (Sedimenter, Plutonik ve Ofiyolitik kayalar) (MTA, 2011).

METAMORFİK KAYALAR / METAMORPHIC ROCKS

Metamorfizmaya uğrayan kayaların yaşı
Age of the metamorphosed rocks

		Kontak metamorfizmaları Contact metamorphic rocks
ÜST PALEOSEN - EOSEN UPPER PALEOCENE - EOCENE		Metakırıntılılar ve metakarbonatlar Metaclastic and metacarbonate rocks
ÜST KRETASE UPPER CRETACEOUS		Metakırıntılılar ve metakarbonatlar Metaclastic and metacarbonate rocks
ÜST KRETASE UPPER CRETACEOUS		Metamelanj Metamelange
ORTA JURA - KRETASE MIDDLE JURASSIC - CRETACEOUS		Çertli mermer Cherty marble
JURA - KRETASE JURASSIC - CRETACEOUS		Mermer Marble
ORTA TRIYAS - JURA MIDDLE TRIASSIC - JURASSIC		Mermer Marble
TRİYAS - ALT JURA TRIASSIC - LOWER JURASSIC		Şistler, v; metavolkanit Schists, v; metavolcanic rocks
ALT TRIYAS LOWER TRIASSIC		Şist, kalkşist vb. Schist, calcisist etc.
MESOZOYİK MESOZOIC		Mermer, yer yer şist Marble, schist in places
PALEOZOYİK - MESOZOYİK PALEOZOIC - MESOZOIC		Mermer, yer yer şist Marble, schist in places
PERMİYEN PERMIAN		Mermer Marble
ÜST PALEOZOYİK - TRIYAS UPPER PALEOZOIC - TRIASSIC		Şist, fillit, mermer, metabazit vb. Schist, phyllite, marble, metabasic rocks etc.
PERMO - KARBONİFER PERMO - CARBONIFEROUS		Şist, kuvarsit, mermer vb. Schist, quartzite, marble etc.
		Mermer Marble
		Şistler Schists
ÜST PALEOZOYİK UPPER PALEOZOIC		Fillit Phyllite
		Kuvarsit, kuvarşist Quartzite, quartzschist
KAMBRO - ORDOVİSİYEN CAMBRO - ORDOVICIAN		Şist, fillit vb. Schist, phyllite etc.
ALT - ORTA KAMBRIYEN LOWER - MIDDLE CAMBRIAN		Kuvarsit, mermer Quartzite, marble
		Mermer Marble
		Şistler Schists
PALEOZOYİK PALEOZOIC		Kuvarsit, kuvarşist Quartzite, quartzschist
		Gnays Gneiss
PREKAMBRIYEN ve/veya PALEOZOYİK PRECAMBRIAN and/or PALEOZOIC		Ayrılmamış gnays, metagranit, şist, mermer, amfibolit vb. Undifferentiated gneiss, metagranite, schist, marble, amphibolite etc.
		Şistler; v; şist, porfiroyit Schists, v; schist, porphyroid
		Amfibolitler Amphibolites
PREKAMBRIYEN PRECAMBRIAN		Gnays, şist Gneiss, schist
		Gnays Gneiss
		Migmatit, gnays Migmatite, gneiss
		Ayrılmamış gnays, migmatit, metagranit, şist, amfibolit vb. Undifferentiated gneiss, migmatite, metagranite, schist, amphibolite etc.

Ek Şekil 4: Türkiye jeoloji haritası lejantı (Metamorfik kayalar) (MTA, 2011).

Ek 2: Çevresel değişkenler listesi

Ek Tablo 1: Çalışma alanına göre hazırlanan çevresel değişkenler.

KISALTMALAR	DEĞİŞKEN ADI	BİRİM	KAYNAK	REFERANS ZAMAN	GELECEK
				RCP-SSP	RCP-SSP
BAKI_UYG_IND	Baki Uygunluk İndeksi	0 -- 2	ArcGIS		
BAY_ORTSIC_0	monthcbytemp0	ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BAY_ORTSIC_5	monthcbytemp5	ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BAY_ORTSIC_10	monthcbytemp10	ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BGUN_ORTSIC_0	growdegdays0	°C*gun	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BGUN_ORTSIC_5	growdegdays5	°C*gun	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BGUN_ORTSIC_10	growdegdays10	°C*gun	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_1	Yıllık Ort. Sıcaklık	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_2	Ort. Günlük Sıcaklık Farkı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_3	İzotermalite (Eş Isı)	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_4	Sıc. Mevsimselliği	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_5	En Sıcak Ayın Mak. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_6	En Serin Ayın Min. Sıc.	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_7	Yıllık Sıc. Farkı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_8	En Nemli Çey. Ort. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_9	En Kurak Çey. Ort. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_10	En Sıcak Çey. Ort. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_11	En Serin Çey. Ort. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_12	Yıllık Yağış	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_13	En Nemli Ayın Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_14	En Kurak Ayın Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_15	Yağış Mevsimselliği	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_16	En Nemli Çey. Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_17	En Kurak Çey. Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_18	En Sıcak Çey. Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
BIO_19	En Serin Çey. Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
EGIM	Eğim	%	Raster-R		
EMBERGER	Emberger Yağış İndeksi	mm/°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
GUN_ORTSIC_0	daycbytemp0	gun	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
GUN_ORTSIC_5	daycbytemp5	gun	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
GUN_ORTSIC_10	daycbytemp10	gun	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
IKL_NEM_IND	İklimsel Nem İnd.	-1 -- 1	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
KARASAL_IND	Karasallık İnd.	°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
KURAK_IND	Thornthwaite Kuraklık İndeksi		Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_1	Ocak Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_2	Şubat Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_3	Mart Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_4	Nisan Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_5	Mayıs Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_6	Haziran Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_7	Temmuz Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_8	Ağustos Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_9	Eylül Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_10	Ekim Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_11	Kasım Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAK_SIC_12	Aralık Ayı Maks. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MAKSIC_ENSOG	En Soğuk Ayın Mak. Sıcaklığı	°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_1	Ocak Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_2	Şubat Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_3	Mart Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_4	Nisan Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_5	Mayıs Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_6	Haziran Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_7	Temmuz Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070

Ek Tablo 1: Çalışma alanına göre hazırlanan çevresel değişkenler (devam).

MIN_SIC_8	Ağustos Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_9	Eylül Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_10	Ekim Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_11	Kasım Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MIN_SIC_12	Aralık Ayı Min. Sıcaklığı	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
MINSIC_ENSIC	En Sıcak Ayın Min. Sıcaklığı	°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_1	Ocak Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_2	Şubat Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_3	Mart Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_4	Nisan Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_5	Mayıs Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_6	Haziran Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_7	Temmuz Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_8	Ağustos Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_9	Eylül Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_10	Ekim Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_11	Kasım Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORT_SIC_12	Aralık Ayı Sıcaklık Ort. Değeri	°C	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORTSIC_ENSIC	En Sıcak Ayın Ort. Sıcaklığı	°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
ORTSIC_ENSOG	En Soğuk Ayın Ort. Sıcaklığı	°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_1	Ocak Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_2	Şubat Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_3	Mart Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_4	Nisan Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_5	Mayıs Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_6	Haziran Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_7	Temmuz Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_8	Ağustos Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_9	Eylül Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_10	Ekim Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_11	Kasım Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_12	Aralık Ayı Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_KURAK_Cey	En Kurak Çey. Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_MEVSİM	Mevsimsel Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_NEMLI_Cey	En nemli Çey. Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_SIC_Cey	En Sıcak Çey. Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_SOG_Cey	En Soğuk Çey. Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PET_YIL	Yıllık Pot. Buharlaşma	mm/ay	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
PURUZ_IND	Pürüzlülük İndeksi		Raster-R		
RADYASYON_IND	Radyasyon İndeksi	0 -- 1	ArcGIS		
TERMIK_IND	Isı (Termik) İndeksi	°C	Envirem-R	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
TOPO_NEM_IND	Topog. Nemlilik İndeksi		SAGA-GIS		
TPI	Topog. Pozisyon İndeksi		Raster-R		
TRI	Topog. Engebelilik İndeksi		Raster-R		
YAGIS_1	Ocak Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_2	Şubat Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_3	Mart Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_4	Nisan Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_5	Mayıs Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_6	Haziran Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_7	Temmuz Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_8	Ağustos Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_9	Eylül Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_10	Ekim Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_11	Kasım Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YAGIS_12	Aralık Ayı Yağışı	mm	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	2050; 2070
YUKSELTİ	Yükseklik	m	WorldClim	1960-1990; 1970-2000	

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

İklim Değişikliğinin Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Sınırlarındaki Bazı Ağaç Türlerinin Yayılışına Etkilerinin Tahmini

ORJİNALLİK RAPORU

% 7	% 6	% 2	% 2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
2	iklim.tarimorman.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
3	tez.sdu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
4	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	webdosya.csb.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
6	onlinelibrary.wiley.com İnternet Kaynağı	<% 1
7	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	<% 1
8	scite.ai İnternet Kaynağı	<% 1
9	www.yumpu.com İnternet Kaynağı	<% 1