



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



## DOKTORA TEZİ

***ANADOLU KESTANESİ (*Castanea sativa Mill.*) 'NİN GÜNCEL ve GELECEKTEKİ  
YAYILIŞININ MODELLENMESİ***

**Hüseyin DOĞAN**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ölçme Bilgisi ve Kadastro Programı**

**Aralık, 2022**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin DOĞAN tarafından, Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ danışmanlığında hazırlanan *ANADOLU KESTANESİ (Castanea sativa Mill.) 'NİN GÜNCEL ve GELECEKTEKİ YAYILIŞININ MODELLENMESİ* başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 30/06/2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/>	Kabul
ÜYE	Prof. Dr. Orhan SEVGİ İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	<input type="checkbox"/>	Ret
ÜYE	Prof. Dr. Gülriz Baycu KAHYAOĞLU İstanbul Üniversitesi Çevre Biyolojisi ve Ekolojisi Anabilim Dalı	<input type="checkbox"/>	Kabul
ÜYE	Prof. Dr. Xxxx XXXX ..... Üniversitesi ..... Anabilim Dalı	<input type="checkbox"/>	Ret
ÜYE	Prof. Dr. Xxxx XXXX ..... Üniversitesi ..... Anabilim Dalı	<input type="checkbox"/>	Kabul

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğim ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Hüseyin DOĞAN

(İmza)

Aileme ve tezimde büyük desteği olan hocalarıma ithaf ediyorum...

## **BÜTÇE DESTEKLERİ**

***ANADOLU KESTANESİ (Castanea sativa Mill.) 'NİN GÜNCEL ve GELECEKTEKİ  
YAYILIŞININ MODELLENMESİ***

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon  
Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 35792

## **TEŞEKKÜR**

Prof. Dr. Osman Yalçın Yılmaz

Prof. Dr. Orhan Sevgi

Prof. Dr. Gülriz Bayçu Kahyaoğlu

Prof. Dr. Ünal Akkemik

Prof. Dr. Ayhan Koç

Doç. Dr. Hüseyin Yurtseven

Haziran 2024

**Hüseyin DOĞAN**

# **İÇİNDEKİLER**

	Sayfa No
<b>TEZ KABUL VE ONAYI .....</b>	ii
<b>BEYAN .....</b>	iii
<b>BÜTÇE DESTEKLERİ .....</b>	v
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	vi
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	vii
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	viii
<b>TABLO LİSTESİ .....</b>	x
<b>SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....</b>	xi
<b>ÖZET .....</b>	xii
<b>ABSTRACT .....</b>	xiv
<b>TEZ KABUL VE ONAYI .....</b>	ii
<b>BEYAN .....</b>	iii
<b>BÜTÇE DESTEKLERİ .....</b>	v
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	vi
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	vii
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	x
<b>TABLO LİSTESİ .....</b>	xv
<b>SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....</b>	xvi
<b>ÖZET .....</b>	xviii
<b>ABSTRACT .....</b>	xx
<b>1. GİRİŞ .....</b>	1
<b>2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE .....</b>	5
2.1. TÜR DAĞILIM MODELLERİ .....	5
2.1.1. Tür Dağılım Modellerinde Kullanılan Veriler .....	10
2.1.2. Tür Dağılım Modellerinde Kullanılan İklim Senaryoları .....	17
2.2. TÜR DAĞILIM MODELLERİNDE KULLANILAN İSTATİSTİKSEL METOTLAR VE ALGORİTMALAR .....	20
2.2.1. Regresyon Temelli Yaklaşımlar .....	21

2.2.2. Sınıflandırma Yöntemleri ve Makine Öğrenimi .....	21
2.2.3. Torbalama (Bagging- Bootstrap Aggregating) ve Hızlandırma (Boosting) Yaklaşımları .....	22
2.2.4. Maksimum Entropi (MaxEnt) .....	23
2.2.5. Birleşik (Ensemble) Modeller ve Model Ortalama .....	24
2.2.6. Korelasyon, Doğrudaşlık ve Varyans Şişme Faktörü .....	25
2.2.7. Model Oluşturma ve Model Değerlendirme .....	26
2.3. TÜR DAĞILIM MODELLERİNDE MODEL AKTARIMI.....	30
<b>2.4. TÜR DAĞILIM MODELLERİNDE ÇÖZÜNÜRLÜK ve HİYERARŞİK MODELLEME YAKLAŞIMI .....</b>	<b>32</b>
2.4.1. Kütasal Ölçekli Tür Dağılım Modelleri .....	33
2.4.2. Bölgesel Ölçekli Tür Dağılım Modelleri .....	34
2.4.3. Hiyerarşik Modelleme Yaklaşımı .....	34
2.5. TÜR DAĞILIM MODELLERİNİN DİĞER KULLANIM ALANLARI .....	37
2.6. ANADOLU KESTANESİ'NİN ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) GENEL ÖZELLİKLERİ ....	38
2.7. ANADOLU KESTANESİ'NİN ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) YAYILIŞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER ve EKOLOJİK İSTEKLERİ.....	44
2.8. ANADOLU KESTANESİ'NİN ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) KARŞI KARŞIYA OLDUĞU TEHDİTLER.....	49
<b>3. YÖNTEM .....</b>	<b>53</b>
3.1. KITASAL ÖLÇEKLİ TÜR DAĞILIM MODELLERİ .....	53
3.1.1. Çalışma Alanı.....	53
3.1.2. Kütasal Ölçekli Modellerde Kullanılan Veriler ve İstatistiksel Metodlar .....	54
3.2. BÖLGESEL ÖLÇEKLİ TÜR DAĞILIM MODELLERİ .....	59
3.2.1. Çalışma Alanı.....	59
3.2.2. Bölgesel Ölçekli Modellerde Kullanılan Veriler ve İstatistiksel Metodlar .....	61
3.3. MODELLEMEDE KULLANILAN PAKETLER, ALGORİTMALAR ve İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER .....	65
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>67</b>
4.1. KITASAL ÖLÇEKLİ MODELLER .....	67
<b>5. TARTIŞMA.....</b>	<b>69</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>96</b>
<b>İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI .....</b>	<b>100</b>
<b>ETİK KURUL İZİN YAZISI .....</b>	<b>101</b>

KURUM İZNİ YAZILARI .....	102
PATENT HAKKI İZNI .....	103
ÖZGEÇMİŞ .....	104

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Modellemede temel alınan ölçekler (Kent, 2011).....	6
Şekil 2.2: Biyocoğrafya ve Ekoloji'de ölçekler. (Forman ve Gordon, 1986 yayınında tanımlanıp, Kent, 2011 tarafından geliştirilmiştir) .....	6
Şekil 2.3: Tür Dağılım Modellerinin oluşturulmasında izlenen aşamalar (Guisan ve Zimmermann, 2000, yayınından alınmıştır) .....	8
Şekil 2.4: Tür Dağılım Modelleri oluşturmak için kullanılan verilere yönelik bir şema (Guisan ve Zimmermann, 2000) .....	9
Şekil 2.5: Projeksiyon ve Hedef Yolları (Örneğin, RCPs- Temsili Konsantrasyon Yolları/ Representative Concentration Pathways: <a href="https://climatescenarios.org/primer-legacy/what-are-climate-change-scenarios/">https://climatescenarios.org/primer-legacy/what-are-climate-change-scenarios/</a> kaynağından değiştirilerek alınmıştır) .....	18
Şekil 2.6: Örnek bir Alıcı İşlem Karakteristiği (AİK / ROC) Eğrisi. (a) Eğrinin referans noktasından yukarıda doğru genişlemeye ( $EAA > 0.5$ ) devam etmesi modelin tahmin performansının yükseldiğine, referans çizgisine yaklaşması ( $EAA = 0.5$ ) modelin rastgeleliğine ve (b) yönünde daralması ( $EAA < 0.5$ ) sonuçların rastgeleden daha kötü olduğuna işaret eder.....	29
Şekil 2.7: Hiyerarşik Modelleme İş Akışı Şeması (Mateo ve ark., 2019 yayınından, kullanıcı bazlı değişiklikler ve çevirisisi yapılarak alınmıştır) .....	35
Şekil 2.8: 1km çözünürlüklü biyoklimatik katmanın (sol), Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (Brunsdon ve ark., 1996) yöntemi ile 120m boyutunda yüksek çözünürlüklü katmana (sağ) dönüştürülmesi. ....	36
Şekil 2.9: Çanakkale Kalkım'da bir tarla kenarında fotoğraflanan yaşlı bir Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.). Göründüğü üzere bu ağaç, kapalılığın olmadığı alanlarda oldukça büyük bir tepe tacına, ışığa ulaşımının kolaylaşmasıyla hızlanan çap artımına, sonuç olarak kalın ve çatallı bir gövdeye sahip olmaktadır.....	39
Şekil 2.10: Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) genç (sol) ve yaşlı (sağ) bireylerdeki kabuk yapısı.....	40
Şekil 2.11: Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.)'nın erkek çiçekleri. Mayıs ayının ortasından başlayarak Haziran'ın sonuna kadar bu çiçekler oldukça göz alıcı sarımtırak beyaz renk ve uzun salkımsı yapılarıyla türün tespitinde büyük kolaylık sağlar. ....	41
Şekil 2.12: Anadolu Kestanesi'nin ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) olgunlaşmış dişi çiçeği. ....	42

Şekil 2.13: Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) tomurcuk yapısı ve sürgün üzerinde dizilişi.....	43
Şekil 2.14: Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) meyveleri. Solda olgunluğa erişmiş ve toprağa dökülmek üzere olan ve sağda henüz olgunlaşmamış, kupulası tamamiyla kapalı meyveler görülmektedir.....	43
Şekil 2.15: Anadolu Kestanesi'nin ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) Paleobotanik bulgular ile belirlenmiş doğal ve kültür yayılışları. A- Anadolu Kestanesi'nin Yayılış Haritası, B- Anadolu Kestanesi'nin fosil, polen ve kömür kayıtlarına rastlanılan noktalar. (Rocez-Diaz ve ark., 2018; Conedera ve ark., 2016 yayınlarından çevirisini yapılarak alınmıştır) .....	46
Şekil 2.16: 779 farklı Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) bireylerinin genetik farklılıklarının, kümeleme analizi sonucunda elde edilen coğrafi yayılışı (bu tür araştırmalar literatürde “ <i>biyocoğrafya</i> ” kategorisine girmektedir). Bireylerin seçildiği popülasyonlar harita üzerinde siyah noktalarla belirtilmiştir (Chiocchini ve ark., 2016; yayından çevrilerek alınmıştır) .....	48
Şekil 2.17: Piglucci ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılan araştırmada kullanılan örnek alanların coğrafi yayılışı. (Bu görselde üçgenler Batı (Marmara), içi dolu daireler Doğu (Orta ve Doğu Karadeniz) ve içi boş daireler merkez (Batı Karadeniz) yayılışları olarak tanımlanmıştır). (Pigliucci ve ark., 1990).....	49
Şekil 3.1: Çalışma alanı ve Orman Genel Müdürlüğü 2016 yılı amenajman kayıtlarına göre Anadolu Kestanesi'nin ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) yayılış gösterdiği alanlar.....	53
Şekil 3.2: Kütasal ölçekli modellerde kullanılmak üzere amenajman planları ve herbaryum kayıtlarından, <i>mekansal aralama</i> yöntemiyle elde edilen tür verileri (var noktaları).....	54
Şekil 3.3: Worldclim veri setleriyle oluşturulan kütasal ölçekli modellerde kullanılan biyoklimatik değişkenler.....	55
Şekil 3.4: CHELSA veri setleriyle oluşturulan kütasal ölçekli modellerde kullanılan biyoklimatik değişkenler.....	55
Şekil 3.5: Kütasal ölçekte oluşturulan modellerde kullanılan tür verileri ve modelin bütün alana transfer edilmeden önce oluşturduğu tampon bölge (maske). (a) 400, (b) 800 ve (c) 1200 adet yalancı-yok noktası (kırmızı) ve her biri 393 adet var noktasından (yeşil) oluşmaktadır. Tür verileri oluştururken <i>biomod2</i> paketindeki <i>disk</i> metodu kullanılmış, yani var ve yalancı-yok noktaları arasındaki mesafenin en az 3 kilometre olması sağlanmıştır. ....	57
Şekil 3.6: Model Oluşturma ve Değerlendirmede kullanılan, mekansal çapraz-doğrulama blokları (blockCV; Valavi ve ark., 2018). Modelin oluşturulacağı maskelenmiş alan 4 katlı (4-fold) 24 bloğa bölünmüş, blok katlarından 3'ü (18 adet) Model Oluşturmadada ve 1'i (6 adet) Model Değerlendirmede kullanılmak üzere ayrılmıştır. Örnek olarak, bu görseldeki 2 numaralı (turkuaz renkte) bloklar, model değerlendirmede kullanılacaktır; bu durumda test verileri tüm veri setinin %25'ine denk gelmektedir.....	58
Şekil 3.7: Bölgesel ölçekli modellerin çalışma alanı sınırları ve Orman Genel Müdürlüğü 2016 yılı amenajman kayıtlarına göre Anadolu Kestanesi'nin ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) yayılış gösterdiği alanlar.....	59

Şekil 3.8: Bölgesel ölçekli modellerde kullanılan tür verileri.....	60
Şekil 3.9: Çalışmada kullanılan var/yok verilerinin bulunduğu alanları yükseltiler. Kırmızı alanlar 500 metre altındaki, bej alanlar 500-1000m, beyaz alanlar 1000-1500m, gri ve siyah alanlarda 1500m üzerini temsil etmektedir. Yeşil noktalar türün bulunduğu, sarılar ise bulunmadığı alanları göstermektedir. ....	62
Şekil 4.1: Kıtasal Ölçekli Güncel TDM'nin Korelasyon Matrisi. Çevresel değişkenler arasındaki korelasyonları anlamak için kullanılır. Koyu yeşil (1) maksimum pozitif korelasyon, Koyu pembe (-1) maksimum negatif korelasyonu belirtir.....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.2: Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenler (Şekil 4.1’deki sıralamasıyla).....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.3: Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan algoritmaların kalibrasyon skorları. .	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.4: Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenlerin önem derecelerinin (Şekil 4.6), ensemble sonuçları.....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.5: Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan algoritmaların model değerlendirme (evaluation) skorları. Grafikteki noktalar, 10 tekrarlı modelleme sürecinde algoritma skorlarının ortalamasını verir; uzun çizgiler, “evaluation” skorlarının aralığını belirtir....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.6: Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenlerin her bir algoritma göre önem derecesi ( <i>variable importance</i> ). .....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.7: Kıtasal Ölçekli TDM’nde uygulanan 10 tekrarlı algoritma kalibrasyon skorları. ....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.8: Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenlerin tepki eğrileri ( <i>response curves</i> ). .....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.9: Kıtasal Ölçekli TDM sonucunda oluşturulan güncel (2023) Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) yayılışı. ....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.10: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan IPSL (RCP 4.5) senaryosuna göre 2050 yılında sahip olunması tahmin edilen Anadolu Kestanesi ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) yayılışı. ....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>
Şekil 4.11: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan 2050 yılı IPSL (RCP 4.5) senaryosu ile güncel duruma göre gerçekleşmesi beklenen habitat uygunlukları. Gri alanlar (0) daha önceden de varlığının beklenilmediği, kırmızı alanlar (-2) güncel duruma göre habitat değişiminin olumsuz olarak gerçekleşmesi bekendiği, sarı alanlar (-1) habitatların uygun kalması bekendiği ve yeşil alanlar (1) yeni yayılışların olması bekendiği yerleri belirtmektedir. ....	<b>Hata! Yer işaretti tanımlanmamış.</b>

Şekil 4.12: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan IPSL (RCP 8.5) senaryosuna göre 2050 yılında sahip olunması tahmin edilen Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) yayılışı.

..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.13: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan 2050 yılı IPSL (RCP 8.5) senaryosu ile güncel duruma göre gerçekleşmesi beklenen habitat uygunlukları. Gri alanlar daha önceden de varlığının beklenilmediği, kırmızı alanlar güncel duruma göre habitat değişiminin olumsuz olarak gerçekleşmesi bekendiği, sarı alanlar habitatların uygun kalması bekendiği ve yeşil alanlar yeni yayılışların olması bekendiği yerleri belirtmektedir. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.14: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan IPSL (RCP 4.5) senaryosuna göre 2070 yılında sahip olunması tahmin edilen Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) yayılışı.

..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.15: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan 2070 yılı IPSL (RCP 4.5) senaryosu ile güncel duruma göre gerçekleşmesi beklenen habitat uygunlukları. Gri alanlar daha önceden de varlığının beklenilmediği, kırmızı alanlar güncel duruma göre habitat değişiminin olumsuz olarak gerçekleşmesi bekendiği, sarı alanlar habitatların uygun kalması bekendiği ve yeşil alanlar yeni yayılışların olması bekendiği yerleri belirtmektedir. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.16: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan IPSL (RCP 8.5) senaryosuna göre 2070 yılında sahip olunması tahmin edilen Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) yayılışı.

..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.17: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu oluşturulan 2070 yılı IPSL (RCP 8.5) senaryosu ile güncel duruma göre gerçekleşmesi beklenen habitat uygunlukları. Gri alanlar daha önceden de varlığının beklenilmediği, kırmızı alanlar güncel duruma göre habitat değişiminin olumsuz olarak gerçekleşmesi bekendiği, sarı alanlar habitatların uygun kalması bekendiği ve yeşil alanlar yeni yayılışların olması bekendiği yerleri belirtmektedir. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.18: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu elde edilen habitat değişim miktarları (pixeł miktarına göre). A) 2050 yılı IPSL ssp3(rcp4.5) sonucu gerçekleşmesi beklenen değişim. B) 2050 yılı IPSL ssp5(rcp8.5) sonucu gerçekleşmesi beklenen değişim. C) 2070 yılı IPSL ssp3(rcp4.5) sonucu gerçekleşmesi beklenen değişim. D) 2070 yılı IPSL ssp5(rcp8.5) sonucu gerçekleşmesi beklenen değişim. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.19: Kıtasal Ölçekli TDM sonucu elde edilen habitat değişim oranları. A) 2050 yılı IPSL ssp3(rcp4.5) sonucu, B) 2050 yılı IPSL ssp5(rcp8.5) sonucu, C) 2070 yılı IPSL ssp3(rcp4.5) sonucu, D) 2070 yılı IPSL ssp5(rcp8.5) sonucu gerçekleşmesi beklenen değişim. Turuncular kayıp alanların, Yeşiller yayılısta artışın bekendiği alanların ve Maviler ise habitat değişimlerinin (olumlu ya da olumsuz) gerçekleşeceği alanları orantısal olarak tahmin etmektedir. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

Şekil 4.20: Bölgesel Ölçekli Güncel TDM'nin Korelasyon Matrisi. Çevresel değişkenler arasındaki korelasyonları anlamak için kullanılır. Koyu yeşil (1) maksimum pozitif korelasyon, Koyu pembe (-1) maksimum negatif korelasyonu belirtir. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

- Şekil 4.21: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenler (Tablo 4.2’deki sıralamasıyla)..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.22: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan algoritmaların kalibrasyon sonuçları. . **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.23: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenlerin önem derecelerinin (Şekil 4.22), ensemble sonuçları..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.24: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenlerin her bir algoritmaya göre önem derecesi ..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.25: Bölgesel Ölçekli TDM’nde uygulanan 10 tekrarlı algoritma skorları. ....**Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.26: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan algoritmaların model değerlendirme (evaluation) skorları. Grafikteki noktalar, 10 tekrarlı modelleme sürecinde algoritma skorlarının ortalamasını verir; uzun çizgiler, “evaluation” skorlarının aralığını belirtir.... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.27: Bölgesel Ölçekli TDM oluştururken kullanılan Random Forest (RF) algoritması sonuçları. .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.28: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenlerin (predictors) tepki eğrileri (*response curves*). .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.29: Bölgesel Ölçekli TDM oluştururken kullanılan Gradient Boosting Machine (GBM) algoritması sonuçları..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.30: Bölgesel Ölçekli TDM oluştururken kullanılan Flexible Discriminant Analysis (FDA) algoritması sonuçları..... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**
- Şekil 4.31: Bölgesel Ölçekli TDM sonucunda oluşturulan güncel (2023) Anadolu Kestanesi’nin (*Castanea sativa* Mill.) Bursa ilinde tahmin edilen habitat uygunluk haritası. Renk yoğunlukları olasılık oranlarını temsil etmektedir .... **Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.**

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Tablo 2.1: Kappa hesabında kullanılan Hata Matrisi .....	28
Tablo 3.1: Bölgesel ölçekli modellerde kullanılan tahmin ediciler (sol taraf, 1'den 40'a kadar) ve 4 tekrarlı VIF sonuçlarına göre modellerde kullanılan tahmin edici skorları (sağ taraf, 10'ar değişkenin 4 tekrarlı sonuçları) .....	<b>Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.</b>
Tablo 4.1: Kütasal Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenler ve Varyans Şişme Faktörü (VIF) değerleri. ....	<b>Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.</b>
Tablo 4.2: Bölgesel Ölçekli TDM’nde kullanılan çevresel değişkenler ve Varyans Şişme Faktörü (VIF) değerleri. ....	<b>Hata! Yer işareteti tanımlanmamış.</b>

## SİMGİ VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
<b>AIK / ROC</b>	: Alıcı İşletim Karakteristiği / Receiver Operating Characteristic
<b>AKGA</b>	: Asya Kestane Gal Arısı
<b>ASTER</b>	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (NASA uydu)
<b>CBS / GIS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemleri / Geographical Information Systems
<b>CHELSA</b>	: Dünya Yüzey Alanları için Yüksek Çözünürlüklü Klimatoloji / Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas
<b>CMIP</b>	: Coupled Model Intercomparison Project / Eşleştirilmiş Karşılaştırmalı Modeller Projesi
<b>DDİ / NLP</b>	: Doğal Dil İşleme / Natural Language Processing
<b>DVM / SVM</b>	: Destek Vektör Makinaları / Support Vector Machines
<b>EAA / AUC</b>	: Eğri Altındaki Alan / Area Under Curve
<b>EAA / FDA</b>	: Esnek Ayırmacı Analizi / Flexible Discriminant Analysis
<b>GBİ / TSS</b>	: Gerçek Beceri İstatistiği / True Skill Statistics
<b>GÇM / GLM</b>	: Genelleştirilmiş Çizgisel Modeller / Generalized Linear Model
<b>GDAL</b>	: Jeouzamsal Veri Kütüphanesi / Geospatial Data Abstraction Library
<b>GEM / GAM</b>	: Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller / Generalized Additive Model
<b>GFDL</b>	: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (ABD kökenli iklim modelleme laboratuvarı)
<b>GHCN</b>	: Global Historical Climatology Network / Küresel Tarihsel Klimatoloji Ağrı
<b>GHM / GBM</b>	: Genelleştirilmiş Hızlandırma Modelleri / Generalized Boosted Model
<b>GRASS</b>	: Coğrafi Kaynak Analiz ve Destek Sis. / Geographic Resources Analysis Support System
<b>GTÖ / FAO</b>	: Gıda ve Tarım Örgütü / Food and Agriculture Organization
<b>HİDP / IPCC</b>	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli / Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IPSL</b>	: Institut Pierre-Simon Laplace (Fransa kökenli iklim modelleme laboratuvarı)
<b>KDK</b>	: Kestane Dal Kanseri
<b>MOSS</b>	: Harita Görüntüleme ve İstatistik Sistemi / Map Overlay and Statistical System
<b>MPI</b>	: Max Planck Institute for Meteorology (Almanya kökenli iklim modelleme enstitüsü)
<b>OGC</b>	: Açık Jeouzamsal Konsorsiyum / Open Geospatial Consortium
<b>OGM</b>	: Orman Genel Müdürlüğü
<b>OGR</b>	: Açık-CBS Temel Özellik Kaynağı / OpenGIS Simple Features Reference
<b>PA</b>	: Yalancı-yok Noktaları / Pseudo-absence Points
<b>PSY / SSPs</b>	: Paylaşımı Sosyoekonomik Yollar / Shared Socioeconomic Pathways
<b>RO / RF</b>	: Rastgele Orman / Random Forest
<b>SRA / CART</b>	: Sınıfladırma ve Regresyon Ağaçları / Classification and Regression Trees

<b>SRES</b>	: Special Report on Emissions Scenarios / Emisyon Senaryoları Hakkında Özel Rapor
<b>SYM / DEM</b>	: Sayısal Yükseklik Modeli / Digital Elevation Model
<b>TBA / PCA</b>	: Temel Bileşen Analizi / Principle Component Analysis
<b>TDM</b>	: Tür Dağılım Modelleri
<b>TKT / TSS</b>	: Toplam Kareler Toplamı / Total Sum of Squares
<b>TKY / RCPs</b>	: Temsili Konsantrasyon Yolları / Representative Concentration Pathways
<b>TRI</b>	: Yüzey Engebeliliği İndeksi / Terrain Ruggedness Index
<b>TWI</b>	: Topografik Nemlilik İndeksi / Topographic Wetness Index
<b>VIF</b>	: Varyans Şişme Faktörü / Variance Inflation Factor
<b>YSA / ANN</b>	: Yapay Sinir Ağları / Artificial Neural Networks
<b>SSE</b>	: Yüzey Meteorolojisi ve Güneş Enerjisi / Surface meteorology and Solar Energy
<b>ESRA</b>	: Avrupa Güneş Radyasyonu Atlası / European Solar Radiation Atlas
<b>NASA</b>	: Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi / National Aeronautics and Space Administration
<b>ESA</b>	: Avrupa Uzay Ajansı / European Space Agency

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

***ANADOLU KESTANESİ (Castanea sativa Mill.)'NİN GÜNCEL ve GELECEKTEKİ  
YAYILIŞININ MODELLENMESİ***

Hüseyin DOĞAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ |

İstatistiksel yöntemlerin ve coğrafi bilgi sistemleri araçlarının artmasıyla birlikte, ekoloji alanında “tür dağılım modellerinin” kullanılması hız kazanmıştır. Günümüzde tür dağılım modelleri, biyocoğrafya, koruma biyolojisi, iklim değişikliği araştırmaları, ekolojik restorasyon, habitat veya tür yönetimi gibi farklı alanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Bu araştırmada çalışılacak tür olan Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) güncel ve gelecekteki yayılışlarının modellenmesi, bizlere bu türün habitatı hakkında önemli bilgiler kazandıracaktır. Bu bilgiler ile, iklim değişikliği de göz önünde bulundurularak; güncel ve gelecekteki ağaçlandırma/silviculture planlarının oluşturulması, ekolojik restorasyon, istilacı türlerle karşı müdaħale yöntemleri, doğa koruma alanlarının oluşturulması gibi konularda kullanılacak haritalar oluşturulabilecektir.

FAO'nun (Food and Agriculture Organisation) 2012'deki raporlarına göre, dünya genelinde kestane üretimi yıllık ortalama 2 milyon tondur. Çin 1,3 milyon ton ile bu üretimin %84'ünü karşılarken, ikinci sırada yer alan Türkiye 60 bin ton ile %3'ünü karşılamaktadır; bu liste İtalya, Güney Kore, Bolivya ve Yunanistan diye devam etmektedir. Orman Genel Müdürlüğü 2013 – 2017 “kestane eylem planına” göre Türkiye 28.804 hektar saf kestane yayılışına sahiptir; bu varlığın 22.011 hektarını verimli ve 6.793 hektarını bozuk meşçereler oluşturmaktadır. Saf meşçerelerin yanı sıra kestaneler bir çok farklı türden geniş yapraklı ve ibreli türlerle karışımı girmektedir; bu karışımında kendi içerisinde kestanenin asli ya da yan

tür olduğu alanlar olarak ayrılmaktadır. Farklı niteliklerdeki bu kestane karışımlarının toplamı 233.241 hektardır ve yine bu toplamın yaklaşık 20 bin hektarı bozuk meşçere özellikleri göstermektedir.

Kestane'nin güncel ve gelecekteki yayılışlarının modellenmesi bizlere önemli bilgiler kazandıracaktır. İklim değişikliği gerçeği göz önünde bulundurularak, gelecekteki ağaçlandırma/silvikültür planlarının oluşturulması, ekolojik restorasyon, istilacı türlere karşı müdahale yöntemleri, doğa koruma alanlarının oluşturulması vb. gibi konularda kullanılacak temel haritaların oluşturulması, TDM ile mümkün hale gelmiştir.

Çalışılan tür olan Anadolu kestanesi, özellikle “kestane dal kanseri” (*Cryphonectria parasitica*) ve “mürekkep hastalığı” (*Phytophtara cambivara*) olumsuz etkileri neticesinde geniş alanlarda tahrifat görmüş (son zamanlarda “Çin Gal Arısı” – *Dryocosmus kuriphilus* ), hatta bu alanlarda çok büyük oranlarda ağaç ölümleri ve ürün kayipları meydana gelmiştir. Zarar gören kestane ormanlarının restore edilmesi ve tahrifatın önüne geçilmesi amacıyla yurtdışında bir çok araştırma gerçekleştirilmiş ve bu çalışmaların temellerini ise bu modeller ve iklim senaryoları oluşturmuştur. Ekolojik restorasyon ve doğa koruma alanlarının oluşturulmasına yardımcı olmak gibi daha birçok işlevi olan bu modellerin ve iklim senaryolarının ülkemizde de oluşturulması, bu alanda bilgi üretilmesine yardımcı olacaktır.

Ulusal Tez Merkezi’nde (tez.yok.gov.tr) “*Castanea*” kelimesi ile yapılan literatür taramasında, 41 adet Tez'e rastlanmış olup, bunların 4 tanesi doktora, 37 tanesi ise yüksek lisans tezidir. Bu tezlerin kapsamlarını ise çoğulukla; “kestaneye uygun silvikültürel müdahaleler, odun yapısının kimyasal özellikleri, çiçek yapıları ve polen morfolojisi, aşılanma ya da mikro-çoğaltımı” oluşturmaktadır. Bu tez ile amaçlanan, tür dağılım modelleri ya da iklim senaryoları ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Haziran 2023 , |....| sayfa.

**Anahtar kelimeler:** | Tür Dağılım Modelleme, Anadolu Kestanesi, İklim Senaryoları |

## **ABSTRACT**

**Ph.D. THESIS**

**MODELING THE CURRENT AND THE FUTURE DISTRIBUTION OF  
ANATOLIAN CHESTNUT (*Castanea sativa Mill.*) |**

**Huseyin DOGAN**

**Istanbul University-Cerrahpaşa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Forest Engineering**

**Surveying and Cadastre**

**Supervisor : Prof. Dr. Osman Yalcin YILMAZ |**

With the development of statistical methods and geographic information systems (GIS) technologies, the use of species distribution models in ecology and related sciences has gained momentum. Today, species distribution models are widely used in different fields such as biogeography, conservation biology, climate change researches, ecological restoration, habitat or species managements. Within these models, the spread of a single species can be predicted, as well as the extensions of ecosystems as a whole.

Modeling the current and future distribution of the Anatolian Chestnut, which will be studied in this research, will provide us with important information about the habitat of this species. With this information, taking into account climate change; It will be possible to create maps that will be used in subjects such as current and future afforestation/silviculture plans, ecological restoration, intervention methods against invasive species, creation of nature protection areas.

The reason for the selection of Anatolian Chestnut in this study is; It' habitat has been damaged widely around the country, especially as a result of the negative effects of "chestnut branch cancer" (*Cryphonectria parasitica*), "ink disease" (*Phytophtara cambivara*) and "chestnut gall wasp" (*Dryocosmus kuriphilus*); tree deaths and crop losses have occurred in these areas at large numbers. Many researches has been carried out abroad in order to restore damaged chestnut (and many other primary forest tree species) forests and prevent deforestation; and distribution models and climate scenarios have formed the basis of these studies. The creation of these models and species-specific climate scenarios in our country,

which have many functions such as helping to create ecological restoration and nature protection areas, will provide useful outputs in many cases, especially in the management of our forests and their future planning.

The outputs to be obtained as a result of this thesis(research) are planned to be in 2 different categories (high and low resolution). In first category, the outputs will be large-scale (low resolution) models that will be created with the location records of Anatolian Chestnut obtained from herbarium and other institutions (universities, institutes, OGM, etc.) throughout the country, and bioclimatic data records (WorldClim) will be used as environmental layers. The next category, with large-scale models created throughout the country, in a specified area (forest management chief, nature protection area, etc.), where Chestnut stands are concentrated, local models will be created with high resolution environmental data. In the content of this research proposal, the importance and usage areas of high and low resolution models will be explained.

June 2023, ..... pages.

**Keywords:** Species Distribution Modeling, Anatolian Chestnut, Climate Scenarios

## 1. GİRİŞ

İnsanlar dahil birçok hayvan ve bitki türünün evi olan ormanlar, günümüzde tüm biyoçeşitliliğin %30'u ve karasal biyoçeşitliliğin %70'inden fazlasına ev sahipliği yapmaktadır (FAO, 2020; UNEP-WCMC, 2023). Varlığının insan beslenmesi ve barınmasına direkt ve dolaylı olarak sağladığı etkilerden, şehirlerin ve kültürlerin şekillenmesine kadar birçok konuda bağlı olduğumuz ormanların karmaşık dokusu, sahip oldukları hassas dengeler sebebiyle dikkatli bir yönetim yaklaşımı gerektirmektedir. Bu ekosistemler üzerindeki insan etkisi yoğunlaştıkça, sürdürülebilir yönetim ihtiyacı da her geçen gün daha önemli hale gelmiştir. İşte bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekansal verileri haritalama, analiz etme ve modelleme yetenekleriyle birçok farklı alanda (şehir planlama, kaynak yönetimi, afet yönetimi, su yönetimi, telekomünikasyon, ulaşım ve lojistik vb.) olduğu gibi ormancılık alanında da işimizi oldukça kolaylaştıran araçlar olarak ortaya çıkmıştır.

CBS'nin ormancılıktaki tarihsel gelişimi, teknolojinin evrimiyle paralel ilerlemiştir. Geleneksel ormancılar uzun yıllar boyunca cetvel, pusula, pergel, teodolit ve plançetelerle hazırlanmış, yoğun emek gerektiren haritalama yöntemlerini kullanmışlardır. Bu geleneksel yöntemler farklı teknolojilerin getirdikleri ile oldukça gelişmiş ve hassaslaşmış olsalar da bugünkü verimliliklerine ulaşmaları kısa sürmemiştir. 1920'lerde hava fotoğrafçılığının getirdiği yenilikler doğrultusunda, orman örtüsü ve topografyasının kuşbakışı görüntülerinin kullanılması, bu alanda yeni bir çağ başlatmıştır (Wulder ve ark., 2004). Ancak bu fotoğrafların yorumlanması ve analiz edilmesi yine elişi ve emek-yoğun bir şekilde gerçekleştirilerek uzun yıllar boyunca kullanılmıştır.

1960 ve 1970'lerde bilgisayarların bilimsel araştırmalarda kullanılmaya başlanması bir diğer dönüm noktası olmuştur. O yıllarda, Kanada Kırsal Kalkınma ve Orman Departmanı başında bulunan Roger Tomlinson ve ekibi KCBS / CGIS (Kanada Coğrafi Bilgi Sistemleri) adını verecekleri ilk CBS yazılımını geliştirerek mekansal verilerin orman özellikleriyle tanımlanabilmesinin önünü açmıştır (Tomlinson, 1967; Waters, 2018). Tomlinson, CBS programına başlamadan önce, büyük miktarlarda veriyi depolamak ve işlemek için otomatik veri işleme tasarımını (Tomlinson, 1962; 1963) yaratmış ve böylece Kanada Ulusal Arazi Kullanımı programında kullanılmak üzere KCBS / CGIS yazılımının oluşturulmasının olanak

sağlamıştır. CBS terimini ilk kullanan kişi de Roger Tomlinson olmuştur (Waters, 2018). Bu ilk sistemler, günümüze kıyasla ilkel kalsalar da tür dağılımı, toprak özellikleri ve yol ağları gibi veri katmanlarını üst üste bindirerek dijital haritaların oluşturulmasına olanak sağlamış; hava fotoğraflarının ormancılık uygulamalarında kullanılmaya başlanmasından sonraki kuşkusuz en önemli gelişmelerden biri olmuştur.

1980'ler ve 1990'lar, CBS'nin evriminde önemli rolü olan teknolojik gelişmelerin ve genişleyen uygulama alanlarının gözlemlendiği yıllar olmuştur. Bu dönemde, CBS'nin pahalı laboratuvar ortamlarından çıķıp kişisel bilgisayarlar aracılığıyla daha erişilebilir hale gelmesine ve kullanıcı tabanının genişlemesine yönelik önemli gelişmeler yaşanmıştır. 1981 yılında ESRI'nin (Environmental Systems Research Institute Inc.) bir yazılımı olan ArcInfo'nun ticari kullanımına sunulması gibi önemli yazılım gelişmeleri, CBS'nin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır (ETHW, 2023). Bu yıllarda uzaktan algılamanın CBS'ye entegrasyonu başlamış, gözlem uydusu teknolojilerindeki gelişmelerin Landsat, SPOT, ASTER, MODIS vb. gibi uydulardan elde edilen verilere ulaşımı kolaylaştırmasıyla jeo-uzamsal (coğrafi mekansal) verilerin sanal ortamdaki mevcudiyetinde büyük bir artış yaşanmıştır. Ayrıca CBS uygulamalarının geleneksel haritalama ve kaynak yönetiminin ötesine geçerek çevresel gözlem, şehir planlama ve afet yönetimi gibi çeşitli alanlara yayılması, CBS'nin etkisinin genişlemesine yol açmıştır. Özellikle 1990'ların sonrası, web tabanlı CBS ve interaktif haritalama döneminin başlamasıyla mekansal verilere ve analizlere erişimi oldukça kolaylaşmış, bu dönem CBS'nin çeşitli sektörlerde vazgeçilmez bir araç haline gelmesine zemin hazırlamıştır: Ayrıca bu dönemde mekansal verilerin küresel olarak değerlendirilme ve kullanılma şekli de farklı projeksiyonlar ve koordinat referans sistemleriyle temelden değişmiştir (Longley ve ark., 2015).

CBS'nin tarihsel gelişiminden bahsederken gözden kaçırılmaması gereken önemli bir husus, açık-kaynak yazılımların bu teknolojinin gelişimi üzerindeki etkisidir. 1978 yılında USGS (Birleşik Devletler Jeolojik Gözlem Departmanı / United States Department of Geological Survey) bünyesinde çalışan ordu mühendislerinin oluşturduğu ilk açık-kaynak CBS yazılımı olan MOSS (Harita Görüntüleme ve İstatistik Sistemi / Map Overlay and Statistical System) 1983 yılına gelindiğinde ABD federal departmanları (Balıkçılık ve Yaban hayatı, Doğal Kaynakları Korunma) ve üniversitelerde uygulama ve eğitim amaçlarıyla kullanılmış, bu proje kendisini takip edecek birçok yazılımın kapısını aralamıştır (Reed, 2004). Günümüzde hala kullanılmakta olan 1985 çıkışlı GRASS (Coğrafi Kaynak Analizi ve

Destek Sistemi / Geographic Resources Analysis Support System) CBS yazılımı, MOSS projesinin devamı olarak yine USGS mühendisleri tarafından, farklı modüller ve MOSS'un sahip olduğu *komut satırı arayüzü* (Command Line Interface / CLI) 'nden farklı olarak bir *grafik kullanıcı arayüzüne* (Graphical User Interface / GUI) sahip olacak şekilde geliştirilmiştir (Golan ve ark., 1983; GRASS GIS, 2023). Bu yazılım öncelikli olarak arazi yönetimi ve çevresel planlama çalışmalarına yardımcı olması amacıyla geliştirilmiş, ancak birçok farklı alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, mekansal hesaplama ve gözleme dayalı bu alanlara entegrasyonu için yeni modüller ve kütüphaneler (örneğin; GDAL -Geospatial Data Abstraction Library- raster\* veriler ve OGR -OpenGIS Simple Features Reference- vektör\* veriler üzerine 1997 yılında geliştirilmeye başlanan kütüphanelerdir. GDAL/OGR, 2023) geliştirilmiş ve günümüzde hala geliştirilmeye devam etmektedirler. 1994 yılına gelindiğinde açık-kaynak yazılımların karşılıklı kullanılabilirliğini sağlamak ve kullanılan veri tipleri üzerinden bir standardizasyonun oluşturulmasına yönelik bir konsorsiyum (iş birliği) olan Open Geospatial Consortium (OGC – Açık Jeo-uzamsal Konsorsiyum) toplanmış ve günümüzde hala kullanılmakta olan birçok CBS veri formatının oluşturulmasında ve standart hale getirilmesinde öncülük etmişlerdir (Huang ve ark.,2022).

OGC'nin tek görevi standardizasyon olarak kalmamış, OSGEO (Open Source Geospatial Foundation) ve GeoTools gibi açık-kaynak CBS topluluklarını desteklemiştir, QGIS (QGIS.org, 2023), SAGA (Conrad ve ark, 2015) ve GRASS (GRASS GIS, 2023) gibi günümüzde bilimsel çalışmalarda en sık kullanılan (Coetzee ve ark., 2020) CBS yazılım ve paketlerinin günüümüze kadar gelmesine olanak sağlamıştır. Kısacası, ticari bir yazılım olan ArcInfo (sonraki versiyonlarda ArcMap-1999, ArcGIS Desktop-2001 ve ArcGIS Pro-2015 isimlerini almıştır; ESRI, 2024) her ne kadar 90'lı yıllarda CBS konseptinin yaygınlaşmasını sağlamış olsa da açık-kaynak CBS yazılımları (QGIS, GeoTools, GRASS, SAGA vb.) uluslararası topluluklar, çalıştaylar, konferanslar ve konsorsiyumlar ile bu teknolojinin daha hızlı gelişmesini sağlamıştır. Günümüzde yeni yazılım kütüphaneleri ve modüllerin çoğulukla açık-kaynak topluluğu tarafından geliştirildiğini de rahatlıkla söyleyebiliriz (Coetzee ve ark., 2020).

CBS'nin ormancılıkta kullanımı bahsedilen bu süreçte önemli ölçüde artarak orman kaynaklarının yönetimi ve planlanması için sıklıkla kullanılan bir araç haline gelmiştir. CBS bu dönemde farklı ağaç türlerini, dağılımlarını ve yoğunluklarını gösteren orman alanlarının ayrıntılı haritalarını oluşturmada; bu haritalar ise odun üretimi, koruma ve ağaçlandırma

çalışmaları için alanların belirlenmesi gibi temel ormancılık faaliyetlerinin planlanmasında kullanılmış ve kullanılmaya devam edilmektedir. Başlangıçta CBS ormancılıkta bu gibi temel haritalama ve envanter görevleri için kullanılmış olsa da günümüzde gelindikçe karmaşık analizler ve karar verme süreçleri için kullanılabilecek modeller ve altlıklar üretmek amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır. Bahsedilen bu son dönem uygulamalarına örnek olarak meşçere sağlığının izlenmesi (Soubry ve ark., 2021), hastalıklara veya böceklerle duyarlı alanların belirlenmesi (Abd El-Ghany ve ark., 2020; Wang ve ark., 2024), orman yangınları ile mücadele (Iban ve Alihsan, 2022) ve iklim değişikliği gibi çevresel faktörlerin orman ekosistemleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi (Ehbrecht ve ark., 2022) gibi uygulamaları gösterebiliriz. CBS, günümüzde orman gelişimini ve verimini modellemek (Ashraf ve ark., 2015; Gupta ve Sharma, 2019) için de kullanılmakta olup, sürdürülebilir orman yönetimi için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

Yukarıda bahsedilen ve bu tezde ele alınacak olan mekansal modeller, CBS'nin birçok uygulamasından sadece biridir. Bu modellerin temel amacı, coğrafi olarak gözlemlenen organizmaların oluşturduğu mekansal desenleri ve dağılımları görselleştirmek ve analiz etmektir. Bu yöntemle amaçlanan kısaca, türlerin farklı çevresel koşullara olan tepkilerini tahmin etmek ve bu tahminleri koruma stratejileri ve amenajman yöntemleri için kullanmaktadır. Ekosistemlerin gözlemlenmesinde hem doğal (rakım, bakır, sıcaklık vb.) hem de antropojenik (yol yoğunluğu, şehirlere olan mesafe, habitat/orman parçalılığı) faktörlerin modellere dahil edilebiliyor olması bu modellerin en önemli özelliklerinden biridir. “Kavramsal Çerçeve” başlığında detaylıca anlatılacak olan bu modellerden tez içerisinde “Tür Dağılım Modelleri” olarak bahsedilecektir.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

### 2.1. TÜR DAĞILIM MODELLERİ

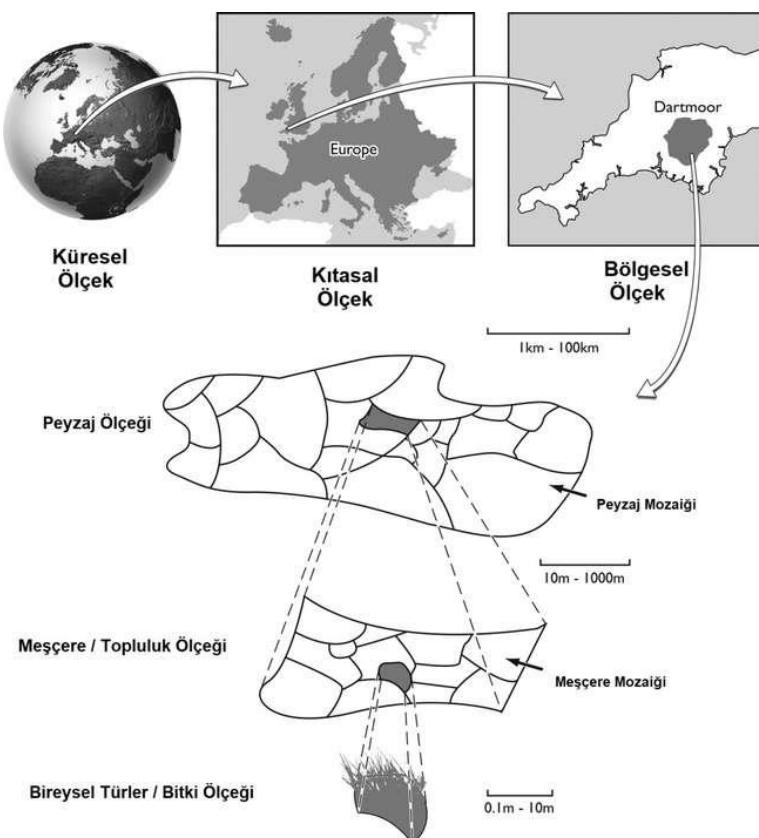
Tür Dağılım Modellerinin kökeni, ekolojik gradyan analizi (Whittaker, 1960; Whittaker ve ark., 1973), biyocoğrafya (Crovello, 1981), uzaktan algılama ve coğrafi bilgi bilimi (Franklin, 1995) yayınlarına dayanmaktadır (Franklin, 2010). Bu yöntemler günümüzde farklı bilim dallarında (şehircilik, ziraat, enerji vb.) popüler bir konu olup; ormancılıkta özellikle biyolojik kaynak değerlendirmesi/yönetimi ve koruma alanları oluşturulması üzerine, kamu ve sivil toplum kuruluşları tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Tür Dağılım Modellerinin kullanımı, dijital veri tabanlarının geliştirilmesiyle oldukça artmıştır. Bunun sebebi, bahsedilen bu kaynakların (veri tabanları) türlerin örnek kayıtlar ve diğer kaynaklardan elde edilen konum ve habitat bilgilerine ulaşmamızı hızlandırmış olmalarıdır. (*Graham ve ark, 2004; Tür Dağılım Modellerinde Kullanılan Veriler başlığında* debynilecektir).

Tür çeşitliliği ve topluluk yapısı gibi bir dizi ekolojik teori, tür dağılımlarını etkilediğinden TDM'nin konusudur: Ayrıca, son zamanlarda yapılan araştırmaların çoğu, TDM'nin niş kavramıyla bağlantısı üzerinedir (Austin, 2002; Guisan & Thuiller, 2005; Araújo & Guisan, 2006). Niş kavramı uzun yıllardır ekolojinin merkezinde bulunmakta (Grinnell, 1917; Hutchinson, 1957); temel ekoloji ders kitaplarından, ileri seviye ekolojik araştırmalara kadar hala geniş bir yelpazede yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Niş teorisinin TDM'ne en önemli katkılarından biri, temel niş ile gerçekleşmiş niş arasındaki ayrımda yatar. Temel niş, bir türün tolere edebileceği çevresel koşulların aralığını ifade ederken, gerçekleşen niş, bir türün fiilen bulunduğu koşulların aralığını ifade eder. TDM, türlerin hayatı kalması ve üremesi için en önemli çevresel değişkenleri tanımlamak için ekolojik verileri kullanarak bir türün temel nişini modellemeye kullanılır. Daha sonra, modellenen temel niş ile türün gözlenen dağılımını karşılaştırarak türün gerçek nişini anlayabilir ve dağılımını sınırlayabilecek faktörleri belirleyebiliriz (Franklin, 2010).

Tür Dağılım Modelleri oluşturulurken kararlaştırılması gereken ilk etmenlerden birisi ölçektir. Bunun sebebi, elde edilen tahmin haritalarının çözünürlükleri kullanılan veriler özelinde azalabilmekte ve dolayısıyla bu sonuç haritalar mikro çıkarımlar yapılabilmesine imkan vermemektedir. TDM, türleri yerel (örneğin, tek bir habitat veya bir koruma alanı), bölgesel (bir şehrin veya bir bölgenin ormanları -örneğin Batı Karadeniz bölgesi ormanları-), kıtasal veya küresel ölçekte modellemede kullanılabilir. (Kent, 2011) Bu doğrultuda Martin Kent, 2011 yılındaki “Vejetasyon Tanımlama ve Veri Analizi” kitabında model ölçeklerini 3 sınıfta toplamıştır (**Şekil 2.1** ve **2.2**).



**Şekil 2.1:** Modellemede temel alınan ölçekler (Kent, 2011).



**Şekil 2.2:** Biyocoğrafya ve Ekoloji'de ölçekler. (Forman ve Gordon, 1986 yayınında tanımlanıp, Kent, 2011 tarafından geliştirilmiştir)

TDM'nin önde gelen araştırmacılarından Zimmermann ve Guisan (2000)'a göre Tür Dağılım Modellerinin oluştururmasında takip edilmesi gereken 5 aşama bulunmaktadır (**Şekil 2.3**):

- 1.** Kavramsallaştırma
- 2.** Veri Hazırlığı
- 3.** Model Kalibrasyonu
- 4.** Model Değerlendirme
- 5.** Mekansal Tahminler

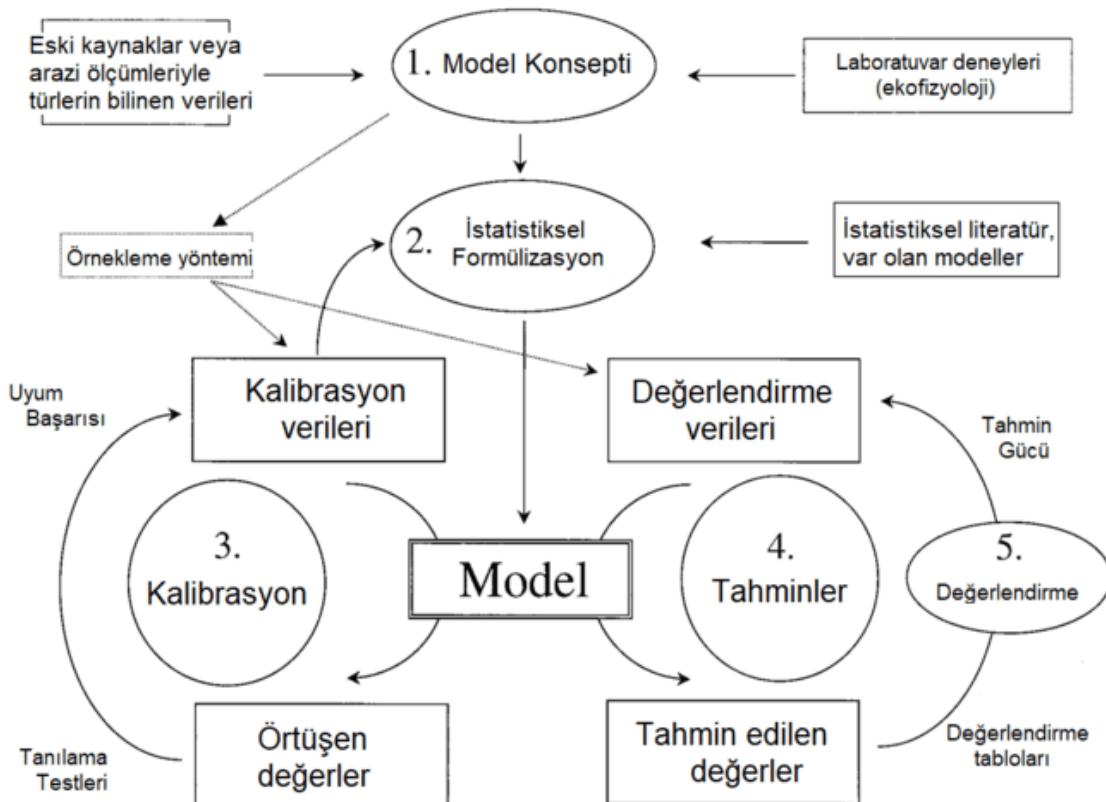
Tüm bilimsel araştırmalarda olması gerekiği gibi, Tür Dağılım Modelleri de metodolojik temellere oturtulmalıdır. Bu noktada, daha önce de bahsedilen biyocoğrafya ve ekoloji'nin TDM temelinde yer aldığı hatırlatmakta fayda vardır. Yukarıda verilen 5 adımdan söz edecek olursak; **Kavramsallaştırma** başlangıç noktamız olacaktır. TDM'lerin kavramsallaştırılması; arazi bilgisi ve ekolojik literatür çalışmaları ile başlayıp; deneyler, istatistiksel metodlar ve daha önceden oluşturulmuş modeller ile şekillenir.

Bu aşamada, araştırmancının temelini oluşturan soru, çalışılan tür ve çevresel değişkenlerin yanı sıra modelin temelinde yatan varsayımlar ve hipotezler hakkında net bir çerçeve çizilmesi gereklidir. Çalışmanın mekansal ve zamansal ölçüğünün tanımlanması, veri toplama ve analizi için uygun yöntemlerin belirlenmesi bu aşamada kararlaştırılır. Kavramsallaştırma tüm modelleme sürecinin temelini oluşturduğu ve modelin bilimsel olarak geçerli ve tutarlı olmasını sağladığı için oldukça önemli bir aşamadır (Guisan ve Zimmermann, 2000; Guisan ve Thuiller, 2005).

**Tür Dağılımlarının Haritalanması: Mekansal Çıkarmı ve Tahmin** (Franklin, 2009) kitabında; TDM oluşturulurken, özellikle model konsepti (kavramsallaştırma) aşamasında üzerinde durulması gereken önemli faktörler ele alınmıştır:

- a-** Model algoritması ve mevcut verilerin niteliği.
- b-** Modellemeye tabi tutulan türlerin ekolojik özelliklerini
- c-** Hedef türün farklı popülasyonları
- d-** Bozuk veya suni habitatlardan elde edilen tür verileri
- e-** Vücut büyüklüğü ile örnek alan büyüklüğü arasındaki ilişki. (daha çok hayvanlar için ele alınan bir parametre olduğu belirtilmiştir)

Bu faktörler modellerin başarısı üzerinde doğrudan etkilidir; bahsedilen bu istatistiksel ve ekolojik veri veya yöntemlerin dikkate alınmadığı bir modelde, çıktıların bilimsellikten uzak olacağı vurgulanmıştır.



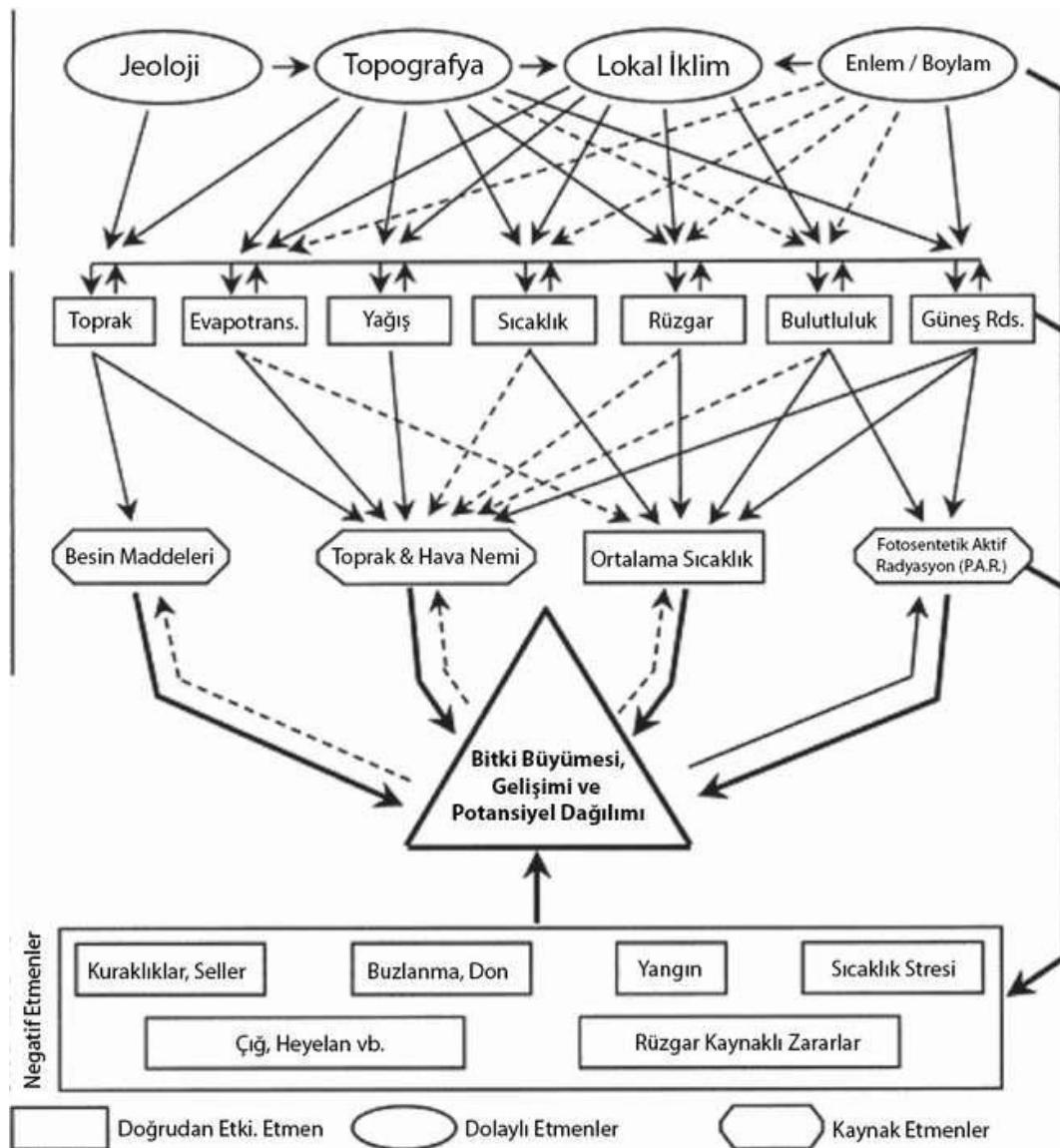
**Şekil 2.3:** Tür Dağılım Modellerinin oluşturulmasında izlenen aşamalar (Guisan ve Zimmermann, 2000, yayınından alınmıştır).

Sıradaki aşama olan “**Veri Hazırlığı**” evresine başlamadan önce TDM’nde kullanılan ve temelinde CBS terminolojisine dayanan, veri tiplerine hakim olmamız gereklidir:

- 1- Nicel-sayısal veri (yüksekti, yağış, pH vb.)
- 2- Kategorik veri (vejetasyon yapısı, orman kapalılığı vb.)
- 3- Noktasal veri (lokasyon verileri vb.)

Bu veriler TDM oluşturulurken bir arada ya da ayrı ayrı kullanılabilirler; jeoloji, topografya, hidroloji, meşçere yapısı, iklim ve konum bilgisi gibi verileri içerebilirler (*TDM’nde Kullanılan Veriler* başlığında detaylandırılacaktır). Bahsedilen, jeoloji, topografya, hidroloji ve iklimsel değişkenler, TDM'lere dolaylı olarak etki eden değişkenler olarak bilinir. Hiyerarşik olarak bunların altında yer alan ve modellere doğrudan etki eden değişkenler de bulunmaktadır (Şekil 2.4). Bunlar, oluşturulacak TDM’nde ekolojik bağlantılar kurulabilmesi için kullanılır. Doğrudan etki eden değişkenlere örnek olarak; toprak özellikleri (pH,

tekstür vb.), evapotranspirasyon, yağış ve çeşitleri, sıcaklık, karasallık, rüzgar ve bulutluluk gibi veriler gösterilebilir. Bunlardan ayrı olarak “kaynak” değişkenler denilen bir başka kategori vardır. Bunlara ise örnek olarak; toprak ve havadaki su miktarı, ortamda bulunan besin maddeleri ve miktarları, ortalama sıcaklık ve P.A.R. (Fotosentetik Aktif Radyasyon; örneğin, uydulardan elde edilen güneş radyasyonu verileri bu doğrultuda kullanılabılır) gösterilebilir. Son olarak, modellerin içerisinde türlerin dağılımına negatif etki eden, kısıtlayıcı faktörler olarak da bilinen veri tipleri, TDM’nde kullanılmamaktadır.



**Şekil 2.4:** Tür Dağılım Modelleri oluşturmak için kullanılan verilere yönelik bir şema (Guisan ve Zimmermann, 2000)

**Veri Hazırlığı** aşamasında, modelleri eğitme ve test etmede ihtiyaç duyulan verilerin kullanıma uygun hale getirilmeleri için izlenmesi gereken bazı adımlar vardır. Veri hazırlığının ilk adımı, eksik, yinelenen veya geçersiz verilerin tamamlanması ya da

kaldırılmasını içeren *veri temizliği*'dır. Daha sonra, kategorik değişkenlerin sayısal değişkenlere dönüştürüldüğü, *veri dönüştürme* ve farklı kaynaklardan elde edilen veri setlerini tek bir veri setinde birleştirilmesini belirten *veri entegrasyonu* gelir. *Veri standardizasyonu* adımda, verilerin tutarlı bir formatta ve aynı ölçü birimlerinde olması sağlanır. Son olarak, *veri bölümleme* aşamasında; verilerin model geliştirme ve değerlendirmede kullanılacak eğitim, doğrulama ve test setlerine bölünmesi sağlanır. Bu adımlar, sonuçların doğruluğu, bilimselliği ve dolayısıyla nihai modellerin başarıyla oluşturulması için oldukça önemlidir (Guisan ve Zimmermann, 2000; Franklin, 2010; Guisan ve ark, 2017).

TDM oluşturma aşamalarından üçüncüsı **Model Kalibrasyonu**'dur. Bu aşama kısaca, model ve gözlemlenen veriler (örneğin; iklimsel veriler) arasındaki uyumu optimize etmek için model parametrelerini ayarlama süreci olarak tanımlanabilir. Bu optimizasyon, kullanılan esas veri setinden oluşturulan bir *alt-veri seti* (subset) olan *eğitim verileri* ile gerçekleştirilir; burada, ana veri setinden oluşturulan bir alt veri seti (oransal ve/veya mekansal olarak belirlenebilirler: *çapraz-doğrulama / cross-validation* yöntemlerinde bahsedilecektir) olan *test verileri* ile modellerin performansı değerlendirilir. Bu aşama TDM'nde izlenen aşamalardan dördüncü sırada olan **Model Değerlendirme** (*evaluation/validation*) olarak geçer ve kalibrasyon aşaması ile senkronize bir şekilde ilerler. *Model Değerlendirme* aşamasında kullanılan ve anlaşılması gereken farklı istatistiksel metodlar mevcuttur, *TDM'nde Kullanılan Algoritmalar ve İstatistiksel Yöntemler* başlığında bu konuya ayrıca değinilecektir.

TDM'nin oluşturulmasındaki en son aşama olan **Mekansal Tahminler**; lokasyon verileri ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiye dayalı olarak, bir varlığın coğrafi yayılışını tahmin etmek üzere oluşturulurlar. Burada elde edilen sonuç haritaların kullanım alanları oldukça genişir; bunlara ise “*TDM'nin Kullanım Alanları*” başlığında değinilecektir.

### **2.1.1. Tür Dağılım Modellerinde Kullanılan Veriler**

Tür Dağılım Modellerinde kullanılan veri setleri, tür verileri (lokasyon ve/veya yoğunluk bilgileri) ve çevresel veriler olmak üzere ikiye ayrılır. Bunların yanı sıra, ağaç halkaları (Touchan ve ark, 2005), polen fosilleri (Behling ve ark, 2001), sediment tabakaları (Marchitto ve ark, 2002) ve buzullardan (Jouzel ve ark, 2007) elde edilen bilgiler ile oluşturulmuş paleontolojik verisetleri (orta holosen, yaklaşık olarak 6000 yıl öncesi ve son buzul maksimumu, yaklaşık olarak 22.000 yıl öncesi) (Otto-Bliesner ve ark, 2008) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) çatısı altında geliştirilen farklı Temsili

Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathways/ RCPs, CMIP5\*'e kadar geçerliydi; Hijmans ve ark, 2005; IPCC, 2013) ile Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (Shared Socioeconomic Pathways/ SSPs, CMIP6\* -Eyring ve ark, 2016; IPCC, 2021- ile kullanılmaya başlanıldılar) gelecek iklim senaryoları, oluşturulan modeller ile türlerin geçmişte ve gelecekte ne gibi davranışlar göstermiş ya da gösterebileceğine dair çıkarımlar yapmamıza yardımcı olmaktadır. Bahsedilen bu veriler ve senaryolar, ilgili başlıklar altında anlatılacaktır. (\*CMIP5 ve CMIP6 = Coupled Model Intercomparison Project / Eşleştirilmiş Karşılaştırmalı Model Projeleri, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinde her 5 ila 7 yılda bir gelecek senaryoları ve simülasyonların güncellenmesi ve geliştirilmesinden sorumlu, farklı ülkelerden üniversitelerin içinde bulunduğu toplulukları tanımlar. Son rapor olan CMIP6 2021 yılında yayınlanmıştır.)

#### **2.1.1.1. Tür Verileri**

Tür dağılım modellerinde tür verileri, belirli bir türün uzay ve zaman içindeki dağılımına ilişkin bilgileri ifade eder. Bu, türlerin farklı konumlardaki varlığı, yokluğu ve bolluğu ile ilgili verilerin yanı sıra bu konumlardaki çevresel koşullar hakkında bilgileri içerebilir.

Varlık verileri (bir diğer adıyla, var noktaları), bir türün gözlemlendiği veya kaydedildiği yerler hakkındaki bilgileri ifade eder. Bu veriler, araştırmada çalışılan türlerin coğrafi koordinatlarını ifade ederler.

Yokluk verileri (yok noktaları), bir türün gözlemlenmediği veya kaydedilmediği yerler hakkındaki bilgileri ifade eder. Bu veriler, bir türün dağılımının sınırlarını belirlemek ve türün çevresel koşullar nedeniyle yaşayamayacağı alanları ifade etmek için kullanılır. Bu veriler kullanılırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu, alanın insan faaliyetleri sonucu (açmacılık, yapışma, çeşitli zirai ve ormancılık faaliyetleri... gibi) bozulmamış olmasıdır; bu durum modelin yanlış yönlendirilmesine sebep olabilir (Franklin ve ark, 2006; Lobo ve ark, 2010).

Bolluk verileri, belirli bir yerde bulunan bir türün bireylerinin sayısına ilişkin bilgileri ifade eder. Bu veriler, bir türün dağılımının çevresel faktörlerden nasıl etkilendiğini anlamak ve yüksek veya düşük nüfus yoğunluğuna sahip alanları belirlemek için kullanılır.

Bahsedilen bu noktalar; yersel araştırmalar, müze kayıtları ve amenajman verilerinden

elde edilebileceği gibi, internette bazı açık kaynaklardan da temin edilebilmektedir. Küresel çapta en çok kullanılan tür verisi kaynaklarından bazıları:

- 1- Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Kurumu / The Global Biodiversity Information Facility (GBIF), milyonlarca tür lokasyon verisine erişim sağlayan bir veri tabanıdır. Veriler, küresel çapta bireysel katılımcılar veya kuruluşlar tarafından sağlanır. (GBIF, 2022)
- 2- Veri Havzası / The Data Basin, çeşitli konumsal verilere erişim sağlayan bir platformdur. Veriler, devlet kurumları, kâr amacı gütmeyen kuruluşlar ve akademik kurumlar dahil olmak üzere çeşitli kuruluşlar tarafından sağlanır. (Comendant ve ark, 2009)
- 3- Entegre Taksonomik Bilgi Sistemi / The Integrated Taxonomic Information System (ITIS), birçok tür için taksonomik bilgilere erişim sağlayan bir veri tabanıdır. Veritabanı, birçok tür için lokasyon verilerinin yanı sıra; yaygın isimleri, sinonimleri ve taksonomik ilişkileri hakkında bilgiler içerir. (ITIS, 2022)
- 4- Amerikan Ulusal Fenoloji Ağı / The National Phenology Network (USANPN), çiçeklenme ve göçler gibi biyolojik olayların zamanlamasına ilişkin veriler de dahil olmak üzere türlerin konum verilerine erişim sağlayan bir veri tabanıdır. (USANPN, 2017)

Tür dağılım modellerinde yukarıdaki veri setlerinden herhangi birini kullanırken; veri kaynaklarının doğrulanması, ayrıca verileri toplamak ve düzenlemek için kullanılan yöntemlerin dikkatlice gözden geçirilmesi oldukça önemlidir. Bu kaynaklardan elde edilen verilerin doğruluklarının uzaktan algılama ve yersel metodlarla test edilmesi, güvenilebilir modeller oluşturulabilmesi açısından, dikkat edilmesi gereken bir diğer noktadır.

Yukarıda bahsedilen tür verilerinden farklı bir konsepte sahip başka bir veri tipi daha bulunmaktadır: Yalancı-yok noktaları. Bu veri tipi, bir türün bulunmasının beklenmediği, ancak açıkça gözlemlenmediği veya kaydedilmediği yerlere ilişkin verileri ifade eder. Tür dağılım modellemesinde, yalancı yok noktaları, var noktalarının karşılaştırılabileceği bir referans noktası sağlamak ve türün bulunmadığı alanları modele öğretmek için kullanılmaktadırlar (Guisan ve Zimmermann, 2000; Hijmans ve Elith, 2021).

Çalışma alanı içinde rastgele örneklemeye, türün bilinen dağılımı dışındaki alanlardan örneklemeye ve türün çevresel nedenlerle bulunmadığı bilinen alanlardan örneklemeye dahil olmak üzere yalancı yok noktaları oluşturmak için kullanılabilecek farklı yöntemler

bulunmaktadır (Barbet-Massin ve ark, 2012; Guisan ve ark, 2017). Tez içerisinde de kullanılan bu veri tipi “**Yöntem**” başlığında detaylandırılacaktır.

#### **2.1.1.2. İklimsel ve Coğrafi Veri Setleri**

Tür Dağılım Modelleri’nde bir türün mekansal olarak dağılımını etkileyebilecek tüm faktörler modellere dahil edilebilir. Ancak, veri toplamanın zorlukları ve bunu geniş alanlarda gerçekleştirmenin maliyeti, verilere olan erişimi güçleştirir. Günümüzde araştırmacıların erişebildiği en temel 2 veri tipi, iklimsel ve coğrafik veri setleridir:

İklimsel veriler, belirli bir bölgenin iklimiyle ilgili olan verileri ifade eder. Bunlar; sıcaklık, yağış, nem, rüzgar modelleri ve bölgenin iklimiyle ilgili herhangi bir konu hakkında bilgileri içerebilir. Tür dağılım modelleri içerisinde, belirli bir türün tolere edebildiği çevresel koşulları anlamak ve uygun iklim koşullarının mevcudiyetine bağlı olarak türün dağılımını tahmin etmek için, iklimsel veriler en temel veri tipleridir. Örneğin, soğuğa uyum sağlamış bir türün daha soğuk iklime sahip bölgelerde bulunma olasılığı daha yüksek olabilirken, daha yüksek sıcaklıklara uyum sağlamış bir türün daha sıcak iklime sahip bölgelerde bulunma olasılığı da yükselmektedir (Guisan ve Zimmerman, 2000; Peterson ve Crosby, 2003; Elith ve Leathwick, 2009).

Tür dağılım modellerinde kullanılabilecek, bütün kullanıcılarla açık bazı iklimsel veri kaynakları bulunmaktadır, Bunlar:

1. WorldClim (<https://www.worldclim.org/>): WorldClim, yaklaşık 1 km çözünürlükte aylık iklim değişkenlerinin küresel bir veri setidir. WorldClim'in iki versiyonu mevcuttur: WorldClim 1.4 ve WorldClim 2.1 (Detaylarına “İklim Senaryoları” başlığında değinilecektir).

WorldClim 1.4 (<https://www.worldclim.org/version1>), Küresel Tarihsel Klimatoloji Ağrı / Global Historical Climatology Network (GHCN) ve bazı diğer kaynaklardan alınan istasyon verilerinin interpolasyonuna dayalı 19 biyoklimatik değişken içerir. 1950-2000 dönemini kapsar ve ücretsiz olarak indirilebilir. (Hijmans ve ark, 2015)

WorldClim 2.1 (<https://www.worldclim.org/version2>), yine GHCN ve bazı diğer kaynaklardan istasyon verilerinin ve ayrıca bazı değişkenler için uydudan türetilen verilerin interpolasyonuna dayalı 19 biyoklimatik değişken içerir. 1950-2014

dönemini kapsar. (Fick ve Hijmans, 2017)

WorldClim'in her iki versiyonu da tür dağılım modelleri araştırmalarında sıkılıkla kullanılmaktadır. Worldclim veri setleri içerisinde yer alan biyoklimatik katmanlar ise şunlardır:

**Bio1** - Yıllık Ortalama Sıcaklık

**Bio2** - Ortalama Güneşlenme Süresi

**Bio3** – İzotermalite

**Bio4** - Mevsimsel Sıcaklık

**Bio5** - En Sıcak Ayın En Yüksek Sıcaklığı

**Bio6** - En Soğuk Ayın En Soğuk Sıcaklığı

**Bio7** - Yıllık Sıcaklık Aralığı

**Bio8** - En Yağışlı Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı

**Bio9** - En Kurak Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı

**Bio10** - En Sıcak Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı

**Bio11** - En Soğuk Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı

**Bio12** - Yıllık Yağış

**Bio13** - En Yağışlı Ayın Yağış Miktarı

**Bio14** - En Kurak Ayın Yağış Miktarı

**Bio15** - Mevsimsel Yağış Miktarı

**Bio16** - En Yağışlı Çeyreğin Yağış Miktarı

**Bio17** - En Kurak Çeyreğin Yağış Miktarı

**Bio18** - En Sıcak Çeyreğin Yağış Miktarı

**Bio19** - En Soğuk Çeyreğin Yağış Miktarı

2. CHELSA (<https://chelsa-climate.org/>) (Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas / Dünya Yüzey Alanları için Yüksek Çözünürlüklü Klimatoloji), İsviçre Orman, Kar ve Peyzaj Araştırma Enstitüsü (WSL) tarafından üretilen yüksek çözünürlüklü (30 ark-saniye, ~1km) bir küresel iklim veri setidir. İklim araştırmacıları için yüksek çözünürlüklü ücretsiz verilere erişim sağlamak üzere

oluşturulmuş, sürekli olarak güncellenmekte ve iyileştirilmektedir. Son Buzul Maksimumundan bugüne ve farklı tarih aralıkları için IPCC'de yer alan bazı gelecek senaryolarını ve bunlara ait değişkenleri içerir. (Karger ve ark., 2018).

3. CRU TS (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>): The Climatic Research Unit (CRU) Time Series (TS) veri seti; aylık sıcaklık, yağış ve bazı diğer iklimsel verileri içermektedir. Bu veri seti 0,5 derece (55km) çözünürlüğe sahiptir.
4. NASA Earth Observations (<https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>): Bu web sitesinden de, sıcaklık, yağış ve diğer iklimsel değişkenlere erişim sağlanabilmektedir.
5. European Climate Assessment & Dataset (ECAD) (<https://www.ecad.eu/>): Bu veri setleri Avrupa için 0,5 derece (yaklaşık 55km) kaba çözünürlükte iklim verileri sağlar.
6. The Global Historical Climatology (GHCN) (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets/global-historical-climatology-network-ghcn>) Bu kaynak, dünyanın dört bir yanındaki hava istasyonlarından alınan günlük sıcaklık ve yağış verilerini içerir.

Coğrafi veriler, belirli bir yer veya bölgenin mekansal özelliklerini ifade eder. Bu, bir alanın şekli ve büyülüğu, arazinin topografyası, su kütelerinin mevcudiyeti ve bölgenin coğrafyasıyla ilgili akla gelebilecek diğer özellikler hakkındaki bilgileri içerebilir. Bu veriler model oluşturma aşamasında, belirli bir türün dağılımını etkileyebilecek bir alanın fiziksel özelliklerini bilgisayara öğretmek için kullanılır. Örneğin, bu veriler kullanılarak, sulak bir bölgede yetiştiği bilinen belirli türün model sonucunda, benzer coğrafi koşullara sahip alanlarda görülme olasılığı yüksek olur. Benzer şekilde, sıradaglar gibi belirli bir topografya özelliğine ihtiyaç duyan bir türün, benzer bir topografyaya sahip alanlarda ortaya çıkma olasılığı daha yüksektir. Tüm kullanıcıların erişimine açık, bazı coğrafi veri kaynakları sunlardır:

1. Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM, Digital Elevation Models / DEM): Bunlar, belirli bir alandaki arazinin yapısı ve yüksekliği hakkında bilgi sağlayan veri haritalarıdır. SYM tür dağılım modellerinde, belirli topografya özelliğine uyum sağlamış türlerin dağılımını tahmin etmek ve alanın topografik özelliklerini belirlemeye çalışırlar. SYM kaynaklarına örnek olarak; Shuttle Radar Topography Mission (SRTM; Farr ve

Kobrick, 2000), Global Multi-Definition Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010; Danielson ve Gesch, 2011), Copernicus Digital Elevation Model (CDEM; ESA, 2021), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; ORNL DAAC, 2018) ve ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer; ASTER, 2018) verilebilir.

2. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı verileri (Land cover and land use / LCLU): Bu veri setleri, bir alanda mevcut olan arazi örtüsü ve arazi kullanım hakkında bilgi sağlar. Arazi örtüsü; bitki örtüsü, su veya çiplak toprak gibi arazi yüzeyinin fiziksel özelliklerini ifade eder. Arazi kullanımı ise; arazinin tarım, kentsel gelişim veya koruma gibi insanlar tarafından kullanılma biçimini ifade eder. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı verileri, bir alanda mevcut olan habitat çeşitlerini anlamak için kullanılabilir ve bunlar, belirli habitatlara uyum sağlamış türlerin dağılımını tahmin etmek için modeller içerisinde dahil edilebilirler. LCLU verilerine ücretsiz erişilebilecek kaynaklar; Küresel Arazi Örtüsü Paylaşımı veri tabanı (Global Land Cover SHARE; Latham ve ark, 2014), CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment Land Cover- CLC; Büttner ve ark, 2017) ve Avrupa Arazi Kullanımı/Örtü Alanı Araştırması (European Land Use/Cover Area frame Survey; LUCAS, 2009) ‘dır.
3. Hidrolojik veriler: Bu veri tipleri, bir alandaki su kütlelerinin varlığı ve özellikleri hakkında bilgi sağlar. Bu veriler, nehirler, göller ve sulak alanlar hakkında çeşitli bilgileri içerebilir. Hidrolojik veriler, bir türün su ile olan ilişkisini belirleyip, türün mekansal dağılımını tahmin etmek için, alandaki suyun mevcudiyetini açıklamada kullanılırlar. Hidrolojik veri kaynaklarına örnek olarak Küresel Yeryüzü Suları (Global Surface Water) veri seti ve Küresel Nehir Genişlikleri (Global River Widths) veri setleri verilebilir. Ayrıca, DEM'lerin farklı matematiksel formüllerle işlenip, topografya yoluyla suyun varlığını açıklamaya çalışan yöntemleri mevcuttur; bu yöntemlere SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses; Conrad ve ark, 2015) yazılımıyla erişilebilir.
4. Toprak verileri: Bu veri tipleri, toprakla ilgili akla gelebilecek bütün faktörleri modellere dahil edebilmemizi sağlar. Ancak, daha önceden de belirtildiği gibi, verilerin toplanmasının zorluğu ve temsiliyet kabiliyetlerinin (tek bir noktadan alınan

örneklerin, örneğin 1 kilometrekare'yi kapsaması) zayıflığı, bu tip verilerin yaygın olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Günümüzde, tüm kullanıcılarla açık olan bir veri kaynağı olan SoilGrids, World Soil Information (Dünya Toprak Bilgisi) (ISRIC) ve European Soil Data Centre (Avrupa Toprak Veri Merkezi) (ESDAC) tarafından üretilen, toprak özelliklerinin küresel veri setleridir. Toprak dokusu/tekstür, pH, organik madde içeriği, anakaya yapısı ve mineral seviyeleri vb. gibi çeşitli toprak özelliklerine ilişkin verileri içerir. SoilGrids veri setleri, tür dağılım modelleri de dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Hengl ve ark, 2017).

Soilgrids veri setleri içerisinde aşağıda bulunan toprak özelliklerine 250m ile 1km arasındaki grid boyalarında ulaşmak mümkündür, yukarıda bahsedilen diğer veri tipleri henüz bazı lokal alanları kapsamaktadır. Soilgrids ile:

- % cinsinden Kil içeriği (0-2 mikrometre) kütle oranı
- % cinsinden Silt içeriği (2-50 mikrometre) kütle oranı
- % cinsinden Kum içeriği (50–2000 mikrometre) kütle oranı
- % cinsinden Kaba parçaların hacimsel oranı
- Organik Karbon İçeriği (g/kg)
- Toprak pH'sı
- Toprak Sınıflandırması (TAXNWRB'a göre – World Reference Base (Uluslararası bir toprak sınıflandırma standarı)
- Toprak Sınıflandırması (TAXOUSDA'a göre – USDA (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Toprak Sınıflandırma Standardı)
- Toprağın (cmolc/kg) cinsinden katyon değişim kapasitesi, verilerine ulaşmak mümkündür.

### **2.1.2. Tür Dağılım Modellerinde Kullanılan İklim Senaryoları**

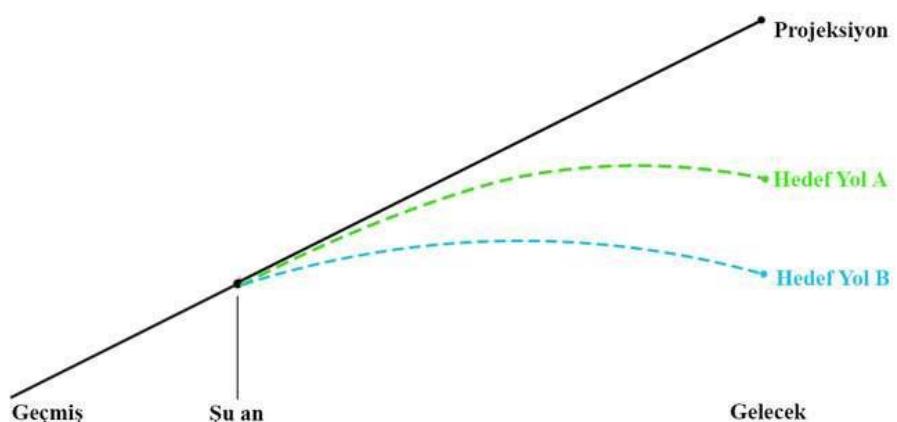
İklim Senaryoları temelinde TDM'nde kullanılan veri setlerinden, iklimsel verileri ifade etmektedir. Ancak, bu senaryoların oluşturulmasında kullanılan onlarca farklı yöntem zamanla değişim geçirip, birleşip, günümüze kadar gelişerek gelmişlerdir. Bu sebepten iklim senaryolarını TDM'nde kullanılan veri tiplerinden başka bir başlık altında incelememiz gereklidir.

Geleceği tahmin edemeyiz ancak senaryolar olası gelecekleri, bunların dayandığı

varsayımları ve onları meydana getirebilecek eylem yollarını keşfetmemize izin verir (Notten ve ark, 2003). İklim senaryoları hakkında öncelikle bilinmesi gereken 3 temel unsur vardır (Rounsevell ve Metzger, 2010), bunlar:

1. İklim değişikliğini anlamak, müdahale stratejileri belirlemek ve iklim politikaları oluşturmayı desteklemek için güçlü bir araçtır.
2. Geleceği tahmin etmekle ilgili değil, neler olabileceğine dair tahminler veya belirli hedeflere nasıl ulaşılacağına dair yollar keşfetmekle ilgilidir.
3. Bu senaryolar, bağlam ve anımlarını belirleyen veri setlerinden üretilir.

Küresel ısınmanın bugün meydana geldiğini, doğa ve insanlar üzerinde şimdiden bir etkisi olduğunu bilmemize rağmen, en büyük etkilerinin gelecekte görüleceği rahatlıkla söylenebilir. İnsan kaynaklı iklim değişikliği, gelecek on yıllar ve belki yüzyıllar boyunca sayısız toplumsal faktör tarafından meydana gelecektir. Bu faktörlerin çoğunun gelecekteki gelişimi oldukça belirsizdir (etkisi olduğunu henüz bilmediğimiz faktörler) ve eylemlerimiz tarafından şekillenecektir. Bu yüzden, bazı iklim bilimciler “Ne olacak?” diye sormanın boşuna olduğunu ve gelecekteki iklim değişimini kestirmenin imkansız olduğunu belirtmektedirler. Ancak gelecek, doğası gereği belirsiz olsa da tamamen bilinemez değildir. Senaryolar, “Ne olabilir?” ve hatta "Ne olmalı?" sorularının cevaplarını bulmak için de kullanılabilirler (Börjeson ve ark, 2006; Carlsen ve ark, 2017).



**Şekil 2.5:** Projeksiyon ve Hedef Yolları (Örneğin, RCPs- Temsili Konsantrasyon Yolları/ Representative Concentration Pathways: <https://climatescenarios.org/primer-legacy/what-are-climate-change-scenarios/> kaynağından değiştirilerek alınmıştır)

İklim senaryoları kesinlik belirtmezler; iklim değişikliğinin makul, uyumlu ve kendi

içinde tutarlı tahminleri ile neler olabileceğine dair oluşturulan projeksiyonlardır. İklim senaryoları ayrıca, belirlenen hedeflere ulaşılması için gereken yolları saptamakta da kullanılır (Notten ve ark, 2003; Börjeson ve ark, 2006). Dolayısıyla iklim senaryoları iki farklı biçimde ortaya çıkar. Bunlar; "Ne olabilir?" ve "Ne olmalı?" sorularına yanıt bulmayı hedefleyen projeksiyonlar ve hedef yollarıdır. (**Şekil 2.5**)

İklim değişikliğinin anlaşılması senaryo analizi iklim araştırmaları ve çeşitli alt alanlarında yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bunlar için bir sınıflandırma yapacak olursak, yedi farklı senaryo türü tanımlanabilir (Börjeson ve ark, 2006).

1. İklim sisteme insan müdahalesinin, toplumsal itici güçlerinin gelişimini tanımlayan *sosyoekonomik senaryolar*.
2. Bu gelişmelerden ortaya çıkan *emisyon ve konsantrasyon senaryoları*.
3. İnsan ırkının iklimi zorlamasından kaynaklanan, *iklim değişikliği senaryoları*.
4. Bu iklim değişikliklerinin bir sonucu olarak, *iklim etki senaryoları*.
5. İnsan kaynaklı iklim değişikliğini sınırlayan *kısıtlama senaryoları*.
6. İklim değişikliğinin canlılar üzerindeki etkisini sınırlayan *adaptasyon senaryoları*.
7. Yukarıdaki senaryolardan birkaçını bir arada kullanan *entegre senaryolar*.

1990'larda nüfus, ekonomik büyümeye ve sera gazı emisyonlarının gelecekteki olası yönlerini çalışmak isteyen araştırmacılar, 2000 yılındaki Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinde (IPCC) yayınlanmak üzere "SRES / Special Report on Emissions Scenarios, Emisyon Senaryoları Üzerine Özel Rapor" isimli senaryolarını geliştirmiştir (IPCC TAR WG3, 2001; IPCC TAR SYR, 2001). Ancak önerilen bu senaryoların hızla güvenilirliğini yitirmesi (geçerliliğini kaybetmesi), gelecek senaryolarına dair farklı yaklaşımların ve yeni versiyonların ortayamasına sebep olmuştur.

Geleneksel olarak niteleyebileceğimiz senaryoların geliştirilebilmesi için SRES'i temel alan bir grup araştırmacı, gelecekte meydana gelebilecek farklı sera gazları seviyelerini ve ışınimsal sistemleri (güneş ve yerküre/atmosfer arasındaki etkileşimler) açıklayan "Temsili Konsantrasyon Yolları / Representative Concentration Pathways -RCP-" konseptini

geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, 2100 yılına kadar gerçekleşebilecek emisyonlar sonucu, atmosferde oluşabilecek ıshınlısal kuvvetleri esas alan (2.6, 4.5, 6.0 ve 8.5 watt/metrekare) dört yol belirlemiş; ancak bunları etkileyebilecek sosyoekonomik faktörleri kasıtlı olarak bu senaryoların içeresine eklememişlerdir (Nakicenovic ve ark, 2000).

SRES'i temel alan İkinci bir grup, sosyoekonomik faktörlerin içinde bulunduğuımız yüzyılda nasıl değişimini ve bu durumun sera gazı emisyonlarına olan etkilerini modellemek üzerine bir çalışma yürütmüştür. Bahsedilen bu sosyoekonomik etmenler; nüfus, ekonomik büyümeye, eğitim, kentleşme ve teknolojik gelişmekte hız gibi etkenleri içermektedir. "Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar / Shared Socioeconomic Pathways-SSPs" isimli bu konseptte; iklim politikalarının yokluğunda dünyanın karşılaşabileceği beş farklı yol ve RCP'lerin hafifletme hedeflerinin SSP'lerle birleştirildiğinde, farklı iklim değişikliğini sınırlama hedeflerine ulaşılabilir ulaşılamayacağı üzerinde durulmaktadır (O'Neill ve ark, 2017).

5 farklı yol öngörülen SSP'ler: sürdürülebilir büyümeye ve eşitliğin esas alındığı politikaların izlendiği (ssp1), tarihsel trendlerin devamı olarak ön görülen (ssp2), ülkelerin birbirinden ayrı politikalar ürettiği "yükseLEN milliyetçilik" (ssp3), eşitsizliğin sürekli arttığı (ssp4) ve sınırlanmadan, hızlı bir büyümeyenin esas alındığı, kaynak ve enerjinin ekonomik çıktılar için sınırsız olarak kullanılacağı (ssp5) yolları ifade etmektedir (O'Neill ve ark, 2017).

Bu iki farklı konseptteki senaryolar tamamlayıcı olacak şekilde tasarlanmıştır. RCP'ler, sera gazı konsantrasyonları ve etkili bir şekilde yüzyılın sonuna kadar meydana gelebilecek ıshıma miktarı için yollar öngörmüş; SSP'ler ise, emisyon hedeflerinin tutturulup tutturulamayacağı aşamayı belirlemeyi hedeflemiştir (Eyring ve ark, 2016). Bu tez içerisinde gelecek modellerini oluşturmak için Worldclim 2.1 ve CHELSA 2.1 içerisinde yer alan SSP veri setleri kullanılmıştır, bunlara "**Yöntem**" başlığında yer verilecektir.

## **2.2. TÜR DAĞILIM MODELLERİNDE KULLANILAN İSTATİSTİKSEL METOTLAR VE ALGORİTMALAR**

Günümüzde istatistiksel tekniklerin gelişmesiyle birlikte TDM'lerin ekolojide kullanımı hızla artmıştır. Popülasyonların, türlerin, toplulukların veya biyoçeşitliliğin dağılımlarını güncel çevreleriyle istatistiksel olarak ilişkilendirdiklerinden bu modeller doğası gereği olasılıksallardır. Bu istatistiksel yöntemler sayesinde; Evrimsel biyoloji, makro ekoloji,

biyocoğrafya, koruma biyolojisi, küresel değişim biyolojisi ve habitat veya tür yönetimi gibi çok çeşitli araştırma alanlarını kapsayan çeşitli modelleme yöntemleri geliştirilmiştir. (Guisan ve Zimmermann, 2000; Guisan ve Thuiller, 2005; Thuiller ve ark., 2008; Elith ve Leathwick, 2009, 2011; Guisan ve ark., 2013). Bu tezin dış hatlarının oluşturulmasında temel alınan kitaplardan olan, Franklin, 2010 ve Guisan ve ark., 2017 yayınlarında, TDM'lerinin temellerini oluşturan bu istatistiksel yöntemler ve algoritmalar, 6 başlık altında incelenmiştir. Bu yöntemlerin bir kısmı model oluşumunda, bir kısmı ise modellerin değerlendirilmesi ve kalibrasyon aşamalarında kullanılmaktadır.

### **2.2.1. Regresyon Temelli Yaklaşımlar**

Bu yaklaşımlar, türlerin varlık veya yokluk verilerini çevresel değişkenlerle ilişkilendirmek için doğrusal regresyon veya *genelleştirilmiş doğrusal modeller* (Generalized Linear Models / **GLM**) gibi istatistiksel regresyon teknikleri kullanır. Regresyona dayalı TDM'nin temel avantajları, kullanım ve çıkarım yapmanın kolay olmasıdır. Ancak, karmaşık tür-çevre ilişkilerini modellemeye veya verilerdeki *otokorelasyonları* (ilgili başlıkta dephinilecektir) hesaba katmada zayıf oldukları kabul edilmektedir (Hastie ve ark., 2009). Model oluşturmada kullanılan bu temel yaklaşımlara örnek: *Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM)*, *Genelleştirilmiş Eklemleri Modeller* (Generalized Additive Models / **GAM**) ve *Çok Değişkenli Adaptif Regresyon Eğrileri* (Multivariate Adaptive Regression Splines / **MARS**) örnek verilebilir.

### **2.2.2. Sınıflandırma Yöntemleri ve Makine Öğrenimi**

Sınıflandırma yaklaşımları ve *makine öğrenimi*, gözlemlerin ya da verilerin iki veya daha fazla sayıdaki homojen grplara ayrılması temeline dayanır. Farklı bilimsel soruları yanıtlamak için birçok farklı alanda kullanıldığından, bu yaklaşımların ekolojideki ilk örneklerinin izini sürmek oldukça zordur. Kümeleme analizi, günümüzde bu yaklaşımlar içerisinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Kümeleme, denetimsiz (*unsupervised*) bir öğrenme yöntemi olup istatistiksel veri analizi için makine öğrenimi, veri madenciliği, desen tanıma, görüntü analizi ve biyoinformatik gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Alvarez ve ark., 2019; Bowers ve ark., 2017; Jung ve Chung, 2021). Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network: **ANN**: Ripley, 1996; Franklin, 2010), Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları / Karar Ağaçları (Classification and Regression Trees: **CART**: Breimann ve ark., 1984), Esnek Ayrılm Analizi (Flexible Discriminant Analysis: **FDA**: Hastie ve ark., 1994) ve Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines: **SVM**: Drake ve ark., 2006) 'de sınıflandırma ve

makine öğrenimi yaklaşımı kapsamında, kümeleme analizinden farklı olarak denetimli (supervised / bkz. *eğitim verileri*) yöntemler içerisinde yer alırlar. FDA, tahmin edicilerin doğrusal kombinasyonlarına dayalı olarak modeller oluşturan ve tahminler yapan bir yöntemdir. Burada "Esnek" ifadesi, modelin öngörülerin doğrusal olmayan dönüşümlerini dahil etme yeteneğini ifade eder. Bu yöntemde, tahmin edicileri dönüştürmek için temel fonksiyonlar (spline veya polinom fonksiyonları, "Schumaker, 2007") kullanılır; oluşturulan modelin tahmin ediciler ve tanımlanmaya çalışılan bağımlı değişken arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerin yakalamasına olanak sağlar. **CART** yönteminde, tahmin edici değişkenlerden elde edilen veriler, ağacın her bir alt kümelerinde ya da düğümünde (node) tek bir sınıf temsil edilene kadar ikili ağaçlar (bkz. karar ağaçları) oluşturulur. Denetimli (supervised) sınıflandırma/makine öğrenimi yöntemlerinde kullanılan eğitim verileri ile veri setleri manipüle edilerek çıktılar tahmin etmeye çalışılır. Sınıflandırma veya makine öğrenimi yaklaşımının, regresyona dayalı yaklaşılardan çok daha iyi sonuçlar sağladığını söyleyemese de (model doğrulukları göz önüne alındığında), bu yaklaşım modelleri oluşturmanın yanı sıra, görselleştirilmesi ve tahmin ediciler arasındaki etkileşimleri anlaşılması için de kullanılırlar.

### **2.2.3. Torbalama (Bagging- Bootstrap Aggregating) ve Hızlandırma (Boosting) Yaklaşımları**

Bu aşamada örnekleme yöntemleri üzerine temel bazı noktalara değinmemiz gereklidir. *Bootstraping* (*Yeniden Örnekleme / Resampling*; Efron, 1979), elimizdeki verilerin içerisinde, yeni alt veri-kümeleri oluşturulmasını sağlayan istatistiksel bir örnekleme yöntemdir. Burada orijinal veri seti, *bootstrap* örnekleri adı verilen birden çok yeni alt veri kümeleri oluşturmak için değiştirilerek rastgele örneklenir. Her bootstrap alt kümeli (ya da örneği), orijinal veri setiyle aynı boyuta sahiptir ancak bunlar tekrarlanan veriler içerebilir. Daha sonra her bootstrap örneğinden ayrı bir model oluşturulur ve sonuçlar, model parametrelerinin değişkenliğini tahmin etmek için kullanılırlar. Örneklendirecek olursak, bir değişkenin ortalamasının standart hatalarını tahmin etmek istiyorsak, verilerin birden çok bootstrap örneğini oluşturabilir, her örnek için ortalamayı (mean) hesaplayabilir ve ardından bu ortalamaların standart sapmalarını hesaplayabiliriz. Böylece, verilerin değişkenliğini hesaba katan, ortalamaların standart hatalarını elde etmiş oluruz.

Bootstrap konseptinin üzerine kurulan *Bagging* (Bootstrapped Aggregation'in kısaltması; Breiman, 1996) yaklaşımında; eldeki verilerin farklı bootstrap örneklerinden

birden çok model oluşturulur ve bunların tahminleri birleştirilmeye çalışılır. *Bagging* yönteminin arkasındaki fikir, birden fazla modelin sonuçlarını birleştirerek *aşırı uyumu (overfitting)*; Hastie ve ark, 2009) azaltmak ve modelin kararlılığını iyileştirmektir. Burada, birden çok alt veri kümesi (bootstrap örnekleri) oluşturmak için eğitim verileri rastgele örnekleştirir ve ardından bu yeni alt veri kümelerinin her birinden ayrı bir model oluşturulur. Bu yöntem sonucunda elde edilen nihai tahmin; sürekli (belirli bir aralıkta, matematiksel olarak dağılan) verilerde bireysel model sonuçlarının ortalaması, kategorik (örneğin, doğru-yanlış) verilerde ise çoğunluk oylamasıdır. Breiman (2001)'in öne sunduğu ve günümüzde en sık kullanılan modelleme algoritmalarından birisi olan *Rastgele Orman* (Random Forest, **RF**), bagging yaklaşımından türemiştir.

*Boosting* yöntemi de bagging gibi, modellerin tahmin performanslarını iyileştirmek için geliştirilen başka bir model topluluğu (*ensemble*) yaklaşımıdır (Friedman, 2001). Bagging yönteminden farklı olarak, genel bir tahmin elde etmek için sonuçların ortalaması veya oylama sonuçlarının kullanılmasından farklı olarak aşamalı/yinelemeli (iteratif) bir prosedür içerir. Boosting metodunda, modeller (sürekli verilerden oluşan regresyon ağaçları veya kategorik verilerden oluşan karar ağaçları) verilere sıralı olarak uygulanır. Bu yaklaşımda, her yinelemede önceki modelin hataları/artıkları (residuals; gözlemlenen ve tahmin edilenler arasındaki fark) üzerinde *model uyarlama (model fitting)* gerçekleştirilir. Bu işlem, nihai bir uygunluk elde edilene kadar tekrarlanır. Friedman (2001) bu yönteme ek olarak modelin uyum kalitesini artıran ve fazla uyumu (*overfitting*) önleyen *olasılıksal aşamalı boosting (Stochastic Gradient Boosting)* prosedürünu önermiştir. TDM oluştururken sıkılıkla kullanılan algoritmaların birisi olan *Hızlandırılmış Regresyon Ağaçları (Boosted Regression Trees: BRT)*, bir diğer adıyla *Genelleştirilmiş Arttırılmış Modeller (Generalized Boosted Modeling)* ya da *Kademeli Arttırma Makinesi (Gradient Boosting Machine: GBM)* algoritmaları bu konsepte aittir (Elith ve ark, 2008).

#### 2.2.4. Maksimum Entropi (MaxEnt)

*Entropi*, bir olasılık evrenindeki düzensizlik veya belirsizlik derecesinin bir ölçüsüdür ve sistemin durumunu açıklamak için gereken bilgi miktarını temsil eder. Termodinamiğin 2. yasasına (evrendeki her şey bozulma eğilimindedir) benzer bir yaklaşım olan *Maksimum Entropi (MaxEnt)* kavramı ilk olarak 1957 yılında E.T. Jaynes tarafından “Bilgi Teorisi ve İstatistiksel Mekanikler” isimli yayınında, “entropinin artmasıyla yanlılığın (bias) azaldığı” şeklinde öne sürülmüştür. *Entropi*, termodinamik konsepti içerisinde sistemin fiziksel

düzensizliğini ifade ederken; *Maksimum Entropi*, matematiksel bir yaklaşım olarak bir değişken ya da değişkenler topluluğunun sahip olduğu belirsizliği ifade eder. MaxEnt 1980'lerde ve 1990'larda görüntü ve sinyal verilerine uygulanarak, görüntü/sinyal işleme yöntemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır (Gull ve Skilling, 1984). 1990'ların sonunda ve 2000'lerin başında MaxEnt makine öğreniminde, olasılıksal modeller oluşturmak için tercih edilmeye başlanmış ve özellikle cisim (ya da veri) tanıma (ya da sınıflandırma) işlemlerinde kullanılabileceği öngörülümüştür (Collins, 2002).

Günümüzde MaxEnt, makine öğreniminin özellikle Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, **NLP**) alanında; çeviri, gramer algılama, duyu analizi, konuşma tanıma, metin oluşturma, bilgi çıkarımı gibi işlemler için kullanılmaktadır. MaxEnt, NLP uygulamalarının yanı sıra; sorgu geçmişi sınıflandırma (arama motorları için optimizasyon çalışmalarında; Zhou ve Croft, 2005), ekoloji ve doğa bilimleri (türlerin dağılımı ve habitatların modellenmesi; Phillips ve ark, 2006; Elith ve Graham, 2009; Zhang ve ark, 2022), görüntü işleme (iyileştirme, sınıflandırma ve segmentasyon vb.; Andrew ve Shephard, 2017) ve biyoinformatik (hastalık ve biyolojik faktörlerin, salgın riski ve coğrafi yayılışları üzerine çalışmalar; Zhang ve ark, 2021) gibi farklı alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmakta ve geliştirilmektedir. MaxEnt'in açıklayıcı verilerin kısıtlı veya seyrek olduğu durumlarda iyi performans göstermesi, onun büyük miktardaki verilerin işlenmesi için kullanışlı bir algoritma olmasına ve dolayısıyla bu gibi büyük veri setleriyle çalışılan alanlarda yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır.

MaxEnt'in Tür Dağılım Modellerine ilk kez uygulanması Phillips ve arkadaşları tarafından 2004 yılında gerçekleştirilmiş; bunun için bağımsız bir paket oluşturulmuştur. R yazılımı içerisinde dismo, biomod2 gibi paketler yoluyla kullanılabilen bu yöntemin, R içerisinde şu an istenilen verimlilikte olmadığı ve ayrı bir paket olarak geliştirilmeye devam edildiği belirtilmektedir, dolayısıyla bu tez kapsamında kullanılmamıştır (Halvorsen ve ark, 2015; Guisan ve ark, 2017).

### **2.2.5. Birleşik (Ensemble) Modeller ve Model Ortalama**

Tür Dağılım Modelleri oluşturulurken kullanılan yöntem ve algoritmalarдан hangisinin en iyisi olduğunu söylemek mümkün değildir; kullanılan veriler ve elde edilmesi planlanan çıktılar doğrultusunda bunlardan hangisi ya da hangilerinin birlikte kullanılacağına karar verilmektedir. *Birleşik Modelleme (Ensemble Modelling)* yaklaşımının ilk örneklerinden

olan 1992 tarihli D. H. Wolpert “İstiflenmiş Genelleme / Stacked Generalization” yayınında Model İstifleme (*Model Stacking*) yaklaşımı ortaya çıkmış; bu yöntem ile aynı veriler üzerinden oluşturulan birden fazla modelin tahminlerinin, daha yüksek doğrulukta nihai bir tahmin oluşturmak için birleştirileceği üzerinde durulmuştur. İstiflemenin ardından fikir, tüm birleşik modelleme yöntemlerinde olduğu gibi, farklı modelleme yöntemlerinin güçlü yanlarından faydalananmaktır.

Bir başka birleşik modelleme yöntemi olan Model Ortalama da (Model Averaging; Hoeting ve ark, 1999) model istifleme ile benzer bir yaklaşımla modellerin birleştirilmesini hedefler, istiflemeden farklı olarak birleştirilen model tahminlerinin basit bir ortalaması ya da her bir modelin farklı ağırlıklara göre ortalamalarının alınabilmesi mantığına dayanmaktadır (Zhou, 2012).

Daha önce de bahsetmiş olduğumuz Bagging (Breiman, 1996) ve Boosting (Friedman, 2001) metotları tek başlarına modeller oluşturmada kullanılabildikleri gibi, farklı yöntemlerle oluşturulmuş modellerin birleştirilmesi için de kullanılabilirler (Bühlmann, 2012). Bu yöntemlerin, R yazılımı içerisinde “dismo”, “biomod2” ve “sdm” gibi paketlerle, oluşturulan modellere uygulanması mümkündür. Bu tezde de kullanılan “biomod2” paketinin detaylarına “Yöntem” başlığında değinilecektir.

#### **2.2.6. Korelasyon, Doğrudaşlık ve Varyans Şişme Faktörü**

*Korelasyon, Doğrudaşlık (Collinearity) ve Varyans Şişme Faktörü (Variance Inflation Factor, VIF)* modellemelerde dikkat edilmesi gereken diğer istatistiksel kavamlarıdır. Bunlar modelin güvenilirlik ve doğruluğunu belirlemekte önemli rol oynarlar. Bu kavamlar, bir modeldeki değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamaya; dolayısıyla modelde meydana gelebilecek olası çelişkilerin sebeplerini belirlemeye ve sonuçların bilimsel olarak yorumlanılmasına yardımcı olurlar.

Korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkinin gücü ve yönünü doğrusal olarak tanımlayan istatistiksel bir ölçütür. Pozitif korelasyon, bir değişkenin etkisinin arttıkça diğer değişkenin de etkisinin arttığı; negatif korelasyon, bir değişkenin etkisinin artarken diğer değişkenin etkisinin azaldığını ifade eder. Korelasyon -1 ile 1 arasında bir değer alır; burada (-1) maksimum negatif korelasyonu, (1) maksimum pozitif korelasyonu ve 0 değişkenler arasında korelasyon olmadığını gösterir.

*Doğrudaşlık (Collinearity)* çoklu regresyon modellerinde iki veya daha fazla tahmin edici değişkenin yüksek oranda ilişkili olduğu durumu ifade eder. Bu yüksek korelasyon, regresyon katsayılarının istikrarsız ve tutarsız tahminlerine neden olarak tahmin edici ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişki hakkında yanlış çıkarımlar elde edilmesine sebep olur (Fisher, 1936; Hair ve ark, 2014). Doğrudaşlık, regresyon katsayılarının varyanslarının artması sonucu hangi tahmin edici değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemeyi zorlaştırır. Doğrudaşlığı ortadan kaldırmak için tahmin edicileri basitleştirmek ve aralarındaki korelasyonu azaltmak için *Faktör Analizi (VIF)*; Belsley ve Welsch, 1980; Hair ve ark, 2014), *Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis, PCA)*; Jolliffe, 1986) veya *Ridge Regresyonu* (Hoerl ve Kennard, 1970) gibi teknikler kullanılır.

Bu tez içerisinde de kullanılan Varyans Şisirme Analizi (VIF) özetle; bir değişkenin öneminin, veri setinden çıkarıldığında geride kalan diğer değişkenlerle ne ölçüde açıklanabileceğinin hesaplanmasıdır; kısacası bir değişken, diğer değişkenler tarafından tanımlanmaya çalışılır. Bu yöntem, birden çok tahmin edicinin bir modeldeki regresyon katsayı varyanslarının ( $R^2$ ), tek bir tahmin edici değişkenle oluşturulan başka bir modelin aynı katsayı varyansına oranlanmasıyla gerçekleştirilir. 10'dan büyük VIF değerlerinin yüksek doğrudaşlığa işaret ettiği kabul edilir ve en yüksek VIF'e sahip tahmin edici değişkenler, kararlılığı ve güvenilirliği artırmak için modelden çıkarılmalıdır (Franklin, 2010; Guisan ve ark, 2017). Modeller oluşturulurken “biomod2” paketi içerisinde bu yöntemin uygulanması ve sonuçlarına Yöntem ve Bulgular başlıklarda yer verilecektir.

### 2.2.7. Model Oluşturma ve Model Değerlendirme

Tür Dağılım Modelleri'nin doğru ve güvenilir kabul edilebilmesi için üzerinde özellikle durulması gereken 2 temel aşama vardır: *Model Oluşturma (Fitting)* ve *Model Değerlendirme (Evaluation)*. Modelin oluşturulması, çevresel değişkenler ve tür verileri arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için veri ve kullanılan parametrelerin (algoritma değişkenleri olarak düşünebiliriz) optimize edilmesini ifade eder. Bu şekilde oluşturulan bir model, türün dağılımına etki eden faktörleri “öğrenmiş” olur. Ancak modelin oluşturulması tek başına yeterli olmayıp, doğruluğunun belirlenebilmesi için eş zamanlı bir şekilde test edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, modelin eğitim verilerinden öğrendiği ancak yeni durumlara (örneğin; benzer coğrafi alanlara) genelleme yapamadığı durumu ifade eden *aşırı-uyum ‘da (overfitting) değerlendirilir. Böylelikle model ile elde edilen tahminler, eğitildikleri*

verilerden (eğitim verileri) farklı yöntemlerle (ileride bahsedilecek) oluşturulan test verileri ile test edilir.

Model Değerlendirmede kullanılan istatistiksel metodların başında *veri bölümleme* (*data partitioning*) yöntemleri gelir: *K-katlı çapraz doğrulama* (*k-fold cross-validation*), *kullanıcı tanımlı çapraz doğrulama* (*holdout cross-validation*; kullanıcı tarafından belirlenen bir yüzdeye göre test verisini rastgele belirler), *mekansal çapraz doğrulama* (*spatial cross-validation, blockCV*; Valavi ve ark., 2019, bu tezde kullanılan yöntem olup yöntem başlığında anlatılacaktır), *bir azaltmalı çapraz doğrulama* (*leave-one-out cross-validation - LOOCV*; yalnızca 1 adet katmanı test için ayırır), *Jack-knife* (LOOCV 'in gelişmiş versiyonu gibi düşünülebilir; veri setindeki her bir katman tek tek test verisi olarak ayrılmış sonuçların ortalaması alınır, böylece modeldeki *yanlılık* -bias- giderilmiş olur) ve son olarak daha önce torbalama ve hızlandırma başlığında bahsettiğimiz *Bootstrap*. Özette bu metodlar kullanılarak veri setleri farklı yöntemlerle bölümlenir ve bölümlenen bu veri setlerinin bir kısmı model oluşturmada kullanırken bir kısmı (test verileri) ise oluşturulan modellerin test edilmesinde kullanılır. Bu nedenle Model Oluşturma ve Model Değerlendirme eş-zamanlı bir prosedür olarak kabul edilir (Guisan ve Zimmermann, 2000; Elith ve Leathwick, 2009; Robertson ve ark., 2017).

Model Değerlendirme aşamasında modellerin başarısını hesaplamak için kullanılan başlıca yöntemler ise Kappa (Cohen, 1960), AİK (Alıcı İşlem Karakteristiği / **ROC**; Robertson ve Zweig, 1981, Manel ve ark., 2001) ve GBİ (Gerçek Beceri İstatistiği / **TSS**; Allouche ve ark., 2006)'dır. Bu hesaplama yöntemlerinin çalışma prensibi kısaca, yukarıda bahsedilen farklı tekniklerle (zamansal, mekansal, hiyerarşik vb., Roberts ve ark., 2017) bölümlenmiş veriler ile oluşturulan eğitim ve test verilerinin karşılaştırılmasıdır. Burada ilk olarak üzerinde durulması gereken yöntem *Kappa*'dır. “-1” ile “1” arasında bir değer olan Kappa; tahmin ve test verileri ile oluşturulan bir hata matrisi üzerinde (Tablo 2.1) gerçek pozitif (GP), yanlış pozitif (YP), gerçek negatif (GN) ve yanlış negatif (YN) değerlerinin oranlanmasıyla elde edilir. "0" değeri, tahminlerin rastgele bir değerlendirmeden daha iyi olmadığını gösterir. Değer "-1" e yaklaştıkça tahminler rastgele bir değerlendirmeden daha kötü demektir. Değer "1"e yaklaştıkça, tahminlerin rastgele bir değerlendirmeden çok daha iyi olduğunu anlarız.

$$\text{Kappa} = (\text{GU} - \text{BU}) / (1 - \text{GU})$$

olarak formülize edilir. Burada “GU” gözlemlenen uyumu ve “BU” beklenen uyumu ifade eder ve

$$\text{Gözlemlenen Uyum (GU)} = (\text{GP} + \text{GN}) / \text{Toplam}$$

$$\text{Beklenen Uyum (BU)} = [(\text{GP} + \text{YP}) \times (\text{GP} + \text{YN}) + (\text{GN} + \text{YP}) \times (\text{GN} + \text{YN})] / (\text{Toplam})^2$$

şeklinde hesaplanır.

**Tablo 2.1:** Kappa hesabında kullanılan Hata Matrisi.

	Gözlemlenen (Pozitif)	Gözlemlenen (Negatif)	Toplam
Tahmin Edilen (Pozitif)	Gerçek Pozitif (GP)	Yanlış Pozitif (YP)	$\text{GP} + \text{YP}$
Tahmin Edilen (Negatif)	Yanlış Negatif (YN)	Gerçek Negatif (GN)	$\text{GN} + \text{YN}$
Toplam	$\text{GP} + \text{YN}$	$\text{YP} + \text{GN}$	$\text{Toplam} = \text{GP} + \text{YP} + \text{GN} + \text{YN}$

Yine bu hata matrisini temel alan yaklaşımlar olan AİK (ROC; Şekil 2.6) ve GBİ (TSS)'yi anlamak için üzerinde durmamız gereken iki terim vardır: *Duyarlılık (sensitivity)* ve *Özgüllük (specificity)*.

Duyarlılık (diğer bir deyişle, Gerçek Pozitif Oranı / GPO):

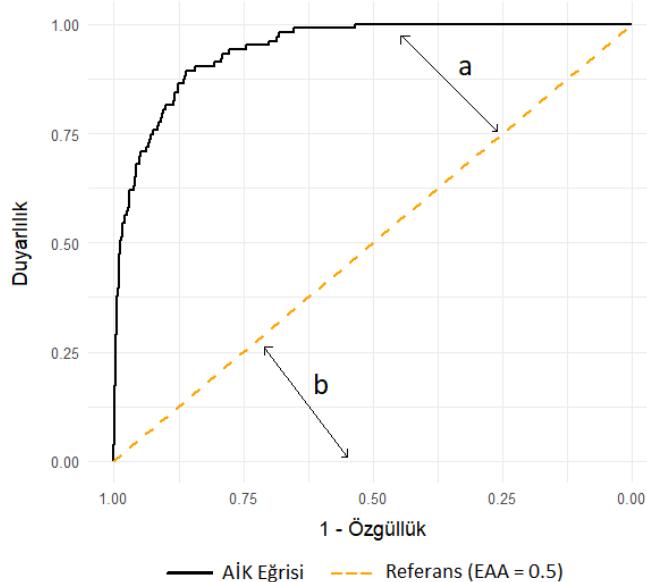
$$\text{GPO} = \text{GP} / (\text{GP} + \text{GN})$$

Özgüllük (diğer bir deyişle, Gerçek Negatif Oranı / GNO):

$$\text{GNO} = \text{GN} / (\text{GN} + \text{YP})$$

olarak formülize edilir. Bahsedilen bu hesaplamalar daha sonra modellerin başarısının görselleştirilmesi amacıyla AİK eğrisini oluşturmada kullanılırlar; grafiğin “x” ekseni “1 – Özgüllük” ve “y” ekseni “Duyarlılığı” gösterir. Son olarak grafik üzerinden model başarısını belirtmede kullanılan bir parametre olan *Eğri Altındaki Alan* (EAA / AUC – Area Under

Curve) hesaplanır. EAA değeri 0 ile 1 arasında yer alır, değer 1'e yaklaştıkça modelleme başarısının arttığı kabul edilir (**Şekil 2.6**'daki örnekte EAA değeri 0.9437 olup başarılı bir model sonucunu temsil eder). Çalışılan türün baskın olduğu durumlarda (literatürde *baskınlık / prevalence* olarak geçmektedir) bu yöntemin olumsuz etkilendiği belirtilmektedir (Fawcett, 2006; Lobo ve ark., 2008; Roberts ve ark., 2017).



**Şekil 2.6:** Örnek bir Alıcı İşlem Karakteristiği (AİK / ROC) Eğrisi. (a) Eğrinin referans noktasından yukarıya doğru genişlemeye ( $EAA > 0.5$ ) devam etmesi modelin tahmin performansının yükseldiğine, referans çizgisine yaklaşması ( $EAA = 0.5$ ) modelin rastgeleliğine ve (b) yönünde daralması ( $EAA < 0.5$ ) sonuçların rastgeleden daha kötü olduğuna işaret eder.

Diğer bir model değerlendirme yöntemi olan GBİ (TSS, True Skill Statistics) ise yine duyarlılık ve özgüllük ile ilişkili olup

$$\text{GBİ} = \text{Duyarlılık} + \text{Özgüllük} - 1$$

şeklinde hesaplanır. GBİ değeri “-1” ile “1” arasında bir değer alır, “1”e yaklaştıkça model tahminlerinin doğruluğunun arttığı kabul edilir. GBİ, çalışılan türün coğrafi yayılışının baskınlığından (*prevalence*) ve kullanılan veri seti içerisinde yer alan var-yok verilerinin dengesizliğinden diğer yöntemlere göre (Kappa, AİK) oldukça az etkilendiğinden daha başarılı bir yöntem olarak tanımlanır (Liu ve ark., 2005; Allouche ve ark., 2006).

TDM değerlendirmede kullanılabilen diğer yöntemler ise; BOYCE (Boyce ve ark., 2002) ve MTE'dir (Minimum Tahmin Edilen Alan / MPA, Minimum Predicted Area; Engler

ve ark., 2004). Ayrıca, hava durumu tahminleri (modelleri) için kullanılan bazı model değerlendirme yöntemleri ekolojik literatürde yer almasalarda, TDM performansını değerlendirmede kullanılabılırler. Bunlar (bu yöntemler 4.2.3 sürümünden itibaren “biomod2” paketi içerisinde kullanılabilmektedir):

- FAR (False Alarm Ratio / Yanlış Alarm Oranı; Olson, 1965)
- POD (Probability of Detection / Tespit Olasılığı; Roebber, 2009)
- POFD (Probability of False Detection / Yanlış Tespit Olasılığı; Roebber, 2009)
- SR (Success Ratio / Başarı Oranı)
- CSI (Critical Success Index / Kritik Başarı Oranı)
- HK (Hanssen and Kuipers Discriminant/Diskriminanti; Hanssen ve Kuipers, 1965)
- HSS (Heidke Skill Score / Heidke Beceri Puanı; Heidke, 1926)
- OR (Odds Ratio / İhtimal Oranı; Stephenson, 2000)
- ORSS (Odds Ratio Skill Score / İhtimal Oranı Beceri Puanı; Stephenson, 2000)

### **2.3. TÜR DAĞILIM MODELLERİNDE MODEL AKTARIMI**

Herhangi bir araştırmada TDM'nden beklenilen, bu modellerin farklı senaryolardan çıkarım yapabilmesi, yani modellerin zamansal veya mekansal transfer edilebilirliğine (aktarımı) sahip olmasıdır. Robert P. Anderson (2013) TDM'ni bir türün temel nişinin bağımlı değişkenlerle zamansal veya mekansal olarak genelleştirilmesi, yani ekstrapole edilmesi olarak tanımlamıştır. Bu varsayımda *model aktarımı*'nı tanımlamaktadır. Bu konudaki bir başka tanım ise; model kalibrasyonu aşamasında kullanılmayan verilerin, farklı veriler ile kalibre edilmiş modeller tarafından tahmin edilmesi (Yates ve ark., 2018) şeklindedir. Kısacası mekânsal ve zamansal model aktarımı, bir dizi değişken (coğrafi veya çevresel) ile oluşturulan modellerin yeni, simüle edilmemiş koşullarda (coğrafi bir alan veya zaman periyotları) tür dağılımlarını ne kadar iyi tahmin edebileceği ile alakalıdır.

Model aktarımı TDM'nde kullanılması zorunlu olan bir yöntem olmamakla birlikte,

modellere farklı özellikler kazandırabilir. Bahsedilen bu özelliklerin en yaygın kullanım alanlarını 5 başlık altında inceleyebiliriz (Charney ve ark., 2021):

**Doğal Kaynak Koruma Planlaması:** Mevcut ve gelecekteki koşullar altında türlerin potansiyel dağılımını anlamak, planlama açısından oldukça önemlidir. Model aktarımı, planlamacıların iklim değişikliği ve/veya habitat kaybı nedeniyle tehdit altında olan türlere uygun olabilecek habitatları belirlemelerine yardımcı olarak, türlerin korunmasına yönelik ön alıcı eylemlere olanak tanır (Araújo & Peterson, 2012).

**İklim Değişikliğine Adaptasyon:** İklim değişikliğinin devam eden etkileriyle birlikte, tür dağılımlarının nasıl değişeceğini tahmin etmek biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistem yönetimi için hayatı önem taşımaktadır. Model aktarımı bu konuda, habitat koruma, ekolojik restorasyon, iklim değişikliğini hafifletme stratejilerinin geliştirilmesi ve türlerin dağılımındaki değişimleri tahmin etmede, modellerin zamansal olarak aktarımında kullanılabilirler (Thuiller ve ark., 2005).

**İstilacı Türlerle Mücadele:** TDM'nin model aktarımı yoluyla istilacı türlerin yeni alanlara potansiyel yayılışını tahmin etme özelliği, biyogüvenlik ve ekosistem sağlığı için kritik öneme sahiptir. Bu sayede, istilacı türlerin yayılmasını önlemek veya kontrol etmek için silvikültür uygulamalarında kullanılabilecek, istila riski altındaki bölgelerin belirlenmesine yönelik haritalar oluşturulabilir (Fernandez ve Hamilton, 2015; Petitpierre ve ark., 2017).

**Ormancılık ve Tarım:** TDM yine model aktarımı sayesinde zirai ürünler ve orman ağacı türleri özelinde, uygun yetişme alanları ve habitatlardaki potansiyel değişimlerin anlaşılması ve yönetim stratejilerinin belirlenmesinde kullanılabilir; böylelikle gıda güvenliği ve sürdürülebilir ormancılık uygulamalarına entegre edilebilirler (Bariotakis ve ark., 2019; Pecchi ve ark., 2019).

**Kamu Sağlığı:** Vektör kaynaklı hastalıklar (örneğin, sıtma) özelinde model aktarımı yoluyla hazırlanan haritalar, iklim değişikliği senaryoları ile hastalık vektörlerinin (örneğin; sivrisinekler) gelecekteki dağılımını tahmin edebilir, salgınlara hazırlanmasına ve önlenmesine yardımcı olabilirler (Capinha ve ark., 2009).

Özetle, yukarıdaki alanlarla ilgili çalışırken TDM'nin *model aktarımı* özelliğinden yararlanmakta olduğumuzu bilmemiz gereklidir. Model aktarımlarının doğruluğu ve bu

yöntemin hangi durumlarda kullanılıp kullanılamayacağı üzerine yazılmış uzman değerlendirmelerinden oluşan “Ekolojik Modellerin Aktarılabilirliğinde Karşılaşılan Zorluklar, Yates ve ark., 2018” yayını da dikkate alınarak; model transferi yöntemi, nadir ve değerli bir tür olan Anadolu Kestanesi’nin potansiyel habitatının tespitinde hem zamansal hem de mekansal olarak kullanılmıştır. **Bulgular** başlığında verilecek olan habitat uygunluk haritaları, öncelikle eğitim alanlarında oluşturulmuş (**Şekil 4.4**), daha sonra tüm Türkiye sınırları içeresine (**Şekil 4.5**) transfer edilmiştir (mekansal aktarım); aynı modelleme aşamasında güncel biyoklimatik değişkenlerle oluşturulan modellerin, farklı gelecek senaryolarına göre nasıl bir değişimde uğrayacağı da hesaplanmıştır (zamansal aktarım).

#### **2.4. TÜR DAĞILIM MODELLERİNDE ÇÖZÜNÜRLÜK ve HİYERARŞİK MODELLEME YAKLAŞIMI**

Çözünürlük, modellenen dağılımların mekansal ve zamansal ölçeklerini etkilediği için TDM’nde önemli bir konudur. Bu kavram, hem modelleri oluşturmak için kullanılan çevresel verilerin mekansal çözünürlüğünü (coğrafi bir birime denk gelen piksel boyutunu) hem de model çıktılarının zamansal çözünürlüğünü (iki ya da daha fazla zaman dilimleri arasında gerçekleşen değişimleri) ifade edebilir. TDM’nde uygun çözünürlük, araştırmanın kapsamına ve mevcut verilere bağlıdır.

Mekansal çözünürlük, TDM'deki çevresel değişkenleri temsil etmek için kullanılan piksellerin boyutunu ifade eder. Yüksek mekansal çözünürlüklü veriler ince detayları (küçük coğrafi alanları) yakalarken, daha düşük çözünürlüklü veriler daha geniş alanların modellenmesine olanak sağlar. Öte yandan, yüksek çözünürlüklü modeller eksik veya yanlış verilere daha duyarlı iken daha düşük çözünürlüklü modeller önemli çevresel detayları yumuşatır ve modelin mekansal detaylarını kabalaştırır. Zamansal çözünürlük ise veriler arasındaki zaman aralığını ifade eder. Yüksek zamansal çözünürlüklü veriler mevsimsel hatta günlük değişimleri yakalayabılırken, düşük zamansal çözünürlüklü veriler yalnızca uzun vadeli değişimleri gözlemleyememize olanak sağlar. Yüksek zamansal çözünürlüklü modeller düzgün aralıklarla ve sıklıkla ölçülmüş veriler gerektirir (bkz. *Zaman serileri*).

TDM’nde kullanılan veriler ve özelliklerine “*İklimsel ve Coğrafi Veri Setleri*” başlığında yer verilmişti. Ayrıca, “*Tür Dağılım Modelleri*” başlığında dephinilen *kavramsallaştırma* aşamasında, açık kaynaklardan elde edilebilen veriler taranıp,

oluşturulacak modellerin ölçeklerine karar verilmiştir. Bu doğrultuda, Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) 2 farklı ölçekte modellenmesine karar verilmiştir. Öncelikle, Türkiye genelinde güncel ve gelecek modelleri oluşturulmuş, daha sonra bu modellerin analizleri sonucu elde edilen çıkarımlar ile detaylı olarak çalışılması planlanan güney-doğu Marmara'nın (Bursa, Yalova ve Kocaeli'nin bir bölümü) yüksek çözünürlükle çalışılması kararlaştırılmıştır.

#### **2.4.1. Kıtasal Ölçekli Tür Dağılım Modelleri**

Kıtasal ölçekli TDM, türlerin geniş alanlardaki dağılımını tahmin etmek için kullanılan bir modelleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın en büyük avantajı, ülkeleri veya kıtaların tümünü kapsayan, çok geniş coğrafi alanların modellemesine izin vermesidir (Dormann ve ark, 2007). Ek olarak, kıtasal ölçekli modeller genellikle hesaplama açısından bölgesel ölçekli modellerden daha az işlem gücü gerektirir, bu da düşük-orta güçlü bilgisayarlarda, paralel hesaplama yöntemleriyle çalıştırılabilenleri anlamına gelmektedir (Merow ve ark, 2013).

Ancak kıtasal ölçekli TDM kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Ana dezavantajlardan biri, mikro iklim koşulları veya habitat heterojenliği gibi türlerin dağılımını etkileyen önemli ekolojik süreçleri ve meşçere yapılarını yakalayamamasıdır (Guisan ve ark, 2007). Bir diğer deyişle, kıtasal ölçekli modeller türlerin habitatlarına ait bir çok özelliği (hidroloji, topografya.. gibi) mekansal olarak temsil edemediğinden, potansiyel habitat uygunluklarını olması gerekenden fazla gösterir (Elith ve Leathwick, 2009). Ayrıca, mekansal olarak çok geniş alanları kapsadığından bu modeller; türlerin koruma planlaması için önemli olan ekolojik sığınaklar ve popülasyon sıcak noktaları gibi mekansal olarak çok küçük olan alanları tespit etmede yetersiz kalırlar (Guisan ve ark, 2007).

Kıtasal ölçekli TDM'nin diğer bir dezavantajı, komşu konumların benzer çevresel koşullara sahip olma eğilimi olan *mekansal otokorelasyondan etkilenebilmeleridir*. Bu durum çevresel koşulların uygun olduğu, ancak tek tip dağılmadığı (sıra dağlar ve derin vadiler gibi) bölgelerde bir türün dağılımının olduğundan fazla tahmin edilmesine neden olabilir (Elith ve Leathwick, 2009; Merow ve ark, 2013). Son olarak, kıtasal ölçekli modellerde biyotik etkileşimler veya insan faaliyetleri gibi türün yayılışını etkileyen önemli, çevresel olmayan

faktörleri hesaba katmak anlamlı olmayabilir (Dormann ve ark, 2007). Bu nedenlerle TDM'nin mekansal ölçek ve çözünürlüklerinin amaç doğrultusunda dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir.

Anadolu Kestanesine (*Castanea sativa* Mill.) uygun habitatların ülke genelinde dağılımı ve bu habitatların farklı iklim senaryolarına göre ne şekilde değişiklik gösterebileceğinin tespit edilmesi amacıyla, Worldclim ve CHELSA veri setlerinden kıtasal ölçekli TDM üretilmiştir.

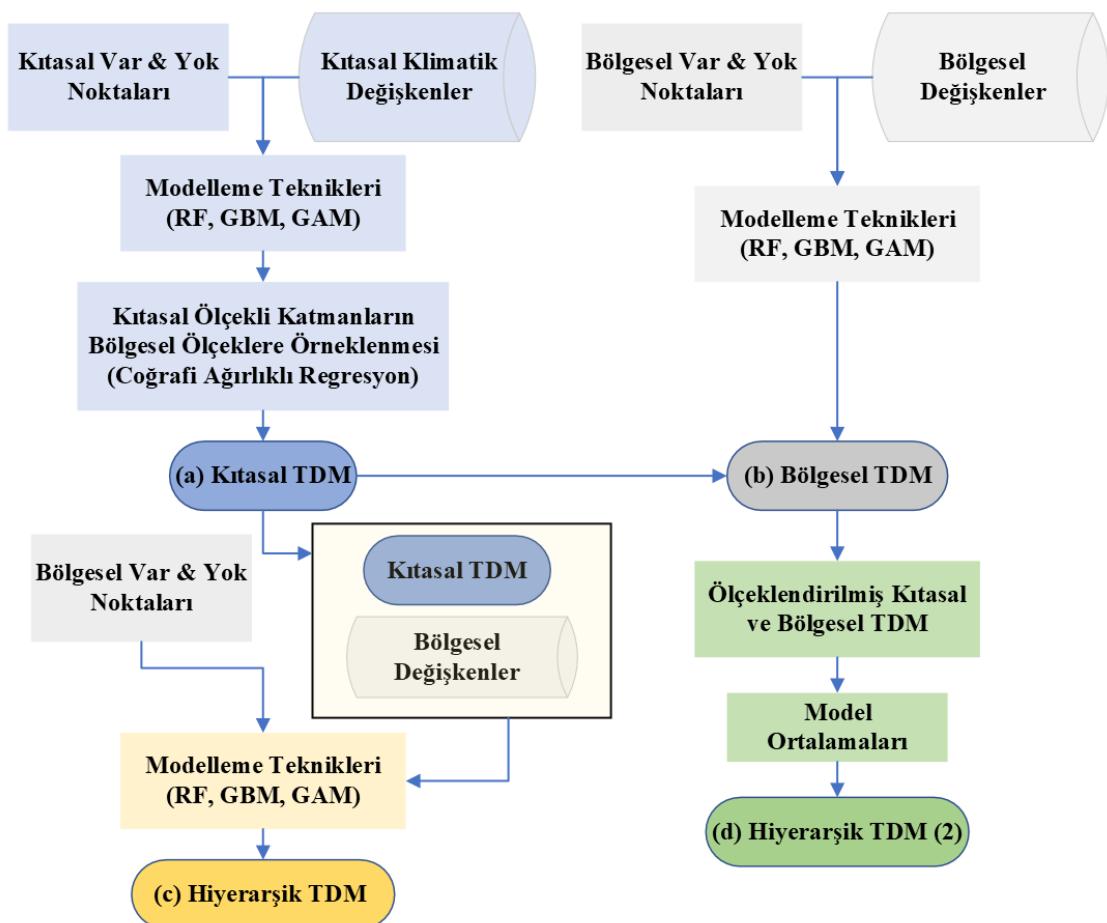
#### **2.4.2. Bölgesel Ölçekli Tür Dağılım Modelleri**

Bölgesel ölçekli (bu çalışmada 120 metre çözünürlüklü veriler kullanılmıştır) TDM, çevresel değişkenlere erişimin kolaylaşmasıyla, günümüzde türlerin dağılımını mikro ölçeklerde tahmin etmek için giderek daha fazla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Uzaktan algılanan görüntüler (hava fotoğrafları, uydu ve İHA görüntüleri vb., Turner ve ark, 2003) ve/veya yüksek çözünürlüklü çevresel veriler (Hijmans ve ark. 2005), TDM'nin oluşturulması için kullanılabilmekte dirler. Bu modeller, türlerin dağılımlarını etkileyebilecek mikro ölçeklerdeki çevresel faktörleri yakalamak ve kıtasal ölçekli modeller tarafından tespit edilemeyen, türün yayılışında önemli olabilecek nispeten küçük habitatları belirlemede oldukça verimlidirler (Elith ve ark., 2006). Ancak bu modeller, daha fazla veri ve hesaplama gücü gerektirirler. Ayrıca, kullanılan verilerdeki hatalara ve otokorelasyona kıtasal ölçekli modellere nazaran daha duyarlı hale gelirler (Naimi ve ark, 2011). Bu dezavantajlara rağmen, bölgesel ölçekli TDM ile mekansal olarak daha detaylı tahminler oluşturulur ve türlerin dağılımlarını etkileyen çevresel faktörlerin daha iyi anlaşılmasını sağlanabilir.

Bölgesel ölçekli TDM oluşturmak için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bunlardan en yayğını yüksek çözünürlüklü topografik ve hidrolojik değişkenlerin çevresel koşulları lokal ölçeklerde simüle etmek üzere kullanılmıştır. Günümüzde yüksek çözünürlüklü ve güncel iklim verilerine erişim oldukça kısıtlıdır. Alternatif olarak uzaktan algılama verileri (spektral ve/veya radar görüntüleri); sıcaklık, yağış ve bitki örtüsü gibi temel çevresel değişkenler hakkında yüksek mekansal çözünürlüklerde değişkenler oluşturmak üzere kullanılabilmekte dirler (Turner ve ark., 2003; He ve ark., 2015; Nezer ve ark., 2017).

#### **2.4.3. Hiyerarşik Modelleme Yaklaşımı**

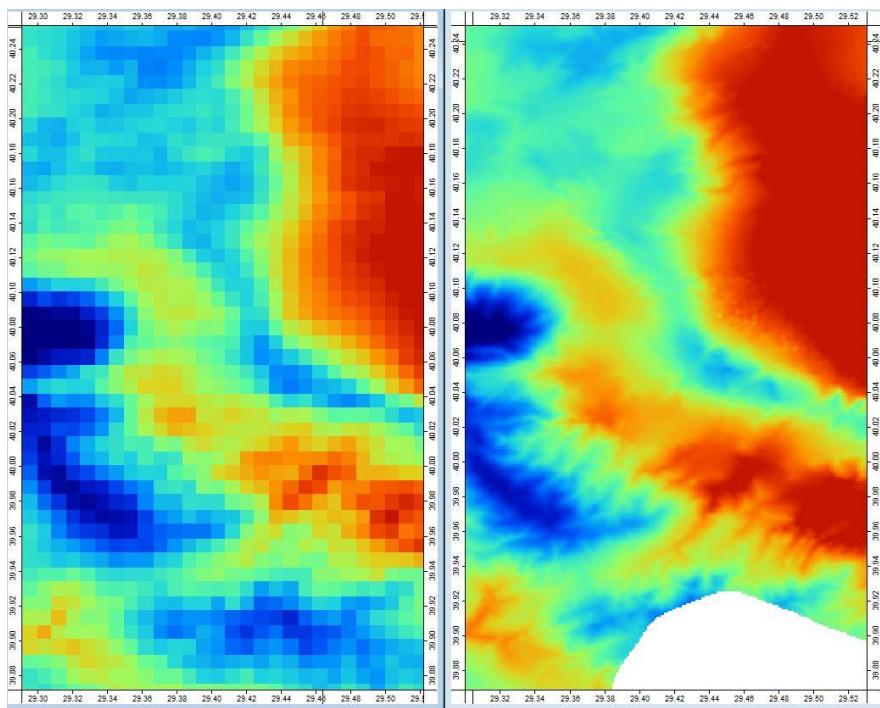
Hiyerarşik modelleme (bir diğer adıyla yuvalanmış modelleme) yaklaşımı, özellikle meşçere ölçeğinde, orman muhafaza çalışmalarında kullanımına yönelik TDM oluşturmak için geliştirilen yeni ve güçlü bir yaklaşımdır. Tek bir ölçüye odaklanan geleneksel TDM'nin aksine hiyerarşik modelleme hem kıtasal hem de bölgesel faktörlerden etkilenen, tür dağılımlarının hiyerarşik yapısını modellere dahil eder (Mateo ve ark., 2019). Bu çok ölçekli bakış açısı, farklı ölçeklerdeki modellerden elde edilen bilgileri birleştirerek türlerin coğrafi yayılışına ilişkin daha detaylı (mekansal olarak yüksek çözünürlüklü) tahminler yapılmasına olanak tanır. Tipik olarak bu yöntem, kıtasal ölçekli bir modelin bölgesel ölçekli bir model için temel oluşturduğu "iç içe geçmiş / yuvalanmış" bir yapıdadır (**Şekil 2.7**). Bu yaklaşım ile aynı anda birden fazla tür modellenip, biyotik etkileşimleri de modellemeye dahil etmeye yönelik modeller iç içe yuvalanabilir. Örneğin, öncelikle çalışılan türe hastalık yapan bir vektörün yayılışı modellenip, çalışılan türe ait yuvalanmış dağılım modeline bir katman olarak eklenebilir.



**Şekil 2.7:** Hiyerarşik Modelleme İş Akışı Şeması (Mateo ve ark., 2019 yayınından, kullanıcı

bazlı değişiklikler ve çevirisi yapılarak alınmıştır)

Hiyerarşik modelleme yaklaşımı daha hassas bölgelik ölçekte modeller üretmek için tasarlanmış ve 4 aşamadan oluşmaktadır (**Şekil 2.7: a, b, c ve d**): İlk aşamada (a), kıtasal ölçekte oluşturulmuş bir modelin değişkenleri (biyoklimatik veriler; Worldclim, Chelsa vb.) farklı yöntemlerle (bu tezde Coğrafi Ağırlıklı Regresyon yöntemi kullanılmıştır, **Şekil 2.8**; Brunsdon ve ark., 1996; 1998) işlenip, bölgesel ölçekteki model verileriyle aynı mekansal çözünürlüğe örneklenir. Bu yüksek çözünürlülere örneklenmiş verilerle oluşturulan yeni bir modelden elde edilen topluluk (ensemble) sonucu 3. (c) aşamada tekrar kullanılmak üzere kaydedilir. Bir sonraki aşamada (b), yüksek çözünürlüklü bölgesel değişkenler ve tür verileriyle yeni bir model oluşturulur ve 4. (d) aşamada kullanılmak üzere kaydedilir. 3. aşama bu yaklaşımın esas elde edilmek istenilen çıktısını üretmek içindir; bu aşamada ilk aşamada (a) elde edilen sonuç harita (birleşik/topluluk model sonucu) bir coğrafi değişken gibi bölgesel ölçekte oluşturulan model değişkenleri içerisine eklenir ve modelleme tekrarlanır. Sonuç olarak elde edilen model ile hem kıtasal ölçekteki katmanların klimatolojik hem de bölgesel ölçekteki katmanların topografik/edafik, hidrolojik, antropojenik vb. etkilerini modellemeye dahil etmiş oluruz. 4. (d) ve opsiyonel olarak gerçekleştirilen son aşamada ise (a) ve (b) aşamalarından elde edilen model sonuçlarının ortalamaları elde edilebilir.



**Şekil 2.8:** 1km çözünürlüklü biyoklimatik katmanın (sol), Coğrafi Ağırlıklı Regresyon

(Brunsdon ve ark., 1996) yöntemi ile 120m boyutunda yüksek çözünürlüklü katmana (sağ) dönüştürülmesi.

## **2.5. TÜR DAĞILIM MODELLERİNİN DİĞER KULLANIM ALANLARI**

Bir yöntemin kullanım alanlarını tespit etmek, o yöntemin geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu doğrultuda, TDM'nin kullanım alanları hakkında bir çok yazarın derleme çalışmalarına rastlamak mümkündür. Bu tez de dahil olmak üzere, son zamanlardaki bir çok araştırmancının temel aldığı kitaplardan biri olan, Guisann ve arkadaşlarının, 2017 yılında yazdıkları “*Habitat Suitability and Distribution Models with Applications in R*” eserleri esas alındığında, Tür Dağılım Modelleri:

1- Türlerin çevresel nişi ve zaman-mekan'a bağlı değişimlerinin hesaplanması:

Austin, M. P. 2002; Elith ve ark, 2010; Rinnan ve Lawler, 2019

2- Tür dağılımlarını etkileyen çevresel faktörlerin belirlenmesinde:

Kearney ve Porter, 2009; Benito-Garzón ve ark, 2013; Huang ve ark, 2021

3- Tür özellikleri ve popülasyon demograflerinin ilişkilendirilmesinde:

Petchey ve Gaston, 2006; Merow ve ark, 2014

4- Biyocoğrafya aracılığıyla evrimsel hipotezlerin test edilmesinde:

Gotelli ve Stanton-Geddes, 2015; Chiocchini ve ark, 2016

5- Türlerin istila ve çoğalma evrelerinin değerlendirilmesinde:

Broennimann ve ark, 2007; Gallien ve ark, 2010

6- İklim, arazi kullanımı ve diğer çevresel değişkenlerin, tür dağılımları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde:

Thuiller ve ark, 2009; Karger ve ark, 2017

7- Nadir veya yeni türler için yüksek bulunma potansiyeline sahip, henüz araştırılmamış

bölgelerin tespit edilmesinde:

Yılmaz ve ark, 2017; Brunton ve ark, 2023

- 8- Türlerin geri kazanılması için oluşturulan yönetim planlarında, restorasyon aşaması için uygun alanların bulunması:

Osborne ve Seddon, 2012; Hu ve ark, 2020

- 9- Koruma planlamaları için, doğa koruma alanlarının belirlenmesinde:

Warren ve ark, 2011; Guisan ve ark, 2013

- 10- Bireysel tür tahminleriyle, topluluk ve ekosistem özelliklerinin çıkarımında:

Jennings ve ar, 2008; Wisz, 2013

- 11- Hastalık ve salgınların yayılışının tespit edilmesi ve gelecek tahminlerinin oluşturulmasında:

Woolhouse, 2011; Kramer ve ark, 2014

- 12- Popülasyon dinamiklerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır:

Meynard ve ark, 2013; Benito-Garzon ve ark, 2019

TDM'nin kullanıldığı bu alanlar hakkında bilgi sahibi olmak, modellemenin sınırlarını anlamamamıza da yardımcı olacaktır.

## **2.6. ANADOLU KESTANESİ'NİN (*Castanea sativa* Mill.) GENEL ÖZELLİKLERİ**

Anadolu'nun yerli bir türü olan kestane (*Castanea sativa* Mill.) kuzey yarımkürede; yüksek, serin ve fazla yağış alan bölgelerde, saf ve karışık meşçere yapılarında yayılış göstermektedir. Güney Avrupa, Kuzey Afrika, Güney Doğu Asya ile Hazar Denizi kıyıları ve özellikle Kafkaslarda yayılış gösteren Anadolu Kestanesi, dikey olarak deniz seviyesinden 700- 800 metreye kadar yukarıya çıkmakta, hatta ülkemizde Rize civarında 1700 ve Kafkaslar'da 1.800 m yükseltiye kadar görülebilmektedir (Kayacık, 1981; Yaltırık, 1993; Mayer ve Aksoy, 1998).

Kayıngiller (*Fagaceae*) familyası içerisinde yer alan Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) 30-35 metreye kadar boyanabilen, kışın yaprak döken bir ağaçtır; kültive edildiği alanlarda 1000 yaşına kadar çap artımını sürdürdüğü ve 12 metreye kadar çap yapabildiği bilinmektedir (Conedera ve ark., 2016). Koru ormanlarında ortalama 2-2.5 metreye kadar çap yapabilen ağaçın kabuğu kahverengi-grimsi, genç bireylerde pürüzsüz, yaşlı bireylerde ise genellikle ağ şeklinde çatlaklı sahiptir. Yaprakları uzun mızrak ucu şeklinde olup (8-25 cm uzunluk ve 5-9 cm genişliğinde) muntazam aralıklı dişlere ve yaprak tabanına göre çok daha parlak yeşil bir yaprak yüzeyine sahiptir (Yaltırık, 1993; Conedera ve ark., 2014b, 2016).



**Şekil 2.9:** Çanakkale Kalkım'da bir tarla kenarında fotoğraflanan yaşlı bir Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.). Görüldüğü üzere bu ağaç, kapalılığın olmadığı alanlarda oldukça büyük bir tepe tacına, ışığa ulaşımının kolaylaşmasıyla hızlanan çap artımına, sonuç olarak kalın ve çatallı bir gövdeye sahip olmaktadır.

Kestane tek evcikli bir tür olup, aynı ağaç üzerinde iki farklı salkım şeklinde hem stamen (erkek) hem de pistil (dişi) çiçekler bulunur: sürgünlerin tabanında tek eşyeli ve distal/uç kısımlarında ise iki eşyeli çiçekler bulunur. Bu salkım şeklindeki çiçek

topluluklarının her birinin sahip olduğu kurul sayısı 6 ile 16 arasında değişmektedir. Bu çiçek salkımları ortalama 15-20 cm uzunluğundadır ve tatlı, misk kokuludur: bu çiçeklerin uzunlukları türe ve kültivara göre farklılık göstermektedir (10-40cm) (Beccaro ve ark., 2019). Tozlaşmanın hem rüzgar hem de böcekler yoluyla gerçekleştiği kabul edilir (Clapper, 1954). Ayrıca kestane ağacı polenlerinin rüzgar yoluyla 30 km ila 100 km'ye kadar tozlaşmayı sağlayabildiği belirlenmiştir (Tampieri ve ark., 1977; Peeters ve Zoller, 1988). Tozlaşma ile meyve olgunluğu arasındaki süre, yaz sonundan sonbahara kadar, 70 ila 120 gün arasında değişir. Tozlaşma ile meyvenin olgunlaşması arasındaki sürenin uzunluğunun, dikenli kupula içindeki meyve sayısını etkilediği de gözlemlenmiştir (Shimura ve ark., 1971).



**Şekil 2.10:** Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) genç (sol) ve yaşlı (sağ) bireylerdeki kabuk yapısı.

Birçok diğer meyve türleri gibi kestane'de de enlem ve rakıma bağlı olarak, erken ilkbahardan sonbahara kadar yoğun bir vejetatif ve üreme dönemi gözlenir. *Castanea* cinsinin türleri ve kültivarları arasında çiçeklenme, meyve olgunlaşması ve hasat zamanları farklılık göstermektedir. Kestane, diğer ılıman iklim ağaç türlerine kıyasla genel olarak geç çiçek açar: çiçeklenme, türler arasında ve coğrafi konuma göre farklılıklar göstermekle birlikte, genellikle yaz ortasında gözlemlenir. Kuzey yarımkürede yer alan türlerden olan Anadolu Kestanesi'nde çiçeklenme, tipik olarak Mayıs ortasında başlar ve en geç Haziran'ın üçüncü haftasında çiçeklenme tamamlanmış olur. Erkek ve dişi çiçeklerin olgunluğa erişme süreleri genellikle farklılık gösterir.

Türlerin özellikle kışın tanınılabilmesi için önemli olan özelliklerden birisi de tomurcukların yapısı ve sürgün üzerinde nasıl dizildikleridir (Yaltırık, 1984). Anadolu

Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) tomurcukları almaşlı/spiral diziliş gösterip, sıcaklıkların artışıyla birlikte şişmeye başlarlar ve genellikle Nisan sonu, Mayıs ortası gibi şişmiş olan bu tomurcuklar patlayarak sezonun ilk yapraklarını ortaya çıkarırlar (Şekil 2.13).



**Şekil 2.11:** Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.)'nin erkek çiçekleri. Mayıs ayının ortasından başlayarak Haziran'ın sonuna kadar bu çiçekler oldukça göz alıcı sarımtırak beyaz renk ve uzun salkımsı yapılarıyla türün tespitinde büyük kolaylık sağlar.

Kestane'nin oldukça güçlü olan kök sistemi, yürek biçimine olup toprağın derinlerine kadar iner. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda, kestane köklerinin mikorizalar tarafından büyük oranda kaplandığı ve kestane'nin mantarlar ile dikkate alınması gereken bir simbiyotizme sahip olduğu belirtilmiştir. Ekonomik açıdan büyük değere sahip bazı mantar türlerinin kestane ile simbiyotik bir ilişkiye sahip olduğu ve önemli yan ürünler olarak tarımsal ormancılık içerisinde değerlendirileceği üzerinde durulmuştur: *Amanita caesarea*, *Boletus edulis* ve *Cantharellus cibarius* bahsedilen bu mantar türlerinden bazlarıdır (Meotto ve ark., 1999; Peintner ve ark., 2007; Baptista ve ark., 2010; Álvarez-Lafuente ve ark., 2018).



**Şekil 2.12:** Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) olgunlaşmış dişi çiçeği.

Anadolu kestanesi ülkemizde özellikle Karadeniz ve Marmara bölgesinin tamamında; ayrıca Ege bölgesinin iç ve yüksek kısımlarında görülen, ekolojik ve ekonomik açıdan oldukça önemli ağaç türlerinden biridir. Bazı kaynaklarda Kestanenin ilk yayılış yerinin Kastamonu (Kastanis) şehri olduğu, türün adını da buradan aldığı söylenmektedir (Demirtaş, 2013). Ancak yapılan birçok araştırma sonucunda türün polen örneklerine son buzul çağından önce Avrupa'da rastlanıldığı; buzul çağıyla birlikte Anadolu ve Kafkaslara sıkışan türün, sonrasında Avrupa'ya tekrar yayıldığı düşünülmektedir: Kayıtlara göre rastlanılan en eski Kestane odununun MÖ 7200-6900 yıllarına tarihlendiği ve Suriye'de bulunduğu belirtilmiştir (Condera ve ark., 2004; Freitas ve ark., 2021). Kestane cinsinin bilinen 13 türü bulunmaktadır. Ancak bunlardan dört tanesi ekonomik öneme sahiptir. Doğal yetişme alanlarına göre bu türler Güney Avrupa ve Anadolu'da *Castanea sativa* Mill., Çin'de *Castanea mollissima* Blume (Çin kestanesi), Japonya'da *Castanea crenata* Siebold&Zucc. (Japon kestanesi) ve ABD'nin doğusunda *Castanea dentata* (Marshall) Borkh.'dır (Soylu, 1984).

Villiani ve arkadaşları 1999 yılında yaptıkları çalışmada; Avrupa'da, Anadolu kestanesi'nin genetik özellikleri açısından önemli değere sahip iki ana yayılış alanı olduğu: Bunların, her biri önemli genetik/morfolojik farklılıklar gösteren Türkiye ve İber Yarımadası yayılışları olduğunu belirtilmiştir (Villiani et al. 1999a). Bu iki alanın aynı zamanda Avrupa'nın önde gelen kestane üreticileri olduğu bilinmektedir (Goulao et al. 2001; Bucak, 2006).



**Şekil 2.13:** Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) tomurcuk yapısı ve sürgün üzerinde dizilişi.

FAO'nun (Food and Agriculture Organisation) 2012'deki raporlarına göre, dünya genelinde kestane üretimi yıllık ortalama 2 milyon tondur. Çin 1,3 milyon ton ile bu üretimin %84'ünü karşılarken, ikinci sırada yer alan Türkiye 60 bin ton ile %3'ünü karşılamaktadır; bu liste İtalya, Güney Kore, Bolivya ve Yunanistan diye devam etmektedir. Üretim miktarının yanı sıra, hektar başına üretim, yani verimlilik açısından ele alındığında, Türkiye'nin hektar başına düşen üretimi Dünya genelinde 1. sıradadır (Atasoy ve Altıngöz, 2013); bu istatistik tek başına Türkiye'de bulunan genotip'lerin değerini bizlere göstermektedir. Orman Genel Müdürlüğü 2013 – 2017 “kestane eylem planı” ‘na göre Türkiye 28.804 hektar saf kestane yayılışına sahiptir ve bu varlığın 22.011 hektarını verimli, 6.793 hektarını ise bozuk meşçereler oluşturmaktadır. Saf meşçerelerin yanı sıra kestaneler birçok farklı türden geniş yapraklı ve ibreli tür ile karışımıda da girmektedir. Farklı niteliklerdeki bu kestane karışımlarının toplamı 233.241 hektardır ve yine bu toplamın yaklaşık 20 bin hektarı bozuk meşçere özellikleri göstermektedir. (Bucak, 2006; OGM, 2012; Atasoy ve Altıngöz, 2013)



**Şekil 2.14:** Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) meyveleri. Solda olgunluğa erişmiş ve toprağa dökülmek üzere olan ve sağda henüz olgunlaşmamış, kupulası tamamıyla kapalı meyveler görülmektedir.

Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) Anadolu'da çok eski çağlardan beri yetiştirildiği için farklı meyve kalitesi ve ağaç özelliklerine sahip birçok kestane çeşidi ortaya çıkmıştır. Anadolu'da tahmini olarak 2,5 milyona yakın kestane ağacı bulunmakta ve bunların genetik yapıları oldukça değişkenlik göstermektedir. Bu zengin kestane popülasyonları içerisinde, parlak ve göz alıcı renklere, iri meyvelere sahip bireyler olduğu gibi, düşük kaliteli ve küçük boyutlu meyvelere sahip bireyler de bulunmaktadır. Türkiye'deki kültive kestane yetiştiricileri genellikle doğal popülasyonlardan kestane seçimleri yapmışlardır, ancak Türkiye'de kestane çok farklı habitat ve genotiplere sahiptir. İnce ve parlak kabuk, büyük meyve, erken hasat ve yüksek verim kapasitesi gibi önemli özelliklere sahip olan yerli türler, yerel yetiştiriciler tarafından seçilmiş ve aşılama ile çoğaltılmış olmasına rağmen, her bir kestane bölgesinde önemli ekolojik farklılıklar vardır. Türkiye'deki kestane çeşitleri iyi karakterize edilmemiş ve kökenlerine göre iyi sınıflandırılmamıştır. Ayrıca birçok bölgede aynı adı taşıyan, ancak genotipik olarak farklı bireyler bulunmaktadır (Ertan, 2007; Villiani ve ark., 1999b).

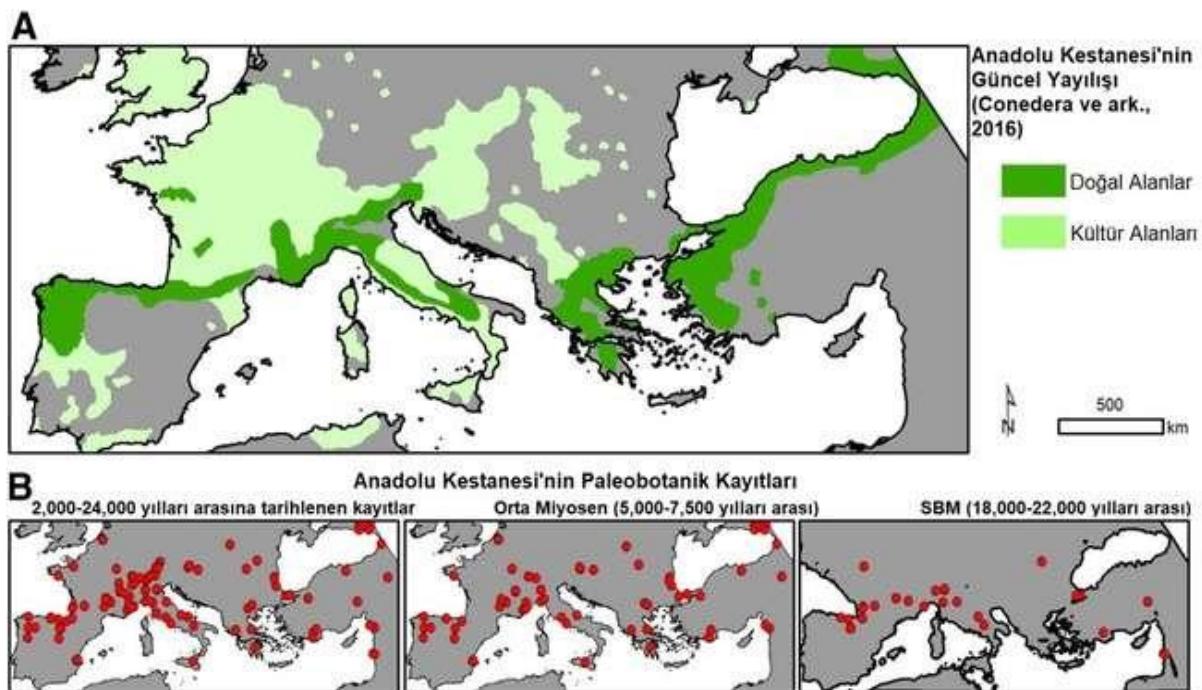
Doğal popülasyonlarda türün genetik çeşitliliğinin ve popülasyon yapısının değerlendirilmesi, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve koruma stratejisinin oluşturulması açısından önemlidir (Lang ve Huang, 1999); bu sebepten türün güncel ve gelecekteki yayılışının yüksek doğruluklarla modellenmesi; adaptif özellikleri ve ekolojik isteklerinin doğru bir biçimde ortaya konulabilmesi için, seleksiyon ayımlarının çalışılması; her bir genotipin, özellikle modellemeye farklı ağırlıklarla modele dahil edilmesini gerektirmektedir. Bu çalışma içerisinde Anadolu Kestanesi'nin farklı genotipleri dikkate alınmamış, bu sebepten her bir bireyin modellemeye ağırlıkları eşit kabul edilmiştir. Bu detaya, gelecekte yapılacak modelleme çalışmalarına ışık tutması nedeniyle yer verilmiştir.

## **2.7. ANADOLU KESTANESİ'NİN (*Castanea sativa* Mill.) YAYILIŞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER ve EKOLOJİK İSTEKLERİ**

Türlerin coğrafi aralıkları zamansal ölçekte sabit değildir; iklim değişikliği ve insan etkisine bağlı olarak genişleme ve daralmalar gösterebilir (Svenning ve ark., 2015). Bu tanım mevcut tür dağılımları sınırlarının, büyük oranda geçmişteki iklim koşulları etkisinde gerçekleştiğine işaret eder. Bu sebeple, türlerin doğal olarak ve sonradan yayılış gösterdiği (ilerleme, ekspansiyon) alanların belirlenmesi; ormanların planlanması, koruma stratejilerinin belirlenmesi ve ağaçlandırma uygulamalarının başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için

oldukça önemlidir (Rocez-Diaz ve ark., 2018). Tür dağılımlarını açıklamaya çalışan tanımlardan bir diğerinde, Anderson ve arkadaşları (2010) bitki türlerinin mevcut dağılımını ancak biyolojik, fiziksel ve sosyokültürel olayların karmaşık etkileşimleriyle anlamlandıracığımızı belirtmişlerdir. Bir önceki tanıma benzer şekilde, bu tanımda da; ekolojik ve coğrafi faktörlerin, bitkilerin evrimsel biyolojisine olan etkilerinin çoklu mekansal ve zamansal ölçeklerde gerçekleştiği üzerinde durulmaktadır.

Uzun yıllar boyunca Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) Batı Avrupa'ya Roma İmparatorluğu tarafından, kuzey Anadolu ve Kafkaslardan getirildiği düşünülmüştür (Jaynes, 1974; Zohary ve Hopf, 1988). Bu kanya, türün bu bölgelerde yüksek düzeyde genetik farklılıklar gösterdiği bilgisi ile varılmıştır (Villani ve arkadaşları, 1994; 1999). Ancak, bu konu üzerinde son zamanlarda yapılan araştırmalar ve farklı Avrupa popülasyonlarından elde edilen genetik verilerin ışığında, Batı Avrupa'da da buzul sıçınlarının (türlerin buzul çağlarında indikleri sınırlar olarak tanımlanabilir: Steward ve ark., 2010) varlıklarını tespit edilmiş: yine bir önceki hipoteze benzer bir şekilde, sonraki tarihsel süreçte türün yayılışında büyük bir insan etkisi olduğuna dikkat çekilmiştir (Fineschi ve ark., 2000). Günümüzde, Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) doğal yayılışının; polen fosilleri, paleobotanik araştırmalar ve kömür ocaklarından elde edilen bulgular ışığında, İber Yarımadası'nın Kuzey ve Batısı, Pireneler, Alp ve Apenin sıradağlarının güneyinde bulunan alçak rakımlar, Kuzey/Batı Anadolu ve Balkanlar olduğu kabul edilmektedir (Rocez-Diaz ve ark., 2018; Conedera ve ark., 2004; Mattioni ve ark., 2013) (**Şekil 2.15**).



**Şekil 2.15:** Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) Paleobotanik bulgular ile belirlenmiş doğal ve kültür yayılışları. **A-** Anadolu Kestanesi'nin Yayılış Haritası, **B-** Anadolu Kestanesi'nin fosil, polen ve kömür kayıtlarına rastlanılan noktalar. (Rocez-Diaz ve ark., 2018; Conedera ve ark., 2016 yayınlarından çevirisini yapılarak alınmıştır).

Batı'da Portekiz'den Doğu'da Kafkaslar'a, Kuzey'de İngiltere'den Güney'de Girit'e kadar yayılış gösterebilen bu türün, geniş bir mekansal aralığa sahip olduğunu söyleyebiliriz. Türün Akdeniz havzası boyunca gözlemlenebilen dağılımı, değişen çevresel koşullara ne derecede uyum sağlayabildiğini göstermektedir: Bu durum aynı zamanda popülasyonlar arasında ve popülasyonlar içindeki önemli genetik çeşitliliğe de işaret eder. Yapılan birçok araştırma ile, türün farklı popülasyonları arasındaki genetik farklılıklar ortaya konulmuş ve bu farklılıkların türün plastisitesi (su kıtlığına, sıcaklığa ya da ekstrem koşullara karşı olan dayanıklılık) üzerindeki etkileri tartışılmıştır (Piglucci ve ark., 1990 - **Şekil 2.17**; Lauteri ve ark., 1998; Martín ve ark., 2010; Chiocchini ve ark., 2016 - **Şekil 2.16**; Mattioni ve ark., 2017).

Bu tez kapsamında kullanılan yöntemlerden birisi olmasa da biyocoğrafya'nın tanımı üzerinde durulması gerekmektedir. Peyzaj (Landscape) genetiği ya da daha yaygın ismiyle Biyocoğrafya, genetik çeşitliliğin en temel sebeplerinden olan coğrafya, iklim ve arazi kullanımının etkisini açıklamayı amaçlar. Biyocoğrafya, popülasyonların genetik çeşitliliğini ve gerçekleşmiş gen akışının miktarını ve yapısını araştırır. Bu yöntem ile genetik çeşitlilik modellerinin coğrafi bir yorumunu sağlamak için genetik veriler, arazi özellikleriyle

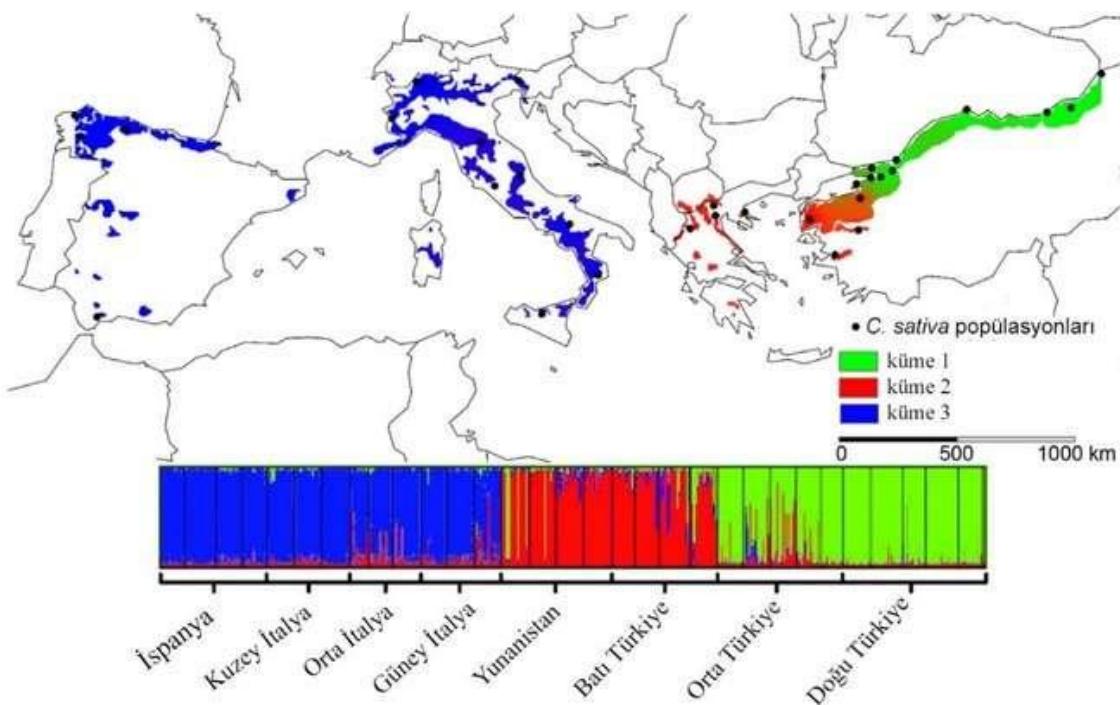
bütünleştirilmek üzere CBS ortamına aktarılır (Villiani ve ark., 2014).

Piglucci ve arkadaşları tarafından 1990 yılında, Anadolu Kestanesi'nin genetik özelliklerinin iklimsel faktörlerle olan ilişkisi üzerine yapılan araştırmada Türkiye'deki yayılış 3 farklı gruba ayrılmıştır (Marmara, Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz; **Şekil 2.17**). Bu çalışmada Akdeniz bölgesinde gözlemlenen yayılışların oldukça kısıtlı olduğu belirtilmiş; üretimin fazla olmasına rağmen, bireylerin orman ağaçları karakterleri taşımadığı kanaatine varılmıştır. Araştırmada Antalya Köprülü Kanyon ve Isparta Ayazmana'da bulunan ve doğal olduğu düşünülen (Özçelik, 2018, 2019) Kestane yayılışının ihmali edilmiş olması mümkündür.

Bahsedilen araştırmada kullanılan iklimsel parametreler: minimum ve maksimum güneş radyasyonu (bir diğer adıyla, yere ulaşan güneş enerjisi, watt/m<sup>2</sup>); minimum ve maksimum bulutsuz gün sayısı; minimum ve maksimum bulutlu gün sayısı; minimum ve maksimum ortalama sıcaklıklar; minimum ve maksimum ortalama yağışlar; minimum ve maksimum sisli gün sayısı; minimum ve maksimum don gözlenen gün sayısı; toprağın donduğu derinlik; yılın her ayı için minimum ve maksimum sıcaklıklar; yılın her ayı için minimum ve maksimum yağışlar; ve çalışma alanı yükseltileridir.

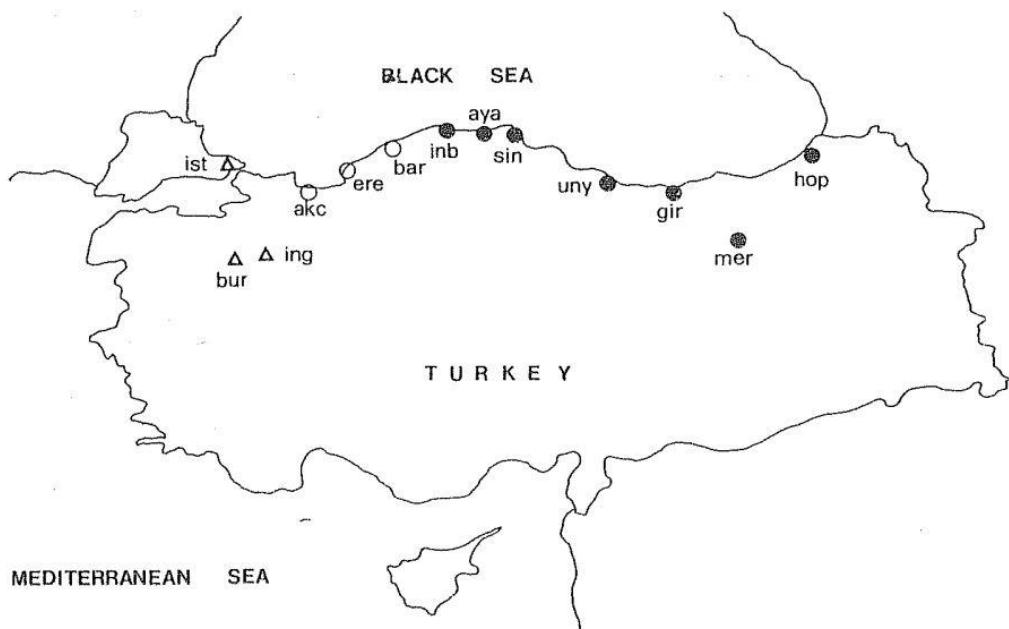
Yukarıda verilen toplam 64 değişkenden bilgi çıkarabilmek için “Temel Bileşen Analizi / PCA (Pearson, 1901; Hotelling, 1933)” yöntemi kullanılmış, elde edilen sonuçlara göre en yüksek değere sahip 4 “temel bileşen” sırasıyla %54,34(PC1), %15,80(PC2), %12,64(PC3) ve %9,06(PC4) olarak bulunmuştur. Bu oranlar, 64 katmanlı veri setini özetleme kabiliyetine sahip veri kümelerini belirtir. Buna göre 1. “temel bileşen kümesi, PC1” minimum ve maksimum sıcaklıklar, minimum ve maksimum don gözlenen günler, minimum ve maksimum Ağustos sıcaklıkları ve Kasım ayının minimum sıcaklığı: PC2, minimum bulutsuz günler, minimum ve maksimum ortalama yağış, maksimum Mayıs yağışları ve minimum ve maksimum Haziran yağışları: PC3, minimum ve maksimum bulutlu günler: PC4, minimum ve maksimum Mayıs ayı sıcaklıkları olarak bulunmuştur. Marmara ve Karadeniz bölgesinde yapılan bu “biyocoğrafya” araştırmasının sonuçlarına göre, Anadolu Kestanesi popülasyonlarının genetik yapılarına göre değişen ekolojik istekleri: Yıllık ortalama yağış ve sıcaklık, Haziran ve Mayıs ayı yağışları, Kasım ayı minimum sıcaklığı, don gözlemlenen günlerin süreleri gibi ekolojik değişkenlerin dikkate alınmasıyla

anlaşılabilmektektir (Pigliucci ve ark., 1990).



**Şekil 2.16:** 779 farklı Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) bireylerinin genetik farklılıklarının, kümeleme analizi sonucunda elde edilen coğrafi yayılışı (bu tür araştırmalar literatürde “biyocoğrafya” kategorisine girmektedir). Bireylerin seçildiği popülasyonlar harita üzerinde siyah noktalarla belirtilmiştir (Chiocchini ve ark., 2016; yayından çevrilerek alınmıştır).

Tür dağılımlarını etkileyen bir diğer önemli faktör, içinde bulunduğumuz yüzyılda “iklim değişikliği” ve “küresel ısınma” ile salgına dönüşmüş bitki patojenleridir (mantar, virüs, bakteri, böcek). Bununla birlikte aşırı faydalananma, açmacılık, yerli olmayan ve/veya istilacı türlerin sosyo-ekonomik faaliyetler sonucu ekosistemlere dahil edilmesi gibi antropojenik faktörlerin de bitkilerin coğrafi dağılımını değiştirdiğini bilmekteyiz (Butchart ve ark., 2010; Rands ve ark., 2010). Sonuç olarak hem doğal hem de beşeri faktörlerin habitat parçalanmasına ve biyolojik çeşitlilik kaybına yol açtığını dair kanıtlarımız da bulunmaktadır (Fischer ve Lindenmayer 2007).



**Şekil 2.17:** Piglucci ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılan araştırmada kullanılan örnek alanlarının coğrafi yayılışı. (Bu görselde üçgenler Batı (Marmara), içi dolu daireler Doğu (Orta ve Doğu Karadeniz) ve içi boş daireler merkez (Batı Karadeniz) yayılışları olarak tanımlanmıştır). (Pigliucci ve ark., 1990)

## 2.8. ANADOLU KESTANESİ'NİN (*Castanea sativa* Mill.) KARŞI KARŞIYA OLDUĞU TEHDİTLER

Son milenyum içerisinde orman ağaçları, büyük çapta iklimsel ve çevresel değişikliklere maruz kalmış ve bu değişikliklere göç ve yeni yetişme koşullarına genetik adaptasyon yoluyla tepki vermeye zorlanmıştır (Huntley & Birks 1983). Bu tezin de odak noktalarından bir tanesi olan iklim değişikliği ile ilgili olan mevcut çevresel değişiklikler; yukarıda da bahsedilen buzul sonrası iklim değişimleri sırasında meydana gelenlere kıyasla daha hızlıdır (Pliura ve ark., 2018; Conedera ve ark., 2021). Ayrıca, hızla değişen bir ortamda, bitki patojenlerinin ağaçlara göre daha hızlı bir adaptasyon süreci olmaktadır; bunun sebebi, basit organizmalar ve tek hücreli canlıların yaşam döngülerinin daha kısa olması, dolayısıyla hızlı evrimleşmeleridir (Frankel, 2008; Kliejunas ve ark., 2008). Bu sebeplerden, uzun ömürlü organizmalar olan ağaçların, bu derece hızlı değişen iklime ve patojenlerle karşı aynı zamanda baş edemeyeceğine dair yaygın endişeler de bulunmaktadır. Son zamanlardaki hızlı iklim değişikliğinin yol açtığı biyotik ve abiyotik hastalıkların artan sıklığı ve büyülüklüğü, bu endişeleri haklı çıkarmaktır; aynı zamanda orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğini, doğal süksesyonu, biyolojik çeşitliliği ve devamlılığını tehdikeye

atmaktadır (Bhargava ve Sawant, 2013, Shah, 2015).

Küresel iklim değişiklikleri, sıcaklıklarda artışla birlikte, yağış düzenlerinde de değişikliklere yol açmaktadır: Bu durum, uzun süreli kuraklık dönemleri ve aşırı sıcaklıkların daha sık hale gelmesiyle ağaçlar üzerindeki çevresel stresi artırmaktadır (Kattenberg ve ark., 1996). Aynı zamanda, iklimdeki bu değişiklikler bitki morfolojisini, fizyolojisini ve kimyasında bitkilerin hastalıklara karşı duyarlığını artırabilecek değişikliklere neden olabilir (Chakraborty ve ark., 2000). Yükselen sıcaklıklar ile artan evapotranspirasyonun neden olduğu azalan toprak nemi, bazı coğrafyalarda kuraklık riskini diğerlerine göre daha çok artırmaktadır (Mitchell ve ark., 1990). Su kıtlığı, bitki büyümeyi sınırlayan en önemli faktör kabul edildiğinden (Hsiao, 1973; Rhodenbaugh ve Pallardy, 1993), bahsedilen bu çevresel değişiklikler, bitkilerin fotosentez ve transpirasyon gibi fizyolojik etkinliklerini ve dolayısıyla büyümeyi doğrudan etkiler. İklim değişikliği ile ilgili stres kaynakları (sıcaklık, kuraklık, artan nem vb.) aynı zamanda yoğun bir doğal seçilime sebep olmakta; böylece genetik çeşitliliğin azalmasına ve dolayısıyla bitki popülasyonlarının adaptasyon yeteneklerinin zayıflamasına yol açmaktadır (Koskela ve Lefevre, 2013).

Türün güncel ve gelecek yayılışlarını etkilediğinden, patojenlerin (primer ya da sekonder) etkileri ve yol açabileceği potansiyel epidemilerin çalışılması oldukça önemlidir. Bu amaç doğrultusunda, Anadolu Kestanesi'nin yayılışında etkisi olan patojenler (Kestane gal arısı (*Dryocosmus kuriphilus*)), dal kanseri (*Cryphonectria parasitica* – bir mantar türü) ve mürekkep hastalığı (*Phytophthora cambivora* – bir alg türü) birçok araştırmaya konu olmuştur (Vannini ve Vettraino, 2011; Prospero ve Rigling, 2013; Villiani ve ark., 2014; Dal Maso ve ark., 2017; Camison ve ark., 2019). Bu tez kapsamında (oluşturulan modellerde), bu zararlıların etkisi dikkate alınmamış olmasına rağmen, gelecekteki çalışmalara uygun bir zemin oluşturmak adına, genel bir bilgilendirme uygun olacaktır.

Kestane ağaçları tüm dünya'da, çoğullukla mantar ve mantar benzeri organizmalar olmak üzere birçok mikroorganizmaya ev sahipliği yapmaktadır. Bu mikroorganizmalardan bazıları bitki için faydalıken (mikorizal mantarlar gibi), bazıları konukçu üzerinde bazı olumsuz etkilere sahiptir (Vannini ve ark., 2010). Normal koşullar altında, doğal seçilim sebebiyle bu patojenlerin etkisi önemsiz kabul edilebilir: Aynı coğrafyada bulunan konukçu bitki ve patojenler arasındaki etkileşimin bir noktada dengeye ulaşacağı beklenir. Ancak, bitkiler ve patojenik mantar ve/veya organizmalar, konukcularıyla birlikte evrimleşmedikleri

ortamlarda (doğal olmayan yollarla bir ekosisteme dahil oldukları durumlarda), bu dengeden bahsedemeyiz (Gonthier ve Robin, 2019). Bu tanımı örneklendirecek olursak; Anadolu Kestanesi üzerinde etkili olan patojenlerin Asya'dan taşıdığı ve aynı patojenlerin 18. yüzyılın ortalarından beri Amerikan Kestanesi'ni (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh.) yok olma noktasına getirdiği bilinmektedir (Bramble, 1936; Jaynes, 1974; Robin ve ark., 2012).

Kestane Mürekkep Hastalığı (KMH)'na, özellikle asidik topraklar ve nemli bölgelerde yaşayan (Miranda-Fontaina ve ark., 2007), her ikisi de mantara benzeyen büyük bir mikroorganizma sınıfı, *Oomycota*'ya ait olan, *Phytophthora cambivora* ve *P. cinnamomi* neden olur. Avrupa'da ilk yıkıcı salgınlar on dokuzuncu yüzyılda rapor edilmiş olsa da bu iki toprakçıl patojenin Avrupa'da 18. yüzyıldan beri var olduğu tahmin edilmektedir (Zentmyer, 1980; 1988). Türkiye'de ise bu hastalığın ilk olarak 1925 yılında görüldüğü raporlanmıştır (Erdem, 1951; Akdoğan, 1970). KMH'na sebep olan *Phytophthora* cinsine mensup bu patojenler 1825 ve 1875 yıllarında, Kuzey Amerika'da da büyük çaplı salgınlara sebep olmuştur (Tucker, 1933; Day, 1938; Crandall ve Gravatt, 1945). 2000'lерden bu yana tekrar kendini gösteren KMH, Avrupa ve Anadolu'nun geniş bölgelerinde kestane popülasyonlarını tehdit etmekte, ekolojik ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Vettraino ve ark., 2001; Anonim, 2012; Katırcioğlu ve ark., 2017).

Amerikan Kestanesi (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh.) başta olmak üzere bütün *Castanea* cinsi ağaçlarda görülen bir diğer önemli hastalık, literatürde “Kestane Dal Kanseri” (KDK) olarak geçmektedir. Bu hastalığa sebep olan patojen bir çeşit mantar olan *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr.'dır (eski taksonomisi *Endothia parasitica* olarak geçmektedir: Jaynes, 1974; Anagnostakis ve ark., 1986; Milgroom ve Cortesi, 1999). KDK'nin karakteristik semptomları kabukta oluşan ve gözle görülebilen kanser dokularıdır. Pürüzsüz kabuklu gövdelerde ve dallarda kanserler kambiyumu enfekte edip kabuğu parçalayan ve sonrasında oluşturduğu bu hastalıklı dokuları tamamen öldüren kırmızı-turuncu lezyonlar olarak göze çarpar. Ağaç ne kadar yaşlıysa (kabuk kalınlığıyla ilişkili olarak) *C. parasitica*'nın neden olduğu enfeksiyon o kadar zor farkedilir (Prospero ve Rigling, 2013). Kanser dokularının genişlemesiyle, dal veya gövde tamamen çevrelenir, enfekte olmuş dalların ya da gövdenin ksilemlerindeki bozulmalar nedeniyle ilgili organın uç kısmındaki yapraklar solgunlaşır, sararır ve ardından kahverengiye döner. Bu aşamada tipik bayrak semptomu, yani tepe tacında kısmi ya da bütünüyle kurumalar gözlemlenir (Rigling ve

Prospero, 2018).

Ülkemizde görülen bir diğer önemli kestane patojeni *Hymenoptera* (Zarkanatlılar) takımı ve *Cynipidae* (Galarıları) familyasına ait bir böcek olan Gal Arısı (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu)'dır (1951 yılında Yasumatsu tarafından yeni bir tür olduğu keşfedilmiştir). Çin'e özgü bir tür olan *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, ilk olarak 1941 yılında Japonya, sonrasında sırasıyla 1958 yılında Kore, 1974 Kuzey Amerika, 1999 Nepal ve 2000'li yıllarda Avrupa'da görülmeye başlamıştır; Türkiye'de ilk kayda geçtiği tarih 2014 yılıdır (Miyashita ve ark., 1965; Payne ve ark., 1975; Coşkuncu, 2010; Çetin ve ark., 2014). Doğal aralığının dışında AKGA (Asyalı Kestane Gal Arısı, CABI, 2019), *Castanea* cinsinin en kötü zararlılarından biri olarak kabul edilir. Bu tür, Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü (EPPO) tarafından karantina organizması olarak sınıflandırılmıştır (EPPO, 2005).

Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.)'nin yayılmasında etkili olan tüm bu coğrafi, edafik, iklimsel ve patojenik etmenler modellemeye dahil edilebilir ya da kısıtlayıcı faktörler olarak modellerin daha etkili sonuçlar vermesini sağlayabilir. Modelin bir yayılışı ne kadar doğru tahmin ettiğini yorumlayabilmek için hangi ekolojik ilişkileri kullandığını göz önünde bulundurmamız gerekiğinden daha önce de bahsetmiştik. Bu nedenle, modellenen türlerin etkileşim içerisinde olduğu canlı ve cansız ortamın kapsamlı bir şekilde (mükemmelse patojenlerin etkileri ve coğrafi yönelimlerinin) modele dahil edilmesi modelin başarısını artıracaktır. Bu başlık altında incelediğimiz patojenler her ne kadar türün yayılışını etkilese de bu patojenlerin yayılışlarının tespit edilebilmesi oldukça zor ve disiplinler arası bir çalışmayı gerektirmektedir (günümüzde benzer çalışmalara uluslararası literatürde rastlamak mümkündür; Batista ve ark., 2023; Singh ve ark., 2023), dolayısıyla bu çalışmada oluşturulacak modellere dahil edilememişlerdir.

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. KITASAL ÖLÇEKLİ TÜR DAĞILIM MODELLERİ

##### 3.1.1. Çalışma Alanı

Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ülke genelinde yayılış göstermekle birlikte en çok Marmara, Ege ve Karadeniz bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Ketenoglu ve ark. (2010), Türkiye'de Anadolu Kestanesi yoğunluğunun en fazla olduğu alanların Doğu Karadeniz'de yer alan Giresun, Trabzon ve Rize illeri olduğunu belirtmişlerdir. Serdar ve ark. (2018) ise, kestane yetişiriciliğinin Ege bölgesinde özellikle Aydın, Manisa ve İzmir illerinde yaygın olduğunu belirtmişlerdir.

Bu bilgilerin ışığında, Türkiye genelinde oluşturulan kıtasal ölçekli modeller için çeşitli herbaryum kayıtları ve Orman Genel Müdürlüğü amenajman planlarından elde edilen veriler de kullanılarak (Şekil 3.1), kestanenin bilinen yayılışları tespit edilmiş ve bu alanlardan modelde kullanılmak üzere var noktaları oluşturulmuştur (Şekil 3.2).



**Şekil 3.1:** Çalışma alanı ve Orman Genel Müdürlüğü 2016 yılı amenajman kayıtlarına göre Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) yayılış gösterdiği alanlar.

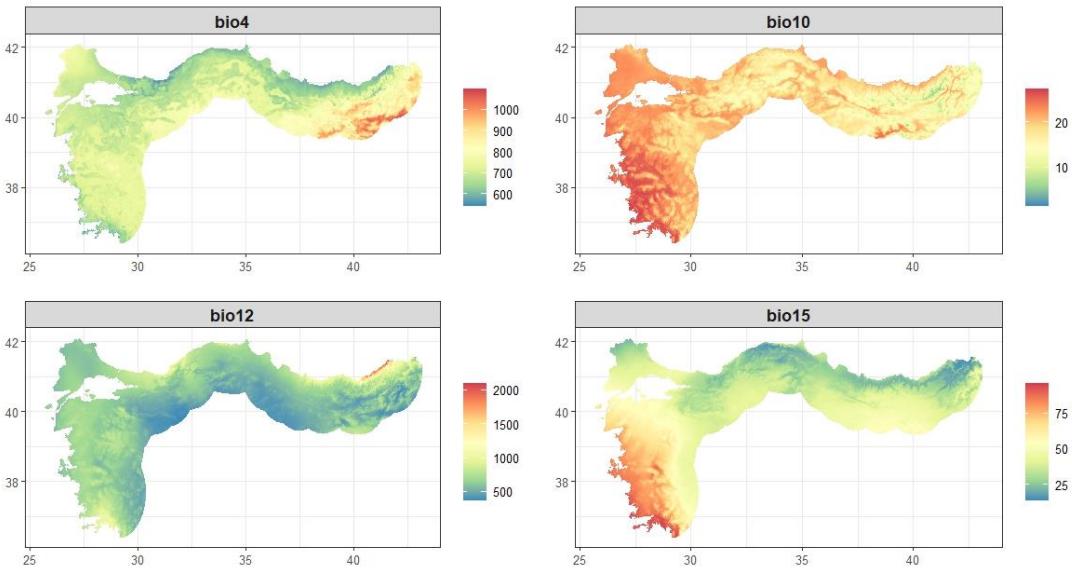
### 3.1.2. Kıtasal Ölçekli Modellerde Kullanılan Veriler ve İstatistiksel Metodlar

Bu çalışmada kullanılan tahmin ediciler (iklimsel değişkenler), yaklaşık 1 km<sup>2</sup>'lik mekansal çözünürlüğe sahip olan WorldClim ve CHELSA (**bkz.** 2.1.1.2. İklimsel ve Coğrafi Veri Setleri) veri setlerinden elde edilmiştir. Bu veriler CBS ortamında işlenip modellerde kullanılacak hale getirilmiştir.

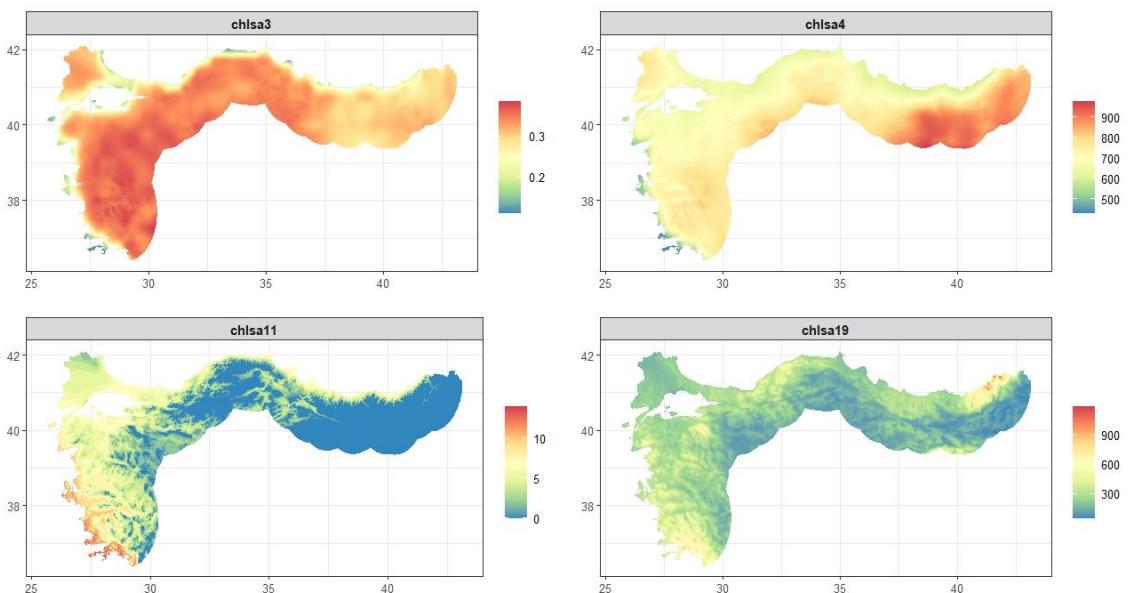


**Şekil 3.2:** Kıtasal ölçekli modellerde kullanılmak üzere amenajman planları ve herbaryum kayıtlarından, *mekansal aralama* yöntemiyle elde edilen tür verileri (var noktaları).

Çalışmada kullanılan var noktaları (**bkz.** 2.1.1.1 Tür Verileri, Şekil 3.2) Amenajman haritaları ve herbaryumlardan toplanan kayıtlar ile oluşturulmuştur. Doğrulanabilen herbaryum kayıtları; İstanbul Üniversitesi, Bartın Üniversitesi, Düzce Üniversitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Ege Üniversitesi, Uludağ Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesi herbaryumlardan elde edilmiştir. Bu aşamada birçok kayıt, lokasyon olarak tutarlı olmadıklarından kullanılamamıştır. Herbaryumlardan elde edilen kayıtlar 55 adet olduğundan, alanın daha iyi temsil edilebilmesi için gereken diğer noktalarda OGM amenajman kayıtlarından yararlanılmıştır. Amenajman kayıtlarında; yaş grupları, meşçere çağı ve türün yoğunluğu gibi faktörler dikkate alınmış, özellikle türün doğal olarak var olduğuna emin olduğumuz noktaları seçilmiştir. Ayrıca oluşturulan tür verileri, *mekansal otokorelasyondan kaçınmak* için noktalar arası mesafeler 10km'den yüksek olacak şekilde aralanmıştır (bu işlem literatürde *mekansal filtreleme/aralama* (*spatial filtering/thinning*) olarak geçmektedir (Boria ve ark., 2014; Fourcade ve ark., 2014). Ayrıca, mekansal aralama işleminden önce doğal yayılışı olabildiğince iyi temsil edebilmek için, türün bozuk ve genç meşçereleri de CBS ortamında filtrelenmiştir.



**Şekil 3.3:** Worldclim veri setleriyle oluşturulan kıtasal ölçekli modellerde kullanılan biyoklimatik değişkenler (bio4, bio10, bio12 ve bio15).



**Şekil 3.4:** CHELSA veri setleriyle oluşturulan kıtasal ölçekli modellerde kullanılan biyoklimatik değişkenler (chlسا\_bio3, chlsa\_bio4, chlsa\_bio11 ve chlsa\_bio19).

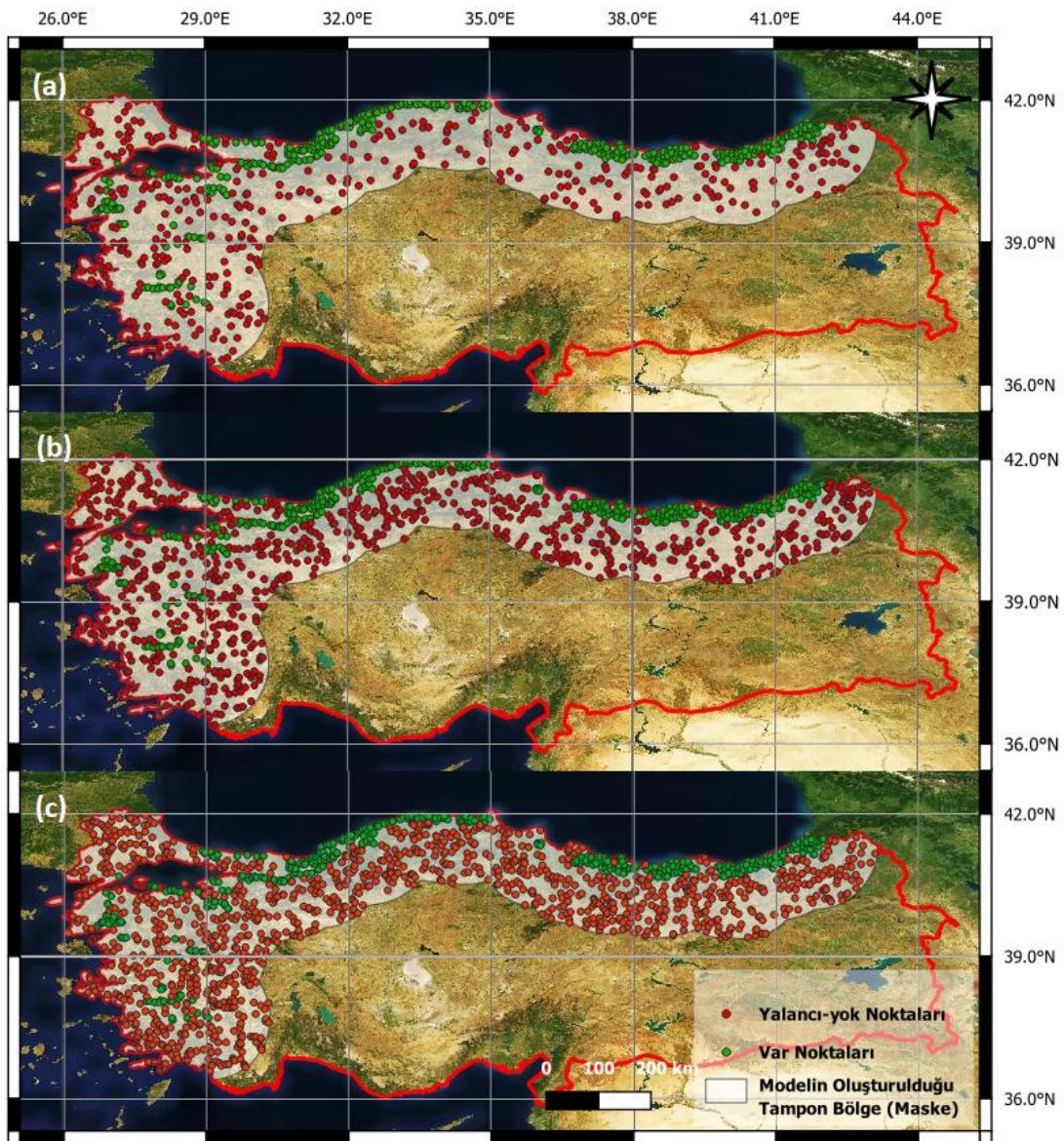
Modeller oluşturulmadan önce her iki veri setinde de aynı isimlere sahip olan biyoklimatik değişkenler (bio19) varyans şişme faktörü (VIF, **bkz.** 2.2.6. Korelasyon, Doğrudaşlık ve Varyans Şişme Faktörü) yöntemiyle, çoklu doğrudaşlık açısından kontrol edilmiş ve yüksek korelasyona sahip olan değişkenler ( $VIF > 10$ ) veri setlerinden çıkarılmıştır. Nihai veri setleri, her veri seti için 4 tahmin edici değişken (Şekil 3.3 ve 3.4) ve

394 adet var noktalarından oluşmaktadır. Tür veri setleri daha önce bahsedilen (2.2.7. Model Oluşturma ve Model Değerlendirme başlığında anlatılmıştır) bir *mekansal çapraz-doğrulama* yöntemi olan *blockCV* (Valavi ve ark., 2018) yöntemi ile bloklara ayrılmış; bölümlenen bu veriler model oluşturma (eğitim- %75) ve model değerlendirmede (test- %25) kullanılmıştır (Şekil 3.6). Modelde kullanılan tahmin edici değişkenlerin VIF değerleri “**Bulgular**” başlığında verilecektir.

Tür Dağılım Modelleri oluşturulurken öncelikle *gerçek yok noktalarının* kullanılması tavsiye edilir (Brotons ve ark., 2004), ancak bu verileri oluşturmanın birçok zorluğu bulunduğuundan (Phillips ve ark., 2009; Lobo ve ark., 2010; Araújo ve ark., 2019) model oluşturma aşamasında farklı yöntemlerle oluşturulan *yalancı-yok noktaları* kullanılabilir (Barbet-Massin ve ark, 2012; Guisan ve Zimmermann, 2017). Oluşturulan bu noktaların (*yalancı-yok noktaları*) gerçek yok noktalarından önemli bir farkı bulunur; bu verilerin içerisinde “yok” teriminin geçmesi türün bulunamayacağı yerleri tanımladığını düşünmemize sebep olabilir, oysaki bu veriler türün kayıtlarının olmadığı alanların özelliklerini modele öğretmemizi de sağlayabilir (Phillips ve ark., 2009). Bu nedenle bu verilerin bir diğer adı literatürde *arka-plan noktaları* olarak geçmektedir. Yalnızca var verileri (*presence-only*) ile modeller oluşturmak da mümkünür ancak bu yöntem, mekansal yanılığa sebep olduğu ve yalnızca bazı algoritmalar ile kullanılabiligidinden (MaxEnt ve BIOCLIM; Elith ve ark., 2011; Grimmett ve ark., 2020) yalancı-yok noktalarının kullanımı TDM’nde daha çok tercih edilmektedir (Warren ve ark., 2020). Yalancı-yok noktalarının modellerde kullanılmasının modellerin mekansal yanılıklarını azalttığı (Elith ve ark., 2020); ayrıca nadir ve istilacı türlerin modellenmesinde (Engler ve ark., 2004), çalışma alanının modele daha iyi öğretilmesini sağladığı için kullanılması önerilmektedir (Phillips ve ark., 2009; Barbet-Masin ve ark., 2012; Senay ve ark., 2013).

Bu bilgiler ışığında yalancı-yok noktalarının kullanılmasına karar verilmiştir; ancak bu noktaları oluşturmak için bazı prosedürleri takip etmek gerekmektedir. Yalancı-yok noktalarının üst üste binmemesi (*overlapping*) ve modelin yanlış yönlendirilmemesi için var noktalarına çok yakın olmaması (*biomod2* paketinin “*BIOMOD\_FormattingData*” fonksiyonunun “*disk*” parametresi ile 10km olarak belirlenmiştir); noktaların türün doğal yayılışından çok uzaklaşmaması için ise belirli sınırlar içerisinde (maskeleme), sayılarının kullanılan var noktalarının sayısıyla orantılı ve kullanılan algoritmala uyumlu bir şekilde üretilmeleri önerilmektedir (farklı sayılardaki maskelenmiş yalancı-yok noktaları, **Şekil 3.5**;

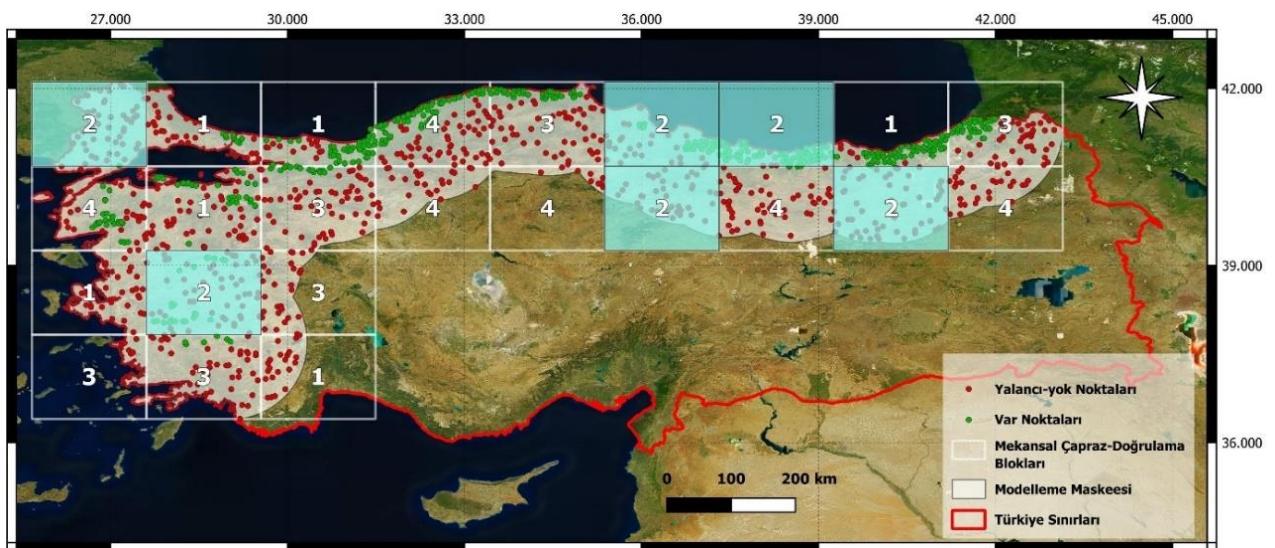
Thuiller ve ark., 2004; Ward ve ark., 2009; Senay ve ark., 2013; Phillips ve Elith, 2011; Valavi ve ark., 2021; Hijmans ve Elith, 2021). Bu doğrultuda, rastgeleliğin sebep olduğu yanlılığı da azaltmak amacıyla 10 tekrarlı üretilen yalancı-yok noktaları; 4 farklı 400 adet, 4 farklı 800 adet ve 2 farklı 1200 adet olacak şekilde oluşturulmuştur (**Şekil 3.5**; görselde yalnızca birer tanesine yer verilmiştir).



**Şekil 3.5:** Kıtasal ölçekte oluşturulan modellerde kullanılan tür verileri ve modelin bütün alana transfer edilmeden önce oluşturduğu tampon bölge (maske). (a) 400, (b) 800 ve (c) 1200 adet yalancı-yok noktası (kırmızı) ve her biri 393 adet var noktasından (yeşil) oluşturmaktadır. Tür verileri oluşturulurken *biomod2* paketindeki *disk* metodu kullanılmış, yani var ve yalancı-yok noktaları arasındaki mesafenin en az 10 kilometre olması sağlanmıştır.

Standart çapraz-doğrulama yaklaşımları, ekolojik verilerde mekânsal otokorelasyonun sebep olduğu aşırı uyum'un (*overfitting*) olumsuz etkilerine daha duyarlıdır (Roberts ve ark.,

2016). Bir mekansal çapraz-doğrulama yöntemi olan blockCV, çalışma alanının mekansal bloklara bölünmesiyle eğitim ve test verileri arasında mekansal bağımsızlık sağlayarak bu soruna bir çözüm sunmaktadır. Bu yaklaşım, mekansal olarak ilişkili tür verilerinin (var/yok ya da yalancı-yok noktaları) kendi aralarında test edilmesini önleyerek, modelin genelleme yeteneğinin daha tutarlı bir şekilde uygulanmasını sağlar. BlockCV, mekansal bloklar ile model aktarılabilirliğini de gözlelemeye olanak sağlayarak, modelin örneklenmemiş alanlarda (**Şekil 3.6**'da maske dışında kalan, ancak modelin daha sonra aktarılacağı Türkiye sınırı içerisindeki alanlar) tür dağılımını ne kadar başarılı tahmin edebileceğinin anlaşılmasına da yardımcı olur. Ayrıca, eğitim setlerinden test setlerine veri geçişini engelleyerek, mekansal bağlamda model performansının güvenilir ve tarafsız olmasını sağlar (Roberts ve ark. 2016; Valavi ve ark., 2018). Bu yöntem uygulanırken, öncelikle kullanılan tür verileri ve çevresel değişkenler arasındaki mekansal otokorelasyon “blockCV” paketi içerisindeki “cv\_spatial\_autocor” fonksiyonu ile hesaplanır, burada elde edilen sonuç minimum blok boyutunu ifade eder (kıtasal ölçekli modeller için bulunan değer 139.284,8km'dir). Daha sonra; blokların şekilleri (altigen, dikdörtgen ya da kare), boyutları ve kaç katlı olacakları (*n-fold* : bu çalışmada 4-katlı dikdörtgen bloklar kullanılmıştır) “cv\_spatial” fonksiyonu ile belirlenir (fonksiyon sonucunda elde edilen bloklar: **Şekil 3.6**).



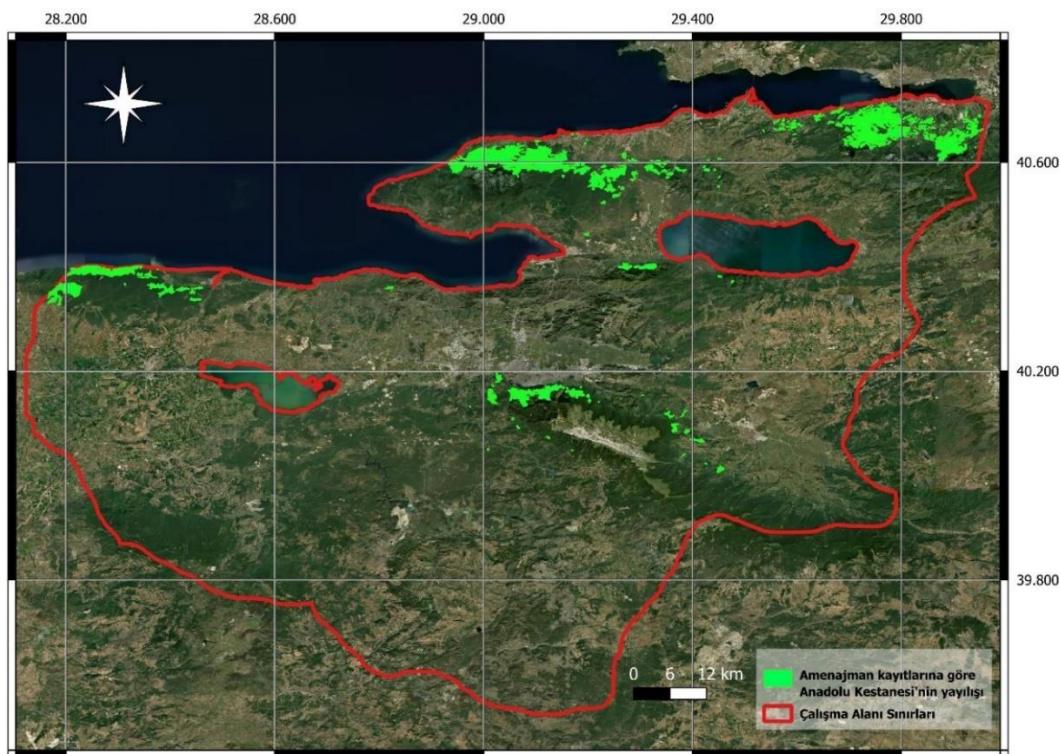
**Şekil 3.6:** Model Oluşturma ve Değerlendirmede kullanılan, mekansal çapraz-doğrulama blokları (blockCV; Valavi ve ark., 2018). Modelin oluşturulacağı maskelenmiş alan 4 katlı (4-fold) 24 bloğa bölündü, blok katlarından 3'ü (18 adet) Model Oluşturmadı ve 1'i (6 adet) Model Değerlendirmede kullanılmak üzere ayrılmıştır. Bu görseldeki 2 numaralı (turkuaz renkte) bloklar, model değerlendirmede kullanılacaktır; bu durumda test verileri tüm veri setinin yaklaşık olarak %25'ine denk gelmektedir, ancak noktalar rastgele olmak yerine coğrafi konumlarına göre belirlenmiştir).

Kıtascal ölçekli modeller ile alakalı son olarak kullanılan gelecek senaryolarından bahsetmemiz gereklidir. 2 farklı veri seti ile çalışıldığından (Worldclim 2.1 ve Chelsa 2.1) her iki veri setinde de bulunan gelecek senaryoları tercih edilmiştir, bunlar:

**GFDL** (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), Amerika Birleşik Devletleri; **IPSL** (Institut Pierre-Simon Laplace) Fransa ve **MPI** (Max Planck Institute for Meteorology) Almanya merkezli iklim modelleme enstitülerinin, IPCC'nin CMIP6 (Eyring ve ark., 2016) projesi kapsamında geliştirdikleri: Worldclim 2.1 içerisinde 2041-2060 ve 2061-2080; Chelsa içerisinde 2011-2040 ve 2041-2070 tarih aralıklarındaki senaryoları tercih edilmiştir. Bu senaryolar kullanılarak elde edilen gelecek yayılış modelleri, potansiyel habitat uygunluğundaki değişim ve alansal hesaplamalar “**Bulgular**” başlığında verilecektir.

## 3.2. BÖLGESEL ÖLÇEKLİ TÜR DAĞILIM MODELLERİ

### 3.2.1. Çalışma Alanı

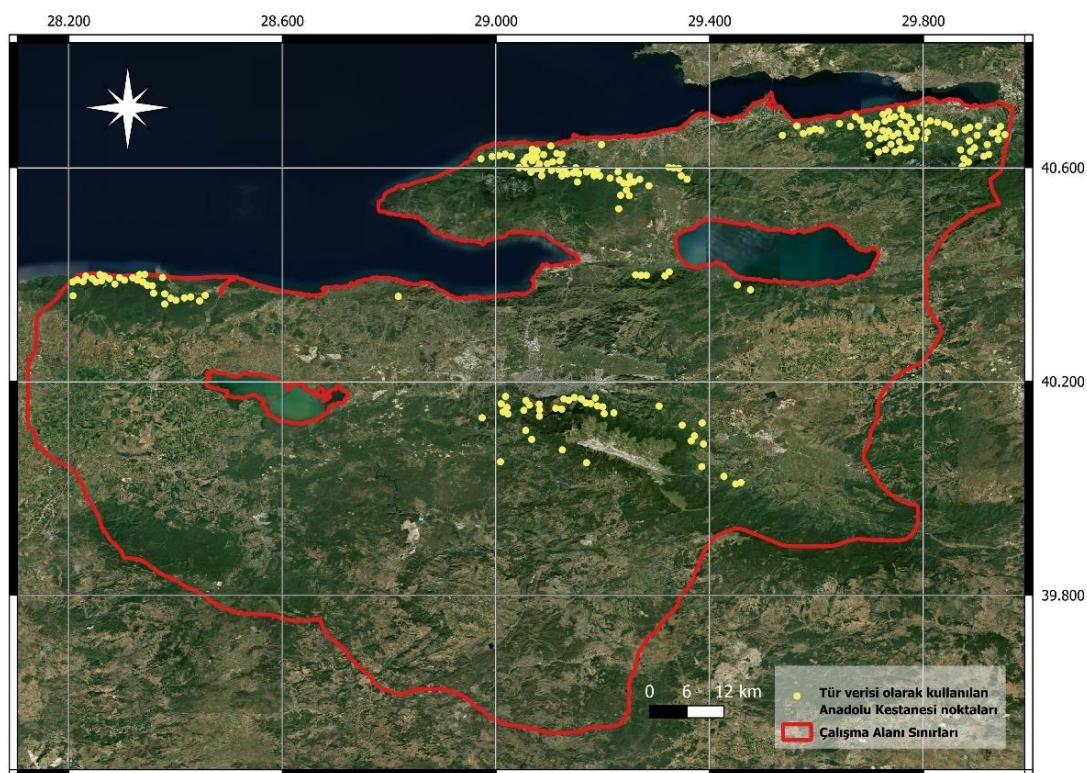


**Şekil 3.7:** Bölgesel ölçekli modellerin çalışma alanı sınırları ve Orman Genel Müdürlüğü 2016 yılı amenajman kayıtlarına göre Anadolu Kestanesi'ni (*Castanea sativa* Mill.) yayılış gösterdiği alanlar.

Kıtascal ölçekli TDM sonuçları gözlemlendiğinde gelecekteki Anadolu Kestanesi varlığının en büyük değişime uğrayacak alanlardan biri olarak görünen Güney-doğu Marmara

bölgesi, bölgesel ölçekli TDM’nde çalışma alanı olarak seçilmiştir. Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan bölge, yaklaşık 12.000 km<sup>2</sup>lik bir alanı kaplar. Anadolu Kestanesi de dahil olmak üzere birçok orman ağacı ve bitki türüne ev sahipliği yapan bu bölge, ülkenin orman varlığı ve tür çeşitliliği açısından oldukça önemli bir bölgesi olup (Mayer ve Aksoy, 1998) çok çeşitli topografik, ekolojik ve jeolojik özellikleriyle karakterize edilir. Uludağ masifi 2.543 metrelilik zirvesi ile çalışma alanının en yüksek bölgesidir.

Burada yaprak döken, karışık ve iğne yapraklı ormanlar dahil olmak üzere çeşitli orman ekosistemleri bulunmaktadır. Yaprak döken ormanlardaki önemli türlerden olan Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.), 300 ile 800 metre arasındaki yükseltilerde bulunabildiğinden (Şekil 3.9), Uludağ'ın kuzey etekleri, Karacabey ormanları, Orhangazi, Yalova Çınarcık, İznik Gölü çevresi (Karsak, Gürle, Gemiç mevkileri) ve Kocaeli Gölcük ormanlarında yayılış göstermektedir.



**Şekil 3.8:** Bölgesel ölçekli modellerde kullanılan var noktaları.

Bu bölge kestane'nin yanı sıra meşe, gürgen, dişbudak ve kayın karışık ormanları, karaçam ve göknar iğne yapraklı ormanları gibi çeşitli orman habitatlarına da sahiptir (Mayer ve Aksoy, 1998). Bu ormanlar, Gümüş İhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) ve Uludağ

Göknar'ı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana*) gibi nadir ve endemik orman ağacı yayılışlarını da bünyesinde barındırır.

Son olarak, Bursa'da bulunan Karacabey Ormanları, ekolojik önemi oldukça büyük olan geniş subasar (longoz) ormanlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu longoz ormanları, çok çeşitli bitki ve hayvan türleri için yaşam alanı sağlamakta ve Bursa'da bulunan kestane alanlarının büyük bir bölümü de, OGM amenajman kayıtlarına göre Karacabey ormanlarının yüksek kesimlerinde yer almaktadır (OGM, 2016).

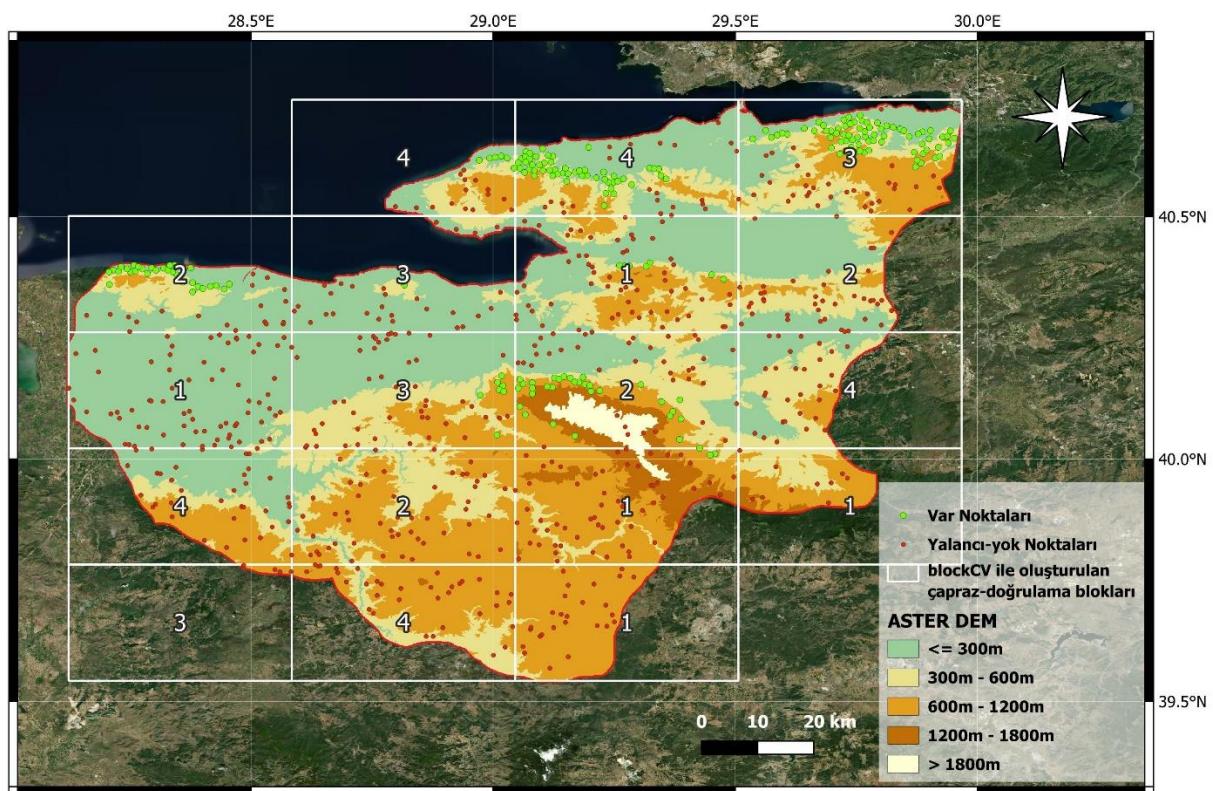
### **3.2.2. Bölgesel Ölçekli Modellerde Kullanılan Veriler ve İstatistiksel Metodlar**

Bölgesel ölçekli modellemede hiyerarşik (yuvalanmış) modelleme yaklaşımı (Mateo ve ark., 2019) uygulanmıştır. Bu doğrultuda oluşturulan modellerde 3 farklı veri seti kullanılmıştır (Şekil 2.7). Oluşturulan ilk TDM'nde kullanılan tahmin ediciler (topografik ve hidrolojik) ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu verilerinin işlenmesiyle elde edilmiştir (bkz. 2.1.1.2. İklimsel ve Coğrafi Veri Setleri). 30 metre mekansal çözünürlükteki ASTER uydu verileri (Sayısal Yükseklik Modelleri / Digital Elevation Models), farklı önişleme (*preprocessing*) teknikleri kullanılarak 120 metre çözünürlüğe örneklenmiş ve SAGA GIS (Conrad ve ark., 2015) içerisinde topografik ve hidrolojik değişkenler üretmeye hazır hale getirilmiştir. Daha sonra SAGA içerisinde oluşturulan topografik ve hidrolojik değişkenler (oluşturulan tüm topografik katmanların korelasyon ve tepki eğrilerine **Ekler**'de yer verilecektir), R içerisinde aktarılıp katmanların *doğrudashıkları* (*korelasyonları*) dikkate alınarak (VIF yöntemi ile) ve tekrarlı olarak oluşturulan modellerin tepki eğrileri kontrol edilerek modelde kullanılacak değişkenler belirlenmiştir, bunlar:

**Doğrudan Güneşlenme** (Direct Insolation; Hofierka ve Suri, 2002): SAGA kullanılarak oluşturulan ve potansiyel güneş radyasyonu olarak da bilinen doğrudan güneşlenme katmanı, belirlenen bir periyot boyunca yeryüzünün belirli bir konuma teorik olarak ulaşan güneş radyasyonu temsil eder. Bu katmanın oluşturulması için yazılım içerisinde 3 farklı girdiye ihtiyaç vardır. Sayısal yükseklik modeli, güneş radyasyonu verisi (NASA: SSE, ESA: ESRA, Worldclim ve Chelsa veri kaynaklarından elde edilebilir) ve zaman periyodu. Bu tez içerisinde üretilen katmayı oluşturmak için 120 metreye örneklenen ASTER DEM verisi ile birlikte Worldclim yıllık güneş radyasyonu veri seti (Fick ve Hijmans, 2017) kullanılmış,

zaman periyodu olarak yılın tüm günlerinin ortalaması hesaplanmıştır (bu aşamada yılın belli bir zaman periyodu da oluşturulabilir).

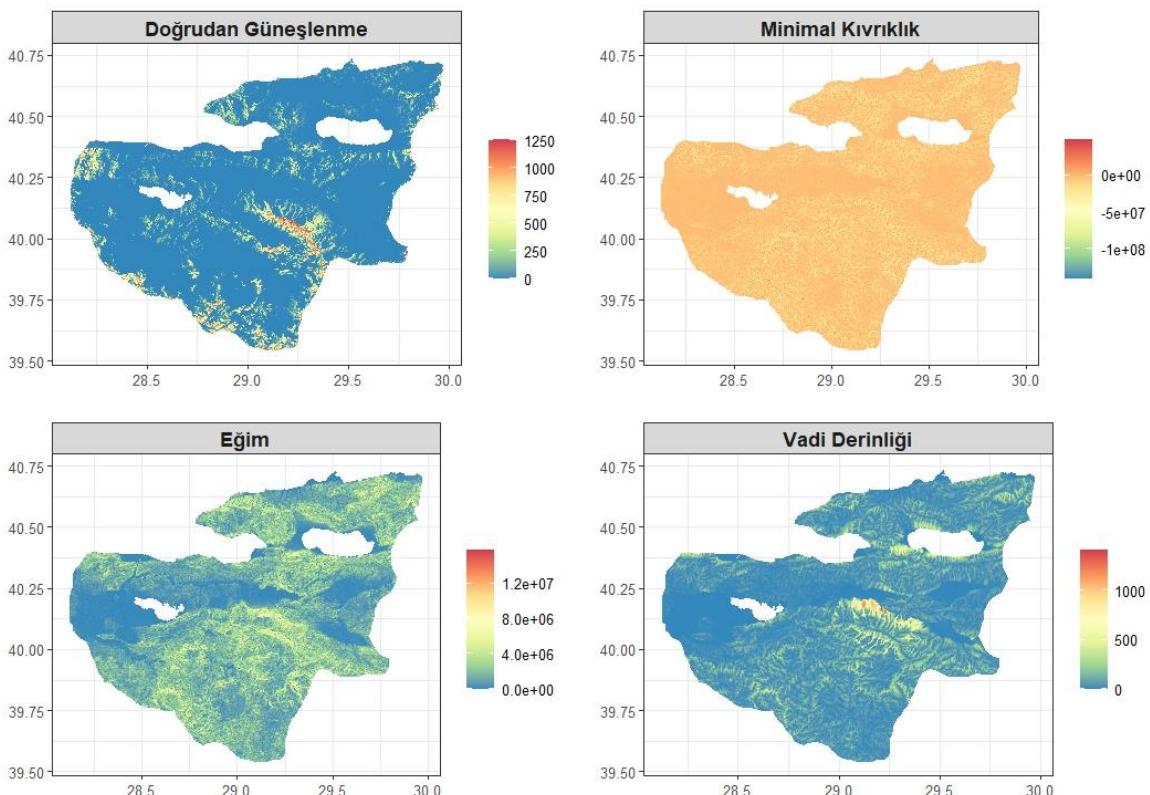
**Minimal Kırıkkılık** (Minimal Curvature; Zevenbergen ve Thorne, 1987): Kırıkkılık, arazi yapısı analizlerinde sıkılıkla kullanılan ve arazi yüzeyinin eğim ile olan ilişkisini açıklayan yaklaşımının genel ismidir. SAGA-GIS içerisinde: General, Profile, Plan, Tangential, Longitudinal, Cross-sectional, Minimal, Maximal, Total ve Flow-line olmak üzere 10 farklı kıırıkkılık hesaplaması bulunmaktadır. Katmanların *vif* sonuçlarına bakıldığında, çalışma alanında en etkili olduğu görünen *Minimal Kırıkkılık*, maksimum kıırıkkılık (alandaki en yüksek eğime sahip alanları gösterir) yönüne dik açı yapan alanların hesaplanmasında elde edilir. Bu katmanın; görece düz alanlardaki vadilerin tespiti, arazi yapısındaki saptaması zor olan küçük değişimlerin görüntülenmesi ve su akış yollarının karakteristiklerinin daha iyi anlaşılması için kullanılabileceği önerilmiştir (Lassueur ve ark., 2006; Olaya ve ark., 2008).



**Şekil 3.9:** Bölgesel ölçekli modellerde kullanılan var/yalancı-yok verileri, ASTER sayısal yükseklik haritası ve blockCV ile oluşturulan çapraz-dogrulama blokları.

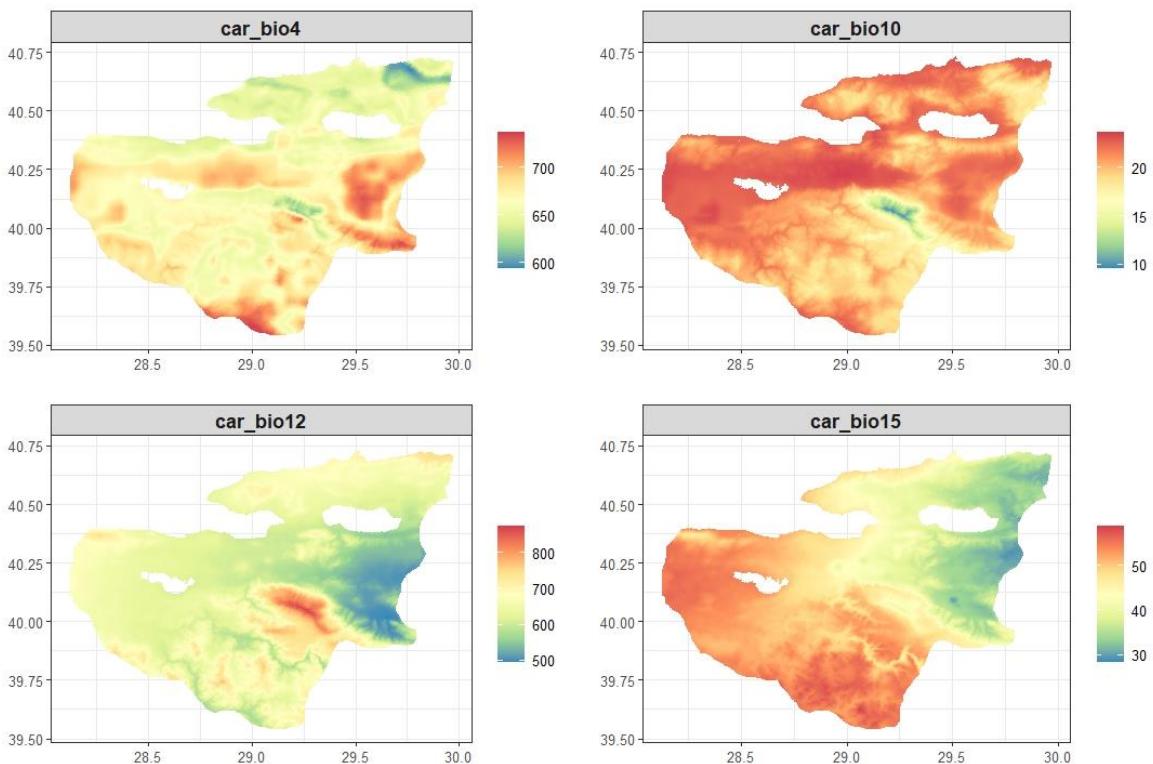
**Eğim** (Slope; Florinsky, 2009): Eğim, orman ağacı türlerinin yayılışını anlamada kritik bir faktördür. Su mevcudiyeti, toprak kalitesi, güneş ışığı maruziyeti ve mikro iklim koşullarını etkiler (Kimmens, 2004); bunların hepsi bir bütün olarak ağaçların büyümесinde ve hayatı

kalmasında önemli bir rol oynar. SAGA-GIS içerisinde SYM'den eğim hesaplamak için farklı kullanım amaçları doğrultusunda çeşitli yöntemler bulunmaktadır. "Deterministik 8" yöntemi olarak da adlandırılan "maksimum eğim" yöntemi (Travis ve diğerleri, 1975), her pikselin sekiz yakın komşusunu analiz eden ve en yüksek piksel değerini eğim olarak atayan hızlı ve basit bir yaklaşımdır. Etkili olmakla birlikte, karmaşık araziler için en doğru yöntem olmayabilir (Conrad ve ark., 2001). Diğer seçenekler arasında, daha detaylı bir eğim hesaplaması için komşu noktalar arasında bir düzlem oluşturan en küçük kareler düzlemi (Horn, 1981) yöntemi ve çapraz komşuları analiz eden maksimum üçgen eğimi (Tarboton, 1997) yöntemi yer alır. Son olarak, karmaşık arazi yapılarını yakalamak için kullanılması önerilen ve farklı bilim insanları tarafından farklı şekillerde formülize edilmiş, polinominal yöntemler bulunmaktadır. (Evans, 1979; Zevenbergen ve Thorne, 1987; Florinsky, 2009). Eğim hesaplamlarında yöntem seçimi, istenilen doğruluk, arazi yapısı ve hesaplama kapasitesi gibi faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada oluşturulan eğim haritası, *10 parametrel 3. derece polinom* (Florinsky, 2009) yöntemiyle üretilmiştir.



**Şekil 3.10:** Bölgesel ölçekli topografik-hidrolojik katmanlarla oluşturululan modelde kullanılan değişkenler.

**Vadi Derinliği** (Valley Depth; Rodriguez ve ark., 2002): Hiyerarşik olarak oluşturulan modellerden, topografik-hidrolojik modelde (**b**; Şekil 2.7) kullanılan katmanlardan sonuncusu *vadi derinliği*'dir. Yapılan literatür taramalarında TDM içerisinde bu katmanın kullanımına rastlanılmamıştır; ancak Kestane ağacının doğal olarak yetiştiği alanlarda iyi yıkanmış, nemli toprak ve doğrudan ışığı sevdiği; ayrıca erken don ve yaz kuraklığuna karşı oldukça hassas olduğunu bilmekteyiz. Bu bilgileri göz önünde bulundurup, amenajman kayıtlarına da baktığımızda yükseltinin yüksek olduğu yerleri (400-800m, **Şekil 3.9**), dolayısıyla derin vadilerin olduğu alanların etrafında bulunduğu (özellikle Uludağ masifinin kuzeyi) gözlemleyebiliriz. Vadi derinliği, SAGA-GIS içerisinde yükseklik ile enterpole edilmiş sırt seviyesi arasındaki fark ile hesaplanır. Sırt seviyesi interpolasyonunda ise 'Kanal Ağına olan Dikey Mesafe - Vertical Distance to Channel Network' modülünde kullanılan algoritma kullanılır (Conrad, 2012).



**Şekil 3.11:** Kütasal ölçekli modelleri oluşturmada kullanılan ve daha sonra hiperarşik modeller içerisinde kullanılmak üzere Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (CAR) yöntemi ile çözünürlükleri arttırlanan Worldclim 2.1 katmanları.

Oluşturulan bir diğer bölgesel ölçekli model (Şekil 2.7: **(a)**), kütasal ölçekte oluşturulan modellerde kullanılan katmanların, *coğrafi ağırlıklı regresyon* (Brunsdon ve ark.,

1996; 1998, **Şekil 2.8**) yöntemi ile çözünürlükleri arttıran biyoklimatik değişkenler (Worldclim 2.1) kullanılarak oluşturulmuştur (**Şekil 3.11**). Hiyerarşik şema üzerinden devam edildiğinde, bu aşamada elde edilen topluluk (birleşik/ensemble) modeli sonucu topografik-hidrolojik değişkenlere bir katman olarak eklenecek (5. değişken) son bir model oluşturulmuş ve nihai bölgesel ölçekli TDM (habitat uygunluk haritası) bu şekilde elde edilmiştir (**c**). Hiyerarşik yaklaşımda amaç doğrultusunda **a** ve **b** aşamalarında elde edilen model sonuçlarının ortalamaları da alınabilir (**d**). Tüm bu aşamaların sonuçları “**Bulgular**” başlığında verilmiştir.

### **3.3. MODELLEMEDE KULLANILAN PAKETLER, ALGORİTMALAR ve İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER**

Her iki çözünürlükte de Tür Dağılım Modelleri (TDM) oluşturulurken aynı paketler, algoritmalar ve istatistiksel metodlar kullanılmıştır. Bu çalışmada, R içerisinde kullanılan tüm paketler şunlardır: "raster", "dismo", "SDMTools", "ggplot2", "sp", "maptools", "sf", "terra", "RColorBrewer", "foreach", "iterators", "doParallel", "biomod2", "blockCV" ve "ROCR". Detaylı CRAN dokümantasyonlarına: <https://cran.r-project.org/web/packages/> web sayfasından ulaşılabilir (R Core Team, 2024).

TDM oluşturulurken kullanılan algoritmalar çevresel değişkenler ve tür verilerinin CBS ortamında oluşturduğu ekolojik desenlerin ve eğilimlerin belirlenmesinde kullanılır (bkz. **Başlık 2.2**). Bu algoritmalar daha önce de bahsettiğimiz üzere birçok farklı alanda kullanılmakta, R yazılımı içerisinde yer alan bir modelleme paketi olan "biomod2" ile bu algoritmalar TDM oluşturmada kullanılabilirler. Bu çalışmada kullanılan algoritmalar "Random Forest / RF", "Gradient Boosting Machine / GBM" ve "Generalized Linear Models / GLM" 'dır.

Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM; **Başlık 2.2.1**) çok yönlülükleri, basit yorumlanabilirlikleri ve istatistiksel kesinlikleri sebebiyle TDM'nde önemli bir değere sahiptir ve regresyon temelli yaklaşımlar içerisinde yer alırlar (Guisan & Zimmermann, 2000). Bu avantajlarına rağmen, GLM'ler, tahmin ediciler (çevresel değişkenler) ve türün varlığı arasında doğrusallık olduğunu varsayar ve bu durum karmaşık ekolojik çıkarımlar yapmada eksik kalabilir (Austin, 2006). Mekansal olarak geniş alanlara dağılmış tür verileri bu tip modellerde mekansal otokorelasyona sebep olmakta, bu da modellerin belirli durumlarda uygulanabilirliklerini sınırlamaktadır (McCullagh ve Nelder, 1985; Hastie ve ark., 2009; Elith

ve Franklin, 2013). Anadolu Kestanesi'nin nadir bir tür olduğunu ve asli orman ağaçları gibi yoğun bir yayılışa sahip olmadığını dikkate alarak, bu algoritmanın modellemede kullanılmasına karar verilmiştir. Bu paketin R içerisinde kullanılabilmesi için "stats" (R Core Team, 2024) paketine ihtiyaç vardır.

RF (Random Forests, Breimann, 2001; **Başlık 2.2.3**), sınıflandırma ve regresyon işlemleri için kullanılan popüler bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Çok sayıda karar ağaçları oluşturarak, bu ağaçların belirlediği sınıfları veya oluşturulan ağaçların ortalamasını hesaplar. R içerisinde randomForest (Liaw ve Wiener, 2002) ile kullanılmıştır.

GBM (Generalized Boosted Modeling, **Başlık 2.2.3**), her birinin bir önceki modelin hatasını düzeltmeye çalıştığı, bir dizi zayıf tahmin modelleri bütünü olan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. R içerisinde GBM algoritmasının kullanılması "gbm" paketi ile gerçekleştirilir (Ridgeway, 2017).

Model performansını değerlendirmek için, Alıcı İşlem Karakteristiği (AİK / Receiver Operating Characteristic: ROC) Eğri Altındaki Alan (EAA / Area Under Curve: AUC), Gerçek Başarı İstatistiği (GBİ / True Skill Statistic: TSS) ve Kappa yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin R içerisinde uygulanabilmesi için "ROCR" (Sing ve ark., 2005) paketi gerekmektedir.

Tüm algoritmalar uygulanarak modeller oluşturulup, sonuçlar (model kalibrasyon ve değerlendirme sonuçları, değişken katkıları vb.) elde edildikten sonra; sonuçları görselleştirmek için "ggplot2" (Wickham, 2016) ve "tidyverse" paketleri ile haritalar ve grafikler oluşturulmuştur. Sonuç haritalar ve grafiklere "**Bulgular**" başlığında yer verilecektir.

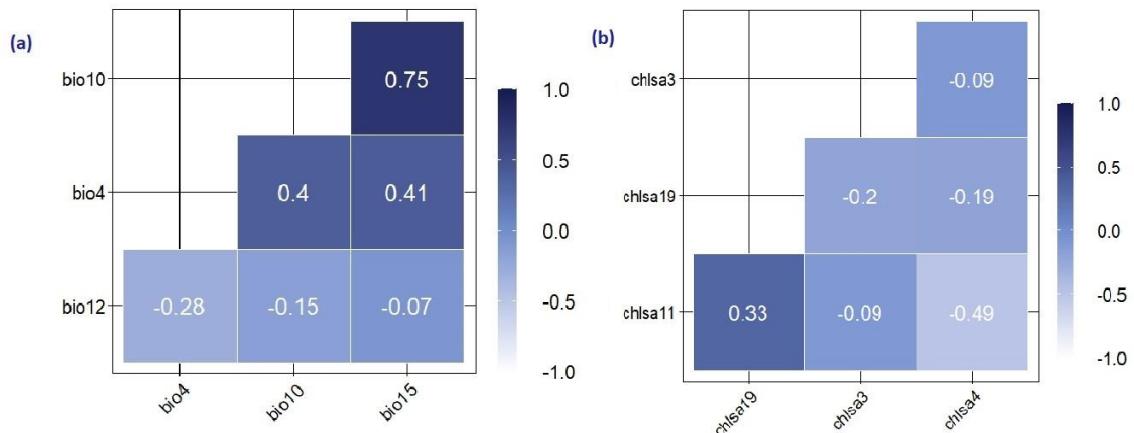
## ALGORİTMALARIN TUNİNG SONRASI PARAMETRELERİNİ EKLE

## 4. BULGULAR

### 4.1. KITASAL ÖLÇEKLİ MODELLER

Kıtasal ölçekli tür dağılım modelleri 3 farklı zaman periyodu ve senaryosu (GFDL, IPSL ve MPI), bu senaryoların 2 farklı sosyoekonomik yolları (*ssp*) ve 2 ayrı veri seti (Worldclim 2.1 ve Chelsa 2.1) olmak üzere toplamda 36 farklı şekilde oluşturulmuştur. Öncelikle, 2 farklı veri setinin güncel biyoklimatik değişkenleri kullanılarak Anadolu Kestanesi'nin uygun habitatı belirlenmiş; sonrasında *model aktarımı* yöntemi ile türün 2050 ve 2070 yıllarında (Chelsa veri seti için 2040 ve 2060) potansiyel habitatında gözlemlenmesi beklenen değişimler, 2 farklı sosyoekonomik yola göre (*ssp3* ve *ssp5*) tespit edilmiştir. Modellerin kalibrasyon, değerlendirme, kullanılan değişkenlerin model içerisindeki baskınlığını belirten *değişken önemi* (*variable importance*) ve bu değişkenlerin tepki eğrileri bu başlık altında verilmiştir.

Ayrıca, güncel ve gelecek modelleri arasında gözlemlenen potansiyel habitat alanlarındaki değişim alansal olarak hesaplanmış ve tablo haline getirilmiştir; her iki veri seti için hesaplanan bu alansal değişim sonuçları “**Ekler**” başlığında verilmiştir.



**Şekil 4.1:** Kıtasal Ölçekli TDM’nde kullanılan katmanların birbirleri arasındaki ikili korelasyonları.

(a) solda, Worldclim 2.1 veri seti ve (b) sağda, CHELSA 2.1 veri seti içerisindeki kullanılan katmanların kendi aralarındaki ikili korelasyon değerlerini göstermektedir. 1 en yüksek korelasyonu, 0 korelasyon olmadığını ve -1 ise ters (*inverse*) korelasyona işaret eder.



## 5. TARTIŞMA

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Oluşturulan TDM hakkındaki bulgular bu başlık altında değerlendirilecektir.

Oluşturulan TDM sonucu elde edilen güncel ve gelecek habitat uygunlukları ilgili başlıklar altında değerlendirilecek; oluşturulan bu haritaların ekolojik anlamlılığı ve bu modelleme yöntemlerinin nasıl geliştirilebileceğine dair fikirlere, aynı başlıklar altında yer verilecektir.

## KAYNAKLAR

- Abd El-Ghany, Nesreen M., Shadia E. Abd El-Aziz, and Shahira S. Marei. 2020. "A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management." *Environmental Science and Pollution Research* 27 (2020): 33503-33515.
- Açıkgöz, S., Döken, M.T., Erincik, O. and Değirmenci, F., 2009, October. Determination of Hypovirulent Isolates of *Cryphonectria parasitica* By DsRNA Analysis in Aydin Province, Turkey. In *I European Congress on Chestnut-Castanea 2009* 866 (pp. 379-383).
- Aebi, A., Schönrogge, K., Melika, G., Alma, A., Bosio, G., Quacchia, A., Picciau, L., Abe, Y., Moriya, S., Yara, K., Seljak, G., Stone, G. N.. 2006. Parasitoid recruitment to the globally invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. Ecology and evolution of galling arthropods and their associates. Springer, Tokyo, pp 103–121
- Akdoğan, S.. 1970. Kestane Mürekkep Hastalığı (*Phytophthora cambivora* Petri) Mücadelesi Üzerine Araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, Cilt 10, Sayı 2.
- Akilli Simsek, S., Akyuz, B., Katircioğlu, Y.Z., Serdar, U. and Maden, S.. 2021. Effectiveness and efficacy of superficial disinfectants to prevent mechanical transmission of *Cryphonectria parasitica* from chestnut scion woods. *European Journal of Plant Pathology*, 159(1), pp.131-138.
- Allouche, O., Tsoar, A. and Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Alvarez, M., Shen, Y., Giorgi, F. et al. 2016. Functional characterization of somatic mutations in cancer using network-based inference of protein activity. *Nat Genet* **48**, 838–847. <https://doi.org/10.1038/ng.3593>
- Álvarez-Lafuente, A., Benito-Matías, L.F., Peñuelas-Rubira, J.L., Suz, L.M.. 2018. Multi-cropping edible truffles and sweet chestnuts: production of high-quality *Castanea sativa* seedlings inoculated with *Tuber aestivum*, its ecotype *T. uncinatum*, *T. brumale*, and *T. macrosporum*. *Mycorrhiza*. Jan;28(1):29-38. doi: 10.1007/s00572-017-0805-9. Epub 2017 Nov 3. PMID: 29101543.
- Anagnostakis, S. L., Hau, B. and Kranz, J., 1986. Diversity of vegetative compatibility groups of *Cryphonectria parasitica* in Connecticut and Europe. *Plant Disease*, 70(6), pp.536-538.
- Anderson, C. D., Epperson, B. K., Fortin, M. J.. 2010. Considering spatial and temporal scale in landscape-genetic studies of gene flow. *Mol. Ecol.* 19:3565–3575
- Anderson, R. P. 2013. A framework for using niche models to estimate impacts of climate change on species distributions: niche models and climate change. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1297, 8–28. doi: 10.1111/nyas.12264
- Andrew, M. E., & Shephard, J. M. 2017. Semi-Automated Detection of Eagle Nests: an Application of Very High-Resolution Image Data and Advanced Image Analyses to Wildlife Surveys. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(2), 66-80.

- Anonim, 2012. Kestane eylem planı (2013-2017). Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Silvikültür Daire Başkanlığı.
- Araújo, M. B., & Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(1), 1689-1693.
- Araújo, M. B., & Peterson, A. T. 2012. Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93(7), 1527-1539.
- Araújo, M. B., Anderson, R. P., Márcia Barbosa, A., Beale, C. M., Dormann, C. F., Early, R., ... & Rahbek, C. 2019. Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Science advances*, 5(1), eaat4858.
- Ashraf MI, Meng F-R, Bourque CP-A, MacLean DA .2015. A Novel Modelling Approach for Predicting Forest Growth and Yield under Climate Change. *PLoS ONE* 10(7): e0132066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132066>
- Askew, R. R., Melika, G., Pujade-Villar, J., Schönrogge, K., Stone, G. N.. 2013. Catalogue of parasitoids and inquilines in cynipid oak galls in the West Palaearctic. *Zootaxa* 3643:1–133
- ASTER Mount Gariwang image from 2018 was retrieved on 2022\_12\_10 from <https://lpdaac.usgs.gov>, maintained by the NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) at the USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota. 2018, <https://lpdaac.usgs.gov/resources/data-action/aster-ultimate-2018-winter-olympics-observer/>.
- Atasoy, E. & Altingöz, Y.. 2013. Dünya ve Türkiye'de Kestanenin Önemi ve Üretimi. *Coğrafya Dergisi*, 1 (22), 1-13. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/iucografya/issue/25067/264608>
- Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157, 101– 118.
- Avtzis, D., Melika, G., Matosevic, D., Coyle, D.. 2019. The Asian chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*: a global invader and a successful case of classical biological control. *Journal of Pest Science*. 92. 10.1007/s10340-018-1046-1.
- Baptista P., Martins A., Tavares R. M., Lino-Neto T., 2010, Diversity and fruiting pattern of macrofungi associated with chestnut (*Castanea sativa*) in the Tras-os-Montes region (Northeast Portugal), *Fungal Ecology*, Volume 3, Issue 1, Pages 9-19, ISSN 1754-5048, <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.06.002>
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C.H. and Thuiller, W. 2012, Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 327-338. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00172.x>
- Bariotakis, M., Georgescu, L., Laina, D., Oikonomou, I., Ntagounakis, G., Koufaki, M. I., ... & Pirintsos, S. A. 2019. From wild harvest towards precision agriculture: Use of Ecological Niche Modelling to direct potential cultivation of wild medicinal plants in Crete. *Science of the Total Environment*, 694, 133681.

- Batista, E., Lopes, A., Miranda, P., & Alves, A. 2023. Can species distribution models be used for risk assessment analyses of fungal plant pathogens? A case study with three Botryosphaeriaceae species. European Journal of Plant Pathology, 165(1), 41-56.
- Beccaro G., Bounous G., De Biaggi M., Donno D., Marinoni D. T., Zou F., Mellano M. G.. 2019. The Chestnut Handbook: Crop & Forest Management; Chapter:2; Botany, Anatomy and Nut Comoposition. Published by CRC Press. ISBN 9781032084305
- Belsley, D. A., Kuh, E., & Welsch, R. E. 1980. Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity. Wiley.
- Benito Garzón, M., Robson, T. M., & Hampe, A. 2019. ΔTrait SDMs: species distribution models that account for local adaptation and phenotypic plasticity. New Phytologist, 222(4), 1757-1765.
- Benito-Garzón, M., Ruiz-Benito, P., & Zavala, M. A. 2013. Interspecific differences in tree growth and mortality responses to environmental drivers determine potential species distributional limits in Iberian forests. Global Ecology and Biogeography, 22(10), 1141-1151.
- Bernardo, U., Iodice, L., Sasso, R., Tutore, V.A., Cascone, P., Guerrieri, E. 2013. Biology and monitoring of *Dryocosmus kuriphilus* on *Castanea sativa* in Southern Italy. Agric For Entomol. 15:65–76.
- Bhargava, S., Sawant, K.. 2013. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. Plant Breeding 132 (1): 21-32. - doi: 10.1111/pbr.12004
- Boehner, Jurgen & Selige, T. 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. SAGA - Analysis and Modelling Applications. 115. 13-27.
- Bombi, P., Fedi, C., Zapparoli, M., Cammarano, M., Guidolotti, G., Pallozzi, E., Gaudet, M., Mattioni, C., Cherubini, M., Beritognolo, I. & Villani, F.. 2019. Infestation potential of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951 (Hymenoptera: Cynipidae) in different natural populations of *Castanea sativa* Miller: an experimental *ex situ* test, International Journal of Pest Management, 65:2, 147-153, DOI: [10.1080/09670874.2018.1483091](https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1483091)
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: towards a user's guide. Futures, 38(7), 723-739.
- Bosio, G., Gerbaudo, C., Piazza, E.. 2010. *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu: an outline seven years after the first report in Piedmont (Italy). Acta Hortic. 866:341–348.
- Bowers, R., Kyrpides, N., Stepanauskas, R. 2017. Minimum information about a single amplified genome (MISAG) and a metagenome-assembled genome (MIMAG) of bacteria and archaea. *Nat Biotechnol* 35, 725–731. <https://doi.org/10.1038/nbt.3893>
- Boyce, M.S., P.R. Vernier, S.E. Nielsen & F.K.A. Schmiegelow. 2002. Evaluating resource selection functions. Ecological Modelling 157: 281-300
- Bramble, W. C.. 1936. Reactions of chestnut bark to invasion by *Endothia parasitica*. Am. J. Bot. 23:89-99.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., and Olshen, R. A. 1984. Classification and regression trees. CRC press.
- Breiman, Leo. "Bagging predictors." *Machine learning* 24 (1996): 123-140.
- Broennimann, O., Treier, U. A., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A. T., & Guisan, A. 2007. Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology letters*, 10(8), 701-709.
- Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M. B., & Hirzel, A. H. 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27(4), 437-448.
- Brunsdon C, Fotheringham AS, and Charlton ME. 1996. Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationary. *Geographical Analysis* 28(4):281-298.
- Brunsdon C, Fotheringham S, and Charlton M. 1998. Geographically weighted regression—modelling spatial non-stationarity. *The Statistician* 47(3):431-443.
- Brunton, A. J., Conroy, G. C., Schoeman, D. S., Rossetto, M., & Ogbourne, S. M. 2023. Seeing the forest through the trees: applications of species distribution models across an Australian biodiversity hotspot for threatened rainforest species of *Fontainea*. *Global Ecology and Conservation*, e02376.
- Bucak, C.. 2006. Kestane (*Castanea sativa* Mill.) ormanlarının Türkiye'deki doğal yayılışı ve bu alanları koruma önerileri. *Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, (2), 62–82
- Bühlmann, P. 2012. Bagging, Boosting and Ensemble Methods (pp. 985-1022). Springer. Berlin, Heidelberg.
- Buri, Aline, Cianfrani, Carmen, Pinto-Figueroa, Eric, Yashiro, Erika, Spangenberg, Jorge, Adatte, Thierry, Verrecchia, Eric, Guisan, Antoine, Pradervand, Jean-Nicolas. 2017. Soil factors improve predictions of plant species distribution in a mountain environment.
- Butchart S., Walpole M., Collen B., Strien V.A.. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* 328:164–1168
- Büttner, G., Kosztra, B., Soukup, T., Sousa, A. & Langanke, T. 2017. CLC2018 Technical Guidelines. **Based on** CLC2006 Technical Guidelines (EEA Technical report No 17/2007) and CLC2012 Addendum to the CLC2006 Technical Guidelines (ETC/SIA report).
- CABI. 2019. Invasive species compendium. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/20005>.
- Camisón, Á., Martín, M. Á., Oliva, J., Elfstrand, M., & Solla, A.. 2019. Increased tolerance to *Phytophthora cinnamomi* in offspring of ink-diseased chestnut (*Castanea sativa* Miller) trees. *Annals of Forest Science*, 76(4), 1-13.
- Camisón, Á., Martín, M.Á., Oliva, J.. 2019. Increased tolerance to *Phytophthora cinnamomi* in offspring of ink-diseased chestnut (*Castanea sativa* Miller) trees. *Annals of Forest Science* **76**, 119. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0898-8>
- Capinha C, Gomes E, Reis E, Rocha J, Sousa CA, do Rosário VE, Almeida AP. 2009. Present habitat suitability for *Anopheles atroparvus* (Diptera, Culicidae) and its coincidence with former

- malaria areas in mainland Portugal. *Geospat Health.* May;3(2):177-87. doi: 10.4081/gh.2009.219. PMID: 19440961.
- Carlsen, H., Klein, R. J., & Wikman-Svahn, P. (2017). Transparent scenario development. *Nature Climate Change,* 7(9), 613.
- Cetin, G., Orman, E. & Polat, Z.. 2014. First record of the Asian chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) in Turkey. *Plant Protection Bulletin,* 54 (4) , 0-0 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/bitkorb/issue/45107/563751>
- Charney, N. D., Record, S., Gerstner, B. E., Merow, C., Zarnetske, P. L., & Enquist, B. J. 2021. A Test of Species Distribution Model Transferability Across Environmental and Geographic Space for 108 Western North American Tree Species. *Frontiers in Ecology and Evolution,* 9.
- Chiocchini F., Mattioni C., Pollegioni P., Lusini I., Martín M. A., Cherubini M., Lauteri M., Villani F.. 2016. Mapping the Genetic Diversity of *Castanea sativa*: Exploiting Spatial Analysis for Biogeography and Conservation Studies. *Journal of Geographic Information System,* 08, 248-259. doi: 10.4236/jgis.2016.82022
- Clapper, R.. 1954. Chestnut breeding, techniques and results: II. Inheritance of characters, breeding for vigor, and mutations. *Journal of Heredity* 45(4): 201–208.
- Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement,* 20(1), 37-46.
- Collins, M. 2002. "Ranking Algorithms for Named Entity Extraction: Boosting and the Voted Perceptron." *Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics.*
- Comendant, Toshia & Stritholt, James & Frost, P. & Ward, Brendan & Bachelet, Dominique & Osborne-Gowey, Jeremiah. (2009). Data Basin: Expanding Access to Conservation Data, Tools, and People. AGU Fall Meeting Abstracts.
- Conedera M., Krebs P., Gehring E., Wunder J., Hulsmann L., Abegg M., Maringer J.. 2021. How future-proof is Sweet chestnut (*Castanea sativa*) in a global change context?, *Forest Ecology and Management,* Volume 494, 119320, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119320>.
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W.. 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Veget Hist Archaeobot* 13, 161–179. <https://doi.org/10.1007/s00334-004-0038-7>
- Conrad, O. 2012. SAGA-GIS Tool Library Documentation (v7.2.0), Tool Valley Depth. Menu: Terrain Analysis, Channels
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. 2015: System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
- Coşkun, H., Turchetti, T., Maresi, G. and Santagada, A., 1999. Preliminary investigations into *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr isolates from Turkey. *Phytopathologia mediterranea,* pp.101-110.

- Coşkuncu, K. S.. 2010. "Kestane gal arısı *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) üzerine bir inceleme". Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(2), 129-135.
- Crandall, B. S., and Gravatt, G. F.. 1967. The distribution of *Phytophthora cinnamomi*. Part II—Geographic distribution. Ceiba 13:57-78.
- Crandall, B., S., Gravatt, G., F., and Ryan, M. M.. 1945. Root disease of *Castanea* species and some coniferous broadleaf nursery stocks, caused by *Phytophthora cinnamomi*. Phytopathology 35:162-180.
- Dal Maso, E., Cocking, J. and Montecchio, L.. 2017. An enhanced trunk injection for mulation of potassium phosphite against chestnut ink disease. Arboricultural Journal 39: 125–141.
- Danielson, J.J., and Gesch, D.B., 2011, Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073, 26 p.
- Day, W. R.. 1938. Root-rot of sweet chestnut and beech caused by species of *Phytophthora*. Forestry 12, 101-16.
- Demirtaş, B.. 2013. Aydın ili Köşk ilçesinde potansiyel incir (*Ficus carica* L.) ve kestane (*Castanea sativa*) üretim alanlarının belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dini, F., Sartor, C., Botta, R.. 2012. Detection of a hypersensitive reaction in the chestnut hybrid “Bouche de Betizac” infested by *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu. Plant Physiol Biochem 60:67–73
- Drake, J. M., Randin, C. and Guisan, A. 2006. Modelling ecological niches with support vector machines. Journal of Applied Ecology, 43, 424-432.
- Dubuis, A., Giovanettina, S., Pellissier, L., Pottier, J., Vittoz, P., & Guisan, A. 2013. Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. Journal of Vegetation Science, 24(4), 593-606.
- EC EUROSTAT. LUCAS 2009 (Land Use/Cover Area Frame Survey), Technical Reference Document C-1: General Implementation Land Cover and Use Water Management Soil Transect Photos, Instructions for Surveyors (Version of 20 March 2009). Available online: [http://ec.europa.eu/eurostat/documents/205002/208012/LUCAS2012\\_C1-InstructionsRevised\\_20130110a.pdf](http://ec.europa.eu/eurostat/documents/205002/208012/LUCAS2012_C1-InstructionsRevised_20130110a.pdf).
- Efron, Bradley. 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. The Annals of Statistics. 7. 10.1214/aos/1176344552.
- EFSA. 2010. Risk assessment of the Asian chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options. 8(6):1619. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1619>
- Ehbrecht, Martin, Dominik Seidel, Peter Annighöfer, Holger Kreft, Michael Köhler, Delphine Clara Zemp, Klaus Puettmann et al. 2021. "Global patterns and climatic controls of forest structural complexity." *Nature communications* 12, no. 1: 519.

- Elith, J., & Graham, C. H. 2009. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32(1), 66-77.
- Elith, J., & Leathwick, J. R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677-697.
- Elith, J., Graham, C., Valavi, R., Abegg, M., Bruce, C., Ferrier, S., ... & Zimmermann, N. E. 2020. Presence-only and presence-absence data for comparing species distribution modeling methods. *Biodiversity informatics*, 15(2), 69-80.
- Elith, J., Kearney, M. & Phillips, S. 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1, 330–342, <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2010.00036.x>.
- Elith, J., Leathwick, J. R. and Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77, 802-813.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57.
- Elith, Jane, & H. Graham, Catherine et. al.. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data.
- Elith, J., & Franklin, J. 2013. Species distribution modeling. In *Encyclopedia of Biodiversity: Second Edition* (pp. 692-705). Elsevier Inc..
- Emori, S., Taylor, K., Hewitson, B., Zermoglio, F., Juckes, M., Lautenschlager, M., & Stockhouse, M. (2016). CMIP5 data provided at the IPCC Data Distribution Centre. Fact Sheet of the task group on data and scenario support for impact and climate analysis (TGICA) of the intergovernmental panel on climate change (IPCC), 8.
- Engler, R., Guisan, A. and Rechsteiner, L. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41: 263-274. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x>
- EPPO. 2005. Data sheets on quarantine pests: *Dryocosmus kuriphilus*. EPPO Bull 35:422–424
- Erdem, R., 1951. Türkiye'de kestane ölümünün sebepleri ve savaş imkânları. Tarım Bakanlığı. Orman Genel Müdürlüğü yayınları.
- Ertan, E.. 2007. Variability in leaf and fruit morphology and in fruit composition of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) in the Nazilli region of Turkey. *Genet Resour Crop Ev* 54:691–699
- Esri. 2024. ArcGIS Pro (3.0) [Software]. <https://pro.arcgis.com/>
- ETHW (Engineering and Technology History Wiki) . 2023. First Geographic Information System (GIS), 1962-1968. Retrieved from [https://ethw.org/Milestones:First\\_Geographic\\_Information\\_System\\_\(GIS\),1962-1968](https://ethw.org/Milestones:First_Geographic_Information_System_(GIS),1962-1968). Retrieved on 06.01.2023.
- European Space Agency, Sinergise (2021). Copernicus Global Digital Elevation Model. Distributed by OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Accessed: 2022-12-23

- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>.
- FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.
- Farr, T. G., and M. Kobrick, 2000, Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Trans. AGU*, 81:583-583.
- Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), 861-874.
- Fernández, M., & Hamilton, H. 2015. Ecological niche transferability using invasive species as a case study. *PloS one*, 10(3), e0119891.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
- Fineschi, S., Taurchini, D., Villani, F. and Vendramin, G.G.. 2000. Chloroplast DNA polymorphism reveals little geographical structure in *Castanea sativa* Mill. (Fagaceae) throughout southern European countries. *Molecular Ecology*, 9: 1495-1503. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2000.01029.x>
- Fischer J., Lindenmayer D. B. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecol. Biogeogr.* 16:265–280
- Fisher, R. A. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, 7(2), 179-188.
- Francisco Alcaide, Alejandro Solla, Claudia Mattioni, Simone Castellana, M Ángela Martín. 2019. Adaptive diversity and drought tolerance in *Castanea sativa* assessed through EST-SSR genic markers, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 92, Issue 3, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz007>
- Frankel, Susan J.. 2008. Forest Plant Diseases and Climate Change. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center.
- Franklin, Janet. 2010. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction.
- Freitas, T.R.; Santos, J.A.; Silva, A.P.; Fraga, H.. 2021. Influence of Climate Change on Chestnut Trees: A Review. *Plants*, 10, 1463. <https://doi.org/10.3390/plants10071463>
- Friedman, J. H. 2001. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29, 1189-1232.
- Gallien, L., Münkemüller, T., Albert, C. H., Boulangeat, I., & Thuiller, W. 2010. Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here?. *Diversity and Distributions*, 16(3), 331-342.
- GBIF: The Global Biodiversity Information Facility (2022) *What is GBIF?* Available from <https://www.gbif.org/what-is-gbif>

- GDAL/OGR contributors. 2023. "GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library." Open Source Geospatial Foundation. <https://gdal.org>.
- GeoTools Contributors. 2024. GeoTools Geospatial Data Abstraction Software Library. Open Source Geospatial Foundation. URL <https://www.geotools.org/>
- Gerlitz, L., Conrad, O., Böhner, J. 2015. Large scale atmospheric forcing and topographic modification of precipitation rates over High Asia – a neural network based approach. *Earth System Dynamics*, 6, 1-21. doi:10.5194/esd-6-1-2015.
- Glass, N.L. and Nelson, M.A.. 1994. Mating-type genes in mycelial ascomycetes. In *Growth, differentiation and sexuality* (pp. 295-306). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Goodchild, M.F., Longley, P.A. 2021. Geographic Information Science. In: Fischer, M.M., Nijkamp, P. (eds) *Handbook of Regional Science*. pp 1597–1614 Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-60723-7\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-662-60723-7_61)
- Goran, William D., Dvorak, William E., Warren, Lloyd Van, Webster, Ronald D. 1983. Fort Hood Geographic Information System: Pilot System Development and User Instructions. Tech
- Gotelli, N. J., & Stanton-Geddes, J. 2015. Climate change, genetic markers and species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 42(9), 1577-1585.
- Goulao, L., Valdivieso, T., Santana, C., Oliveira, C.M.. 2001. Comparison between phenetic characterisation using RAPD and ISSR markers and phenotypic data of cultivated chestnut (*Castanea sativa* Mill.). *Genetic Resour. Crop. Evol.* 48(4):329–338
- Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., & Peterson, A. T.. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 497–503
- GRASS GIS Team. (2023, October 26). Open-Source GIS History. OSGeo Wiki. [https://wiki.osgeo.org/wiki/Open\\_Source\\_GIS\\_History](https://wiki.osgeo.org/wiki/Open_Source_GIS_History) Retrieved on 12.01.2023.
- Grimmett, L., Whitsed, R., & Horta, A. 2020. Presence-only species distribution models are sensitive to sample prevalence: Evaluating models using spatial prediction stability and accuracy metrics. *Ecological Modelling*, 431, 109194.
- Guérin, L. and Robin, C., 2003. Seasonal effect on infection and development of lesions caused by *Cryphonectria parasitica* in *Castanea sativa*. *Forest Pathology*, 33(4), pp.223-235.
- Guisan, A., Graham, C.H., Elith, J., Huettmann, F. 2007. Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions*, 13: 332-340. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00342.x>
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E.. 2017. Habitat suitability and distribution models: with applications in R. Cambridge University Press.
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I., ... & Buckley, Y. M. 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology letters*, 16(12), 1424-1435.

- Guisan, Antoine, Thuiller, Wilfried. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models.
- Guisan, Antoine, Zimmermann, Niklaus. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*.
- Gull, S. F., & Skilling, J. 1984. Maximum Entropy Method in Image Processing. In *Iee proceedings f (communications, radar and signal processing)* (Vol. 131, No. 6, pp. 646-659). IET Digital Library.
- Gupta, Rajit and Laxmi, Kant Sharma. 2019. "The process-based forest growth model 3-PG for use in forest management: A review." *Ecological Modelling*: n. pag.55-73.
- Gurer, M., Turchetti, T., Biagioni, P., & Maresi, G.. 2001. Assessment and characterisation of Turkish hypovirulent isolates of *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr. *Phytopathologia Mediterranea*, 40(3), 265–275. <http://www.jstor.org/stable/44981209>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. 2014. Multivariate Data Analysis (7th ed.). Pearson.
- Halvorsen, R., Mazzoni, S., Bryn, A. and Bakkestuen, V. 2015. Opportunities for improved distribution modelling practice via a strict maximum likelihood interpretation of MaxEnt. *Ecography*, 38, 172– 183.
- Hanssen, A. J., & Kuipers, W. J. 1965. On the Relationship between the Frequency of Rain and Various Meteorological Parameters. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 81, 2-25. 14.
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623-642.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H. 2009. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction (Vol. 2, pp. 1-758). New York: springer.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Buja, A. 1994. Flexible discriminant analysis by optimal scoring. *Journal of the American Statistical Association*, 89(428), 1255-1270.
- He, K. S., Bradley, B. A., Cord, A. F., Rocchini, D., Tuanmu, M. N., Schmidlein, S., ... & Pettorelli, N. 2015. Will remote sensing shape the next generation of species distribution models?. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1), 4-18.
- Heidke, P. 1926. Berechnung des Erfolges und der Gute der Windstarkevorhersagen im Sturmwarnungsdienst (Measures of success and goodness of wind force forecasts by the gale-warning service) *Geogr. Ann.*, 8, 301–349.
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., ... & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one*, 12(2), e0169748.

- Hermann Behling, Soraia Girardi Bauermann, Paulo César Pereira Neves. 2001. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 14, Issue 6, Pages 631-639, ISSN 0895-9811.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978.
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. 2017. dismo: Species distribution modeling. *R package version, 1(4)*, 1-1.
- Hijmans, R. J., & Elith, J. 2021. Species distribution models. *Spatial Data Science (rspatial.org)*. Available online at <https://rspatial.org/sdm> [Google Scholar].
- Hoerl, A. E., & Kennard, R. W. 1970. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 55-67.
- Hoeting, J. A., Madigan, D., Raftery, A. E., & Volinsky, C. T. 1999. Bayesian Model Averaging: A Tutorial (with comments by M. Clyde, David Draper and EI George, and a rejoinder by the authors. *Statistical science*, 14(4), 382-417.
- Hotelling, H.. 1933. Analysis of a Complex of Statistical Variables in Principal Components. *Journal of Educational Psychology*, 24(6 & 7), 417–441 & 498–520.
- Hsiao, T.C.. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519-570. - doi: 10.1146/annurev.pp.24.060173.002511
- Hu, W., Wang, Y., Zhang, D., Yu, W., Chen, G., Xie, T., ... & Chen, B. (2020). Mapping the potential of mangrove forest restoration based on species distribution models: A case study in China. *Science of The Total Environment*, 748, 142321.
- Huang, E., Chen, Y., Fang, M., Zheng, Y., & Yu, S. 2021. Environmental drivers of plant distributions at global and regional scales. *Global Ecology and Biogeography*, 30(3), 697-709.
- Huang, Mingrui, Xiangtao Fan, Hongdeng Jian, Hongyue Zhang, Liying Guo, and Liping Di. 2022. "Bibliometric Analysis of OGC Specifications between 1994 and 2020 Based on Web of Science (WoS)" *ISPRS International Journal of Geo-Information* 11, no. 4: 251. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040251>
- Huntley, B., Birks, H.J.B.. 1983. An atlas of past and present pollen maps of Europe: 0-13,000 years ago. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 667.
- Iban, Muzaffer Can, and Aliihsan Sekertekin. 2022. "Machine learning based wildfire susceptibility mapping using remotely sensed fire data and GIS: A case study of Adana and Mersin provinces, Turkey." *Ecological Informatics* 69: 101647.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS) (2022) online database, [www.itis.gov](http://www.itis.gov), CC0 , <https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK>
- IPCC TAR SYR .2001. Watson, R. T.; the Core Writing Team (eds.), Climate Change 2001: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ISBN 0 521 80770 0 (pb: 0-521-01507-3).
- IPCC TAR WG3 .2001. Metz, B.; Davidson, O.; Swart, R.; Pan, J. (eds.), Climate Change 2001: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ISBN 0-521-80769-7 (pb: 0-521-01502-2).
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 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 & B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- J.V. Roces-Díaz, B. Jiménez-Alfaro, M. Chytrý, E.R. Díaz-Varela, P. Álvarez-Álvarez. 2018. Glacial refugia and mid-Holocene expansion delineate the current distribution of *Castanea sativa* in Europe. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 491 (2018), pp. 152-160
- Jaynes, E. T. 1957. Information theory and statistical mechanics. II. *Physical review*, 108(2)
- Jaynes, R. A. 1974. Genetics of chestnut. USDA Forest Ser. Res. Paper, pp. 1-13
- Jennings, S., Mélin, F., Blanchard, J. L., Forster, R. M., Dulvy, N. K., & Wilson, R. W. 2008. Global-scale predictions of community and ecosystem properties from simple ecological theory. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1641), 1375-1383.
- Jolliffe, I. T. 1986. Principal Component Analysis. Springer-Verlag.
- Jouzel, Jean & Masson-Delmotte, Valerie & Cattani, O & Dreyfus, Gabrielle & Falourd, S & Hoffmann, Georg & Minster, B & Nouet, Julius & Barnola, J & Chappellaz, Jérôme & Fischer, Hubertus & Gallet, Jean-Charles & Johnsen, Sigfus & Leuenberger, Markus & Loulergue, Laetitia & Lüthi, Dieter & Oerter, Hans & Parrenin, Frederic & Raisbeck, G & Wolff, E. (2007). Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years. *Science* (New York, N.Y.). 317. 793-6. 10.1126/science.1141038.
- Jung, H., Chung, K. 2021. Social mining-based clustering process for big-data integration. *J Ambient Intell. Human Comput.* 12, 589–600. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02042-7>
- Jung, T., Pérez-Sierra, A., Durán, A., Jung, M. H., Balci, Y. and Scanu, B., 2018. Canker and decline diseases caused by soil-and airborne *Phytophthora* species in forests and woodlands. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 40(1), pp.182-220.
- Karger, D. N., Kreft, H., Jetz, W., & Zimmermann, N. E. 2018. CHELSA: Climate and landscape evolution of the last 150,000 years. *Environmental Research Letters*, 13(12), 123002.

- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, P., Kessler, M. 2017. Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data*. 4 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Katırcıoğlu, Y. Z., Akıllı, S., Maden, S.. 2017. Ege Bölgesi kestane (*Castanea sativa*) alanlarında kurumalara neden olan *Phytophthora* türleri ve yaygınlıklarının belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, 15B0447002 nolu Bilimsel Araştırma Projesi sonuç raporu: 22s.
- Kattenberg, F., Giorgi, F., Grassl, H., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R.J., Tokioka, T., Weaver, A.J., Wigley, T.M.L.. 1996. Climate models - projections of future climate. In: "Climate change 1995, The Science of Climate Change" Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 289-357.
- Kearney, M. and Porter, W.. 2009. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12: 334-350. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>
- Kent, M. 2011. Vegetation description and data analysis: a practical approach. John Wiley & Sons.
- Ketenoglu, O., Tug, G. N., & Kurt, L. 2010. An ecological and syntaxonomical overview of *Castanea sativa* and a new association in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 31(1), 81.
- Kliejunas, J.T., Geils, B., Glaeser, J.M., Goheen, E.M., Hennon, P., Mee-Sook K., Kope, H., Stone, J., Sturrock, R. and Frankel, S.J.. 2008. Climate and forest diseases of Western North America: a literature review. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 36 p.
- Kos, K., Kriston, E., Melika, G.. 2015. Invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae), its native parasitoid community and association with oak gall wasps in Slovenia. *Eur J Entomol* 112:698–704
- Kramer, A., Patel, D. & Drake, J. 2014. Predicting future spread during an outbreak using species distribution models.
- Lang P, Huang H.. 1999. Genetic variation and population structure of three endemic *Castanea* species in China. *Acta Hort* 494:269–276
- Latham, J., Cumani, R., Rosati, I. & Bloise, M. 2014. Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE) database Beta-Release Version 1.0
- Lauteri, M., Monteverdi, C., Scarascia-Mugnozza, G., 2009. Preservation of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) genetic resources and adaptative potential in relation to environmental changes. *Acta Hortic.* 866, 677-682 DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.866.90
- Liaw, A., and Wiener, M. 2002. Classification and regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18-22.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385-393.

- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Hortal, J. 2010. The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. *Ecography*, 33(1), 103–114. <http://www.jstor.org/stable/20696335>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography*, 17(2), 145-151.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. 2015. Geographic information systems and science (4th ed.). John Wiley & Sons.
- 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: 921-931. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00647.x>
- Marchitto, Thomas & Lehman, Scott & Ortiz, Joseph & Flückiger, Jacqueline & van Geen, Alexander. (2007). Marine Radiocarbon Evidence for the Mechanism of Deglacial Atmospheric CO<sub>2</sub> Rise. *Science* (New York, N.Y.). 316. 1456-9. 10.1126/science.1138679.
- Maresi, G., Biagioni, P. and Gurer, T., 2001. Assessment and characterisation of turkish hypovirulent isolates of cryphonectria parasitica (Murr.) Barr. *Phytopathologia Mediterranea*, 40(3), pp.265-275.
- Mateo, RG, Gastón, A, Aroca-Fernández, MJ, et al. 2019. Hierarchical species distribution models in support of vegetation conservation at the landscape scale. *J Veg Sci.* 2019; 30: 386–396. <https://doi.org/10.1111/jvs.12726>
- Matosevic, D., Lackovic, N., Melika, G., Kos, K., Franic, I., Kriston, E., Bozso, M., Seljak, G., Rot, M.. 2015. Biological control of invasive *Dryocosmus kuriphilus* with introduced parasitoid *Torymus sinensis* in Croatia, Slovenia and Hungary. *Period Biol*117:471–477
- Matosevic, D., Mujezinovic, O., Dautbasic, M..2017b. First record of biocontrol agent *Torymus sinensis* (Hymenoptera;Torymidae) in Bosnia and Herzegovina. *SEEFOR* 8:147–149
- Mattioni, C., Martin, M. A., Chiocchini, F., Cherubini, M., Gaudet, M., Pollegioni, P., ... & Villani, F.. 2017. Landscape genetics structure of European sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill): indications for conservation priorities. *Tree Genet Genomes* 13 (2): 39.
- Mattioni, C., M.A. Martin, P. Pollegioni, M. Cherubini, F. Villani. 2013. Microsatellite markers reveal a strong geographical structure in European populations of *Castanea sativa* (Fagaceae): evidence for multiple glacial refugia. *Am. J. Bot.*, 100, pp. 951-961, [10.3732/ajb.1200194](https://doi.org/10.3732/ajb.1200194)
- Mayer, H., Aksoy, H. 1998. Türkiye Ormanları (Walder der Türkei). Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Orman Bakanlığı Yayın No. 038, Müdürlük Yayın No. 2. Muhtelif Yayın No. 1 Bolu (Çeviri: Hüseyin AKSOY, Gülen ÖZALP).
- Meotto, F., Pellegrino, S. and Bounous, G.. 1999. Evolution of *Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers. and *Boletus edulis* Bull.: Fr. synthetic ectomycorrhizae on European chestnut (*Castanea sativa* Mill.) seedlings under field conditions ... *Acta Hortic.* 494, 201-206 DOI: 10.17660 /ActaHortic. 1999.494.30

- Merow, C., Smith, M. J., Edwards Jr, T. C., Guisan, A., McMahon, S. M., Normand, S., ... & Elith, J. 2014. What do we gain from simplicity versus complexity in species distribution models?. *Ecography*, 37(12), 1267-1281.
- Meynard, C. N., Lavergne, S., Boulangeat, I., Garraud, L., Van Es, J., Mouquet, N., & Thuiller, W. 2013. Disentangling the drivers of metacommunity structure across spatial scales. *Journal of biogeography*, 40(8), 1560-1571.
- Michael A. Wulder, Ronald J. Hall, Nicholas C. Coops, Steven E. Franklin. 2004. High Spatial Resolution Remotely Sensed Data for Ecosystem Characterization, *BioScience*, Volume 54.
- Milgroom, M. G. and Cortesi, P.. 1999. Analysis of population structure of the chestnut blight fungus based on vegetative incompatibility genotypes. *Proc Natl Acad Sci USA*, **96**: 10518–10523.
- Miranda-Fontañña, M. E., Fernández-López, J., Vettraino, A. M. and Vannini, A.. 2007. "Resistance of Castanea Clones to Phytophthora Cinnamomi: Testing and Genetic Control" *Silvae Genetica*, vol.56, no.1-6, pp.11-21. <https://doi.org/10.1515/sg-2007-0002>
- Mitchell, J.F.B., Manabe, S., Mlesho, V., Tokioka, T.. 1990. Equilibrium climate change and its implications for the future. In: "Climate Change." Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 131-175
- Miyashita K., Y. Ito, K. Nakamura, M. Nakamura, and M. Kondo. 1965. Population dynamics of the chestnut gall-wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae). III. Five-year observations on population fluctuations. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 9: 42-52.
- Muñoz-Adalia, E.J., Meijer, A., Abel, J., Colinas, C., Aletà, N. and Guàrdia, M., 2021. Evaluation of Chestnut Susceptibility to *Cryphonectria* parasitica: Screening under Controlled Conditions. *Agriculture*, 11(11), p.1158.
- Murakami, Y.. 1981. The Parasitoids of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) in Japan and the Introduction of a Promising Natural Enemy from China (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 25(4), pp.167-174.
- Naimi, Babak & Skidmore, Andrew & Groen, Thomas & Hamm, Nicholas. 2011. Spatial autocorrelation in predictors reduces the impact of positional uncertainty in occurrence data on species distribution modelling. *Journal of Biogeography*. 38. 1497-1509. 10.2307/20870200.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., Vries, B. D., Fenhann, J., Gaffin, S., ... & Zhou, D. (2000). Special report on emissions scenarios.
- NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2013). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global. Distributed by OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9445JDF>. Accessed: 2022-12-23
- Nelson, M. A.. 1996. Mating systems in ascomycetes: a romp in the sac. *Trends Genet*, **12**: 69–74.
- Nezer, O., Bar-David, S., Gueta, T., & Carmel, Y. 2017. High-resolution species-distribution model based on systematic sampling and indirect observations. *Biodiversity and Conservation*, 26, 421-437.

- Nugnes, F., Gualtieri, L., Bonsignore, C. P., Parillo, R., Annarumma, R., Griffó, R., Bernardo, U.. 2018. Resistance of a local ecotype of *Castanea sativa* to *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae) in Southern Italy. Forests 9(2):94. <https://doi.org/10.3390/f9020094>
- Olaya, V. 2009. Basic Land-Surface Parameters. In: Hengl, T. & Reuter, H.I. (eds.) 2009. Geomorphometry. Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Volume 33. Elsevier.
- Olson, R. H. 1965. On the use of Bayes' theorem in estimating false alarm rates. Mon. Wea. Rev., 93, 557–558.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., et al. 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. Global Environmental Change, 42, 169-180
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., and Sanderson, B. M.: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, Geosci. Model Dev., 9, 3461–3482, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>, 2016.
- ORNL DAAC. 2018. MODIS and VIIRS Land Products Global Subsetting and Visualization Tool. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. Accessed March 28, 2018. <https://doi.org/10.3334/ORNLDaac/1379>
- Osborne, P. E., & Seddon, P. J. 2012. Selecting suitable habitats for reintroductions: variation, change and the role of species distribution modelling. Reintroduction biology: integrating science and management, 1, 73-104.
- Otto-Bliesner BL, Marshall SJ, Overpeck JT, Miller GH, Hu A. Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation. Science. 2006 Mar 24;311(5768):1751-3. doi: 10.1126/science.1120808. PMID: 16556838.
- Özçelik, H.. 2018. Flora inventory of Köprülü Kanyon National Park (Antalya-Isparta), Türkiye Ormancılık Dergisi, 19: 40-50.
- Özçelik, H.. 2019. Göller Yüresi’nde (Türkiye) Bitkisel Biyoçeşitlilik ve Tarımsal Önemi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23, 39-52.
- Payne, J. A., Jaynes, R. A., Kays, S. J.. 1983. Chinese chestnut production in the United States: practice, problems and possible solutions. Econ Bot 37:187–200
- Payne, J. A., Johnson, W. T.. 1979. Plant pests. In: Jaynes, R. A. (ed) Nut tree culture in North America. Northern Nut Growers Association, Hamden, pp314–395
- Payne, J. A.. 1978. Asian chestnut gall wasp: new nut pest in North America. In Proceedings, American chestnut symposium, 4–5January 1978. West Virginia University Press, Morgan town,pp 86–88  
(3) (PDF) The Asian chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*: a global invader and a successful case of classical biological control.

- Pearson, K.. 1901. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *Philosophical Magazine, Series 6*, 2(11), 559–572.
- Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., ... & Chirici, G. 2019. Species distribution modelling to support forest management. A literature review. *Ecological Modelling*, 411, 108817.
- Peeters, A.G. and Zoller, H. 1988. Long range transport of *Castanea sativa* pollen. *Grana* 27(3): 203–207.
- Peintner, U., Iotti, M., Klotz, P., Bonuso, E. and Zambonelli, A. (2007), Soil fungal communities in a *Castanea sativa* (chestnut) forest producing large quantities of *Boletus edulis* sensu lato (porcini): where is the mycelium of porcini?. *Environmental Microbiology*, 9: 880-889. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01208.x>
- Perlerou, C. and Diamandis, S., 2006. Identification and geographic distribution of vegetative compatibility types of *Cryphonectria parasitica* and occurrence of hypovirulence in Greece. *Forest Pathology*, 36(6), pp.413-421.
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. 2006. Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology letters*, 9(3), 441-448.
- Peterson, A. T., & Crosby, M. J. (2003). Modelling species distributions and predicting species occurrences: a general framework for biodiversity research. *Journal of Biogeography*, 30(1), 1-12.
- Petitpierre, B., Broennimann, O., Kueffer, C., Daehler, C., & Guisan, A. 2017. Selecting predictors to maximize the transferability of species distribution models: Lessons from cross-continental plant invasions. *Global Ecology and Biogeography*, 26(3), 275-287.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* (p. 83).
- Piedallu, Christian, Gégout, Jean-Claude, Lebourgeois, François, Seynave, Ingrid. 2016. Soil aeration, water deficit, nitrogen availability, acidity and temperature all contribute to shaping tree species distribution in temperate forests.
- Pigliucci, M., Villani, F., Benedettelli, S., 1990. Geographic and climatic factors associated with the spatial structure of gene frequencies in *Castanea sativa* Mill. from Turkey. *J. Genet.* 69 (3), 141–149.
- Pliura, A., Jankauskiene, J., Lygis, V., Suchockas, V., Bajerkevičiene, G., Verbylaite, R.. 2018. Response of juvenile progeny of seven forest tree species and their populations to simulated climate change-related stressors, heat, elevated humidity, and drought. *iForest* 11: 374-388. - doi: 10.3832/ifor2340-011

- Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., and Rossiter, D. 2021. SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty, *SOIL*, 7, 217–240
- Prospero, S. and Rigling, D. 2013. Chestnut blight. In: Gonthier, P. and Nicolotti, G., *Infectious Forest Diseases*, pp. 318–339. CABI International, Wallingford, UK.
- QGIS.org. 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Quacchia, A., Ferracini, C., Nicholls, J. A., Saladini, M. A., Tota, F., Melika, G., Alma, A.. 2012. Chalcid parasitoid community associatedwith the invading pest *Dryocosmus kuriphilus* in north-westernItaly. *Insect Conserv Divers* 6:114–123
- Quacchia, A., Moriya, S., Bosio, G., Scapin, I., Alma, A.. 2008. Rearing, release, and settlement prospect in Italy of *Torymus sinensis*, the biological control agent of the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. *Biological Control* 53:829–839
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. Wien: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://cran.r-project.org/>
- R. F. Tomlinson, “An Introduction to the Geo-Information System of the Canada Land Inventory”, Canada Department of Forestry and Rural Development, Ministry of Forestry and Rural Development, Ottawa, p. 23, 1967.
- R. F. Tomlinson, “Computer Mapping: An Introduction to the Use of Electronic Computers in the Storage, Compilation and Assessment of Natural and Economic Data for the Evaluation of Marginal Lands”, National Land Capability Inventory Seminar, Agricultural Rehabilitation and Development Administration of the Canada Department of Agriculture, Ottawa, p. 9, Nov. 29-30, 1962.
- R. F. Tomlinson, “Feasibility Report of Computer Mapping”, prepared by Spartan Air Services for Agricultural Rehabilitation and Development Administration, Department of Agriculture, Government of Canada, Project 14007, Ottawa, p. 37, 1963.
- Rands MRW, Adams WM, Bennun L.. 2010. Biodiversity conservation: challenges beyond. *Science* 329:1298–1303
- Reed, C. 2004. MOSS: a historical perspective. <http://www.scribd.com/doc/4606038/2004-Article-by-Carl-Reed-MOSS-A-Historical-perspective> (accessed January 11, 2024).
- Rhodenbaugh, E.J., Pallardy, S.G.. 1993. Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus* clones. *Tree Physiology* 13: 213-26. - doi: 10.1093/treephys/13.3.213
- Ridgeway, G. 2017. Generalized boosted models: A guide to the gbm package. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/gbm/vignettes/gbm.pdf>
- Rigling, D. and Prospero, S., 2018. *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *Molecular Plant Pathology*, 19(1), pp.7-20.

- Rinnan, D.S. and Lawler, J.. 2019, Climate-niche factor analysis: a spatial approach to quantifying species vulnerability to climate change. *Ecography*, 42: 1494-1503. <https://doi.org/10.1111/ecog.03937>
- Ripley, B. D. 1996. Pattern Recognition and Neural Networks. Cambridge: Cambridge University Press.
- Roberts, D.R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M.S., Elith, J., Guillera-Arroita, G., Hauenstein, S., Lahoz-Monfort, J.J., Schröder, B., Thuiller, W., others, 2017. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*. 40: 913-929.
- Roberts, David & Bahn, Volker & Ciuti, Simone & Boyce, Mark & Elith, Jane & Guillera-Arroita, Gurutzeta & Hauenstein, Severin & Lahoz-Monfort, Jose & Schröder, Boris & Thuiller, Wilfried & Warton, David & Wintle, Brendan & Hartig, Florian & Dormann, Carsten. 2016. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*. 40. 10.1111/ecog.02881.
- Robertson, E.A. & Zweig, M.H. 1981. Use of receiver operating curves to evaluate the clinical performance of analytical systems. *Clinical Chemistry*, 27, 1569–1574.
- Robin, C. and Heiniger, U.. 2001. Chestnut blight in Europe: diversity of *Cryphonectria parasitica*, hypovirulence and biocontrol. *Forest Snow and Landscape Research*, 76(3), pp.361-367.
- Robin, C., Anziani, C. and Cortesi, P.. 2000. Relationship between biological control, incidence of hypovirulence, and diversity of vegetative compatibility types of *Cryphonectria parasitica* in France. *Phytopathology*, 90(7), pp.730-737.
- Robin, C., Smith, I., Hansen, E.M.. 2012. *Phythophthora cinnamomi*. Forest Phytophtoras. doi: 10.5399/osu/fp.2.1.3041.
- Rodrigues, A.; Gonçalves, A.B.; Costa, R.L.; Gomes, A.A. GIS-Based Assessment of the Chestnut Expansion Potential: A Case-Study on the Marvão Productive Area, Portugal. *Agriculture* **2021**, 11, 1260. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121260>
- Roebber, P.J., 2009: Visualizing multiple measures of forecast quality. *Wea. Forecasting*, 24, 601–608.
- Rounsevell, M. D., & Metzger, M. J. (2010). Developing qualitative scenario storylines for environmental change assessment. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(4), 606-619.
- S. J. Phillips, M. Dudík, J. Elith, C. H. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick, S. Ferrier. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data. *Ecol. Appl.* 19, 181–197.
- Sanderson, B.M., Knutti, R. & Caldwell, P. 2015. Representative Democracy to Reduce Interdependency in a Multimodel Ensemble. *Journal of Climate*, 28, 5171–5194).
- Sartor, C., Dini, F., Torello Marinoni, D., Mellano, M. G., Beccaro, G. L., Alma, A., Quacchia, A. and Botta, R.. 2015. Impact of the Asian wasp *Dryocosmus kuriphilus* (Yasumatsu) on cultivated chestnut: Yield loss and cultivar susceptibility. *Scientia Horticulturae* 197: 454–460.

- Scherrer, Daniel, Guisan, Antoine. 2019. Ecological indicator values reveal missing predictors of species distributions.
- Schönrogge, K., Moriya, S., Melika, G., Randle, Z., Begg, T., Aebi, A., Stone, G. N.. 2006. Early parasitoid recruitment in invading *cynipid* galls. *Ecology and Evolution*. Springer, Tokyo, pp 91–102
- Schumaker, Larry. *Spline functions: basic theory*. Cambridge university press, 2007.
- Serdar, Umit & Akyüz, Burak & Ceyhan, Vedat & Hazneci, Kerem & Mert, Cevriye & Er, Ercan & Ertan, Engin & Coskuncu, Kiymet & Uylaser, Vildan. 2018. Horticultural Characteristics of Chestnut Growing in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*. 60. 230-245. 10.1007/s10341-017-0364-4.
- Shah, A.. 2015. Climate change and global warming introduction. Global Issues, Web site URL: <http://www.globalissues.org/article/233/climate-change-and-global-warming-introduction>
- Shimura, I., Yasuno, M. and Otomo, C. 1971. Studies on the breeding behaviors of several characters in chestnuts, *Castanea* spp.: II. Effects of the pollination time on the number of nuts in the burr. *Japanese Journal of Breeding* 21(2): 77–80.
- Sing, T., Sander, O., Beerenwinkel, N., and Lengauer, T. 2005. ROCR: visualizing classifier performance in R. *Bioinformatics*, 21(20), 3940-3941.
- Singh, B. K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J. E., Liu, H., & Trivedi, P. 2023. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 1-17.
- Soubry, Irini, Thuy Doan, Thuan Chu, and Xulin Guo. 2021. "A Systematic Review on the Integration of Remote Sensing and GIS to Forest and Grassland Ecosystem Health Attributes, Indicators, and Measures" *Remote Sensing* 13, no. 16: 3262.
- Soylu, A. 1984. Kestane yetişiriciliği ve özellikleri. *Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Yayınları*, 1 (59): 15-32.
- Stephenson, D.B., 2000: Use of the "odds ratio" for diagnosing forecast skill. *Wea. Forecasting*, 15, 221-232.9-12
- Stewart J. R., Lister A. M., Barnes I. and Dalén L.. 2010. Refugia revisited: individualistic responses of species in space and time. *Proc. R. Soc. B*.277661–671 <http://doi.org/10.1098/rspb.2009.1>
- Svenning, J. C., Eiserhardt, W. L., Normand, S., Ordonez, A., & Sandel, B.. 2015. The influence of paleoclimate on present-day patterns in biodiversity and ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 551-572.
- Tampieri, F., Mandrioli, P. and Puppi, G. 1977. Medium range transport of airborne pollen. *Agricultural Meteorology* 18(1): 9–20.
- Tarboton, D.G. 1997. 'A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models'. *Water Resources Research*, Vol.33, No.2, p.309-319

- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., & Meehl, G.A. 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
- Thuiller, W., Brotons, L., Araújo, M. B., & Lavorel, S. 2004. Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography*, 27, 165–172. doi:10.1111/j.0906-7590.2004.03673.x
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., and Breiner, F. 2017. biomod2: Ensemble platform for species distribution modeling. R package version 3.3-7. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=biomod2>.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. 2009. BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M.T., Prentice, I.C. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Jun 7;102(23):8245-50. doi: 10.1073/pnas.0409902102. Epub 2005 May 26. PMID: 15919825; PMCID: PMC1140480.
- Touchan, R., Akkemik, U., Hughes, M. K., & Erkan, N., (2007). May-June precipitation reconstruction of Southwestern Anatolia, Turkey during the last 900 years from tree rings. *QUATERNARY RESEARCH*, vol.68, no.2,196-202.
- Tucker, C. M. 1933. The Distribution of the Genus Phytophthora. *Res. Bull.Univ. Mo. Agric. Exp. Stn.* no. 0184. University of Missouri Agricultural Experimental Station, Columbia, MO.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in ecology & evolution*, 18(6), 306-314.
- USA National Phenology Network. 2017. Plant and Animal Phenology Data.
- Valavi R, Elith J, Lahoz-Monfort JJ, Guillera-Arroita G. 2019. blockCV: An R package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution models. *Methods Ecol Evol.*; 10:225–232. [doi: 10.1111/2041-210X.13107](https://doi.org/10.1111/2041-210X.13107)
- Valavi, R., Elith, J., Lahoz-Monfort, J.J. and Guillera-Arroita, G. 2021, Modelling species presence-only data with random forests. *Ecography*, 44: 1731-1742. <https://doi.org/10.1111/ecog.05615>
- Van Notten, P. W., Rotmans, J., Van Asselt, M. B., & Rothman, D. S. (2003). An updated scenario typology. *Futures*, 35(5), 423-443.
- Van Notten, P. W., Rotmans, J., Van Asselt, M. B., & Rothman, D. S. 2003. An updated scenario typology. *Futures*, 35(5), 423-443.
- Vannini, A. and Vettraino, A. 2011. Phytophthora cambivora. *Forest Phytophtoras* 1(1). doi:10.5399/osu/fp.1.1.1811
- Vannini, A., Natili, G., Anselmi, N., Montaghi, A., & Vettraino, A. M. (2010). Distribution and gradient analysis of ink disease in chestnut forests. *Forest Pathology*, 40, 73–86. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2009.00609.x>

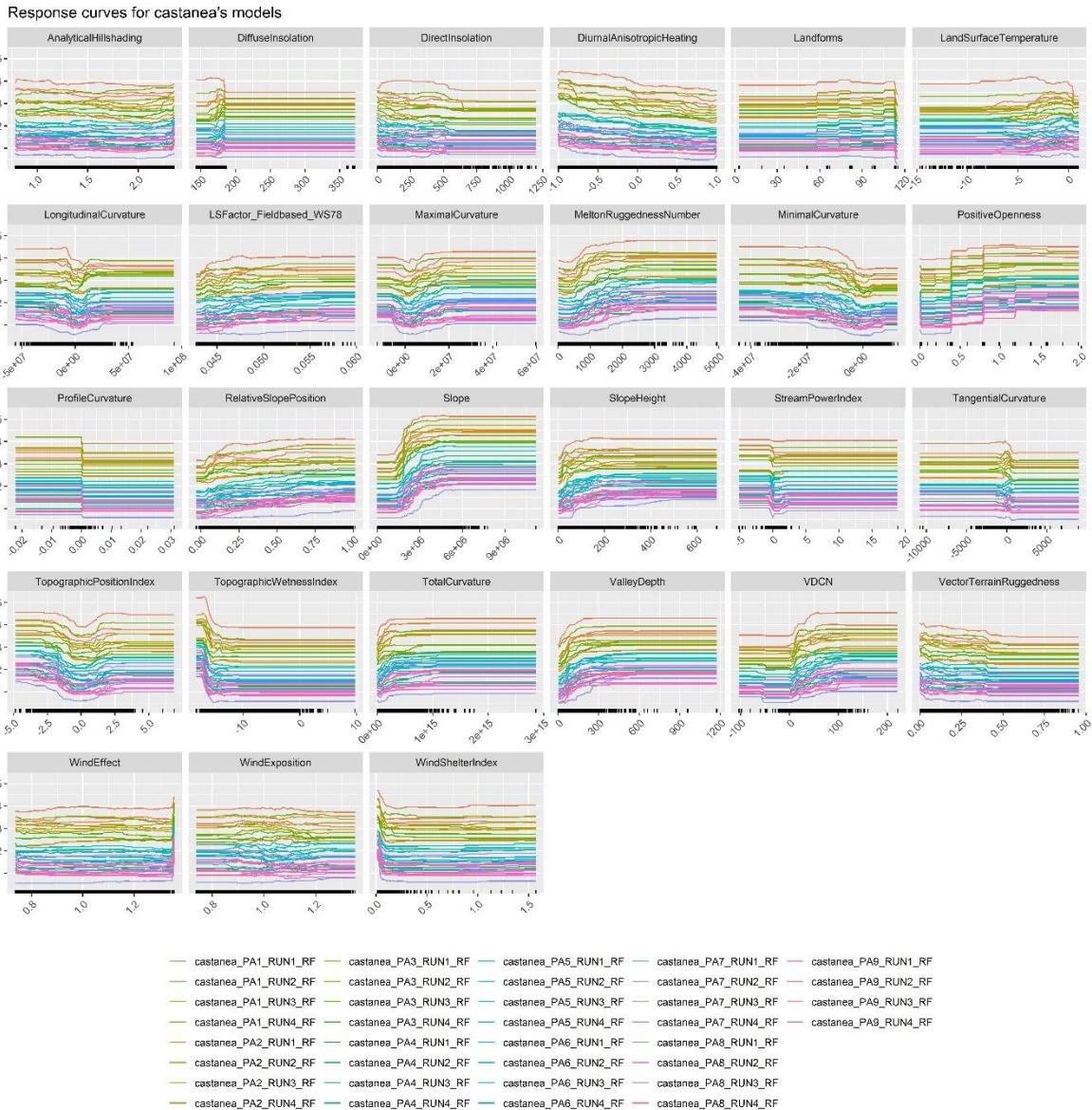
- Vettraino, A. M., Natili, G., Anselmi, N. and Vannini, A., 2001. Recovery and pathogenicity of Phytophthora species associated with a resurgence of ink disease in *Castanea sativa* in Italy. *Plant Pathology*, 50(1), pp.90-96.
- Villani F, Sansotta A, Cherubini M, Cesaroni D, Sbordoni V (1999b) Genetic structure of natural populations of *Castanea sativa* in Turkey: evidence of a hybrid zone. *J Evol Biol* 12:233–244
- Villani F., Lauteri M, Sansotta A, Cherubini M, Monteverdi MC, Mattioni C (1999a). Genetic structure and quantitative traits variation in F1 full-sibs progenies of *Castanea sativa* Mill.. *Acta Horticulture* 494:395–405
- Villani, F., Mattioni, C., Cherubini, M., Lauteri, M., Martin, M., 2010. An integrated approach in assessing the genetic and adaptative variation in *Castanea sativa* Mill. *Acta Hort.* 866, 91–95.
- Villani, F., Mattioni, C., Martin, A., Martin, M. L.. (2014). "Integration of different approaches to explore genetic and adaptive variation of *Castanea sativa* Mill.: perspectives for gene conservation." *Acta Horticulturae* **1043**: 91-98.
- Villani, F., Pigliucci, M., Cherubini, M., 1994. Evolution of *Castanea sativa* Mill. in Turkey and Europe. *Genet. Res. Camb.* 63, 109–116
- Wang, Jingxu, Qinan Lin, Shengwang Meng, Huaguo Huang, and Yangyang Liu. 2024. "Individual Tree-Level Monitoring of Pest Infestation Combining Airborne Thermal Imagery and Light Detection and Ranging" *Forests* 15, no. 1: 112. <https://doi.org/10.3390/f15010112>
- Ward G, Hastie T, Barry S, Elith J, Leathwick JR. 2009. Presence-only data and the em algorithm. *Biometrics*. Jun;65(2):554-63. doi: 10.1111/j.1541-0420.2008.01116.x. PMID: 18759851; PMCID: PMC4821886.
- Warren DL, Matzke NJ, Iglesias TL. 2020. Evaluating presence-only species distribution models with discrimination accuracy is uninformative for many applications. *J Biogeogr.*; 47: 167–180. <https://doi.org/10.1111/jbi.13705>
- Warren, R., Glick, P., & Primack, R. 2011. Changes in phenology of New England plants associated with warming temperatures. *Biological Conservation*, 144(6), 1717-1723.
- Waters, Nigel. 2018. GIS: history. 10.1002/9781118786352.wbieg0841.pub2.
- Wenger, S.J. and Olden, J.D. 2012. Assessing transferability of ecological models: an underappreciated aspect of statistical validation. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 260-267. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00170.x>
- Wisz, M. S., Pottier, J., Kissling, W. D., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C. F., ... & Svenning, J. C. 2013. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological reviews*, 88(1), 15-30.
- Wolpert, D. H. 1992. Stacked generalization. *Neural networks*, 5(2), 241-259.
- Woodcock, F., 1976: The evaluation of yes/no forecasts for scientific and administrative purposes. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 120

- Woolhouse M. 2011. How to make predictions about future infectious disease risks. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 366(1573):2045-54. doi: 10.1098/rstb.2010.0387. PMID: 21624924; PMCID: PMC3130384.
- Yaltırık, F. 1984. Bazı yapraklı ağaç ve çalıların kışın tanınması: Uygulama klavuzu. s.56. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Yaltırık, F., 1982. *Castanea Miller. Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 7 Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Yaltırık, F., 1993. Dendroloji Ders Kitabı II, İ.Ü. Orman Fak. Yayınları, İ.Ü. Yayın No:3767, O.F. Yayın No:420, İstanbul.
- Yasumatsu, K., Kamijo, K.. 1979. Chalcidoid parasites of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Cynipidae) in Japan, with descriptions of five new species (Hymenoptera). *Esakia* 14:93–111
- Yates, K. L., Bouchet, P. J., Caley, M. J., Mengersen, K., Randin, C. F., Parnell, S., et al. 2018. Outstanding challenges in the transferability of ecological models. *Trends Ecol. Evol.* 33, 790–802. doi: 10.1016/j.tree.2018.08.001
- Yilmaz, H., Yilmaz, O. Y., & 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.
- Zentmyer, G. A.. 1980. *Phytophthora cinnamomi* and the Diseases it Causes. Monogr. No. 10. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, U.S.A.
- Zentmyer, G. A.. 1988. Origin and distribution of four species of *Phytophthora*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 91:367-378.
- Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R. 1987. 'Quantitative analysis of land surface topography', *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 47-56.
- Zhang, S., Su, Q., & Chen, Q. 2021. Application of machine learning in animal disease analysis and prediction. *Current Bioinformatics*, 16(7), 972-982.
- Zhang, Y., Wu, F., Zhu, S., Xu, Y., & Liang, X. 2022. Prediction and Evaluation of Suitable Habitat of Invasive *Vespa mandarina* in North America based on MaxEnt Niche Model. In *2022 12th International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* (pp. 83-93).
- Zhou, Y., & Croft, W. B. 2005. Document quality models for web ad hoc retrieval. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Information and knowledge management* (pp. 331-332).
- Zhou, Z. H. 2012. Ensemble Methods: Foundations and Algorithms. CRC press.
- Zhu, D. H., Liu, Z., Lu, P. F., Yang, X. H., Su, C. Y. and Liu, P.. 2015. New gall wasp species attacking chestnut trees: *Dryocosmus zhuili* n. sp. (Hymenoptera: Cynipidae) on *Castanea henryi* from Southeastern China. *Journal of Insect Science* 15(1): 156.

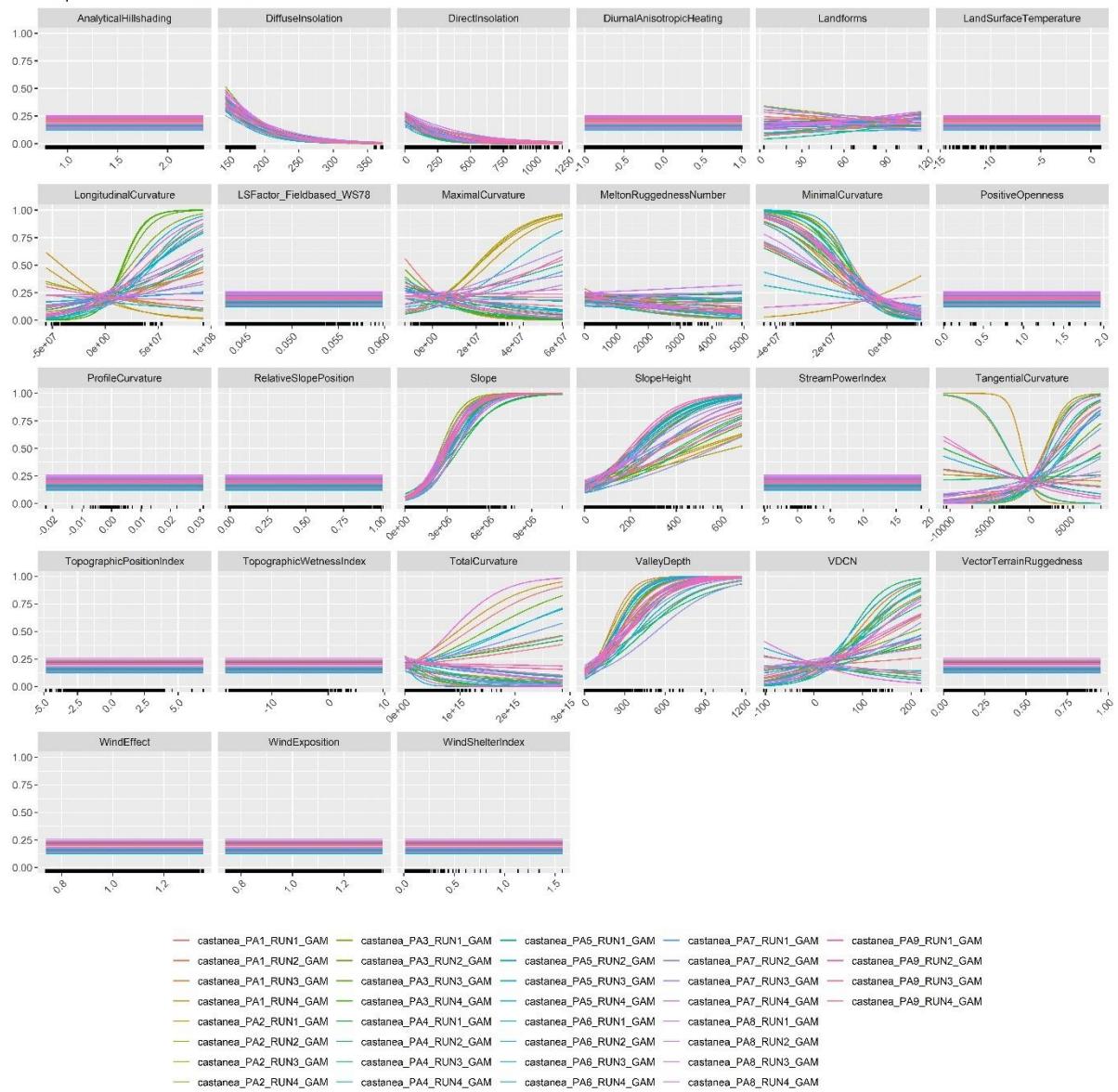
- Zohary, D., & Hopf, M.. 1988. Domestication of plants in the old world: the origin and spread of cultivated plants in west Asia, Europe, and the Nile Valley. Oxford, OX: New York: Clarendon Press.
- Zweig, M.H. & Campbell, G. 1993. Receiver-operating characteristics (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*, 39, 561–577.
- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M., & Anderson, R. P. 2014. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, 275, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>
- Senay, S. D., Worner, S. P., & Ikeda, T. 2013. Novel three-step pseudo-absence selection technique for improved species distribution modelling. *PLoS One*, 8(8), e71218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071218>
- Fourcade, Y., Engler, J. O., Rödder, D., & Secondi, J. (2014). Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: A performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PLoS One*, 9(5), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>
- Hofierka, J., Šúri, M. 2002. The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. International GRASS users conference in Trento, Italy, September 2002. ResearchGate.
- Florinsky, I.V. 2009. Computation of the third order partial derivatives from a digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(2), p.213-231. doi:10.1080/13658810802527499.
- Lassueur, T., Joost, S., & Randin, C. F. (2006). Very high resolution digital elevation models: Do they improve models of plant species distribution?. *Ecological Modelling*, 198(1-2), 139-153.
- Olaya, V., Evans, I.S., Hengl, T., 2008. Basic Land-Surface Parameters. In: Hengl, T. and Reuter, H.I. (Eds), *Geomorphometry: Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, vol. 33, Elsevier, 141-169 pp.
- Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 47-56. doi:10.1002/esp.3290120107.
- Kimmins, J.P. 2004. Forest Ecology. In *Fishes and Forestry* (eds T.G. Northcote and G.F. Hartman). <https://doi.org/10.1002/9780470995242.ch2>
- Evans, I.S. 1979. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. Final report on grant DA-ERO-591-73-G0040, University of Durham, England.
- Horn, B. K. 1981. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, v. 69, no. 1, p.14-47.
- Rodriguez, F., Maire, É., Courjault-Radé, P., Darrozes, J. 2002. The Black Top Hat function applied to a DEM: A tool to estimate recent incision in a mountainous watershed (Estibère Watershed, Central Pyrenees). *Geophysical Research Letters*, 29(6): 9-1 - 9-4. doi:10.1029/2001GL014412.

- McCullagh, P. and Nelder, J.A. 1989. Generalized Linear Models. 2nd Edition, Chapman and Hall, London.<http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-3242-6>
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4,<https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Austin, M. 2007. Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. Ecological modelling, 200(1-2), 1-19.

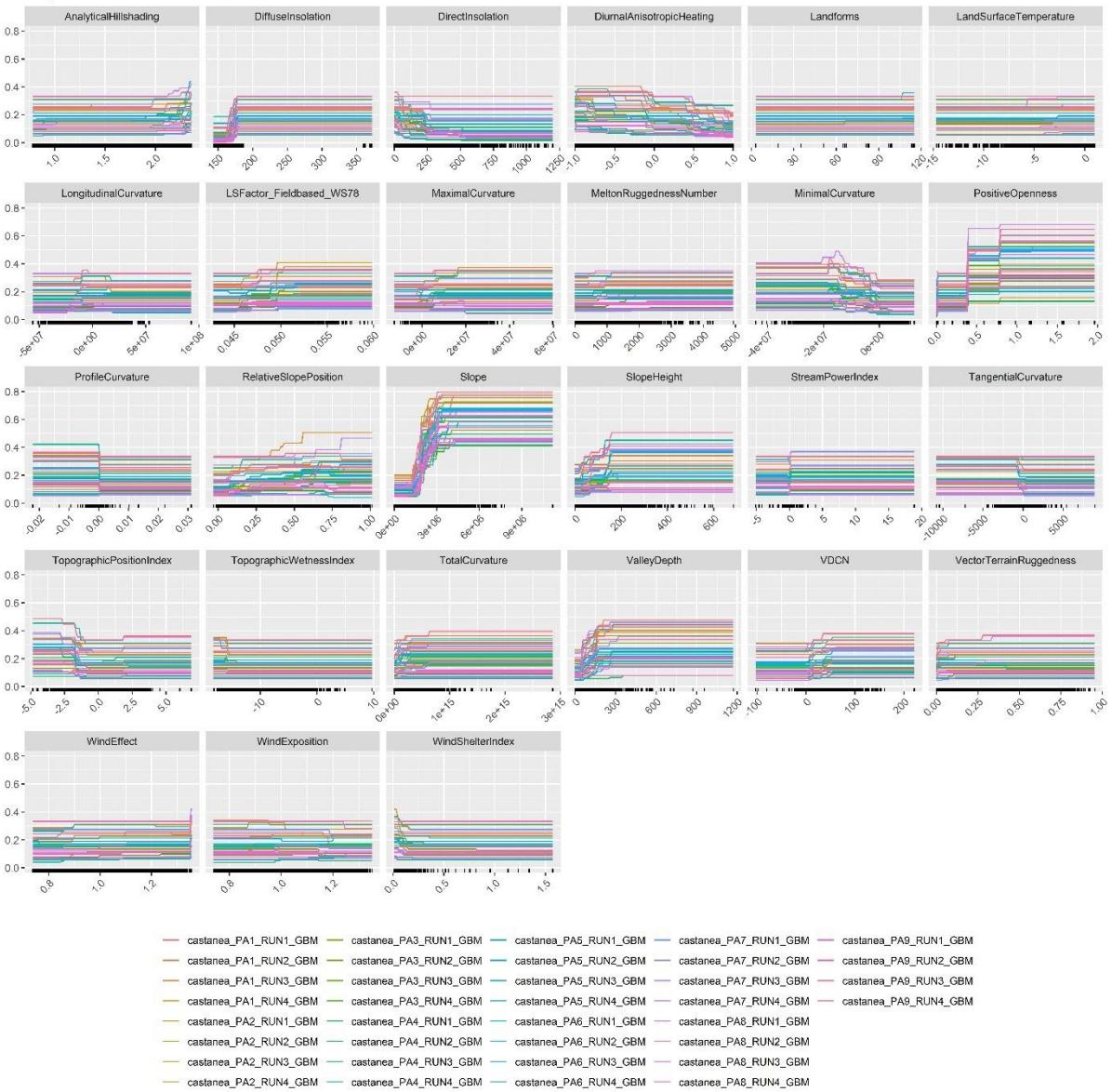
## EKLER

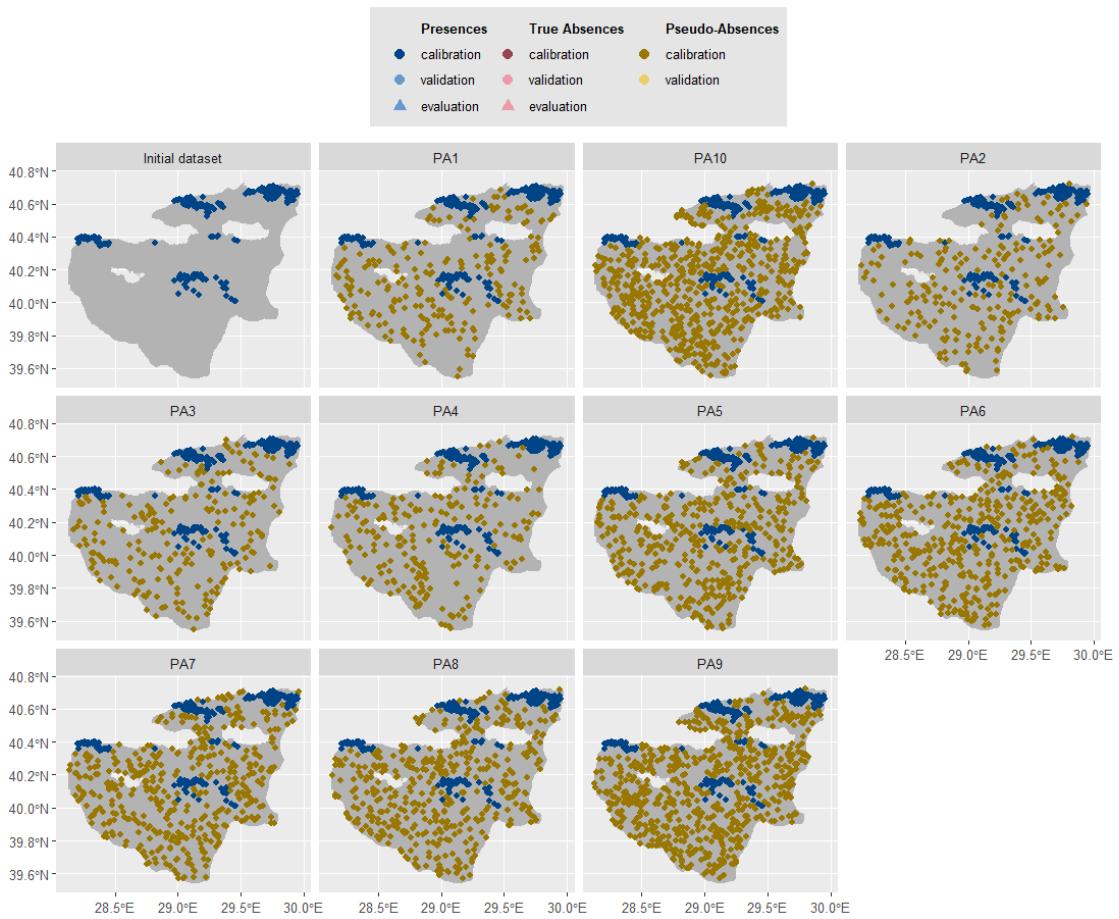


Response curves for castanea's models



Response curves for castanea's models





## İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

**UYARI:** Bu bölümde intihal programında çıkan benzerlik yüzdesinin bulunduğu detaylı raporun ilk sayfasının yer olması tüm öğrenciler için zorunludur! Bu uyarıyı okuduktan sonra siliniz!

## ETİK KURUL İZİN YAZISI

**Uyarı:** Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- Etik Kurul izni gerekmektedir.**
- Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Öğrenci Adı SOYADI  
(İmza)

## KURUM İZNI YAZILARI

**Uyarı:** Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.**
- Kurum izni gerekmemektedir.**

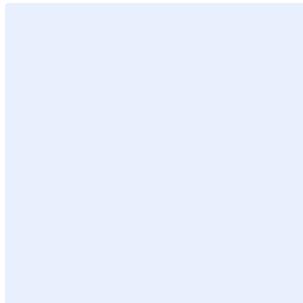
Hüseyin DOĞAN  
(İmza)

## PATENT HAKKI İZNI

**Uyarı:** Patent hakkı izni gerektirmeyen tez çalışmaları için bu bölüm ve başlık silinebilir!

## ÖZGEÇMİŞ

<b>Kişisel Bilgiler</b>	
Adı Soyadı	Hüseyin DOĞAN
Doğum Tarihi	27.02.1989
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	



<b>Eğitim Bilgileri</b>	
<b>Lisans</b>	
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	
<b>Yüksek Lisans</b>	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

<b>Makale ve Bildiriler</b>	