

***PHLEBOTOMUS TOBBI* ADLER, THEODOR & LOURIE,
1930 (DIPTERA: PSYCHODIDAE)'NİN GÜNÜMÜZ VE
GELECEKTEKİ POTANSİYEL COĞRAFİ YAYILIMININ
MODELLENMESİ**

**MODELLING POTENTIAL CURRENT AND FUTURE
GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF *PHLEBOTOMUS
TOBBI* ADLER, THEODOR & LOURIE, 1930 (DIPTERA:
PSYCHODIDAE)**

ZEYNEL CAN ÖNAL

DOÇ. DR. ÖZGE ERİŞÖZ KASAP

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2023

ÖZET

***PHLEBOTOMUS TOBBI* ADLER, THEODOR & LOURIE, 1930 (DIPTERA: PSYCHODIDAE)'NİN GÜNÜMÜZ VE GELECEKTEKİ POTANSİYEL COĞRAFİ YAYILIMININ MODELLENMESİ**

ZEYNEL CAN ÖNAL

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özge ERİŞÖZ KASAP

Eş Danışman: Doç. Dr. Hakan GÜR

Haziran 2023, xv+91 sayfa

Leishmania infantum'un kanıtlanmış vektörü olan *Phlebotomus tobbi* Adler, Theodor & Lourie, 1930, Balkanlar'dan, İran'ın kuzey bölgelerine Akdeniz Havzası boyunca uzanan bir yayılım göstermektedir. Akdeniz Havzası ve Avrupa, önemli iklim değişimi sıcak noktaları arasında yer almaktadır. Dolayısıyla gelecekte *Ph. tobbi* ve taşıdığı hastalık etkenlerinin yayılım alanlarında bir değişim beklenmektedir. Bununla birlikte, insan ve hayvan sağlığı açısından oldukça önemli olan bu türün değişen iklimsel koşullara cevap olarak yayılım alanlarında meydana gelebilecek olası değişimleri öngören detaylı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, *Ph. tobbi* için günümüz ve gelecekte biyoiklimsel olarak uygun olan alanlar, MaxEnt modelleme yöntemi ile tahminlenmiştir. Günümüzde biyoiklimsel olarak uygun alanların tahminlenmesinde, *Ph. tobbi* için kaydedilen var verileri ve WorldClim veri tabanından çekilen biyoiklimsel değişkenlere ait veriler kullanılmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin hazırlamış olduğu altıncı raporda sunulan

dört farklı iklim değışikliği senaryosu, 20'şer yıllık dört zaman dilimi ve üç farklı küresel iklim modeli (CNRM, IPSL ve MIROC) kullanılarak *Ph. tobbi* için gelecekte biyoiklimsel olarak uygun olabilecek alanlar modellenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, türün biyoiklimsel uygun alanlarını belirleyen en önemli iki biyoiklimsel değışkenin, BIO1 (Yıllık ortalama sıcaklık) ve BIO16 (En yağışlı çeyrekteki yağış miktarı) olduğu görülmüştür. Modelleme çalışmaları ile elde edilen günümüz biyoiklimsel uygunluk haritaları incelendiğinde, sonuçların *Ph. tobbi*'nin bilinen yayılımıyla büyük ölçüde örtüştüğu tespit edilmiştir. Dört farklı iklim değışikliği senaryosu ve üç farklı küresel iklim modeli kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, *Ph. tobbi* için biyoiklimsel olarak uygun olan alanların 2100 yılına kadar %69-79 oranında artış gösterebileceği tahminlenmiştir. Biyoiklimsel uygunluğun arttığı bölgeler; Balkanlar, Kafkas Dağları'nın çevresi, Hazar Denizi'nin güneyi, Türkiye'nin Batı ve Orta Karadeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri ile Dicle Nehri ve Zagros Dağları'nın eteklerindeki alanlar olarak tespit edilmiştir. Türün gelecekteki biyoiklimsel uygunluk alanlarında önemli bir azalma meydana gelmemekle beraber, bazı senaryolarda Konya Havzası ve Balkan Dağları çevresinde uygunluğun azaldığı görülmüştür.

Bu tez çalışması ile elde edilen sonuçlar, iklim değışikliği ve vektör kaynaklı hastalıklar arasındaki bağlantıların daha iyi anlaşılması, etkin mücadele stratejilerinin oluşturulması ve vektör kaynaklı hastalıkların yayılmasını önlemek amacıyla gerçekleştirilmesi planlanan araştırmalarda önemli bir tamamlayıcı unsur olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: *Phlebotomus tobbi*, kum sineği, ekolojik niş modellemesi, iklim değışikliği

ABSTRACT

MODELLING POTENTIAL CURRENT AND FUTURE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF *PHLEBOTOMUS TOBBI* ADLER, THEODOR & LOURIE, 1930 (DIPTERA: PSYCHODIDAE)

ZEYNEL CAN ÖNAL

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özge ERİŞÖZ KASAP

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan GÜR

June 2023, xv+91 pages

Phlebotomus tobbi Adler, Theodor & Lourie, 1930, the proven vector of *Leishmania infantum* Nicolle, 1908, is distributed throughout the Mediterranean Basin, from the Balkans to the northern parts of Iran. The Mediterranean Basin and Europe are among the important climate change hotspots. Thus, a change in the distribution areas of *Ph. tobbi* and the disease agents it transmits is expected in the future. However, there is no detailed study that predicts the possible changes in the distribution of this species, that is important for human and animal health, in response to changing climatic conditions.

In this work, the areas that are bioclimatically suitable for *Ph. tobbi* under the current conditions and in the future were determined using the MaxEnt modelling method. The presence data recorded for *Ph. tobbi* and data on bioclimatic variables obtained from the WorldClim database were used to predict the areas that are bioclimatically suitable under the current conditions. Four different climate change scenarios provided in the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, four time periods of 20 years

each, and three global climate models (CNRM, IPSL and MIROC) were used to model areas that will be bioclimatically suitable for *Ph. tobbi* in the future.

When the results were examined, it was seen that the two most important bioclimatic variables that determine the bioclimatic suitable areas of the species are BIO1 (Annual average temperature) and BIO16 (Precipitation in the wettest quarter). The present-day bioclimatic suitability maps obtained from the modelling studies showed that the results overlapped to a large extent with the known distribution of *Ph. tobbi*. Analyses using four different climate change scenarios and three different global climate models predict that bioclimatic suitability for *Ph. tobbi* could increase between 69% to 79% by the year 2100. The regions with increased bioclimatic suitability were identified as the Balkans, around the Caucasus Mountains, the south of the Caspian Sea, the Western and Central Black Sea, Central Anatolia and Southeastern Anatolia regions of Turkey, and the areas around the Tigris River and the Zagros Mountains. Although there is no significant decrease in the future bioclimatic suitability of the species, in some scenarios, it was observed that the suitability decreased around the Konya Basin and Balkan Mountains.

The results of this work can be an important complementary tool for the research planned to better understand the links between climate change and the vector-borne diseases, to develop effective control strategies and to prevent the spread of vector-borne diseases.

Keywords: *Phlebotomus tobbi*, sand fly, ecological niche modelling, climate change

TEŞEKKÜR

Lisans dönemim boyunca yaşadığım tüm olumsuzluklara rağmen bana inanan, lisansüstü eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleriyle akademik açıdan gelişimime büyük katkıda bulunan, sevgili tez danışmanım Doç. Dr. Özge Erişöz Kasap'a,

Tez yazma sürecimde sahip olduğu bilgi birikimi benimle paylaşan, ileriki akademik hayatımda kullanacağım bilgilerin temelini sağlam bir şekilde atmamı sağlayan, sevgili tez eş danışmanım Doç. Dr. Hakan Gür'e,

Önemli geri bildirimleriyle tezime katkı sağlayan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Çağatay Tavşanoğlu ve Prof. Dr. M. Kirami Ölgen'e,

Bilgi birikimini tez yazım süreci boyunca benden esirgemeyen, değerli arkadaşım Muhammed Arif Demir'e,

Sevgili ekip arkadaşlarım Gizem Oğuz, Ayda Yılmaz, Kıvanç Sevim, Mert Okbay ve Wilfrid Sewade'ye,

Yüksek lisans eğitimim süresince “2210/A Yurt İçi Genel Yüksek Lisans Burs Programı” kapsamında bursiyer olarak beni destekleyen, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB)'na,

Değerli arkadaşlarım Sezay Onbaşı, Ecenur Atasayar ve Ali Kemal Kırçakçı'ya,

Tüm eğitim hayatım boyunca bana inanan ve her açıdan destekleyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xiv |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Kum Sineklerinin Biyolojisi, Sınıflandırılması ve Coğrafi Yayılımı..... | 1 |
| 1.2. <i>Phlebotomus tobbi</i> Adler, Theodor & Lourie, 1930 (Diptera: Psychodidae), Coğrafi Yayılımı ve Epidemiyolojik Önemi..... | 2 |
| 1.3. Küresel İklim Değişikliği..... | 3 |
| 1.3.1. Küresel İklim Değişikliği ve IPCC..... | 3 |
| 1.3.2. Küresel iklim modelleri..... | 6 |
| 1.3.3. Küresel İklim Değişikliğinin Vektör Kaynaklı Hastalıklarla İlişkisi..... | 8 |
| 1.4. Ekolojik Niş Modelleme Yaklaşımı..... | 9 |
| 1.4.1. Niş Kavramı..... | 9 |
| 1.4.2. Ekolojik Niş Modellemesi..... | 11 |
| 1.4.3. MaxEnt Modelleme Yöntemi..... | 13 |
| 1.4.4. Ekolojik Niş Modellerinin Epidemiyolojik Çalışmalar için Önemi..... | 15 |
| 1.5. Tez Çalışmasının Amacı..... | 16 |
| 2. YÖNTEM..... | 18 |
| 2.1. Çalışma Alanı..... | 18 |
| 2.2. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin Ekolojik Nişi ve Yayılım Alanının Modellenmesi İçin Kullanılan Veriler..... | 18 |
| 2.2.1. Var Verisi..... | 18 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.2.2. | Biyoklimsel Veriler | 19 |
| 2.3. | Modelleme Aşaması | 23 |
| 2.3.1. | Arka Plan Alanı ve Nokta Sayısı | 23 |
| 2.3.2. | Var Verisinin Bölümlenmesi | 24 |
| 2.3.3. | Model Karmaşıklığı ve Nihai Değişken Setinin Belirlenmesi..... | 25 |
| 2.3.4. | Extrapolate ve Clamping | 25 |
| 2.3.5. | Model Çıktı Biçimi ve Eşik Değeri | 26 |
| 2.3.6. | Model Değerlendirme Metriği | 26 |
| 2.4. | Haritalandırma | 27 |
| 3. | SONUÇLAR..... | 29 |
| 3.1. | Biyoklimsel Uygunluk Haritaları | 34 |
| 3.1.1. | Günümüz..... | 34 |
| 3.1.2. | Gelecek | 35 |
| 3.1.2.1. | CNRM | 35 |
| 3.1.2.2. | IPSL | 35 |
| 3.1.2.3. | MIROC | 35 |
| 3.1.2.4. | Kazanç-Kayıp | 48 |
| 3.1.2.4.1. | CNRM | 48 |
| 3.1.2.4.2. | IPSL..... | 49 |
| 3.1.2.4.3. | MIROC..... | 49 |
| 4. | TARTIŞMA | 68 |
| 5. | KAYNAKLAR | 76 |
| | ÖZGEÇMİŞ | 92 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Modellerin günümüz ve gelecek projeksiyonu için çalıştırılacağı coğrafi alan. | 18 |
| Şekil 2.2. <i>Phlebotomus tobbi</i> var verisinin coğrafi alandaki yayılımı. | 19 |
| Şekil 2.3. GCM'lerin 2080-2100 yıl aralığı ve SSP5-8.5 senaryosuna göre BIO1 ve BIO16 değişkenleri açısından gelecek tahmini varyasyonları. Renkli kutucuk içine alınanlar, modellerde kullanılmak üzere seçilen küresel iklim modelleri. | 22 |
| Şekil 2.4. CMIP6 modelleri için hesaplanmış ECS değerleri (°C). Renkli kutucuk içine alınan küresel iklim modelleri bu tez çalışması kapsamında kullanılanları gösterir. | 23 |
| Şekil 2.5. Modellemeler için kullanılan minimum konveks poligon yöntemi ile oluşturulmuş 5 derecelik arka plan alanı. | 24 |
| Şekil 2.6. Var verisinin k=4 alansal bölümlenme yöntemi ile bölümlenmiş hali. | 25 |
| Şekil 3.1. Değişken önemlerini gösteren jackknife testinin sonuçları. “Mavi” renk belirli bir değişkenin tek başına modele yaptığı katkı durumunu, “Turkuaz” rengi belirli bir değişkenin çıkarıldığı durumu, “Kırmızı” renk ise tüm değişkenlerin birlikte etki etme durumunu göstermektedir. | 31 |
| Şekil 3.2. BIO16 çevresel değişkeninin marjinal cevap eğrisi. | 32 |
| Şekil 3.3. BIO1 çevresel değişkeninin marjinal cevap eğrisi. | 32 |
| Şekil 3.4. BIO16 çevresel değişkeninin cevap eğrisi. | 33 |
| Şekil 3.5. BIO1 çevresel değişkeninin cevap eğrisi. | 33 |
| Şekil 3.6. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin günümüz için biyoiklimsel uygunluk haritası. Siyah noktalar var verilerini temsil etmektedir. | 34 |
| Şekil 3.7. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 36 |
| Şekil 3.8. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 37 |
| Şekil 3.9. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 38 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.10. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 39 |
| Şekil 3.11. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 40 |
| Şekil 3.12. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 41 |
| Şekil 3.13. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 42 |
| Şekil 3.14. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 43 |
| Şekil 3.15. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 44 |
| Şekil 3.16. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 45 |
| Şekil 3.17. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 46 |
| Şekil 3.18. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları. | 47 |
| Şekil 3.19. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları. | 52 |
| Şekil 3.20. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları. | 53 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.21. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları..... | 54 |
| Şekil 3.22. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları..... | 55 |
| Şekil 3.23. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları. | 58 |
| Şekil 3.24. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları. | 59 |
| Şekil 3.25. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları. | 60 |
| Şekil 3.26. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları. | 61 |
| Şekil 3.27. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları..... | 64 |
| Şekil 3.28. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları..... | 65 |
| Şekil 3.29. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları..... | 66 |
| Şekil 3.30. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları..... | 67 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1. 19 Biyoiklimsel değişkene ait özetleyici bilgiler. | 20 |
| Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen küresel iklim modelleri. | 21 |
| Çizelge 3.1. Çalıştırılan 594 model arasında en yüksek CBI değerine sahip ilk 5 model. | 29 |
| Çizelge 3.2. Modele giren biyoiklimsel değişkenlerin yüzde katkıları ve permütasyon önemleri. | 30 |
| Çizelge 3.3. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 50 |
| Çizelge 3.4. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 50 |
| Çizelge 3.5. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 51 |
| Çizelge 3.6. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 51 |
| Çizelge 3.7. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 | |

| | |
|--|----|
| zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 56 |
| Çizelge 3.8. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 56 |
| Çizelge 3.9. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 57 |
| Çizelge 3.10. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 57 |
| Çizelge 3.11. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 62 |
| Çizelge 3.12. <i>Phlebotomus tobbi</i> 'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. | 62 |

Çizelge 3.13. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. 63

Çizelge 3.14. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir. 63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|------|-------------------------|
| mm | milimetre |
| cm | santimetre |
| km | kilometre |
| x°y' | Derece-dakika (Coğrafi) |
| °C | Derece santigrat |
| % | Yüzde |

Kısaltmalar

| | |
|-----------------|--|
| VL | Visceral leishmaniasis |
| CL | Cutaneous leishmaniasis |
| CanL | Canine leishmaniasis |
| CNRM | CNRM-ESM2-1 |
| IPSL | IPSL-CM6A-LR |
| MIROC | MIROC-ES2L |
| BCC | BCC-CSM2-MR |
| CO ₂ | Karbondioksit |
| CH ₄ | Metan |
| IPCC | Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change) |
| WMO | Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization) |
| UNEP | Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme) |
| RCP | Temsili Konsantrasyon Rotası (Representative Concentration Pathway) |
| SSP | Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar (Shared Socioeconomic Pathways) |

| | |
|-------|--|
| GLM | Genelleştirilmiş Doğrusal Model (Generalized linear model) |
| GAM | Genelleştirilmiş Eklemeli Model (Generalized additive model) |
| RF | Rastgele Orman (Random forest) |
| ECS | İklim Hassasiyeti Dengesi (Equilibrium climate sensitivity) |
| CMIP6 | Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 |
| AUC | Eğri Altındaki Alan (Area Under the Curve) |
| OR | İhmal Oranı (Omission rate) |
| AIC | Akaike Bilgi Kriteri (Akaike information criterion) |
| CBI | Sürekli Boyce Endeksi (Continuous Boyce Index) |
| ROC | Alıcı İşlem Karakteristiği (Receiver operating characteristic) |

1. GİRİŞ

1.1. Kum Sineklerinin Biyolojisi, Sınıflandırılması ve Coğrafi Yayılımı

Kum sinekleri, Arthropoda şubesi, Hexapoda altşubesi, Insecta sınıfı, Diptera takımı, Psychodidae familyasından Phlebotominae alt familyası içinde sınıflandırılır. Ergin kum sinekleri, genellikle 3 mm'den küçük, tüm vücutları, kanatları ve bacakları tüylü böceklerdir. Ergin kum sinekleri genellikle alacakaranlık saatlerinde aktiftir ve omurgalıların saldıkları çeşitli semiyokimyasallar tarafından çekilirler (Killick-Kendrick, 1999; Ready, 2013). Ergin erkekler bitki özsuğu, nektar ve bal özsuğu ile beslenirken, dişiler yumurta gelişimi için kana ihtiyaç duyarlar, bu da onları potansiyel hastalık vektörleri yapar (Ready, 2013).

Kum sineklerinin yaşam döngüsü yumurta, larva, pupa ve ergin olmak üzere dört aşamadan oluşur. Dişi bireyler yumurtalarını kompost, döküntü ve hayvan yuvaları gibi yüksek organik içeriğe sahip nemli habitatlara bırakırlar. Larvalar sivrisineklerin aksine karasaldır ve topraktaki organik madde ve mikroorganizmalarla beslenirler. Dört larval evrenin tamamlanması ile pupa evresine geçerler. Tür ve çevre koşullarına bağlı olarak bir haftadan birkaç haftaya kadar değişebilen bir süreçten sonra pupadan çıkarak ergin hale gelirler (Volf ve Volfova, 2011).

Ergin kum sineklerinin ömür uzunluğu, beslenme ve çevre koşullarından büyük ölçüde etkilenir. Guzman ve Tesh, 2000'de, besin kalitesinin kum sineği ömür uzunluğu ve üreme başarısını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Sıcaklıkta, gelişim ve ömür uzunluklarını etkileyen önemli bir faktördür ve kum sineği biyolojisini anlamak için oldukça önemlidir (Erisoz Kasap ve Alten, 2005; Erisoz Kasap ve Alten, 2006).

Günümüzde tanımlanmış 900'den fazla kum sineği türü bulunmakla birlikte, bu türlerden yalnızca 98'inin memelileri enfekte eden *Leishmania* spp.'nin vektörü olduğu tespit edilmiştir. Bu türlerin 42'si, Eski Dünya'da bulunan *Phlebotomus* cinsine ait, kalan 56'sı Yeni Dünya'daki *Lutzomyia* cinsine aittir (Maroli ve ark., 2013). Kum sineklerinin hem Eski hem de Yeni Dünya'da çeşitli arboviral etkenlerin, Yeni Dünya'da ise Oroya ateşi hastalığını taşıyan bakterilerin vektörü oldukları da bilinir (Maroli ve ark., 2013).

Phlebotomine kum sinekleri, küresel ölçekte geniş bir yayılıma sahiptir ve bu da onları çeşitli halk sağlığı sorunlarının yayılmasında önemli vektör canlılar haline getirir. Bu türler, Kuzey'de 50° ve Güney'de 40° enlemleri arasında bulunan Asya, Afrika, Güney Avrupa, Avustralya, Orta ve Güney Amerika gibi tropik ve subtropik habitatlarda bulunur

(Maroli ve ark., 2013). Eski Dünya kum sineklerinin türleri *Chinius*, *Phlebotomus* ve *Sergentomyia* cinslerinde içerisinde sınıflandırılırken, Yeni Dünya türleri genellikle *Lutzomyia*, *Brumptomyia* ve *Warileya* cinslerine aittir (Munstermann, 2005).

1.2. *Phlebotomus tobbi* Adler, Theodor & Lourie, 1930 (Diptera: Psychodidae), Coğrafi Yayılımı ve Epidemiyolojik Önemi

Leishmania infantum Nicolle, 1908, *Larroussius* alt cinsinde yer alan kum sineği türlerinin taşıdığı, insanlarda visceral leishmaniasis (VL) ve cutaneous leishmaniasis (CL) ve köpeklerde canine leishmaniasis (CanL) olarak bilinen hastalıkların etkenidir (Ready, 2013). *Phlebotomus tobbi* türü bu kum sineklerinin arasında önemli bir yer tutar ve özellikle Balkanlar, Anadolu, Kıbrıs ve Orta Doğu gibi geniş bir coğrafyada yayılım gösterir (Léger ve ark., 2000; Rassi ve ark., 2012; Haddad ve ark., 2015; Erisoz Kasap ve ark., 2019; Dvorak ve ark., 2020).

Ph. tobbi'nin, *Leishmania infantum*'un taşınmasında önemli bir rol oynadığı ve bu türün Kıbrıs ve Türkiye'deki vektörel rolünün de kanıtlandığı bilinmektedir (Léger ve ark., 2000; Svobodová ve ark., 2009; Ozbel ve ark., 2016). Ancak, Arnavutluk, İran ve Yunanistan'daki leishmaniasis vakaları ile *Ph. tobbi*'nin ilişkisi henüz tam olarak net değildir ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Velo ve ark., 2005; Rassi ve ark., 2012). Türkiye'nin Akdeniz Bölge'si CL'nin endemik olduğu alanlar arasında yer alır ve bu bölgede *Ph. tobbi*'nin *L. infantum*'u taşıma konusunda önemli bir rolü olduğu tespit edilmiştir (Svobodová ve ark., 2009). Günümüze kadar gerçekleştirilen çalışmalar, *Ph. tobbi*'nin Türkiye'nin farklı bölgelerinde Phlebovirus soylarının taşınmasında da aktif bir rol oynadığına işaret etmektedir (Ergunay ve ark., 2014; Alkan ve ark., 2015). Bu tespitler, *Ph. tobbi*'nin Türkiye'de en geniş yayılım alanına sahip kum sineği türlerinden biri olduğunu doğrulamaktadır (Erisoz Kasap ve ark., 2019). Buna ek olarak, *Ph. tobbi*'nin Türkiye'nin batı bölgelerinde de *L. infantum*'u taşıdığı ve bu nedenle VL ve CanL'nin yayılımında önemli rol oynadığı düşünülmektedir (Ozbel ve ark., 2016).

1.3. Küresel İklim Değişikliği

1.3.1. Küresel İklim Değişikliği ve IPCC

İklim değişikliği, on yıllardan milyonlarca yıla kadar değişen dönemler boyunca hava durumu modellerinin istatistiksel dağılımında önemli ve kalıcı bir değişiklik sürecini ifade eder. Geçen yüzyılda, insan faaliyetleri atmosferdeki sera gazlarının, özellikle de karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) konsantrasyonunu artırarak küresel ısınma olarak bilinen bir olguya sebep olmuştur (NASA, 2023). Bu da iklim değişikliği olarak adlandırılan, iklimde ısınma haricinde geniş değişikliklere sebep olan olayları tetiklemiştir.

Ortalama küresel sıcaklık: endüstri öncesi dönemden bugüne yaklaşık 1,1°C artmıştır. Eriyen buz, küresel ısınmanın açık ve görünür bir göstergesidir. Hem Grönland hem de Antarktika buz tabakalarının kütlesi azalmıştır. Deniz seviyeleri, kutup buzunun erimesi ve okyanus ısınırken termal genişleme nedeniyle geçtiğimiz yüzyılda yaklaşık 20 cm yükselmiştir (NASA, 2023).

Okyanus Asidifikasyonu: Atmosferde artan CO₂ okyanuslar tarafından emilerek daha asidik hale gelmelerine neden olur. Bunun deniz yaşamı, özellikle kabuk oluşturan organizmalar üzerinde zararlı etkileri vardır (NOAA, 2023).

Yağış Modellerindeki Değişiklikler: Bazı bölgeler, artan yağış dahil olmak üzere daha aşırı hava olayları yaşarken, diğerleri daha şiddetli kuraklıklar yaşıyor. İklimdeki değişiklikler yaban hayatı ve yaşam alanlarını etkileyerek yayılım ve davranışlarda değişikliklere ve bazı durumlarda yok oluşa yol açar (Pachauri ve ark., 2014).

Özellikle *Ph. tobbi*'nin yayılım gösterdiği alanlar olan Akdeniz havzası ve Avrupa, en göze çarpan ve savunmasız iklim değişimi sıcak noktalarındandır (Giorgi, 2006). Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli 5. değerlendirme raporuna (Pachauri ve ark., 2014) göre, 21. yüzyılda kuzey Avrupa'nın çoğunda yağışlar artarken Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerin çoğunda azalacaktır. Yine aynı rapora göre, Güney Avrupa ve Akdeniz'e kıyısı olan diğer ülkelerde yazların daha sıcak ve kışların daha ılıman geçmesi beklenmektedir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklim değişikliği ile ilgili bilimin değerlendirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından 1988 yılında kurulan IPCC,

politika yapıcılara iklim değışikliği ile ilgili en son bilimsel değlendirmeleri sağlar. IPCC kendi araştırmasını yürütmemekle birlikte, iklim değışikliğini anlamakla ilgili en son bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgileri inceler ve değlendirir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, Dünya'nın iklim sisteminin durumu hakkında bilinenlerin kapsamlı incelemelerini ve özetlerini temsil eden değlendirme raporları yayımlar. Bu raporlar, iklim değışikliği konusunda en yetkili referanslar arasındadır ve iklim değışikliğinin hafifletilmesi ve uyum sağlanmasına ilişkin politika kararları ve uluslararası müzakereler için bilgi sağlamayı amaçlamaktadır. Farklı zaman dilimlerinde şu ana kadar altı değlendirme raporu hazırlamıştır. Kısaca bahsetmek gerekirse;

1990 yılında yayınlanan ilk değlendirme raporu, insan faaliyetlerinin sera etkisini önemli ölçüde artırabileceğini ve Dünya yüzeyinde ek bir ısınmaya yol açabileceğini doğrulamıştır. Önümüzdeki yüzyılda küresel ortalama sıcaklıkta her on yılda yaklaşık 0,3°C'lik bir artış oranı öngörmüştür (her on yılda 0,2°C ila 0,5°C'lik bir belirsizlik aralığıyla); bu tahmin büyük ölçüde doğru olmuştur (Houghton, Jenkins, ve Ephraums, 1990).

1996 yılında yayınlanan ikinci değlendirme raporu, iklim değışikliği sebebiyle deniz seviyesinin yükselmesi, tropikal siklonların yoğunluğunun artması, mercan resifleri ve mangrovlar gibi bazı hassas alanlarda biyolojik çeşitliliğin azalması da dahil olmak üzere bir dizi olumsuz etkinin gerçekteşebileceğini belirtmiştir (Houghton, 1996).

2001 yılında yayınlanan üçüncü değlendirme raporu, son 50 yılda gözlemlenen ısınmanın çoğunun insan faaliyetlerinden kaynaklandığına dair yeni ve daha güçlü kanıtlar bulmuştur. Rapor, gelecekteki iklim değışikliğini öngören modellerin doğruluğuna olan güveni artırmıştır. Tahminler, 1990 ile 2100 arasında küresel sıcaklığın 1,4°C'den 5,8°C'ye yükselmesini ve 1990 ile 2100 arasında deniz seviyesinin 0,09 metreden 0,88 metreye yükselmesini içermektedir (Houghton ve ark., 2001).

2007 yılında yayınlanan dördüncü değlendirme raporu, son 100 yılda küresel ortalama sıcaklıkta 0,74°C'lik bir artışla iklim sisteminin ısındığına dair daha güçlü kanıtlar sağlamıştır. 1950'den 2005'e kadar küresel ortalama yüzey sıcaklığında gözlemlenen artışın yarısından fazlasını insan etkinliğine bağlamıştır. Rapor ayrıca iklim değışikliğinin ekonomik ve toplumsal etkilerini de vurgulamıştır (Solomon ve ark., 2007).

2014 yılında yayınlanan beşinci değlendirme raporu, 1951'den 2010'a kadar küresel ortalama yüzey sıcaklığında gözlemlenen artışın yarısından fazlasının insan

faaliyetlerinden kaynaklanmış olmasının son derece muhtemel olduğunu (%95'in üzerinde olasılık) bildirmiştir. Raporunda ayrıca, küresel ısınmayı belirli bir hedefin altında tutmak için makul bir şans sağlayan, atmosfere salınabilecek maksimum karbon miktarının bir tahmini olan "karbon bütçesi" tartışılmıştır. En düşük emisyon senaryosu için 0,3°C'den 1,7°C'ye ve en yüksek emisyon senaryosu için 2,6°C'den 4,8°C'ye bir sıcaklık artışı öngörmüştür (Pachauri ve ark., 2014).

2021 yılında yayınlanan altıncı değerlendirme raporu, sanayi devri öncesinden (1850-1900) bu yana tahminen 1,1°C'lik bir ısınmadan insan faaliyetlerinin sorumlu olduğunu belirtmiştir. Rapor ayrıca, son on yılın (2011–2020) ortalamasının, sanayi devri öncesi taban çizgisinden yaklaşık 1,09°C daha sıcak olduğuna dikkat çekmiştir. Tüm emisyon senaryolarında, küresel yüzey sıcaklığının önümüzdeki 20 yıl içinde 1,5°C'ye ulaşacağı veya bu sıcaklığı aşacağı öngörülmüştür. Küresel ortalama deniz seviyesi 1901'den 2018'e yaklaşık 0,2 metre yükseldi ve yükselmeye devam etmektedir. Gelecekteki sera gazı emisyonlarına bağlı olarak, yüzyılın sonuna kadar küresel deniz seviyesinin 0,3 metre ile 3 metre arasında yükseleceği tahmin edilmiştir (Masson-Delmotte ve ark., 2021).

Altıncı değerlendirme raporunda, iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması için Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP'ler) ve Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar (SSP'ler) birlikte kullanılmaktadır (Van Vuuren ve ark., 2011; Riahi ve ark., 2017). Bu bütünleşmiş yaklaşım, sera gazı konsantrasyonları, demografik eğilimler, sosyoekonomik ve teknolojik değişiklikler gibi faktörleri dikkate alarak, çeşitli iklim değişikliği senaryolarının potansiyel etkilerini daha iyi keşfetmeye ve hafifletilmesine yardımcı olur. SSP'ler, demografik, ekonomik ve teknolojik yörüngeleri içeren anlatılar olarak, gelecekteki çeşitli toplumsal koşulların sera gazı emisyonları ve dolayısıyla iklim değişikliğinin büyüklüğünü nasıl etkileyebileceğini, ayrıca toplumsal hassasiyetleri ve iklim değişikliği karşısında uyum seçeneklerini anlamaya yardımcı olur.

IPCC tarafından yayınlanan 6. Değerlendirme Raporunda, Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar ile Temsili Konsantrasyon Rotaları birleştirilerek aşağıdaki gibi bir dizi potansiyel senaryo öngörülmüştür (Chen ve ark., 2021).

SSP1-RCP2.6: Bu senaryo, daha kapsayıcı kalkınmayı vurgulayarak daha sürdürülebilir bir yola doğru kayan bir dünyayı içerir. Çevresel farkındalık, toplumsal iş birliği, teknolojik ve sosyal yeniliklerin giderek daha hızlı yayılması, iklim değişikliğinin

etkilerini azaltmaya çabalanması ve uyum stratejileri dahil olmak üzere sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasını desteklemektedir.

SSP2-RCP4.5: Bu senaryoda dünya, sosyal, ekonomik ve teknolojik eğilimlerin tarihsel kalıplardan önemli ölçüde sapmadığı bir yol izlemektedir. Kalkınma ve gelir artışı düzensiz bir şekilde yol alır ve bazı ülkeler görece iyi ilerleme kaydederken diğerleri yetersiz kalmaktadır.

SSP3-RCP7.0: Bu senaryo, artan eşitsizliklerin ve parçalanmış kalkınmanın yanı sıra daha sınırlı iş birliği ve daha yavaş teknolojik ilerlemelerin olduğu bir dünyayı yansıtmaktadır. Çevre politikasının uygulanması yavaştır, bu da yüksek emisyonlara ve adaptasyonda zorluklara yol açar.

SSP4-RCP6.0: Bu senaryo hem ülkeler içinde hem de ülkeler arasında artan eşitsizliklere ve tabakalaşmaya yol açan, ekonomik fırsat ve siyasi güçteki artan eşitsizliklerle birleşen, beşerî sermayeye yapılan oldukça eşitsiz yatırımları içerir. Zamanla, bu eşitsizlikler, küresel nüfus zirve yapıp azaldıkça dengelenir.

SSP5-RCP8.5: Bu senaryo, yüksek ekonomik büyümeye yönelik geleneksel kalkınmayı ve fosil yakıtlara bağlılığı vurgular. Hızla büyüyen küresel ekonomiyle birlikte enerjiye olan talep artar ve enerji sistemine fosil yakıt teknolojileri hâkim olmaya devam eder.

Bu SSP-RCP senaryoları, iklim araştırmacılarının çok çeşitli iklim sonuçlarını keşfetmelerine ve potansiyel yanıtlar geliştirmelerine olanak tanır. Ayrıca, farklı olası gelecek koşulları altında farklı seviyelerde iklim değişikliğinin ve potansiyel etkilerin keşfedilmesine de yardımcı olurlar.

1.3.2. Küresel iklim modelleri

Genel sirkülasyon modelleri olarak da bilinen küresel iklim modelleri, atmosfer, okyanuslar, kara yüzeyi ve buz arasındaki etkileşimleri simüle etmek için kullanılan matematiksel modellerdir (Flato ve ark., 2013). Küresel iklim modelleri hem atmosferik hem de okyanus modellerini kapsar. Atmosferik olanlar, katmanlar boyunca rüzgâr, ısı transferi, radyasyon, bağıl nem ve yüzey hidrolojisini hesaplar. Okyanus modelleri ise deniz buzunun yanı sıra okyanus katmanlarının sıcaklık, tuzluluk ve akış hızlarına odaklanır. Bu modeller Dünya yüzeyini 3 boyutlu bir ızgaraya bölerek çalışır ve her

ızgara kutusu dünya atmosferinin, okyanusun veya kara yüzeyinin belirli bir hacmini temsil eder (Washington ve Parkinson, 2005).

Bu nedenle küresel iklim modelleri, iklim sistemini çeşitli mekânsal (yerelden küresele) ve zamansal (saatlerden yüzyıllara) ölçeklerde simüle edebilir. Bununla birlikte, bu modellerin doğruluğu ve kesinliği, çözünürlüklerine ve hesaplama yeteneklerine, ayrıca girdi verilerinin kalitesine ve altta yatan iklimsel süreçleri anlamamıza bağlıdır (Flato ve ark., 2013). Küresel iklim modelleri, iklim değişikliğine yanıt olarak tür yayılımlarındaki potansiyel değişimleri tahmin etmek için modellere dahil edilen gelecekteki iklim tahminlerini sağlayarak tür dağılım modellerinin gelişiminde çok önemli bir rol oynamaktadır (Franklin, 2010).

Çeşitli meteorolojik araştırma merkezleri gelecek hakkında farklı tahminler veren küresel iklim modellerine sahiptir. Bu farklılığın temel olarak üç ana nedeni vardır: model yapısı, model parametreleri ve başlangıç koşulları.

Model yapısı: Her küresel iklim modeli, esasen Dünya'nın iklim sisteminin karmaşık süreçlerini simüle etme girişimidir. Bununla birlikte, iklim sisteminin muazzam karmaşıklığından dolayı, belirli süreçler basitleştirilir veya farklı modellerde farklı şekilde temsil edilir. Örneğin, bir modelin bulut oluşumunu nasıl temsil ettiği ve güneş radyasyonu ile etkileşimleri, modeller arasında önemli ölçüde farklılık gösterebilir ve bu da farklı tahminlere yol açar (Bony ve ark., 2006).

Model parametreleri: Modeller ayrıca çeşitli parametrelere (model denklemlerinde kullanılan değerler) dayanır. Bu parametrelerden bazıları, yerçekimi sabiti gibi iyi bilinirken, aerosol davranışının veya albedo etkisinin ölçülmesi gibi diğerleri daha az kesindir. Modeller arasında bu parametrelerdeki farklılıklar, farklı sonuçlara yol açabilir (Knutti, Masson ve Gettelman, 2013).

Başlangıç koşulları: Küresel iklim modelleri, iklim sisteminin kaotik doğası nedeniyle başlangıç koşullarına duyarlıdır. Bir modelin başlangıç durumundaki küçük farklılıkları, özellikle uzun vadeli tahminler için önemli farklılıklara neden olabilir (Deser ve ark., 2012). Tüm bu nedenler, küresel iklim modelleri arasında görülen çıktı aralığına katkıda bulunur; her modelin tahminleri, kendi özel yapısına, parametrelerine ve başlangıç koşullarına dayalı olarak makul bir sonuç sağlar. Bu farklılıkların mutlaka bir kusur olmadığını, bunun yerine gelecekteki makul iklim durumlarının aralığını yansıttığını not

etmek önemlidir. Bu sonuç yelpazesi genellikle "iklim belirsizliği" olarak adlandırılır ve devam eden iklim araştırmalarının odak noktasıdır (Stainforth ve ark., 2005).

1.3.3. Küresel İklim Değişikliğinin Vektör Kaynaklı Hastalıklarla İlişkisi

Küresel iklim değişikliği ile vektör kaynaklı hastalıklar arasındaki karmaşık ilişki, halk sağlığı ve çevre bilimi alanlarında artan bir endişe kaynağıdır. Sivrisinekler, keneler ve kum sinekleri gibi kanla beslenen arthropodlar tarafından insanlara ve diğer hayvanlara bulaşan vektörel hastalıklar, küresel bulaşıcı hastalık yükünün önemli bir kısmından sorumludur (Dünya Sağlık Örgütü, 2020).

Vektör organizmaların yaşam döngüsü ve taşıdıkları patojenlerin bulaşma dinamikleri, çevre koşullarından büyük ölçüde etkilenir. Sıcaklık, yağış ve aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğundaki değişimlerle karakterize edilen iklim değişikliği, bu parametreleri önemli ölçüde etkileyebilir (Patz ve ark., 2003).

Sıcaklık, vektörel hastalıkların bulaşmasının önemli bir belirleyicisidir. Vektör organizmalarının hayatta kalma ve üreme başarısını, beslenme sıklıklarını ve vektör içindeki patojenin kuluçka süresini etkileyebilir (Mordecai ve ark., 2013). Örneğin, sıtma veya dang humması gibi hastalıkları taşıyan sivrisinekler, optimum bulaşma için belirli bir sıcaklık aralığı gerektirir. Sıcaklıklar çok düşükse, sivrisinek içinde parazitler gelişemez; çok yüksekse, parazitler bulaşmaya hazır olmadan sivrisinek ölebilir (Ryan ve ark., 2019). Dolayısıyla küresel ısınma, vektör kaynaklı hastalıkların coğrafi yayılımındaki artışla ilişkilendirilebilir. Örneğin Siraj ve ark., 2014'e göre artan sıcaklıklar Kolombiya And Dağları'nda sıtmanın daha yüksek rakımlara ulaşmasına neden olabilir.

Yağış ve nem ayrıca vektör ekolojisi ve hastalık bulaşmasında önemli roller oynar. Örneğin, sivrisinekler durgun suda ürerler ve şiddetli yağışlar yeni üreme alanları oluşturabilir. Tersine, kuraklık, insan ve vektör popülasyonlarını kalan su kaynaklarının yakınına getirerek hastalık bulaşmasını teşvik edebilir (Dünya Sağlık Örgütü, 2020).

Kasırgalar ve seller gibi aşırı hava olayları, yeni üreme alanları oluşturarak vektör popülasyonlarını artırabilir. Vektör kaynaklı hastalıkların yayılmasını kolaylaştıracak şekilde çevreyi veya insan davranışlarını değiştirmek gibi dolaylı uzun vadeli etkileri de olabilir (Caminade, McIntyre ve Jones, 2019).

İklim değişikliği ile vektör kaynaklı hastalıklar arasındaki ilişki açık olsa da basit bir doğrusal ilişki değildir. Belirli bir eşiğin ötesinde, iklim değişkenlerindeki daha fazla değişiklik, vektörler ve hastalık bulaşması üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir. Örneğin, daha yüksek sıcaklıklar başlangıçta bazı hastalıkların bulaşmasını desteklese de aşırı yüksek sıcaklıklar sivrisineklerin hayatta kalmasını indirgeyerek hastalık riskini etkili bir şekilde azaltabilir (Ryan ve ark., 2019).

İklim değişikliğine uyum sağlama stratejileri, istemeden de olsa vektör kaynaklı hastalıkların yayılımını etkileyebilir. Örneğin, iklim değişikliği nedeniyle daha sık kuraklık yaşıyan bölgelerde, su depolama stratejileri yanlışlıkla sivrisinekler için ideal üreme alanları oluşturarak dang humması ve sıtma gibi hastalıkların yayılmasını teşvik edebilir (Reiter, 2008).

Küresel iklim değişikliği ile ilgili çalışmalar, vektör organizmalar ve vektör kaynaklı hastalıklar arasındaki karmaşık dinamikleri çözmek, iklim değişikliğine uyum ve hafifletme stratejilerinin çok önemli bir yönüdür.

1.4. Ekolojik Niş Modelleme Yaklaşımı

1.4.1. Niş Kavramı

Ekolojik niş kavramı, bir türün çevresinde sahip olduğu rolü ve konumu ve habitatındaki biyotik ve abiyotik faktörlerle nasıl etkileşime girdiğini açıklar. G. Evelyn Hutchinson'ın ekolojik niş kavramı, belki de ekolojideki en etkili tanımlardan biridir. Hutchinson, 'n'nin bir türü etkileyen veya tür tarafından etkilenen çevresel değişkenlerin sayısını temsil ettiği 'n boyutlu hiper hacim' fikrini ortaya attı (Hutchinson, 1957). Her boyut, bir türün hayatta kalması ve çoğalması için ihtiyaç duyduğu farklı bir çevresel koşul veya kaynaktır. Bir türün sıcaklık toleransı, yiyecek tercihleri, nem gereksinimleri bu boyutlara örnek olarak gösterilebilir. Hutchinson'ın niş kavramı temelde çok boyutlu bir alandır ve uzaydaki her nokta çevrenin olası bir durumunu temsil eder.

Hutchinson'ın niş teorisi, temel ve gerçekleştirilmiş niş olarak ikiye ayrılır. Temel niş, bir türün hayatta kalabileceği ve üreyebileceği tüm çevresel koşulları kapsarken, gerçek niş, türün rekabet, yırtıcılık ve diğer biyotik etkileşimler göz önünde bulundurularak fiilen işgal ettiği koşullar dizisidir. Hutchinson'ın niş kavramı, tür yayılımı ve bir arada yaşama, komünite yapısı ve tür özelliklerinin evrimi hakkındaki anlayışımızın merkezinde yer

almaktadır. Tür etkileşimleri ve çevrenin birlikte doğada gözlemlediğimiz biyoçeşitlilik kalıplarını şekillendirdiği fikrinin altını çizmektedir (Chase ve Leibold, 2009).

Jorge Soberon ve meslektaşları, tür dağılımı modellemesi bağlamında ekolojik niş kavramını geliştirdiler. Bu gelişme, mekânsal faktörleri dahil etme ve iklim değişikliği ve diğer büyük ölçekli çevresel değişiklikler ışığında türlerin yayılım modellerini tahmin etme ihtiyacına yanıt olarak ortaya çıktı. Soberon'un konsepti, ekolojik nişin BAH (Biyotik, Abiyotik ve Hareket) modeli olarak bilinir (Soberon ve Peterson, 2005). BAH modeli, türlerin yayılımının üç faktör grubu tarafından belirlendiğini öne sürer: Biyotik etkileşimler, Abiyotik koşullar ve Hareket kısıtlamaları.

Soberon'un modelinde, biyotik faktörler diğer organizmalarla etkileşimleri (rekabet ve avlanma gibi etkileşimler), abiyotik faktörler canlı olmayan çevresel değişkenleri (sıcaklık, yağış ve güneş ışığı faktörler) temsil eder ve hareket ise türlerin dispersal ve göç kapasitesini ifade eder. Hutchinson'ın n-boyutlu hiper hacmi hala çok önemli olsa da türlerin arazi üzerindeki gerçek yayılımının bu üç faktörün karşılıklı etkileşiminden kaynaklandığını vurgulamaktadır.

Soberon'un çerçevesi, türlerin çevresel koşullara göre coğrafi yayılımını tahmin etmeye çalışan ekolojik niş modelleme ve biyocoğrafya alanında özellikle etkili olmuştur. Bu, tür yayılımlarında önemli değişimlere yol açması beklenen iklim değişikliği ve habitat parçalanması dahil olmak üzere süregelen küresel çevresel değişikliklerin ışığında özellikle önemlidir (Soberón ve Nakamura, 2009).

Sonuç olarak, Hutchinson'ın ekolojik niş kavramı, türlerin ekosistemlerdeki rollerini anlamamızın temelini oluştururken, Soberon'un kavramı, daha geniş mekânsal ve zamansal faktörleri birleştirmek için bu temel üzerine inşa edilmiştir. Bununla birlikte, her iki kavram da bir türün ekolojik nişinin hem biyotik hem de abiyotik faktörlerin bir sonucu olduğunu ve bu etkileşimleri anlamamızın biyoçeşitliliği tahmin etmek ve yönetmek için kritik olduğunu vurgulamaktadır.

1.4.2. Ekolojik Niş Modellemesi

Ekolojik niş modellemesi, türlerin coğrafi yayılımını tahmin etmek için ekoloji, koruma biyolojisi ve iklim değişikliği araştırmaları dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılan bir yöntemdir. Çevresel verileri ve tür var kayıtlarını kullanan bu modeller, türlerin ekolojik ihtiyaçlarını ve tercihlerini anlamaya yardımcı olur, korunmaları için gerekli içgörülerini sağlar ve çevresel değişikliklere tepkilerini tahmin eder (Franklin, 2010).

Ekolojik niş modellemesi, bir türün sabit popülasyon boyutlarını koruyabileceği çevresel koşulları tanımlayan temel ekolojik niş kavramına dayanmaktadır. Bu ekolojik nişin coğrafi tezahürü, gerçekleşen niş olarak adlandırılır ve belirli bir ortamdaki tür yayılımını yansıtır (Hutchinson, 1957).

Ekolojik niş modelleri, iki ana girdi verisi türüne bağlıdır: tür var/bulunma kayıtları ve çevresel veriler. Bu iki veri türü, türlerin gözlemlendiği yerler ve bu konumların çevresel koşulları hakkında bilgileri içerir (Franklin, 2010).

Tür var kayıtları, belirli bir yer ve zamanda türlerin varlığının raporlarıdır. Bu var kayıtları tipik olarak saha araştırmaları, uzaktan algılama teknolojileri, müze koleksiyonları veya bilimsel literatür yoluyla elde edilir (Elith ve Leathwick, 2009). Veriler, kesin konum bilgilerini (genellikle enlem ve boylam) ve gözlem zamanını içerir. Son yıllarda vatandaş bilimi, tür var kayıtlarının değerli bir kaynağı olarak ortaya çıkmıştır. eBird, iNaturalist ve GBIF gibi platformlar hem amatörlerin hem de profesyonellerin gözlemlere katkıda bulunabileceği bilgi havuzlarıdır (Sullivan ve ark., 2009). Bununla birlikte, bu veri kümeleri genellikle mekânsal örneklemede yanlılıktan muzdariptir. Örneğin, belirli bölgeler (örneğin, şehirlerin yakınında veya popüler yürüyüş parkurları) fazla temsil edilebilirken, diğerleri (örneğin, uzak veya erişilemeyen alanlar) yetersiz örneklenebilir (Kéry, 2011).

Çevresel veriler, türlerin gözlemlendiği bir yerin fiziksel ve iklimsel koşullarını ifade eder. Bunlar sıcaklık, yağış, bitki örtüsü türü, toprak türü, yükseklik ve diğerleri gibi çok çeşitli faktörleri içerebilir. Çevresel değişkenlerin seçimi, türün bilinen ekolojik gereksinimleri tarafından yönlendirilir (Austin, 2002).

Bu çevresel katmanlar, meteoroloji veya jeoloji laboratuvarları gibi merkezler tarafından genellikle uzaktan algılama verilerinden (örneğin uydular) veya yer tabanlı ölçümlerin interpolasyonundan türetilir. Bazı iyi bilinen kaynaklar arasında iklim verileri için "WorldClim", toprak bilgileri için "Harmonize Dünya Toprak" veri tabanı ve arazi

kullanım verileri için “GCAM-Demeter-LU” bulunmaktadır (Hansen ve ark., 2000; Hijmans ve ark., 2005; Chen ve ark., 2020).

Ekolojik niş modellemesi için her biri kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri olan çok sayıda yöntem vardır. Bunlar genel olarak Profil, Regresyon Tabanlı ve Makine Öğrenimi algoritmaları olarak üç grupta incelenebilir.

Profil algoritmaları, bir türün kaydedildiği çevresel koşulların bir profilini veya "çerçevesini" oluşturan, yalnızca mevcudiyete dayalı yöntemlerdir. BIOCLIM bu kategoriye bir örnektir (Nix, 1986). Çevresel veri kayıtlarına dayalı olarak türün var olduğu bilinen çevresel koşulları tanımlar. Basit olması bir avantajdır, ancak değişkenler arasındaki karmaşık etkileşimleri hesaba katmaz. DOMAIN, var kayıtlarının bulunduğu bölgelere benzer koşulların nerede olduğunu tahmin etmek için bir benzerlik metriği kullanan başka bir profil algoritmasıdır (Carpenter, Gillison ve Winter, 1993). Bununla birlikte, BIOCLIM gibi, biyoiklimsel uygunluğu olduğundan fazla tahmin edebilir ve değişkenler arasındaki etkileşimleri hesaba katmaz.

Regresyon tabanlı algoritmalar, tür yayılımı ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için var-yok verilerini kullanır. Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (GLM'ler) ve Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAM'ler), regresyon tabanlı algoritmalara örnektir (Guisan ve Zimmermann, 2000). GLM'ler, çevresel değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu olarak türlerin var olma olasılığını modellemek için bir lojistik fonksiyon kullanırken, GAM'ler doğrusal olmayan ilişkilere izin vererek GLM'leri genişletir. Bu yöntemler, değişkenler arasındaki karmaşık etkileşimleri modelleyebilir, ancak performansları yüksek boyutlu verilerle düşebilir.

Makine Öğrenimi algoritmaları, çoklu çevresel değişkenler arasındaki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri ve etkileşimleri modelleme yetenekleri nedeniyle tercih edilirler. MaxEnt, her bir çevresel değişkenin beklenen değerinin ampirik ortalamasıyla eşleşmesi kısıtlamasına tabi olarak maksimum entropinin (yani en düzgün dağılımın) dağılımını tahmin eden bir arkaplan/var makine öğrenimi algoritmasıdır (Phillips, Anderson ve Schapire, 2006). MaxEnt, karmaşık veri kümelerini işlemede etkilidir, ancak sonuçlarını yorumlamak zor olabilir. Rastgele Orman (RF), çoklu karar ağaçları oluşturan ve bunların tahminlerini toplayan bir var-yok makine öğrenimi algoritmasıdır (Cutler ve ark., 2007). RF, karmaşık etkileşimler ve doğrusal olmayan durumlarla başa çıkmak için mükemmeldir, ancak MaxEnt gibi yorumlaması zor olabilir.

Birden çok modelden elde edilen tahminleri birleştiren topluluk (ensemble) modellemesi, alandaki bir diğer önemli gelişmedir. Bu yaklaşım, model doğruluğunu geliştirir ve tahminlerde bir belirsizlik ölçüsü sağlar (Araújo ve New, 2007).

Sonuç olarak, algoritma seçimi mevcut verilerin doğasına, ekolojik ilişkilerin karmaşıklığına ve çalışmanın özel gereksinimlerine bağlıdır.

Ekolojik niş modellemesi uygulama alanları geniş ve çok disiplinlidir. Koruma biyolojisinden, yüksek tür zenginliği olan alanların belirlenmesine veya nesli tükenmekte olan türler için kritik habitatların belirlenmesine yardımcı olabilir (Franklin, 2010). İstilacı türlerin potansiyel yayılmasını tahmin edebilir ve onların yönetimi için gerekli bilgileri sağlayabilir (Peterson, 2003). Araştırmacılar ayrıca modelleri gelecekteki iklim senaryolarına yansıtarak, türlerin yayılımlarının gelecekte nasıl değişebileceğini tahmin edebilirler.

Geniş kapsamlı uygulamalarına rağmen, ekolojik niş modellerinin çeşitli sınırlamaları vardır. Var verilerinin kalitesi ve eksikliği genellikle bir endişe kaynağıdır. Ek olarak, birçok model türlerin çevreleriyle denge içinde olduğunu varsayar, bu da göç bariyerleri, rekabet ve insan faaliyetleri gibi faktörler nedeniyle doğru olmayabilir (Pearson ve Dawson, 2003). Bununla birlikte, genellikle biyotik etkileşimleri, tür adaptasyonunu ve dağılım sınırlamalarını gözden kaçırmalar (Kearney ve Porter, 2009).

1.4.3. MaxEnt Modelleme Yöntemi

MaxEnt, eksik bilgilerden tahminler veya çıkarımlar yapmak için kullanılan bir yöntemdir. Maksimum Entropi ilkesi, bilgi teorisindeki entropi kavramına dayanmaktadır. Bu ilke, mevcut bilgi durumunu en iyi temsil eden olasılık dağılımının en büyük entropiye sahip olan olduğunu öne sürer (Jaynes, 1957).

Tür dağılım modellemesi bağlamında, MaxEnt algoritması, yüksek tahmin performansı, farklı veri türlerini işleme yeteneği ve hesaplama verimliliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. MaxEnt, eksik bilgilerin, özellikle yalnızca varlığa dayalı verilerin (tür gözlemleri) ve çevresel veya biyoklimatik değişkenlerin en iyi şekilde kullanılması için tasarlanmıştır (Phillips, Anderson ve Schapire, 2006). MaxEnt modelleri, bir dizi çevresel değişken ve tür varlığı kayıtları kullanılarak oluşturulur. Bu çevresel değişkenler, türlerin potansiyel yayılım alanlarını oluşturmak için kullanılır.

MaxEnt algoritması, tür dağılım modellerinin sonucunu önemli ölçüde etkileyebilecek birkaç ayarlanabilir parametreye sahiptir. Bu parametreleri anlamak, modelleri etkin bir şekilde yorumlamak ve kullanmak için çok önemlidir (Elith ve ark., 2011).

Düzenleştirme Çarpanı, model karmaşıklığı ile fazla uydurma arasındaki dengeyi kontrol eder. Düzenli hale getirme, aşırı karmaşık modelleri caydırmak için kayıp işlevine bir ceza eklemeyi içeren, makine öğreniminde ve istatistiksel modellemede yaygın bir tekniktir. MaxEnt söz konusu olduğunda, daha yüksek bir düzenleştirme çarpanı, daha yumuşak (daha az karmaşık) bir modele yol açarken, daha düşük bir düzenleştirme çarpanı, verilere gereğinden fazla uyan daha ayrıntılı bir modelle sonuçlanabilir.

MaxEnt öznelik sınıfları, tür var verileri ve çevresel değişkenler arasındaki çeşitli ilişkileri modelleyebilir. Doğrusal, Linear, "L": Tür var verileri ile çevresel değişken arasında lineer bir ilişki olduğunu varsayar. Türlerin ortaya çıkma olasılığı, değişkenle birlikte sürekli olarak artar veya azalır. Karesel, Quadratic, "Q": tür var verileri ile çevresel değişken arasında eğri bir ilişki olduğunu varsayar. Bu genellikle, türlerin ortaya çıkma olasılığı değişkenin orta değerinde zirve yaptığı veya düştüğünde kullanılır. Çarpım, Product, "P": değişken çiftleri arasındaki etkileşimleri temsil eder. Bu, bir çevresel değişkenin türün biyoiklimsel uygunluğu için başka bir değişkenin değerine bağlı olduğunda faydalı olabilir. Kıvrım, Hinge, "H": parçalı doğrusal fonksiyondur. Biyoiklimsel uygunluğun yalnızca çevresel değişken belirli bir eşiği aştığında arttığını veya azaldığını varsayar. Kategorik: Bu özellik türü, kategorik çevresel değişkenler için kullanılır. Model, türlerin oluşma olasılığının her kategori için farklı olduğunu varsayar, ancak kategorilerin belirli bir sırasını varsaymaz.

MaxEnt, tür yayılımını tahmin etmek için gözlemlenen tür var verileriyle birlikte bir dizi "arka plan" noktası kullanır. Bu parametre, kullanılacak bu tür noktaların maksimum sayısını belirler. Daha fazla nokta, özellikle daha geniş çalışma alanlarında yayılımın daha iyi tahmin edilmesini sağlayabilir, ancak aynı zamanda hesaplama süresini de uzatacaktır.

"Clamping", modelin tahminleri yeni ortamlara, yani eğitim verilerinde bulunmayan çevresel koşullara nasıl tahmin ettiğini ele alan bir özelliktir. "Clamping" seçeneği açıksa MaxEnt, türün eğitim aralığının sınırdaki tepkileriyle aynı şekilde eğitim aralığı dışındaki koşullara yanıt verdiğini varsayar. Bu, yeni ortamlarda aşırı iyimser tahminleri

önleyebilir, ancak modelin potansiyel aralık genişlemelerini veya kaymalarını tahmin etme yeteneğini de sınırlayabilir.

Bu parametreler genellikle deneme yanılma yoluyla ve türlerin ve eldeki verilerin iyi anlaşılmasıyla belirlenir. Nihai dağılım modelini önemli ölçüde etkileyebilirler ve bu nedenle MaxEnt kullanılırken dikkatle değerlendirilmeleri gerekir (Merow, Smith ve Silander Jr, 2013).

MaxEnt, yalnızca var verilerini etkili bir şekilde işler ve bu da onu birçok ekolog için çekici bir yöntem haline getirir. Değişkenler arasındaki karmaşık etkileşimleri birleştirerek tür-çevre ilişkilerinin daha doğru modellenmesine izin verebilir (Elith ve ark., 2011). Küçük örneklem boyutlarında çeşitli algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (Hernandez, Graham ve Master, 2006). Sürekli ve kategorik veriler dahil olmak üzere farklı türdeki verileri işleyebilir ve çeşitli çevresel değişken türlerine uyarlanabilir. Elith ve ark., 2006'ya göre MaxEnt diğer modelleme tekniklerine kıyasla tür yayılımlarını tahmin etmede daha başarılıdır.

1.4.4. Ekolojik Niş Modellerinin Epidemiyolojik Çalışmalar için Önemi

Temel olarak ekolojik niş modelleri, bir türün var olduğu bilinen çevresel koşullara dayalı olarak coğrafi yayılımını tahmin ettikleri için vektör kaynaklı hastalıkların bulaşmasını da anlamaya yardımcı olurlar.

Vektör türlerinin coğrafi yayılımı ve bolluğu, esas olarak sıcaklık, yağış ve nem gibi çevresel faktörlerden etkilenir (Murray ve ark., 2018). Bu faktörler, vektörlerin ekolojik nişini, yani popülasyonlarını koruyabilecekleri veya artıracabilecekleri çevresel koşulları oluşturur.

Ekolojik niş modelleri, hastalık bulaşma riski taşıyan alanları tahmin etmek için bu çevresel koşulları bilinen vektör yayılımıyla ilişkilendirebilir. Ayrıca bu modeller, iklim değişikliği veya arazi kullanımı değişikliği gibi küresel değişikliklere yanıt olarak hastalık riskindeki değişiklikleri tahmin edebilir (Peterson, 2014).

Birçok viral hastalık için vektör olan Asya kaplan sivrisineğinin (*Aedes albopictus*) mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği senaryoları altında potansiyel yayılımını arttıracığı gösterilmiştir (Proestos ve ark., 2015). Başka bir çalışmada, *Borrelia burgdorferi* patojeninin ana vektörü olan *Ixodes scapularis*'in ekolojik gereksinimlerine

yönelik yapılan modelleme çalışması, Lyme hastalığının potansiyel yayılım alanını anlamak için kullanılmıştır (Diuk-Wasser ve ark., 2012).

Ekolojik niş modelleri, vektör kaynaklı hastalıkların ekolojik dinamikleri hakkında paha biçilmez bilgiler sağlarken, sınırlamalarının da olduğunu not etmek önemlidir. Örneğin, genellikle türlerin nişlerinin zaman ve mekân üzerinde sabit olduğunu varsayarlar ve biyotik etkileşimleri ve dağılma sınırlamalarını hesaba katmazlar (Soberon ve Peterson, 2005). Ek olarak, özellikle vektör kaynaklı hastalıkların yükünün en yüksek olduğu düşük gelirli ülkelerde veri mevcudiyeti ve kalitesi bu çalışmaları önemli ölçüde sınırlayabilir. Bu gibi nedenler dolayısıyla vektör kaynaklı hastalıkların tahmini için niş modellerinin uygulanması, bu hastalıkların karmaşıklığını yakalamak için diğer yöntemlerle entegre edilmelidir.

1.5. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, leishmaniasisin kanıtlanan vektörlerinden birisi olan ve ülkemizde de geniş bir coğrafi yayılıma sahip olan *Phlebotomus tobbi*'nin mevcut ve gelecekteki biyoiklimsel uygun yaşam alanlarını, ekolojik niş modelleme yöntemleri ile belirlemek ve analiz etmektir. Çalışmada, CNRM, IPSL, BCC, MIROC ve CanESM5 olmak üzere beş farklı küresel iklim modeli kullanılarak, bu modeller arasındaki tahminler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gelecekteki biyoiklimsel uygun alanların değişimini detaylı olarak anlamak amacıyla, her bir küresel iklim modeli için dört farklı senaryo (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) ve her senaryo için dört farklı zaman diliminde (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100) gelecek projeksiyonları oluşturulmuştur.

Literatürden elde edilmiş sınırlı var verisinin yanı sıra literatürde bulunmayan ve oldukça geniş bir coğrafyadan örneklenmiş var verisi de model girdisi olarak kullanılmıştır. Bu özellikle geniş yayılışlı türlerin günümüz ve gelecek biyoiklimsel uygunluk alanlarının daha doğru bir biçimde tahminlenmesi açısından önemlidir.

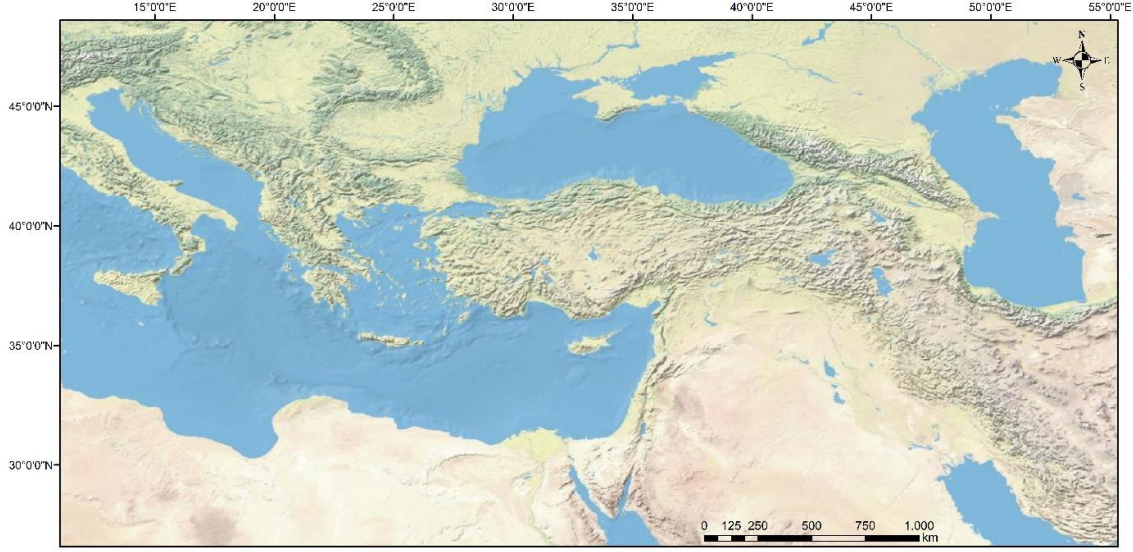
Hastalık kontrolü açısından leishmaniasis'in taşınmasında önemli bir rol oynayan bu vektörün gelecekteki biyoiklimsel uygun alanlarının belirlenmesi, hastalığın yayılmasını önleme stratejilerinin daha etkili bir şekilde planlanmasına ve türün çevresel koşullara tepkisinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir. Bu da iklim değişikliği etkilerini incelemek ve belki de diğer türlerin nasıl tepki vereceğini tahmin etmek için değerli

bilgiler sunabilir. Ayrıca çalışmanın sonuçları hem *Phlebotomus tobbi*'nin kendi popülasyonu hem de bu vektörün etkileşim içinde olduğu diğer türlerle ilgili bilgiler sağlayabilir.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Model çıktılarının oluşturulacağı coğrafi alan *Phlebotomus tobbi* türünün mevcut yayılım alanını ve gelecekte yayılış gösterebileceği alanları içerecek şekilde, 11°00' - 55°19' doğu boylamları ve 26°34' - 48°30' kuzey enlemleri arasında kalan bölge olarak belirlenmiştir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Modellerin günümüz ve gelecek projeksiyonu için çalıştırılacağı coğrafi alan.

2.2. *Phlebotomus tobbi*'nin Ekolojik Nişi ve Yayılım Alanının Modellenmesi İçin Kullanılan Veriler

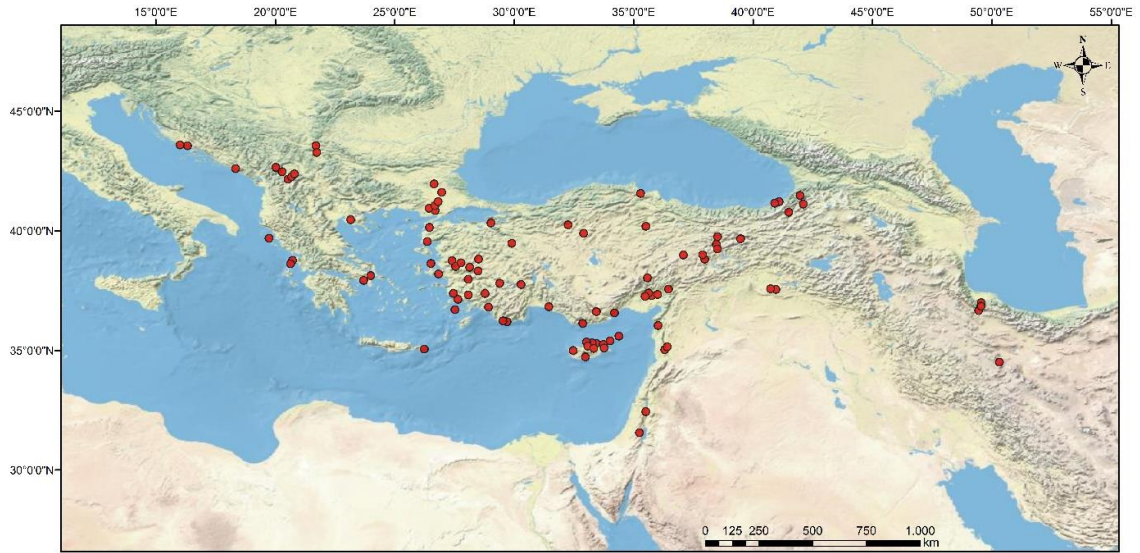
2.2.1. Var Verisi

Bu tez çalışmasında, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Özge Erişöz Kasap'ın Türkiye'den 2004-2019 yılları arasında arazi çalışmaları boyunca topladığı var/bulunma verisine ek olarak, 2023 yılına kadar kum sinekleri ile ilgili olarak gerçekleştirilmiş tez çalışmalarından ve akademik yayın arama platformlarından (SCOPUS, WoS ve PubMed) "*Phlebotomus tobbi*" anahtar kelimesi kullanılarak taranan yayınlardan elde edilen var verisi (2007-2021 yılları arasına ait) kullanılmıştır (Tok, 2007; Töz ve ark., 2009; Demir, Gocmen ve Özbel, 2010; Ermiş, 2011; Faiman ve ark., 2011; Xanthopoulou ve ark., 2011; Živičnjak ve ark., 2011; Ergunay ve ark., 2012; Abedi-Astaneh ve ark., 2015; Haddad ve ark., 2015; Kavur ve

ark., 2015; Dokianakis ve ark., 2016; Ayhan ve ark., 2017; Karakus, Gocmen ve Özbel, 2017; Burhan, 2018; Kaynaş, 2019; Vaselek ve ark., 2019; Dvořák ve ark., 2020; Norouzi ve ark., 2020; Omondi, Demir ve Arserim, 2020; Salah ve ark., 2020; Vaselek ve ark., 2020; Giantsis ve ark., 2021; Pekağırbaş ve ark., 2021).

Koordinat verisi olmaksızın şehir veya köy ismi belirtilen kaynaklar çalışmaya dahil edilmemiş ve yalnızca açık coğrafi koordinatlara sahip var verisi kullanılmıştır. Elde edilen tüm var verileri modele girmeye hazır hale getirilmeleri amacıyla ondalık dereceye dönüştürülmüştür.

Modelde kullanılacak 217 var verisine, yanlı örneklemin olumsuz etkilerine karşı 15 km’lik alansal seyreltme uygulanmıştır (Boria, Olson ve Goodman, 2014). Seyreltme sonucu 94 var verisi elde edilmiştir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. *Phlebotomus tobbi* var verisinin coğrafi alandaki yayılımı.

2.2.2. Biyoiklimsel Veriler

Biyoiklimsel veri, hem günümüz hem de gelecek için 30 saniye alansal çözünürlükte WorldClim 2.1 veri tabanından elde edilmiştir (Fick ve Hijmans, 2017). Bu veri tabanının içerdiği 19 biyoiklimsel değişken (Çizelge 2.1.), günümüz için 1970-2000 yıllarının ortalamasından oluşurken, gelecek için farklı “Küresel İklim Modelleri”nin 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarına ait “Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar”ına (SSP) dair tahmin değerlerinden oluşur.

Çizelge 2.1. 19 Biyoiklimsel değişkene ait özetleyici bilgiler.

| Değişken | Tanım | Zamansal Ölçek |
|-----------------|--|-----------------------|
| BIO1 | Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C) | Yıllık |
| BIO2 | Aylık Sıcaklık Aralıklarının Ortalaması (°C) | Aylık |
| BIO3 | İzotermalite (BIO2/BIO7) (×100) | Varyasyon |
| BIO4 | Sıcaklık Mevsimselliği (°C) | Varyasyon |
| BIO5 | En Sıcak Ayın En Yüksek Sıcaklığı (°C) | Aylık |
| BIO6 | En soğuk Ayın En Düşük Sıcaklığı (°C) | Aylık |
| BIO7 | Yıllık Sıcaklık Aralığı (°C) | Yıllık |
| BIO8 | En Yağışlı Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı (°C) | Çeyrek |
| BIO9 | En Kurak Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı (°C) | Çeyrek |
| BIO10 | En Sıcak Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı (°C) | Çeyrek |
| BIO11 | En Soğuk Çeyreğin Ortalama Sıcaklığı (°C) | Çeyrek |
| BIO12 | Yıllık Düşen Yağış Miktarı (mm) | Yıllık |
| BIO13 | En Yağışlı Ayın Yağış Miktarı (mm) | Aylık |
| BIO14 | En Kurak Ayın Yağış Miktarı (mm) | Aylık |
| BIO15 | Yağış Mevsimselliği | Varyasyon |
| BIO16 | En Yağışlı Çeyreğin Yağış Miktarı (mm) | Çeyrek |
| BIO17 | En Kurak Çeyreğin Yağış Miktarı (mm) | Çeyrek |
| BIO18 | En Sıcak Çeyreğin Yağış Miktarı (mm) | Çeyrek |
| BIO19 | En Soğuk Çeyreğin Yağış Miktarı (mm) | Çeyrek |

Bu çalışma kapsamında 19 biyoiklimsel değişken içinden en yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO8), en kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı (BIO9), en sıcak çeyreğin yağışı (BIO18) ve en soğuk çeyreğin yağışı (BIO19) analizlere dahil edilmemiştir. Bunun sebebi çalışma alanı içindeki bazı bölgelerde bahsedilen değişkenlerin komşu raster hücreleri arasındaki ayrık değerlerin sebep olduğu uzamsal yırtılmalardır. Bu tarz yırtılmalar model çıktısını saptırma riski taşımaktadır.

Biyoiklimsel değişkenler modelde kullanılacak arka plan sınırları dahilinde ikili korelasyon analizine sokulmuştur. Hesaplama kullanılan raster hücre sayısı 10000, korelasyon eşik değeri ise 0,8 olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu elde edilen korelasyon matrisine dayanarak 22 farklı biyoiklimsel değişken seti oluşturulmuştur. Modelleme

aşamasında bahsedilen yöntemle birlikte BIO1, BIO2, BIO3, BIO4, BIO14, BIO15 ve BIO16 nihai biyoiklimsel değişkenler olarak seçilmiştir.

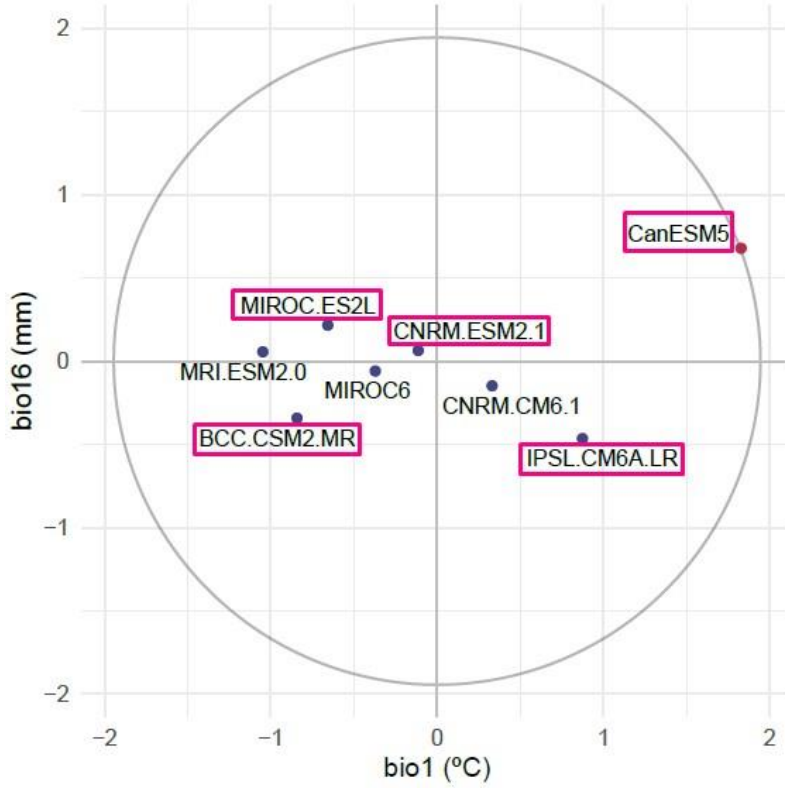
Gelecek projeksiyonları için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 yıl aralıklarına ait SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP4-8.5 senaryoları değerlendirilmiştir. IPCC'nin 6. Raporunda açıkladığı "Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar"a göre tahminleme yapan beş farklı küresel iklim modeli kullanılmıştır (Chen ve ark., 2021). Küresel iklim modellerinin seçimi sonraki paragraflarda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

R programlama yazılımı paketlerinden biri olan GCMCompareR, küresel iklim modellerini seçilen yıl aralığı ve senaryolar bakımından 10 dakika alansal çözünürlükte seçilen biyoiklimsel değişkenler özneline birbiriyle karşılaştırmaktadır (Fajardo ve ark., 2020).

Nihai biyoiklimsel değişken setiyle yapılan model sonuçlarına göre modele en yüksek katkıyı sunan BIO1 ve BIO16 değişkenleri GCMCompareR paketi ile analize sokulmuştur. Bu analiz için seçilen alan modelde kullanılacak çalışma alanı sınırlarını (11°00' - 55°19' doğu boylamları ve 26°34' - 48°30' kuzey enlemleri) yansıtmak şeklinde belirlenmiştir. Küresel iklim modellerinin seçiminde standardizasyonu sağlamak amacıyla 2081-2100 zaman periyodundaki SSP5-8.5 senaryosu dikkate alınmıştır. Bu seçim iklim değişiminin uzun vadede en kötü senaryodaki etkileri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda gelecekteki farklı tahminleme durumunu yansıtmaya göre beş farklı küresel iklim modeli (Çizelge 2.2., Şekil 2.3.) seçilmiştir.

Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen küresel iklim modelleri.

| Küresel İklim Modeli | Modelleyen Grup |
|-----------------------------|---|
| CanESM5 | Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis |
| CNRM-ESM2-1 | National Center for Meteorological Research, Météo-France and CNRS laboratory |
| IPSL-CM6A-LR | Institut Pierre-Simon Laplace |
| BCC-CSM2-MR | Beijing Climate Center, China Meteorological Administration |
| MIROC-ES2L | Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology |



Şekil 2.3. GCM'lerin 2080-2100 yıl aralığı ve SSP5-8.5 senaryosuna göre BIO1 ve BIO16 değişkenleri açısından gelecek tahmini varyasyonları. Renkli kutucuk içine alınanlar, modellerde kullanılmak üzere seçilen küresel iklim modelleri.

İklim Hassasiyeti Dengesi (ECS), atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun sanayi öncesi durumuna göre iki katına çıkmasından sonra meydana gelen küresel yüzey ısınmasını tanımlar. Küresel ısınmanın gelecekte ne derece şiddetli olacağını göstergelerinden biridir (Charney ve ark., 1979).

Gregory metodu kullanılarak hesaplanan ECS değerlerinin (Carbon Brief, 2023) incelenmesi sonucunda, CMIP6 küresel iklim modelleri kapsamında seçilen GCM'lerin genel bir temsiliyeti sağladığı görülmüştür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. CMIP6 modelleri için hesaplanmış ECS değerleri (°C). Renkli kutucuk içine alınan küresel iklim modelleri bu tez çalışması kapsamında kullanılanları gösterir.

2.3. Modelleme Aşaması

MaxEnt yazılımı ve modüller, R temelli Wallace Platformu kullanılarak, *Ph.tobbi* için günümüz ve gelecekteki biyoiklimsel uygun alanlar modellenmiştir (Phillips ve ark., 2017; Gür, 2019; Kass ve ark., 2023). Nihai model projeksiyonu, beş farklı Küresel iklim modeli için dört farklı senaryoda (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP4-8.5) gelecek projeksiyonlarını içermektedir. Bu projeksiyonlar, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerini kapsamaktadır. Genel olarak aşağıdaki metodolojik süreç izlenmiştir.

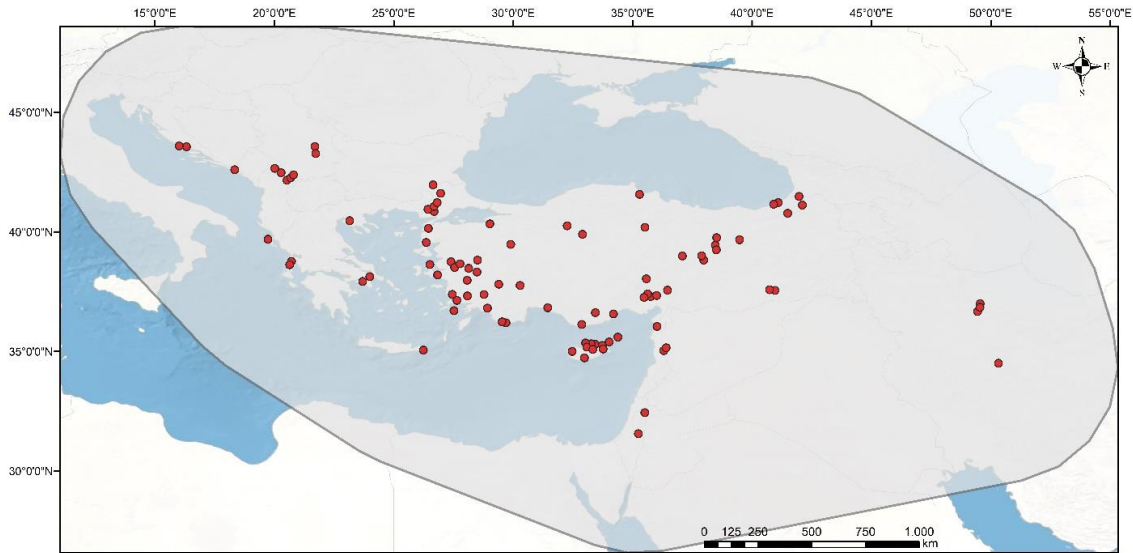
2.3.1. Arka Plan Alanı ve Nokta Sayısı

MaxEnt, tür yayılımını tahmin etmek için gözlemlenen tür var kayıtlarıyla birlikte bir dizi "arka plan" noktası kullanır. Arka plan nokta verisinin arka plan alanına eşit bir şekilde dağılması istenir. Coğrafi olarak büyük bir arka plan alanının seçilmesi yüksek sayıda arka plan nokta verisi kullanılacağı anlamına gelmemelidir. Çünkü kullanılan değişkenlerin çözünürlüğü çok düşükse toplamdaki hücre sayısı da düşük olacaktır. Böyle bir durumda arka plan nokta verisine çalışma alanındaki toplam hücre sayısına bakılarak karar verilmelidir.

Arka plan alanının belirlenmesi niş modeli sürecindeki en önemli aşamalardan biridir. Bu alan türün dispersal yoluyla ulaşabileceği coğrafi alanın belirlenmesini sağlar. Aynı zamanda belirlenecek arka plan alanı modelde kullanılacak değişkenlerin değer aralıklarını değiştireceği için model sonuçlarına da etki edecektir.

Seçilen arka plan alanı, uzman görüşü ve ilgili taksonun biyocoğrafi tarihi göz önüne alınarak var verisinin “minimum konveks poligon” metodu ile coğrafi düzlemde sınırlandırılıp üzerine beş derece tampon bölge eklenmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 2.5.).

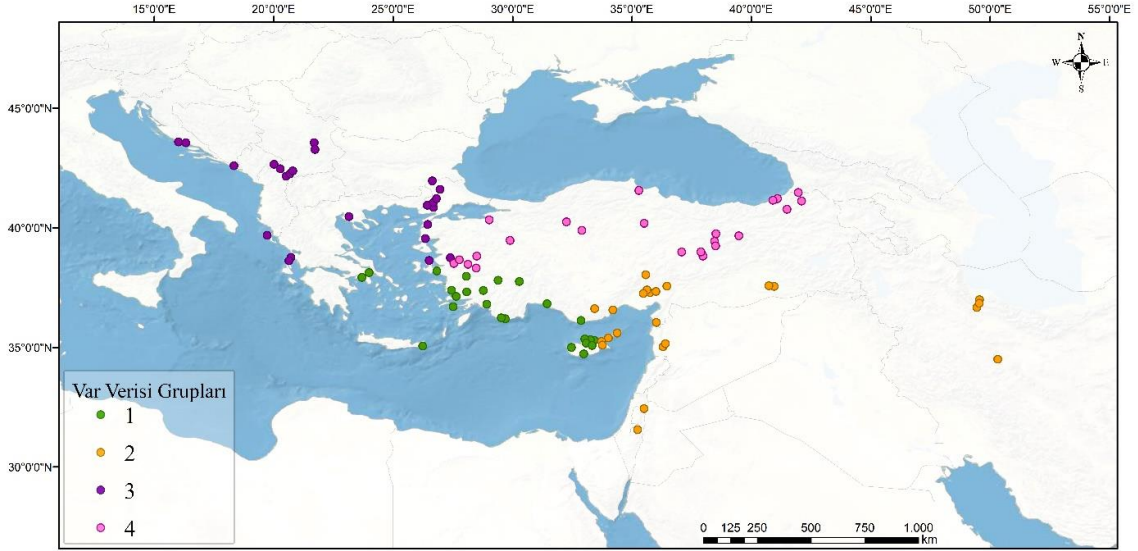
Bu çalışma için arka plan nokta verisi toplam hücre sayısı (6.902.262) göz önünde tutularak 10.000 olarak seçilmiştir.



Şekil 2.5. Modellemeler için kullanılan minimum konveks poligon yöntemi ile oluşturulmuş 5 derecelik arka plan alanı.

2.3.2. Var Verisinin Bölümlenmesi

Model performansı ve önemi, var verisi bölümlenerek gerçekleştirilmiştir: bu bölümler modeli eğitmek için ve modeli değerlendirmek için ayrılanlar olarak sınıflandırılır. Var verisi, farklı bir zaman dilimine model transferi de gerçekleştirileceği için alansal bölümlenme blok yöntemi kullanılarak bölümlenmiştir. Alansal bölümlenme metodu olarak $k=4$ kullanılarak var verisi dört bölüme ayrılmıştır (Şekil 2.6.). Bu bölümlerden üçü modeli geliştirmek, biri ise modeli değerlendirmek için kullanılmıştır, yani her bölüm hem modeli geliştirmek hem de değerlendirmek için kullanılmıştır.



Şekil 2.6. Var verisinin k=4 alansal bölümlenme yöntemi ile bölümlenmiş hali.

2.3.3. Model Karmaşıklığı ve Nihai Değişken Setinin Belirlenmesi

MaxEnt algoritmasında model karmaşıklığını düzenleyen iki parametre vardır: (a) öznitelik sınıfları (Doğrusal, Linear, “L”; Karesel, Quadratic, “Q”; Kıvrım, Hinge, “H” ve Çarpım, Product, “P”) ve (b) düzenleme çarpanı. Bu iki parametrenin seçenekleri aracılığıyla, model karmaşıklığı düzenlenebilir.

Seçilen öznitelik sınıf kombinasyonları şu şekildedir: LQ, LQH ve LQHP. Model karmaşıklığı, LQ’den LQHP’ye doğru artar. Düzenleme çarpanı her öznitelik kombinasyonu için 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 ve 5.0 olarak seçilmiştir. Değer arttıkça, model basitleşir.

Model karmaşıklığını düzenleyen parametreleri ve nihai değişken setini belirleme amacıyla 3 farklı öznitelik sınıfı kombinasyonu, 9 farklı düzenleme çarpanı seçeneği ve 22 biyoiklimsel değişken setiyle çalıştırılan toplam 594 model test edilmiştir.

2.3.4. Extrapolate ve Clamping

MaxEnt ayarlarında bulunan ‘Extrapolate’, gözlemlenen çevresel koşullar aralığının dışında tahminler yapma sürecini ifade eder. Model, gözlemlenen veri aralığının ötesinde varsayımlarda bulunmaya zorlandığından, bu durum güvenilir veya hatalı tahminlere yol açabilir. Bir başka ayar olan ‘Clamping’, modelin çıktı değerlerini eğitim verilerinde

gözlemlenen minimum ve maksimum değerlerle sınırlar. Bu, yeni çevre koşullarında gerçekçi olmayan veya aşırı iyimser tahminlerde bulunma riskini azaltmaya yardımcı olur.

Modeller, “Extrapolate” ve “Clamping” birlikte seçilerek çalıştırılmıştır.

2.3.5. Model Çıktı Biçimi ve Eşik Değeri

MaxEnt modellemede, modelin tahminlerini temsil eden dört farklı çıktı biçimi vardır. Bunlar; ‘cloglog’, ‘lojistik’, ‘kümülatif’ ve ‘ham’ çıktı biçimleridir. Bu biçimler, model sonuçlarını dönüştürmek ve yorumlamak için çeşitli seçenekler sunar. Çıktı formatının seçimi, araştırma sorusuna, tür verilerinin doğasına ve modelin tahminlerinin kullanım amacına bağlıdır. ‘cloglog’ dönüşümü, model çıktısının olasılık değerlerini 0 ile 1 arasında sınırlandırır. 1’e doğru artan dönüştürülmüş değerler, habitat uygunluğunun daha yüksek olasılıklarını gösterirken, 0’a doğru azalan dönüştürülmüş değerler, habitat uygunluğunun daha düşük olasılıklarını veya uygun olmamasını gösterir.

Bu çalışma kapsamında oluşturulmuş olan tüm haritalarda ‘cloglog’ çıktı formatı kullanılmış olup, var-yok (binary) haritaları oluşturulurken %10 eğitim var verisi eşik değeri uygulanmış ve kayıp kazanç haritaları bu şekilde oluşturulmuştur.

2.3.6. Model Değerlendirme Metriği

Model değerlendirme metriği, tahmine dayalı bir modelin, algoritmanın veya sistemin performansını değerlendirmek için kullanılan nicel bir ölçüdür. Model tarafından üretilen çıktıların kalitesini, doğruluğunu veya yararlılığını belirlememizi sağlar ve farklı model veya yaklaşımları karşılaştırmak için bir temel sağlar. Literatürde kullanılan bazı değerlendirme metrikleri şunlardır; Eğri Altındaki Alan (AUC), İhmal Oranı (OR), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Sürekli Boyce Endeksi (CBI).

Alıcı İşlem Karakteristiği (ROC), bir olasılık eğrisidir ve AUC ayrılabilirlik derecesini veya ölçüsünü temsil eder (Fawcett, 2006). AUC değeri, 0 ile 1 arasında değişen değerler alabilir. Daha yüksek AUC değerine sahip olan modelin, daha iyi bir sınıflandırma performansına sahip olduğu düşünülür.

İhmal Oranı, modelin tahmin edemediği gerçek varlıklardır. Tür dağılım modelleri için, 0'lık bir ihmal oranı, modelin tüm var verilerini doğru bir şekilde tahmin ettiği anlamına gelirken, 1'lik bir ihmal oranı, modelin herhangi bir varlığı tahmin edemediği anlamına gelir. Daha az tahmin hatası önerdiği için daha düşük ihmal oranı değerleri arzu edilir.

Akaike Bilgi Kriteri, farklı modelleri karşılaştırmak için kullanılan, uyum iyiliğini ödüllendiren ama aynı zamanda model karmaşıklığı için bir ceza içeren (fazla uydurmayı önlemek için) bir ölçüdür (Akaike, 1974). Daha düşük AIC değerleri, daha iyi uyan modelleri gösterir. Yakın zamanlı yayınlanmış bir çalışmada (Velasco ve González-Salazar, 2019), dokuz sanal tür üzerinden farklı örneklem boyutlarıyla gerçekleştirilmiş analizler sonucunda bu değer tahmin odaklı (yani, potansiyel biyoiklimsel uygunluk alanlarının belirlenmesi) modellere bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir.

Sürekli Boyce indeksi (CBI) ekolojik niş modellerinde kullanılan bir değerlendirme metriğidir (Hirzel ve ark., 2006). 0 ile 1 arasında aldığı değerler model doğruluğunu yansıtır. 1'e yaklaştıkça model doğruluğu da artar. Birçok değerlendirme metriği “yok” veya “yalancı yok” verisine ihtiyaç duyar, ancak CBI sadece “var” verisi üzerinden çalışır.

Yukarıda bahsedilen değerlendirme metriklerinin her biri, model performansına ilişkin farklı içgörüler sağladığından, tür dağılım modellerini oluştururken ve değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken önemli kriterlerdir. Ayrıca, bu ölçümlerden hiçbirinin tek başına düşünülmemesi gerektiğini, bunun yerine model performansının daha eksiksiz bir resmini sağlamak için uyum içinde kullanılması gerektiğini belirtmekte fayda var.

Bu çalışma kapsamında sadece var verisi kullanıldığı için temel değerlendirme metriği CBI olarak seçilmiştir. Bununla birlikte seçilen en yüksek CBI değerine sahip modelin, İhmal oranı değerinin düşük, AUC değerinin rastgele tahmini gösteren 0,5 değerinden olabildiğince yüksek olmasına dikkat edilmiştir.

2.4. Haritalandırma

Günümüz ve gelecek projeksiyonlarıyla birlikte bunlara bağlı olarak oluşturulan kazanç-kayıp haritaları, MaxEnt raster dosya çıktısı kullanılarak Arcgis v10.8 programında (Esri, 2020) yapılmıştır.

Kullanılan dört farklı senaryo altında beş farklı küresel iklim modeli ve dört farklı zaman periyodunda 80 adet gelecek projeksiyonu haritası oluşturulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde CanESM5 ve BCC-CSM2-MR iklim modellerinde Worldclim veritabanı kaynaklı sorun olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple bahsedilen iklim modellerine ait sonuçlar çalışmadan çıkarılmıştır (WorldClim veri tabanı, Erişim: 3 Mart 2023).

Var-yok (binary) haritaları oluşturulurken kullanılan %10 eğitim var verisi eşiği, var konumlarındaki (eğitim verileri) tahmin edilen uygunluk değerlerinin ampirik dağılımını kullanan nicelik tabanlı bir yöntemdir. Eşiği bu değerlerin %10'luk dilimine göre ayarlar. Bu, gözlemlenen var verilerinin en düşük %10'luk kısmının modelin öngörüsünde olası yokluklar olarak kabul edilirken geri kalanının (ilk %90'luk kısım) tahmin edilen varlıklar olarak kabul edildiği anlamına gelir.

Oluşturulan var-yok haritaları kullanılarak, iki farklı zaman dilimi veya senaryo arasındaki biyoiklimsel uygunluk alanlarını değerlendirmemize olanak sağlayan kazanç-kayıp haritaları oluşturulmuştur. Bir kazanç-kayıp haritasında, uygun habitat kazanmış alanlar, modellenen tür veya niş için daha uygun hale geldiklerini gösteren pozitif değerlerle temsil edilir. Öte yandan, uygun habitatı kaybeden alanlar, daha az uygun veya uygunsuz hale geldiklerini gösteren negatif değerlerle temsil edilir. Sıfır değerleri, habitat uygunluğunda herhangi bir değişikliğin olmadığı alanları gösterir.

Nihai değişken seti ve model parametreleri düzenlendikten sonra 94 var kayıt noktası ve 10000 arkaplan nokta sayısı ile model çalıştırılmıştır. Model sonucunda biyoiklimsel değişkenlerin yüzde katkı ve permütasyon önemleri tartışılmış, en yüksek katkı yapan değişkenlerin cevap eğrileri incelenmiş ve jackknife testi ile modele katkıları değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR

Nihai değişken seti ve model parametrelerinin seçimi için 594 model çalıştırılmıştır. Nihai model, en yüksek CBI değerini (CBI=0,873) veren BIO1, 2, 3, 4, 14, 15, 16 biyoiklimsel değişkenleri; L, Q, H, P öznitelik sınıfları ve 5 düzenleme çarpanı değeriyle geliştirilmiştir (Çizelge 3.1.). Bu model, AUC değeri (testAUC=0,870) rastgele dağılım değerinden (=0,5) yüksek olduğu için başarılı olarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde %10 eğitim var verisi eşiği uygulanmış ihmal oranı değeri (or.10p.avg=0,151), modelin var noktalarını büyük ölçüde doğru tahmin ettiğini göstermektedir.

Çizelge 3.1. Çalıştırılan 594 model arasında en yüksek CBI değerine sahip ilk 5 model.

| Çevresel Değişken Seti | Öznitelik Sınıfları | Düzenleme Çarpanı | testAUC | CBI | İhmal Oranı |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|---------|-------|-------------|
| BIO 1,2,3,4,14,15,16 | LQHP | 5 | 0,870 | 0,873 | 0,151 |
| BIO 2,3,4,6,10,13,14,15 | LQHP | 5 | 0,859 | 0,867 | 0,162 |
| BIO 3,4,5,6,14,15,16 | LQH | 5 | 0,880 | 0,867 | 0,162 |
| BIO 2,3,4,6,10,13,14,15 | LQH | 2 | 0,884 | 0,864 | 0,173 |
| BIO 1,2,3,4,14,15,16 | LQHP | 4,5 | 0,872 | 0,862 | 0,151 |

MaxEnt modelinden elde edilen lambda değerleri, türün biyoiklimsel uygunluğunu tahmin etmek için her bir çevresel özelliğe atanan ağırlığı veya önemi temsil eder. Bu modelde BIO1(=5,028) ve BIO2(=1,452) gibi değişkenler, yüksek pozitif lambda değerleri nedeniyle uygunluğu olumlu etkilemiştir. BIO14(=0), BIO15(=0), BIO16(=0), BIO4(=0) ve BIO3(=0,008) değişkenleri, 0 veya 0'a yakın lambda değerleriyle tek başlarına uygunluğa katkı sağlamadıkları düşünülebilir. BIO4²(=-2,879) etkileşimi negatif lambda değeriyle biyoiklimsel uygunluğu azaltan bir etkide bulunmuştur. BIO16xBIO1(=1,500) etkileşimi biyoiklimsel uygunluğu artırırken, BIO14xBIO15(=-0,730) etkileşimi bu uygunluğu azaltır. Ters kıvrım (BIO4(=-0,406), BIO14(=-1,419) ve BIO16(=" -0,203", " -0,848", " -0,802", " -0,634", " -0,852")) ve ileri kıvrım (BIO2(=" 1,492", " -0,439")) özelliklerinin değeri belirli bir eşiği geçtiğinde biyoiklimsel uygunluğu azalttığı görülmüştür.

MaxEnt sonuç çıktısında “katkı yüzdesi” en yüksek olan biyoiklimsel iki değişken BIO16” En Yağışlı Çeyreğin Yağış Miktarı” (%48,6) ve BIO1” Yıllık Ortalama Sıcaklık” (%28,8) olarak görülmüştür. “Permütasyon Önemi” en yüksek olan biyoiklimsel iki değişken aynı şekilde BIO16 (%50,1) ve BIO1 (%26,1) dir (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.2. Modele giren biyoiklimsel değişkenlerin yüzde katkıları ve permütasyon önemleri.

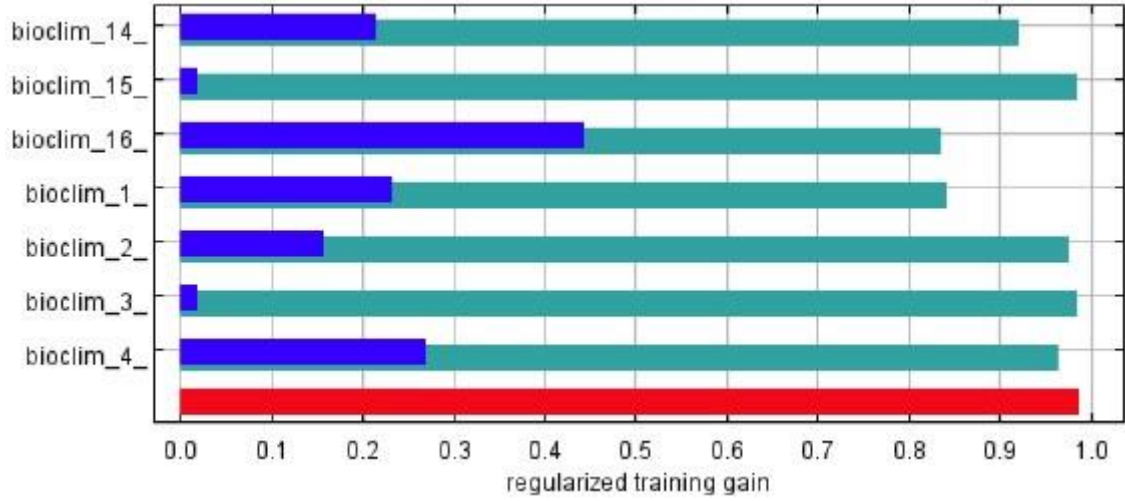
| Değişken | Yüzde Katkısı | Permütasyon Önemi |
|----------|---------------|-------------------|
| BIO16 | 48,6 | 50,1 |
| BIO1 | 28,8 | 26,1 |
| BIO4 | 10 | 9,8 |
| BIO14 | 8,7 | 8,7 |
| BIO3 | 1,9 | 0 |
| BIO2 | 1,7 | 5,2 |
| BIO15 | 0,4 | 0,1 |

Jackknife prosedürü, modelin kazancını yalnızca belirli bir değişkenle ve bu değişken olmadan hesaplayarak her değişkenin önemini tahmin eder. En yüksek katkı ve permütasyon önemine sahip BIO16 ve BIO1 değişkenleri bu kapsamda incelendiğinde;

BIO16 değişkeni çıkarıldığında oluşan değer diğer değişkenlerle karşılaştırıldığında benzer değere sahip BIO1 hariç nispeten düşüktür. BIO16 değişkeninin modelden çıkarıldığında modelin performansının daha fazla düştüğünü ve diğer değişkenler tarafından iyi yakalanmayan bilgiler taşıdığını gösterir. BIO16 değişkenin tek başına modeldeki değeri diğer değişkenlere kıyasla nispeten yüksektir. Tüm değişkenlerin kullanıldığı modeldeki değerden ise oldukça düşüktür. Ancak, yüksek katkı yüzdesi ve permütasyon önemi göz önüne alındığında, bu, BIO16'nın modeldeki diğer değişkenlerle önemli ölçüde etkileşime girdiğini düşündürmektedir (Şekil 3.1.). Yukarıda bahsedilen lambda değerleri bunu desteklemektedir.

BIO1 değişkeni çıkarıldığında oluşan değer BIO16 ile benzerdir. Aynı şekilde BIO1 değişkeninin diğer değişkenler tarafından iyi yakalanmayan bilgiler taşıdığını gösterir. BIO1 değişkeninin modele tek başına yaptığı katkı BIO16'ya göre daha düşüktür, bu da BIO1'in tek başına kullanıldığında tür yayılımını tahmin etmede BIO16'dan daha az etkili olduğunu düşündürür. Bununla birlikte, BIO16 ile benzer şekilde önemli katkı yüzdesi ve permütasyon önemi göz önüne alındığında, BIO1 muhtemelen modeldeki diğer

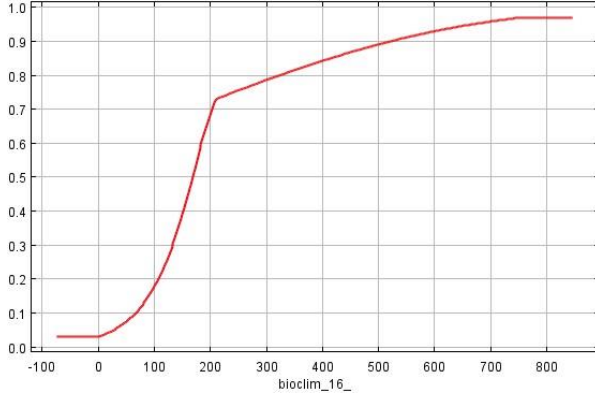
değişkenlerle önemli etkileşimlere sahiptir (Şekil 3.1.). Yukarıda bahsedilen lambda değerleri bunu desteklemektedir.



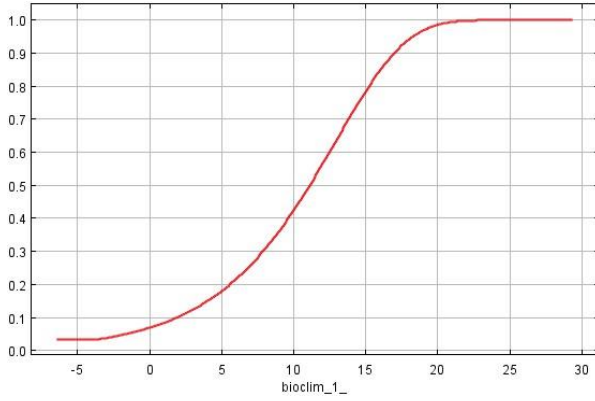
Şekil 3.1. Değişken önemlerini gösteren jackknife testinin sonuçları. “Mavi” renk belirli bir değişkenin tek başına modele yaptığı katkı durumunu,” Turkuaz” rengi belirli bir değişkenin çıkarıldığı durumu, “Kırmızı” renk ise tüm değişkenlerin birlikte etki etme durumunu göstermektedir.

Marjinal cevap eğrileri, diğer biyoiklimsel değişkenleri sabit tutarak, türün her bir biyoiklimsel değişkene tepkisini bağımsız olarak gösterir. En yüksek katkı ve permütasyon önemine sahip BIO16 ve BIO1’e ait marjinal cevap eğrileri incelendiğinde; BIO16 için, biyoiklimsel uygunluk, 0-200 mm aralığında hızlı, 200-750 mm aralığında biraz yavaş bir şekilde artar ve 750 mm’den sonra dengelenir. Bu, türün model özneline en yağışlı çeyrekte daha yüksek yağış alan alanları tercih ettiği ve yağışla birlikte biyoiklimsel uygunluğun arttığı, ancak belirli bir seviyeden sonra (yaklaşık 750 mm), yağıştaki daha fazla artışın türün biyoiklimsel uygunluğunu önemli ölçüde etkilemediği anlamına gelir (Şekil 3.2.).

BIO1 için, türün biyoiklimsel uygunluğu $-5\text{ C}^\circ/25\text{ C}^\circ$ aralığında sigmoid bir artış gösterir. Bu, türün daha sıcak koşulları tercih etme eğiliminde olduğu anlamına gelir, ancak biyoiklimsel uygunluktaki sigmoid artış 22 C° ye ulaştıktan sonra dengelenir. 22 C° den daha yüksek sıcaklık derecelerinin türün biyoiklimsel uygunluğunu önemli ölçüde etkilemediği anlamına gelir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.2. BIO16 çevresel değişkeninin marjinal cevap eğrisi.

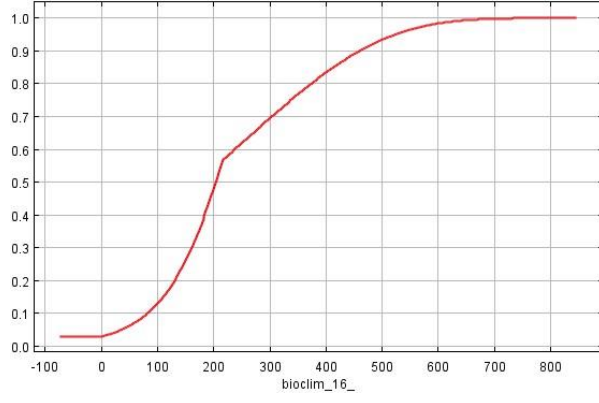


Şekil 3.3. BIO1 çevresel değişkeninin marjinal cevap eğrisi.

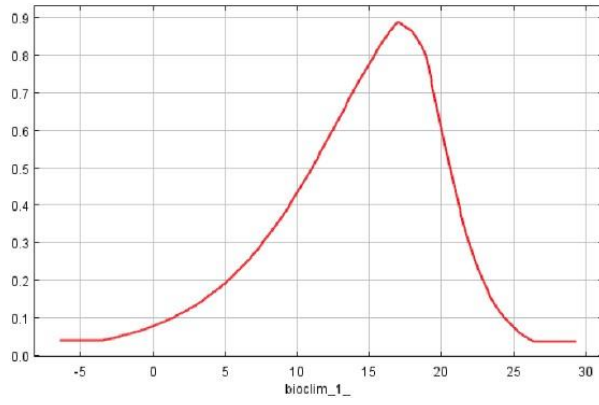
Tek değişkenli cevap eğrileri, marjinal cevap eğrilerinin aksine, her biri farklı bir modeli, yani yalnızca karşılık gelen değişken kullanılarak oluşturulan bir Maxent modelini temsil eder. En yüksek katkı ve permütasyon önemine sahip BIO16 ve BIO1 e ait tek değişkenli cevap eğrileri incelendiğinde;

BIO16 için türün biyoiklimsel uygunluğu, marjinal cevap eğrisine benzerdir, ancak tepe değerine yaklaşık 700 mm'de ulaşır. Bu, diğer değişkenlerle etkileşimler göz önüne alındığında, türün en yağışlı çeyrekte biraz daha yüksek bir yağış optimumuna sahip olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 3.4.).

BIO1 için tek değişkenli cevap eğrisi marjinal olana göre oldukça farklıdır. $-5\text{ C}^{\circ}/17\text{ C}^{\circ}$ aralığında artar, $17\text{ C}^{\circ}/27\text{ C}^{\circ}$ aralığında ise düşer. Bu, sadece BIO1 değişkeni dikkate alındığında türün biyoiklimsel uygunluğunun yüksek sıcaklıklara daha az toleranslı olduğunu gösterir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.4. BIO16 çevresel değişkeninin cevap eğrisi.



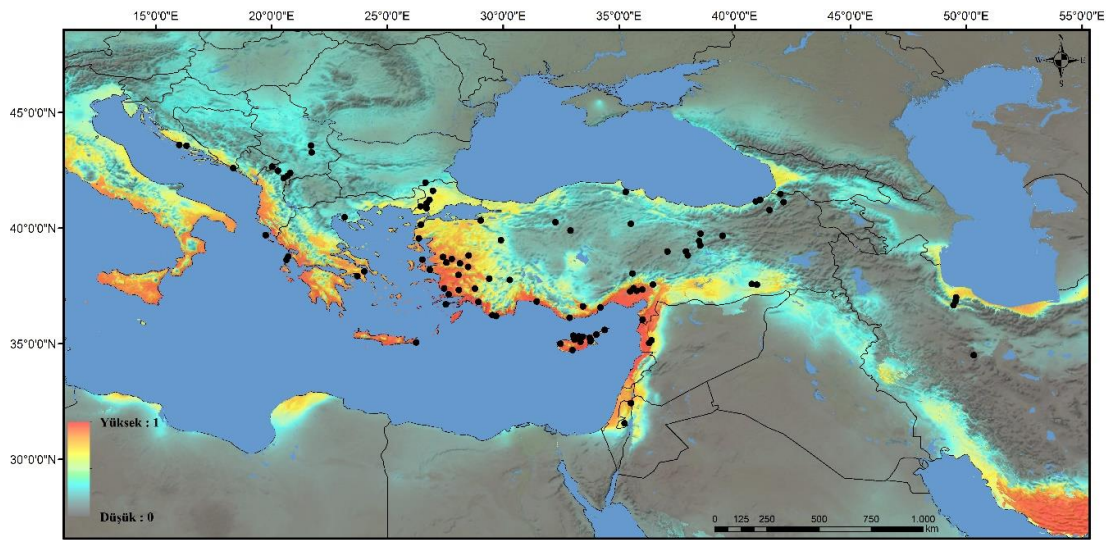
Şekil 3.5. BIO1 çevresel değişkeninin cevap eğrisi.

3.1. Biyoiklimsel Uygunluk Haritaları

Günümüz ve gelecek için biyoiklimsel uygunluk değerleri “Cloglog dönüşümü” kullanılarak haritalandırılmış ve herhangi bir eşik değeri uygulanmadan tüm uygunluk değerlerinin gösterilmesi hedeflenmiştir. Uygunluğun değeri koyu gri renkten kırmızı renge doğru artacak şekilde görselleştirilmiştir.

3.1.1. Günümüz

Günümüz biyoiklimsel uygunluk haritası türün bilinen yayılımı ile büyük ölçüde örtüşmektedir (Şekil 3.6). İtalya yarımadası, Sicilya adası ve Basra Körfezi'nin kuzeydoğusunun uygunluk derecesi modele göre yüksek çıkmış olsa da *Phlebotomus tobbi*'nin bu coğrafyalarda bulunmadığı bilinmektedir.



Şekil 3.6. *Phlebotomus tobbi*'nin günümüz için biyoiklimsel uygunluk haritası. Siyah noktalar var verilerini temsil etmektedir.

3.1.2. Gelecek

CNRM, IPSL ve MIROC küresel iklim modelleri kapsamında tüm senaryolar ve zaman periyodlarına ait haritalar incelendiğinde *Ph. tobbi* için biyoiklimsel uygun alanların arttığı görülmüş, ayrıca mevcut biyoiklimsel uygun alanların çok az bir kısmında kayıp meydana gelmiştir.

3.1.2.1. CNRM

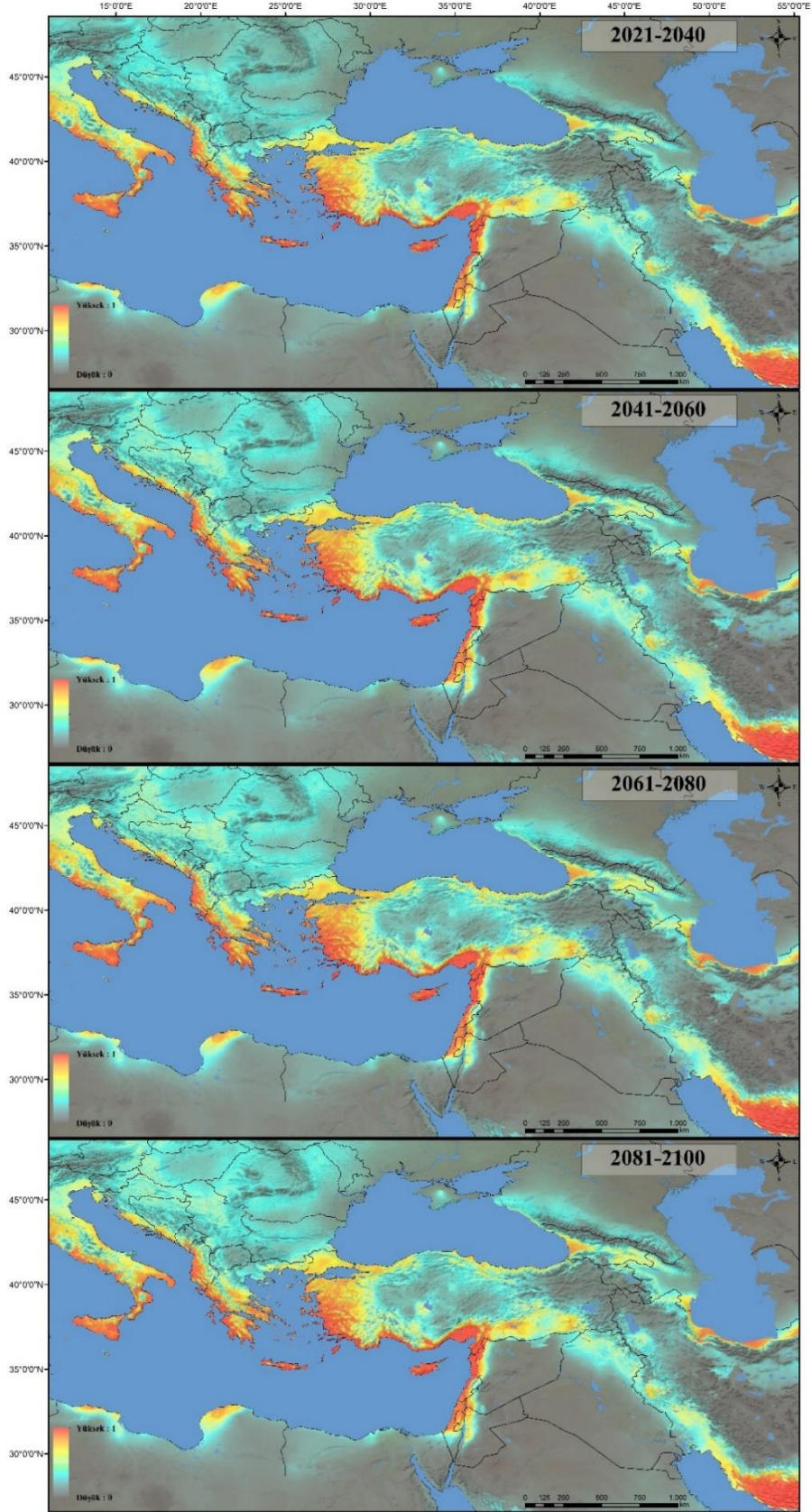
Günümüz biyoiklimsel uygunluk haritası ile kıyaslandığında incelenen tüm senaryolar (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) ve zaman periyodları (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100) bakımından *Ph. tobbi* için biyoiklimsel uygun alanlar artmıştır (Şekil 3.7., Şekil 3.8., Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.).

3.1.2.2. IPSL

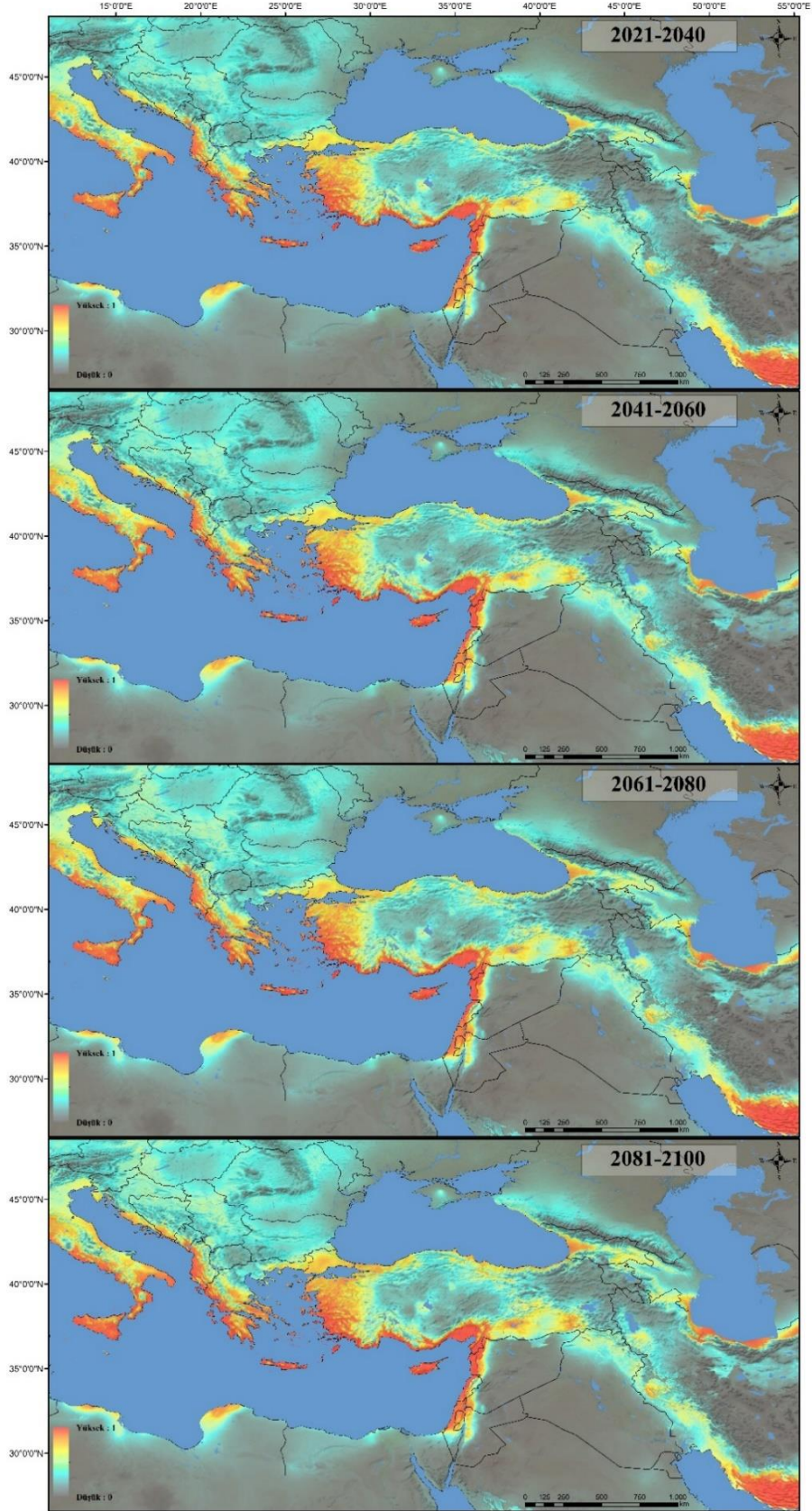
Günümüz biyoiklimsel uygunluk haritası ile kıyaslandığında incelenen tüm senaryolar (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) ve zaman periyodları (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100) bakımından *Ph. tobbi* için biyoiklimsel uygun alanlar artmıştır (Şekil 3.11., Şekil 3.12., Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.).

3.1.2.3. MIROC

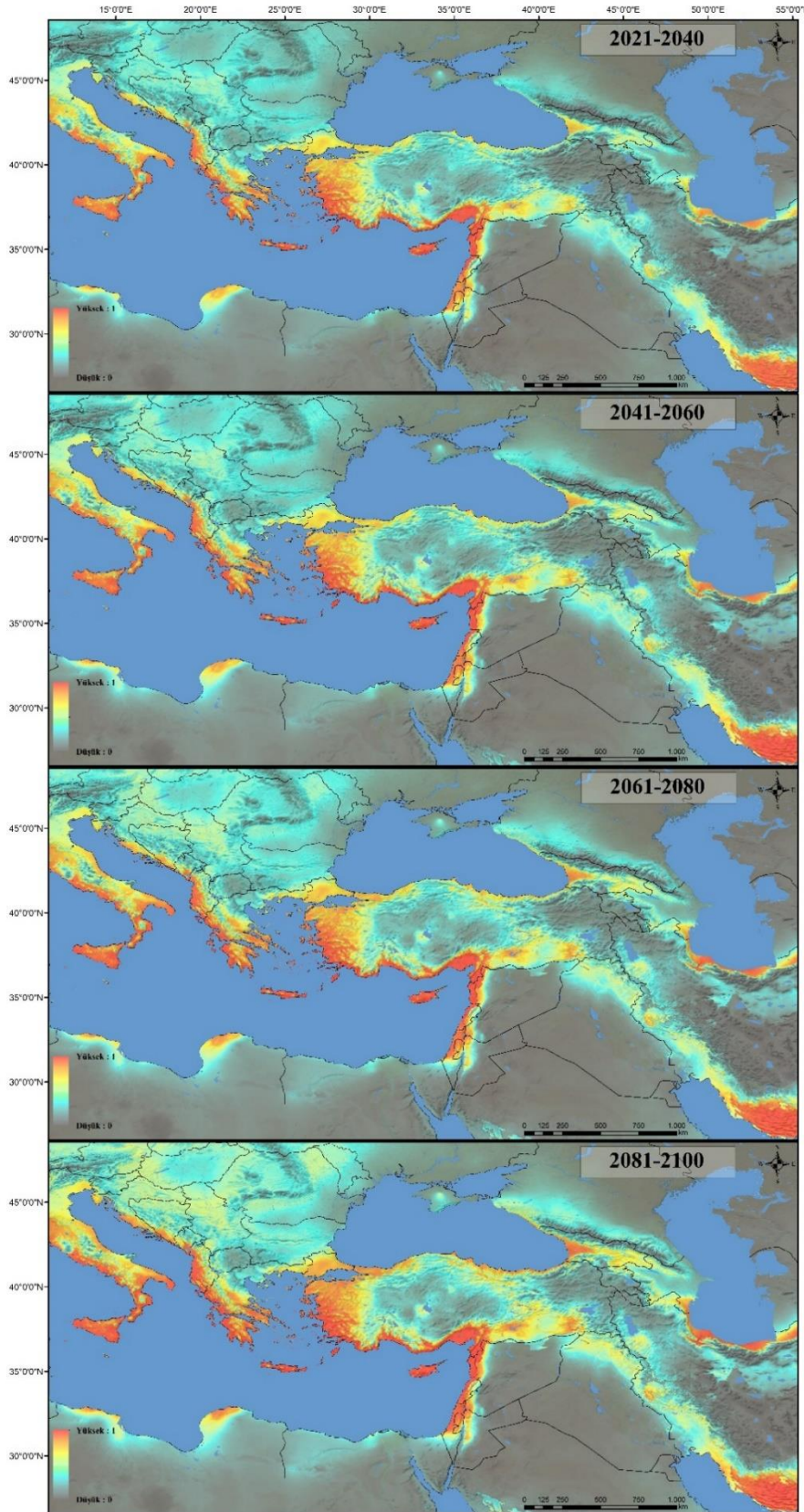
Günümüz biyoiklimsel uygunluk haritası ile kıyaslandığında incelenen tüm senaryolar (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) ve zaman periyodları (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100) bakımından *Ph. tobbi* için biyoiklimsel uygun alanlar artmıştır. (Şekil 3.15., Şekil 3.16., Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.).



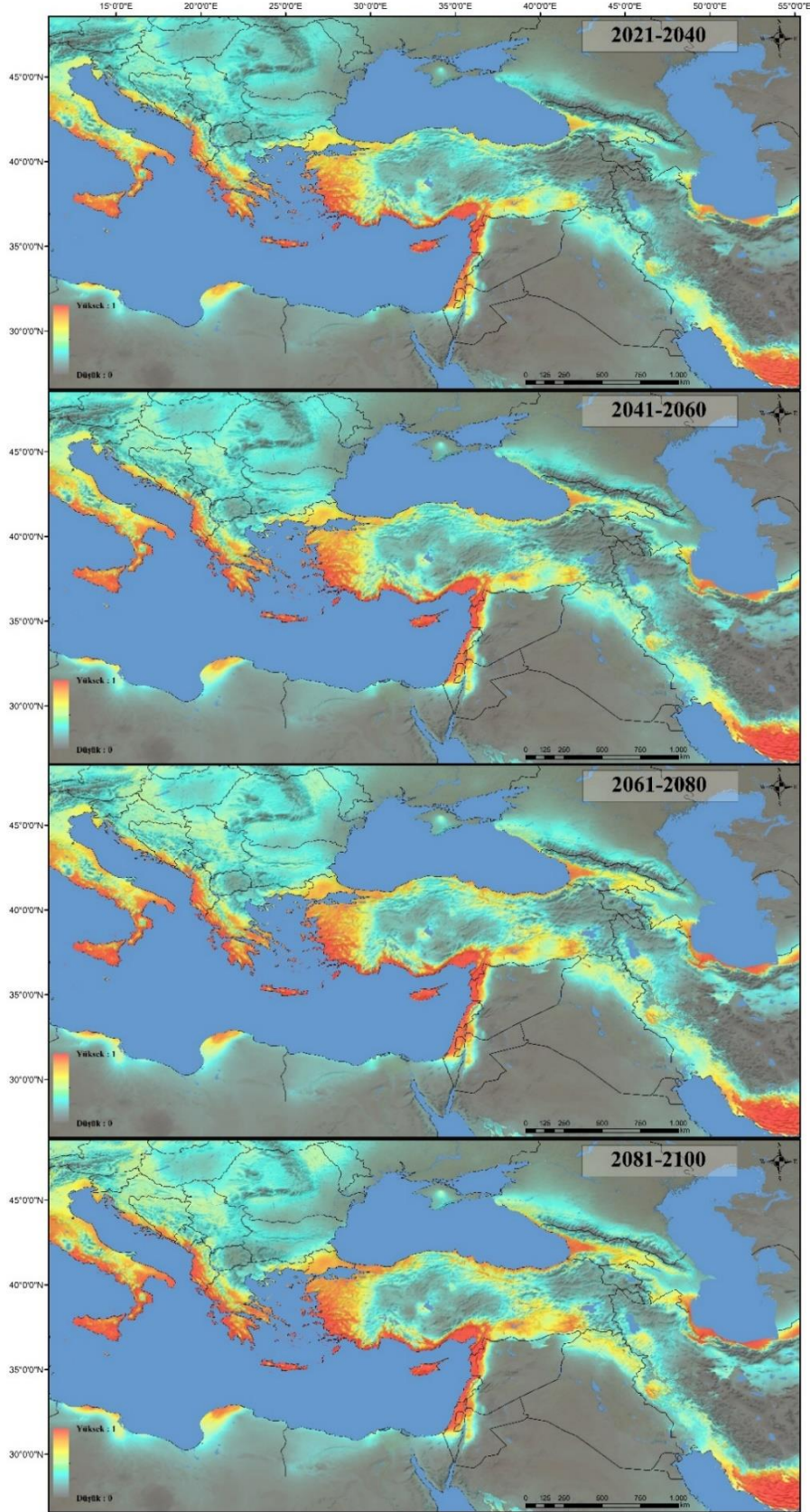
Şekil 3.7. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



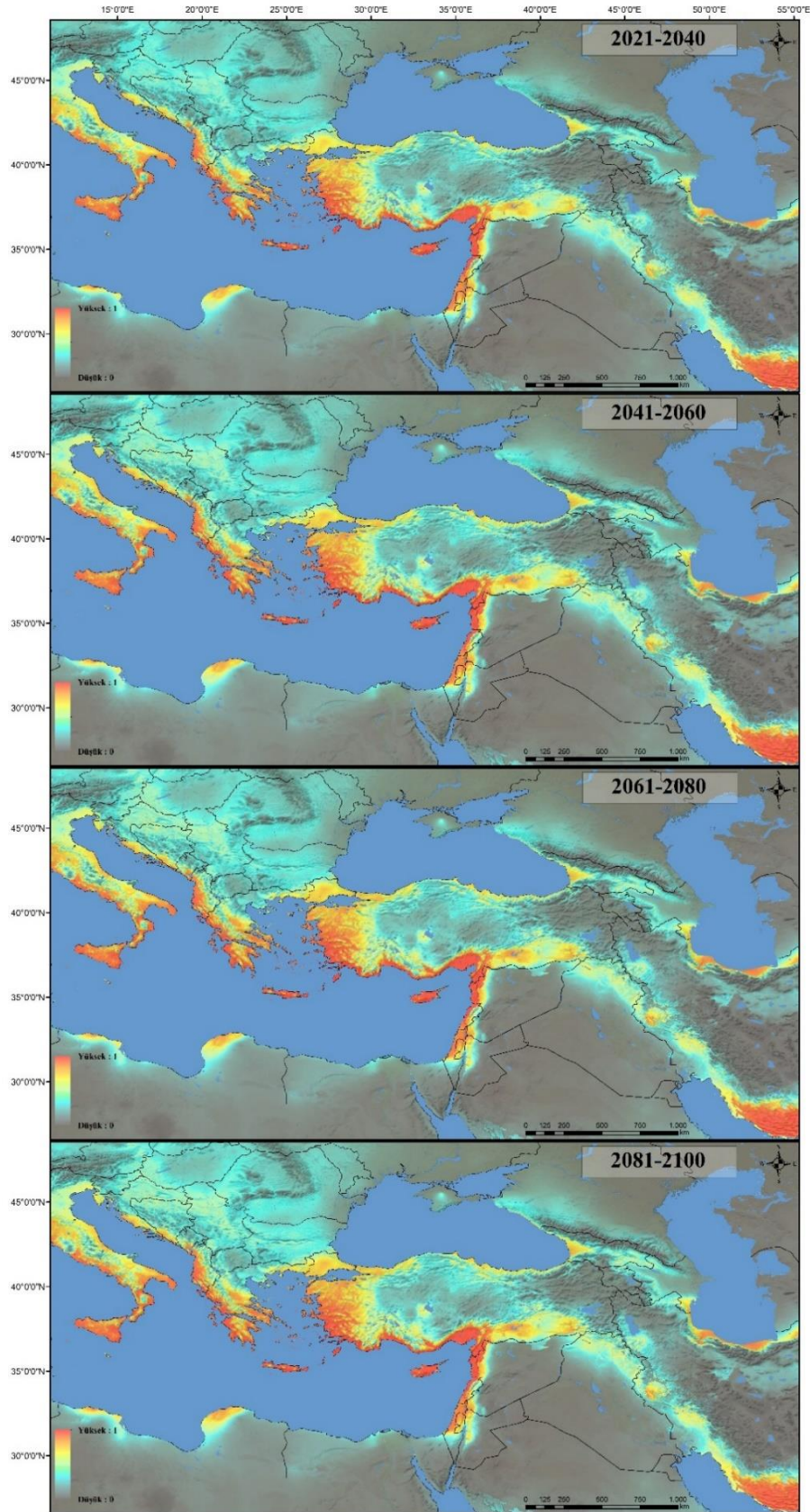
Şekil 3.8. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



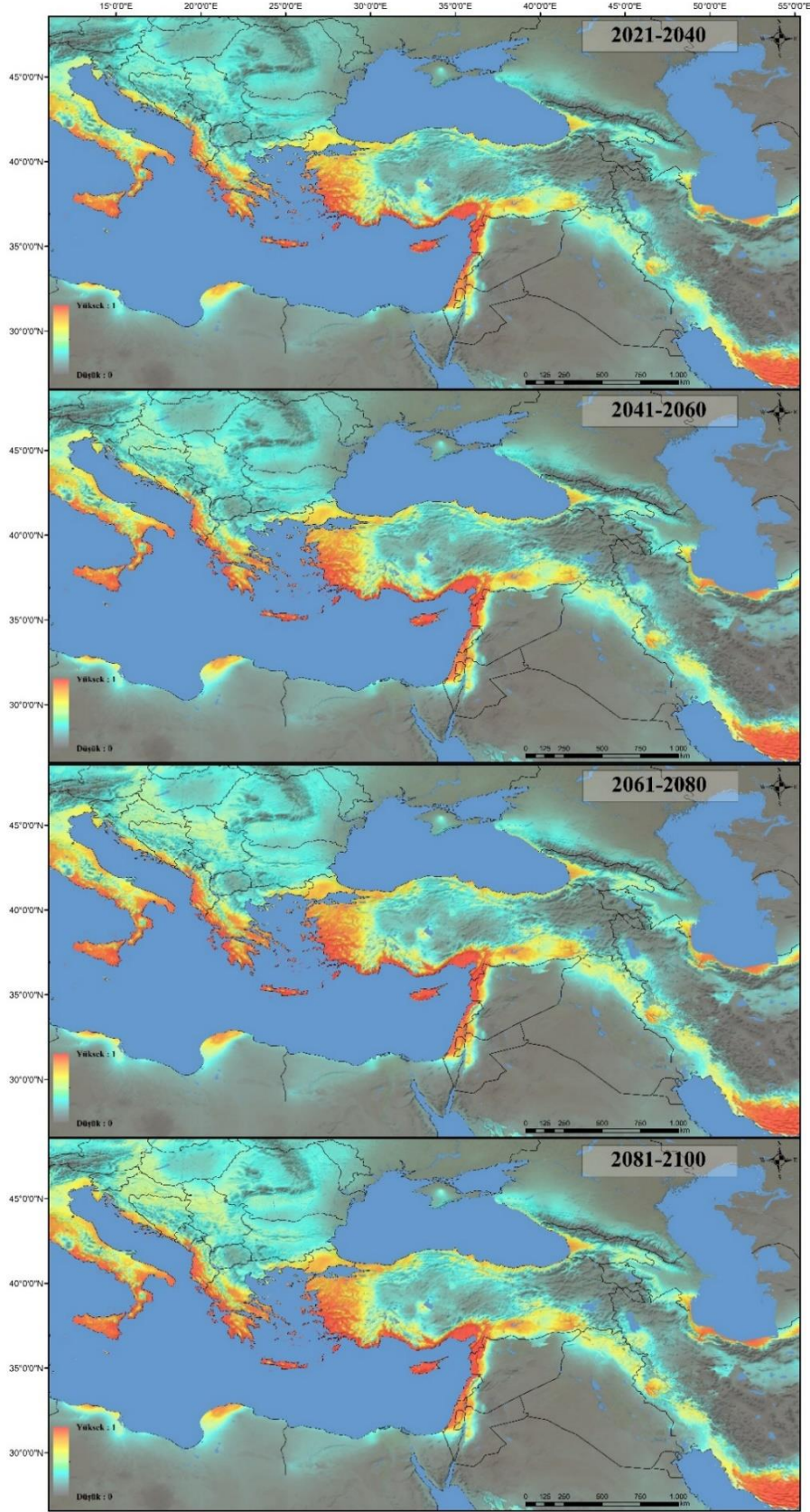
Şekil 3.9. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



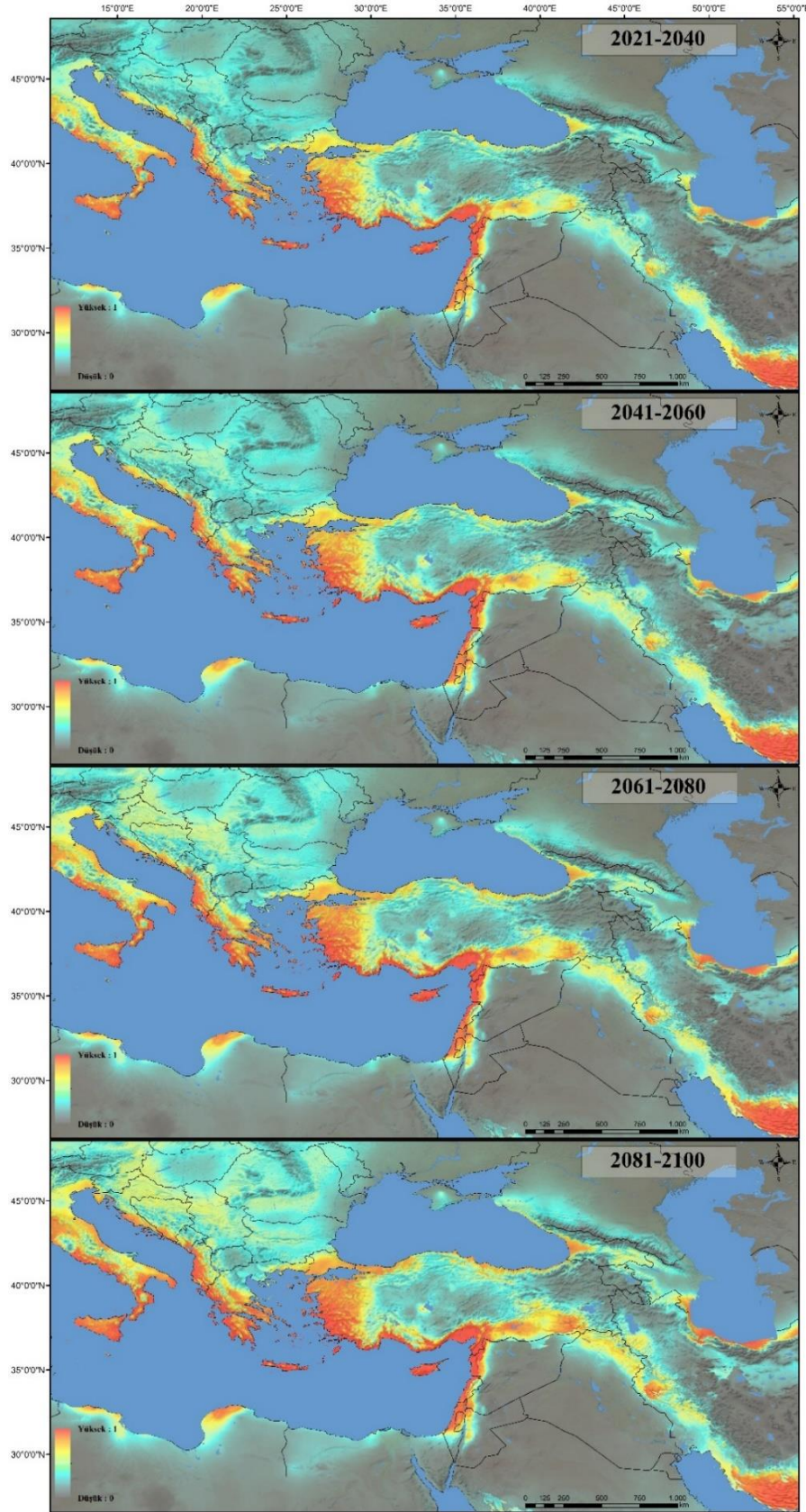
Şekil 3.10. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



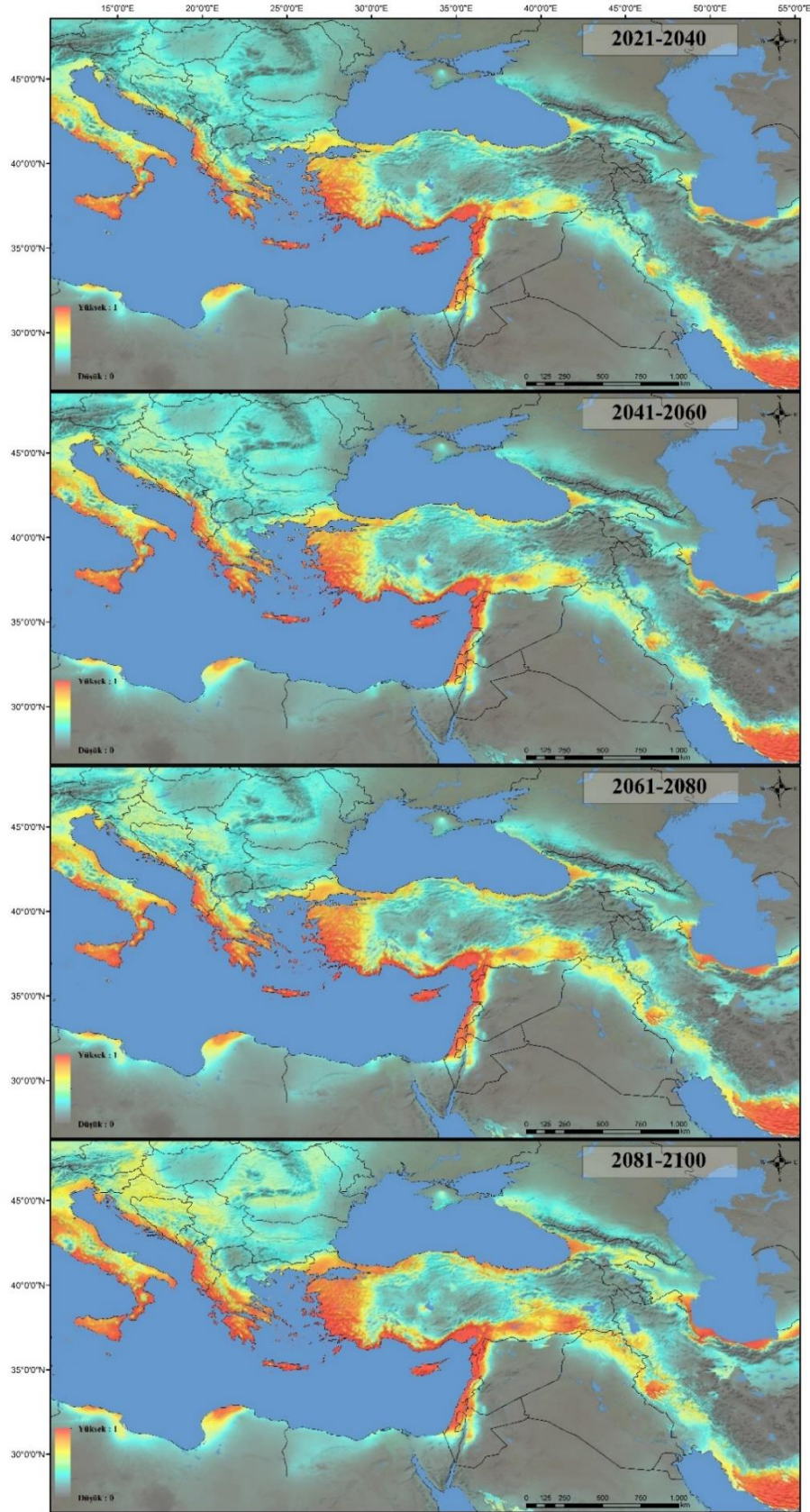
Şekil 3.11. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



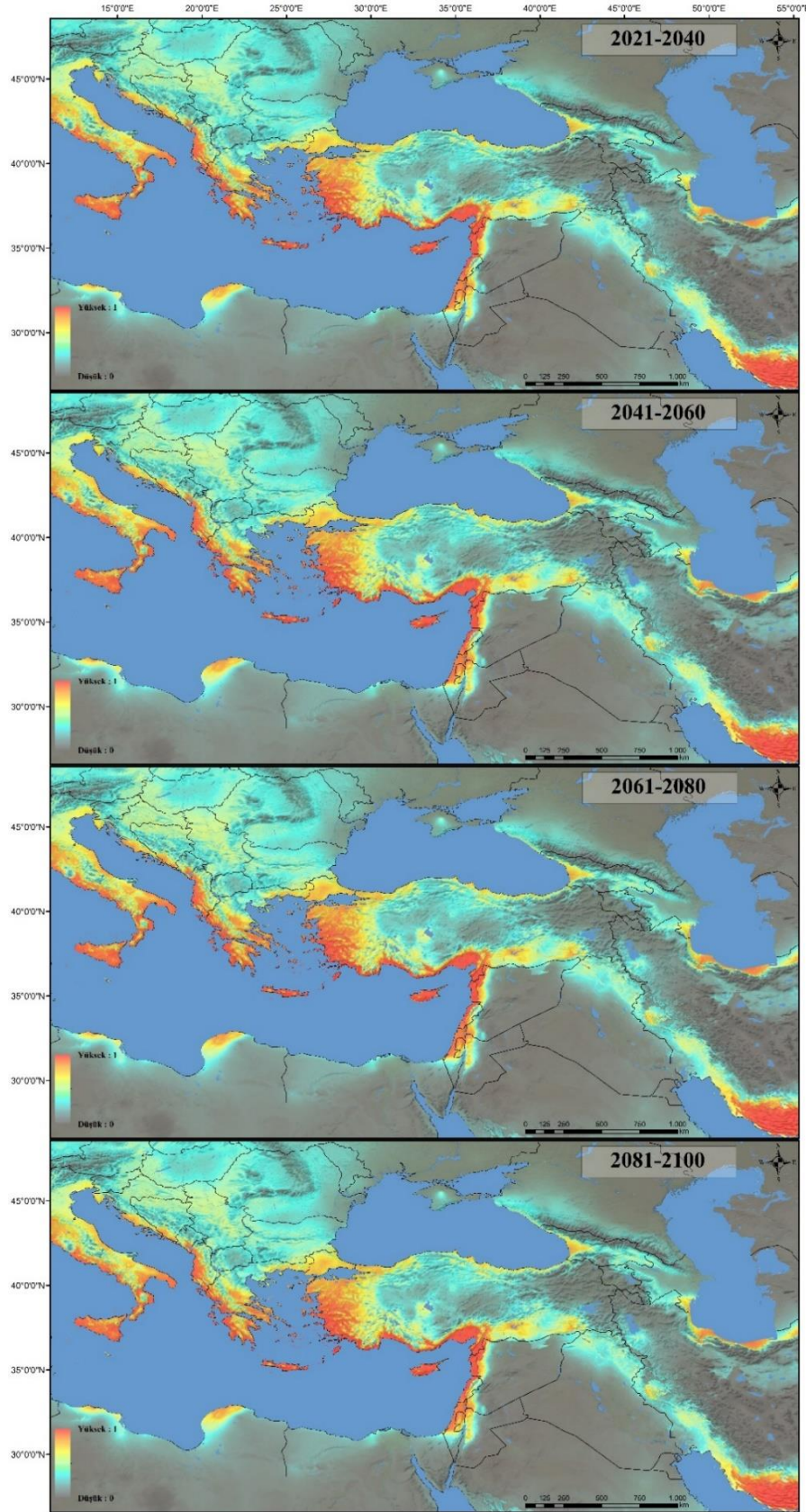
Şekil 3.12. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



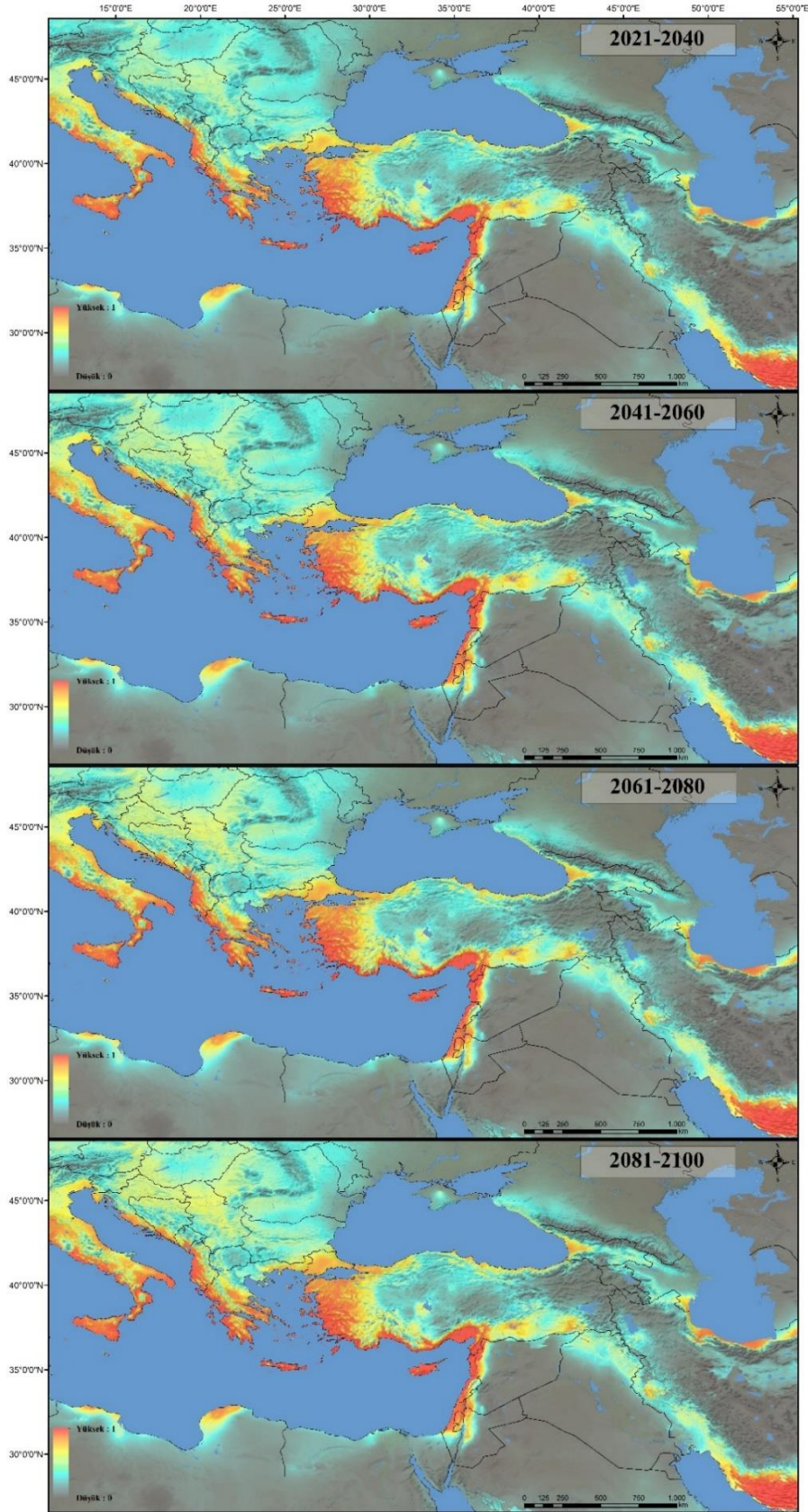
Şekil 3.13. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



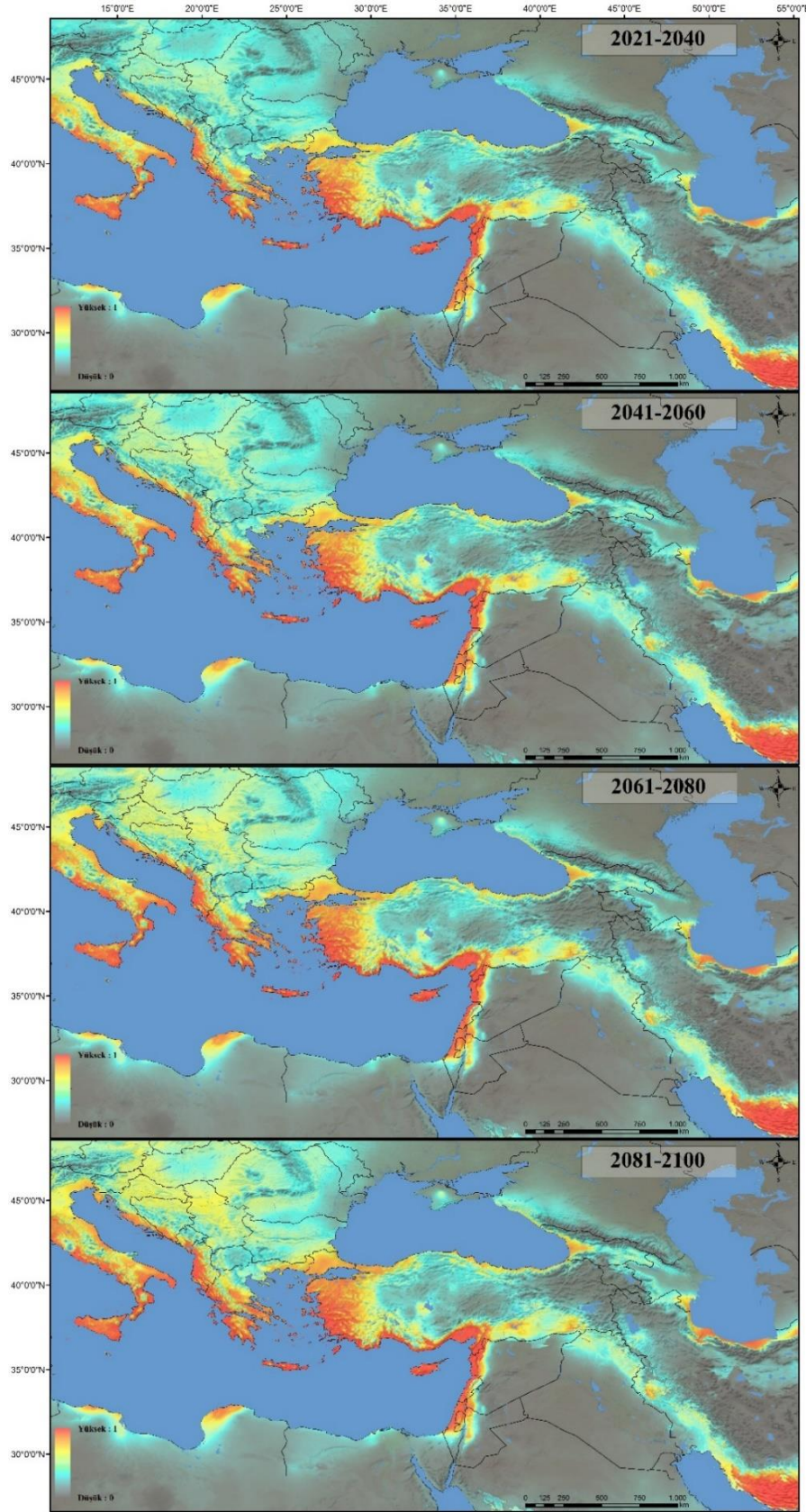
Şekil 3.14. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



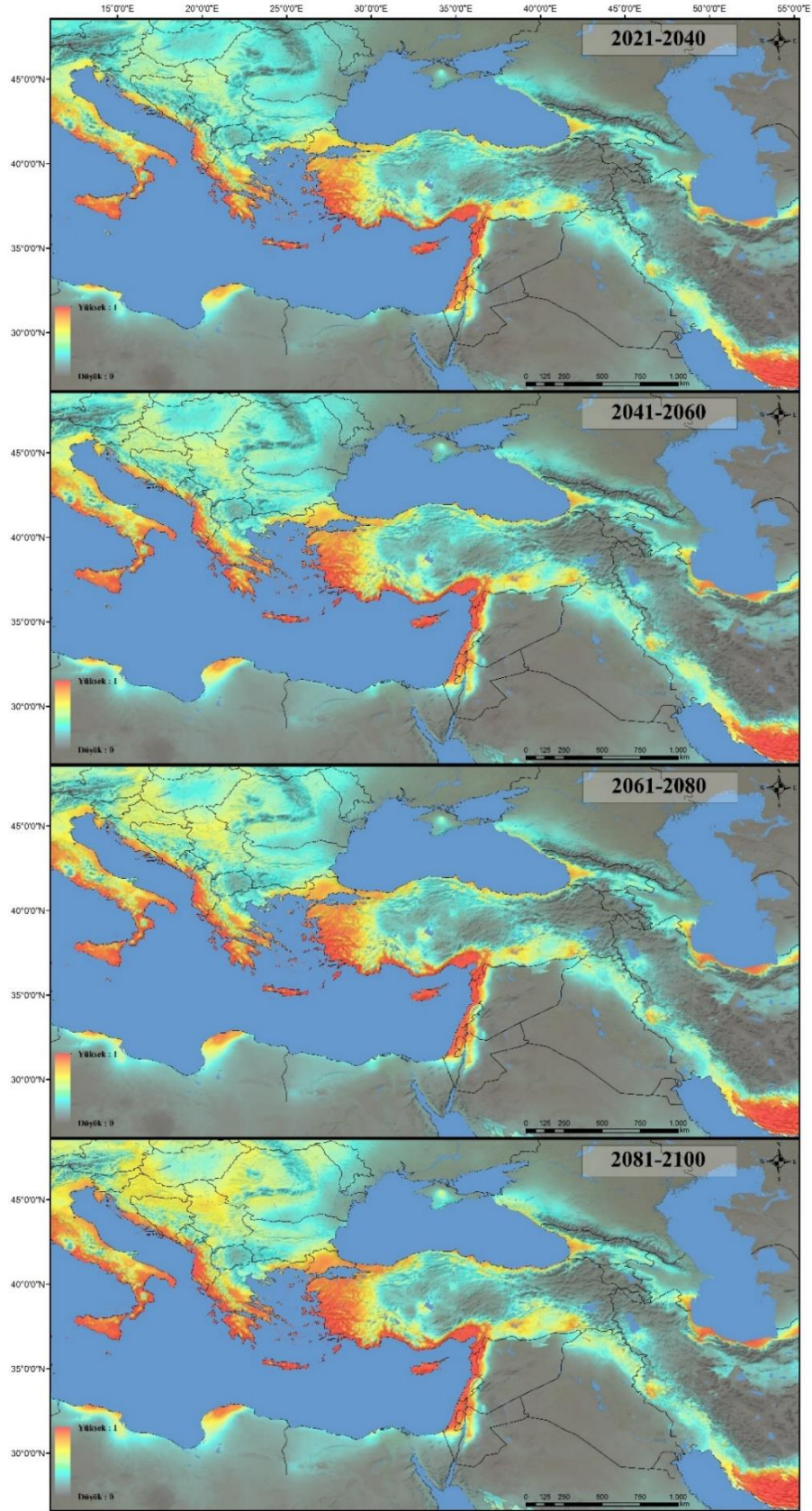
Şekil 3.15. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



Şekil 3.16. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



Şekil 3.17. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları.



Şekil 3.18. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygunluk haritaları

3.1.2.4. Kazanç-Kayıp

“CNRM-ESM2-1”, “IPSL-CM6A-LR” ve “MIROC-ES2L” küresel iklim modelleri için kazanç-kayıp haritaları oluşturulurken %10 eşik var verisi eşiği uygulanmıştır. Bu eşik değeri yöntemiyle cloglog dönüşüm değeri 0,252'nin altında olan yerler uygun değil, üzerindeki uygun kabul edilmiştir. Haritalarda, günümüzle kıyaslandığında gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanları yeşil renk, azaldığı alanları kırmızı renk, değişmeyen uygun alanları koyu gri renk ve her iki durumda da uygun olmayan alanları açık gri renk temsil etmektedir.

CNRM, IPSL ve MIROC küresel iklim modellerinin ortak örüntüsü, günümüzden 2100'e kadar ki zaman aralığı boyunca biyoiklimsel uygunluk alanlarının belirgin bir şekilde artmasıdır. Bu artış oranı, her küresel iklim modeli ve senaryo (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) için farklılık göstermektedir. CNRM modelinde artış oranı %79, IPSL modelinde %79 ve MIROC modelinde ise %69'a kadar çıkmaktadır.

Artışın en belirgin olduğu bölgeler genellikle Balkanlar, Kafkas Dağları çevresi, Hazar Denizi'nin güneyi, Türkiye'nin Batı ve Orta Karadeniz bölgesi, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ve Zagros dağları eteklerinde kalan bölgedir. Ancak, her üç modelde de belirli bölgelerde uygunluk azalmıştır; bunlar arasında Türkiye'nin Konya havzası, Balkan dağlarının çevresi, Dicle Nehri ile Zagros dağları arasındaki bölge ve Basra Körfezi'nin kuzeyi bulunmaktadır.

3.1.2.4.1. CNRM

Her senaryoda, günümüzden 2100'e kadar ki zaman aralığı boyunca biyoiklimsel uygunluğun belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. SSP1-2.6 senaryosunda artış %45'e (Çizelge 3.3.), SSP2-4.5'te %61'e (Çizelge 3.4.), SSP3-7.0'da %79'a (Çizelge 3.5.) ve son olarak SSP5-8.5'te %72'ye (Çizelge 3.6.) ulaşmıştır. Uygunluğun arttığı alanlar genellikle Balkanlar, Kafkas Dağları çevresi, Hazar Denizi'nin güneyi, Türkiye'nin Batı ve Orta Karadeniz bölgesi, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ve Dicle nehriyle Zagros dağları eteklerinde kalan bölge olmuştur. Ancak, Konya havzasının bir kısmında uygunluğun azaldığı ve bu azalmanın tüm senaryolarda görüldüğü, ayrıca SSP5-8.5 senaryosunda Balkan dağlarının çevresi ve Dicle Nehri ile Zagros dağları arasındaki bölgede uygunluğun azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.19., Şekil 3.20., Şekil 3.21. ve Şekil 3.22.).

3.1.2.4.2. IPSL

Her senaryoda, günümüzden 2100'e kadar ki zaman aralığı boyunca biyoiklimsel uygunluğun belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. SSP1-2.6 senaryosunda artış %40'a (Çizelge 3.7.), SSP2-4.5'te %57'ye (Çizelge 3.8.), SSP3-7.0'da %73'e (Çizelge 3.9.) ve son olarak SSP5-8.5'te %79'a (Çizelge 3.10.) ulaşmıştır. Her senaryoda Balkanlar bölgesi genelde en çok kazanç gösteren bölge olurken, Türkiye'nin Batı-Orta Karadeniz ve İç Anadolu bölgesi, ayrıca Irak-İran sınır boyunca Basra Körfezi'ne dek uzanan alanlarda artış gözlemlenmiştir. Ancak, Türkiye'nin Konya havzası ve kuzey Irak bölgesinde her senaryoda uygunluğun azaldığı görülmüştür. Basra Körfezi'nin kuzeyinde de SSP1-2.6 senaryosunda azalma gözlemlenmiştir. (Şekil 3.23., Şekil 3.24., Şekil 3.25. ve Şekil 3.26.).

3.1.2.4.3. MIROC

Her senaryoda, günümüzden 2100'e kadar ki zaman aralığı boyunca biyoiklimsel uygunluğun belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. SSP1-2.6 senaryosunda artış %47'ye (Çizelge 3.11.), SSP2-4.5'te %61'e (Çizelge 3.12.), SSP3-7.0'da %64'e (Çizelge 3.13.) ve SSP5-8.5'te %69'a (Çizelge 3.14.) ulaşmıştır. Genel olarak, kazancın en belirgin olduğu bölge Balkanlar'dır. Diğer taraftan, Türkiye'nin Batı ve Orta Karadeniz bölgeleri, İç Anadolu'nun bir kısmı ve Kafkasların bazı kısımları daha az kazanç göstermiştir. Özellikle Basra Körfezi'nin kuzeyi ile Dicle ve Fırat nehirleriyle Zagros dağları arasından Basra Körfezi'ne uzanan bölgede uygunluk azalmıştır. (Şekil 3.27., Şekil 3.28., Şekil 3.29. ve Şekil 3.30.).

Çizelge 3.3. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

| CNRM_SSP1-2.6 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| 2021-2040 | 5398 | 7295669 | 2140951 | 403610 | 0.251 | 18.804 |
| 2041-2060 | 7904 | 6823951 | 2138445 | 875328 | 0.368 | 40.782 |
| 2061-2080 | 7031 | 6647993 | 2139318 | 1051286 | 0.328 | 48.98 |
| 2081-2100 | 3605 | 6732020 | 2142744 | 967259 | 0.168 | 45.065 |

Çizelge 3.4. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir

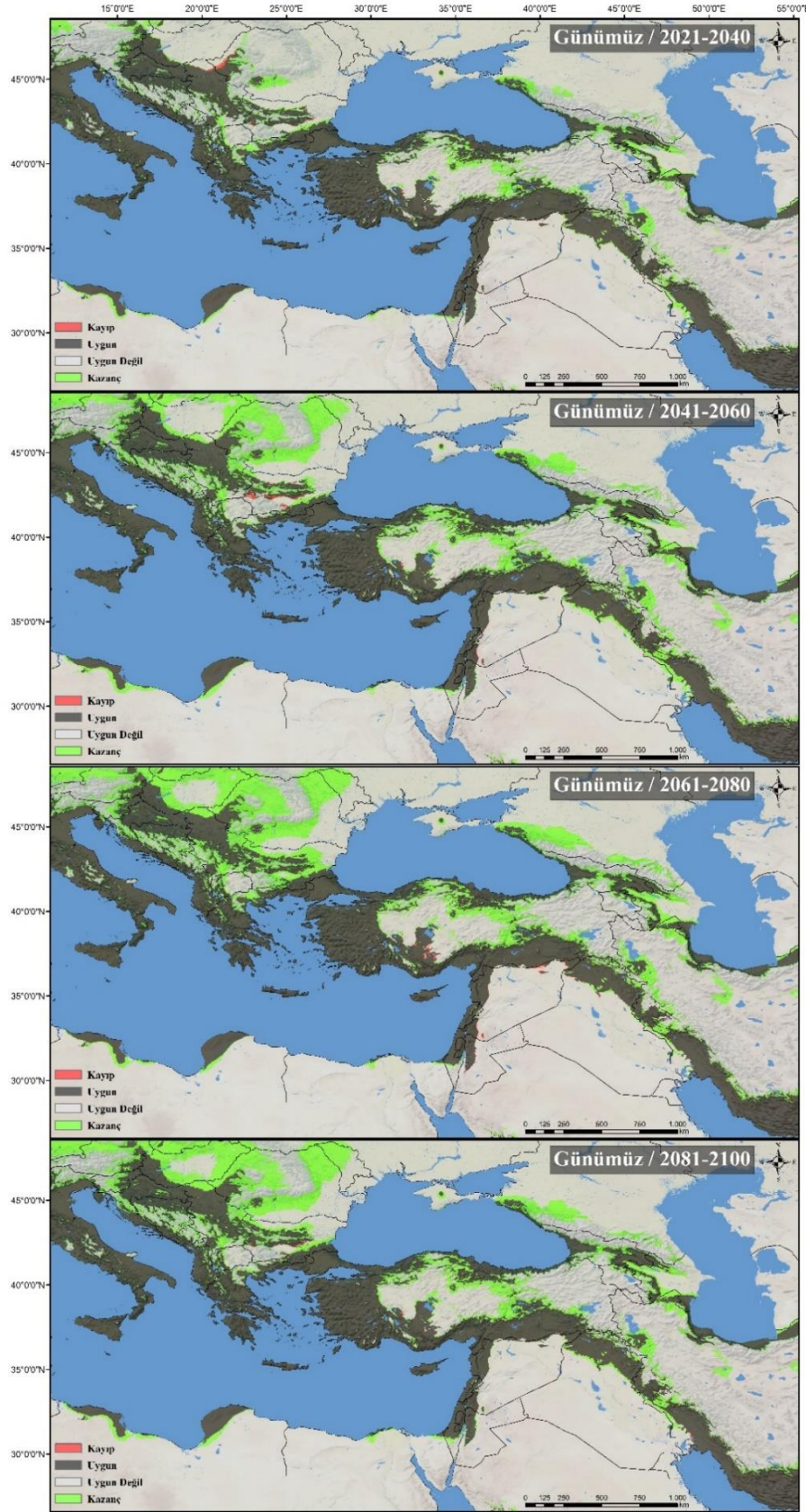
| CNRM_SSP2-4.5 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| 2021-2040 | 2653 | 6893035 | 2143696 | 806244 | 0.124 | 37.564 |
| 2041-2060 | 10008 | 6792250 | 2136341 | 907029 | 0.466 | 42.259 |
| 2061-2080 | 9891 | 6519999 | 2136458 | 1179280 | 0.461 | 54.944 |
| 2081-2100 | 13841 | 6379739 | 2132508 | 1319540 | 0.645 | 61.478 |

Çizelge 3.5. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

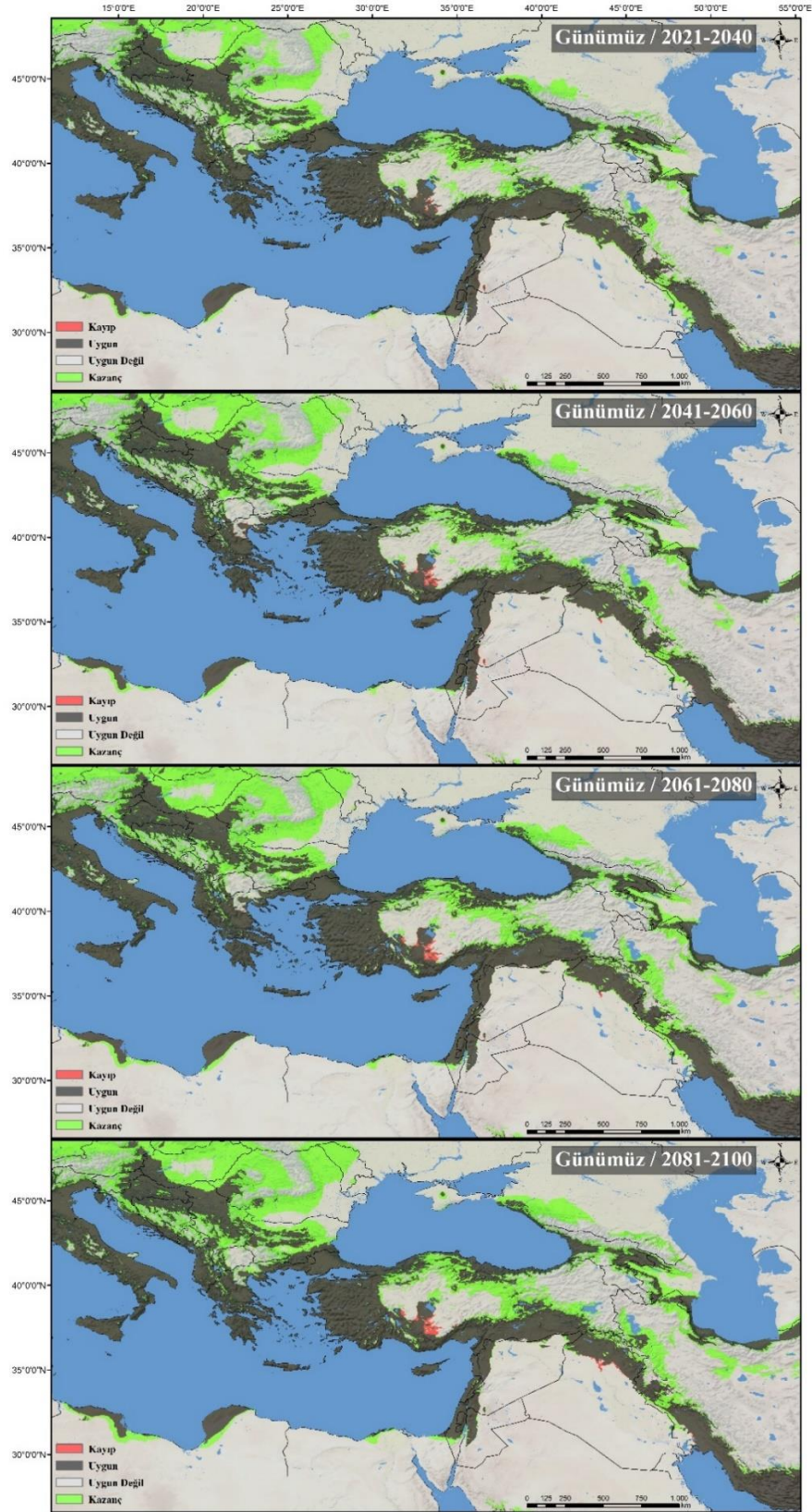
| CNRM_SSP3-7.0 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| 2021-2040 | 3779 | 7008943 | 2142570 | 690336 | 0.176 | 32.163 |
| 2041-2060 | 5171 | 6724842 | 2141178 | 974437 | 0.241 | 45.4 |
| 2061-2080 | 14372 | 6380637 | 2131977 | 1318642 | 0.67 | 61.437 |
| 2081-2100 | 13273 | 5989281 | 2133076 | 1709998 | 0.618 | 79.67 |

Çizelge 3.6. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

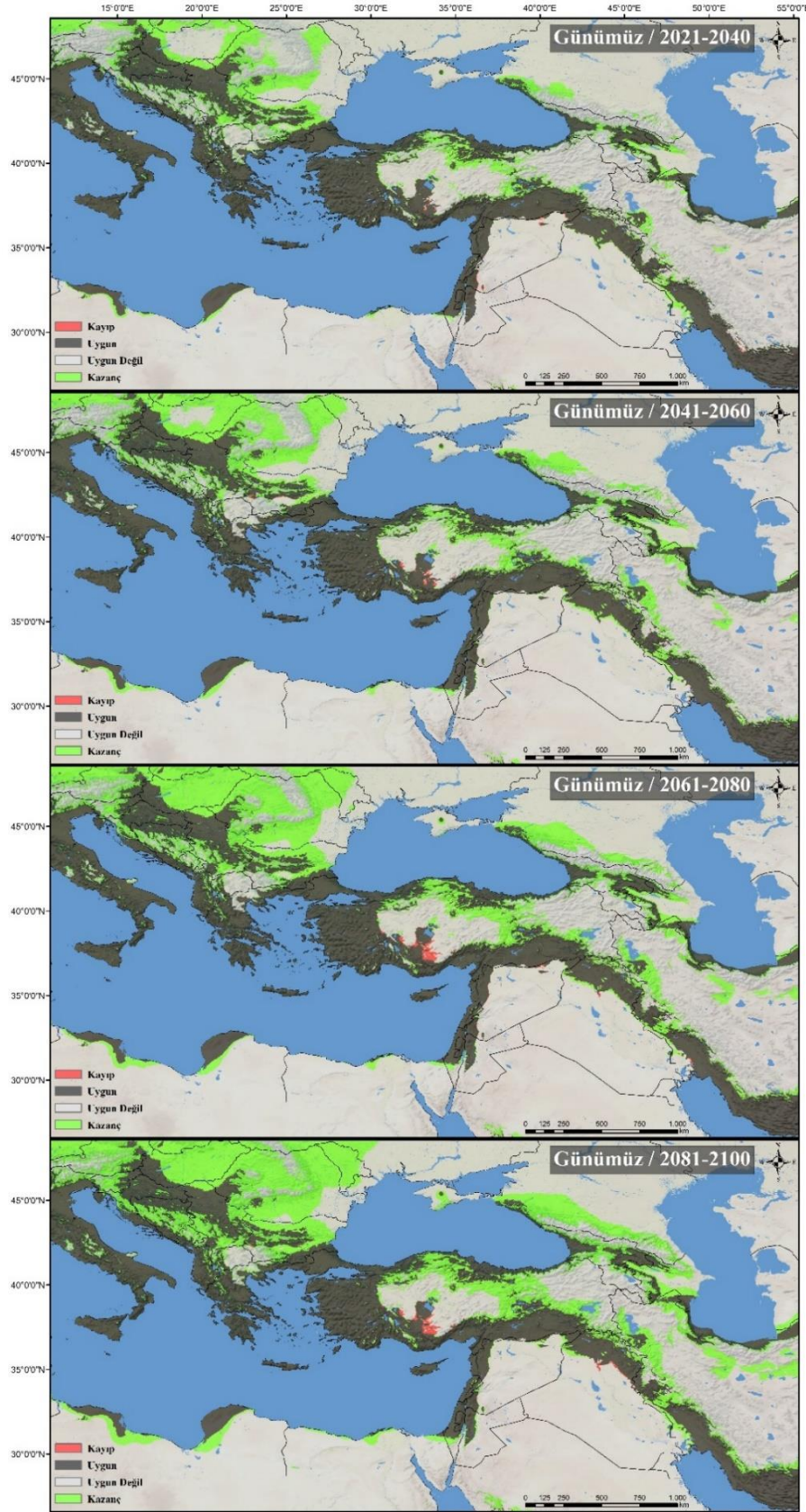
| CNRM_SSP5-8.5 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| 2021-2040 | 3781 | 6954447 | 2142568 | 744832 | 0.176 | 34.702 |
| 2041-2060 | 5756 | 6554875 | 2140593 | 1144404 | 0.268 | 53.319 |
| 2061-2080 | 13618 | 6097244 | 2132731 | 1602035 | 0.634 | 74.64 |
| 2081-2100 | 43052 | 6149854 | 2103297 | 1549425 | 2.006 | 72.189 |



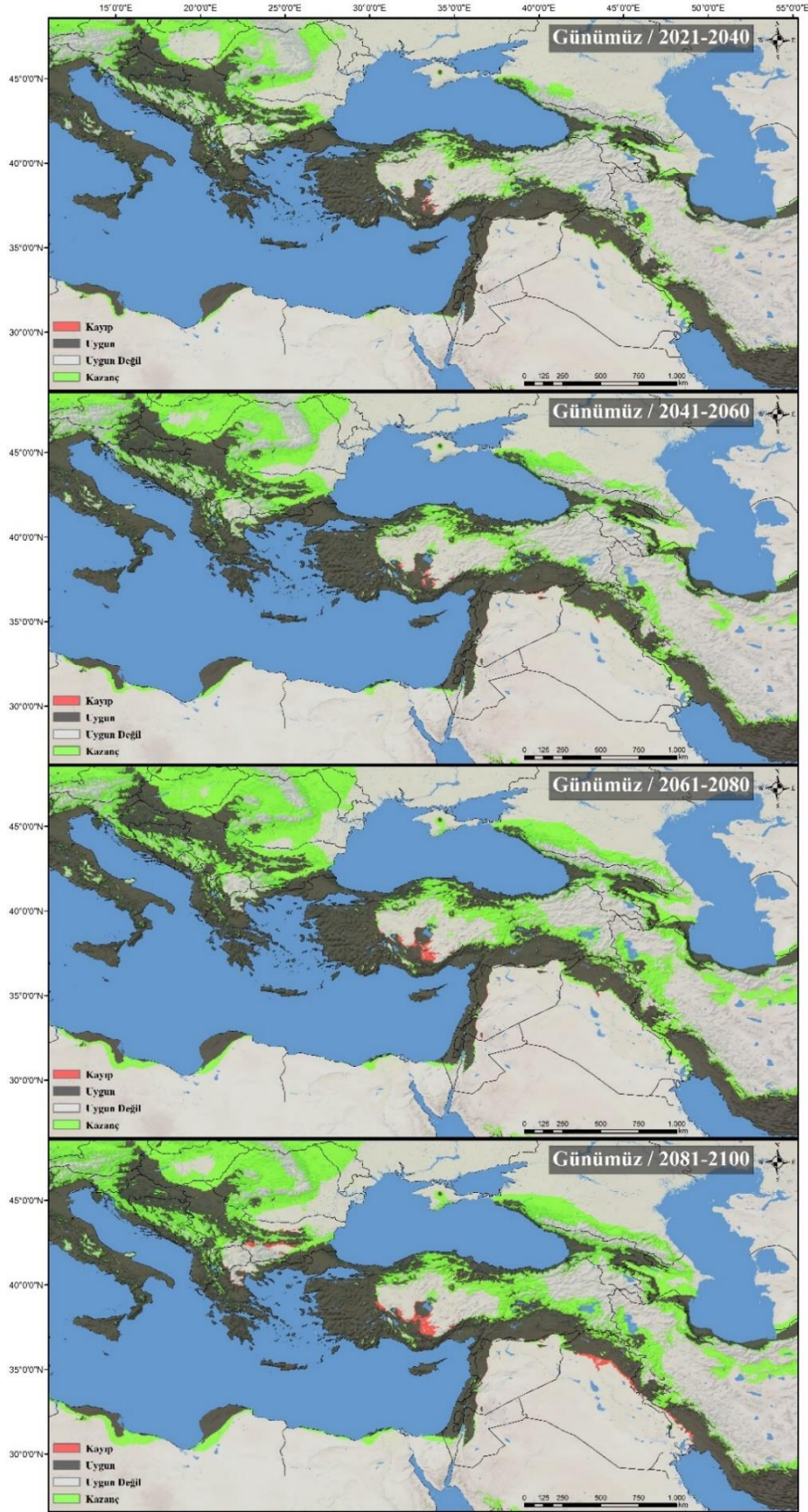
Şekil 3.19. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.20. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.21. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.22. *Phlebotomus tobbi*'nin CNRM küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.

Çizelge 3.7. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

| IPSL_SSP1-2.6 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| 2021-2040 | 4533 | 7226995 | 2141816 | 472284 | 0.211 | 22.004 |
| 2041-2060 | 4995 | 6964044 | 2141354 | 735235 | 0.233 | 34.255 |
| 2061-2080 | 12274 | 6919731 | 2134075 | 779548 | 0.572 | 36.32 |
| 2081-2100 | 7338 | 6830158 | 2139011 | 869121 | 0.342 | 40.493 |

Çizelge 3.8. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

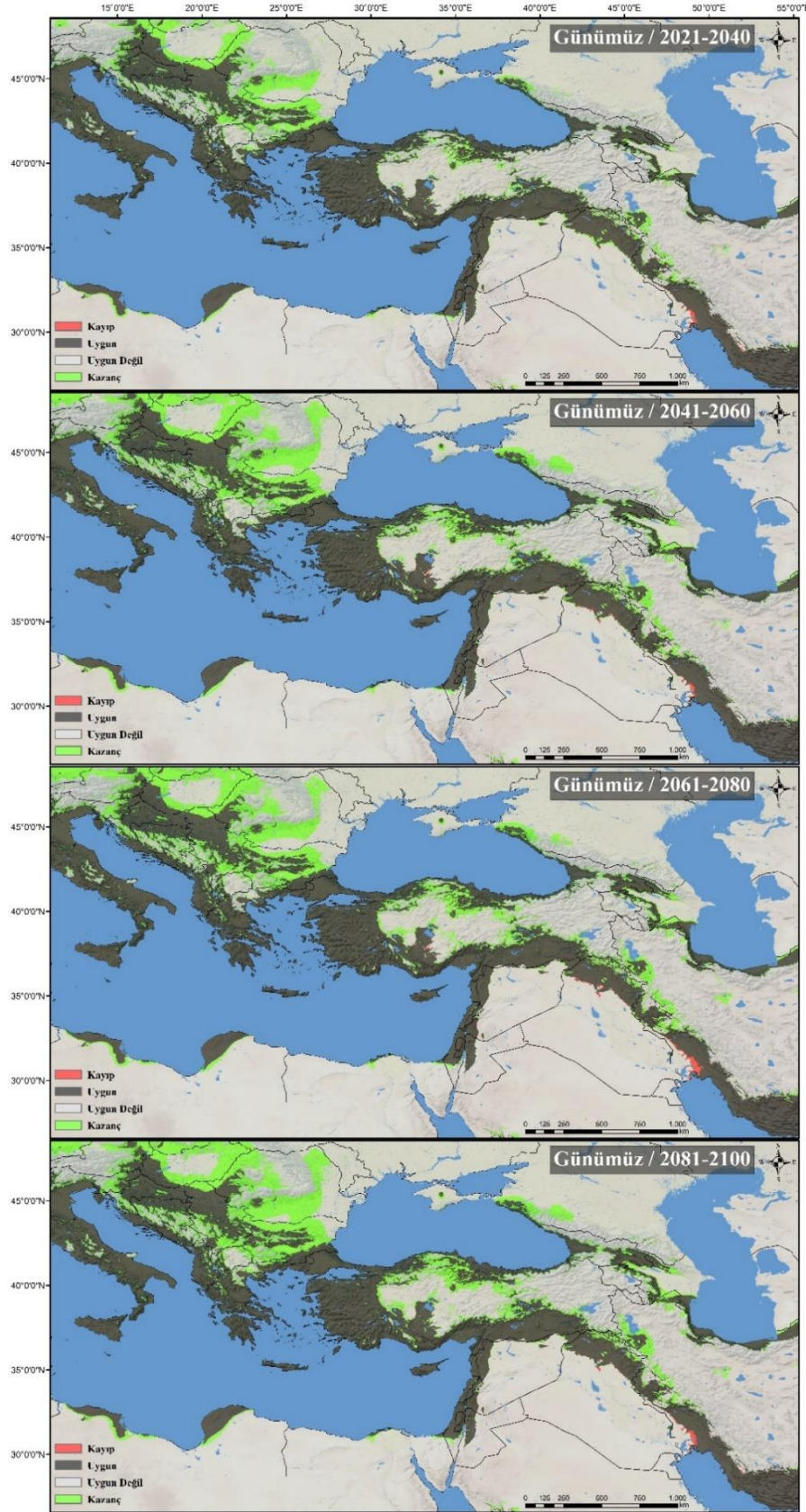
| IPSL_SSP2-4.5 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-------------------|
| 2021-2040 | 1616 | 7170727 | 2144733 | 528552 | 0.075 | 24.626 |
| 2041-2060 | 7288 | 6939069 | 2139061 | 760210 | 0.34 | 35.419 |
| 2061-2080 | 4493 | 6559255 | 2141856 | 1140024 | 0.209 | 53.115 |
| 2081-2100 | 17783 | 6464910 | 2128566 | 1234369 | 0.829 | 57.51 |

Çizelge 3.9. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

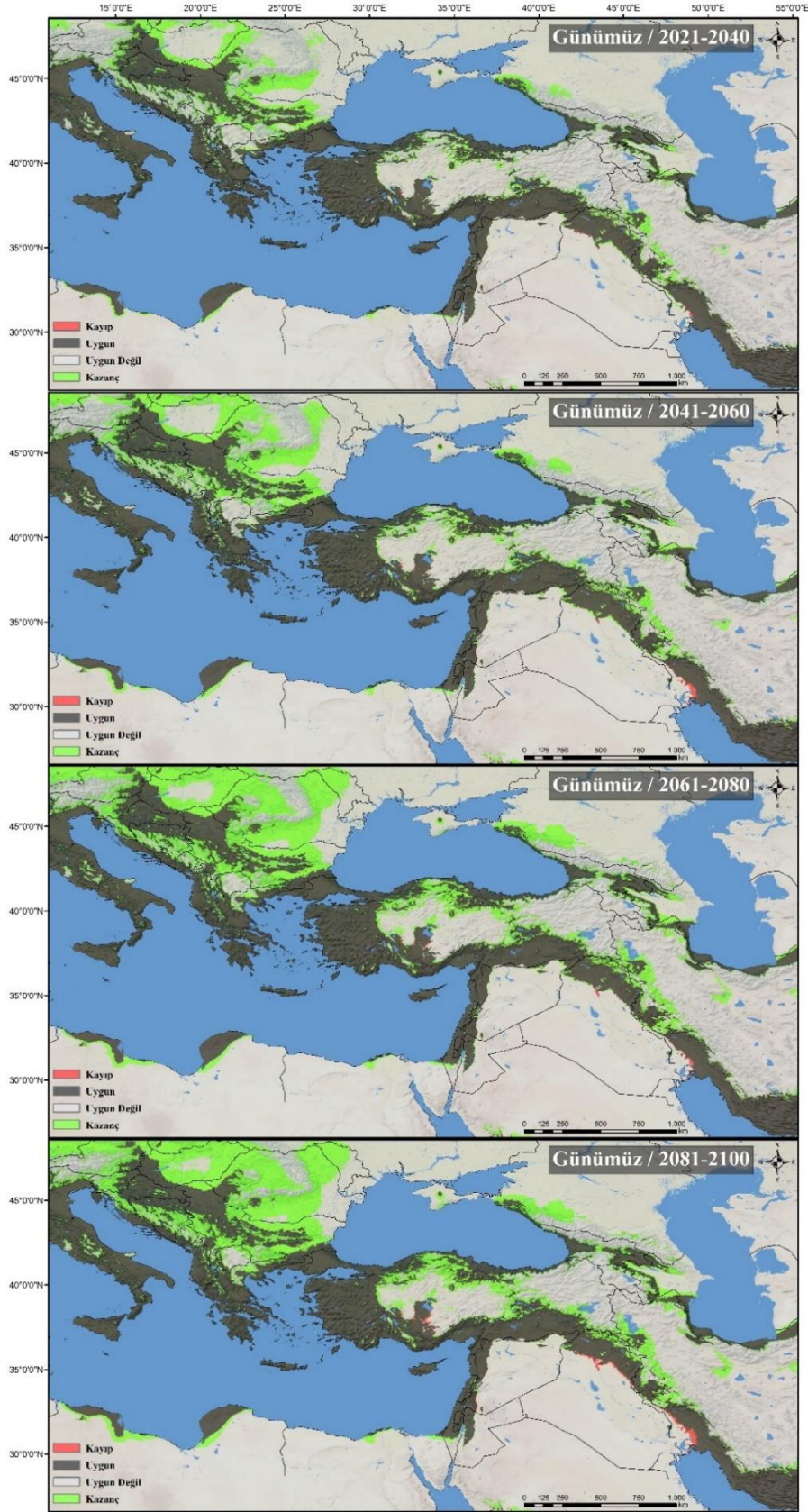
| IPSL_SSP3-7.0 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|------------------|-------|-------------|---------|---------|-----------|------------|
| 2021-2040 | 3107 | 7318943 | 2143242 | 380336 | 0.145 | 17.72 |
| 2041-2060 | 2260 | 6878360 | 2144089 | 820919 | 0.105 | 38.247 |
| 2061-2080 | 13668 | 6436471 | 2132681 | 1262808 | 0.637 | 58.835 |
| 2081-2100 | 25783 | 6116018 | 2120566 | 1583261 | 1.201 | 73.765 |

Çizelge 3.10. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

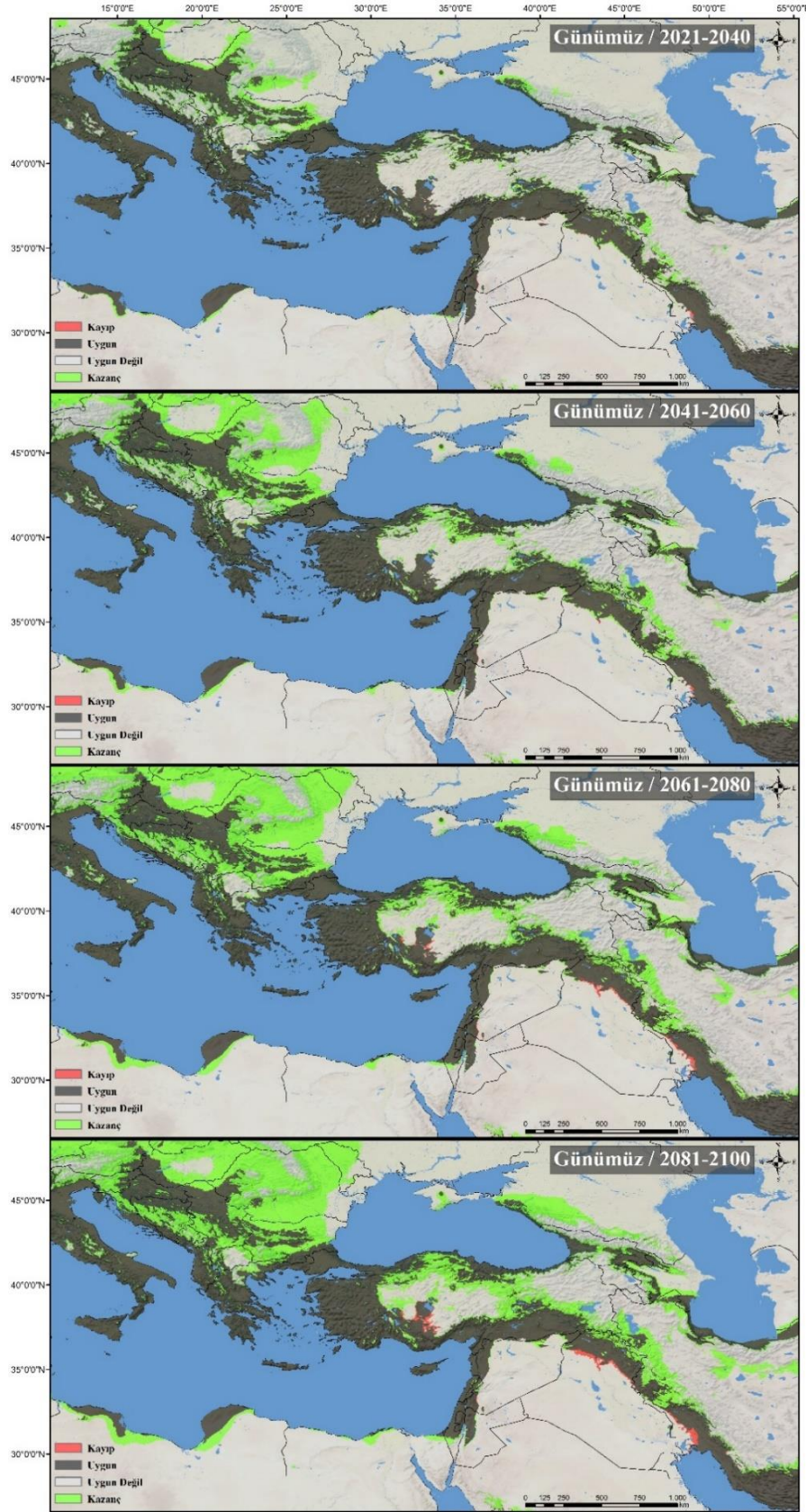
| IPSL_SSP5-8.5 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|------------------|-------|-------------|---------|---------|-----------|------------|
| 2021-2040 | 1097 | 7116232 | 2145252 | 583047 | 0.051 | 27.165 |
| 2041-2060 | 16793 | 6685857 | 2129556 | 1013422 | 0.782 | 47.216 |
| 2061-2080 | 18884 | 6520874 | 2127465 | 1178405 | 0.88 | 54.903 |
| 2081-2100 | 35402 | 5994379 | 2110947 | 1704900 | 1.649 | 79.433 |



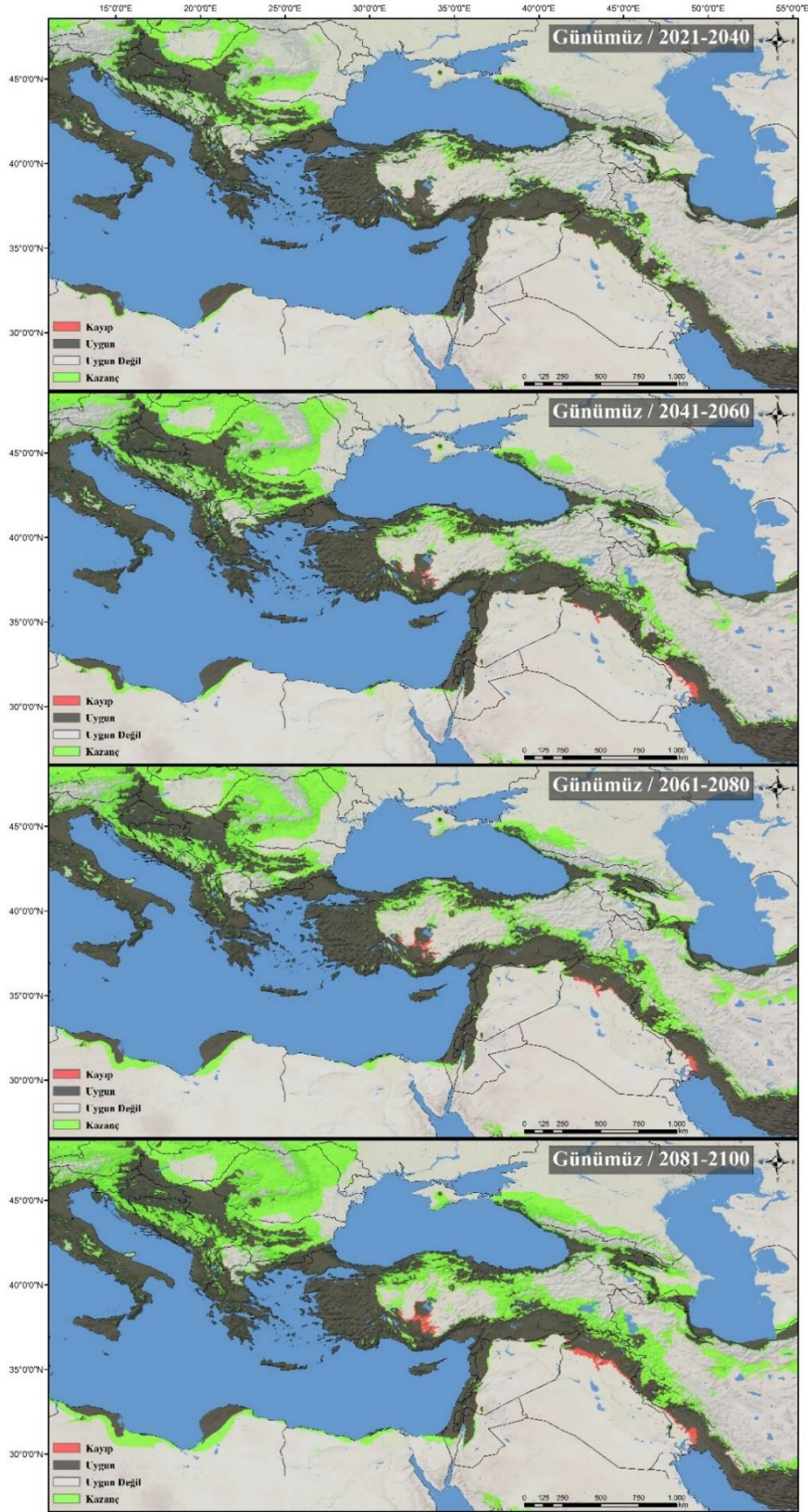
Şekil 3.23. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.24. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.25. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.26. *Phlebotomus tobbi*'nin IPSL küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.

Çizelge 3.11. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

| MIROC_SSP1-2.6 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|------------------|-------|-------------|---------|---------|-----------|------------|
| 2021-2040 | 163 | 6736905 | 2146186 | 962374 | 0.008 | 44.838 |
| 2041-2060 | 1433 | 6691927 | 2144916 | 1007352 | 0.067 | 46.933 |
| 2061-2080 | 2329 | 6588790 | 2144020 | 1110488 | 0.109 | 51.738 |
| 2081-2100 | 5310 | 6671018 | 2141039 | 1028261 | 0.247 | 47.907 |

Çizelge 3.12. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

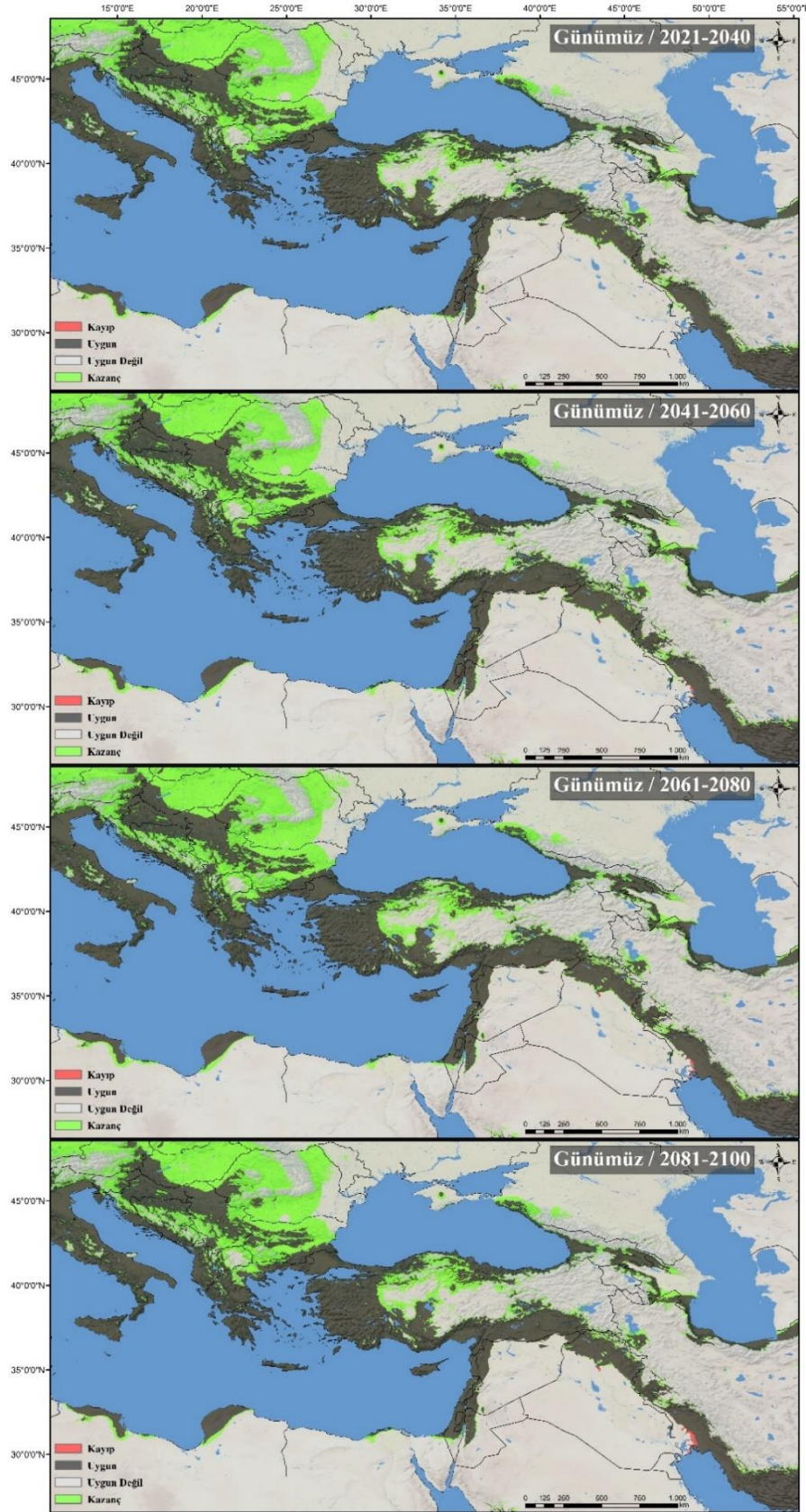
| MIROC_SSP2-4.5 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|------------------|-------|-------------|---------|---------|-----------|------------|
| 2021-2040 | 28 | 6660826 | 2146321 | 1038453 | 0.001 | 48.382 |
| 2041-2060 | 1013 | 6535455 | 2145336 | 1163824 | 0.047 | 54.223 |
| 2061-2080 | 2620 | 6445884 | 2143729 | 1253395 | 0.122 | 58.397 |
| 2081-2100 | 5350 | 6386446 | 2140999 | 1312833 | 0.249 | 61.166 |

Çizelge 3.13. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

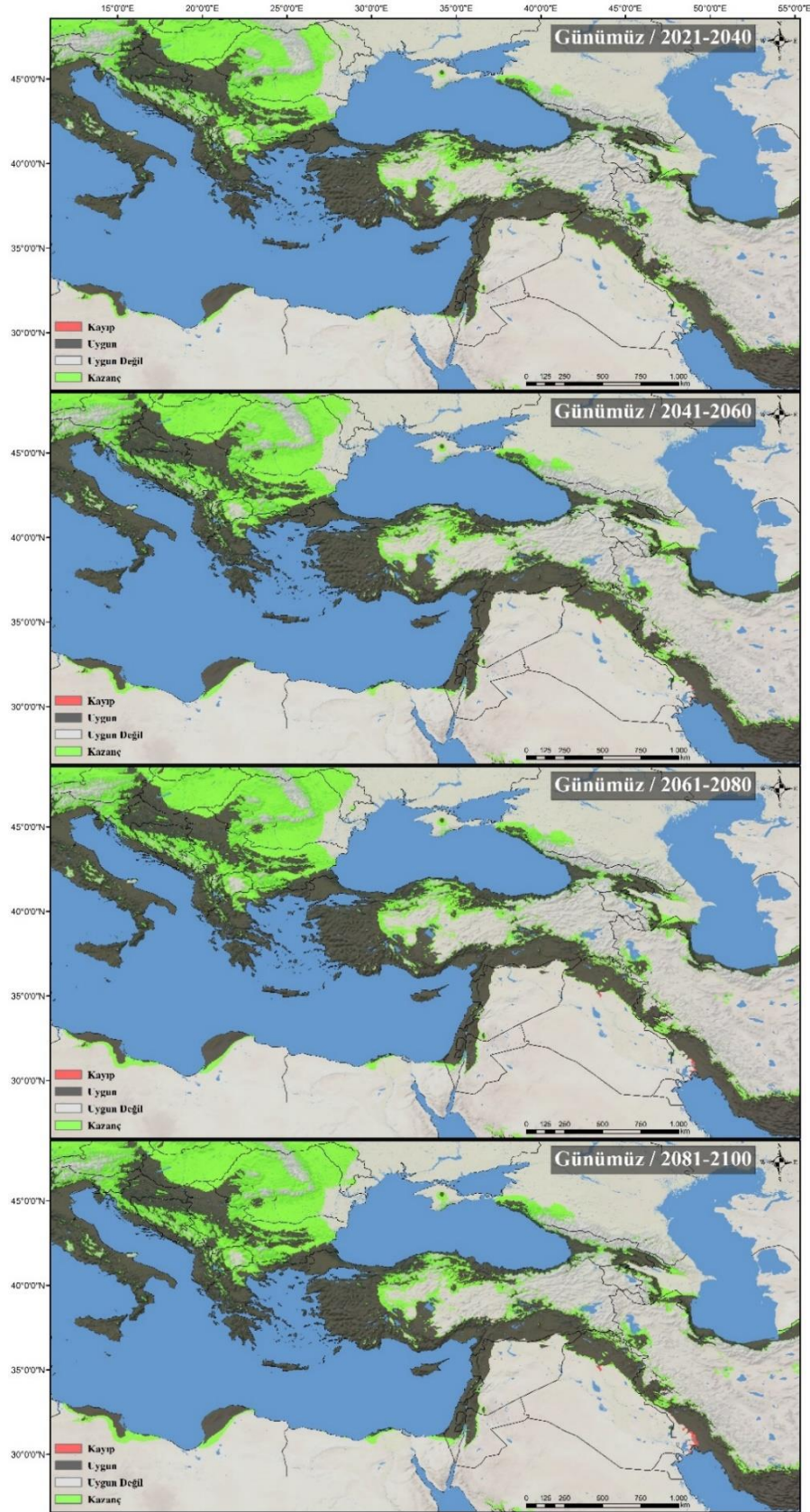
| MIROC_SSP3-7.0 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------|-------|-------------|---------|---------|-----------|------------|
| 2021-2040 | 37 | 6761182 | 2146312 | 938097 | 0.002 | 43.707 |
| 2041-2060 | 1333 | 6617859 | 2145016 | 1081420 | 0.062 | 50.384 |
| 2061-2080 | 4785 | 6375083 | 2141564 | 1324196 | 0.223 | 61.695 |
| 2081-2100 | 12965 | 6318095 | 2133384 | 1381184 | 0.604 | 64.35 |

Çizelge 3.14. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için günümüz ile kıyaslandığında 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki biyoiklimsel uygun alanlar yönünden kazanç ve kaybı. Gelecekteki biyoiklimsel uygunluğun arttığı alanlar “Kazanç”, azaldığı alanlar “Kayıp”, değişmeyen uygun alanlar “Uygun” ve her iki projeksiyonda da uygun olmayan alanlar “Uygun Değil” olarak belirtilmiştir.

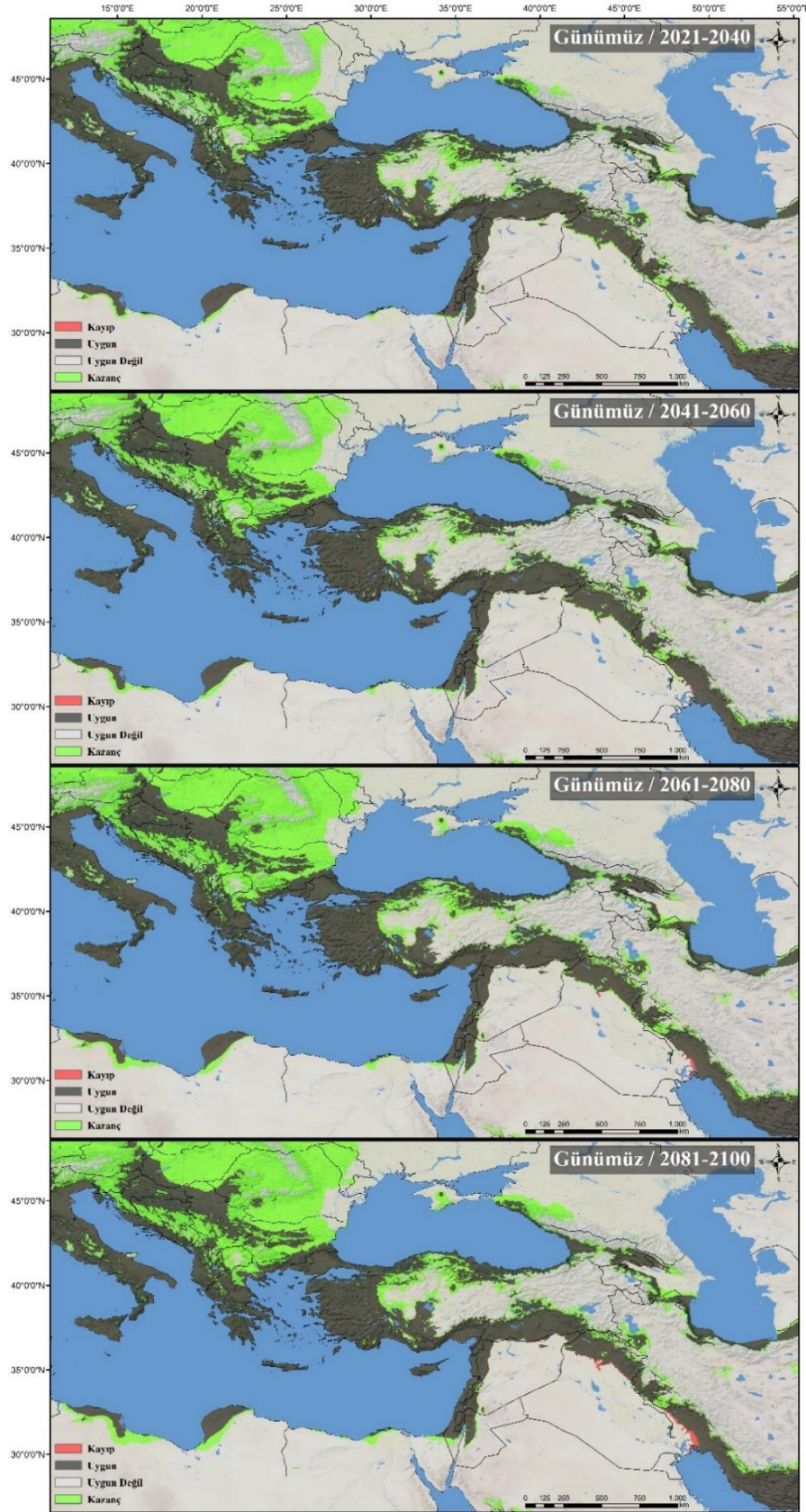
| MIROC_SSP5-8.5 | Kayıp | Uygun Değil | Uygun | Kazanç | Kayıp (%) | Kazanç (%) |
|----------------|-------|-------------|---------|---------|-----------|------------|
| 2021-2040 | 567 | 6704986 | 2145782 | 994293 | 0.026 | 46.325 |
| 2041-2060 | 2920 | 6523217 | 2143429 | 1176062 | 0.136 | 54.794 |
| 2061-2080 | 20464 | 6465121 | 2125885 | 1234158 | 0.953 | 57.5 |
| 2081-2100 | 33333 | 6200708 | 2113016 | 1498571 | 1.553 | 69.82 |



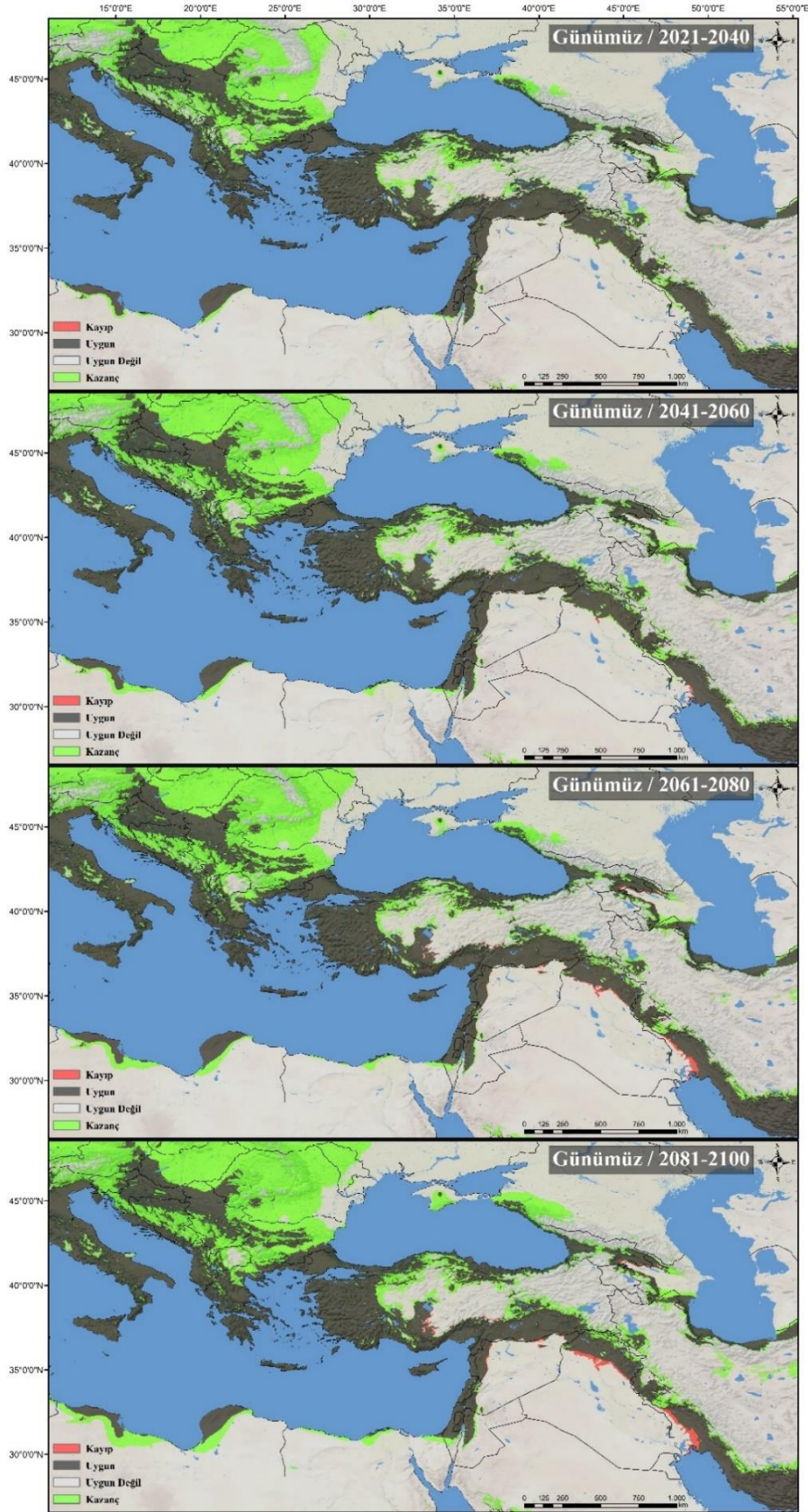
Şekil 3.27. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP1-2.6 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.28. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP2-4.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.29. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP3-7.0 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.



Şekil 3.30. *Phlebotomus tobbi*'nin MIROC küresel iklim modeli ve SSP5-8.5 senaryosu için 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 zaman aralıklarındaki kazanç-kayıp haritaları.

4. TARTIŞMA

Sivrisinekler, keneler ve kum sinekleri gibi kanla beslenen vektörler aracılığıyla bulaşan patojenlerin neden olduğu vektör kaynaklı hastalıklar, küresel olarak önemli bir hastalık ve ölüm nedenidir. Sıtma, dang humması, Lyme hastalığı ve leishmaniasis gibi vektör kaynaklı hastalıklar, tüm bulaşıcı hastalıkların %17'sini temsil eder ve yılda 700.000'den fazla ölüme neden olurlar (Dünya Sağlık Örgütü, 2020).

Vektör organizmalar, patojen ile konakçı (insan veya hayvan) arasında bir köprü görevi gördükleri için bu hastalıkların yaşam döngüsünde kritik bir halkadır. Vektörler, enfekte bir konakçıdan kan emerken patojenleri alır ve daha sonra beslenmeleri sırasında patojenleri yeni bir konakçıya bulaştırırlar (Gubler, 2009).

Vektör organizmaların yayılımlarına yönelik yapılan çalışmalar; hastalıkların coğrafi kapsamı, potansiyel risk alanları ve hastalığın yayılması hakkında çok önemli bilgiler sağlar. Bu çalışmalar gelecekte vektörlerin ve dolayısıyla hastalıkların yayılış alanlarını ortaya çıkarabilir. Bu tür tahmine dayalı haritalamalar, iklim değişikliği ışığında vektör yayılımlarını ve dolayısıyla vektör kaynaklı hastalıkların epidemiyolojisindeki çalışmalarda giderek daha önemli hale gelmiştir (Mills, Gage ve Khan, 2010; Tidman ve ark., 2021).

Vektör yayılım çalışmalarında kullanılan önemli bir araç olan ekolojik niş modelleme teknikleri, araştırmacıların çevresel değişkenlere dayalı olarak vektör türlerin potansiyel yayılımını tahmin ederek türün bilinen mevcut yayılımına katkı sağlar. Kum sineği türlerinin coğrafi yayılımı, bulaştırdıkları leishmaniasis hastalığının anlaşılması ve kontrolünde önemli bir yer tutmaktadır. Bu vektör türler üzerine daha önce yapılan çeşitli niş modeli araştırmaları incelendiğinde;

González ve ark., 2010'da yapılmış olan çalışma, Kuzey Amerika'da kum sineği türü *Lutzomyia anthophora* ve *Lutzomyia diabolica*'nın, *Leishmania* paraziti *Leishmania mexicana* ile potansiyel coğrafi yayılımını tahmin etmek için ekolojik niş modeli yaklaşımını kullanmıştır. Gelecek senaryolarının iklim değişikliği altında uygun habitatlarının kuzeye doğru kaymasıyla bu türlerin Kuzey Amerika'da önemli ölçüde genişlemesine yol açabileceğini ve potansiyel olarak yeni popülasyonları enfeksiyon riskine sokabileceğini belirtmişlerdir.

Güney Amerika'da, Carvalho ve ark., 2015'te yaptıkları çalışmada iklim değişikliği senaryoları altında *Leishmania amazonensis*'in bir vektörü olan *Lutzomyia flaviscutellata*'nın uygun habitatlarının güneye doğru genişlemesi öngörülmüştür. Falcão de Oliveira ve ark., 2018'de yaptıkları çalışmada, *Leishmania infantum*'un bir vektörü olan *Lutzomyia cruzi*'ye odaklanılmış ve gelecekte özellikle Brezilya'nın güneydoğu ve iç batı bölgelerinde yüksek uygunlukla daha geniş bir coğrafi yayılımı öngörülmüştür.

Chalghaf ve ark., 2016'da yaptıkları çalışmada, Tunus'ta kutanöz leishmaniasis vektörü *Phlebotomus papatasi*'nin potansiyel coğrafi yayılımı modellenmiştir. Tunus'un merkezinde ve güneydoğusundaki potansiyel bulaşma noktalarını tahmin etmişler ve türün iklimsel olarak uygun olacağı alanların artması nedeniyle hastalık vakalarında artış potansiyeli olabileceğini vurgulamışlardır.

Chalghaf ve ark., 2018'de yapılmış olan çalışma, *Leishmania* vektörlerinin Akdeniz havzasındaki potansiyel yayılımına odaklanmıştır. Araştırmacılar, özellikle *Ph. papatasi* ve *Ph. ariasi* türlerinin gelecekteki uygun alanlarını Avrupa kıtasında önemli düzeyde arttırabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Koch ve ark., 2017'de yaptıkları çalışmada, Avrupa'da yayılış gösteren 10 *Phlebotomus* türünün (*Ph. alexandri*, *Ph. ariasi*, *Ph. mascittii*, *Ph. neglectus*, *Ph. papatasi*, *Ph. perfiliewi*, *Ph. perniciosus*, *Ph. sergenti*, *Ph. similis* ve *Ph. tobbi*) ekolojik niş modelini oluşturmuşlardır. Gelecekte biyoiklimsel uygun alanlarını en fazla arttıracak türlerden birinin *Ph. tobbi* olduğu görülmüştür. Detaylı incelendiğinde, gelecekte Orta Avrupa'nın bir kısmı hariç bütün Avrupa kıtası uygun alan olarak görülmüştür. *Ph. tobbi*'nin bu denli geniş bir coğrafyaya projeksiyonlanması türün biyolojisi ve yayılım yetenekleri dikkate alındığında belirtilen uygun habitatlara yayılışının mümkün olamayacağını düşündürmektedir. Türkiye'de geniş bir yayılış gösteren bu türün, model oluşturulurken kullanılan var verisinde yeterince temsil edilememesi model tahminleme gücünü düşürebilecek önemli bir konu olarak düşünülmektedir. *Ph. tobbi*'nin yaşam alanları içinde mikrohabitatların önemi göz önüne alındığında 10 km'lik çevresel veri çözünürlüğünün kullanılmasının yanı sıra özellikle Anadolu coğrafyasının geniş alanlarında uzamsal yırtılma gösteren BIO18 ve BIO19 çevresel değişkenlerinin kullanılması model tahminlemesini olumsuz etkileyebilecek diğer önemli faktörlerdir. Türün modelleme sonucu oluşturulmuş günümüz haritasında, Türkiye'nin iç bölgelerinin biyoiklimsel olarak nispeten yüksek bir uygunlukta gösterilmesi yukarıda bahsedilen faktörlerin bir sonucu olabilir. Balkanlar'ın biyoiklimsel uygunluğunun gelecekte büyük

ölçüde artması bu tez çalışmasında da ortaya çıkan önemli sonuçlardan biridir. Gelecekte bu bölgeye yönelik daha detaylı saha çalışmaları ve vektör kaynaklı hastalıklar için risk analizlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada *Ph. tobbi*'nin günümüz ve gelecekteki biyoiklimsel uygun alanları araştırılmıştır. Günümüz biyoiklimsel uygunluk sonuçları türün bilinen yayılımını büyük ölçüde doğru tahmin etmiştir. Ancak İtalya yarımadası, Sicilya adası ve Basra Körfezi'nin kuzey doğusunda türün olmadığına bilinmesine karşın model bu bölgeleri yüksek biyoiklimsel uygun alanlar olarak ortaya çıkarmıştır. Ekolojik niş modellerinin büyük ölçüde türlerin temel nişini tahminlediği üzerinden yola çıkılarak böyle boşlukların kalması doğal olarak görülebilir. Bununla birlikte *Ph. tobbi*'nin bu alanlarda olmamasına rağmen biyoiklimsel uygunluğunun fazla olması biyotik etkileşimlere, türlerin yanlış tanımlanmasına, türün tarihsel yayılışına ve coğrafi bariyerlere dayandırılabilir. Bu başlıkları detaylı incelemek gerekirse;

Türler arası rekabet kavramı, benzer ekolojik gereksinimlere sahip olan yakın akraba türlerin yiyecek, barınak ve üreme alanları dahil olmak üzere aynı kaynaklar için rekabet ettiği fikri etrafında döner (Connell, 1983). Bir tür daha verimli bir kaynak kullanıcısıysa veya yerel koşullara daha iyi uyum sağlamışsa, diğer türlerin yayılımını veya bolluğunu kısıtlayabilir.

İtalya'da *Ph. perniciosus*, *Ph. perfiliewi* ve *Ph. neglectus* dahil olmak üzere birkaç *Phlebotomus* türü yaygındır (Depaquit ve ark., 2010; Maroli ve ark., 2013; Defilippo ve ark., 2022). Bu türler *Larroussius* alt cinsine aittir ve bu nedenle *Ph. tobbi* ile benzer ekolojik gereksinimlere sahiptirler. Çalışmalar, *Larroussius* türlerinin Akdeniz iklimine adapte olduğunu, larvalarının genellikle hayvan yuvalarında, küçükbaş veya büyükbaş hayvanların tutulduğu ahır veya ağıl gibi yapılarda bulunan organik açıdan zengin, nemli topraklarda geliştiğini göstermektedir (Killick-Kendrick, 1999). İtalya'da yerleşmiş olan türler, bu kaynakları kullanmada daha verimli olursa veya yerel koşullara daha iyi uyum sağlarsa, *Ph. tobbi*'nin bu alanlara yerleşmesini önleyebilirler. Benzer şekilde, Basra Körfezi'nin kuzeydoğusunda *Ph. sergenti* yaygındır (Yaghoobi-Ershadi, 2012). Kutanöz leishmaniasis'in ana vektörü olarak kabul edilir ve bölgede geniş bir yayılıma sahiptir (Parvizi ve Ready, 2008). *Ph. tobbi* gibi, Akdeniz iklimi ve benzeri üreme alanlarına sahip ortamları tercih eder. Bu nedenle, türler arası yoğun rekabet *Ph. tobbi*'nin bu bölgeye yerleşmesini engelleyebilir.

Ph. tobbi de dahil olmak üzere birçok *Phlebotomus* türü, özellikle kum sineği çeşitliliğinin yüksek olduğu bölgelerde, yanlış teşhise yol açabilecek benzer morfolojik özelliklere sahiptir (Depaquit ve ark., 2010). Bu sorun, aynı alt cinse ait (bu durumda, *Larrousius*) birden fazla türün bulunduğu alanlarda daha da önem kazanmaktadır. DNA barkodlama ve yeni nesil dizileme gibi moleküler tekniklerdeki son gelişmeler, daha doğru tür teşhisi ve keşfi için güçlü araçlar sağlamıştır (Hebert ve ark., 2003; Shokralla ve ark., 2012; Erisoz Kasap ve ark., 2019). Ancak kum sineği sistematik çalışmalarında çoğu tür tanımlaması hala geleneksel morfolojik yöntemlere dayanmaktadır (Depaquit ve ark., 2010).

Pleistosen dönemindeki iklim dalgalanmaları gibi tarihsel faktörler, pek çok türün coğrafi yayılımı ve genetik çeşitliliği üzerinde silinmez izler bırakmıştır. Değişen buzul ve buzullar arası dönemlerle karakterize edilen Pleistosen, türlerin yayılımının buzul sığınaklarına doğru daralmasına ve ardından uygun koşullar oluştuğunda ise genişlemesine yol açmıştır (Hewitt, 2000). *Ph. tobbi* türünün atasal popülasyonları buzullaşma dönemlerinde belirli sığınaklarda izole kalmış ve yayılımı bu yüzden kısıtlanmış olabilir.

Coğrafi engeller, popülasyonlar arasındaki gen akışını sınırlayabilir ve dolayısıyla türlerin yayılma alanını çevre koşulları uygun olsa bile kısıtlayabilir (Gaston, 2003). Örneğin, büyük su kütleleri veya yüksek sıradağlar türlerin yayılmasında doğal engeller olarak işlev görebilirler. Bu kapsamda Türkiye'nin güneydoğusundan Basra Körfezi'ne kadar uzanan Zagros Dağları, *Ph. tobbi*'nin doğu Akdeniz'deki bilinen yayılım alanından Basra Körfezi'nin kuzeydoğusuna hareket etmesini engelleyen bir bariyer görevi görüyor olabilir. Bu coğrafi engellerin türün yayılımı üzerindeki potansiyel etkisi, yaşam döngüsü ve ekolojisi düşünüldüğünde özellikle önemlidir. *Ph. tobbi* de dahil olmak üzere phlebotomine kum sinekleri zayıf uçuculardır ve genellikle üreme alanlarından 1 km uzağa ulaşabildikleri belirtilmiştir (Orshan ve ark., 2016). Bu zayıf dağılma yeteneği, onları özellikle coğrafi engellere karşı hassas hale getirmektedir.

Bahsedilen sebeplerin her biri *Ph. tobbi*'nin yayılışını kısıtlamada bir rol oynasa da bunların bütünleşik yorumlanması türün yayılımını daha iyi anlamak açısından önemlidir.

Bu çalışma sonuçlarının gösterdiği en önemli iki çevresel değişkenden biri olan BIO1'in cevap eğrileri incelendiğinde; marjinal cevap eğrisinde türün uygunluğu için belli bir sıcaklık değerine kadar modele katkı sağladığını ancak yaklaşık 22°C'ye ulaştıktan sonra

bu katkının durduğu görölmektedir. Tek değişkenli cevap eğrisinde ise 17°C tepe noktasına kadar uygunluk için olumlu bir katkı yapılmışken 17°C'den 27°C'ye uygunluk için olumsuz bir katkı yaptığı görölmektedir. Bu iki eğrinin temelde bize anlattığı şey sıcaklığın bu tür için sınırlayıcı bir faktör olduğu ve sıcaklık değerinin arttıkça türün biyoiklimsel uygunluğunun da azalacağı yönündedir. Bu bulguları destekleyecek şekilde *Ph. tobbi*'ye ait ergin bireylerin 18°C, 23°C ve 27°C olmak üzere üç farklı sıcaklık altında gerçekleştirilen deneylerinde artan sıcaklığın ömür uzunluğunu olumsuz bir şekilde etkilediği gösterilmiştir (Yılmaz., 2020).

Bu çalışma, *Phlebotomus tobbi*'nin gelecekteki biyoiklimsel uygunluk alanlarını (özellikle Balkanlar ve Türkiye'nin bir kısmı) büyük ölçüde arttırdığını göstermiştir. Vektör türlerin yeni coğrafi alanlara yayılması, insan kaynaklı taşınma, iklim değişikliği ve arazi örtüsü değişiklikleri gibi çeşitli sebeplerden etkilenebilir.

Türlerin insan kaynaklı taşınması, küresel olarak yeni alanlara yayılımının önemli bir itici gücüdür (Seebens ve ark., 2017). Bu durum, malların, bitkilerin, toprağın ve hatta seyahat eden evcil hayvanların hareketi yoluyla olabilir (Tatem, 2006). *Ph. tobbi*'nin coğrafi yayılımı, bu şekilde yumurtalarının taşınmasıyla artabilir. Bu, özellikle hızlı altyapı geliştirme sürecinden geçen bölgelerde üstünde durulması gereken bir konudur (Hulme, 2009).

İklim değişikliği, türlerin biyoklimatik uygunluğunu ve habitat yayılımını etkiler. Sıcaklık ve yağış modellerindeki değişiklikler, habitatların uygunluğunu değiştirebilir ve türlerin yayılımlarının genişlemesine veya daralmasına neden olabilir (Parmesan ve Yohe, 2003; Parmesan, 2006). *Ph. tobbi*'nin aktivitesi ve coğrafi yayılımları, iklim koşullarına, özellikle sıcaklık ve neme duyarlıdır (Erisoz Kasap ve Alten, 2005; Erisoz Kasap ve Alten, 2006). Küresel ısınma, *Ph. tobbi* gibi türlerin uygun olmayan sıcaklık bölgelerine genişlemesini destekleyebilir. Ayrıca, değişen yağış modelleri, türlerin çoğalma alanlarını ve yaşam döngülerini de etkileyebilir.

Arazi kullanım değişiklikleri, özellikle ormansızlaşma, kentleşme ve tarımsal genişleme, habitatları değiştirebilir ve belirli türlerin lehine koşullar yaratabilir (Foley ve ark., 2005). Örneğin, toprak nemini ve organik maddeyi artıran değişiklikler *Ph. tobbi*'nin yayılımını genişletmesine olanak sağlayabilir. Arazi kullanım değişikliklerinin çeşitli vektör türlerin yayılımını etkilediği bilinmektedir (Medlock ve ark., 2013; Gubler, 2011; Yasuoka ve Levins, 2007).

Çalışma kapsamında, sadece biyoiklimsel değişkenler kullanılarak türün biyoiklimsel uygun alanları tahmin edilmiştir. Buna karşılık türün tam anlamıyla yayılışını birçok faktörün etkilediği bilinmektedir. Yapılan saha araştırması temelli çalışmalarda *Ph. tobbi*'nin belirli yükseklik aralıklarında daha fazla birey sayısı ile temsil edildiği ortaya çıkarılmıştır (Belen ve Alten, 2011; Arserim, Mermer ve Ozbel, 2022). Türkiye'nin batısındaki potansiyel kum sineği vektör türleriyle hastalık risklerini modelleyen bir çalışmada *Ph. tobbi*'nin varlığının bitki örtüsü endeksi değişkeni ile anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Ölgen ve ark., 2012). Kum sineklerinin larva gelişimleri için organik açıdan zengin ve nemli toprakların varlığı çok önemlidir (Killick-Kendrick, 1999). Bu açıdan toprak tipi veya toprak nemi gibi çevresel değişkenlerin dahil edilmesi modellerin doğruluğunu arttırabilir (Rodgers ve ark., 2022). Çevresel değişken veri tabanları farklı çözünürlüklere sahip olabilir. Bunun yarattığı kısıtlamalara ek olarak her değişkenin gelecek zaman veri setleri de bulunmamaktadır. Örnek olarak, *Ph. tobbi*'nin yayılışında önemli bir değişken olduğu düşünülen büyükbaş hayvan yoğunluğu verisi çözünürlük uyuşmama durumu ve gelecek veri setine sahip olmaması nedeniyle bu çalışmaya dahil edilememiştir (Gilbert ve ark., 2018).

Hastalık biyocoğrafyası, çeşitli çevresel faktörlerle ilişkili olarak hastalıkların ve buna neden olan ajanların coğrafi dağılımının incelenmesini içeren disiplinler arası bir alandır. Küresel olarak bulaşıcı hastalıkların dağılımı patojen, konakçı ve çevresel özellikler arasındaki ilişkiler ağına bağlıdır. Özellikle, vektör kaynaklı hastalıkların dağılımı durağan olmayıp, iklim değişikliği, arazi kullanım değişikliği ve insan hareketliliği gibi faktörlere bağlı olarak zamanla değişmektedir. Sıcaklık ve yağış modellerindeki değişiklikler, vektör popülasyonlarını ve bunların uzamsal yayılımını etkileyerek hastalık bulaşma modellerini etkileyebilir (Murray ve ark., 2015). Kırım-kongo kanamalı ateşi hastalığının bulaşma döngüsü üzerine yapılan bir modelleme çalışmasında, patojen ve vektör organizması olan *Hyalomma m. Marginatum*'un habitat uygunluğunun büyük ölçüde örtüştüğü görülmüş ve bölgedeki kayıtlı hastalık vakalarıyla doğrulaması yapılarak model sonuçlarının uyumlu olduğu belirlenmiştir (Gür, 2018). Kum sinekleri üzerinde yapılan bir çalışmada, VL ve CL için risk haritalarının oluşturulması amacıyla yeni bir modelleme yaklaşımı kullanılmış ve oluşturulan CL risk haritasının kayıtlı hastalık vakalarıyla önemli ölçüde ilişkili olduğu görülmüştür (Ölgen ve ark., 2012). *Ph. tobbi*'nin bu çalışma sonucu ortaya çıkarılan potansiyel biyoiklimsel uygun alanları, raporlanmış VL ve CanL vakalarının lokasyonlarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir (Ozbel

ve ark., 2022; Vaselek, 2021). Bu çalışmanın sonuçları, hastalık biyocoğrafyası kapsamında yapılacak hastalık risk analizlerinde kullanılmak üzere değerlendirilebilir.

Bu çalışma, maksimum entropi ilkesini kullanan MaxEnt modelleme metodu ile yapılmıştır. Türün yok verilerine ihtiyaç duyulmadan sadece var verisinin kullanılması, model tahmin performansının iyi olması ve az sayıda var verisiyle kullanılabilmesi nedeniyle geniş bir kullanıma sahiptir. Bununla birlikte dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır.

MaxEnt'in çıktısı, türlerin var olma olasılığını değil, habitat uygunluğunun göreceli bir indeksidir (Elith ve ark., 2011). Bu, daha yüksek bir uygunluk değerinin türleri bulma olasılığından ziyade daha yüksek habitat uygunluğunu yansıttığı anlamına gelir.

Diğer bir konu karmaşık model tanımlamasıdır. Öznitelik sınıfları ve düzenleştirme çarpanı model karmaşıklığını düzenleyen en önemli 2 parametredir. Çoğu durumda, bu parametre seçimlerini optimize etmek için; var verilerinin alansal veya alansal olmayan metotlarla bölümlenmesi, arkaplan alanı ve nokta sayısının belirlenmesi gibi süreçler yürütülür. Tüm modelleme süreci türün bilinen biyolojisi üzerinden farklı parametre ayarlarıyla optimum ayarlarının oluşturulması ve test verilerinde en iyi performansı göstereni seçmeyi içerir. Bu tarz bir modelin çıktılarının yorumlanması dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Bu çalışmanın sonuç kısmında biyoiklimsel değişkenlerin modele katkısı lambda, jackknife, yüzde katkı ve permütasyon önem değerleri ile yorumlanmıştır. BIO16'nın yüzde katkı ve permütasyon önemi çok yüksek iken lambda değerleri bu katkının BIO1 ile girdiği etkileşimden kaynaklandığını göstermektedir.

MaxEnt'in sadece var verisiyle iyi bir şekilde çalışmasına karşın yok verilerinin bulunduğu durumda dahi bunları kullanamaz. Bilgilendirici olabilecek yok verilerinin göz ardı edilmesinin önemli bir sınırlama olduğu belirtilmiştir (Ward ve ark., 2009).

Sonuç olarak bu çalışma, *Leishmania infantum*'un vektörü ve visseral leishmaniasis (VL) ile canine leishmaniasis (CanL) hastalıklarının etkeni olan *Phlebotomus tobbi*'nin, gelecekteki biyoiklimsel uygun alanlarını büyük ölçüde arttıracaklarını öngörmektedir. İklim değişikliği ve vektör kaynaklı hastalıkların yayılımı arasındaki bağlantıların daha iyi anlaşılması, etkin mücadele stratejilerinin oluşturulması ve hastalığın yayılmasını önlemek açısından hayati önem taşımaktadır. Yapılmış olan bu çalışma, türün günümüz ve gelecekteki potansiyel uygun alanları hakkında önemli bilgiler verse de ekolojik niş

modellerinin bilinen limitlerinden (örneğin biyotik etkileşimler) dolayı farklı disiplinlerden gelen araştırma sonuçlarıyla birlikte yorumlanması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

Abedi-Astaneh, F., Akhavan, A. A., Shirzadi, M. R., Rassi, Y., Yaghoobi-Ershadi, M. R., Hanafi-Bojd, A. A., Akbarzadeh, K., Nafar-Shalamzari, R., Parsi, S., Abbasi, A., Raufi, H., Species diversity of sand flies and ecological niche model of *Phlebotomus papatasi* in central Iran. *Acta tropica*, 149, 246–253, **2015**.

Akaike, H., A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19, 716-723, **1974**.

Alkan, C., Vaziri, V. M., Ayhan, N., Badakhshan, M., Bichaud, L., Rahbarian, N., Javadian, E., Alten B., Lamballerie, X., Charrel, R. N., Isolation, Genetic Characterization, and seroprevalence of Adana Virus, a novel Phlebovirus belonging to the Salehabad Virus complex, in Turkey., *Journal of Virology*, 89, 8, 4080–91, **2015**.

Araújo, M. B., New, M., Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in ecology & evolution*, 22, 42-47, **2007**.

Arserim, S. K., Mermer, A., Ozbel, Y., Fauna, Seasonal Activity, and Altitudinal Distribution of Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae) in Leishmaniasis Endemic Area, Aydin Mountains, and Surroundings in Western Turkey/Turkiye'nin Batisinda, Leishmaniasis' in Endemik Oldugu Aydin Daglari ve Cevresinde Kum Sinegi (Diptera: Psychodidae) Faunasi, Mevsimsel Aktiviteleri ve Yukseklige Gore Dagilimleri. *Turkish Journal of Parasitology*, 46, 60-72, **2022**.

Austin, M. P., Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling*, 157, 101-118, **2002**.

Ayhan, N., Alten, B., Ivovic, V., Dvořák, V., Martinkovic, F., Omeragic, J., Stefanovska, J., Petric, D., Vaselek, S., Baymak, D., Kasap, O. E., Volf, P., Charrel, R. N., Direct evidence for an expanded circulation area of the recently identified Balkan virus (Sandfly fever Naples virus species) in several countries of the Balkan archipelago. *Parasites & vectors*, 10, 402, **2017**.

Belen, A., Alten, B., Seasonal dynamics and altitudinal distributions of sand fly (Diptera: Psychodidae) populations in a cutaneous leishmaniasis endemic area of the Cukurova region of Turkey. *Journal of Vector Ecology*, 36, 87-94, **2011**.

Bony, S., Colman, R., Kattsov, V. M., Allan, R. P., Bretherton, C. S., Dufresne, J., Hall, A., Hallegatte, S., Holland, M. M., Ingram, W., Randall, D. A., Soden, B. J., Tselioudis,

G., Webb, M. J., How well do we understand and evaluate climate change feedback processes?, *Journal of Climate*, 19, 3445-3482, **2006**.

Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M., Anderson, R. P., Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological modelling*, 275, 73-77, **2014**.

Burhan, H., Kütahya yöresinde kum sineği (Diptera: Psychodidae) türlerinin araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, **2018**.

Caminade, C., McIntyre, K. M., Jones, A. E., Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436, 157-173, **2019**.

Carbon Brief, CMIP6: The next generation of climate models, explained. <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/> (Erişim tarihi:1 Mayıs **2023**)

Carpenter, G., Gillison, A. N., Winter, J., DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity & Conservation*, 2, 667-680, **1993**.

Carvalho, B.M., Rangel, E.F., Ready, P.D., Vale, M.M., Ecological Niche Modelling Predicts Southward Expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* in South America, under Climate Change. *PLoS ONE*, 10, e0143282, **2015**.

Chalghaf, B., Chemkhi, J., Mayala, B., Harrabi, M., Benie, G. B., Michael, E., Ben Salah, B., Ecological niche modeling predicting the potential distribution of *Leishmania* vectors in the Mediterranean basin: impact of climate change, *Parasites & Vectors*, 11, 461, **2018**.

Chalghaf, B., Chlif, S., Mayala, B., Ghawar, W., Bettaieb, J., Harrabi, M., Benie, G. B., Michael, E., Salah, A. B., Ecological Niche Modeling for the Prediction of the Geographic Distribution of Cutaneous Leishmaniasis in Tunisia. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 94, 844–851, **2016**.

Charney, J., Arakawa, A., Baker, D. J., Bolin, B., Dickenson, R. E., Goody, R. M., Leith, C. E., Stommel, H. M., Wunsch, C. I., Carbon dioxide and climate: A scientific assessment. *The National Academies Press*. **1979**.

Chase, J. M., Leibold, M. A., Ecological niches: linking classical and contemporary approaches. *University of Chicago Press*, **2009**.

Chen, D., M. Rojas, B.H. Samset, K. Cobb, A. Diongue Niang, P. Edwards, S. Emori, S.H. Faria, E. Hawkins, P. Hope, P. Huybrechts, M. Meinshausen, S.K. Mustafa, G.-K. Plattner, and A.-M. Tréguier, Framing, Context, and Methods. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, 147–286, **2021**.

Chen, M., Vernon, C. R., Graham, N. T., Hejazi, M., Huang, M., Cheng, Y., Calvin, K., Global land use for 2015–2100 at 0.05 resolution under diverse socioeconomic and climate scenarios. *Scientific Data*, 7, 320, **2020**.

Connell, J. H., On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *The American Naturalist*, 122, 661-696, **1983**.

Cutler, D. R., Edwards Jr, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., Lawler, J. J., Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88, 2783-2792, **2007**.

Defilippo, F., Carrera, M., Lelli, D., Canziani, S., Moreno, A., Sozzi, E., Manarolla, G., Chiari, M., Marco, F., Cerioli, M. P., Lavazza, A., Distribution of Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae) in the Lombardy Region, Northern Italy. *Insects*, 13, 463, **2022**.

Demir, S., Gocmen, B., Ozbel, Y., Faunistic study of sand flies in northern Cyprus. *North-Western Journal of Zoology*, 6, 149-61, **2010**.

Depaquit, J., Grandadam, M., Fouque, F., Andry, P. E., Peyrefitte, C., Arthropod-borne viruses transmitted by Phlebotomine sandflies in Europe: a review. *Eurosurveillance*, 15, 19507, **2010**.

Deser, C., Phillips, A., Bourdette, V., Teng, H., Uncertainty in climate change projections: the role of internal variability. *Climate dynamics*, 38, 527-546, **2012**.

Diuk-Wasser, M. A., Hoen, A. G., Cislo, P., Brinkerhoff, R., Hamer, S. A., Rowland, M., Cortinas, R., Vourc'h, G., Melton, F., Hickling, G. J., Tsao, J. I., Bunikis, J., Barbour, A. G., Kitron, U., Piesman, J., Fish, D., Human risk of infection with *Borrelia burgdorferi*,

the Lyme disease agent, in eastern United States, *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 86, 320, **2012**.

Dokianakis, E., Tsirigotakis, N., Christodoulou, V., Poulakakis, N., Antoniou, M., DNA sequencing confirms PCR-RFLP identification of wild caught *Larrousius* sand flies from Crete and Cyprus. *Acta tropica*, 164, 314-320, **2016**.

Dvorak, V., Kasap, O. E., Ivovic, V., Mikov, O., Stefanovska, J., Martinkovic, F., Omeragic, J., Pajovic, I., Baymak, D., Oguz, G., Hlavackova, K., Gresova, M., Gunay, F., Vaselek, S., Ayhan, N., Lestinova, T., Cvetkovikj, A., Soldo, D. K., Katerinova, I., Tchakarova, S., Yilmaz, A., Karaoglu, B., Iranzo, J. R., Kadriaj, P., Velo, E., Ozbel, Y., Petric, D., Volf, P., Alten, B., Sand flies (Diptera: Psychodidae) in eight Balkan countries: Historical review and region-wide entomological survey., *Parasites & Vectors*, 13, 1, 573, **2020**.

Dvořák, V., Tsirigotakis, N., Pavlou, C., Dokianakis, E., Akhoundi, M., Halada, P., Volf, P., Depaquit, J., Antoniou, M., Sand fly fauna of Crete and the description of *Phlebotomus* (*Adlerius*) *creticus* n. sp. (Diptera: Psychodidae). *Parasites & vectors*, 13, 547, **2020**.

Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M. and E. Zimmermann, N., Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151, **2006**.

Elith, J., Kearney, M., Phillips, S., The art of modelling range-shifting species. *Methods in ecology and evolution*, 1, 330-342, **2010**.

Elith, J., Leathwick, J. R., Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40, 677-697, **2009**.

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., Yates, C. J., A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17, 43-57, **2011**.

Ergunay, K., Erisoz Kasap, O., Kocak Tufan, Z., Turan, M. H., Ozkul, A., Alten, B., Molecular evidence indicates that *Phlebotomus major sensu lato* (Diptera: Psychodidae)

is the vector species of the recently-identified sandfly fever Sicilian virus variant: sandfly fever turkey virus. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 12, 690-698, **2012**.

Ergunay, K., Kasap, O. E., Orsten, S., Oter, K., Gunay, F., Yoldar A. Z. A., Dincer E., Alten B., Ozkul A., Phlebovirus and Leishmania detection in sandflies from Eastern Thrace and Northern Cyprus. *Parasites & vectors*, 7, 575, **2014**.

Erisoz Kasap, O., Alten, B., Comparative demography of the sand fly *Phlebotomus papatasi* (Diptera: Psychodidae) at constant temperatures, *Journal of Vector Ecology*, 31, 2-9, **2006**.

Erisoz Kasap, O., Alten, B., Laboratory estimation of degree-day developmental requirements of *Phlebotomus papatasi* (Diptera: Psychodidae), *Journal of Vector Ecology*, 30, 6, **2005**.

Erisoz Kasap, O., Linton, Y. M., Karakus, M., Ozbel, Y., Alten, B., Revision of the species composition and distribution of Turkish sand flies using DNA barcodes, *Parasites & vectors*, 12, 1-20, **2019**.

Ermiş, V. Ö., Manisa ilinde ve ilçelerinde leishmaniasis'in vektörü olan kum sineği türlerinin (Psychodidae: Phlebotomine: *Phlebotomus* sp.) araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, **2011**.

Esri., ArcGIS Desktop: Release 10.8. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. **2020**.

Faiman, R., Kirstein, O., Freund, M., Guetta, H., Warburg, A., Exclusion of phlebotomine sand flies from inhabited areas by means of vertical mesh barriers. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 105, 512-518, **2011**.

Fajardo, J., Corcoran, D., Roehrdanz, P. R., Hannah, L., Marquet, P. A., GCM compareR: A web application to assess differences and assist in the selection of general circulation models for climate change research. *Methods in Ecology and Evolution*, 11, 656-663, **2020**.

Falcão de Oliveira, E., Galati, E. A. B., Oliveira, A. G. D., Rangel, E. F., Carvalho, B. M. D., Ecological niche modelling and predicted geographic distribution of *Lutzomyia cruzi*, vector of *Leishmania infantum* in South America. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 12(7), **2018**.

- Fawcett, T., An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27, 861-87, **2006**.
- Fick, S. E., Hijmans, R. J., WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37, 4302-4315, **2017**.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W., Cox, P., Driouech, F., Emori, S., Eyring, V., Forest, C., Gleckler, P., Guilyardi, E., Jakob, C., Kattsov, V., Reason, C., Rummukainen, M., Evaluation of climate models, in Climate Change 2013: The Physical Scientific Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge university press*, **2013**.
- Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., Snyder, P. K., Global consequences of land use. *Science*, 309, 570–574, **2005**.
- Franklin, J., Mapping species distributions: spatial inference and prediction. *Cambridge University Press*, **2010**.
- Gaston, K. J., The structure and dynamics of geographic ranges. *Oxford University Press*, **2003**.
- Giantsis, I. A., Beleri, S., Balatsos, G., Karras, V., Patsoula, E., Papachristos, D., Michaelakis, A., Chaskopoulou, A., Sand Fly (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) Population Dynamics and Natural Leishmania Infections in Attica Region, Greece. *Journal of medical entomology*, 58, 480–485, **2021**.
- Gilbert, M., Nicolas, G., Cinardi, G., Van Boeckel, T. P., Vanwambeke, S. O., Wint, G. R., Robinson, T. P., Global distribution data for cattle, buffaloes, horses, sheep, goats, pigs, chickens and ducks in 2010. *Scientific data*, 5, 1-11, **2018**.
- Giorgi, F., Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33, 8, **2006**.
- González, C., Wang, O., Strutz, S. E., González-Salazar, C., Sánchez-Cordero, V., Sarkar, S., Climate change and risk of leishmaniasis in North America: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *PLoS neglected tropical diseases*, 4, 585, **2010**.

Gubler, D. J., Dengue, urbanization and globalization: the unholy trinity of the 21st century. *Tropical medicine and health*, 39, 3-11, **2011**.

Gubler, D. J., Vector-borne diseases. *Revue Scientifique Et Technique*, 28, 583-588, **2009**.

Guisan, A., Zimmermann, N. E., Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135, 147-186, **2000**.

Guzman, H., Tesh, R. B., Effects of temperature and diet on the growth and longevity of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae), *Biomedica*, 20, 190–199, **2000**.

Gür H., Tür Dağılım Modellemesi ile İklim Değişikliği Uygulamaları. *Ekoloji ve Evrimsel Biyoloji Derneği Yayınları*, 1, **2019**.

Gür, H., Hastalık Biyocoğrafyası: Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi Hastalık Bulaşma Döngüsü ile Örnek Bir Çalışma. *Kebikec: İnsan Bilimleri İçin Kaynak Araştırmalı Dergisi*, 46, **2018**.

Haddad, N., Saliba, H., Altawil, A., Villinsky, J., Al-Nahhas, S., Cutaneous leishmaniasis in the central provinces of Hama and Edlib in Syria: Vector identification and parasite typing. *Parasites & vectors*, 8, 1-8, **2015**.

Hansen, M. C., DeFries, R. S., Townshend, J. R., Sohlberg, R., Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International journal of remote sensing*, 21, 1331-1364, **2000**.

Hebert, P. D., Cywinska, A., Ball, S. L., DeWaard, J. R., Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270, 313-321, **2003**.

Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., Albert, D. L., The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29, 773-785, **2006**.

Hewitt, G., The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature*, 405, 907-913, **2000**.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A., Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978, **2005**.

- Hirzel, A. H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., Guisan, A.. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological modelling*, 199, 142-152, **2006**.
- Houghton, E., Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2). *Cambridge University Press*, **1996**.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A., Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge university press*, **2001**.
- Houghton, J. T., Jenkins, G. J., Ephraums, J. J., Climate change: the IPCC scientific assessment. *American Scientist*, 80, **1990**.
- Hulme, P. E., Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of applied ecology*, 46, 10-18, **2009**.
- Hutchinson, G. E., Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415-427, **1957**.
- Jaynes, E. T., Information theory and statistical mechanics. *Physical review*, 106, 620, **1957**.
- Karakus, M., Gocmen, B., Özbel, Y., Insecticide Susceptibility Status of Wild-Caught Sand Fly Populations Collected from Two Leishmaniasis Endemic Areas in Western Turkey. *Journal of arthropod-borne diseases*, 11, 86–94, **2017**.
- Kass, J.M., Pinilla-Buitrago, G.E., Paz, A., Johnson, B.A., Grisales-Betancur, V., Meenan, S.I., Attali, D., Broennimann, O., Galante, P.J., Maitner, B.S., Owens, H., Varela, S., Aiello-Lammens, Merow, C., M.E., Blair, M.E., Anderson, R.P., wallace 2: a shiny app for modeling species niches and distributions redesigned to facilitate expansion via module contributions. *Ecography*, **2023**.
- Kavur, H., Eroglu, F., Evyapan, G., Demirkazik, M., Alptekin, D., Koltas, I. S., Entomological survey for sand fly fauna in Imamoglu province (cutaneous leishmaniasis endemic region) of Adana, Turkey. *Journal of Medical Entomology*, 52, 813-818, **2015**.

Kaynaş, S., Burdur ili'nde bulunan kum sineği (Diptera: Psychodidae) komünite yapısının belirlenmesi., Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, **2019**.

Kearney, M., Porter, W., Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology letters*, 12, 334-350, **2009**.

Kéry, M., Towards the modelling of true species distributions. *Journal of Biogeography*, 38, 617-618, **2011**.

Killick-Kendrick, R., The Biology and control of phlebotomine sand flies, *Clinics in Dermatology*, 17, 279–289, **1999**.

Knutti, R., Masson, D., Gettelman, A., Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophysical Research Letters*, 40, 1194-1199, **2013**.

Koch, L.K., Kochmann, J., Klimpel, S., Cunze, S., Modeling the climatic suitability of leishmaniasis vector species in Europe. *Scientific Reports*, 7, 13325, **2017**.

Lane, R. P., Crosskey, R.W., Medical Insects and Arachnids, Springer, Netherlands, Dordrecht, 78–119, **1993**.

Léger, N., Depaquit, J., Ferté, H., Rioux, J. A., Gantier, J. C., Gramiccia, M., Ludovisi, A., Michaelides, A., Christophi, N., Economides, P., Les Phlébotomes (Diptera-Psychodidae) de l'île de Chypre.II - Presence de Leishmania (Leishmania) Infantum Nicolle, 1908 (Zymodeme MON 1) Chez Phlebotomus (Larrousius) tobbi Adler et Theodor, 1930., *Parasite*, 7, 2, 143 46, **2000**.

Maroli, M., Feliciangeli, M. D., Bichaud, L., Charrel, R. N., Gradoni, L., Phlebotomine sandflies and the spreading of leishmaniasis and other diseases of public health concern. *Medical and Veterinary Entomology*, 27, 123–147, **2013**.

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J., Maycock, T., Waterfiels, T., Yelekci, R., Yu, R., Zhou, B., IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, in Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge university press*, **2021**.

Medlock, J. M., Hansford, K. M., Bormane, A., Derdakova, M., Estrada-Peña, A., George, J. C., Golovljova, I., Jaenson, T. G., Jensen, J. K., Jensen, P. M., Kazimirova,

M., Oteo, J. A., Papa, A., Pfister, K., Plantard, O., Randolph, S. E., Rizzoli, A., Santos-Silva, M. M., Sprong, H., Vial, L., Hendrickx, G., Zeller, H., Van Bortel, W., Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe. *Parasites & vectors*, 6, 1, **2013**.

Merow, C., Smith, M. J., Silander Jr, J. A., A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 1058-1069, **2013**.

Mills, J.N., Gage, K.L., Khan, A.S., Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan, *Environmental Health Perspectives*, 118, 1507–1514, **2010**.

Mordecai, E. A., Paaijmans, K. P., Johnson, L. R., Balzer, C., Ben-Horin, T., de Moor, E., McNally, A., Pawar, S., Ryan, S. J., Smith, T. C., Lafferty, K. D., Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted, *Ecology letters*, 16, 22-30, **2013**.

Munstermann E. L., Phlebotomine Sand Flies, the Psychodidae. In Marquardt, William C., and B. C. Kondratieff, eds. *Biology of Disease Vectors*. 2nd ed., *Elsevier Academic Press*, Burlington, MA, **2005**.

Murray, K. A., Olivero, J., Roche, B., Tiedt, S., Guégan, J. F., Pathogeography: leveraging the biogeography of human infectious diseases for global health management. *Ecography*, 41, 1411-1427, **2018**.

Murray, K. A., Preston, N., Allen, T., Zambrana-Torrel, C., Hosseini, P. R., Daszak, P., Global biogeography of human infectious diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112, 12746–12751, **2015**.

NASA, <https://climate.nasa.gov/> (Erişim tarihi:1 Haziran **2023**)

Nix, H. A., A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. *Atlas of elapid snakes of Australia*, 7, 4-15, **1986**.

NOAA, <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/What+is+Ocean+Acidification%3F> (Erişim tarihi:1 Haziran **2023**)

Norouzi, B., Hanafi-Bojd, A. A., Moin-Vaziri, V., Noorallahi, A., Azari-Hamidian, S., An Inventory of the Sand Flies (Diptera: Psychodidae) of Rudbar County, a New Focus

of Leishmaniasis in Northern Iran, with a Taxonomic Note on the Subgenus *Larroussius*. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 14, 302, **2020**.

Omondi, Z. N., Demir, S., Arserim, S. K. Entomological survey of the sand fly fauna of Kayseri Province: focus on visceral and cutaneous Leishmaniasis in Central Anatolia, Turkey. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 44, 158, **2020**.

Orshan, L., Elbaz, S., Ben-Ari, Y., Akad, F., Afik, O., Ben-Avi, I., Dias, D., Ish-Shalom, D., Studentsky, L., Zonstein, I., Distribution and dispersal of *Phlebotomus papatasi* (Diptera: Psychodidae) in a zoonotic cutaneous leishmaniasis focus, the Northern Negev, Israel (H. Louzir, Ed.), *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 10, **2016**.

Ozbel, Y., Karakus, M., Arserim, S. K., Kalkan, S. O., Toz, S., Molecular detection and identification of *Leishmania* spp. in naturally infected *Phlebotomus tobbi* and *Sergentomyia dentata* in a focus of human and canine leishmaniasis in western Turkey, *Acta Tropica*, 155, 89–94, **2016**.

Ozbel, Y., Töz, S., Muñoz, C., Ortuño, M., Jumakanova, Z., Pérez-Cutillas, P., Maia, C., Conceição, C., Baneth, G., Pereira, A., Van der Stede, Y., Gossner, C. M., Berriatua, E., The current epidemiology of leishmaniasis in Turkey, Azerbaijan and Georgia and implications for disease emergence in European countries. *Zoonoses and public health*, 69, 395–407, **2022**.

Ölgen, M. K., Özbel, Y., Balcıoğlu, İ. C., Demir, S., Şimşek, F., Özensoy Töz, S., Ertabaklar, H., Alkan, M. Z., A New Approach for Determining the Spatial Risk Levels for Visceral and Cutaneous Leishmaniasis related with the Distribution of Vector Species in Western Part of Turkey using Geographical Information Systems and Remote Sensing. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 18, 77-84, **2012**.

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N. K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C. B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestvedt, J., Gomez-Echeverri, L., Hallegatte, S., Hegerl, G., Howden, M., Jiang, K., Jimenez Cisneroz, B., Kattsov, V., Lee, H., Mach, K. J., Marotzke, J., Mastrandrea, M. D., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppenheimer, M., Pereira, J. J., Pichs-Madruga, R., Plattner, G. K., Pörtner, H. O., Power, S. B., Preston, B., Ravindranath, N. H., Reisinger, A., Riahi, K., Rusticucci, M., Scholes, R., Seyboth, K., Sokona, Y., Stavins, R., Stocker, T. F., Tschakert, P., van Vuuren, D., van Ypserle, J. P., Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of

- Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. Pachauri and L. Meyer (editors), IPCC, 151, **2014**.
- Parnesan, C., Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669, **2006**.
- Parnesan, C., Yohe, G., A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42, **2003**.
- Parvizi, P., Ready, P. D., Nested PCRs and sequencing of nuclear ITS-rDNA fragments detect three *Leishmania* species of gerbils in sandflies from Iranian foci of zoonotic cutaneous leishmaniasis. *Tropical Medicine & International Health*, 13, 1159-1171, **2008**.
- Patz, J. A., Githeko, A. K., McCarty, J. P., Hussein, S., Confalonieri, U., De Wet, N., Climate change and infectious diseases. Climate change and human health: risks and responses, 2, 103-132, **2003**.
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?, *Global ecology and biogeography*, 12, 361-371, **2003**.
- Pekağırbaş, M., Karakuş, M., Kasap, O. E., Demir, S., Nalçacı, M., Töz, S., Eren, H., Özbel, Y., Investigation of Phlebotominae (Diptera: Psychodidae) Fauna, Seasonal Dynamics, and Natural *Leishmania* spp. Infection in Muğla, Southwest of Turkey. *Acta Tropica*, 216, 105827, **2021**.
- Peterson, A. T., Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The quarterly review of biology*, 78, 419-433, **2003**.
- Peterson, A. T., Mapping disease transmission risk: enriching models using biogeography and ecology. *JHU Press*. **2014**.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., Blair, M. E., Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887-893, **2017**.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E., Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190, 231-259, **2006**.
- Proestos, Y., Christophides, G. K., Ergüler, K., Tanarhte, M., Waldock, J., Lelieveld, J., Present and future projections of habitat suitability of the Asian tiger mosquito, a vector

of viral pathogens, from global climate simulation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 370, 20130554, **2015**.

Rassi, Y., Sanei Dehkordi, A., Oshaghi, M. A., Abai, M. R., Mohtarami, F., Enayati, A., Zarei, Z., Javadian, E., First report on natural infection of the *Phlebotomus tobbi* by *Leishmania infantum* in northwestern Iran, *Experimental Parasitology*, 131, 344–349, **2012**.

Ready, P.D., Biology of Phlebotomine Sand Flies as Vectors of Disease Agents. *Annual Review of Entomology*, 58, 227-250, **2013**.

Reiter, P., Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart. *Revue scientifique et technique*, 27, 383-398, **2008**.

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O’neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin K., Dellink R., Fricko O., Lutz W., Popp A., Cuaresma J. C., Samir K.C., Leimbach M., Jiang L., Kram T., Rao S., Emmerling J., Ebi K., Hasegawa T., Havlik P., Humpenöder F., Da Silva L.A., Smith S., Stehfest E., Bosetti V., Eom J., Gernaat D., Masui T., Rogelj J., Strefler J., Drouet L., Krey V., Luderer G., Harmsen M., Takahashi K, Baumstark L., Doelman J.C., Kainuma M., Klimont Z., Marangoni G., Lotze-Campen H., Obersteiner M., Tabeau A., Tavoni, M., The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168, **2017**.

Rodgers, M. de S. M., Fonseca, E., Nieto, P. del M., Malone, J. B., Luvall, J. C., McCarroll, J. C., Avery, R. H., Bavia, M. E., Guimaraes, R., Wen, X., Silva, M. M. N., Carneiro, D. D., Cardim, L. L., Use of soil moisture active passive satellite data and WorldClim 2.0 data to predict the potential distribution of visceral leishmaniasis and its vector *Lutzomyia longipalpis* in Sao Paulo and Bahia states, Brazil. *Geospatial Health*, 17, **2022**.

Ryan, S. J., Carlson, C. J., Mordecai, E. A., Johnson, L. R., Global expansion and redistribution of *Aedes*-borne virus transmission risk with climate change. *PLoS neglected tropical diseases*, 13(3), e0007213, **2019**.

Salah, I., Abbasi, I., Warburg, A., Davidovitch, N., Kotler, B., The spatial and temporal distribution, species composition, and host preference of phlebotomine sand flies in the Bethlehem District of Palestine. *Acta tropica*, 203, 105327, **2020**.

Seebens, H., Blackburn, T.M., Dyer, E.E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Jeschke, J.M., Pagad, S., Pyšek, P., Winter, M., Arianoutsou, M., Bacher, S., Blasius, B., Brundu, G., Capinha, C., Celesti-Grappow, L., Dawson, W., Dullinger, S., Fuentes, N., Jäger, H., Kartesz, J., Kenis, M., Kreft, H., Kühn, I., Lenzner, B., Liebhold, A., Mosena, A., Moser, D., Nishino, M., Pearman, D., Pergl, J., Rabitsch, W., Rojas-Sandoval, J., Roques, A., Rorke, S., Rossinelli, S., Roy, H.E., Scalera, R., Schindler, S., Štajerová, K., Tokarska-Guzik, B., van Kleunen, M., Walker, K., Weigelt, P., Yamanaka, T., Essl, F., No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8, 1-9, **2017**.

Shokralla, S., Spall, J. L., Gibson, J. F., Hajibabaei, M., Next-generation sequencing technologies for environmental DNA research. *Molecular ecology*, 21, 1794-1805, **2012**.

Siraj, A. S., Santos-Vega, M., Bouma, M. J., Yadeta, D., Carrascal, D. R., Pascual, M., Altitudinal changes in malaria incidence in highlands of Ethiopia and Colombia. *Science*, 343, 1154-1158, **2014**.

Soberón, J., Nakamura, M., Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 19644-19650, **2009**.

Soberon, J., Peterson, A. T., Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1-10, **2005**.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Averyt, K., & Marquis, M., (Eds.) Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). *Cambridge university press*. **2007**.

Stainforth, D. A., Aina, T., Christensen, C., Collins, M., Faull, N., Frame, D. J., Kettleborough, J. A., Knight, S., Martin, A., Murphy, J. M., Piani, C., Sexton, D., Smith, L. A., Spicer, R. A., Thorpe, A. J., & Allen, M. R., Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*, 433, 403-406, **2005**.

Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D., Kelling, S., eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological conservation*, 142, 2282-2292, **2009**.

Svobodová, M., Alten, B., Zídková, L., Dvořák, V., Hlavačková, J., Myšková, J., Šeblová, V., Erisoz Kasap, O., Belen, A., Votýpka, J., Volf, P., Cutaneous leishmaniasis

caused by *Leishmania infantum* transmitted by *Phlebotomus tobbi*, *International Journal for Parasitology*, 39, 251–256, **2009**.

Tatem, A. J., Rogers, D. J., Hay, S. I., Global transport networks and infectious disease spread. *Advances in parasitology*, 62, 293-343, **2006**.

Tidman, R.I., Gosling, R., von Seidlein, L., Peto, T.J., Association between hotspots of malaria vector breeding and incidence of malaria in The Gambia: a cross-sectional study. *Lancet Planetary Health*, 5, 450–457, **2021**.

Tok, H., Çanakkale ili Ayvacık bölgesinde zoonotik visceral leishmaniasis'in serolojik ve entomolojik olarak araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, **2007**.

Töz, S. Ö., Sakru, N., Ertabaklar, H., Demir, S., Sengul, M., Ozbel, Y., Serological and entomological survey of zoonotic visceral leishmaniasis in Denizli Province, Aegean Region, Turkey. *The New Microbiologica*, 32, 93-100, **2009**.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J.F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S. J., Rose, S. K., The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109, 5-31, **2011**.

Vaselek S., Systematic Review: Re-emergence of human leishmaniasis in the Balkans. *Tropical medicine & international health*, 26, 1189–1199, **2021**.

Vaselek, S., Dvorak, V., Hlavackova, K., Ayhan, N., Halada, P., Oguz, G., Ivović, V., Ozbel, Y., Charrel, R. N., Alten, B., Petrić, D., A survey of sand flies (Diptera, Phlebotominae) along recurrent transit routes in Serbia. *Acta tropica*, 197, 105063, **2019**.

Vaselek, S., Oguz, G., Ayhan, N., Ozbel, Y., Kadriaj, P., Ćupina, A. I., Velo, E., Muja, N., Baymak, D., Alishani, M., Toz, S., Nalcaci, M., Sherifi, K., Charrel, R., Alten, B., Petrić, D., Sandfly surveillance and investigation of *Leishmania* spp. DNA in sandflies in Kosovo. *Medical and veterinary entomology*, 34, 394–401, **2020**.

Velasco, J. A., González-Salazar, C., Akaike information criterion should not be a “test” of geographical prediction accuracy in ecological niche modelling. *Ecological Informatics*, 51, 25-32, **2019**.

- Velo, E., Paparisto, A., Bongiorno, G., Di Muccio, T., Khoury, C., Bino, S., Gramiccia, M., Gradoni, L., Maroli, M., Entomological and parasitological study on phlebotomine sandflies in central and northern Albania, *Parasite*, 12, 45–49, **2005**.
- Volf, P., Volfova, V., Establishment and maintenance of sand fly colonies, *Journal of Vector Ecology*, 36, 1-9, **2011**.
- Ward, G., Hastie, T., Barry, S., Elith, J., & Leathwick, J. R., Presence-only data and the EM algorithm. *Biometrics*, 65, 554-563, **2009**.
- Washington, W.M., Parkinson, C.L., An introduction to three-dimensional Climate modeling, 2nd edn. *University Science Books*, Sausalito **2005**.
- World Health Organization (2020). Vector-borne diseases. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases> (Erişim tarihi:1 Haziran **2023**)
- Xanthopoulou, K., Anagnostou, V., Ivovic, V., Djurkovic-Djakovic, O., Rogozi, E., Sotiraki, S., Papa, A., Distribution of sandflies (Diptera, Psychodidae) in two Ionian Islands and northern Greece. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 11, 1591-1594, **2011**.
- Yaghoobi-Ershadi M., Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae) in Iran and their Role on *Leishmania* Transmission. *Journal of arthropod-borne diseases*, 6, 1–17, **2012**.
- Yasuoka, J., Levins, R., Impact of deforestation and agricultural development on anopheline ecology and malaria epidemiology. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 76, 450–460, **2007**.
- Yılmaz, A., Farklı sıcaklıkların *Phlebotomus tobbi* Adler, Theodor & Lourie, 1930 (Diptera:Psychodidae) üzerindeki etkisinin hayat tablosu verileri ve gün-derece modeliyle analizi., Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2020**.
- Živičnjak, T., Martinković, F., Khoury, C., Bongiorno, G., Bosnić, S., Lukačević, D., Maroli, M., Serological and entomological studies of canine leishmaniosis in Croatia. *Veterinarski arhiv*, 81, 99-110, **2011**.