






İklim değişikliğine bağlı olarak zeytinin (*Olea europaea* L.) Türkiye'de gelecekteki dağılımının modellenmesi ve uyum stratejileri üzerine bir inceleme¹

Review on modeling and adaptation strategies of the future distribution of olives (*Olea europaea* L.) in Türkiye depending on climate change¹

Muhammed Mustafa Özdel^{a*}  Beyza Ustaoglu^b  İsa Cürebal^c 

^a Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye.

^b Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, Türkiye.

^c Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Balıkesir, Türkiye.

ORCID: M.M.Ö. 0000-0003-0715-4566; B.U. 0000-0002-9876-3027; İ.C. 0000-0002-3449-1595

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 29.07.2024

Kabul/Accepted: 26.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Zeytin

İklim Değişikliği

Uyum Stratejisi

Tür Dağılım Modeli

MaxEnt

Keywords:

Olea europaea L.

Climate Change

Adaptation Strategy

Species Distribution Model

MaxEnt

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. M. Özdel) m.mustafaozdel@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1524269



Atıf/Citation:

Özdel, M. M., Ustaoglu, B., & Cürebal, İ. (2024). İklim değişikliğine bağlı olarak zeytinin (*Olea europaea* L.) Türkiye'de gelecekteki dağılımının modellenmesi ve uyum stratejileri üzerine bir inceleme. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 105-120. <https://dergi-park.org.tr/pub/tcd/article/1524269>

ÖZ/ABSTRACT

Bu çalışma, MaxEnt modelleme aracı kullanılarak zeytinin (*Olea europaea* L.) dağılımında etkili olan biyoiklim değişkenlerini belirlemeyi ve yetiştiricilik için günümüzdeki potansiyel ile gelecekteki olası uygunluk modellerini oluşturmayı amaçlamaktadır. Günümüzdeki potansiyel habitat alanlarının belirlenebilmesi için yakın geçmişe (1970-2000) ilişkin biyoiklim değişkenleri kullanılmıştır. Gelecek tahminleri ise MRI-ESM2-0 modelinin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 emisyon senaryolarına dayalı olarak 2041-2060 ve 2081-2100 dönemlerine ait biyoiklim değişkenlerinden yararlanılarak yapılmıştır. Modelleme sonucunda, zeytinin dağılımına en fazla katkı sağlayan değişkenlerin Bio12 (yıllık yağış), Bio7 (yıllık sıcaklık değişim aralığı) ve Bio9 (en kurak 3 ayın ortalama sıcaklığı) olduğu belirlenmiştir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarından simüle edilen gelecek iklim modelleri, genel olarak günümüzle kıyaslandığında, uygun alanların gelecekte daha yüksek rakımlı alanlara ve kuzey yönüne doğru kayma olasılığı gösterebileceğini tahmin etmektedir. Ayrıca daha önce zeytin yetiştiriciliğine elverişsiz olan bazı alanların, gelecek dönemlerde daha uygun hale gelebileceğini öngörmektedir. Özellikle, ilerleyen yıllarda Karadeniz ve Marmara kıyılarının zeytin yetiştiriciliği için daha elverişli hale gelmesi beklenmektedir. İklim değişikliğinin zeytin üzerindeki zorlayıcı etkilerini hafifletmek ve sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması önemlidir. Bu doğrultuda, çalışmada sulama ve toprak yönetimi, çeşit seçimi, hastalık ve zararlılarla mücadele, hasat teknikleri, teknoloji kullanımı ve eğitim gibi faktörler ele alınmış ve uyum stratejileri açısından değerlendirilmiştir.

This study aims to determine the bioclimatic variables influencing the distribution of olive (*Olea europaea* L.) using the MaxEnt modeling tool and to create current potential and future suitability models for cultivation. Bioclimatic variables from the recent past (1970-2000) have been used to determine the current potential habitat areas. Future predictions have been made based on bioclimatic variables from the MRI-ESM2-0 model, using the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 emission scenarios for the periods 2041-2060 and 2081-2100. The modelling indicated that Bio12 (annual precipitation), Bio7 (annual temperature range), and Bio9 (mean temperature of the driest quarter) are the key bioclimatic variables influencing olive distribution. Future climate models simulated under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios suggest that, compared to the present, suitable areas are likely to shift toward higher altitudes and more northern latitudes in the future. Additionally, it is projected that regions previously unsuitable for olive cultivation may become more conducive in the future. In particular, it is expected that the Black Sea and Marmara coastlines will become more suitable for olive cultivation in the coming years. It is essential to develop and implement climate change adaptation strategies to mitigate the challenging impacts of climate change on olives and ensure their sustainability. In this context, the study addresses factors such as irrigation and soil management, biodiversity, pest and disease control, harvesting techniques, technology use, and education, and evaluates them in terms of adaptation strategies.

¹ Bu çalışma birinci yazarın "İklim Değişikliğinin Türkiye'deki Zeytin Tarımına Etkisi: Kırılma ve Uyum Stratejilerinin Belirlenmesi" başlıklı doktora tezinin bazı bulgularını içermektedir.

¹ This study contains some findings from the first author's doctoral thesis titled "The Impact of Climate Change on Olive Farming in Türkiye: Identifying Vulnerabilities and Adaptation Strategies".

Extended Abstract

Introduction

Climate change is a major natural factor affecting biodiversity, agricultural production, and food security globally (Vermeulen et al., 2012). Increasing temperature trends, changes in precipitation regimes, and the growing frequency and severity of extreme weather events (Türkeş, 2020) pose significant challenges to ecosystems and ecological environments (Malhi et al., 2020). Studies emphasize that climate change will reshape biodiversity and species distribution (Pacifiçi et al., 2017; Örucü et al., 2024). The growth, development, distribution, and seasonal behavior of plants are governed by climatic elements. Changes in climate parameters, especially temperature and precipitation, affect plant phenology (Piao et al., 2019), geographical distribution (Parolo and Rossi, 2008), and population size (Qu, Wang, and Zhang, 2018). For example, increasing temperatures can cause phenological progression (Fraga et al., 2016) and force plants to shift from their adapted climates to higher altitudes or latitudes (Feeley et al., 2020; Muluneh, 2021). However, climate change may exceed the adaptive capacity of some plant species and cause local extinctions at the species level (Panetta, Stanton and Harte, 2018). Species Distribution Models based on climate change scenarios are widely used tools to assess the impacts of climate change on species distribution and predict habitat suitability (Booth, 2018). This study utilized the MaxEnt modelling tool to determine the current and future distribution of olive (*Olea europaea* L.) areas in Turkey under recent past and projected climate scenarios.

Data and Method

Olea europaea L. constitutes the primary material of the study. A total of 512 presence records of the species were compiled from the literature and open access databases (Davis, 1978; Ustaoglu et al., 2022; GBIF, 2023). A total of 19 bioclimatic variables with 30-second spatial resolution (~1 km²) derived from temperature and precipitation data in the open access WorldClim database (<https://worldclim.org/data/index.html>) such as Bio1 (Annual mean temperature), Bio3 (Isothermality), Bio9 (Mean temperature of the driest quarter), Bio12 (Annual rainfall) and Bio15 (Rainfall seasonality) were used to identify current and potential future habitat areas. Recent data from the WorldClim database for the reference period 1970-2000 were utilized to determine the current potential distribution areas. The medium-optimistic SSP2-4.5 and pessimistic SSP5-8.5 emission scenarios representing the near future (2041-2060) and far future (2081-2100) periods of the MRI-ESM2-0 model were used to estimate the possible future distribution. During the modelling process, correlation analysis was applied to the 19 bioclimatic variables for the period 1970-2000 to address multicollinearity issues, identify the most influential variables for the model, and enhance its performance. Based on the correlation analysis result, variables with a correlation coefficient greater than 0.85 were excluded from the modeling process. To model current and potential future distributions, the maximum entropy approach was applied using MaxEnt 3.4.4 software. The contributions of bioclimatic variables to the model were assessed using the Jackknife test within MaxEnt. Comparative analysis was conducted to evaluate changes between the current potential distribution and the predicted future dis-

tributions.

Results and Discussion

Among the 9 environmental variables used in the modelling, annual precipitation (Bio12), annual temperature range (Bio7) and the mean temperature of the driest quarter (Bio9) were found to have the highest contribution to the distribution of olives compared to other variables. The significant contribution of Bio12 (annual precipitation) to the distribution of the species has also been highlighted in several studies (Ashraf et al., 2016; Kassout et al., 2022). These findings suggest that rainfall is a limiting factor for olive distribution. According to the current potential geographical distribution model, approximately 76% of Türkiye is unsuitable for olive cultivation. Very slightly suitable areas account for 11% of the country, while 13% is classified as suitable (including suitable, very suitable, and extremely suitable). Changes in the geographical distribution of olives are anticipated under the near-future (2041-2061) and far-future (2081-2100) SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. These scenarios generally predict that high-altitude areas currently unsuitable for olive distribution may become suitable, and the distribution may shift northward. All future scenarios predict a continuous decrease in unsuitable areas over time. It is anticipated that today's suitable and very suitable areas may expand in response to changing climatic conditions. The change analyses also reveal that the gains in suitable areas will outweigh the losses over time. The Black Sea Region is expected to experience one of the most significant increases in olive distribution under climate change scenarios. Gutierrez et al. (2009) indicated that olive cultivation in Italy could spread to higher elevations in the Apennine Mountains and the northern Po Valley due to global warming. Tanasijevic et al. (2014) reported that areas currently unsuitable for olives may become suitable in the future, with olive groves potentially moving to higher elevations and northward. Similarly, Ögütçü and Kırac (2020) predicted that olive groves in Çanakkale will shift to higher elevations in the future. In this context, the findings obtained in the literature and the findings obtained in this study are similar. Mitigating the challenging impact of climate change on olive cultivation, ensuring yield stability and sustainability of olive cultivation in commercial sense depends on effective implementation of adaptation strategies such as irrigation management, soil management, fertilisation, diversity, disease and pest control, protection from extreme weather events, pruning, planting, harvesting, use of technology and education by taking local characteristics into consideration.

1.Giriş

İklim değişikliği küresel ölçekte biyoçeşitliliği, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini etkileyen önemli doğal faktörlerden biridir (Vermeulen vd., 2012). Sıcaklığın artma eğilimi, yağış rejimindeki değişiklikler ve ekstrem hava olaylarının sıklığının ve şiddetinin artması (Türkeş, 2020), ekosistemleri ve ekolojik ortamları büyük bir zorlukla karşı karşıya bırakmaktadır (Malhi vd., 2020). İklim değişikliğinin biyoçeşitliliği ve tür dağılımını yeniden şekillendireceği araştırmalarda vurgulanmaktadır (Pacifiçi vd., 2017; Örucü vd., 2024). Bitkilerin büyüme ve gelişmesi, dağılımı ve mevsimsel davranışları iklim elemanları tarafından yönetilmektedir. İklimin özellikle sıcaklık ve yağış pa-

rametrelerinde ortaya çıkan değişiklikler bitki fenolojisini (Piao vd., 2019), coğrafi dağılımı (Parolo & Rossi, 2008) ve popülasyon büyüklüğünü (Qu vd., 2018) etkilemektedir. Örneğin artan sıcaklıklar, fenolojik evrelerde değişime neden olabilirken (Fraga vd., 2016), bitkilerin uyum sağladıkları iklimden daha yüksek rakımlara veya daha yüksek enlemlere doğru kaymalarına neden olabilir (Feeley vd., 2020; Muluneh, 2021). Bununla beraber iklim değişikliği, bazı bitki türlerinin adaptasyon kapasitesini aşabilir ve tür düzeyinde yerel yok oluşlara neden olabilir (Panetta vd., 2018). Diğer yandan, küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olan CO₂ miktarının artması, bir seviyeye kadar fotosentezin artmasına katkıda bulunarak bazı türlerin bitki büyümesi ve fizyolojisi üzerinde olumlu etki yaratabileceği de ifade edilmektedir (Fraga vd., 2021).

İklim değişikliğinin türlerin habitatları üzerindeki etkilerini mekânsal ve zamansal olarak analiz etmek, hem türlerin iklim değişikliğine verecekleri tepkileri anlamak hem de biyoçeşitliliğin etkili bir şekilde yönetimi ve korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Hosseini vd., 2024). İklim değişikliğinin tür dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek ve habitat uygunluğunu tahmin edebilmek için iklim değişikliği senaryolarına dayalı, tür dağılım modelleri yaygın olarak kullanılan araçlardır (Booth, 2018). Bu amaç için BIOCLIM, CLIMEX, DOMAIN, GARP, MAXENT ve Random Forest gibi farklı modelleme araçları kullanılmaktadır. MaxEnt'in alanındaki çoğu modelleme aracına kıyasla daha yüksek tahmin performansı ve avantaj sağladığı çalışmalarda ifade edilmektedir (Ahmadi vd., 2023). Maksimum entropi ilkesine göre muhtemel tür dağılım tahmini yapan MaxEnt, sıcaklık ve yağış gibi çevresel değişkenlerle birlikte sadece varlık verileri kullanarak analizler yapabilir olması, kolay kullanım imkânı sağlaması, lokasyon verilerine bağlı çevresel hatalara karşı daha duyarsız olması (Phillips vd., 2006; Phillips, vd., 2017) ve yüksek tahmin becerisine sahip olması (Elith vd., 2006) gibi özellikler sunması, onu tür dağılım modelleri arasında popüler kılmaktadır (West vd., 2016).

Bu çalışmada MaxEnt modelleme aracı kullanılarak Türkiye'deki zeytin (*Olea europaea* L.) alanlarının mevcut dağılışı için yakın geçmiş ve gelecek iklim senaryoları altında günümüzdeki ve gelecekteki dağılışı alanları tespit edilmeye çalışılmıştır. Zeytin, Akdeniz Havzası'nın biyoendikatör türüdür (Sağlıker & Darıcı 2005; Uzun & Ustaoglu 2022) ve aynı zamanda ekonomik ve tarihi-kültürel değeri olan Akdeniz kültürlerinin sembolik bitkisidir (Carrion vd., 2010). Kültür zeytinin (*Olea europaea sativa*) Akdeniz havzasının doğusunda yer alan Levant Bölgesi'ndeki yabani zeytin ya da delicenin (*Olea europaea oleaster*) aşılmasıyla elde edildiği ve buradan Akdeniz Havzası boyunca yayıldığı ifade edilmektedir (Besnard vd., 2013). Zeytin, Türkiye'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden başlayarak Akdeniz, Ege, Marmara ve yer yer Karadeniz Bölgeleri'nde, Akdeniz ve bozulmuş Akdeniz iklimi ile belirli mikroklima sahalarında dağılışı gösterir (Efe vd., 2009; Efe vd., 2011; Öztürk vd., 2021). Kullanım alanı (sofralık ve yağlık tüketim, kozmetik, ilaç, el sanatları ve peyzaj gibi) zenginliğinden dolayı Türkiye ekonomisinde zeytin yetiştiriciliği önemli bir yere sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2013-2023 yılı verilerine göre, Türkiye'deki zeytin üretiminin %52'si Ege Bölgesi, %23'ü Akdeniz Bölgesi, %18'i Marmara Bölgesi ve %7'si Güneydoğu Anadolu Bölgesi tarafından karşılanmaktadır. Şehirsel olarak en fazla paya sofralık üretimde Manisa, yağlık üretimde ise Aydın ili sahiptir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2023). Akdeniz Havzası, Hü-

kümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından iklim değişikliğinin sıcak noktası olarak kabul edilir (IPCC, 2022) ve havzanın yıllık ortalama sıcaklıklarında ve sıcak hava dalgalarının sıklığında ve şiddetinde önemli artış eğilimleri öngörülmektedir (Cramer vd., 2018; Lionello & Scarascia, 2018). Akdeniz Havzası'nda yer alan Türkiye, iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır (Türkeş vd., 2016; Yavaşlı & Erat, 2023). Bu nedenle Akdeniz Havzası'nda ve dolayısıyla Türkiye'de öngörülen iklimsel değişiklikler, Akdeniz iklimine oldukça iyi uyum sağlayan zeytin ağaçlarını da etkileyerek büyük bir zorlukla karşı karşıya bırakacaktır (Kaniowski vd., 2023). Özellikle gelecek iklim senaryoları göz önüne alındığında zeytin ağaçlarının fenolojik ve fizyolojik özelliklerinde değişikliklerin meydana gelebileceği, daha şiddetli iklim değişikliği koşullarında ise habitatlarında önemli parçalanmaların veya kayıpların olabileceği düşünülmektedir (Moriondo vd., 2015; Fraga vd., 2021). Bu düşünceden yola çıkarak çalışmada aşağıdaki sorulara cevaplar aranacaktır.

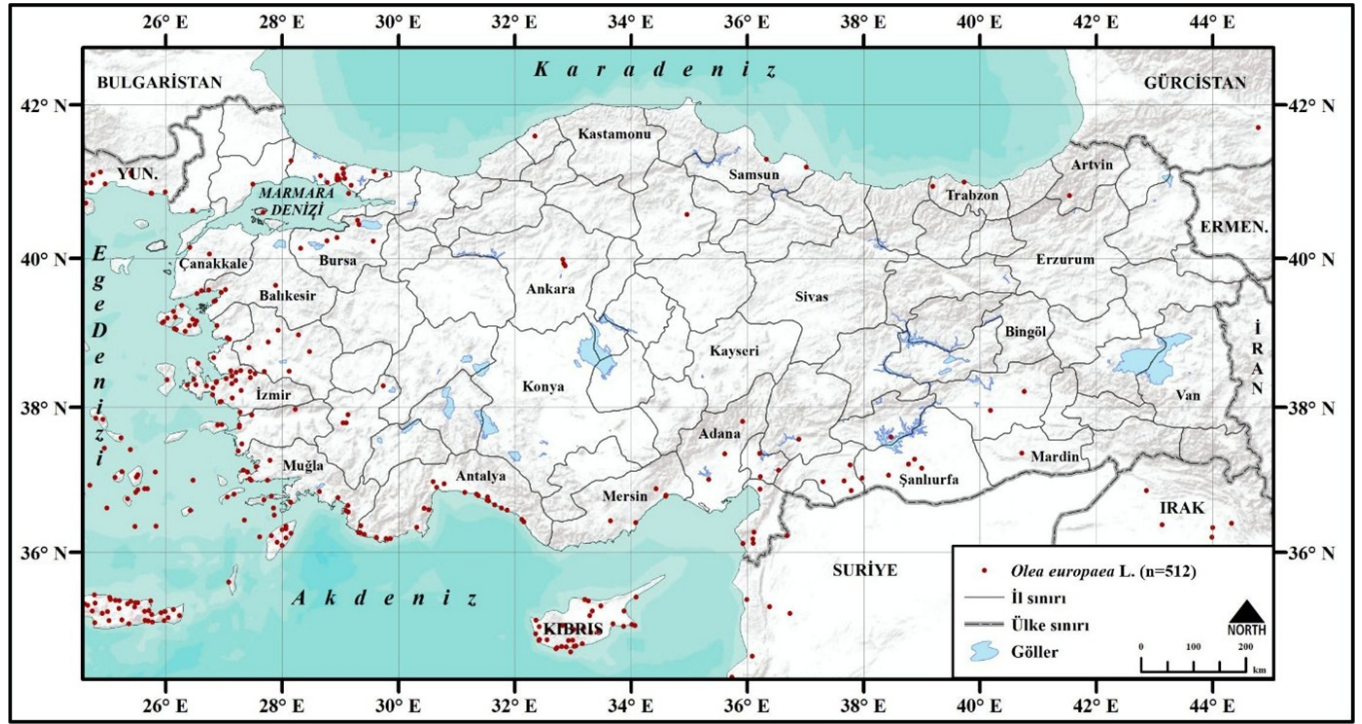
- 1) Zeytinin dağılımını etkileyen biyoiklim değişkenleri nelerdir?
- 2) Yakın geçmiş (1970-2000) biyoiklim değişkenlerine göre, zeytinin Türkiye'deki potansiyel coğrafi dağılışı nasıldır?
- 3) Zeytinin MRI-ESM2-0 modeline göre, yakın gelecek (2041-2060) ve uzak gelecek (2081-2100) dönemlerini temsilen SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında gelecekteki muhtemel dağılışı alanları nasıl olacaktır?
- 4) Günümüz dağılışı alanları ile gelecekteki muhtemel dağılışı alanları nasıl değişim göstermektedir?
- 5) İklim değişikliği karşısında zeytinciliğin sürdürülebilir olması için hangi uyum stratejileri önerilebilir?

2. Veri ve Yöntem

2.1. Veri Hazırlama

Çalışmanın ana materyalini *Olea europaea* L. oluşturmaktadır. Türe ait varlık (mevcudiyet) kayıtları, literatür ve açık erişimli veri tabanı kullanılarak derlenmiştir (Davis, 1978; Ustaoglu vd., 2022; GBIF, 2023). Çalışmanın bağımlı değişkenlerini oluşturan varlık kayıtlarının büyük bir kısmı, biyolojik çeşitlilik kayıtlarının açık erişimli olarak sunulduğu Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Sistemi (GBIF) aracılığıyla elde edilmiştir (Koç vd., 2018; Akyol vd., 2023). Türkiye ve yakın çevresi için elde edilen varlık kayıtlarının doğruluğu, Google Earth aracılığıyla kontrol edilmiş ve hatalı kayıtlar veri setinden çıkartılmıştır. Toplamda 512 varlık kaydı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında koordinatlandırılmış ve MaxEnt yazılımında kullanılması amacıyla .csv formatına dönüştürülmüştür (Şekil 1).

Günümüzdeki potansiyel ve gelecekteki olası habitat alanlarını tespit edebilmek için açık erişimli WorldClim (<https://worldclim.org>) veri tabanında yer alan sıcaklık ve yağış verilerinden türetilen 30 saniye mekânsal çözünürlüğe sahip (~1 km²) 19 biyoiklim değişkeni kullanılmıştır (Tablo 1). Bu bağımsız değişkenler, türler üzerinde fiziksel sınırlamalar oluşturabilecek ve coğrafi dağılımlarını etkileyebilecek sıcaklık ve yağış eğilimlerini, mevsimselliği, aşırı ve sınırlayıcı çevresel faktörleri temsil etmektedir (Örücü vd., 2024).



Şekil 1. Zeytin (*Olea europaea* L.) Türkiye ve yakın çevresindeki varlık kayıtlarının coğrafi dağılımı.

Figure 1. Geographic distribution of olive (*Olea europaea* L.) presence records in Turkey and its surrounding regions.

Tablo 1. Biyoiklim değişkenleri.

Table 1. Bioclimatic variables.

Değişken	Açıklama	Değişken	Açıklama
Bio1	Yıllık ortalama sıcaklık	Bio11	En soğuk 3 ayın* ortalama sıcaklığı
Bio2	Günlük ortalama değişim aralığı	Bio12	Yıllık yağış miktarı
Bio3	İsotermallik	Bio13	En nemli ayın yağış miktarı
Bio4	Sıcaklığın mevsimselliği	Bio14	En kurak ayın yağış miktarı
Bio5	En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı	Bio15	Yağışın mevsimselliği
Bio6	En soğuk ayın en düşük sıcaklığı	Bio16	En nemli 3 ayın* yağış miktarı
Bio7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı	Bio17	En kurak 3 ayın* yağış miktarı
Bio8	En nemli 3 ayın* ortalama sıcaklığı	Bio18	En sıcak 3 ayın* yağış miktarı
Bio9	En kurak 3 ayın* ortalama sıcaklığı	Bio19	En soğuk 3 ayın* yağış miktarı
Bio10	En sıcak 3 ayın* ortalama sıcaklığı		* Birbirini takip eden 3 ay

Kaynak: <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>

Günümüzdeki potansiyel dağılış alanlarını tespit edebilmek için WorldClim veri tabanında yer alan 1970-2000 referans periyotlu yakın geçmiş verileri kullanılmıştır. Gelecekteki olası dağılış tahmin edebilmek amacıyla MRI-ESM2-0 modelinin 2041-2060 ve 2081-2100 dönemlerini temsil eden orta-iyimser SSP2-4.5 ve kötümser SSP5-8.5 emisyon senaryoları kullanılmıştır. Kullanılan senaryolarda SSP2, emisyonların azaltımı konusunda orta zorluk derecesini ifade ederken, SSP5, azaltım konusunda yüksek zorluk derecesini ifade etmektedir (Riahi vd., 2017). IPCC6 kapsamındaki CMIP6 (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi) için geliştirilen SSP (Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar) senaryoları, IPCC5 kapsamındaki CMIP5 için değerlendirilen RCP (Temsili Konsantrasyon Rotaları) senaryolarından daha güncel ve geliştirilmiş sıcaklık ve yağış tahmin senaryolarını içermektedir (IPCC, 2013; IPCC, 2021). Bu nedenle çalışmada SSP senaryoları kullanılmıştır. Ayrıca WorldClim v2.1 veri tabanında yer alan birçok CMIP6 modeli

bu çalışmada kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Ancak MRI-ESM2-0 modelinin gelecek dağılış model tahminlerinin daha anlamlı sonuçlar vermesi nedeniyle çalışmada kullanılması tercih edilmiştir. MRI-ESM2-0 (Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0), Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Yer Sistemi Modeli'nin ikinci sürümü olarak yayınlanan, atmosfer, kara yüzeyi, okyanus, aerosoller ve atmosferik kimya bileşenlerini içeren küresel modeldir (Yukimoto vd., 2019). Çalışmada kullanılan biyoiklim değişkenleri, çalışma alanına göre kestirilmiş ve ardından modellemede kullanılabilmesi için .ascii formatına dönüştürülmüştür.

2.1. Modelleme

Süreçte ilk olarak çoklu bağlantı problemini giderebilmek, modele katkısı yüksek olan en uygun değişkenleri belirlemek ve modelin performansını arttırabilmek amacıyla 1970-2000 dö-

nemine ait 19 biyoiklim değişkenine korelasyon analizi uygulanmıştır (Khan vd., 2022). Analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0,85'den büyük olan değişkenler modellemede kullanılmamak üzere süreçten elenmiştir (Koç vd., 2021). Korelasyon analizi, SDMtoolbox 2.0 adlı CBS yazılım eklentisi aracılığıyla uygulanmıştır (Brown vd. 2017).

Mevcut ve gelecekteki olası dağılımları modelleyebilmek için MaxEnt 3.4.4 yazılımıyla maksimum entropi yaklaşımı kullanılmıştır. MaxEnt'te modeller, Auto features özelliği ve rastgele seçilen 10.000 arka plan noktası kullanılarak, Cloglog çıktı formatında 15 tekrarlı olarak üretilmiştir (Phillips vd., 2006; Phillips vd., 2017; Akyol vd., 2023). Elde edilen modelin performansı, MaxEnt yazılımı aracılığıyla ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi altında kalan AUC (Area Under the ROC Curve) değeri ile belirlenmiştir (Soilhi vd., 2022). AUC değeri 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e yakın olması oluşturulan modelin yüksek performans gösterdiğini ve tanımlayıcı olduğunu ifade etmektedir (Oliveira vd., 2010). Ayrıca elde edilen AUC değeri; $AUC \geq 0,9$ =çok iyi, $0,9 > AUC \geq 0,8$ =iyi ve $AUC < 0,8$ =zayıf olarak değerlendirilmektedir (Cao vd., 2021). Kullanılan biyoiklim değişkenlerinin modele olan katkıları MaxEnt yazılımındaki Jackknife testi seçeneği işaretlenerek belirlenmiştir (Phillips, 2005). Jackknife testi ile inceleme alanında dağılışı gösteren zeytinin potansiyel dağılımını belirleyen baskın değişkenlerin hangileri olduğu belirlenebilmektedir (Li vd., 2016). Günümüz ve gelecekteki iklim değişikliği senaryoları altında üretilen modeller, CBS ortamında 5 grupta (Uygun değil, Çok az uygun, Uygun, Çok uygun ve Son derece uygun) sınıflandırılarak haritalanmıştır.

Son olarak günümüzdeki potansiyel ve gelecekte tahmin edilen olası modelleri karşılaştırmak amacıyla değişim analizi uygulanmıştır (Örücü vd., 2023). Değişim analizi sonucunda kazanılan, kaybedilen, değişime uğramayan ve değişimin olmadığı alanlar tespit edilmiş ve km^2 cinsinden hesaplanmıştır. Analiz aşamasında bir üst uygunluk sınıfına geçen kazanç, bir alt uygunluk sınıfına geçen ise kayıp olarak değerlendirilmiştir. Değişim analizi için MaxEnt'te üretilen raster formatlı modeller, CBS ortamında sınıflandırılmış, poligona dönüştürülmüş ve poligona

dönüştürülen modeller çakıştırma (intersect) aracı kullanılarak analiz edilmiştir.

3. Bulgular

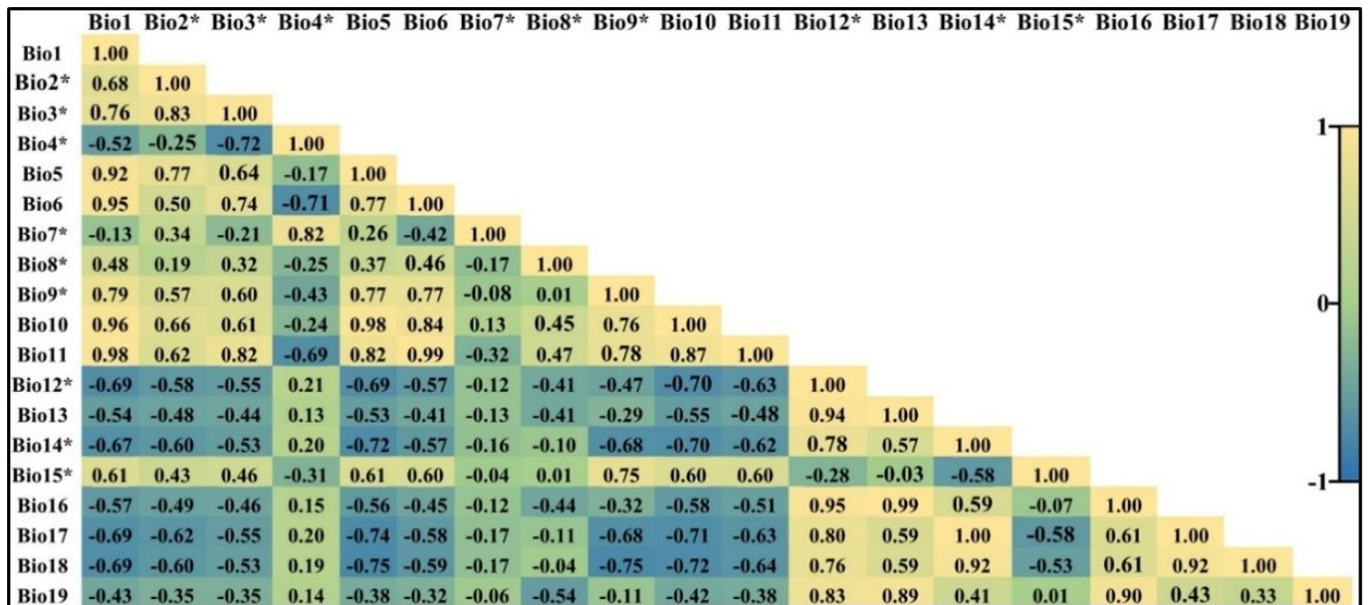
3.1. Günümüzdeki ve Gelecekteki Dağılım Tahminleri

Korelasyon matrisi sonucunda, 10 çevresel değişken modelden hariç tutulmuş ve zeytinin potansiyel dağılım modelini oluşturan 9 çevresel değişken çalışmada kullanılmıştır. Bu değişkenler; Bio2 Bio3, Bio4, Bio7, Bio8, Bio9, Bio12, Bio14 ve Bio15'tir (Şekil 2).

Zeytinin coğrafi dağılımını tespit etmek amacıyla geliştirilen modelin ortalama test AUC değeri 0,933, standart sapma değeri ise 0,023 olarak bulunmuştur (Şekil 3a). Elde edilen AUC değeri, oluşturulan modelin hassas ve yüksek düzeyde tahmin performansı gösterdiğini ifade etmektedir. AUC değerinin 0,9'un üzerinde bir değerde olması, modelin tahmin doğruluğunun çok yüksek olduğunu göstermektedir (Swets, 1988). Jackknife testine göre yüzde katkısı en yüksek olan biyoiklim değişkenleri sırasıyla Bio12, Bio7 ve Bio9'dur (Tablo 2). Modelde tek başına kullanıldığında en yüksek kazancı sağlayan biyoiklim değişkeni Bio7'dir. Bio9 ise modelden çıkarıldığında kazancı en çok azaltan değişkendir (Şekil 3b).

Günümüz modeli, ülke topraklarının %76'sının zeytin için uygun olmayan alanlara karşılık geldiğini, %24'ünün ise farklı uygunluk sınıflarındaki alanlara karşılık geldiğini tahmin etmektedir (Tablo 3). Özellikle Marmara Denizi'nin güney kıyılarından başlayarak Hatay'a kadar uzanan kıyı şeridi boyunca ve Karacabey, Bursa, Bakırçay, Menemen, Gediz, Küçük ve Büyük Menderes, Acıpayam, Çukurova ve Amik ovaları gibi araziler zeytinin yayılışı için farklı uygunluk derecelerine göre uygun sahalar sunmaktadır (Şekil 4).

Yakın geleceğin (2041-2060) SSP2-4.5 senaryosuna göre, zeytinin dağılımı için uygun olmayan alanların, yaklaşık olarak %73'e, çok az uygun alanların %9'a düşeceği, diğer uygunluk derecelerine sahip alanların ise toplamda %18'e çıkacağı tah-

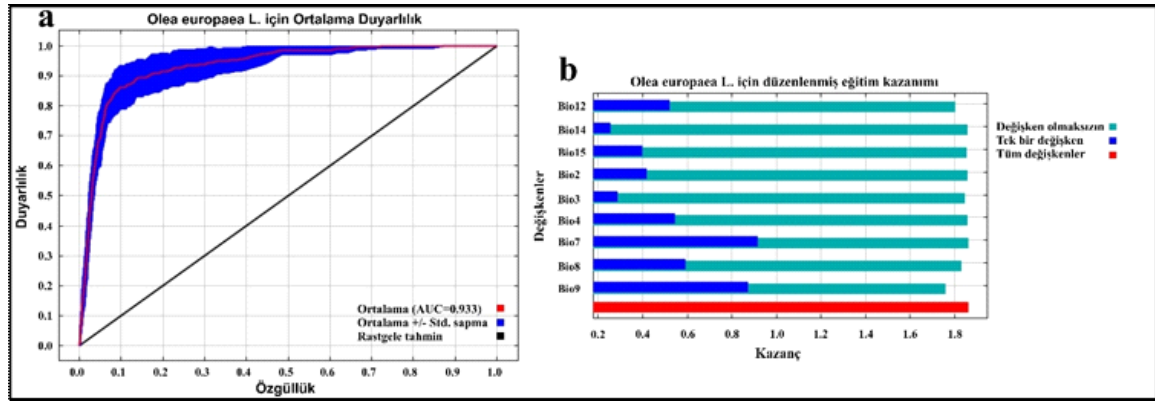


Şekil 2. Modelleme sürecinde kullanılan biyoiklimatik değişkenlerin korelasyon analizi sonuçları (* seçilen değişkenler).

Figure 2. Correlation analysis results of bioclimatic variables used in the modeling process (* selected variables).

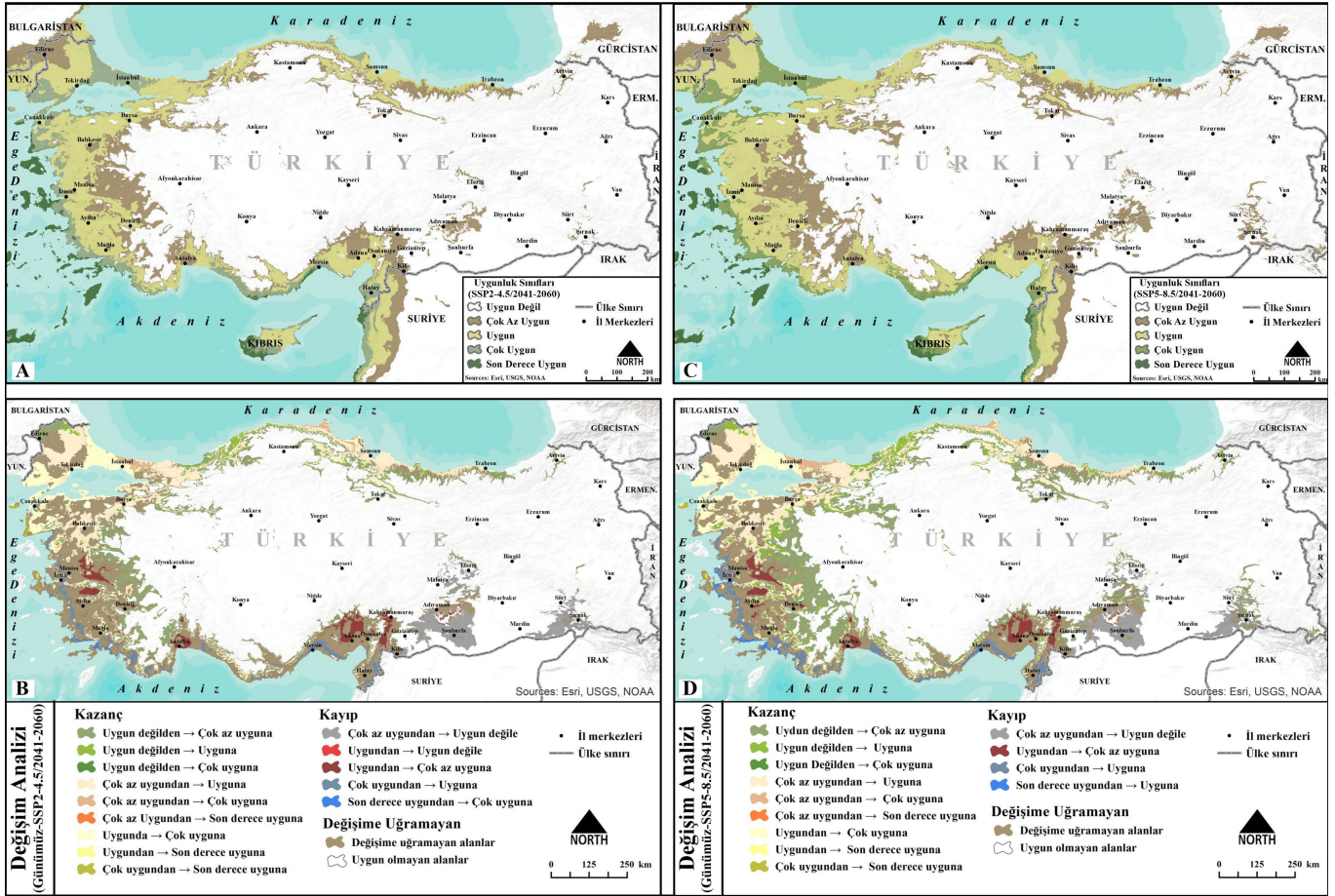
Tablo 2. Biyoiklim değişkenlerinin modele katkıları.**Table 2.** Contributions of bioclimatic variables to the model.

Değişken Kodu	Biyoiklim Değişkeni	Birim	Yüzde Katkı (%)
Bio12	Yıllık yağış miktarı	mm	30
Bio7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı	°C	29,9
Bio9	En kurak 3 ayın ortalama sıcaklığı	°C	21
Bio15	Yağışın mevsimselliği	%	8,4
Bio3	İsotermallik	%	3,6
Bio8	En nemli 3 ayın ortalama sıcaklığı	°C	3
Bio4	Sıcaklığın mevsimselliği	°C	2,1
Bio2	Günlük ortalama değişim aralığı	°C	1,5
Bio14	En kurak ayın yağış miktarı	mm	0,4

**Şekil 3.** AUC değeri ve Jackknife testi sonuçları**Figure 3.** The AUC value and the results of the Jackknife test**Şekil 4.** Zeytin yetiştiriciliği için uygun alanların günümüzdeki dağılımı.**Figure 4.** The current distribution of suitable areas for olive cultivation.

min edilmektedir (Tablo 3). Bu tahminden elde edilen değişim analizine göre, yakın gelecekte kazancın %13, kaybın ise %4 civarında olacağı düşünülmektedir (Şekil 5B; Tablo 4). Yakın geleceğin kötümser senaryosu olan SSP5-8.5'a göre, uygun olmayan alanların %69'a düşeceği, çok az uygun alanların %12'ye ve diğer uygunluk sınıflarına sahip alanların ise toplamda %19'a çıkacağı öngörülmektedir. Değişim analizine göre, kazancın %18 ve kaybın ise %5 olabileceği tahmin edilmektedir

(Şekil 5D; Tablo 4). 2041-2060 döneminin orta-iyimser ve kötümser senaryoları, günümüzde zeytin yetiştiriciliğinin marjinal şartlarda yapıldığı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde önemli ölçüde uygun olmayan alanların ortaya çıkabileceğini ve ülke genelinde günümüzde uygun olmayan bazı alanların bu senaryolar kapsamında yerini uygun sınıflı alanlara bırakabileceğini tahmin etmektedir (Şekil 5A; Şekil 5C).



Şekil 5. Zeytinin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre 2041-2060 dönemlerindeki olası dağılımı ve değişim analizi (A: SSP2-4.5-2041-2060 dönemi için olası dağılım, B: SSP2-4.5-2041-2060 değişim analizi, C: SSP5-8.5-2041-2060 dönemi için olası dağılım, D: SSP5-8.5-2041-2060 değişim analizi).

Figure 5. Probable distribution and change analysis of olive in the periods 2041-2060 according to SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios (A: Probable distribution for the period SSP2-4.5-2041-2060, B: SSP2-4.5-2041-2060 change analysis, C: Possible distribution for the period SSP5-8.5-2041-2060, D: SSP5-8.5-2041-2060 change analysis).

Tablo 3. Günümüz ve 2041-2060 dönemi tahmini dağılım alanları (km²).

Table 3. Current and 2041-2060 estimated distribution areas (km²).

Uygunluk Sınıfları	Günümüz	%	SSP2-4.5 2041-2060	%	SSP5-8.5 2041-2060	%
Uygun Değil	582.732	75,92	557.752	72,66	523.636	68,81
Çok Az Uygun	83.102	10,83	69.920	9,11	90.159	12,22
Uygun	75.489	9,83	99.729	12,99	115.402	14,58
Çok Uygun	20.720	2,70	34.922	4,55	34.729	3,98
Son Derece Uygun	5.555	0,72	5.275	0,69	3.672	0,41
Toplam	767.598	100	767.598	100	767.598	100

Tablo 4. 2041-2060 dönemi için değişim analizi (km²).

Table 4. Change analysis for the period 2041-2060 (km²).

Uygunluk Sınıfları	Günümüzden SSP2-4.5 2041-2060	%	Günümüzden SSP5-8.5 2041-2060	%
Kazanç	101.832	13,27	138.832	18,09
Kayıp	33.188	4,32	36.678	4,78
Değişime Uğramayan	92.588	12,06	84.617	11,02
Uygun Olmayan	539.991	70,35	507.471	66,11
Toplam	767.598	100	767.598	100

Uzak gelecek (2081-2100) SSP2-4.5 senaryosuna göre, zeytinin yayılışı için uygunluk göstermeyen arazilerin ülke genelinde yaklaşık olarak %68, çok az uygun alanların %12, uygun alanların %15 ve çok uygun alanların ise %4 oranında alan kaplayabi-

leceği tahmin edilirken, SSP5-8.5 senaryosuna göre, uygun olmayan alanların ülkede yaklaşık olarak %69, çok az uygun alanların %14, uygun alanların %14, çok uygun alanların %4 ve son derece uygun alanların ise %1 oranında alan kaplayabileceği

tahmin edilmektedir (Tablo 5). Değişim analizine göre, SSP2-4.5 senaryona göre günümüze kıyasla uzak gelecekte, %17'lik kazanç, %5'lik kayıp olabileceği, SSP5-8.5 senaryosuna göre günümüze kıyasla uzak gelecekte %20'lik kazanç, %10'luk ise kayıp olabileceği öngörülmektedir (Şekil 6B, Şekil 6D; Tablo 6).

Tablo 5. Günümüz ve 2081-2100 dönemi tahmini dağılım alanları (km²).

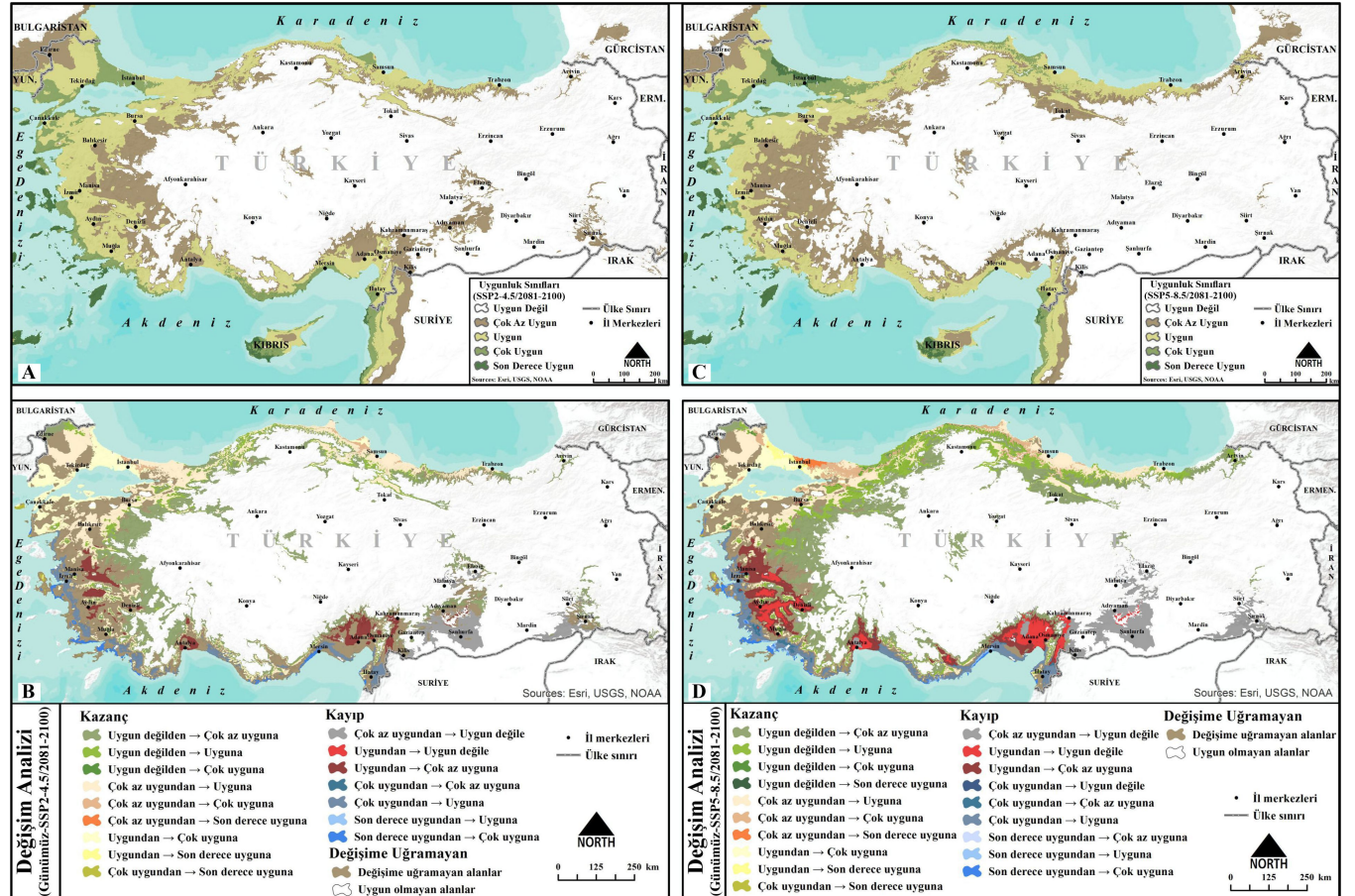
Table 5. Current and 2081-2100 estimated distribution areas (km²).

Uygunluk Sınıfları	Günümüz	%	SSP2-4.5 2081-2100	%	SSP5-8.5 2081-2100	%
Uygun Değil	582.732	75,92	528.146	68,22	526.489	68,59
Çok Az Uygun	83.102	10,83	93.810	11,75	103.737	13,51
Uygun	75.489	9,83	111.950	15,03	104.490	13,61
Çok Uygun	20.720	2,70	30.534	4,52	28.169	3,67
Son Derece Uygun	5.555	0,72	3.158	0,48	4.713	0,61
Toplam	767.598	100	767.598	100	767.598	100

Tablo 6. 2081-2100 dönemi için değişim analizi (km²).

Table 6. Change analysis for the period 2081-2100 (km²).

Uygunluk Sınıfları	Günümüzden SSP2-4.5 2081-2100		%	Günümüzden SSP5-8.5 2081-2100		%
	Kazanç	Kayıp		Kazanç	Kayıp	
Kazanç	129.492	40.408	16,87	149.901	80.097	19,53
Kayıp	84.421	513.277	11,00	50.219	487.381	6,54
Değişime Uğramayan	513.277	767.598	66,87	487.381	767.598	63,49
Uygun Olmayan	767.598	100	100	767.598	100	100



Şekil 6. Zeytinin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre 2081-2100 dönemlerindeki olası dağılımı ve değişim analizi (A: SSP2-4.5-2081-2100 dönemi için olası dağılım, B: SSP2-4.5-2081-2100 değişim analizi, C: SSP5-8.5-2081-2100 dönemi için olası dağılım, D: SSP5-8.5-2081-2100 değişim analizi).

Figure 6. Probable distribution and change analysis of olive in the periods 2081-2100 according to SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios (A: Probable distribution for the period SSP2-4.5-2081-2100, B: SSP2-4.5-2081-2100 change analysis, C: Possible distribution for SSP5-8.5-2081-2100 period, D: SSP5-8.5-2081-2100 change analysis).

3.2. Uyum Stratejileri

Elde edilen model sonuçları, günümüze kıyasla uygun olmayan alanların uygun alanlara dönüşebileceğini veya uygun alanların uygun olmayan alanlara dönüşebileceğini göstermektedir. Bu nedenle gelecek iklim koşulları altında zeytin yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olması ve hem mevcut zeytin alanlarının korunması hem de önümüzdeki dönemlerde yeni kurulacak zeytin alanlarında verim istikrarının sağlanabilmesi adına uyum stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanması son derece büyük önem ifade etmektedir. Ancak yerel özellikler ve bölgesel iklim farklılıkları ile birçok disiplini ve sektörü ilgilendirmesi nedeniyle uyum stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanması basit bir süreç değildir. Bu çalışmada iklim değişikliği karşısında mevcut ve gelecekte, sürdürülebilir zeytin yetiştiriciliği için genel bir yargı ile uygulanabilir uyum stratejileri ele alınmıştır (Şekil 7).

3.2.1. Sulama yönetimi

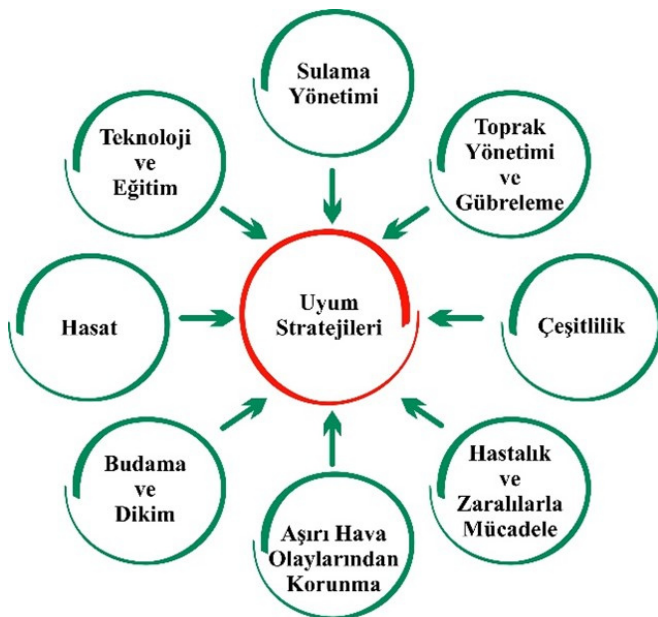
Türkiye’de yayılış gösteren zeytin bahçelerinde daha çok geleneksel olarak yağmurla beslenen koşullar altında zeytin yetiştiriciliği yapılır. Ancak, gelecekte öngörülen daha sıcak ve kurak koşulların, yağmurla beslenen ortamlarda yapılan zeytin yetiştiriciliğini olumsuz etkilemesi beklenmektedir (Tanasijevic vd., 2014; Fraga vd., 2020). Bu nedenle ideal bir verim ve ticari değeri yüksek kaliteli ürünler elde edebilmek için sulamaya olan ihtiyaç artacaktır. Kurak ortam koşullarında suyun etkin ve verimli kullanılması son derece önemlidir ve değişen iklim koşulları altında sulama yönetimi önemli bir uyum stratejisidir. Bu bağlamda, damla sulama veya yüzey altı damla sulama (International Olive Council, 2007) gibi sulama yöntemlerinin benimsenmesi ve bu yöntemlerin kısıntılı sulama stratejileri (Geerts & Raes, 2009; Lorite vd., 2018) ile birleştirilmesi, su tasarrufu sağlayarak suyun etkin ve verimli kullanılması açısından önemlidir. Kaya (2006), zeytin ağaçlarında sulamanın yapıldığı zamanın bitkiye verilen su miktarından daha önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle zeytinin suya en fazla ihtiyaç duyduğu çiçeklenme, meyve tutumu ve meyve büyüme dönemlerinde sulamanın yapılması ve toprak neminin yeterli seviyede tutulması, bitkinin su sıkıntısı çekmesinin önüne geçerek hem o yılın

ürününün olumsuz etkilenmemesine hem de gelecek yılın verimine etki ederek periyodisitenin azaltılmasına olanak sağlar. Bunun yanı sıra doğru sulama, ürünün nitelik ve nicelik olarak iyileşmesine ve ticari değerinin artmasına da katkıda bulunur.

3.2.2. Toprak yönetimi ve gübreleme

Toprak yönetimi, toprak verimliliği ve doğru gübreleme iklim değişikliğine uyum stratejisi kapsamında dikkate alınması gereken önemli konulardır. Değişen iklim koşullarıyla beraber toprak yapısı, toprak derinliği, tuzluluk ve alkalilik gibi faktörlerin de kötüleşebilmesi zeytin yetiştiriciliğini zorlaştırabilecek etkenlerdir. Bu nedenle gerekli toprak analizleri yaptırarak toprağın fiziki ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi, doğru toprak işleme yönteminin uygulanması ve toprağın fiziki ve kimyasal özelliklerine uygun zeytin çeşidinin tercih edilmesi sürdürülebilir zeytinlik için üzerinde durulması gereken önemli faktörlerdir. Geleneksel toprak işleme yöntemlerinin yerine toprak işlemez (sıfır toprak işleme), azaltılmış toprak işleme, bitki örtülü toprak işleme veya malçlı toprak işleme yöntemlerinin benimsenmesi iklim değişikliği karşısında önemli bir uyum stratejisidir. Zeytin ağacının budanmasından elde edilen budama artıklarının veya zeytinin işlenme aşamasında elde edilen artıklar ile diğer organik artıkların ham veya kompostlanarak toprağa bırakılması toprağın organik madde miktarının artmasına, toprakta karbon depolanmasına, toprağın doğrudan güneş ışığından etkilenmesinin engellenmesine ve dolayısıyla buharlaşma ile su kaybının azaltılmasına, yabancı otların gelişiminin ve erozyonun önlenmesine katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra yağışın yeterli seviyede olduğu ve su sıkıntısının olmadığı arazilerde kontrollü olarak yabancı otların gelişmesine izin veren veya doğrudan zeytin üreticisi tarafından belirli dönemlerde yetiştirilen ve kurak aylarda zeytin ağacı ile rekabeti engellemek adına ortadan kaldırılan bitkilerle özellikle su ve rüzgar erozyonunun kontrolünün sağlandığı bitki örtülü işleme yöntemi ve yıl içerisinde herhangi bir toprak manipülasyonunun olmadığı toprak işlemez yöntemin uygulanması, hem toprak muhafazası açısından hem de zeytin verimi açısından önemli etkiye sahiptir (Gómez-Muñoz vd., 2016; Kavvadias & Koubouris, 2019). Ülkemizde yer alan mevcut zeytinliklerin büyük çoğunluğu eğimli araziler üzerinde yayılış gösterir (Efe vd., 2011). Bu nedenle toprak erozyonunun önlenmesi bakımından toprak işleme yöntemlerinin doğru seçilmesi ve gerekli durumlarda ise teraslamanın yapılması oldukça önem arz etmektedir (Akça Uçkun, 2022).

İklim değişikliği nedeniyle sıcaklık ve yağış rejimindeki değişiklikler, aşırı hava olaylarının sıklığının ve şiddetinin artması gibi zeytin ağaçları üzerinde stres unsuru oluşturabilecek ve dayanıklılığı olumsuz etkileyebilecek çevresel faktörlere karşı, doğru ve etkili bir gübrelemeyle direnç sağlanabilir. Gübreleme, zeytin ağaçlarında sağlıklı bir şekilde büyümeyi, çiçeklenmeyi ve meyve tutumunu etkileyerek ağaçlarda daha verimli ve kaliteli ürün alınmasını sağlarken, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığın gelişmesi açısından da önemlidir. Doğru bir gübreleme programı ağaç için olumlu etki yaptığı gibi toprak verimliliğinin sağlanması ve toprak sağlığının korunması açısından da önemlidir. Bu nedenle değişen iklim koşullarına karşı sürdürülebilirliğin sağlanması, istikrarlı bir üretkenlik ve çevresel şartlara direnç ve uyumda gübreleme etkili bir faktördür.



Şekil 7. Sürdürülebilir zeytin yetiştiriciliği için uyum stratejileri.
Figure 7. Adaptation strategies for sustainable olive cultivation.

3.2.3. Çeşitlilik

Zeytinciliğin iklim değişikliği karşısında başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için yerel ekolojik şartlara iyi uyum sağlamış, yüksek sıcaklık, kuraklık ve aşırı hava olaylarına dayanıklı, hastalık ve zararlılara karşı toleranslı, periyodisitesi az, ticari değeri yüksek kaliteli ürünler verebilen çeşitlerin tercih edilmesi önemli bir uyum stratejisidir. Türkiye’de kendi kanıtlamış zeytin çeşitlerinin yanı sıra küresel anlamda da kendini kanıtlamış çeşitlerin küçük alanlarda denemelerinin yapılarak verim ve kalite başarılarının test edilmesi, yeni adaptif çeşitlerin üretilmesi, farklı ekolojik koşullara uyum sağlayabilen geniş bir genetik çeşitliliğin kullanılması ticari zeytin yetiştiriciliği üzerindeki iklim değişikliği baskını azaltabilir.

3.2.4. Hastalık ve zararlılarla mücadele

Hastalık ve zararlıların coğrafi yayılışı, biyolojik döngüleri, zararlılık dereceleri değişen iklim şartlarıyla beraber değişiklik gösterebilir. Bu değişiklikler zeytin yetiştiriciliğinde bir tehdit ortamı oluşturabildiği gibi yeni yönetim zorluklarının da ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle hastalık ve zararlılara karşı biyolojik, kimyasal ve kültürel önlemleri içerisinde barındıran etkili bir mücadele stratejisinin benimsenmesi gerekmektedir. Doğru arazi seçimi, sulama yönetimi, toprak işleme, dikim, budama ve hasat teknikleri ile dengeli gübreleme ve yerel ekolojik şartlara uygun isabetli çeşit seçimi hastalık ve zararlılarla mücadele kapsamında dikkate alınması gereken önemli işlemlerdir.

3.2.5. Aşırı hava olaylarından korunma

Zeytin yetiştiriciliğinde yüksek sıcaklık, kuraklık, fırtına, yağışın şekli (yağmur, kar ve dolu) ve yüksek güneş radyasyonunun neden olabileceği olumsuz etkiler uyum stratejilerini gerekli kılmaktadır. Düşük sıcaklıkların neden olduğu kısa süreli donlara karşı bakır spreylerinin kullanılabilmesi önerilmektedir (Fraga vd., 2021) ve yeni kurulacak zeytin tesislerinin don tehlikesinden uzak olması önemlidir. Bununla beraber kurak aylarda ağaç üzerinde oluşabilecek su stresini baskılayabilmek adına kaolin spreylerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Brito vd., 2018). Özellikle yağışın zeytin ağacının ihtiyacı olan suyu karşılayacak kadar düşmemesi durumunda suyun mutlaka sulama suyu şeklinde doğru sulama yöntemi kullanılarak ağaçlara verilmesi ağaç ve meyve sağlığı ile verim açısından son derece önemlidir. Ağaçların yüksek güneş radyasyonundan korunması adına ağaç gövdeleri kireç ile boyanabilir veya geçici gölgelikler kurulabilir. Doğrudan rüzgarlara açık olan arazilerde rüzgarların şiddetini azaltacak ağaçlar dikilebilir veya rüzgâr kırınlar inşa edilebilir.

3.2.6. Budama ve dikim

Budama yaprak/kök veya yaprak/odun oranları arasındaki bozulmuş dengeyi tekrar sağlamak, ağaç sağlığını korumak, periyodisiteyi azaltarak istikrarlı verim elde edebilmek ve meyvenin ticari kalitesini yükseltmek bakımından önemlidir (Gürel, 2006). Aynı zamanda iyi bir ışık dağılımı ve ışıktan en iyi şekilde yararlanmak, yaprakların hava almasını sağlamak, sürgünlerin gelişimini artırmak, hastalık ve zararlıların ağaç üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin yayılımını azaltmak için budama, zeytin ağaçlarında gerekli olan bir kültür işlemidir. Bu nedenle sürdürülebilir zeytin yönetimine budamanın önemli katkısı var-

dır (Michalopoulos vd., 2020). Budama ile ağaca verilecek şekil, kuraklık stresinin yönetilmesinde ve hayatta kalma başarısının artırılmasında etkili bir stratejidir (Efe vd., 2011).

Dikim teknikleri de iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle mücadelede önemli bir stratejidir. Son yıllarda dünyanın farklı coğrafyalarında geleneksel dikim tekniklerinin (hektar başına 200’den daha az ağaç) yanı sıra yerel ortam koşullarının izin verdiği zeytin plantasyonlarında sık dikim (hektar başına 300-400 ağaç) ve süper sık dikim (hektar başına 1200’den fazla ağaç) teknikleri uygulanmaya başlanmıştır (Russo vd., 2015). Bu modern dikim teknikleri daha kısa zamanda daha yüksek verim elde edilmesini sağlayarak iklim değişikliğinin sektör üzerindeki baskısını azaltmada önemli bir avantaj sağlamaktadır. Geleneksel dikim yöntemlerine göre makineli hasada imkân sağlaması, bu nedenle de hasat sırasında oluşabilecek zararların en az seviyeye indirilmesi ve karlılığı artırması nedeniyle dikkate alınması gereken stratejik unsurdur. Ancak sık dikim ve süper sık dikim tekniklerinin eğimli arazilerde, su kaynaklarının kısıtlı olduğu alanlarda ve her zeytin çeşidine uygulanamaması gibi dezavantajları vardır (Guerrero-Casado vd., 2021).

3.2.7. Hasat

Hasat ürünün kalitesini, ticari değerini ve gelecek yılın verimini belirleyen zeytinin üretim aşamalarının en son kısmını oluşturan kültür işlemidir. Ülkemizde daha çok sıırıyla vurularak veya elle toplama gibi geleneksel yöntemlerle hasat işlemi yapılır. Özellikle sıırıyla dallara vurularak yapılan hasatta, zeytin ağacı olumsuz etkilenebilmektedir. Sırıın çarptığı dallarda oluşan filizlerde ve gözlerde zararlar meydana gelebilir, yeni gelişim gösteren taze sürgünler kırılabilir ve bu durumlar gelecek yılın veriminin azalmasına neden olabilir. Ayrıca sıırıyla vurularak düşürülen meyveler yere çarptıkları için hasar görebilir ve bu durum meyvenin ticari kalitesinin düşmesine neden olabilir. Aynı zamanda bu hasat tekniği hastalıklı ağaçlardan sağlıklı ağaçlara hastalık taşınmasına da yol açabilir (Efe vd., 2011; Güneri, 2016). Bununla beraber dalların silkelenerek meyvelerin düşürülmesinin sağlandığı, yeterli olgunluğa geldikten sonra doğal olarak meyvenin düşmesinin beklendiği, elle sıırıyla veya budama ile hasat gibi farklı geleneksel hasat yöntemlerini tercih eden üreticilerde vardır. Ancak bu teknikler ya doğrudan meyvenin kalitesinde ya da ağaç sağlığında veya gelecek yılın veriminde olumsuz etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra küçük el aletlerinin veya daha gelişmiş tam teçhizatlı tarım makinelerinin kullanıldığı hasat teknikleri de vardır. Özellikle zeytin hasadında makineleşme iklim değişikliği karşısında periyodisitenin azaltılması, verimin istikrarlı hale gelmesi ve kaliteli ürünlerin elde edilmesinde önemli bir uyum stratejisidir. Makineli hasadın iş gücü maliyetlerini azaltması, hasat süresini kısaltması, meyvelerin çok beklenmeden işleme tesisine yetiştirilebilmesi ve dolayısıyla daha kaliteli ürünler elde edilebilmesi gibi pek çok avantajlı katkısı vardır. Ancak Türkiye’de mevcutta dağılışı gösteren zeytin bahçelerinin büyük ölçüde eğimli araziler üzerinde yer alması makineli hasadın yapılmasını zorlaştırmaktadır.

3.2.8. Teknoloji kullanımı ve eğitim

Zeytincilik sektörünün geliştirilmesinde ve iklim değişikliğinin oluşturduğu zorluk ortamının yönetilmesinde teknoloji kullanımı ve özellikle üretici eğitimleri önemli bir kilit noktadır. Zeytin üretiminde hassas tarım uygulamalarının benimsenmesi,

Yapay Zekâ, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Blockchain, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi teknoloji unsurlarının zeytinin üretim aşamalarına entegre edilmesi, üretim süreçlerinin etkili bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayabilir. Aşırı hava olaylarına karşı erken uyarı sistemlerinin tesislere kurulması, toprak nemi, toprak besin elementleri, pH ve tuzluluk gibi hayati öneme sahip unsurları analiz edebilen ve bu analizlerin üretici tarafından hem güncel hem de bulut bilişim kullanılarak geçmişe dönük izlenmesine imkân sağlayan akıllı sensörlerin kullanımı üretici açısından önemli avantajlar sunmaktadır. İklim değişikliği ağaçların ve mahsulün sürekli olarak izlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu gereklilik için uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanmak etkili bir seçenektir. Uydu görüntüleri, insansız hava araçları veya karasal platformlar ile su stresi, bitki besin element durumu, hastalık ve zararlıların etkileri ve yabancı otların durumu izlenebilir. Özellikle zor arazi şartlarında insansız hava araçları ile gübreleme yapılabilir ve ilaçlama yoluyla yabancı ot kontrolü sağlanabilir. Hastalık ve zararlıların oluşturduğu durumlar yapay zekâ algoritmaları kullanılarak erken teşhis edilebilir. İklim değişikliğinin zeytin yetiştiriciliği üzerinde oluşturduğu zorluk birbiri ile bütünleşmiş halde ve yerel ortam şartları göz önüne alınarak uygulanabilir uyum stratejileri ile yönetilebilir. Ancak bu stratejilerin doğru bir şekilde uygulanabilmesi üreticiye bağlıdır ve bu sebeple iklim değişikliğine uyum kapsamında üretici eğitimleri son derece kritik bir konudur. Üreticilerin ve sektördeki diğer paydaşların iklim değişikliğinin etkileri, sonuçları ile iklim değişikliğine karşı sektörün uyumu konusunda eğitilmesi son derece önemlidir.

4. Sonuç ve Tartışma

Modellemede kullanılan 9 çevresel değişken arasında sırasıyla yıllık yağış miktarı (Bio12), yıllık sıcaklık değişim aralığı (Bio7) ve en kurak üç ayın ortalama sıcaklığının (Bio9) zeytinin dağılımında diğer değişkenlere kıyasla en yüksek katkısı olduğu tespit edilmiştir. Ashraf vd. (2016) ve Kassout vd. (2022) yaptıkları çalışmalarda da Bio12'nin türün dağılımında en yüksek katkı sağladığını ifade etmiştir. Bu bulgular yağışın zeytinin dağılımını kısıtlayan önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bununla beraber en sıcak ayın en yüksek sıcaklığından (Bio5) en soğuk ayın en yüksek sıcaklığının (Bio6) çıkarılmasıyla elde edilen yıllık sıcaklık değişim aralığının ve birbirini izleyen en kurak üç ayın ortalama sıcaklığının zeytin dağılımında en önemli değişkenler olması, sıcaklığın türün dağılımı üzerindeki etkisini belirtmektedir. Ayrıca her ne kadar zeytin sıcaklığa dayanıklı bir tür olsa da (Arenas-Castro vd. 2020) küresel ısınmayla birlikte sıcaklık değerlerinin artması zeytinin vejetatif büyümesini, çiçeklenme zamanını, çiçek tomurcuklarında morfolojik farklılaşmayı, meyve tutumunu ve meyve oluşumunu, soğuklama süresini ve hasat dönemlerini de etkileyebileceği düşünülmektedir (Avolio vd., 2012; Fraga vd., 2020).

Günümüz için oluşturulan potansiyel coğrafi dağılım modeline göre, Türkiye'nin yaklaşık %76'sı zeytinin yayılışı için uygun değildir. Çok az uygun sahalar ülkenin %11'ini oluştururken, %13'ü uygun sınıflı (uygun, çok uygun ve son derece uygun) arazilere karşılık gelmektedir. Marmara Bölgesi'nde çok az uygun ve uygun sınıflı araziler geniş yer tutmaktadır. Ege Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde özellikle son derece uygun ve çok uygun araziler ile bölgenin kıyıda uzak nispeten alçak Bakırçay, Gediz, Akhisar, Küçük ve Büyük Menderes gibi ovalık alanlarda uygun sınıflı

araziler dağılışı göstermektedir. Akdeniz Bölgesi'nde Toros dağları ile Akdeniz arasındaki dar şeritte yer yer son derece uygun ve çok uygun sınıflı araziler dağılışı gösterirken, Adana ve Osmaniye başta olmak üzere Antalya ve Mersin'in belirli kesimlerinde uygun sınıflı araziler dağılışı göstermektedir. Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri'nin belirli kesimlerinde ise çok az uygun sınıflı araziler dağılışı alanına sahiptir. Ülke genelinde uygun sınıflı araziler özellikle topografik açıdan uygun Akdeniz ikliminin tesirindeki arazilerde dağılışı gösterirken bu araziler; Yıldız Dağları, Kaz Dağı, Madra Dağı, Spil Dağı, Bozdağlar, Aydın Dağları, Madran Dağı, Menteşe Dağları, Sandras Dağı, Tahtalı Dağı, Yunt Dağları, Nur Dağları ve Samandağ gibi yüksek kütleler tarafından kesintiye uğratılmaktadır. Elde edilen günümüz modeli literatürde yer alan zeytinin dağılışı ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Efe vd., 2009; Efe vd., 2011; Rodríguez Sousa vd., 2020; Tuğaç & Sefer, 2021).

Bu çalışmanın MaxEnt sonuçları yakın (2041-2061) ve uzak (2081-2100) gelecek SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında zeytinin coğrafi dağılımında değişikliklerin olacağını öngörmektedir. Senaryolarda genel olarak günümüzde dağılışı için uygun olmayan yüksek rakımlı arazilerin uygun sınıflı alanlara dönüşebileceği ve dağılışın kuzeye doğru kayabileceği tahmin edilmektedir. Tüm senaryolar günümüzde yaklaşık %76'lık bir alan kaplayan uygun olmayan alanların gelecek periyotlarda sürekli olarak azalacağını göstermektedir. Günümüzde %10'luk alan kaplayan uygun ve %3'lük alan kaplayan çok uygun alanların değişen iklim şartları ile beraber ilerleyen dönemlerde kapladığı alanları genişletebileceği tespit edilmiştir. Uygulanan değişim analizleri de zaman içinde kazançların kayıplardan daha fazla olduğunu belirtmektedir. Karadeniz Bölgesi iklim değişikliği senaryoları altında türün yayılışını en belirgin olarak artıracığı bölgelerden biridir. Marmara Bölgesi'nde de Marmara ve Karadeniz'e bakan kesimlerde uygun sınıflı arazilerin ilerleyen dönemlerde alanını genişleteceği ve özellikle İstanbul ve çevresinde çok uygun ve son derece uygun olan alanların artabileceği saptanmıştır. Ancak İstanbul ve çevresinin şehirleşmenin işgali ve diğer antropojenik etkilerin altında olduğu göz önüne alındığında, bu alanların potansiyel anlamda uygun, fakat türün dağılışı ve sürdürülebilirliği açısından uygun olmayan alanlar olduğu söylenebilir. Akdeniz ve Ege Bölgeleri'nde günümüzde potansiyel olarak çok uygun ve son derece uygun alanların, kullanılan modeller arasındaki en kötümser senaryoya (SSP5-8.5 2081-2100) göre ciddi derece azalabileceği saptanmıştır. Buna rağmen bu sınıftaki arazilerin Ege Bölgesi'nde Çeşme ve Datça Yarımadalrı, Ayvacık, Edremit, Söke ve Bodrum, Akdeniz Bölgesi'nde ise Fethiye, Kaş, Anamur ve Samandağ gibi alanlarda varlığını devam ettirebileceği görülmektedir.

Gutierrez vd. (2009), İtalya'da zeytin yetiştiriciliğinin küresel ısınma etkisiyle Apenin dağlarının yüksek kesimlerine ve kuzeydeki Po Vadisi'ne doğru yayılabileceğini ifade etmiştir. Moriondo vd. (2013), 2100 yılına kadar günümüzde yetiştiriciliği yapılan zeytin alanlarının kuzeye doğru yayılabileceğini ve daha önce zeytin yetiştirilmeyen alanların gelecekte zeytin yetiştiriciliğine uygun hale gelebileceğini söylemiştir. Tanasijevic vd. (2014), günümüzde zeytin için uygun olmayan alanların gelecekte uygun alanlara dönüşebileceğini ve zeytinliklerin mevcut yerlerinden daha yükseklere ve kuzeye doğru kayacağını bildirmiştir. Ashraf vd. (2016), Pakistan'da yayılışı gösteren yabancı zeytinin (*Olea ferruginea*) günümüze kıyasla daha yüksek rakımlara ve enlemlere doğru kayacağını vurgulamıştır. Öğütçü

ve Kırac (2020), Çanakkale’de yer alan zeytinliklerin gelecekte daha yüksek alanlara kayacağını ifade etmiştir. Khan ve Verma (2022), *Olea europaea* subsp. *cuspidata*’nın gelecekteki ısınma etkisi ile tür için uygun habitat alanlarının kuzeye doğru enlemsel göçe uğrayacağını öngörmüştür. Kassout vd. (2022), Fas’ta *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris* için yaptığı çalışmada, türün gelecekte dağılış alanlarının artacağını belirtmiştir. Bu kapsamda, literatürde elde edilen bulgular ile bu çalışmada elde edilen bulgular benzerlik göstermektedir.

Zeytinin yayılış alanlarının her ne kadar artacağı, yüksek rakımlara ve kuzeye doğru kayabileceği tahmin edilse de bu durum, zeytinin ticari sürdürülebilirliği, verim istikrarı ve ürün kalitesi açısından önemli bir tartışma konusudur. Efe vd. (2008), Edremit kıyılarında yapılan zeytinciliğin, tahribat nedeniyle Kaz Dağı eteklerine doğru kaydığını ve yeni ortam şartlarında verimde azalma olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda iklim değişikliği baskısı nedeniyle hem mevcut hem de yeni ortaya çıkacak zeytin alanlarının iyi bir şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. İklim değişikliğinin zeytincilik üzerindeki zorlayıcı etkisinin hafifletilmesi, verim istikrarı sağlanması ve ticari anlamda zeytinciliğin sürdürülebilmesi sulama yönetimi, toprak yönetimi, gübreleme, çeşitlilik, hastalık ve zararlılarla mücadele, aşırı hava olaylarından korunma, budama, dikim, hasat, teknoloji kullanımı ve eğitim gibi uyum stratejilerinin yerel özellikler göz önüne alınarak etkili bir şekilde uygulanmasına bağlıdır. Günümüzde zeytin için mevcut stratejilere gelecekteki iklim değişikliği senaryoları ve bu senaryoları temel alarak geliştirilen/geliştirilecek uyum stratejileri de dahil edilmelidir. Sonuç olarak bu araştırma, biyoiklim değişkenleri ve farklı iklim değişikliği senaryoları altında Türkiye’de zeytinin potansiyel dağılımına ilişkin öngörüler ve uyum stratejileri sunmaktadır. Elde edilen bulguların zeytinin gelecekteki dağılımının tahmin edilmesine, dağılımı etkileyen biyoiklim değişkenlerinin anlaşılmasına katkıda bulunması ve zeytinin yönetimi, korunması ve rasyonel alan seçimi hakkında bilimsel bir temel oluşturması beklenmektedir.

Çıkar Çatışması/ Conflict of interest: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The authors declare that there is no conflict of interest.*

Yazar Katkıları/ Author contributions: MMÖ; Çalışmayı tasarladı, verileri elde etti, analizleri uyguladı ve taslak makaleyi yazdı. BU; çalışmayı tasarladı, çalışmanın varlık verilerini elde etti, analiz sonuçlarını ve taslağı kontrol etti. İC; analiz sonuçlarını kontrol etti ve makalenin son kontrolünü yaptı. Tüm yazarlar sonuçları tartışmış ve makale hakkında yorumda bulunmuştur. MMÖ; *designed the study, obtained the data, conducted the analysis and wrote the draft manuscript.* BU; *designed the study, obtained the study's asset data, checked the analysis results and the draft.* İC; *checked the results of the analysis and did the final check of the manuscript. All authors discussed the results and commented on the paper.*

Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval: Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

Teşekkür ve Katkı Belirtme/ Acknowledgements and Contributions: Çalışmanın teknik kısmında bilgi ve tecrübelerini bizimle paylaşan Prof. Dr. Ahmet Mert’e, Doç. Dr. Özdemir

Şentürk’e ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından düzenlenen etkinliğin (“TÜBİTAK 2237-BİDEB, Arazi Çeşitliliğinin Entropi Temelli Algoritmalar ile Hesaplanması ve Haritalanması”; Etkinlik No: 1129B372201166) eğitmenlerine teşekkür ederiz. *We would like to thank Prof. Dr. Ahmet Mert, Assoc. Prof. Dr. Özdemir Şentürk and the trainers of the event organized by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (“TUBITAK 2237-BİDEB, Calculation and Mapping of Land Diversity with Entropy Based Algorithms”; Event No: 1129B372201166) for sharing their knowledge and experience with us in the technical part of the study.*

Veri Erişilebilirliği/ Data Availability: MaxEnt 3.4.4 ücretsiz ve açık kaynaklı bir yazılımdır. Yazılıma https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ bağlantısı ile ulaşılmıştır. Kullanılan varlık verileri, ücretsiz ve açık erişimli GBIF veri tabanından elde edilmiştir. Bu verilere <https://www.gbif.org/occurrence/download/0254332-230224095556074> bağlantısı ile ulaşılabilir. *MaxEnt 3.4.4 is a free and open-source software. It can be accessed via the link: https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ The presence records used in this study were obtained from the free and open-access GBIF database. These data can be accessed via the link: https://www.gbif.org/occurrence/download/0254332-230224095556074.*

Kaynakça

- Ahmadi, M., Hemami, M. R., Kaboli, M., & Shabani, F. (2023). MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and Evolution*, 13(2), 1-13. <https://doi.org/10.1002/ece3.9827>
- Akça Uçkun, A. (2022). *Yeni nesil zeytin yetiştiriciliği*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Akyol, A., Örucü, Ö. K., Arslan, E. S., & Sarıkaya, A. G. (2023). Predicting of the current and future geographical distribution of *Laurus nobilis* L. under the effects of climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11086-z>
- Arenas-Castro, S., Gonçalves, J. F., Moreno, M., & Villar, R. (2020). Projected climate changes are expected to decrease the suitability and production of olive varieties in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 709, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136161>
- Ashraf, U., Ali, H., Chaudry, M. N., Ashraf, I., Batool, A., & Saqib, Z. (2016). Predicting the potential distribution of *Olea ferruginea* in Pakistan incorporating climate change by using Maxent model. *Sustainability*, 8(8), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su8080722>
- Avolio, E., Orlandi, F., Bellecci, C., Fornaciari, M., & Federico, S. (2012). Assessment of the impact of climate change on the olive flowering in Calabria (Southern Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 531-540. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0500-2>
- Besnard, G., Khadari, B., Navascués, M., Fernández-Mazuecos, M., El Bakkali, A., Arrigo, N., Baali-Cherif, D., Brunini-

- Bronzini de Caraffa, V., Santoni, S., Vargas, P., & Savolainen, V. (2013). The complex history of the olive tree: from Late Quaternary diversification of Mediterranean lineages to primary domestication in the northern Levant. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756), 1-7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2833>
- Booth, T. H. (2018). Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. *Austral ecology*, 43(8), 852-860. <https://doi.org/10.1111/aec.12628>
- Brown, J. L., Bennett, J. R., & French, C. M. (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ*, 5, e409, 1-12. <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>
- Brito, C., Dinis, L. T., Ferreira, H., Rocha, L., Pavia, I., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. M. (2018). Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. *Plant Physiology and Biochemistry*, 133, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.028>
- Cao, J., Xu, J., Pan, X., Monaco, T. A., Zhao, K., Wang, D., & Rong, Y. (2021). Potential impact of climate change on the global geographical distribution of the invasive species, *Cenchrus spinifex* (Field sandbur, Gramineae). *Ecological Indicators*, 131, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108204>
- Carrión, Y., Ntinou, M., & Badal, E. (2010). *Olea europaea* L. in the north Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early–Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 29(7-8), 952-968. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.12.015>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, A. MN., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M. N., & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, 972-980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Davis, P. H. (1978). *Flora of Turkey and the East Aegaen Islands Volume 6*. Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press.
- Efe R., Soykan A., Sönmez S., & Cürebal İ (2008) Quantifying the effect of landuse change on olive tree cultivation in the vicinity of Edremit between 1979 and 2006 using GIS and RS techniques. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(6), 696-705.
- Efe, R., Soykan, A., Sönmez, S., & Cürebal, İ. (2009). Sıcaklık şartlarının Türkiye’de zeytinin (*Olea europaea* L. subs. *europaea*) yetişmesine, fenolojik ve pomolojik özelliklerine etkisi. *Ekoloji*, 18 (70), 17-26.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ., & Sönmez, S. (2011). *Dünyada, Türkiye’de, Edremit Körfezi çevresinde zeytin ve zeytinyağı*. Balıkesir: Edremit Belediyesi.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., ... Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species’ distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Feeley, K. J., Bravo-Avila, C., Fadrique, B., Perez, T. M., & Zuleta, D. (2020). Climate-driven changes in the composition of New World plant communities. *Nature Climate Change*, 10(10), 965-970. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0873-2>
- Fraga, H., García de Cortázar Aauri, I., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2016). Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global change biology*, 22(11), 3774-3788. <https://doi.org/10.1111/gcb.13382>
- Fraga, H., Pinto, J. G., & Santos, J.A. (2020). Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal. *Agricultural water management*, 237, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106193>
- Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L., & Santos, J. A. (2021). Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010056>
- GBIF (2023). GBIF occurrence download. <https://doi.org/10.15468/dl.aujjnw>
- Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96(9), 1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Gómez-Muñoz, B., Valero-Valenzuela, J. D., Hinojosa, M. B., & García-Ruiz, R. (2016). Management of tree pruning residues to improve soil organic carbon in olive groves. *European Journal of Soil Biology*, 74, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.03.010>
- Guerrero-Casado, J., Carpio, A. J., Tortosa, F. S., & Villanueva, A. J. (2021). Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super high-density olive groves. *Science of the Total Environment*, 798, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149212>
- Gutierrez, A.P., Ponti L., & Cossu, Q.A. (2009) Effects of climate warming on olive and olive fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) in California and Italy. *Climatic Change*, 95, 95-217. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9528-4>
- Güneri, M. (2016). Zeytin fidanı üretimi, bahçe tesisi ve yıllık bakım işleri. İçinde Yokaş, İ. (Ed.), *Zeytin ve Zeytinyağı* (ss. 54-88). Efil Yayınevi.
- Gürel, M. (2006). Zeytinde budama. İçinde T.C. Tarım ve Köy-işleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ed.), *Zeytin yetiştiriciliği* (ss. 56-74). Emre Basımevi.
- Hosseini, N., Ghorbanpour, M., & Mostafavi, H. (2024). Habitat potential modelling and the effect of climate change on the current and future distribution of three *Thymus* species in Iran using MaxEnt. *Scientific Reports*, 14(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53405-5>

- International Olive Council. (2007). *Production techniques in olive growing*. Artegraf, S. A.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2021: *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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kaniewski, D., Marriner, N., Morhange, C., Khater, C., Terral, J. F., Besnard, G., Otto, T., Luce, F., Couillebault, Q., Tsitou, L., Pourkerman, M., ... Cheddadi, R. (2023). Climate change threatens olive oil production in the Levant. *Nature plants*, 9, 219-227. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01339-z>
- Kassout, J., Terral, J.F., El Ouahrani, A., Houssni, M., Ivorra, S., Kadaoui, K., El Mahroussi, M., Paradis, L., & Ater, M. (2022). Species distribution based-modelling under climate change: the case of two native wild *Olea europaea* Subspecies in Morocco, *O. e.* subsp. *europaea* var. *sylvestris* and *O. e.* subsp. *maroccana*. In W. Leal Filho & E. Manolas (Eds.), *Climate change in the mediterranean and middle eastern region* (pp 21-43). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6_2
- Kaya, Ü. (2006). Zeytinin sulanması. İçinde T.C. Tarım ve Köy-ışleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ed.), *Zeytin yetiştiriciliği* (ss. 75-88). Emre Bastımevi.
- Khan, S., & Verma, S. (2022). Ensemble modeling to predict the impact of future climate change on the global distribution of *Olea europaea* subsp. *cuspidata*. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.977691>
- Khan, A. M., Li, Q., Saqib, Z., Khan, N., Habib, T., Khalid, N., Majeed, M., & Tariq, A. (2022). MaxEnt modelling and impact of climate change on habitat suitability variations of economically important Chilgoza Pine (*Pinus gerardiana* Wall.) in South Asia. *Forests*, 13(5), 715. <https://doi.org/10.3390/f13050715>
- Koç, D. E., Svenning, J. C., & Avcı, M. (2018). Climate change impacts on the potential distribution of *Taxus baccata* L. in the Eastern Mediterranean and the Bolkar Mountains (Turkey) from last glacial maximum to the future. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6(3), 69-82. <https://doi.org/10.31195/ejefs.435962>
- Koç, D. E., Biltekin, D., & Ustaoglu, B. (2021). Modelling potential distribution of *Carpinus betulus* in Anatolia and its surroundings from the Last Glacial Maximum to the future. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(12), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07444-1>
- Kavvadias, V., & Koubouris, G. (2019). Sustainable soil management practices in olive groves. In G. P. Deepak & K. J. Yogeshvari (Eds.), *Soil fertility management for sustainable development* (pp. 167-188). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0_8
- Li, G., Du, S., & Wen, Z. (2016). Mapping the climatic suitable habitat of oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) for introduction and cultivation at a global scale. *Scientific Reports*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep30009>
- Lionello, P., & Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18, 1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>
- Lorite, I. J., Gabaldón-Leal, C., Ruiz-Ramos, M., Belaj, A., De la Rosa, R., León, L., & Santos, C. (2018). Evaluation of olive response and adaptation strategies to climate change under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 204, 247-261. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.008>
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 1-21. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
- Michalopoulos, G., Kasapi, K. A., Koubouris, G., Psarras, G., Arampatzis, G., Hatzigiannakis, E., Kavvadias, V., Xiloyannis, C., Montanaro, G., Malliaraki, S., Angelaki, A., Monolaraki, C., Giakoumaki, G., Reppas, S., Kourgialas, N., & Kokkinos, G. (2020). Adaptation of Mediterranean olive groves to climate change through sustainable cultivation practices. *Climate*, 8(4), 1-11. <https://doi.org/10.3390/cli8040054>
- Moriondo, M., Trombi, G., & Ferrise, R. (2013) Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Global Ecology and Biogeography*, 22(7), 818-833. <https://doi.org/10.1111/geb.12061>
- Moriondo, M., Ferrise, R., Trombi, G., Brilli, L., Dibari, C., & Bindi, M. (2015). Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environmental Modelling & Software*, 72, 387-401. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.016>
- Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security*, 10, 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>
- Oliveira, M. D., Hamilton, S. K., Calheiros, D. F., Jacobi, C.

- M., & Latini, R. O. (2010). Modeling the potential distribution of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* in the Upper Paraguay River system using limnological variables. *Brazilian Journal of Biology*, 70, 831-840. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400014>
- Öğütçü, M., & Kırac, A. (2020). Future projection of olive production in Çanakkale. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (044), 33-43.
- Örücü, Ö. K., Azadi, H., Arslan, E. S., Kamer Aksoy, Ö., Chobchian, S., Nooghabi, S. N., & Stefanie, H. I. (2023). Predicting the distribution of European Hop Hornbeam: application of MaxEnt algorithm and climatic suitability models. *European Journal of Forest Research*, 142, 579-591. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01543-2>
- Örücü, Ö. K., Arslan, E. S., Hoşgör, E., Kaymaz, I., & Gülcü, S. (2024). Potential distribution pattern of the *Quercus brantii* Lindl. and *Quercus frainetto* Ten. under the future climate conditions. *European Journal of Forest Research*, 143, 465-478. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01636-y>
- Öztürk, M., Altay, V., Gönenç, T. M., Unal, B. T., Efe, R., Akçiçek, E., & Bukhari, A. (2021). An overview of olive cultivation in Turkey: Botanical features, eco-physiology and phytochemical aspects. *Agronomy*, 11(2), 295.
- Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S. H. M., Watson, J. E. M., Cassola, F. M., & Rondinini, C. (2017). Species' traits influenced their response to recent climate change. *Nat Clim Chang* 7, 205-208. <https://doi.org/10.1038/nclimate3223>
- Panetta, A. M., Stanton, M. L., & Harte, J. (2018). Climate warming drives local extinction: Evidence from observation and experimentation. *Science advances*, 4(2), 1-8. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaq1819>
- Parolo, G., & Rossi, G. (2008). Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology*, 9(2), 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.01.005>
- Phillips, S. J. (2005). A brief tutorial on Maxent. *At&t Research*, 190(4), 231-259.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., ... Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global change biology*, 25(6), 1922-1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Qu, H., Wang, C. J., & Zhang, Z. X. (2018). Planning priority conservation areas under climate change for six plant species with extremely small populations in China. *Nature Conservation*, 25, 89-106. <https://doi.org/10.3897/nature-conservation.25.20063>
- 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., KC, J., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.00>
- Rodríguez Sousa, A. A., Barandica, J. M., Aguilera, P. A., & Rescia, A. J. (2020). Examining potential environmental consequences of climate change and other driving forces on the sustainability of Spanish olive groves under a socio-ecological approach. *Agriculture*, 10(11), 509. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110509>
- Russo, G., Vivaldi, G. A., De Gennaro, B., & Camposeo, S. (2015). Environmental sustainability of different soil management techniques in a high-density olive orchard. *Journal of Cleaner Production*, 107, 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.064>
- Sağlıker, H.A., Darıcı, C. (2005). Doğu Akdeniz Bölgesinde iki farklı ana materyalde yetişen *Olea europaea* L., *Pinus brutia* Ten. ve *Pistacia terebinthus* L. topraklarında karbon mineralizasyonu. *Ekoloji*. 14(54), 20-24.
- Soilhi, Z., Sayari, N., Benalouache, N., & Mekki, M. (2022). Predicting current and future distributions of *Mentha pulegium* L. in Tunisia under climate change conditions, using the MaxEnt model. *Ecological Informatics*, 68, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101533>
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., & Lionello, P. (2014). Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 144, 54-68.
- Tuğaç, M. G., & Sefer, F. (2021). Türkiye'de zeytin (*Olea europaea* L.) üretimine uygun dağıtım hizmetleri bilgi sistemleri (CBS) temelinde çoklu kriter analizi ile belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(1), 97-113. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.678474>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). *Bitkisel Üretim İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Türkeş, M. (2020). İklim değişikliğinin fiziksel bilim temeli-II. *Toplum ve Hekim*, 35(1), 3-31.
- Türkeş, M., Yozgatlıgil, C., Batmaz, İ., İyigün, C., Koç, E. K., Fahmi, F. M., & Aslan, S. (2016). Has the climate been changing in Turkey? Regional climate change signals based on a comparative statistical analysis of two consecutive time periods, 1950-1980 and 1981-2010. *Climate Research*, 70(1), 77-93. <https://doi.org/10.3354/cr01410>
- Ustaoglu, B., Koç, D. E., & Biltekin, D. (2022, June 2-6). *Predicting potential suitable habitat for Olea Europea in Eastern Mediterranean from Last Glacial Maximum to the*

Future [Conference presentation]. 10th Biennial Conference of the International Biogeography Society, Vancouver, Kanada.

- Uzun, A., & Ustaoglu, B. (2022). The effects of atmospheric oscillations on crop (olive, grape and cotton) yield in the eastern part of the Mediterranean region, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(1), 147-161. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1010181>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. *Annual review of environment and resources*, 37, 195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- West, A. M., Kumar, S., Brown, C. S., Stohlgren, T. J., & Bromberg, J. (2016). Field validation of an invasive species Maxent model. *Ecological informatics*, 36, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.001>
- Yavaşlı, D. D., & Erlat, E. (2023). Climate model projections of aridity patterns in Türkiye: A comprehensive analysis using CMIP6 models and three aridity indices. *International Journal of Climatology*, 43(13), 6207-6224. <https://doi.org/10.1002/joc.8201>
- Yukimoto, S., Kawai, H., Koshiro, T., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., ... Ishii, M. (2019). The Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0, MRI-ESM2. 0: Description and basic evaluation of the physical component. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 97(5), 931-965. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051>