

Adenocarpus complicatus (L.) Gay türünün iklim değişkenlerine bağlı günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının tahmini

Almira Uzun^{a,*} , Ömer K. Örucü^b 

Özet: Ülkemize ait ve Peyzaj Mimarlığı meslek disiplininin en önemli tasarım elemanı olan bitkisel materyalin iklim değişikliğinden nasıl etkileeneceğinin analiz edilmesi, bu türlerin bitkilendirme çalışmalarında gelecek kullanımının planlanabilmesi açısından önemlidir. Çalışmada ilk olarak *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'e ait var verileri (presence data) ve WorldClim 2.1 versiyonu 2.5 dakika (yaklaşık 20 km²) konumsal çözünürlükteki 19 adet biyoiklimsel değişken kullanılarak türün günümüz koşullarındaki potansiyel yayılış alanı tahmin edilmiştir. İkinci aşamada ise türün yayılış alanlarının iklim değişiminden nasıl etkileeneceğini belirlemek için 6. IPCC raporu temel alınarak oluşturulmuş ve eşleştirilmiş model karşılaştırma projesi (CMIP6) modellerinden olan IPSL-CM6A-LR iklim değişim modeli kullanılarak türün SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 senaryolarına göre 2041-2060 ve 2081-2100 periyodlarına ait potansiyel yayılış alanı modellenmiştir. Ayrıca türlere ait üretilen günümüz ve gelecekteki yayılış alanları arasındaki alansal ve konumsal farklar değişim analizi ile ortaya konulmuştur. Bulgulara göre günümüz yayılış alanı uygun ve çok uygun olarak değerlendirilen alanlar 63.695 km² olarak hesaplanmıştır. Sonuçta türün yayılış alanlarının yıllara göre giderek azalacağı, özellikle SSP5 8.5 senaryosuna göre ~2090 yılında Türkiye koşullarında türe rastlanılamayacağı tahmin edilmektedir.

Anahtar kelimeler: MaxEnt, Sıyrğı, İklim değişikliği, Tür dağılım modeli, CMIP6, SSP2 4.5, SSP5 8.5, Türkiye

Prediction of present and future spread of *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay species according to climate variables

Abstract: Analyzing how the vegetative material, which is the most important design element of Turkey and the most important design element of the Landscape Architecture profession, will be affected by climate change, is of great importance in order to plan the future use of these species in planting studies. The article consists of two main sections. Firstly, the presence data of *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay and WorldClim 2.1 version of 19 bioclimatic variables at 2.5 minutes (approximately 20 km²) spatial resolution were used to estimate the potential distribution area of the species in today's conditions. In the next stage, in order to determine how the range of the species will be affected by climate change, the 6th IPCC report was created based on the IPSL-CM6A-LR climate change model, which is one of the paired model comparison Project (CMIP6) models. The potential distribution area of the species for the periods 2041-2060 and 2081-2100 was modeled according to the SSP2 4.5 and SSP5 8.5 scenarios. In addition, the spatial and spatial differences between the present and future distribution areas of the species were revealed by analysis of change. According to the findings, the areas that are considered suitable and very suitable in the current distribution area are calculated as 63.695 km². The spread of the species will decrease according to the model results. According to SSP5 8.5 scenario ~2090, it will predicted not seen the kind in Turkey.

Keywords: MaxEnt, *Adenocarpus complicatus*, Climate change, Species distribution model, CMIP6, SSP2 4.5, SSP5 8.5, Turkey

1. Giriş

Hızla değişen iklim, habitat parçalanması, yabancı türlerin istilası, su, toprak ve hava kirliliği, kaynakların aşırı kullanımı ve artan insan nüfusu, ekosistemlerin yapısal ve işlevsel bütünlüğünü bozan en önemli faktörlerdir (Barnosky vd., 2011; Adhikari vd., 2012). İklimi oluşturan parametreler (sıcaklık, yağış, nem vd.) önemli ölçüde bitkilerin büyümesini ve gelişmesini etkiler ve bu nedenle bitki türlerinin coğrafi dağılımını belirleyen değişkenlerdir (Lenoir vd., 2008; Bertrand vd., 2011). İklim sistemi, yerkürenin yaklaşık 4.5 milyar yıllık tarihi boyunca

milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal olarak değişme eğilimi göstermiştir (Türkeş, 2008). Son yıllarda bitki toplumlarının iklim değişikliğine verdiği tepkiler oldukça hassas bir hale gelmiştir (Liu vd., 2015; Wang vd., 2020). İklim özelliklerinde dar alanlarda oluşan değişiklikler, jeomorfolojik özelliklerinden kaynaklanan çeşitlilikler, toprak tiplerinin farklılıkları gibi birçok coğrafi etken, bitki formasyonlarının da farklılaşmasına ve tür olarak çeşitlenmesine vesile olmaktadır (Avcı, 2014). Günümüzde küresel iklim değişikliği daha önce görülmemiş bir oranda gerçekleşmekte ve geçtiğimiz yüzyılda ortalama sıcaklık 0.85°C artarak 2100 yılına kadar min. 0.3–1.7 °C

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Isparta

^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): almirauzun0@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 12.08.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 21.12.2020



Citation (Atf): Uzun, A., Örucü, Ö.K., 2020. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay türünün iklim değişkenlerine bağlı günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının tahmini. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 498-508. DOI: [10.18182/tjf.779776](https://doi.org/10.18182/tjf.779776)

ila max. 2.6–4.8°C arasında artmaya devam etmesi beklenmektedir (IPCC, 2014). Özellikle dar habitatları olan bitki türlerinin yaşam alanları iklimin değişmesi ile birlikte tehdit altında kalmaktadır (Thuiller vd., 2005; Fitzpatrick vd., 2008; Lawler vd., 2009; Cobben vd., 2015; Ashraf vd., 2016; Yi vd., 2016; Zhang vd., 2018). Bu bakımdan nesli tükenmekte olan türlerin kalıcı olarak kaybedilmemesi için gereken önlemler alınmalıdır. Bu bağlamda habitat tahmini ve haritalama tehdit altındaki ve nesli tükenmekte olan türler ile azalan yerli toplulukların izlenmesi için kritik öneme sahiptir (Gaston, 1996).

Karasal ekosistemlerde tehdit altındaki türleri yeniden tanıtmak ve rehabilite etmek için, potansiyel yayılış alanlarının dağılımı hakkında ayrıntılı bilgi gereklidir. Türlerin var olduğu noktasal alan kayıtları ile bu alanlara ait sayısal biyoiklim verileri kullanılarak oluşturulmuş katmanlar sayesinde, türün mevcut potansiyel yayılışı ve farklı iklim senaryolarına göre gelecekteki potansiyel yayılışı makine öğrenme yöntemleri ile ortaya konulabilmektedir (Sérgio vd., 2007; Wang vd., 2007; Ward, 2007; Phillips ve Dudík, 2008; Wollan vd., 2008; Tittensor vd., 2009; Williams vd., 2009; Yuan vd., 2015; Sarıkaya vd., 2018; Arslan, 2019).

Çalışmanın amacı, Türkiye’de Sıyırğı adıyla bilinen *Fabaceae* familyasına ait, insan ve hayvan beslenmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay türünün günümüz potansiyel yayılış alanlarını tahmin etmek, IPSL-CM6A-LR iklim değişim modeline

bağlı SSP2 4.5 ve SSP5 8.5’e senaryolarına göre 2041-2060 ve 2081-2100 periyodlarına ait gelecek potansiyel yayılış alanlarını tahmin etmek, günümüz için tahmin edilen potansiyel yayılış alanı ile gelecek senaryolarına göre tahmin edilen alanların nasıl değişim gösterdiğini zamansal ve mekânsal olarak ortaya koymaktır.

2. Materyal ve yöntem

Yaklaşık 4 m’ye kadar boylanabilen, sürgünleri neredeyse tüysüzden yoğun tüylüye doğru değişkenlik gösteren, seyrek ya da yoğun yapraklı olan çalılardır. Yaprakları trifoliat, sık sık demetler halinde, yaprak sapı 1-10 mm; yaprakçıkları 5-25 x 2-6 mm, ters mızraksı, alt yüzü seyrek ya da sık tüylü, üst yüzü pürüzsüzdür. Çiçekleri sık denebilecek terminal rasemoz kurullar oluşturur. Brahte yaklaşık 5 mm, basit, kalıcı ya da çabuk dökülen; brahtecikler yaklaşık 2 mm, genellikle çabuk dökülürler. Çanak 5-7 mm, pürüzsüz ya da tüylü, bayrakçık 10-15 mm, yayvan ovalimsi, kısa basık tüylü; kanatlar ve omurga hemen hemen bayrakçığa eşittir ve pürüzsüzdür. Omurga orak şeklindedir. Bakla olan meyvesi 20-30 x 5 mm, dar bir şekilde dikdörtgenseldir. Üzerinde çıkıntılı bezeleri vardır (Davis, 1972; Akkemik, 2018) (Şekil 1). Çiçeklenmesi Mayıs-agustos ayları aralığındadır (Gibbs, 1970; Akkemik, 2018; Ok, 2018). Genellikle dağ zirvelerine yakın açık çayırılık alanlarda, çam korulukları, çalılık, nehir ve göl kıyılarında görülürler (Meyer, 1959; TUBIVES, 2004).



Şekil 1. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay’in genel (a), çiçek (b), yaprak (c) ve meyve (d) görüntüsü

Çalışmada türün Türkiye’de coğrafi yayılışını temsil eden örnek noktaların koordinatları (var verileri) kapsamlı bir literatür ve açık veri kaynağı taraması ile toplanmış ve QGIS (Quantum GIS)’in güncel versiyonu olan 3.10.4 QGIS (2019) programında hazır olarak erişimi sağlanan 5m yüksek konumsal çözünürlüklü Google Satellite Hybrid altlık haritaları kullanılarak WGS 84 koordinat sisteminde işaretlenmiştir. Örnek noktalara ait tanımlayıcı bilgiler (yükseklik, bakı, eğim, sıcaklık, yağış, nem ve güneşlenme durumu) WorldClim (2019) veri tabanından elde edilen haritalar yardımı ile belirlenmiştir.

Günümüzdeki potansiyel yayılış alanı ve gelecek yayılış alanlarının tahmini modellenmesi için WorldClim veri tabanından faydalanılmıştır. Ocak 2020’de kullanıma sunulan WorldClim version 2.1, 1970 ile 2000 yılları arasında minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık, yağış, güneş radyasyonu, rüzgar hızı, su buharı basıncı ve toplam yağış için aylık iklim verileri içermektedir. Güncel dağılımı belirlemek için kullanılan ve 2.5 dakika uzamsal çözünürlükteki (yaklaşık 20 km²) biyoklimatik değişkenler WorldClim version 2.1’deki gözlemlenen verilerden türetilmiş ve Çizelge 1’de verilmiştir (Hijmans vd., 2005; Fick ve Hijmans, 2017; WorldClim, 2019).

Çalışmada türün geleceğe dönük yayılış alanını tahmin etmek amacıyla iklim modeli olarak IPSL CM6A-LR iklim modeli kullanılmıştır. IPSL CM6A-LR, IPSL iklim modellerinin en son sürümüdür. Bu model aynı zamanda, karbon döngüsünün bir temsilini içermektedir. Çalışmada senaryo olarak Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli’nin altıncı Değerlendirme Raporunda’ki (IPCC6) daha geniş bir gelecek tahmini sağlamak amacıyla CMIP6 için geliştirilen bir dizi yeni senaryo kullanılmıştır. IPCC AR5, gelecekteki olası farklı sera gazı emisyonlarını inceleyen dört Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) içermektedir. Bu senaryolar RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 olarak isimlendirilmektedir. CMIP6’da ise bu senaryolar güncellenerek Shared Socio-economic Pathways olarak (SSPs) SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 ve SSP5-8.5 şeklinde ifade edilmektedir. Çalışmada SSP2 4.5 ile SSP5 8.5 senaryolarına ait 2041-2060 ile 2081-2100 periyodları kullanılmıştır.

Çizelge 1. Biyoklimatik değişkenler

Kodlar	Tanımlar
Bio 1	Yıllık ortalama sıcaklık
Bio 2	Günlük ortalama değişim aralığı (ortalama aylık sıcaklık (en yüksek–en düşük))
Bio 3	İzotermallik
Bio 4	Mevsimsel sıcaklık
Bio 5	En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı
Bio 6	En soğuk ayın en az sıcaklığı
Bio 7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı
Bio 8	En nemli mevsimin ortalama sıcaklığı
Bio 9	En kurak mevsimin ortalama sıcaklığı
Bio 10	En sıcak mevsimin ortalama sıcaklığı
Bio 11	En soğuk mevsimin ortalama sıcaklığı
Bio 12	Yıllık yağış miktarı
Bio 13	En nemli ayın yağış miktarı
Bio 14	En kurak ayın yağış miktarı
Bio 15	Mevsimsel yağış miktarı
Bio 16	En nemli mevsimin yağış miktarı
Bio 17	En kurak mevsimin yağış miktarı
Bio 18	En sıcak mevsimin yağış miktarı
Bio 19	En soğuk mevsimin yağış miktarı

Modelin tahmin gücünü artırmak ve örnek noktalara ait birbirine çok benzeyen verileri sadeleştirmek amacıyla temel bileşen analizinin (PCA) uygulanmasına karar verilmiştir. Ancak bunun öncesinde Kaiser Meyer Olkin (KMO) istatistiği uygulanarak veri grubunun faktör analitik modeli ile modellenip modellenemeyeceği ölçülmüştür. Field (2013) veri kümesinin faktörlenebilmesi için KMO alt sınırının 0.5 olması gerektiğini belirtmiştir. Bartlett testi ise veri matrisinin birim matris olup olmadığına, değişkenler arasındaki korelasyonun yeterli olup olmadığına karar veren bir testtir. SPSS 25.0 istatistik programı kullanılarak türün var (presence data) noktalarına ait 19 bioiklim verisi ile yapılan analiz sonuçlarına göre KMO ve Bartlett testi sonucu hesaplanamamıştır. Dolayısıyla veri grubunun faktörleşmediği ve değişkenler arasındaki korelasyonun yetersiz olduğu bulgusuna ulaşılmış ve tüm değişkenler tahmin için modelde kullanılmıştır. Türün günümüz ve gelecekteki tahmini yayılış alanlarını belirlemek amacıyla ekolojik niş modellerinden biri olan MaxEnt modeli kullanılmıştır. MaxEnt algoritması, mevcut bilgi durumunu en iyi temsil eden olasılık dağılımının, kesin olarak belirtilen önceki veriler bağlamında en büyük entropiye sahip olduğunu belirten maksimum entropi ilkesine dayanmaktadır (Jaynes, 1957; Usta Baykal, 2019).

Modelin performansını belirlemek için Receiver Operating Characteristic (ROC) analizinden elde edilen Area Under the ROC Curve (AUC) değerinden faydalanılmıştır (Wang vd., 2007; Phillips vd., 2017). Elde edilen AUC değeri, doğru ayarlanmış bir modelde rastgele seçilen grid hücresinin varlığının tahmini olasılığı olarak yorumlanabilir. AUC tüm olası eşiklerle modelin başarısını tanımlamaktadır. Eğer bu değer $AUC > 0.5$ ise modelin rastgele bir tahminden daha iyi performans gösterdiğini ifade eder (Phillips ve Elith, 2010). AUC test değeri 1’e ne kadar yakınsa ayırım o kadar iyi, model hassas ve tanımlayıcıdır (Phillips vd., 2006). AUC değerini yorumlamak için $AUC \geq 0.9$ = çok iyi, $0.9 > AUC \geq 0.8$ = iyi ve $AUC < 0.8$ = zayıf şeklinde eşik değerleri tanımlanmıştır (Gassó vd., 2012; Hosmer Jr vd., 2013). Son olarak çevresel değişkenlerin katkı derecesini belirlemek amacıyla, MaxEnt modelleme programında Jackknife testi seçeneği kullanılmıştır (Pearson vd., 2007; Shcheglovitova ve Anderson, 2013). Bu seçenek her bir bağımsız değişkenin modelin oluşturulmasındaki önem derecelerini belirlemeye olanak tanımaktadır.

Model sonuçları QGIS 3.10.4 programı ile raster/vektör dönüşümü fonksiyonu kullanılarak dağılım haritalarına dönüştürülmüştür. MaxEnt modelinde bir türün alanda bulunma durumu 0-1 arasında bir değer ile belirlenmektedir. Değerler 1’e yaklaştıkça türün potansiyel olarak alanda bulunma durumu artmaktadır. Güncel ve gelecek için oluşturulan potansiyel dağılım haritalarında yayılış alanı için uygunluk değerleri “0” uygun değil, “0-0.25” çok az uygun, “0.25-0.50” az uygun, “0.50-0.75” uygun ve “0.75-1” çok uygun alanlar olacak şekilde sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmaya göre günümüz ve gelecek senaryolarına göre tahmini yayılış alanları km² olarak hesaplanmıştır (Çoban vd., 2020).

En son aşamada ise güncel potansiyel yayılış alanı ile SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 senaryolarında 2041-2060 ve 2081-2100 periyodlarına dönük tahmini yayılış alanları arasında karşılaştırma yapmak amacıyla değişim analizi yapılmıştır. Değişimlerin belirlenmesi için uygunluk değerleri $0=0$, $0-0.25=1$, $0.25-0.50=2$, $0.50-0.75=3$ ve $0.75-1=4$ şeklinde

kodlanarak sınıflandırılmış ve bu verilere kesişim (intersection) fonksiyonu uygulanmıştır. Uygunluk değerlerine göre 0-0 olan alanlar uygun değil, aynı sınıfta olan alanlar değişim yok, bir üst sınıfa geçen alanlar kazanç, bir alt sınıfa geçen alanlar kayıp olarak isimlendirilmiş ve kapladıkları alanlar km² olarak hesaplanarak değişim haritaları oluşturulmuştur.

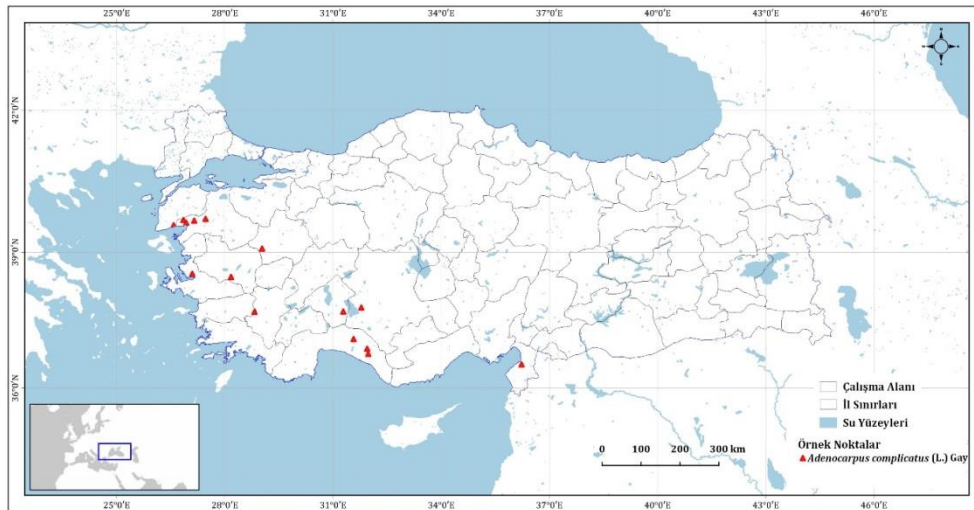
Böylece günümüzdeki uygunluk sınıflarının kodları ve gelecek senaryolarına göre belirlenen haritalardaki kodlar karşılaştırılarak tahmini yayılış alanlarına göre değişimlerin yönü ve büyüklüğü hesaplanmıştır.

3. Bulgular

Adenocarpus complicatus (L.) Gay'in yayılış gösterdiği alanlardaki (nokta) point formatındaki 15 var verisi, mevcut literatür ve açık erişimli veri tabanından elde edilen veriler kullanılarak (Yaltırık, 1984; Duman vd., 2000; Yılmaz ve Tuttu, 2008; Özkan vd., 2009; Satıl ve Polat, 2010; Güner ve Akçiçek, 2013; Sağlam, 2014; Akkemik, 2018; GBIF, 2019) belirlenmiştir. Bu noktaların koordinatları QGIS programının güncel versiyonunda, altlık veri olarak Google Earth Satellite 5m çözünürlükteki altlık haritalar

kullanılarak WGS84 koordinat sisteminde işaretlenmiştir (Şekil 2). Örnek noktalara ait tanımlayıcı bilgiler Çizelge 2'de görülmektedir.

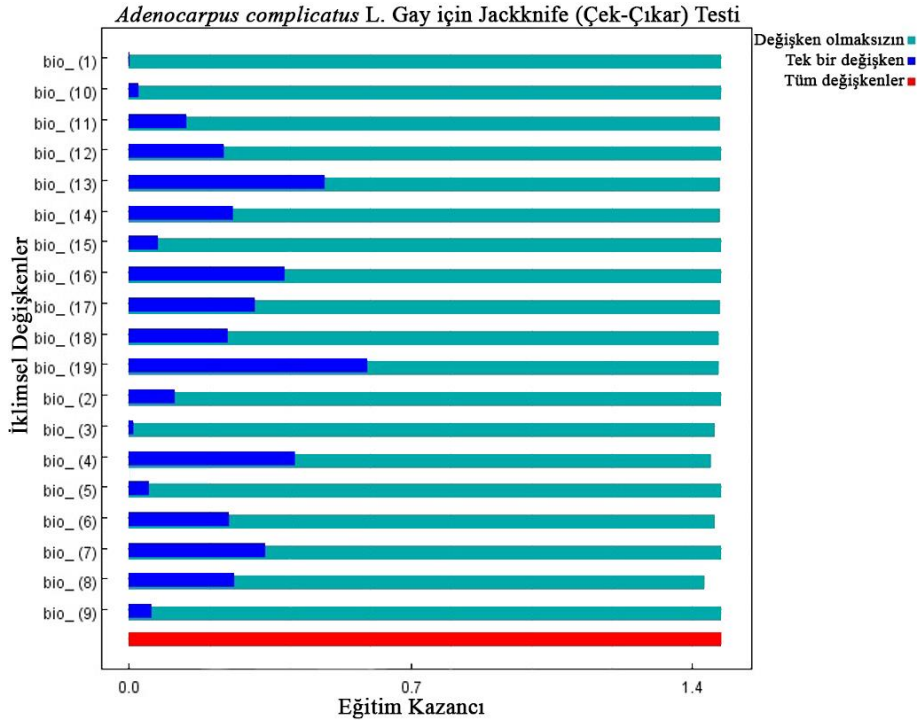
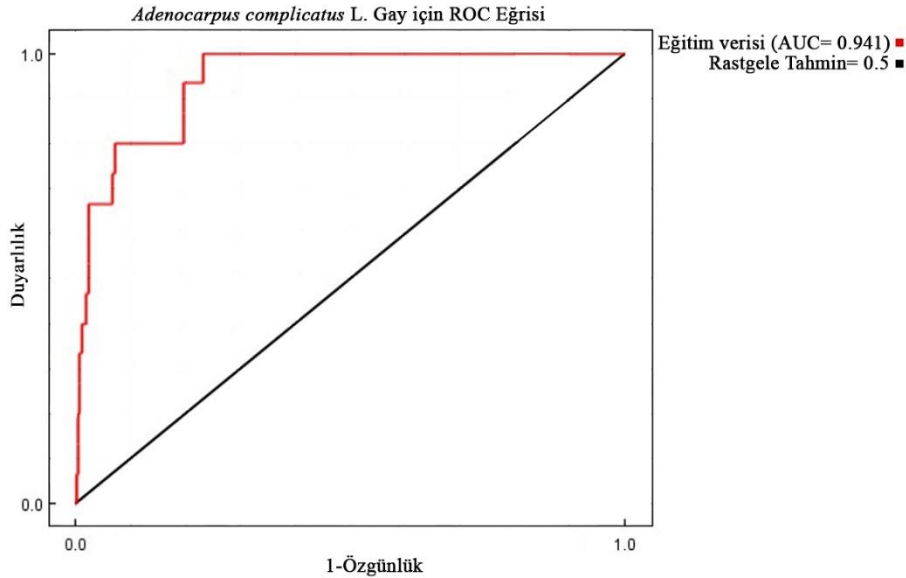
Günümüz ve gelecekteki dağılımının modellenmesinde örnek nokta sayısı 20'nin altında olduğu için test verisi ayrılmamış ve MaxEnt prosedürü olarak sadece Linear ve Quadratic Features özelliği seçili olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen modelin çıktılarına göre AUC değeri 0.941 olduğundan (çok iyi seviyede) modelin hassas ve tanımlayıcı bir yapıda olduğu kanaatine varılmıştır. Biyoiklimsel değişkenlerin katkı derecesini belirlemek amacıyla, MaxEnt modelleme programında Jackknife (Çek-Çıkar) testi seçeneği kullanılmıştır (Şekil 3). Jackknife testi sonuçlarına göre izolasyonda kullanıldığında en yüksek kazançta sahip çevresel değişken "En soğuk mevsimin yağış miktarı (BIO19)" olduğu görülmektedir. Bu nedenle model için kendi başına en faydalı bilgilere sahip olduğu düşünülmektedir. Çıkarıldığında (atlandığında) ise en fazla kazancı azaltan çevresel değişken "En nemli ilk üç ayın sıcaklığı (BIO8)"dir. Bu nedenle diğer değişkenlerde bulunmayan fazla bilgiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay ROC eğrisi).



Şekil 2. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay örnek noktaları

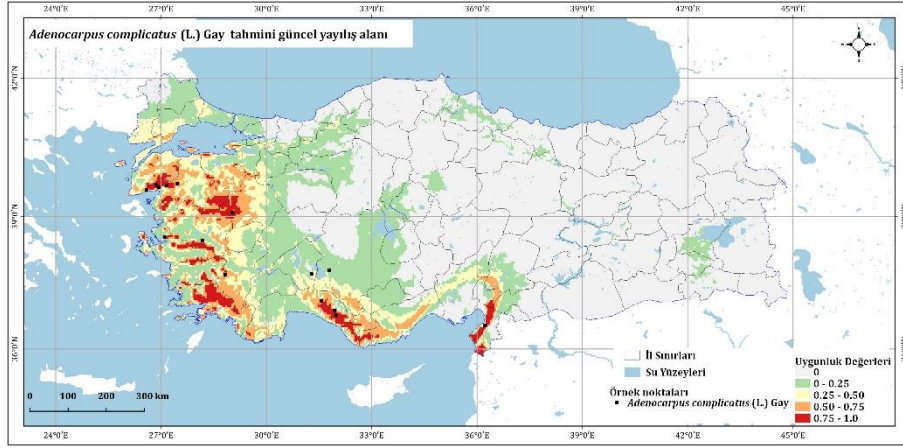
Çizelge 2. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'e ait öznitelik bilgileri

Örnek	X° (Enlem)	Y° (Boylam)	İl	İlçe	Yük. Sınıfı (m)	Rakım (m)	Eğim (%)	Bakı (°)	Sıcaklık ort. (°C)	Yağış ort. (mm, aylık)
1	26.85258	39.6971	Balıkesir	Edremit	1400 - 1600	1738	5.88	339.40	8.03	69.75
2	27.15073	39.68279	Balıkesir	Havran	600 - 800	720	4.99	178.91	12.16	62.42
3	26.92988	39.63907	Balıkesir	Edremit	200 - 400	385	20.84	185.62	14.56	58.17
4	27.46653	39.72272	Balıkesir	Balya	200 - 400	335	3.90	51.40	13.43	59.75
5	29.03333	39.08333	Kütahya	Simav	800 - 1000	840	4.18	336.17	11.63	65.00
6	36.22845	36.53752	Hatay	İskenderun	600 - 800	721	7.29	300.89	15.28	78.17
7	31.97688	36.77323	Antalya	Gündoğmuş	200 - 400	560	3.90	223.03	16.42	76.58
8	31.94613	36.88812	Antalya	Akseki	1400 - 1600	1628	38.49	207.13	10.33	61.42
9	31.57005	37.10302	Antalya	İbradı	1200 - 1400	1474	20.64	191.06	10.96	57.17
10	31.78385	37.79715	Konya	Beyşehir	1200 - 1400	1242	1.71	230.77	10.97	47.75
11	31.28469	37.71057	Isparta	Aksu	1600 - 1800	1591	5.49	221.61	7.62	51.25
12	28.82206	37.70327	Aydın	Karacasu	800 - 1000	796	17.75	197.91	13.56	58.33
13	28.17264	38.4672	Manisa	Salihli	0 - 200	128	7.78	359.01	16.37	46.75
14	27.09857	38.53775	Izmir	Karşıyaka	400 - 600	481	10.92	293.55	15.63	59.08
15	26.58314	39.58578	Çanakkale	Ayvacık	200 - 400	314	13.20	129.02	13.73	57.83

Şekil 3. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay için Jackknife testiŞekil 4. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay ROC eğrisi

MaxEnt modeline göre; *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'in tahmini güncel ve gelecek yayılış haritaları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de, bu haritalardaki uygunluk sınıflarına göre türün günümüz ve gelecekteki alansal dağılımı Çizelge 3'te verilmiştir. MaxEnt modelinde bir türün alanda bulunma oranı 0-1 arasında bir değer ile belirlenmektedir. Üretilen model uygunluk seviyelerine göre beş farklı seviyede sınıflandırılmış ve haritalandırılmıştır. Elde edilen haritalarda *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'in günümüz konumsal dağılımı izlenebilmektedir. Tahmini güncel yayılış alanı incelendiğinde genel olarak Ege ve Akdeniz bölgelerinde yayılış gösteren *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'i temsil eden noktalarla yüksek bir korelasyon gösterdiği, alansal olarak ise çok uygun alanların (0.75-1)

18.134 km², Uygun (0.5-0.75) olan alanların 45.561 km² olduğu görülmektedir. Ayrıca, Türkiye Bitkileri (2019) kaynağına göre türün 2019 yılında Muğla Göktepe ve İzmir mevkiinde doğal yayılışında çekilmiş fotoğraflarının olduğu görülmüştür. Bu kaynak ile de o bölge için modelimizde herhangi bir var verisi olmamasına rağmen türün yayılışının olduğu kanıtlanmış ve modelin hassasiyeti ve tahmin gücünün yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'in tahmini güncel yayılış alanı

Çizelge 3. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay'in günümüz, SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 iklim senaryolarına göre 2041-2060 ve 2081-2100 yıllarındaki potansiyel coğrafi yayılışının alansal dağılımı (km²)

<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) Gay	Günümüz	SSP2		SSP5	
		2041-2060	2081-2100	2041-2060	2081-2100
Uyg. Değerleri	474.818	559.122	657.531	629.24	767.884
Çok Az Uygun	165.775	165.457	101.444	120.558	12.242
Az Uygun	76.167	41.572	17.826	24.923	0.329
Uygun	45.561	12.037	3.504	5.397	0
Çok Uygun	18.134	2.267	0.15	0.337	0

SSP2 4.5 senaryosu 2041-2060 periyoduna bakıldığında *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay türünün doğal yayılış alanı olan Ege ve Akdeniz bölgesinde bulunma olasılığının azalacağı, uygun ve çok uygun olarak değerlendirilen alanların 14.304 km² ile günümüz yayılış alanına göre %75 oranında kayıp yaşanacağı öngörülmektedir. SSP2 4.5 senaryosu 2081-2100 periyodun ise türün yayılış alanında uygun ve çok uygun olarak değerlendirilen alanların 3.654 km² ye kadar düşeceği tahmin edilmektedir.

SSP2 4.5 senaryosuna göre daha katı bir senaryoya sahip olan SSP5 8.5 senaryosu 2041-2060 periyodunda *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay türünün uygun ve çok uygun olarak değerlendirilen yayılış alanlarının 5.734 km² ile günümüz tahmini yayılış alanının yaklaşık %8' ine düştüğü 2081-2100 periyodunda ise uygun ve çok uygun alanlarının hiç kalmadığı ve dolayısıyla neslin ülkemiz koşullarında tükenmeyle karşı karşıya kaldığı görülmektedir.

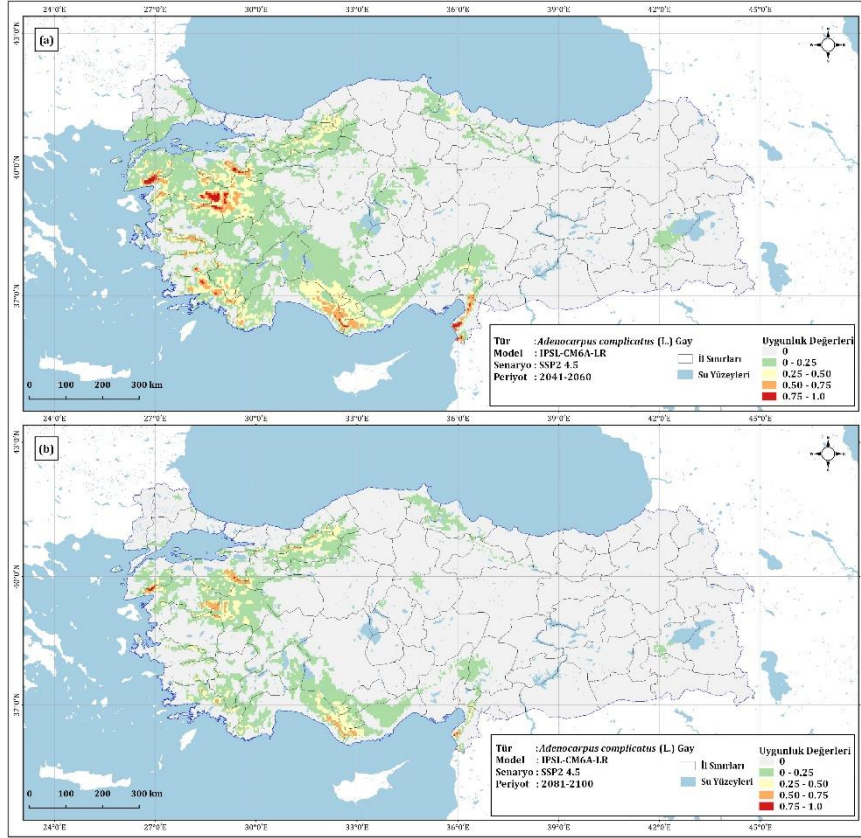
Yayılış alanlarında iklim senaryolarına bağlı olarak gerçekleşmesi beklenen değişimlerin tespiti için *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay türüne ait güncel yayılış alanı ile SSP2 4.5 ile SSP5 8.5 senaryolarında 2041-2060 ve 2081-2100 periyodlarına ait tahmini yayılış alanları karşılaştırılarak uygunluk sınıflarının nasıl bir değişim

gösterdiği Şekil 8 ve Şekil 9'da alansal büyüklükler ise Çizelge 4'te görülmektedir.

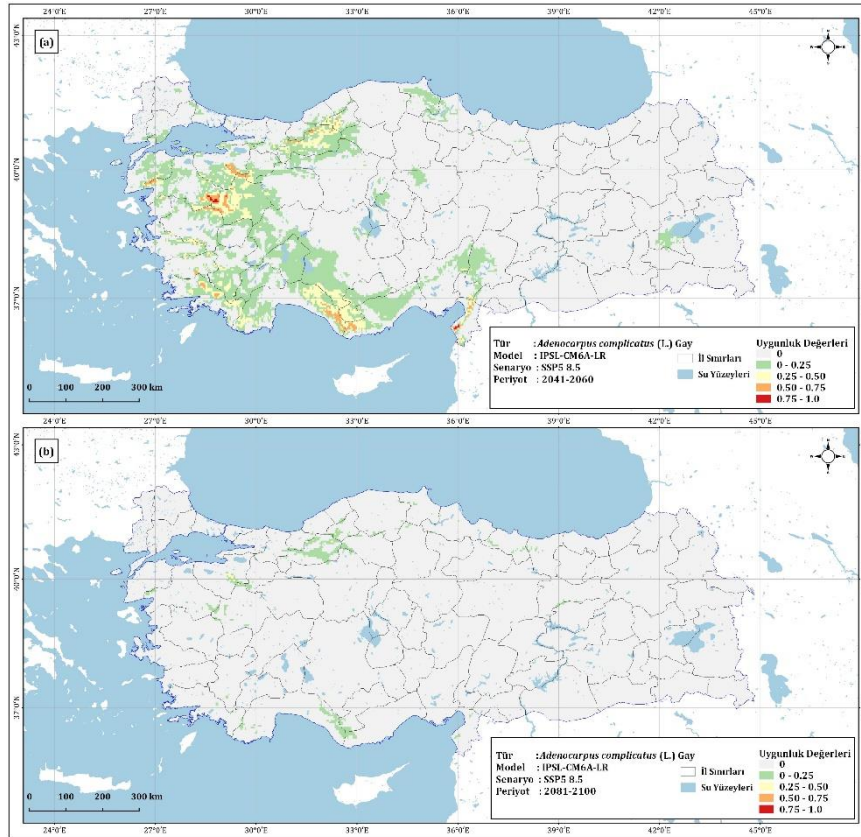
Buna göre günümüz ile SSP2 4.5 senaryosu 2041-2060 periyodunda 217.904 km²lik yayılış alanında azalma olduğu görülmektedir. Günümüzle SSP2 4.5 senaryosu 2081-2100 periyodunda ise tahmini yayılış alanı arasındaki değişim yine kayıp yönünde olmuş ve bu alanlar 267.513 km² olmuştur. Günümüz ile SSP5 8.5 senaryosu 2041-2060 periyodundaki değişim analizi değerlendirildiğinde 253.043 km²lik kayıp alana karşılık 15.418 km²lik bir kazanç alan görülmektedir. Günümüzle SSP2 4.5 senaryosu 2081-2100 periyodunda ise tahmini yayılış alanı arasındaki değişim yine kayıp yönünde olmuş ve bu kayıp değerleri 302.335 km² lik alan kapsamaktadır.

Çizelge 4 *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay değişim analizi (km²)

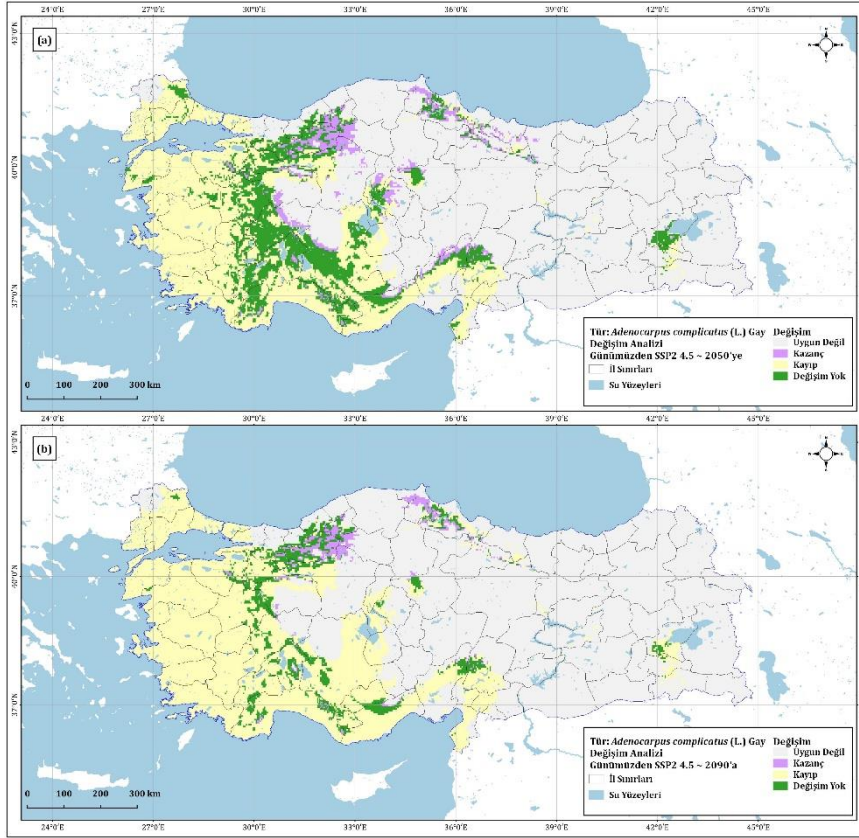
<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) Gay	SSP2		SSP5	
	2041-2060	2081-2100	2041-2060	2081-2100
Değişim				
Uygun Değil	453.198	465.341	462.962	471.082
Kayıp	217.904	267.513	253.043	302.335
Kazanç	25.885	12.386	15.418	3.85
Değişim Yok	83.466	35.215	49.031	3.187



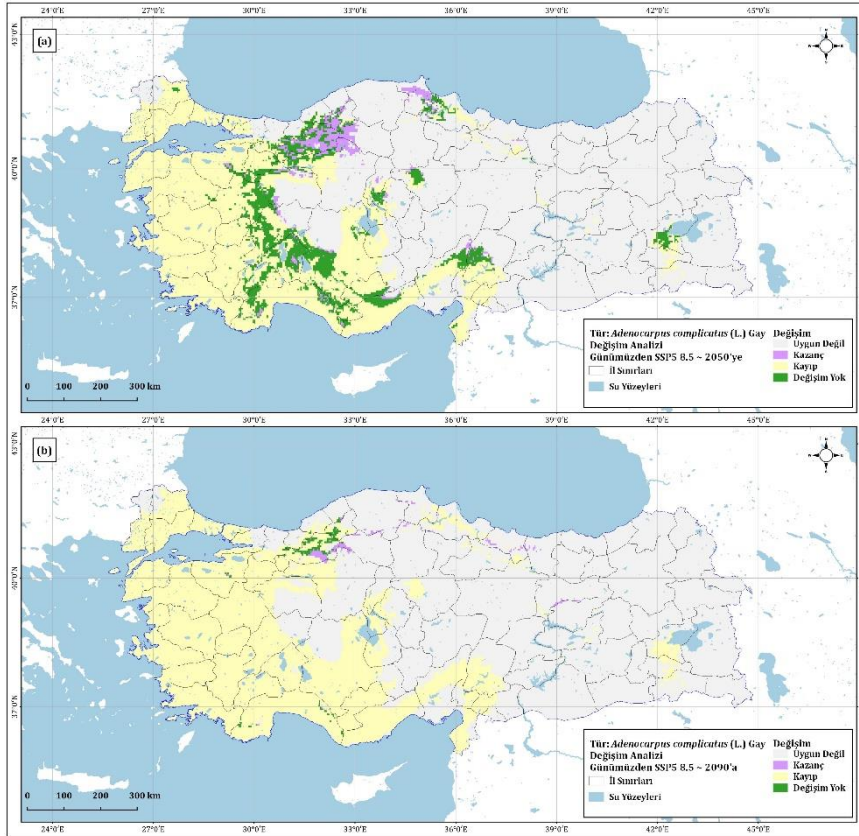
Şekil 6. IPSL-CM6A-LR modeli SSP2 4.5 senaryosu (a) 2041-2061 periyodu (b) 2081-2100 periyoduna göre tahmini yayılış alanları



Şekil 7. IPSL-CM6A-LR modeli SSP5 8.5 senaryosu (a) 2041-2061 periyodu (b) 2081-2100 periyoduna göre tahmini yayılış alanları



Şekil 8. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay tahmini güncel yayılış alanı ile SSP2 4.5 senaryosu (a) 2041-2060 periyodunda tahmini yayılış alanı arasındaki değişim (b) 2081-2100 periyodunda tahmini yayılış alanı arasındaki değişim



Şekil 9. *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay tahmini güncel yayılış alanı ile SSP5 8.5 senaryosu (a) 2041-2060 periyodunda tahmini yayılış alanı arasındaki değişim (b) 2081-2100 periyodunda tahmini yayılış alanı arasındaki değişim

4. Tartışma ve sonuç

Adenocarpus complicatus (L.) Gay için oluşturulan modelde yıllar içerisinde değişen iklim ve küresel ısınma seviyesinin zorlayıcı etkilerinden dolayı türün SSP2 4.5 senaryolarında yayılışının giderek azalacağı, SSP5 8.5 ~2090'da ise Türkiye koşullarında tamamen ortadan kalkacağı, türe rastlanılamayacağı tahmin edilmektedir. Bu türün yayılışının azalması gıda ve ilaç sanayisinin (Berber vd., 2014) etkileneceği ve aynı zamanda hayvan besini olarak kullanımının da sınırlanacağı anlamına gelmektedir.

Model çıktıları açısından Dülgeroğlu ve Aksoy (2018)'un yürüttüğü ülkemiz için önemli bir tür olan *Origanum minutiflorum*'un MIROC5 2070 yılı RCP8.5 senaryosu çıktısı ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bugünkü habitatındaki mevcut iklim koşulları 2070 yılında bu türün yaşayabilmesi için uygun olmayacaktır. *O. minutiflorum*'un endemik bir tür olduğu göz önünde bulundurulursa iklim değişimi ile birlikte yeni habitat bulamadığı takdirde bölgesel yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalacağı belirlenmiştir. Yine Remya vd. (2015) de Hindistan'da *Myristica dactyloides*'in yayılışı üzerine bir çalışma yapmış ve 22 noktadan %70'i model eğitimi için ve %30'u test verisi olarak kullanılmıştır. AUC eğitim verisi 0.896, test verisi ise 0.924'tür ve Jackknife BIO1 yani yıllık sıcaklık olduğu görülmüştür. Tür için yayılışın 2050 ve 2070 yılı için ılıman iklim değişikliği senaryosuna göre azalacağı sonucuna varılmaktadır. Bir diğer çalışmada Örcü (2019) *Phoenix theophrasti* Gr. için 16 örnek noktadan faydalanmış, RCP 4.5 ve RCP 8.5'e göre 2050 ve 2070 yıllarındaki potansiyel yayılış alanını modellenmiştir. 0,998 AUC, izolasyonda en yüksek kazancı olan çevresel değişken en soğuk mevsimin yağış miktarını gösteren BIO19'dur. İhmal edildiğinde kazancı en çok azaltan çevresel değişken ise en sıcak mevsimin yağış miktarını gösteren BIO18'dir. Çalışma sonucunda *Phoenix theophrasti* Gr.'nin günümüz yayılış alanı olarak uygun alanlar 8.248 km² çok uygun alanlar ise 23.330 km², toplamda ise 31.578 km² olarak hesaplanmıştır. Ayrıca CCSM4 iklim değişikliği senaryosuna göre gelecekte türün potansiyel yayılış alanlarında kayıplar yaşandığı görülmektedir.

Adenocarpus complicatus (L.) Gay türünün gelecekte yok olmaması için korumaya dönük çeşitli planlama ve arazi çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla Muğla Yatağan, Gökova ve Fethiye çevresinde türe ait herhangi bir koordinat olmamasına rağmen bu yörenin türün yayılış göstereceği en uygun olanlar arasında olduğu tahmin edilmektedir. Ancak tür ile ilgili yapılacak diğer araştırma ve tez çalışmalarında, arazi çalışması ile bu tahminin doğruluğu kontrol edilmelidir. İklim değişikliğini büyük ölçüde engellemek mümkün olmayacağından yapılması gereken en önemli çalışma türü kültüre almak ve gerekli bölgelerde türlerin devamlılığını sağlamak için in-situ ve ex-situ koruma alanları belirlemektir. Bu yaklaşım ile model sonuçları ve mevcut yayılışa bakılarak Hatay Amanos dağları, Antalya Manavgat ve Akseki, Kütahya Simav, Balıkesir Edremit ve Erdek, Muğla, Fethiye, Babadağ ve Yatağan Akdağ, Bencik Dağı, Çanakkale Kazdağları çevresinde seçilecek alanlarda bitkilendirme ve koruma planları hayata geçirilmelidir. Ayrıca günümüzden farklı olarak gelecek senaryolarda Bolu ile Düzce illeri arasında kalan yörede uygun alanlar olacağı tahmin edilmektedir. Bu bulgular neticesinde bu alanlarda da benzer olarak

bitkilendirme ve sonrasında koruma planlarının yapılması türün devamlılığını sağlamaya yardımcı olacaktır.

Açıklama

Bu çalışma Almira UZUN tarafından Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda hazırlanan "İklim Değişimi Senaryolarına Göre Peyzaj Tasarımında Kullanılan *Fabaceae* Familyasına Ait Bazı Odunsu Türlerin Günümüz ve Gelecekteki Yayılış Alanlarının Tahmini" adlı Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir.

Kaynakça

- Adhikari, D., Barik, S., Upadhaya, K., 2012. Habitat distribution modelling for reintroduction of *Ilex khasiana* Purk., a critically endangered tree species of northeastern India. *Ecological Engineering*, 40: 37-43.
- Akkemik, Ü., 2018. Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Arslan, E.S., 2019. İklim değişimi senaryoları ve tür dağılım modeline göre kentsel yol ağaçlarının ekosistem hizmetleri bağlamında değerlendirilmesi: *Robinia pseudoacacia* L. örneği. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 20: 142-148.
- 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): 722.
- Avcı, M., 2014. Türkiye'nin bitki çeşitliliği ve coğrafi açıdan değerlendirmesi. *türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çalıları* (Ed: Akkemik, Ü.), Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, s. 28-53.
- Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G.O., Swartz, B., Quental, T.B., Marshall, C., McGuire, J.L., Lindsey, E.L., Maguire, K.C., 2011. Has the earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471: 51-57.
- Berber, A., Zengin, G., Aktumsek, A., Sanda, M.A., Uysal, T., 2014. Antioxidant capacity and fatty acid composition of different parts of *Adenocarpus complicatus* (*Fabaceae*) from Turkey. *Revista de Biología Tropical*, 62: 349-358.
- Bertrand, R., Lenoir, J., Piedallu, C., Riofrío-Dillon, G., de Ruffray, P., Vidal, C., Pierrat, J.C., Gégout, J.C. J.N., 2011. Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature*, 479(7374): 517-520.
- Cobben, M., Van Treuren, R., Castañeda-Álvarez, N.P., Khoury, C. K., Kik, C., van Hintum, T.J., 2015. Robustness and accuracy of maxent niche modelling for lactuca species distributions in light of collecting expeditions. *Plant Genetic Resources*, 13: 153-161.
- Çoban, H.O., Örcü, Ö.K., Arslan, E.S., 2020. MaxEnt modeling for predicting the current and future potential geographical distribution of *Quercus libani* olivier. *Sustainability*, 12: 2671.
- Davis, P.H., 1972. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 3, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Duman, H., Aytaç, Z., Karavelioğulları, U.F., 2000. *Gevne Vadisi Florası*. Kırsal Çevre ve Ormanlık Sorunları Araştırma Derneği, Ankara.
- Dülgeroğlu, C., Aksoy, A., 2018. Küresel iklim değişikliğinin *Origanum minutiflorum* Schwarz & PH Davis'in coğrafi dağılımına etkisinin maximum entropi algoritması ile tahmini. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11: 182-190.
- Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37: 4302-4315.
- Field, A., 2013. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. SAGE Publications Ltd, London.

- Fitzpatrick, M.C., Gove, A.D., Sanders, N.J., Dunn, R.R., 2008. Climate change, plant migration and range collapse in a global biodiversity hotspot: The banksia (Proteaceae) of western Australia. *Global Change Biology*, 14: 1337-1352.
- Gassó, N., Thuiller, W., Pino, J., Vilà, M., 2012. Potential distribution range of invasive plant species in Spain. *NeoBiota*, 12: 25-40.
- Gaston, K.J., 1996. *Species Richness: Measure and Measurement*. Blackwell Science Ltd, London.
- GBIF, 2019. Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/>, Erişim: 01.02.2020.
- Gibbs, P., 1970. *Adenocarpus* DC. Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Ed: Davis, P.H.), Vol. 3, Edinburg Press, Edinburg.
- Güner, Ö., Akçiçek, E., 2013. Ulus Dağı'nın florası Balıkesir/Türkiye. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 6: 101-113.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Hosmer, Jr, D.W., Lemeshow, S., Sturdivant, R.X., 2013. *Applied Logistic Regression*. Vol. 392, John Wiley & Sons, New York.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* P. R.K.veM. A.L., Geneva, Switzerland, 151 p. Jaynes, E.T., 1957. *Information Theory and Statistical Mechanics*. II. *Physical review*, 108(2): 171-190.
- Lawler, J.J., Shafer, S.L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E.P., Blaustein, A.R., Bartlein, P.J., 2009. Projected climate-induced faunal change in the western Hemisphere. *Ecology*, 90: 588-597.
- Lenoir, J., Gégout, J.C., Marquet, P., De Ruffray, P., Brisse, H.J.S., 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*, 320: 1768-1771.
- Liu, X., Zhu, X., Li, S., Liu, Y., Pan, Y., 2015. Changes in growing season vegetation and their associated driving forces in China during 2001–2012. *Remote sensing*, 7: 15517-15535.
- Meyer, F.G., 1959. *Plant Explorations: Ornamentals in Italy, Southern France, Spain, Portugal, England, and Scotland*. Forgotten Books, London.
- Ok, T., 2018. *Adenocarpus* DC. Türkiye'nin Doğal Egzotik Ağaç ve Çalıkları (Ed: Akkemik, Ü.), Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Örücü, Ö.K., 2019. *Phoenix theophrasti* Gr.'nin iklim değişimine bağlı günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının MaxEnt modeli ile tahmini ve bitkisel tasarımda kullanımı. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20: 274-283.
- Özkan, K., Senol, H., Gulsoy, S., Mert, A., Suel, H., Eser, Y., 2009. Vegetation-environment relationships in Mediterranean mountain forests on limeless bedrocks of southern Anatolia, Turkey. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17: 154-163.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Townsend Peterson, A., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography*, 34: 102-117.
- 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: 887-893.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190: 231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.
- Phillips, S.J., Elith, J., 2010. POC Plots: Calibrating species distribution models with presence-only data. *Ecology*, 91: 2476-2484.
- QGIS, 2019. QGIS 3.8 Zanzibar - A Free and Open GIS. <https://qgis.org/tr/site/forusers/download.html>, Erişim: 20.08.2019.
- Remya, K., Ramachandran, A., Jayakumar, S., 2015. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica Dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the eastern Ghats, India. *Ecological engineering*, 82: 184-188.
- Sağlam, C., 2014. Phytosociological features of Cicek Mountain and environs (Isparta, Turkey). *Ekoloji Dergisi*, 23: 19-37.
- Sarıkaya, O., Karaceylan, I.B., Sen, I., 2018. Maximum entropy modeling (Maxent) of current and future distributions of *Ips Mannsfeldi* (Wachtl, 1879) (Curculionidae: Scolytinae) in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16: 2527-2535.
- Satıl, R., Polat, F., 2010. Havran ve Burhaniye'de (Balıkesir) etnobotanik araştırmaları. *Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 8: 65-100.
- Sérgio, C., Figueira, R., Draper, D., Menezes, R., Sousa, A.J., 2007. Modelling bryophyte distribution based on ecological information for extent of occurrence assessment. *Biological conservation*, 135(3): 341-351.
- Shcheglovitova, M., Anderson, R.P., 2013. Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269: 9-17.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M.T., Prentice, I. C., 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 8245-8250.
- Tittensor, D.P., Baco, A.R., Brewin, P.E., Clark, M.R., Conalvey, M., Hall-Spencer, J., Rowden, A.A., Schlacher, T., Stocks, K.I., Rogers, A.D., 2009. Predicting global habitat suitability for stony corals on seamounts. *Journal of Biogeography*, 36(6): 1111-1128.
- TUBIVES, 2004. Turkish Plants Data Service. http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=1&tax_id=2438, Erişim: 14.10.2019.
- Türkeş, M., 2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1): 26-37.
- Türkiye Bitkileri, 2019. *Adenocarpus complicatus*, Photo Gallery, <https://www.turkiyebitkileri.com/en/photo-gallery/view-album/2970.html?start=0>, Erişim: 06.09.2020.
- Usta Baykal, N., 2019. Determining potential niche competition regions between Kazdağı fir (*Abies Nordmanniana* Subsp. *Equi-Trojani*) & Anatolian black pine (*Pinus Nigra* Subsp. *Pallasiana*) and conservation priority areas under climate change scenarios by using maxent algorithm. Master Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Wang, J., He, G., Fang, H., Han, Y., 2020. Climate change impacts on the topography and ecological environment of the wetlands in the middle reaches of the Yarlung Zangbo-Brahmaputra River. *Journal of Hydrology*, 590: 1-13.
- Wang, Y.S., Xie, B.Y., Wan, F.H., Xiao, Q.M., Dai, L.Y., 2007. The potential geographic distribution of *Radopholus similis* in China. *Agricultural Sciences in China*, 6: 1444-1449.
- Ward, D.F., 2007. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions*, 9: 723-735.
- Williams, J.N., Seo, C., Thorne, J., Nelson, J.K., Erwin, S., O'Brien, J.M., Schwartz, M.W., 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distributions*, 15: 565-576.
- Wollan, A.K., Bakkestuen, V., Kausrud, H., Gulden, G., Halvorsen, R., 2008. Modelling and predicting fungal distribution patterns using herbarium data. *Journal of Biogeography*, 35(12): 2298-2310.
- WorldClim, 2019. WorldClim - Global Climate Data. www.worldclim.org, Erişim: 20.08.2019.

- Yaltrık, F., 1984. Bazı Yapraklı Ağaç ve Çalıların Kışın Tanınması. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Yi, Y.J., Cheng, X., Yang, Z.F., Zhang, S.H., 2016. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. Ecological Engineering, 92: 260-269.
- Yılmaz, H., Tuttu, G., 2008. Flora of Çamucu forest enterprice area (Balya, Balıkesir/Turkey). Biological Diversity and Conservation, 9: 10-24.
- Yuan, H.S., Wei, Y.L., Wang, X.G., 2015. Maxent modeling for predicting the potential distribution of Sanghuang, an important group of medicinal fungi in China. Fungal Ecology, 17: 140-145.
- Zhang, K., Yao, L., Meng, J., Tao, J., 2018. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. Science of the Total Environment, 634: 1326-1334.