

# *Ips sexdentatus*'un Duyarlılığının Maksimum Entropi (MaxEnt) ile Modellenmesi

Gonca Ece ÖZCAN<sup>1,\*</sup>

<sup>1,\*</sup>Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

## Makale Tarihi

Gönderim: 07.11.2023

Kabul: 08.02.2024

Yayın: 23.04.2024

## Araştırma Makalesi



**Öz** – İklim değişimi ve buna bağlı faktörlerden en çok etkilenen ormanlardır. İklim değişikliği, konukçu ağaçların ve bunlarla ilişkili olan zararlıların dağılımlarında değişikliğe neden olmaktadır. Ekoloji ve koruma alanındaki planlamacılara yol gösterecek uygulamalar için türlerin coğrafi dağılımlarını belirleyen tahmine dayalı modeller önemlidir. Orman ekosistemlerinde ciddi olumsuzluklara neden olan kabuk böceklerinin her yıl artarak devam eden zararlarının önemli sonuçlar meydana getireceği beklenmektedir. Bu nedenle orman ekosistemlerinde bulunan kabuk böceği türlerinin potansiyel dağılımlarının belirlenmesi sürdürülebilir orman yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu türlerin salgınlarını iklim, topoğrafik ve meşcere parametreleri önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, Maksimum Entropi (MaxEnt) yaklaşımı kullanılarak 19 farklı biyoiklimsel değişken ile kapalılık, yükselti ve eğim değişkenlerini dikkate alarak *Ips sexdentatus*'un zararına ilişkin potansiyel duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Modelin doğruluğu alıcı çalışma karakteristiği (ROC) analizi ile değerlendirilmiş eğitim verilerinde eğri altında kalan alan (Area Under Curve, (AUC)) 0,846; test verilerinde ise 0,855 olarak hesaplanmıştır. *Ips sexdentatus*'un duyarlılık haritasında model sonucunu en çok etkileyen parametrenin kapalılık olduğu ve modelin %68.5'ini oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun yanında kapalılık, eğim ve en nemli ayın yağış miktarı değişkenlerinin toplu olarak modelin %88.4'ünü oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, çalışma alanının %51.6'sı *Ips sexdentatus* istilası açısından riskli kategoride yer almaktadır. Bu çalışmanın sonuçları *Ips sexdentatus*'un izlenmesi ve mücadele stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda diğer salgın yapma potansiyeline sahip kabuk böceği türlerinin yönetimi için bir öngörü oluşturacaktır.

**Anahtar Kelimeler** – Kabuk böceği, MaxEnt, duyarlılık haritası, iklim değişimi, ROC analizi, *Ips sexdentatus*

## Modeling the Susceptibility of *Ips sexdentatus* with Maximum Entropy (MaxEnt)

<sup>1,\*</sup>Kastamonu University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Kastamonu, Türkiye

## Article History

Received: 07.11.2023


Accepted: 08.02.2024

Published: 23.04.2024

## Research Article

**Abstract** – Forests are most affected by climate change and related factors. Climate change causes changes in the distribution of host trees and their associated pests. Predictive models that determine the spatial distributions of species are important for applications that will guide planners in the field of ecology and conservation. It is predicted that the ever-increasing damage of bark beetles, which cause significant negativities in forest ecosystems, will have serious consequences. Therefore, determining the potential distributions of bark beetle species in forest ecosystems is important for sustainable forest management. Climate, topographic and stand parameters significantly affect the epidemics of these species. In this study, a potential susceptibility map for the damage of *Ips sexdentatus* was created using the Maximum Entropy (MaxEnt) approach, taking into account 19 different bioclimatic, crown closure, elevation, and slope variables. The accuracy of the model was evaluated by receiver operating characteristic (ROC) analysis. AUC was 0.846 in the training data, and it was calculated as 0.855 in the test data. In the susceptibility map of *Ips sexdentatus*, it was determined that the variable that most affected the model result was crown closure, which constituted 68.5% of the model. In addition, it was observed that the variables of crown closure, slope, and precipitation of the wettest month collectively included 88.4% of the model. In addition, 51.6% of the study area is in the risk category regarding *I. sexdentatus* invasion. The results of this study will contribute to monitoring *Ips sexdentatus* and determining control strategies. It will also provide insight for the management of other bark beetle species with epidemic potential.

**Keywords** – Bark beetle, MaxEnt, susceptibility map, climate change, ROC analysis, *Ips sexdentatus*

<sup>1</sup>  goncaece@kastamonu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Sürdürülebilir orman yönetimini, biyolojik çeşitliliği, ekosistem hizmetlerini dolayısıyla orman ekosistemlerini olumsuz olarak etkileyen (Choi ve Park, 2019) orman zararlılarının dağılımını etkileyen ana faktörlerden biri iklimdir (Volney vd., 2000). İklim değişikliğinin türlerin popülasyon dalgalanmaları üzerindeki etkisi oldukça karmaşık (Johnson ve Haynes, 2023) olup iklim değişikliğinin, orman zararlılarının salgınlarının sıklığının ve yoğunluğunun artmasına ve salgının yönünün değişmesine neden olabileceği tahmin edilmektedir (Jactel vd., 2019; Johnson ve Haynes, 2023).

Sıcaklık artışının meydana gelmesi ve iklim anormalliklerinin artması kabuk böceği (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) salgınlarını tetiklemekte (Marini vd., 2019) ve çok sayıda ağaç ölümlerine neden olmaktadır (Kamińska vd., 2021). Bu türlerin popülasyonlarında meydana gelen artış, iklim değişikliğine özellikle de sıcaklıkların yükselmesine bağlanmaktadır (Bentz vd., 2010). Şiddetli yaz kuraklıklarının meydana gelmesinden sonra kabuk böceği zararlarının arttığı analizler ile belirlenmiştir (Nardi vd., 2023). Bu durumun böceğin iklim koşulları nedeniyle tercih etmediği ekosistemlere yayılmasına neden olacağı açıktır (Buotte vd., 2016; Seidl vd., 2008). Kabuk böcekleri özellikle iğne yapraklı ormanlar için oldukça büyük tehdit içermektedir (Evangelista vd., 2011) ve son yıllarda ormanlarda salgınların şiddeti, yoğunluğu ve dağılımı oldukça artmıştır (Dale vd., 2001, Schelhaas vd., 2003).

Kabuk böceklerinden *Ips sexdentatus* (Böerner) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Avrasya'da geniş ormanlık alanlara yayılmıştır (Gil ve Pajares 1986; Jeger vd., 2017). Düşük popülasyon seviyesinde zayıf ve ölmekte olan ağaçları konukçu olarak seçerken Winter vd., 2015), biotik ve abiyotik faktörler nedeniyle üremeleri için uygun koşulları oluşması durumunda salgın oluşturarak sağlıklı ağaçlara da saldırabilmektedir (Gil ve Pajares 1986; Romon vd., 2007; Rossi vd., 2009). Türkiye'de karaçam, sarıçam, ladin ve göknar ormanlarında zararı bulunmaktadır (Oymen, 1992; Özcan et al. 2011, Yüksel ve Akbulut 2005). Ancak zararlıların mekansal dağılımı üzerine iklim değişikliğinin neden olacağı etkiler hala tam olarak anlaşılammıştır (Hansen vd., 2020). Uygun iklim ve topoğrafik koşullar ile meşcere parametreleri kabuk böceği risk değerlendirilmelerinde oldukça önemli faktörlerdir (Bentz vd., 2010, Jenkins vd., 2014; Jaime vd., 2022; Özcan vd., 2022).

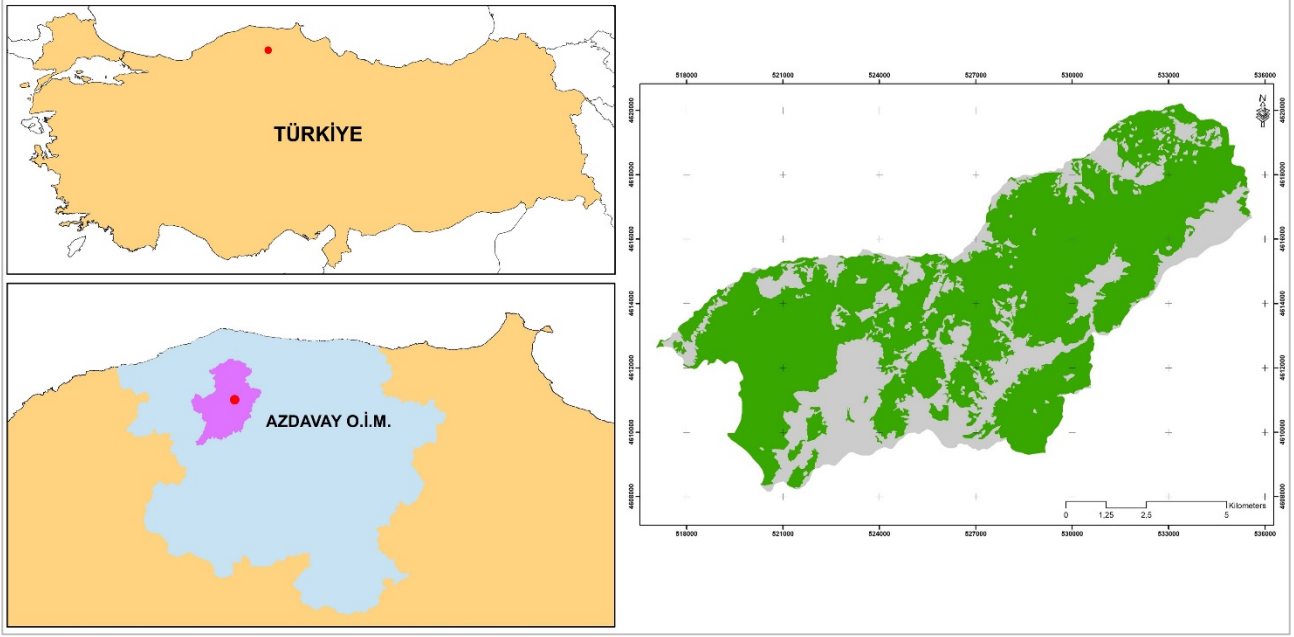
Tahmine dayalı modeller birçok disiplinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yates vd., 2018). Bunlardan ekolojik tahmin modellemeleri bir ekosistemin gelecekteki durumunu ekolojik bilgi, veri ve yöntemler ile ortaya koymayı amaçlamaktadır (Luo vd., 2011). Bu kapsamda canlı organizmaların mekansal dağılımının modellenmesi için en popüler algoritmalarından biri olan (Lissofsky ve Dudov 2021; Phillips vd., 2006; Phillips ve Dudik, 2008;) ve bitki, böcek ve mantarların dağılım çalışmalarında tercih edilen (Moat vd., 2017) Maksimum Entropy (MaxEnt) modeli yüksek tahmin performansına sahip olması nedeniyle (Fitzgibbon vd., 2022; Olivera vd., 2020; Phillips vd., 2017) orman zararlılarının ve özellikle kabuk böceklerinin potansiyel dağılımını tahmin etmede tercih edilmektedir (González-Hernández vd., 2020; Negrete vd., 2020; Økland vd., 2019; Sivrikaya ve Özcan, 2023; Sivrikaya vd., 2023; Sarikaya vd., 2018; Wu vd., 2002). Bu çalışmada, saf ve karışık karaçam meşcerelerinde yükselti, kapalılık, eğim ve bioklimatik faktörler ile ilişkili olarak *Ips sexdentatus*'un istilalarına hassas olan alanları belirlemek için MaxEnt yaklaşımı ile potansiyel duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Geliştirilen modelin doğruluğu alıcı çalışma karakteristiği (ROC) analizi ile ortaya koyulmuştur.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Azdavay Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Kirazdağı Orman İşletme Şefliğinde gerçekleştirilmiştir. Kirazdağı Orman İşletme Şefliği coğrafi konum olarak UTM koordinat sistemine göre (WGS 84 Datum, 36 Zone) 517000-535650 doğu boylamları ile 4608000-4620250

kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının toplam alanı 10106.0 ha olup alanın %71'i (7125.9 ha) ormanlık alan vasfındadır. Ormanlık alanın ise %71'i (5034.3 ha) normal kapalı, %29'u (2091.6 ha) ise boşluklu kapalı ormandır. Planlama birimindeki hakim ağaç türleri karaçam (*Pinus nigra*), sarıçam (*Pinus sylvestris*), göknar (*Abies nordmanniana*), kayın (*Fagus orientalis*) ve meşe (*Quercus* ssp.) türleridir. Çalışma alanındaki saf ve karışık karaçam meşcerelerinde 2008-2018 yılları arasında yoğun olarak *I. sexdentatus*'un neden olduğu zarar ve kuruma kaydı bulunmamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı

## 2.2. Materyal ve Yöntem

*Ips sexdentatus*'un zararına ilişkin 10 yıllık (2008-2018) kayıtlar Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü (OBM), Kirazdağı Orman İşletme Şefliğinin “Orman Zararlıları ile Mücadele Projesi” cetvellerinden ve Orman Koruma Şubesinin arazi çalışmalarından elde edilmiştir. Düzenlenen bu projeler kullanılarak Kirazdağı Orman İşletme Şefliğinin *I. sexdentatus* zararı görülen alanlar meşcere haritasına işlenmiş ve bu meşcerelerden ArcGIS 10.6 ortamında 54 adet veri noktası olarak elde edilmiştir. Biyoklimatik değişkenler (BIO 1, BIO 2, BIO 3, BIO 4, BIO 5, BIO 6, BIO 7, BIO 8, BIO 9, BIO 10, BIO 11, BIO 12, BIO 13, BIO 14, BIO 15, BIO 16, BIO 17, BIO 18 ve BIO 19) WorldClim web sitesinden 750 m konumsal çözünürlükte raster formatında ücretsiz olarak sağlanmıştır (WorldClim, 2023). 30 m konumsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (DEM, Digital Elevation Model), <https://earthexplorer.usgs.gov> (USGS, 2023) adresinden ücretsiz olarak indirilmiştir. DEM verileri kullanılarak ArcGIS 10.6 yazılımında yükseklik ve eğim haritaları üretilmiştir. Sayısal meşcere haritası ise Kastamonu OBM'den temin edilmiş ve kapalılık haritası bu meşcere haritasından üretilmiştir (Tablo 1). Değişkenlerin çözünürlükleri farklılık gösterdiğinden tüm değişkenler, bilinear resampling yaklaşımı kullanılarak ArcGIS ortamında 30 m çözünürlüğe dönüştürülmüştür. Tüm CBS uygulamaları ArcGIS 10.6 yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1

## Çalışmada kullanılan değişkenler

Kod	Değişken Adı	Birimi
KP	Kapalılık	%
YK	Yükselti	m
EG	Eğim	%
BIO 1	Yıllık Ortalama Sıcaklık	°C
BIO 2	Günlük ortalama değişim aralığı	°C
BIO 3	İzotermalite	%
BIO 4	Mevsimsel sıcaklık	°C
BIO 5	En Sıcak Ayın Maksimum Sıcaklığı	°C
BIO 6	En Soğuk Ayın Minimum Sıcaklığı	°C
BIO 7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı	°C
BIO 8	En nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 9	En kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 10	En sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 11	En soğuk ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 12	Yıllık Yağış miktarı	mm
BIO 13	En nemli ayın yağış miktarı	mm
BIO 14	En kurak ayın yağış miktarı	mm
BIO 15	Mevsimsel yağış miktarı	%
BIO 16	En nemli ilk üç ayın yağış miktarı	mm
BIO 17	En kurak ilk üç ayın yağış miktarı	mm
BIO 18	En sıcak ilk üç ayın yağış miktarı	mm
BIO 19	En soğuk ilk üç ayın yağış miktarı	mm

### 2.3. Maksimum Entropy (MaxEnt) Modeli

Tür dağılım modellerinde en iyi performansı gösterdiği ve yalnızca var verilerine dayandığından dolayı (Elith vd., 2006; Phillips vd., 2006), bu çalışmada *Ips sexdentatus*'un belirlenen çalışma alanındaki potansiyel dağılımını belirlemek için maksimum entropi yaklaşımı (MaxEnt) tercih edilmiş ve MaxEnt 3.4.4 programı kullanılmıştır (Steven vd., 2023). MaxEnt modelinde bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki değişken girişi vardır (Muttaqin vd., 2019) ve bu model çevresel değişkenleri bağımsız değişken, türlerin dağılım noktalarını bağımlı değişken olarak kullanarak potansiyel tür dağılımlarını modelleyebilmektedir (Elith vd., West vd., 2016).

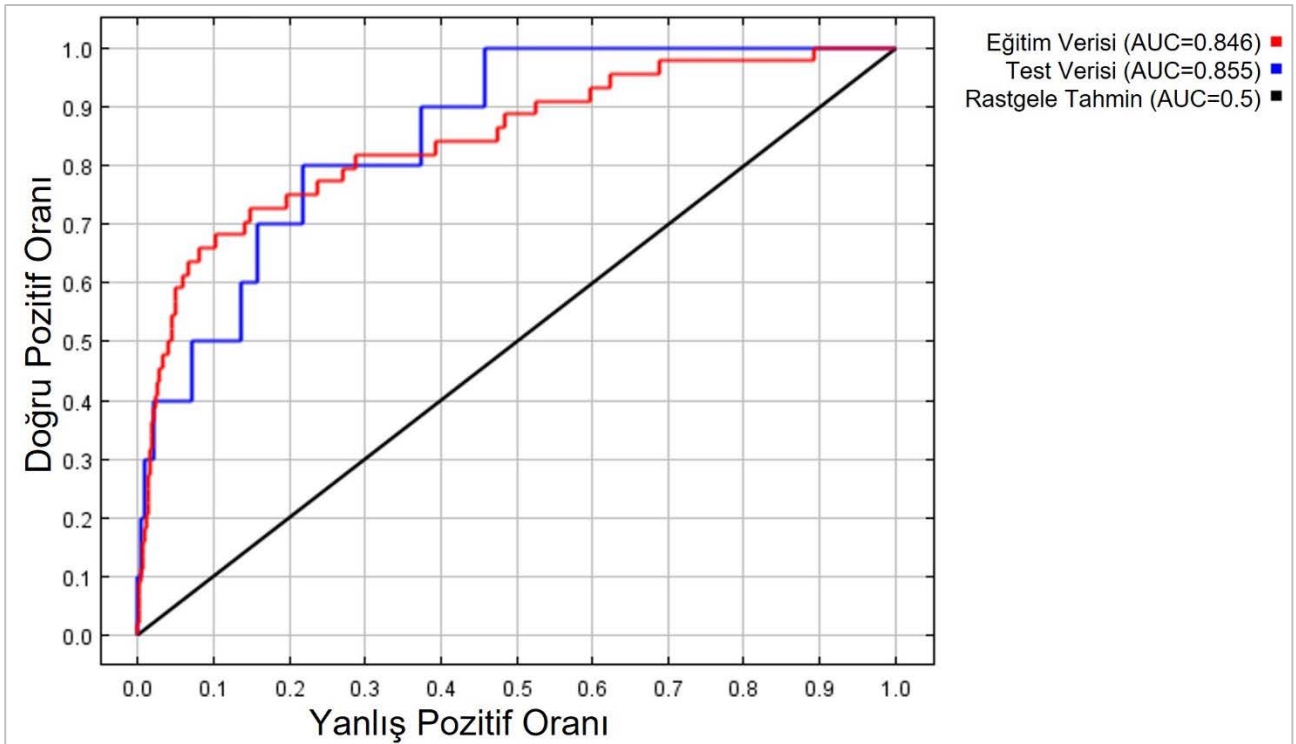
MaxEnt modelini oluşturmak için öncelikle veri setleri hazırlanmıştır. Bu çalışmada 19 adet biyoklimatik değişken ile yükseklik, eğim ve kapalılık olmak üzere toplam 22 adet bağımsız değişken kullanılmıştır. Yükselti (Salinas Moreno vd., 2004; Williams vd., 2014; Özcan vd., 2022), eğim ve bakı (Sproull vd., 2017, Özcan vd., 2022) değişkenleri kabuk böceği istilasını etkileyen önemli faktörlerden olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır. Değişkenler arasında güçlü bir korelasyonun varlığı, modelin aşırı uyumuna (overfitting) neden olmakta ve bu durum da tahminlerin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir (Méndez-Encina vd., 2021). Bu nedenle değişkenler arasındaki korelasyonu değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayısı (r) kullanılmıştır. ArcGIS 10.6'daki Band Collection Statistics modeli kullanılarak, 0,90'dan büyük korelasyona sahip değişkenler modelden çıkartılmıştır (Yusup vd., 2018). Tahmine dayalı modellerin en önemli aşamalarından biri performanslarının değerlendirilmesidir. Modele dayalı tahminleri doğrulamak için en popüler yöntemlerden biri, olasılıksal ve deterministik modellerin kesinliğini sıralayan ve bunları karşılaştıran ROC eğrisi analizidir (Peterson, 2008). Bu nedenle bu çalışmada duyarlılık haritasının doğruluğu ROC analizi ile değerlendirilmiştir. Eğri altındaki alan (AUC, Area Under the Curve), ROC analizinde tahmin doğruluğunu değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir göstergedir. ROC analizinde en iyi sonuç, 0 ile 1 arasında değişen en yüksek AUC puanına sahip olmaktır. AUC puanının 1 olması, modelin mükemmel olduğunu ifade

etmektedir. AUC puanını kategorize etmek için genellikle beş kategori kullanılır: zayıf (0.5-0.6), orta (0.6-0.7), iyi (0.7-0.8), çok iyi (0.8-0.9) ve mükemmel (0.9-1.0) (Polo Miot, 2020; Craig vd., 2014). Geliştirilen modelde değişkenlerin katkı oranlarını belirlemek için ise Jackknife testi kullanılmıştır. Böcek zararına ilişkin var verilerinin %75'i model geliştirmek için, % 25'i ise model doğruluğunun test edilmesi için kullanılmıştır. Model sonucu elde edilen harita ArcGIS 10.6 yazılımında Jenks natural breaks sınıflandırma yöntemine göre düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört ayrı kategoride sınıflandırılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Değişkenler arasında aşırı uyum riskini minimize etmek için yapılan korelasyon analizi sonucunda 14 değişkenin diğer değişkenlerle güçlü bir korelasyon ( $>0,90$ ) gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre *I. sexdentatus*'a duyarlı meşcereleri belirlemek için sekiz ayrı ilişkisiz değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler izotermalite (BIO 3), en nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (BIO 8), en nemli ayın yağış miktarı (BIO 13) ve en sıcak ilk üç ayın yağış miktarı (BIO 18), yükselti (YK), eğim (EG) ve kapalıdır (KP).

Belirlenen ilgili değişkenler kullanılarak geliştirilen MaxEnt modelinin doğruluğu ROC analizi ile gerçekleştirilmiştir. ROC analiz sonuçlarına göre eğitim verilerinde AUC 0,846 ve test verilerinde ise 0,855 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre geliştirilen modelin doğru çok yüksek olup oluşturulacak kabuk böceği duyarlılık haritasının ormancılık yönetim, işletme ve koruma faaliyetlerinde kullanılabilirliğini göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. *Ips sexdentatus* duyarlılık modeli için ROC analizi

Farklı kabuk böceklerinin tür dağılım modellerinin alıcı çalışma karakteristiği (ROC) analizi ile yapılan doğruluk değerleri AUC 0,705 (Sivrikaya ve Özcan, 2023), 0,739 (Sivrikaya vd., 2023), 0,931 (González-Hernández vd., 2020), 0,978 ve 0,966 (Li vd., 2021), 0,75'ten yüksek (Jaime vd., 2019), 0,088 (Sarıkaya vd., 2018) bulunmuştur. Bu çalışmada olduğu gibi kabuk böcekleri için yapılan tür dağılım modellerinin iyi bir performans doğruluğuna sahip olduğu görülmektedir.

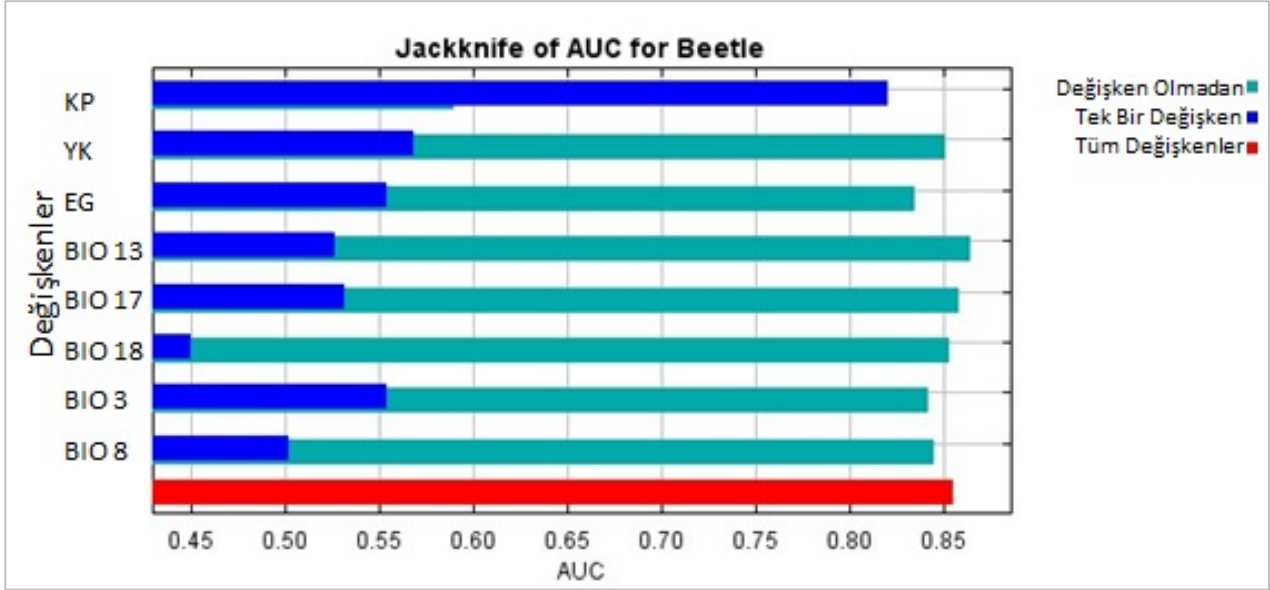
MaxEnt'e göre *I. sexdentatus*'un duyarlılık haritasında model sonucunu en çok etkileyen parametrenin kapalılık olduğu ve modelin %68.5'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. BIO13, EG, BIO 17, YK, BIO 3, BIO 8 ve BIO 18 değişkenlerinin katkısı ise sırasıyla %13.5, %6.4, %4.1, %3.3, %1.7, %1.4 ve %1.1'dir. Bunun yanında KP, BIO 13 ve EG değişkenleri toplam olarak modelin %88.4'ünü oluşturmaktadır. Kabuk böceği duyarlılığı için en yüksek permütasyon önemine sahip ilk üç değişken KP (%59.6), BIO 13 (%11.5) ve BIO 18 (%9.4)'dir (Tablo 2).

Tablo 2  
Model değişkenlerin katkısı ve önem yüzdesi

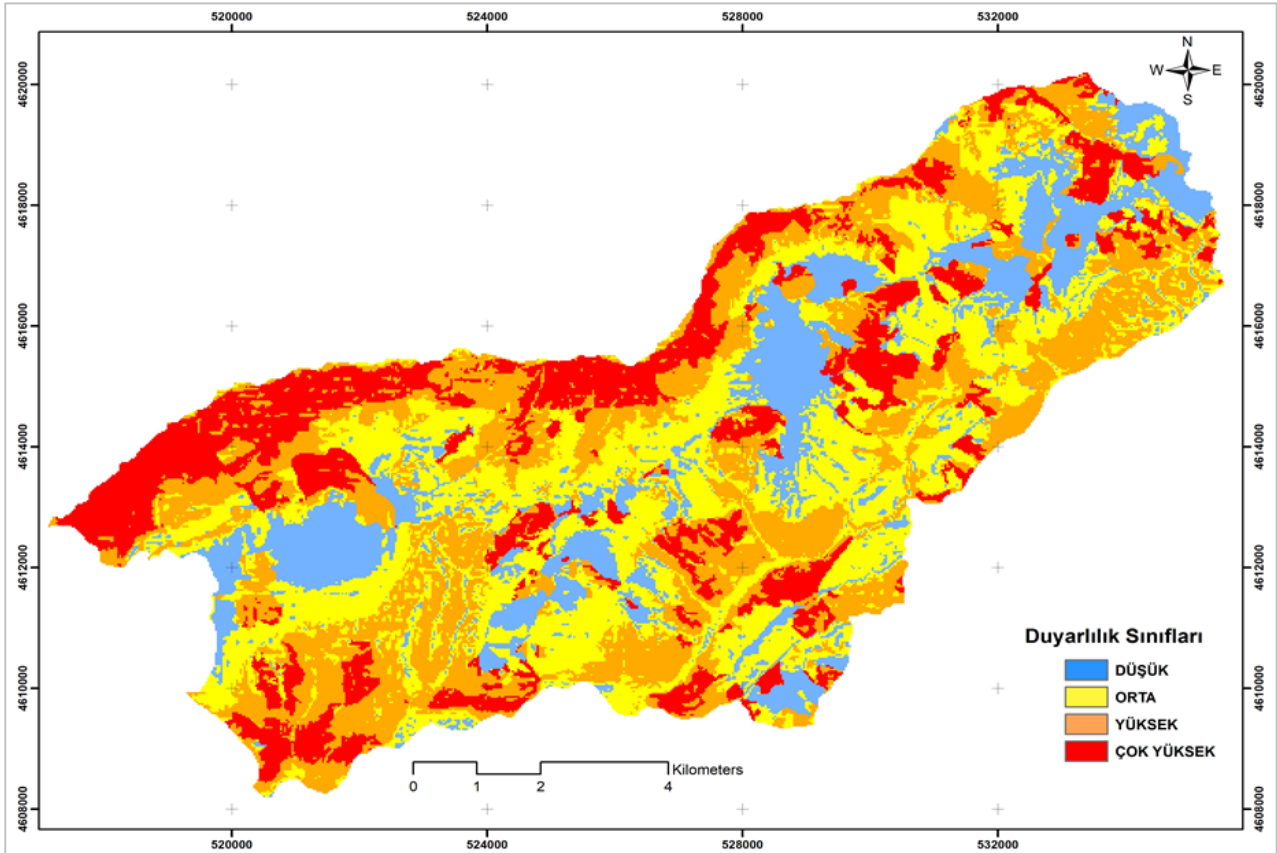
Değişkenler	Yüzdeler Katkı (%)	Permütasyon Önemi (%)
KP	68.5	59.6
BIO 13	13.5	11.5
EG	6.4	7.4
BIO 17	4.1	8
YK	3.3	0
BIO 3	1.7	3.1
BIO 8	1.4	1.1
BIO 18	1.1	9.4
Toplam	100	100

Sadece bioklimatik iklim değişkenleri ile yapılan MaxEnt modellemesinde “yıllık ortalama sıcaklık” *Ips sexdentatus*'a duyarlı karaçam meşcerelerinin belirlenmesinde en etkili faktör olarak bulunmuştur (Sivrikaya ve Özcan, 2023). Diğer kabuk böceklerinden biri olan *Pityokteines curvidense* duyarlı alanlarda ise MaxEnt ve AHP modellerine göre meşcere karışımı, NDVI ve yükseklik en önemli faktörler olduğu ifade edilmektedir (Sivriya vd., 2023). MaxEnt yaklaşımı ile *Dendroctonus mexicanus*'un mekansal dağılımının modellendiği çalışmada ise tür için en duyarlı alanların belirlenmesinde en önemli faktörün sıcaklık olduğu belirlenmiştir (González-Hernández vd., 2020). Yayılış yaptığı bölgelerde *Ips calligraphus* ve *I. grandicollis* için ise en kurak ilk üç ayın yağış miktarı ve yıllık yağış modele en önemli katkı sağlayan faktörler olarak bulunmuştur (Li d., 2021). *I. amitinus* için ise MaxEnt tahmininin %70,8'ini açıklayan en etkili iklim değişkenleri, yılın en sıcak üç ayının ortalama sıcaklıkları, Temmuz ayının maksimum sıcaklığı, ağustos ayının toplam aylık yağışı miktarı ve ocak ayının minimum sıcaklık miktarları olmuştur (Økland vd., 2019). *Ips mannsfeldi*'nin bugün ve gelecekteki dağılımının modellendiği çalışmada model için en önemli faktörün yükseklik olduğu belirtilmiştir (Sarıkaya vd., 2018).

Eğitim veri setini kullanan Jackknife analizinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Jackknife yöntemine göre modelde yer alan değişkenler arasında KP, YK, BIO 3 ve EG değişkenlerinin maksimum düzeyde etki gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3). KP değişkeninin modele tek başına katkısının en yüksek olduğu görülmüştür. *Ips sexdentatus* ve *Tomicus piniperda*'nın MaxEnt ile yapılan dağılım modellemesinde ise değişkenlerin göreceli katkısı ve jackknife testine göre, her iki tür içinde en soğuk ilk üç ayın ortalama sıcaklığı modele en yüksek katkıyı yapmıştır. Bunu en kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı, mevsimsel sıcaklık ve izotermalite takip etmiştir (Jaime vd., 2019).

Şekil 3. *Ips sexdentatus* için Jacknife testi

*Ips sexdentatus*'un duyarlılık haritası MaxEnt modeline göre oluşturulmuştur (Şekil 4). Oluşturulan harita düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört ayrı duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.

Şekil 4. *Ips sexdentatus* duyarlılık haritası



Buna göre çalışma alanının %17.2'i, %31.2'si, %31.8'i ve %19.8'i düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarında yer almaktadır (Tablo 3). Alanının %31,8'i yüksek ve %19,8'i ise çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunmaktadır.

Tablo 3

*Ips sexdentatus* duyarlılık haritasının alansal dağılımı

Duyarlılık Sınıfları	Alan	
	ha	%
Düşük	1733.3	17.2
Orta	3157.8	31.2
Yüksek	3210.7	31.8
Çok Yüksek	2004.2	19.8
Toplam	10106.0	100.0

Diğer bir ifadeyle çalışma alanının % 51.6'sı riskli kategoride bulunmakta ve bu durum alanın *Ips sexdentatus* riski açısından duyarlı olduğunu göstermektedir. Benzer diğer bir çalışmada çalışma alanının büyük bir kısmının kabuk böceği istilasına karşı duyarlı alanlar olduğu belirtilmiştir (Sivrikaya ve Özcan, 2023).

#### 4. Sonuçlar

İklim değişikliği başta olmak üzere pek çok faktör ağaç ölümlerine ve dolayısıyla ciddi ekonomik kayıplara neden olan kabuk böceklerinin dağılımını etkilemektedir. Zararın olduğu ormanlarda bu türlere karşı duyarlı olan meşcerelerin belirlenmesi yönetim ve mücadele stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada *I. sexdentatus* zararına karşı duyarlı alanların belirlendiği modelde kapalılık en etkili faktör olarak bulunmuştur. ROC eğrisi altındaki alandır (AUC) tür modelleme yöntemlerinin performanslarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada ROC analiz sonuçlarına göre eğitim verilerinde AUC 0,846 ve test verilerinde ise 0,855 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca alanın yarısından fazlasının bu türe karşı hassas olduğu duyarlılık haritasında belirlenmiştir. Model sonucunu en çok etkileyen parametrenin kapalılık olduğu ve modelin %68.5'ini oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bunun yanında kapalılık, eğim ve en nemli ayın yağış miktarı değişkenlerinin toplu olarak modelin %88.4'ünü oluşturduğu görülmüştür. Çalışma alanının kabuk böceklerinden *Ips sexdentatus* zararına duyarlı olması nedeniyle bu alanda zararlıya karşı gerekli önlemlerin alınması ve salgın oluşmasını önlemek amacıyla zararlının izlenmesi önemlidir.

#### Teşekkür

*Ips sexdentatus*'un zararına ilişkin veriler ve sayısal meşcere haritası için Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Kirazdağı Orman İşletme Şefliğine ve Orman Koruma Şubesinin tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynaklar

- Bentz, B.J., Régnière J., Fettig, C.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G., Negrón, J.F., Seybold, S.J. (2010). Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience*, 60 (8), 602–613. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.8.6>
- Buotte, P.C., Hicke, J.A., Preisler, H.K., Abatzoglou, j.T., Raffa, K.F., Logan, J.A. (2016). Climate influences on whitebark pine mortality from mountain pine beetle in the Greater Yellowstone Ecosystem. *Ecological Applications*, 26(8), 2507-2524. <https://doi.org/10.1002/eap.1396>
- Choi, W.I., Park, Y S. (2019). Monitoring, assessment and management of forest insect pests and



- diseases. *Forests*, 10(10), 865. <https://doi.org/10.3390/f10100865>
- Craig, E., Bland, R., Ndirangu, J., Reilly, J.J. (2014). Use of mid-upper arm circumference for determining overweight and overfatness in children and adolescents. *Archives of disease in childhood*, 99(8), 763-766. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2013-305137>
- Dale, V. H., Joyce, L.A., McNulty, S.M., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.C., Lugo, A.E., Peterson, C.J., Simberloff, D., Swanson, F.J., Stocks, B.J., Wotton, B.M. 2001. Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience*, 51(9), 723-734. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0723:CCAFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0723:CCAFD]2.0.CO;2)
- Elith, J., Kearney, M., Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(4), 330-342. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x>
- Evangelista, P.H., Kumar, S., Stohlgren, T.J., Young, N.E. (2011). Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management*, 262(3), 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.036>
- Fitzgibbon, A., Pisut, D., Fleisher, D. (2022). Evaluation of Maximum Entropy (Maxent) machine learning model to assess relationships between climate and corn suitability. *Land*, 11(9), 1382. <https://doi.org/10.3390/land11091382>
- Gil, L., Pajares, J.A. (1986). Los escoltados de las coníferas en la Península Ibérica. *Monografías INIA*, (53), 194.
- González-Hernández, A., Morales-Villafaña, R., Romero-Sánchez, M.E., Islas-Trejo, B., Pérez-Miranda, R. (2020). Modelling potential distribution of a pine bark beetle in Mexican temperate forests using forecast data and spatial analysis tools. *Journal of Forestry Research*, 31(2), 649-659. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0858-4>
- Hansen, B.B., Grøtan, V., Herfindal, I., Lee, A.M. (2020). The Moran effect revisited: spatial population synchrony under global warming. *Ecography*, 43(11), 1591-1602. <https://doi.org/10.1111/ecog.04962>
- Jactel, H., Koricheva, J., Castagneyrol, B. (2019). Responses of forest insect pests to climate change: not so simple. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.010>
- Jaime, L., Batllori, E., Margalef-Marrase, J., Navarro, M. Á. P., Lloret, F. (2019). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mortality is explained by the climatic suitability of both host tree and bark beetle populations. *Forest Ecology and Management*, 448, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.070>
- Jeger, M., Bragard, C., Caffier, D., Candresse, T., Chatzivassiliou, E., Dehnen-Schmutz, K., Gilioli, G., Miret, J.A.J., MacLeod, A., Navarro, M.N., Niere, B., Parnell, S., Potting, R., Rafoss, T., Rossi, V., Urek, G., Van Bruggen, S., Werf, W.V., West, J., Winter, S., Kertész, V., Aukhojee, M., Grégoire, J.C. (2017). Pest categorisation of *Ips sexdentatus*. *EFSA Journal*, 15(11), 4999. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4999>
- Jenkins, M.J., Hebertson, E.G., Munson, A.S. (2014). Spruce beetle biology, ecology and management in the Rocky Mountains: an addendum to spruce beetle in the Rockies. *Forests*, 5(1), 21-71. <https://doi.org/10.3390/f5010021>
- Johnson, D.M., Haynes, K.J. (2023). Spatiotemporal dynamics of forest insect populations under climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 53, 101020. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101020>
- Kamińska, A., Lisiewicz, M., Kraszewski, B., Stereńczak, K. (2021). Mass outbreaks and factors related to the spatial dynamics of spruce bark beetle (*Ips typographus*) dieback considering diverse management regimes in the Białowieża forest. *Forest Ecology and Management*, 498, 119530. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119530>
- Li, Y., Johnson, A. J., Gao, L., Wu, C., Hulcr, J. (2021). Two new invasive Ips bark beetles

- (Coleoptera: Curculionidae) in mainland China and their potential distribution in Asia. *Pest Management Science*, 77(9), 4000-4008. <https://doi.org/10.1002/ps.6423>
- Lissovsky, A.A., Dudov, S.V. (2021). Species-distribution modeling: advantages and limitations of its application. 2. MaxEnt. *Biology Bulletin Reviews*, 11(3), 265-275.
- Luo, Y., Ogle, K., Tucker, C., Fei, S., Gao, C., LaDeau, S., Clark, J.S., Schimel, D.S. (2011). Ecological forecasting and data assimilation in a data-rich era. *Ecological Applications*, 21, 1429–1442. <https://doi: 10.1890/09-1275.1>
- Marini, L., Ayres, M.P., Battisti, A., Faccoli, M. (2012). Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change*, 115, 327-341.
- Méndez-Encina, F.M., Méndez-González, J., Mendieta-Oviedo, R., López-Díaz, J.Ó., Nájera-Luna, J.A. (2021). Ecological niches and suitability areas of three host pine species of bark beetle *Dendroctonus mexicanus* Hopkins. *Forests*, 12(4), 385. <https://doi.org/10.3390/f12040385>
- Moat, J., Williams, J., Baena, S., Wilkinson, T., Gole, T.W., Challa, Z.K., Demissew, S., Davis, A.P. (2017). Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. *Nature Plants*, 3, 17081
- Muttaqin, L. A., Murti, S. H., Susilo, B. (2019, November). MaxEnt (Maximum Entropy) model for predicting prehistoric cave sites in Karst area of Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta. In *Sixth Geoinformation Science Symposium* (Vol. 11311, pp. 87-95). SPIE.
- Nardi, D., Jactel, H., Pagot, E., Samalens, J.C., Marini, L. (2023). Drought and stand susceptibility to attacks by the European spruce bark beetle: A remote sensing approach. *Agricultural and Forest Entomology*, 25(1), 119-129. <https://doi.org/10.1111/afe.12536>
- Negrete, L., Lenguas Francavilla, M., Damborenea, C., Brusa, F. (2020). Trying to take over the world: potential distribution of *Obama nungara* (Platyhelminthes: Geoplanidae), the Neotropical land planarian that has reached Europe. *Global Change Biology*, 26, 4907–4918. <https://doi.org/10.1111/gcb.15208>
- Økland, B., Flø, D., Schroeder, M., Zach, P., Cocos, D., Martikainen, P., Siitonen, J., Mandelshtam, M.Y., Musolin, D.L., Neuvonen, S., Vakula, J., Nikolov, C., Lindelöw, Å., Voolma, K. (2019). Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe. *Agricultural and Forest Entomology*, 21(3), 286-298. <https://doi.org/10.1111/afe.12331>
- Olivera, L., Minghetti, E., Montemayor, S.I. (2020). Ecological niche modeling (ENM) of *Leptoglossus clypealis* a new potential global invader: Following in the footsteps of *Leptoglossus occidentalis*? *Bulletin Entomological Research*, 111, 289–300
- Oymen, T. (1992). The forest scolytidae of Turkey. *Journal of Faculty of Forestry. Istanbul U. A*, 42, I, 77–91.
- Özcan, G.E., Eroğlu, M., Alkan-Akıncı, H. (2011). Use of pheromone-baited traps for monitoring *Ips sexdentatus* (Boerner) (Coleoptera: Curculionidae) in oriental spruce stands. *African Journal of Biotechnology*, 10, (72), 16351-16360. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1709>
- Özcan, G.E., Sivrikaya, F., Sakici, O.E., Enez, K. (2022). Determination of some factors leading to the infestation of *Ips sexdentatus* in crimean pine stands. *Forest Ecology and Management*, 519, 120316. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120316>
- Peterson, A. T., Papeş, M., Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological modelling*, 213(1), 63-72. <https://doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- 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. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- 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., Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>

- Polo, T.C.F., Miot, H.A. (2020). Use of ROC curves in clinical and experimental studies. *Jornal Vascular Brasileiro*, 19. <https://doi:10.1590/1677-5449.200186>
- Romon, P., Zhou, X., Iturrondobeitia, J.C., Wingfield, M.J., Goldarazena, A. (2007). Ophiostoma species (Ascomycetes: Ophiostomatales) associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytinae) colonizing *Pinus radiata* in northern Spain. *Canadian Journal of Microbiology*, 53(6), 756-767. <https://doi.org/10.1139/W07-001>
- Rossi, J.P., Samalens, J.C., Guyon, D., van Halder, I., Jactel, H., Menassieu, P., Piou, D. (2009). Multiscale spatial variation of the bark beetle *Ips sexdentatus* damage in a pine plantation forest (Landes de Gascogne, Southwestern France). *Forest Ecology and Management*, 257, 1551–1557. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.12.012>
- Salinas-Moreno, Y., Mendoza, M.G., Barrios, M.A., Cisneros, R., Macias-Samano, J., Zuniga, G. (2004). Aerography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography*, 31, 1163-1177. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01110.x>
- Sarikaya, 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(3), 2527-2535. [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603\\_25272535](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603_25272535)
- Schelhaas, M., Nabuurs, G., Schuck, A. (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9:1620–1633. <http://doi:10.1046/j.1529-8817.2003.00684.x>
- Seidl, R., Rammer, W., Jeaeger, D., Lexer, M.J. (2008). Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 209–20. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.002>
- Sivrikaya, F., & Özcan, G. E. (2023). Modeling spatial distribution of bark beetle susceptibility using the maximum entropy approach. *Intercontinental Geoinformation Days*, 6, 105-109.
- Sivrikaya, F., Özcan, G. E., Enez, K. (2023). Predicting the susceptibility to *Pityokteines curvidens* using GIS with analytical hierarchy process and, maximum entropy models in fir forests. In *Analytic Hierarchy Process-Models, Methods, Concepts, and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001074>
- Sproull, G.J., Bukowski, M., McNutt, N., Zwijacz-Kozica, T., Szwagrzyk, J. (2017). Landscape-level spruce mortality patterns and topographic forecasters of bark beetle outbreaks in managed and unmanaged forests of the Tatra Mountains. *Polish Journal of Ecology*, 65, 24–37. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2017.65.1.003>
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2023-10-26.
- U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>, 2021. (accessed 3 March 2023).
- Volney, W.J.A., Fleming, R.A. (2000). Climate change and impacts of boreal forest insects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82 (1-3), 283–294. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00232-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00232-2)
- 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>
- Williams, K.K., McMillin, J.D., DeGomez, T.E., Clancy, K.M., Miller, A. (2014). Influence of elevation on bark beetle (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) community structure and flight periodicity in ponderosa pine forests of Arizona. *Environmental Entomology*, 37 (1), 94-109. [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[94:IOEOBB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[94:IOEOBB]2.0.CO;2)
- Winter, M.B., Baier, R., Ammer, C. (2015). Regeneration dynamics and resilience of unmanaged mountain forests in the Northern Limestone Alps following bark beetle induced spruce dieback.

- European Journal of Forest Research*, 134, 949–968. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0901-3>
- Worldclim 2023. Global Climate Data, Version 2 (Free climate data for ecological modeling and GIS). <http://worldclim.org/version2>.
- Wu, Z., Gao, T., Luo, Y., Shi, J. (2022). Prediction of the global potential geographical distribution of *Hylurgus ligniperda* using a maximum entropy model. *Forest Ecosystems*, 9:100042. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100042>
- Yates, K.L., Bouchet, P.J., Caley, M.J., Mengersen, K., Randin, C. F., Parnell, S., Fielding, A.H., Bamford, A.J., Ban, S., Barbosa, A.M., Dormann, C.F., Elith, J., Embling, C.B., Ervin, G.N., Fisher, R., Gould, S., Graf, R.F., Gregr, E.J., Halpin, P.N., Heikkinen, R.K., Heinänen, S., Jones, A.R., Krishnakumar, P.K., Lauria, V., Lozano-Montes, H., Mannocci, L., Mellin, C., Mesgaran, M.B., Moreno-Amat, E., Mormede, S., Novaczek, E., Opper, S., Crespo, G.O., Peterson, A.T., Rapacciuolo, G., Roberts, J.J., Ross, R.E., Scales, K.L., Schoeman, D., Snelgrove, P., Sundblad, G., Thuiller, W., Torres, L.G., Verbruggen, H., Wang, L., Wenger, S., Whittingham, M.J., Zharikov, Y., Zurell, D., Sequeira, A.M.M. (2018). Outstanding challenges in the transferability of ecological models. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(10), 790-802.
- Yusup, S., Sulayman, M., Ilghar, W., Zhang, Z. X. (2018). Prediction of potential distribution of *Didymodon* (Bryophyta, Pottiaceae) in Xinjiang based on the MaxEnt model. *Plant Science Journal*, 36(4), 541-553.
- Yüksel, B., Akbulut, S. (2005). Doğu Ladini ormanlarında *Ips sexdentatus* (Boern.)'un doğal düşmanlarının belirlenmesi. *Journal of Faculty of Forestry, Istanbul University*. 55, (2), 59-70.