



Tür dağılım modelleri ve sürdürülebilir orman yönetimi

Nazlı Öğüt ^{1*}, Oğuz Kurdoğlu ²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Isparta, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Trabzon, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi : 01/07/2025

Kabul Tarihi : 10/09/2025

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1732342>

*Corresponding author:

nazliogut@isparta.edu.tr

ÖZ

Derleme Makale

Giriş ve Hedefler Bu çalışma, orman ekosistemlerinde tür dağılım modelleme yöntemlerini kapsamlı biçimde ele alarak bu yöntemlerin sürdürülebilir orman yönetimindeki rolünü ortaya koymak amacıyla hazırlanmıştır.

Yöntemler Çalışmada, Lojistik Regresyon, Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAM), Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (CART), Maksimum Entropi (MaxEnt), Genetik

Algoritmalar ile Kural Seti Tahmini (GARP) ve Rastgele Orman olmak üzere altı modelleme yöntemleri ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Bulgular Tür dağılım modelleri, yaban hayvanları, sürüngenler, böcekler, kuşlar ve bitki türleri için potansiyel dağılım veya habitat uygunluk haritalarının oluşturulmasında etkin bir araç olarak kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca, bu modeller, iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek, türlerin korunması ve yönetimine yönelik stratejiler geliştirmek açısından önemli olduğu belirlenmiştir. Modelleme süreçlerinde kullanılan tanımlayıcı (bağımsız) veri kaynakları arasında topografik veriler, iklim değişkenleri ve uzaktan algılama verileri ön plana çıktığı tespit edilmiştir.

Sonuçlar Çalışmalar, türlerin ekolojik gereksinimlerini anlamada ve habitat uygunluk haritalarının oluşturulmasında bu yöntemlerin başarıyla uygulandığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada tür dağılım modelleme yöntemlerinin orman ekosistemlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimindeki rolü vurgulanmış ve bu modellerin gelecekteki araştırmalar için taşıdığı önem hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Orman ekosistemleri, iklim değişikliği, ekolojik modelleme, habitat uygunluğu

Species distribution models and sustainable forest management

ABSTRACT

Background and Aims The aim of this study is to comprehensively address species distribution modelling methods in forest ecosystems and to reveal the role of these methods in sustainable forest management.

Methods A literature review was conducted on six modeling methods, including Logistic Regression, Generalized Additive Models (GAM), Classification and Regression Trees (CART), Maximum Entropy (MaxEnt), Genetic Algorithms for Rule-Set Prediction (GARP), and Random Forest.

Results It has been observed that species distribution models are used as an effective tool in creating potential distribution or habitat suitability maps for wild animals, reptiles, insects, birds and plant species. Furthermore these models play a important role in assessing the impacts of climate change and habitat loss, as well as in developing strategies for species conservation and management. It has been determined that topographic data, climate variables and remote sensing data come to the fore among the descriptive (independent) data sources used in the modeling processes.

Conclusion Studies reveal that these methods have been successfully applied to understand the ecological requirements of species and to create habitat suitability maps. In this study, the role of species distribution modelling methods in the conservation and sustainable management of forest ecosystems is emphasised and the importance of these models for future research is explained.

Key Words: Forest ecosystems, climate change, ecological modeling, habitat suitability

Bu makaleye atf:

Öğüt, N., Kurdoğlu, O., 2025. Tür dağılım modelleri ve sürdürülebilir orman yönetimi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(2), 470-479.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Ekosistemler, canlı ve cansız bileşenlerin karşılıklı etkileşimleri ile şekillenen, enerji alışverişi yapabilen, çeşitlenen ve zamanla değişim gösterebilen dinamik açık sistemlerdir (Özkan, 2016). Başka bir ifade ile ekosistemler canlılar için ürün ve hizmetler sunarak fayda sağlayan birimlerdir. Ancak insan faktörü çoğu zaman sistemin sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir (WRI, 2002). Artan insan baskısı, ekosistemlerde geri dönüşü olmayan değişimlere yol açmakta ve bu durumun ancak çevre koruma bilincinin gelişmesiyle sınırlanabileceği öngörülmektedir (Ehrlich, 1968). Toplumun hayat standardını etkileyen bu değişimlerle ilgili farkındalık 1960'lı ve 1970'li yıllarda çevre kirliliği ve doğal kaynak sorunları temel alınarak geliştirilen politikalarla sağlanmaya çalışılmıştır (Gomez-Baggeth et al., 2010; Braat and De Groot, 2012). Ekoloji kavramı ilk olarak 1866 yılında tanımlanmış ve 1970'li yıllarda sistematik ve disiplinler arası bir bilim dalı hâline gelmiştir (Odum, 1971; Önder, 2001). Bu gelişme ile birlikte çevresel farkındalığın artmasına ve bu bağlamda 'sürdürülebilir kalkınma' anlayışının temellerinin atılmasına ilham kaynağı olmuştur. 1972 Stockholm Çevre Konferansı, ekolojik perspektifin politikaya yansımaya zemin hazırlamış ve en sonunda 1987 Brundtland Raporu, 'sürdürülebilir kalkınma' anlayışını netleştirerek hem çevresel hem de sosyal ve ekonomik boyutları kapsayan bir çerçeve oluşturmuştur (United Nations, 1972; Imperatives, 1987). Bu yaklaşımlar, doğal kaynakların daha sorumlu bir şekilde yönetilmesini, doğaya saygı gösterilmesini ve insanların ile gelecek nesillerin temel ihtiyaçlarının karşılanmasını amaçlamaktadır (Grober, 2007).

Sürdürülebilirlik kavramı, Brundtland Raporu ile yaygınlık kazanmış olsa da bu kavramın kökeni ormancılığa dayanmaktadır. Kavram ilk kez Hans Carl von Carlowitz tarafından, 1713 yılında yayımlanan Sylvicultura Oeconomica adlı eserinde "Nachhaltigkeit" terimiyle açık biçimde ifade edilmiştir (Schmithüsen, 2013). 1804 yılında ormancılık eğitmeni Hartig, bu ilkeyi orman kaynaklarının mevcut kuşak tarafından etkin biçimde değerlendirilmesi gerektiği ancak bu süreçte gelecek kuşakların da en az bugünkü toplum kadar fayda sağlayabilmesi için dikkatli bir planlama yapılması gerektiği şeklinde açıklamıştır (Schmutzenhofer, 1992). 1975 yılına gelindiğinde ise sürdürülebilirlik ilkesi, kuşaklar arası sorumluluğun bir gereği olarak tanımlanmış ve doğal kaynakların her nesil tarafından korunarak tükenmeden devredilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu anlayışta özellikle kerestenin sürekli üretimi, insan yaşamının devamlılığı için temel bir gereksinim olarak ele alınmıştır (Duerr and Duerr 1975).

Ormancılık tarihinde, orman kaynaklarının sürdürülebilirliğine ilişkin yaklaşımlar zamanla değişmiş ve yalnızca kereste, reçine, odun kömürü gibi ekonomik değeri olan ürünlerin üretimine odaklanan anlayışın yerine, ekolojik ve kültürel değerleri öne çıkaran yeni sosyal normlar gelişmiştir (Behan 1990; Brooks and Grant 1992). Özellikle son iki yüzyılda ormanlara yönelik talepler büyük ölçüde ekonomik faydaya dayanmış olsa da Batı ülkelerinde kentleşmenin artmasıyla birlikte ekolojik, estetik ve sembolik değerlerin önemi giderek artmıştır. Rekreasyon olanakları, peyzaj estetiği ve av dışı yaban hayatı gibi unsurlar artık maddi ürünlerden daha değerli görülmektedir (Wiersum, 1995). Ancak, ekosistemlere

dair elde edilen verilerin yalnızca betimleyici bilgiler olarak sunulması, bu bilgilerin etkili bir şekilde yaygınlaştırılması için yeterli değildir. Bu doğrultuda, elde edilen bulguların yapılandırılmış modeller ve algoritmalar aracılığıyla bilgiye dönüştürülmesi gereklidir. Bu süreç, ekosistem bilgilerinin mevcut ya da potansiyel bağlamlarda genelleştirilmesini ve haritalanmasını sağlayarak yaygınlaştırmayı mümkün kılar (Özkan, 2016).

İlk modelleme çalışmaları genellikle tasvir odaklı gerçekleştirilmiş ve ardından bu yaklaşımlar basit analitik yöntemlerle desteklenmiştir (Özdemir, 2024b). Zamanla, doğal ekosistemleri modelleme çalışmalarında doğrusal olmayan modeller daha fazla ön plana çıkmıştır. Bu eğilimin temel nedeni, ekosistemlerdeki ilişkilerin genellikle doğrusal olmayan bir yapıya sahip olmasıdır. Bu durum, eğrisel ilişkileri temel alan yöntemlerin kullanılmasını ve yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir (Özkan, 2013a). Bu bağlamda, bitki türlerinin dağılımını ve çeşitliliğini modelleme çalışmaları önemli bir ivme kazanmıştır. Bitki türlerinin dağılımı ve çeşitliliğinin haritalanmasıyla ilgili araştırmalar 19. yüzyılda başlamıştır (Wulff, 1935; Cai et al., 2023). Daha sonra, 1935 yılında Wulff, tür zenginliğinin haritalanmasına yönelik ilk kapsamlı çalışmayı gerçekleştirmiştir (Puglielli and Partel, 2023). Son dönemde, veri kaynaklarındaki artış, modelleme tekniklerindeki yenilikler ve bu tekniklerin uzaktan algılama ile coğrafi bilgi sistemleri (GIS) gibi teknolojilerle entegrasyonu, bitki tür çeşitliliğinin ve tür dağılımının bugüne kadar elde edilen en yüksek çözünürlük ve doğruluk seviyelerinde modellenmesini ve haritalanmasını mümkün kılmıştır (Franklin, 2009; Cai et al., 2023; Özdemir, 2024a). Bu gelişmeler, türlerin mekânsal dağılımlarının daha detaylı ve kesin bir şekilde anlaşılmasını sağlarken, Franklin (2009) özellikle bu tür yeniliklerin ekolojik tahminlerdeki doğruluğu artırmada ve türlerin ekolojik gereksinimlerini anlamada kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Özellikle son yıllarda makine öğrenimi yöntemlerinin gelişimi ve yaygınlaşması, bu süreci hızlandıran önemli bir etken olmuştur (Özkan, 2013a).

2. Orman Yönetiminde Tür Dağılım Modelleri

Tür dağılım modellerinin (SDM) orman araştırmalarında ve yönetimindeki temel amacı, etkili uyum stratejilerinin uygulanabilmesi için bitki türlerinin gelecekteki potansiyel dağılımlarına yönelik öngörüler sunmaktır. (Janowiak et al., 2017). Orman yönetiminde risk yönetiminin bir yolu olarak SDM'ler, türlerin ekolojik özelliklerini belirlemek ve mevcut koşullara uyumu düşük olan türlerin, çevresel değişikliklere daha iyi adapte olabilecek türlerle değiştirmek amacıyla kullanılabilir (Haimes, 1999; Hanewinkel et al., 2010). Ancak şimdiye kadar, SDM'leri doğrudan bir orman yönetimi planlama aracı olarak ele alan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (Hanewinkel et al., 2010; Mezquida et al., 2010).

İklim değişikliğinin etkisi altında güvenilir veri setleri ve istatistiksel modeller, orman kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanımına yönelik kararların alınmasında önemli bir araç hâline gelmiştir. Günümüzde pek çok orman ağacı türü için orman özelliklerini ve arazi uygunluğunu gösteren veri setleri geliştirilmiştir ve bu veriler mekânsal karar destek sistemlerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Johnson et al., 2014; Masek et al., 2013).

Başarılı bir ormancılık yaklaşımı ise, ağaç türlerinin ekolojik ihtiyaçları ile yetiştirilecek alanın biyoiklimsel ve fiziksel-kimyasal özellikleri arasında bir uyum olmasını gerektirir. Ancak iklim değişikliği, bu saha koşullarını önemli ölçüde değiştirmekte ve bu durum, özellikle gelecekteki rotasyon dönemlerinde tür dağılımlarında kayma olasılığını artırmakta ve orman yönetimi bu duruma hazır olmalıdır (Thuiller et al., 2005; Pompe et al., 2008). Bu nedenle, tehdit altındaki habitatları ve potansiyel sığınak alanlarını tespit edebilmek için orman türlerinin mevcut dağılımı, ekolojik gereksinimleri ve bu gereksinimlerin zamansal olarak nasıl değişebileceği hakkında kapsamlı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Pecchi et al., 2019; Williams and Dumroese, 2013). Bu nedenle türlerin hangi çevre koşullarında başarıyla yetişebileceğini ortaya koymak önemlidir. Bu amaçla, SDM'ler, türlerin gelecekteki potansiyel dağılımına ilişkin tahminler geliştirilmektedir (Guisan and Thuiller, 2005).

Tür dağılım modelleri (SDM), bu ihtiyacı karşılamak amacıyla çevresel veriler ve iklim senaryoları kullanarak, orman türlerinin gelecekteki potansiyel yayılım alanlarını tahmin etmeye olanak tanımaktadır (Booth, 2018; Guisan et al., 2013; Thuiller et al., 2015). Bu modeller, karar vericilere adaptif ormancılık stratejileri geliştirmede bilimsel altyapı sunmaktadır. Özellikle genetik çeşitliliğin korunması, uyum yeteneği yüksek genotiplerin seçimi yoluyla orman sistemlerinin iklimsel değişkenliklere karşı direncini artırma potansiyeli taşımaktadır (Hanewinkel et al., 2014; Marchi and Ducci, 2018; Ferrarini et al., 2016).

SDM'ler aynı zamanda mekânsal veri altyapısının etkin kullanımıyla desteklenmektedir. Hava fotoğrafları, sayısal haritalar ve ulusal orman envanterleri gibi kaynaklardan elde edilen veriler, istatistiksel modelleme ve mekânsal karar destek sistemlerinin temel bileşenleri haline gelmiştir (Di Biase et al., 2018; Fleischer et al., 2017; Masek et al., 2013). Bu çerçevede geliştirilen arazi uygunluk veri setleri, birçok ülkenin ormancılık planlamasında aktif olarak kullanılmaktadır (Johnson et al., 2014).

Genel olarak, tür dağılım modellerinin kullanımı orman yönetimi planlamasını geliştirir. Çünkü bu modeller uyumlu, anlaşılır, yeniden üretilebilir ve aktarılabilir bir karar altyapısı sunar. Bu yönüyle, tür dağılım modellerinin orman yönetiminde düzenli bir karar destek aracı olarak geliştirilmesi teşvik edilmektedir (Falk and Mellert, 2011). Modelleme süreçlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, modelleme süreçlerinde kullanılabilecek birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak, bu yöntemlerin yalnızca bir kısmı araştırmacılar tarafından tercih edilmiş ya da önerilmiştir. En yaygın kullanılan yöntemler arasında, Lojistik Regresyon (LR), Genelleştirilmiş Ekleme Modelleri (GAM), Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (CART), Maksimum Entropi Modelleme (MAXENT), Kural Seti Tahmini için Genetik Algoritmalar (GARP) ve Random Forest (RF) yer almaktadır. Bu yöntemlerden RF dışındaki teknikler uzun yıllar boyunca sıkça kullanılmışken, RF'nin kullanımı özellikle R programlama dilinin yaygınlaşması ile birlikte artmıştır (Austin, 2007; Özkan et al., 2015; Beaumont et al., 2016; Mert et al., 2016; Özdemir, 2018). Bu yöntemler, ekosistemlerin dinamik yapısını daha iyi anlamak ve modellemek için güçlü araçlar sunmaktadır.

3. Tür Dağılım Modelleme Yöntemleri

3.1 Lojistik regresyon analizi (LR)

Lojistik regresyon analizinin temel amacı, kategorik bir bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek, yani iki veya daha fazla gruba ilişkin "üyelik" durumunu belirlemektir (Mertler et al., 2021). Bağımlı değişkenin yapısına göre lojistik regresyon analizi üç ana türe ayrılır: İkili Lojistik Regresyon Analizi (Binary Logistic Regression Analysis), bağımlı değişkenin iki kategoriye sahip olduğu durumlarda kullanılır. Örneğin, öğrencilerin akademik başarı durumlarına göre "başarılı" veya "başarısız" olarak sınıflandırılması bu yöntemi gerektirir. Çok Kategorili/Düzeyle İsimli Lojistik Regresyon Analizi (Multinomial Logistic Regression Analysis), bağımlı değişkenin ikiden fazla kategoriye sahip olduğu durumlarda kullanılır. Sıralı Lojistik Regresyon Analizi (Ordinal Logistic Regression Analysis) ise bağımlı değişkenin sıralı kategorilerle ölçüldüğü durumlarda tercih edilir. Lojistik regresyon ayrıca bağımsız değişken sayısına göre "tek değişkenli" ve "çok değişkenli" olarak sınıflandırılabilir (Cook et al., 2001).

3.2 Genelleştirilmiş eklemeli model (GAM)

Genelleştirilmiş eklemeli modeller (Generalized Additive Models- GAM), çoklu parametrik olmayan regresyon modelleri arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Hastie ve Tibshirani (1986) tarafından geliştirilen GAM'lar, genelleştirilmiş doğrusal modellerin parametrik olmayan bir varyantı olarak tanımlanır ve çoklu regresyon fonksiyonlarını tahmin etmek için doğrusal düzleştirici yöntemlerini kullanır (Moisen et al., 2006). Bu modeller, model odaklı değil, tamamen veriye dayalıdır. Parametrik olmayan bir modelin temel amacı, önceden belirlenmiş bir model varsayımı oluşturmadan önce verilerin yapısını detaylı bir şekilde incelemektir (Yee et al., 1991).

Hastie ve Tibshirani (1986) ile Guisan et al. (2002), GAM'ların genelleştirilmiş doğrusal modeller (GLM) sınıfının bir uzantısı olduğunu ve açıklayıcı değişkenlerin doğrusal düzleştirici (smooth) fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edildiğini belirtmişlerdir. GAM'lar, parametrik ve parametrik olmayan regresyon modellerini birleştirdiği için literatürde yarı parametrik (semi-parametric) modeller olarak da anılmaktadır. Yarı parametrik modeller, geleneksel parametrik analiz ile parametrik olmayan yöntemlerin avantajlarını bir araya getirerek, verilerdeki karmaşıklığı azaltır ve anlaşılabilir bir şekilde özetler. Bu yöntem, her iki yapı arasında bir denge sağlayarak araştırmacılara en iyi ve en tutarlı sonuçları sunma potansiyeline sahiptir (Ruppert et al., 2009).

3.3 Sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART)

Sınıflandırma ve regresyon ağacı (SRA) tekniği, kural tabanlı ve parametrik olmayan bir analiz yöntemidir. Bu yöntemin temel amacı, bağımlı değişkene bağlı olarak ana veri matrisini (bağımsız değişkenler matrisi) daha homojen alt gruplara ayırmaktır. Bu alt gruplar, dallanan bir ağaca benzeyen bir yapıyla hiyerarşik düzende görselleştirilir. Ağaç yapısında, bağımlı değişkenin en iyi ayrımı gerçekleştirdiği noktalar ara düğümlerde temsil edilirken, bağımsız değişkenlerin kritik

ayırıcı değerleri düğümlerin dallarında belirtilir. Bağımlı değişkenin tahmin edilen değerleri ise ağacın yapraklarında yer alır. Model, kök düğümünden (başlangıç noktası) yapraklara kadar ilerleyen hatlarla sınıflar arasındaki ayrımı maksimize ederken, her bir sınıfın içindeki varyasyonu minimize eden kurallara dayanır. Bu esnek yöntem hem kategorik hem de sürekli bağımlı değişkenlerin modellenmesine olanak tanır. Eğer bağımlı değişken kategorikse bu model "sınıflandırma ağacı" (SA), bağımlı değişken sürekli ise "regresyon ağacı" (RT) olarak adlandırılır (De'ath and Fabricius, 2000; Chu et al., 2009; Özkan ve Mert, 2010; Navarrete and Espinosa, 2011).

3.4 Maksimum entropi modelleme (MAXENT)

Maksimum Entropi Yaklaşımı (MaxEnt), hedef türlerin var verileri ile çevresel değişkenleri bir arada değerlendirerek türlerin ekolojik gereksinimlerini belirlemek ve bu gereksinimlere uygun olarak hangi alanlarda hangi olasılıkla dağılım gösterebileceğini tahmin etmeyi amaçlayan bir modelleme yöntemidir (Phillips et al., 2004; Wisz et al., 2008; Baldwin, 2009). MaxEnt tahmin sürecinde, arka plan noktaları (background points) olarak adlandırılan çok sayıda noktayı örnekleyerek çalışma alanındaki potansiyel dağılımı belirler. Bu süreçte iki farklı olasılık yoğunluğu hesaplanır: İlki, mevcut noktalar için bağımsız değişkenlerin var verileri üzerindeki göreceli olasılığını tanımlayarak var verilerinin olduğu alanları karakterize ederken; ikincisi, arka plan noktalarını analiz ederek mevcut alanı tanımlar. MaxEnt, bu iki olasılık yoğunluğu arasındaki oranı hesaplayarak, her bir noktanın bir türün varlığına ilişkin nispi çevresel uygunluğunu belirler (Elith et al., 2011; Çıvğa et al., 2024). Yapılan araştırmalar, MaxEnt'in yüksek açıklama gücüne sahip olması, az veri ile geçerliliği yüksek model sonuçları sunabilmesi gibi avantajları nedeniyle öne çıktığını göstermektedir (Tekin et al., 2018; Obiakara et al., 2020; Özdemir et al., 2020; Hussein and Workeneh, 2021; Karakaya and Yücel, 2021). Ayrıca, bu yöntemin ücretsiz bir paket program (MaxEnt 3.4.4) veya açık kaynaklı yazılımlar (R, RStudio) üzerinden kolayca uygulanabilir olması, araştırmacılar için büyük bir kolaylık sağlamaktadır. MaxEnt, diğer modelleme yaklaşımlarına kıyasla daha az örnek alan büyüklüğü ve daha az var veri gereksinimi ile yüksek tahmin gücü ve doğruluk sunması sayesinde modelleme çalışmalarında sıkça tercih edilen bir yöntemdir (Phillips et al., 2004; Wisz et al., 2008; Phillips et al., 2009; Süel, 2014).

3.5 Kural seti tahmini için genetik algoritmalar (GARP)

GARP (Genetik Algoritmalar ile Ekolojik Niş Modellemesi), ekolojik niş modellerini genetik algoritmalar kullanarak geliştiren bir yöntemdir. Bu yaklaşım, verilerden heterojen bir kural kümesi oluşturur ve bu kuralları ekolojik boyutların elektronik haritalarıyla ilişkilendirerek türlerin ekolojik nişlerini modellemeye olanak tanır (Peterson et al., 2002). GARP, yinelemeli bir süreçle kural seçimi, değerlendirme, test etme ve modele dahil etme ya da reddetme adımları üzerinden çalışır. Bu süreç, her kuralın modele dahil edilip edilmeyeceğine dair kapsamlı bir değerlendirme yapılması nedeniyle algoritmanın 1000 yinelemeye veya kapsama kadar sürmesine neden olabilir. Sonuç olarak, oluşum noktalarının ekolojik özelliklerini çalışma alanındaki rastgele

seçilen ekolojik özelliklerle ilişkilendirilerek, varlığı en iyi özetleyen bir dizi karar kuralı ortaya koyar (Peterson et al., 2004).

3.6 Random forest (RF)

Modern veri setlerinin artan büyüklüğünden tam anlamıyla faydalanmak için, hem büyük veri hacmiyle uyumlu çalışabilen hem de istatistiksel verimliliği koruyabilen öğrenme algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Breiman tarafından 2000'lerin başında geliştirilen Random Forest algoritması, bu ihtiyacı karşılayan en etkili yöntemlerden biri olarak öne çıkmıştır (Biau and Scornet, 2016). Random Forest, iki aşamalı bir rastgeleleştirme yöntemiyle çalışır. İlk olarak, veri seti, bootstrap yöntemiyle tekrar seçilerek alt kümelerle ayrılır. Seçilmeyen "out-of-bag" (OOB) örnekler, modelin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır. İkinci olarak, her bir karar düğümünde tahmin ediciler arasından rastgele bir alt küme seçilir ve bu alt küme üzerinden en iyi ayrımı sağlayan eşik belirlenir. Sonuçlar, sınıflandırma problemlerinde oylama, regresyon problemlerinde ise tahminlerin ortalaması alınarak birleştirilir. Random Forest modeli oluşturulduktan sonra, yeni veriler üzerinde değerlendirme yapılabilir. Model, her yeni gözlemi tüm ağaçlar üzerinden değerlendirir ve sınıflandırma problemlerinde en fazla "oy" alan sınıfı, regresyon problemlerinde ise tahminlerin ortalamasını sonuç olarak sunar (Rigatti, 2017).

Random Forest algoritmasının analiz edilmesindeki temel zorluk, yöntemin "kara kutu" doğasına sahip olması ve farklı bileşenlerinin karmaşık bir şekilde etkileşim içinde çalışmasından kaynaklanır. Algoritmanın temel unsurlarından biri olan bagging (bootstrap-aggregation), bootstrap yöntemiyle oluşturulan alt örneklem gruplarından tahmin modelleri üretir ve bu modelleri birleştirerek daha kararlı ve güvenilir sonuçlar elde eder. Bu yöntem, özellikle çok büyük ve karmaşık veri setlerinde tek bir modelle anlamlı tahminler yapmanın mümkün olmadığı durumlarda oldukça etkilidir. Algoritmanın diğer önemli bileşeni olan CART ayrım ölçütü, bireysel karar ağaçlarının her bir düğümünde en iyi bölünme noktalarını belirlemek için kullanılır. Sınıflandırma problemlerinde bu ölçüt genellikle Gini safsızlığı ile değerlendirilirken, regresyon problemlerinde ise kare hata üzerinden optimize edilir. Bu ayrım ölçütü, veri setindeki farklı değişkenlerin karar süreçlerindeki etkisini belirleyerek, ağaçların daha etkili bir şekilde oluşturulmasını sağlar (Biau and Scornet, 2016). Random Forest yöntemi, özellikle son yıllarda R programının yaygınlaşmasıyla daha sık kullanılan bir modelleme tekniği haline gelmiştir (Özdemir, 2018).

Bu yöntemlerin her biri, veri yapısı, çalışma amacı ve çevresel değişkenlerin özelliklerine göre farklı durumlarda avantaj sağlar. Lojistik regresyon (LR), kategorik bağımlı değişkenler için temel ve açıklayıcı bir model sunarken, genelleştirilmiş eklemeli modeller (GAM), doğrusal olmayan ilişkileri veri odaklı açıklar (Mertler et al., 2021; Yee et al., 1991). Sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART), veriyi karar kurallarına dayalı ağaç yapısında sadeleştirir (Özkan ve Mert, 2010). Maksimum Entropi (MaxEnt) ve Genetik Algoritmalar (GARP) ise özellikle sadece var verisinin bulunduğu durumlarda çevresel değişkenler doğrultusunda türlerin habitat gereksinimlerini belirleyerek, potansiyel olarak

bulunabilecekleri alanları ve bu alanlardaki olası dağılımlarını tahmin eden modelleme aracıdır (Peterson et al., 2002; Phillips et al., 2004). Random Forest (RF) ise çok sayıda karar ağacını birleştirerek karmaşık veri kümelerinde yüksek doğruluk sunar (Biau and Scornet, 2016). Bu yöntemler arasında LR ve GAM daha klasik istatistiksel temellere dayanırken, CART ve RF gibi ağaç tabanlı modeller veri içindeki karmaşık ilişkileri ayırt etmede avantajlıdır. MaxEnt ve GARP ise özellikle sınırlı sayıda gözlem noktasında bile etkili sonuçlar verebilir. Hangi modelin kullanılacağı, verinin yapısına ve hedeflenen amaca göre değişmektedir.

Bu çalışmada bahsedilmeyen Discriminant Analysis (DA), Ecological Niche Factor Analysis (ENFA), Principal Component Analysis (PCA), DOMAIN, HABITAT ve Mahalanobis Distance (MD) gibi daha birçok modelleme teknikleri vardır. Modelleme tekniklerinin sayısı ve niteliği gün geçtikçe artmakta ve uygulama alanları genişlemektedir. Modelleme süreçlerinde kullanılan çevresel değişkenlerin doğru seçimi ve bu değişkenlerin modellerle entegrasyonu, model performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle, iklim değişkenleri (sıcaklık, yağış, nem) ve topoğrafik özelliklerin (yükselti, eğim, bakı) tür dağılımlarını anlamada belirleyici olduğu vurgulanmıştır (Hijmans et al., 2005; Özkan and Şentürk, 2012). Ayrıca, uzaktan algılama verilerinin tür dağılım modellerine entegrasyonu, arazi kullanım değişikliklerini izleme ve model doğruluğunu artırma açısından büyük fırsatlar sunmaktadır (Pettorelli et al., 2014). Tür dağılım veya habitat uygunluk modellerinde açıklayıcı değişken olarak genellikle toprak değişkenleri kullanılamamaktadır. Çünkü modelleme için kullanışlı toprak verilerinin dijital altlıklar halinde her bölge için temin edilmesi mümkün olamamaktadır. Kullanışlı olan toprak verilerinin ise çözünürlükleri çok kabadır. (Mert et al., 2025).

4. Örnek Tür Dağılım Modelleme Çalışmaları

Tür dağılım modelleri, hayvanlar (Acarer, 2024), böcekler (Gallego et al., 2004), sucul canlılar (De'ath and Fabricius, 2000) ve bitkiler gibi farklı organizma gruplarına uygulanmaktadır. Bu modeller, yalnızca türlerin mevcut dağılımını anlamakla kalmayıp, model tabanlı yapıları sayesinde iklim modelleriyle entegre edilerek gelecekteki dağılımlar için de tahmin yapılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle değişen iklim koşulları, bu tür modelleme çalışmalarının iklim senaryolarına entegre edilmesini, ekosistem yönetimi ve planlaması açısından zorunlu hale getirmiştir. Aşağıda bu bağlamda gerçekleştirilen bazı çalışmalar ele alınmıştır.

Karataş ve ark. (2019), Türkmen Dağı'nda ekonomik öneme sahip bazı odun dışı orman ürünlerinin potansiyel dağılımını modellemek amacıyla GEM ve SRAT yöntemlerini kullanmıştır. 693 örnekleme alanından elde edilen çevresel verilerle yapılan analizlerde, GEM tüm türler için en yüksek doğruluğu sağlamış; dağılım üzerinde özellikle yükselti, anakaya, yağışın mevsimselliği (Bio15) ve topoğrafik pozisyon indeksi belirleyici olmuştur. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak oluşturulan potansiyel dağılım haritaları, türlerin habitat gereksinimlerini ve uygun alanlarını ortaya koyarak sürdürülebilir yönetim ve planlama süreçlerine katkı sağlamıştır.

Akhter et al. (2017), Bangladeş'in doğusunda yer alan *Mangifera sylvatica* türünün potansiyel dağılımını ve iklim değişikliğinin etkilerini MaxEnt modeliyle incelemiştir. Mevcut koşullar ve gelecekteki iklim senaryoları (RCP 4.5 ve RCP 8.5) altında yapılan modellemelerde, tür dağılımının en çok yağış mevsimselliği (Bio15) ve günlük sıcaklık aralığı (Bio2) ile şekillendiği belirlenmiştir. RCP 4.5 senaryosunda 2070'e kadar uygun habitat alanında %7'lik bir azalma öngörüldürken, RCP 8.5 senaryosunda 2050'de %12'lik bir kayıp ve 2070 itibarıyla tamamen yok olma riski öne çıkmaktadır. Çalışma, türün korunması ve habitat restorasyonu için uygun alanların belirlenmesinde MaxEnt modelinin etkin bir araç olduğunu ve iklim değişikliğine karşı koruma stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önemli bilgiler sunduğunu vurgulamaktadır.

Özkan and Şentürk (2012), Isparta Yukarıgökdere yöresinde *Pistacia terebinthus* türünün potansiyel dağılımını belirlemek amacıyla dört farklı modelleme tekniği (DA, LR, GAM, CT) kullanmıştır. 119 örnekleme noktasından elde edilen çevresel verilerle oluşturulan modellerin doğruluğu ROC eğrileriyle karşılaştırılmış; en yüksek başarıyı %96 AUC değeriyle GAM modeli göstermiştir. GAM modeli, türün özellikle düşük rakımlı ve %15–25 eğimli alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Çalışma, modelleme tekniklerinin habitat tahminindeki etkinliğini göstererek, türlerin ekolojik gereksinimlerinin daha iyi anlaşılmasını ve tür dağılımının sürdürülebilir yönetim planlamasına entegrasyonunu sağlamıştır.

Özkan (2013b), Akdeniz Bölgesi'ndeki Yukarıgökdere Orman İşletme Şefliği'nde *Cedrus libani*'nin potansiyel dağılımını belirlemek amacıyla ICA ve CART yöntemlerini kullanmıştır. 119 örnekleme noktasından elde edilen varlık-yokluk verileri ve çevresel değişkenler doğrultusunda yapılan analizler, yükseltinin en belirleyici faktör olduğunu göstermiştir. Türün 1300 m üzeri rakımlarda ve 600 mm'den fazla yağış alan alanlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Çalışma, türün ekolojik gereksinimlerini anlamaya ve korunması ile sürdürülebilir yönetimine yönelik bilimsel bir temel oluşturarak, ekosistem temelli planlama ve restorasyon çalışmalarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Farklı bölgelerde ve türlerde yürütülen bu çalışmalar, tür dağılım modelleme yöntemlerinin, orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi ve planlanmasında etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yöntemler aracılığıyla, türlerin potansiyel dağılım alanları tahmin edilebilmekte, ekolojik gereksinimleri daha iyi anlaşılabilir. Elde edilen veriler özellikle habitat koruma, restorasyon ve doğal kaynak planlaması süreçlerine önemli katkılar sunmaktadır. İklim değişikliği senaryolarının dahil edildiği çalışmalar, gelecekteki meydana gelebilecek habitat kayıplarına dair öngörüler sunarak iklim temelli risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla tür dağılım modelleri, doğaya duyarlı orman yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklim değişikliğine karşı dirençli ekosistemlerin yapılandırılmasında için bilimsel temelli karar destek araçları olarak önemli bir rol üstlenmektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Ormancılık politikası, orman kaynakları ile toplum arasındaki çok yönlü ilişkileri düzenleyen ve bu ilişkiler doğrultusunda ulusal düzeyde ormancılık hedeflerini belirleyen

ve bu hedeflerin hayata geçirilmesi için gerekli yasal, teknik ve yönetsel düzenlemeleri kapsayan stratejik bir disiplindir (Gümüş, 2004; Akesen ve ark., 2010). Türkiye’de bilimsel ve kurumsal temellere dayanan modern ormancılık anlayışının gelişimi, 1937 yılında yürürlüğe giren 3116 Sayılı Orman Kanunu ile başlamıştır. Bu yasa ile ormanların korunması, geliştirilmesi ve kamu yararına yönetimi konularında bütüncül bir yaklaşım benimsenmiştir (Özdönmez ve ark., 1996; Erdönmez ve ark., 2010). Her ne kadar Türkiye’de ormancılıkla ilgili faaliyetler daha eski dönemlere dayansa da ulusal ormancılık politikasının bilimsel temele dayalı ve planlı bir yapıya kavuşması esasen 1937 yılı itibarıyla mümkün olabilmektedir (Erdönmez ve Yurdakul, 2021). Ancak ülkemiz ormanları tarih boyunca yanlış kullanım uygulamaları, hızlı nüfus artışı, kentleşme, yangın gibi baskılar nedeniyle ciddi tahribatlara uğramıştır. Günümüzde orman ekosistemleri, yalnızca antropojenik baskılarla değil, aynı zamanda küresel ölçekte etkili olan iklim değişikliğinin etkileriyle de giderek daha hassas hale gelmiştir.

İklim değişikliği, ekosistemler üzerinde belirgin ve çok yönlü sonuçlara yol açan küresel bir süreç olarak, özellikle bitki topluluklarının potansiyel dağılımlarında meydana getirdiği değişimlerle dikkat çekmektedir (Özdemir et al., 2020; Kalaycı Kadak et al., 2024). Bu yüzden potansiyel tür dağılım modelleri mevcut çevresel koşullarda türlerin hangi bölgelerde yayılış gösterdiğini ve gelecekteki iklim senaryoları altında bu dağılımların nasıl değişebileceğini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye özelinde de son yıllarda bu tür modelleme çalışmaları artmaktadır (Acarer, 2024; Tekeş et al., 2025;). Bu modeller sayesinde, iklim değişikliğine hassas türlerin korunması ve türlerin değişen koşullara uyum sağlama kapasitelerinin artırılması yönünde ormancılık politikaları geliştirilebilmektedir. Özellikle türlerin gelecekteki olası dağılım alanlarının belirlenmesi, ormancılık politikalarının iklim değişimine uyumlu hale getirilmesi açısından kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda modelleme yöntemleri ile iklim değişikliğinin ormanlar üzerindeki potansiyel etkilerinin öngörülmesi ve uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma, orman ekosistemlerinde tür dağılım modellemesi için kullanılan yöntemlerin işlevselliğini değerlendirmeyi ve bu yöntemlerin ekolojik araştırmalar ile sürdürülebilir ormancılık yönetimindeki önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Literatürdeki araştırmalar, tür dağılım modellerinin ekolojik araştırmalar ve koruma stratejilerinde kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Türlerin habitat gereksinimlerini belirlemek ve bu bilgiyi sürdürülebilir yönetim planlarına entegre etmek, özellikle iklim değişikliği ve habitat kayıplarının hızla arttığı günümüzde gereklilik haline gelmiştir (Hijmans et al., 2005; Guisan and Thuiller, 2005).

Tür dağılım modelleri, bitki ve hayvanların yanı sıra böcekler, hastalıklar ve yangınlar gibi ekolojik süreçlerin potansiyel dağılımını öngörmek için de kullanılmaktadır (Güney et al., 2016; Liu et al., 2011). Ayrıca odun dışı orman ürünlerinden faydalanma kısmında da tür dağılım modelleri yer almaktadır. Dünya genelinde iki milyardan fazla insanın geçim kaynağı olarak odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) kullanılmaktadır. Odun dışı orman ürünleri özellikle ormanlık alanlarda veya yakın çevresinde yaşayan halkın ekonomik ve

sosyal yaşamında önemli bir role sahiptir (Abdelrahim, 2015). ODOÜ, sürdürülebilir kırsal kalkınmayı desteklemek, ekonomik çeşitliliği artırmak, kültürel değerleri yaşatmak ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmek açısından büyük bir potansiyele sahiptir (FAO, 2004). Bu nedenle, ODOÜ’nün orman amenajman planlarına dâhil edilmesi sürecinde, öncelikle bu türlerin ekolojik gereksinimlerinin belirlenmesi ve potansiyel dağılım alanlarının model tabanlı haritalarla ortaya konması gerekmektedir (Karataş ve ark., 2019). Bu yaklaşım türlerin sadece sürdürülebilir kullanımını değil, aynı zamanda kırsal halkın refahını artırmayı ve orman kaynaklarına olan sosyal baskıyı azaltmaya olanak sağlayacaktır. Bunun yanı sıra tür dağılım modelleri, yalnızca mevcut durum ve iklim değişikliği senaryolarına bağlı olarak sadece gelecekteki olası dağılım alanlarını tahmin etmek amacıyla değil, aynı zamanda geçmiş dönemlere ait iklim koşullarını anlamak için de giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kırac (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma bu konuya önemli bir örnek teşkil etmektedir. Araştırmada, *Lynx pardinus* (İber Vaşağı) ve *Lynx lynx* (Avrasya Vaşağı) türlerine ait fosil kayıtları kullanılarak Son Buzul Maksimumu (yaklaşık 22.000 yıl önce) ve Orta Holosen (yaklaşık 6.000 yıl önce) dönemlerindeki paleoklimatolojik koşullara göre potansiyel dağılım alanları modellenmiş ve bu alanlar, RCP senaryoları doğrultusunda gelecekteki iklim koşulları altında da değerlendirilmiştir. Çalışma, geçmiş iklim değişiklikleri sürecinde bu iki türün potansiyel dağılım alanlarında önemli farklılıkların meydana geldiğini göstermiştir (Kırac, 2021). Bu tür çalışmalar, geçmiş ve geleceği bağlayarak ekolojik modelleme alanındaki araştırmaların önemini daha iyi kavranmasına olanak tanımaktadır.

Günümüzde tür dağılım modellemeleri, özellikle iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerini öngörmeye önemli bir araç haline gelmiştir. Örneğin, ABD Orman Servisi tarafından geliştirilen USDA Little Range- FIA Atlası, ağaç türlerinin mevcut gözlemsel yayılış verilerini sunarken; Climate Change Tree Atlas ise farklı iklim senaryoları altında türlerin potansiyel habitat uygunluklarını modelleyerek gelecek projeksiyonlarını kullanıcıya sunmaktadır (Özdemir, 2022; U.S. Forest Service, 2025a; 2025b). Bu iki platform, türlerin duyarlılığı, adaptasyon kapasitesi ve habitat değişim riskleri gibi parametreleri mekânsal düzeyde analiz edebilmeyi mümkün kılmakta ve ormancılık politikalarının iklim değişikliğine karşı dirençli hale getirilmesinde karar vericilere güçlü bir bilimsel zemin sağlamaktadır. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, benzer işlevlere sahip, tür dağılımı ve iklim senaryosu temelli, açık erişimli bir dijital veri platformunun eksikliği dikkat çekmektedir. Bu eksikliğin giderilmesi için, tür dağılım modeli çıktılarının ormancılıktan sorumlu kurumların resmi dijital altyapılarına entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Türkiye Ulusal Orman Envanteri (UOE) sistemi, tür dağılım modeli çıktılarının bütüncül ormancılık politikalarına entegre edilmesi için önemli bir altyapı sunmaktadır. Tür verilerinin UOE’nin CBS altyapısıyla uyumlu hale getirilmesi ve model çıktılarının bu sisteme entegre edilmesi, türlerin mekânsal yayılımının daha hassas izlenmesini mümkün kılarken, iklim değişikliğine uyumlu orman yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine de sağlam bir bilimsel dayanak oluşturacaktır. Bu sayede, yalnızca mevcut dağılımın değil,

gelecekteki habitat değişimlerinin de izlenebilir ve yönetilebilir hale gelmesi sağlanabilecektir

Sonuç olarak, tür dağılım modelleri, ekosistem temelli yönetim planlarının geliştirilmesinde güçlü bir araçtır. Gelecekteki çalışmalar için, modelleme tekniklerinin daha fazla disiplinle entegre edilmesi, çok kaynaklı veri kullanımının artırılması ve iklim değişikliği senaryolarının daha etkin bir şekilde modellenmesi önerilmektedir (Akhter et al., 2017; Özkan, 2013b). Bu yaklaşımlar, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir ekosistem yönetimi hedeflerine ulaşılmasında önemli bir katkı sağlayacaktır. Diğer yandan iklim değişikliğinin korunan alanlar üzerindeki etkilerinin ekosistem tabanlı planlama yaklaşımı ile yönetilmesi de günümüzde öne çıkan doğa bilimleri çalışmalarıdır. Bu gibi çalışmalarla, korunan alanların iklim değişikliğinin etkilerine karşı uyum kapasitesini ve ekosistemlerin direncini artırmak amaçlanmaktadır. Uygulama ile korunan alanlar için ulusal iklim değişikliği eylem planları, restorasyon planları ve ekosistem temelli yönetim planlarının hazırlanması mümkün görülmektedir.

Kaynaklar

- Abdelrahim, M., 2015. Contribution of non-wood forest products in support of livelihoods of rural people living in the area south of Blue Nile State, Sudan. *International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3, 189-194.
- Acarer, A., 2024. Habitat Suitability Modelling and Mapping of Anatolian Wild Sheep (*Ovis gmelinii anatolica* Valenciennes, 1856). *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 4(5), 945-952.
- Acarer, A., 2024. Role of climate change on Oriental spruce (*Picea orientalis* L.), Modeling and mapping. *BioResources*, 19(2), 3845.
- Akesen, A., Ekizoğlu, A., Kuvan, Y., Atmış, E. 2010. Ormancılık Politikası (Akesen A., Ekizoğlu, A., Ed.) Türkiye Ormancılar Derneği Eğitim Dizisi Yayın No, 6, Özdoğan Matbaa, Ankara, 37-63.
- Akhter, S., McDonald, M. A., van Breugel, P., Sohel, S., Kjaer, E. D., Mariott, R., 2017. Habitat distribution modelling to identify areas of high conservation value under climate change for *Mangifera sylvatica* Roxb of Bangladesh. *Land Use Policy*, 60, 223-232.
- Austin, M., 2007. Species distribution models and ecological theory, a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1), 1-19.
- Baldwin, R., 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854-866.
- Beaumont, L. J., Graham, E., Duursma, D. E., Wilson, P. D., Cabrelli, A., Baumgartner, J. B., Laffan, S.W., 2016. Which species distribution models are more (or less) likely to project broad-scale, climate-induced shifts in species ranges?. *Ecological Modelling*, 342, 135-146.
- Behan, R., 1990. Multiresource forest management, A paradigmatic challenge to professional forestry. *Journal of Forestry*, 88, 12-18.
- Biau, G., Scornet, E., 2016. A random forest guided tour. *Test*, 25, 197-227.
- Booth, T.H., 2018. Species distribution modelling tools and databases to assist managing forests under climate change. *Forest Ecology and Management*, 430, 196-203.
- Braat, L.C., De Groot, R., 2012. The ecosystem services agenda, bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy, *Ecosystem Services*, 1, 4-15.
- Brooks, D. J., Grant, G. E., 1992. New approaches to forest management. *Journal of Forestry*, 90, 25-28.
- Cai, L., Kreft, H., Taylor, A., Denelle, P., Schrader, J., Essl, F., Weigelt, P., 2023. Global models and predictions of plant diversity based on advanced machine learning techniques. *New Phytologist*, 237(4), 1432-1445.
- Chu, C. M., Tsai, B. W., Chang, K. T., 2009. Integrating decision tree and spatial cluster analysis for landslide susceptibility zonation. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 3(11), 389-393.
- Cook, D., Dixon, P., Duckworth, W. M., Kaiser, M. S., Koehler, K., Meeker, W. Q., Stephenson, W. R., 2001. Binary response and logistic regression analysis. Part of the Iowa State University NSF/ILI project Beyond Traditional Statistical Methods, pp.1-23.
- Çivğa, A., Özdemir, S., Gülsoy, S. 2024. Prediction of potential geographic distribution of *Capparis spinosa*. *Biological Diversity and Conservation*, 17(3), 206-215.
- De'ath, G., Fabricius, K. E., 2000. Classification and regression trees, a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81(11), 3178-3192.
- Duerr, W. A., Duerr, J. B., 1975. The Role of Faith in Forest Resource Management. In, F. Rumsey and W. A. Duerr (Eds.), *Social Sciences in Forestry, A Book of Readings*, Philadelphia, W. B. Saunders, pp. 30-41.
- Ehrlich, P. R., 1968. *The population bomb*, Rivercity press, New York, ISBN, 0-89190-867-7.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., Yates, C. J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57.
- Erdönmez, C., Atmış, E., Özden, S., 2010. Ormancılık Politikası. Türkiye'de Ormancılık Politikası. (ed, Akesen A., Ekizoğlu, A.,) Türkiye Ormancılar Derneği Eğitim Dizisi Yayın No, 6, Özdoğan Matbaa, Ankara, s.101-143.
- Erdönmez, C., Erol, S. Y., 2021. Türkiye'de ulusal ormancılık politikasının tarihsel gelişimi açısından bir dönüm noktası, 1255 sayılı yasa. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 182-201.
- Evans, J. S., Murphy, M. A., Holden, Z. A., Cushman, S. A., 2010. Modeling species distribution and change using random forest. In *Predictive species and habitat modeling in landscape ecology, Concepts and applications* New York, NY, Springer, pp. 139-159.
- Falk, W., Mellert, K. H., 2011. Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change, risk evaluation of *Abies alba* in Bavaria. *Journal of Vegetation Science*, 22(4), 621-634.
- FAO, 2004. Non-wood forest products for rural income and sustainable development. *Non-wood Forest Products* (7). Rome, Italy.
- Ferrarini, A., Selvaggi, A., Abeli, T., Alatalo, J. M., Orsenigo, S., Gentili, R., Rossi, G., 2016. Planning for assisted

- colonization of plants in a warming world. *Scientific Reports*, 6(1), 28542.
- Fleischer, P., Pichler, V., Flaischer, P., Holko, L., Máliš, F., Gömöryová, E., Cudlín, P., Holeksa, J., Michalová, Z., Homolová, Z., Skvarenina, J., Štřelcová, K., Hlaváč, P., 2017. Forest ecosystem services affected by natural disturbances, climate and landuse changes in the Tatra Mountains. *Climate Research*, 73, 57–71.
- Gallego, D., Cánovas, F., Esteve, M. A., Galián, J., 2004. Descriptive biogeography of *Tomicus* (Coleoptera, Scolytidae) species in Spain. *Journal of Biogeography*, 31(12), 2011-2024.
- Gianola, D., Fernando, R. L., Stella, A., 2006. Genomic-assisted prediction of genetic value with semiparametric procedures. *Genetics*, 173(3), 1761-1776.
- Gomez-Baggethun, E., De Groot, R., Lomas, P.L., Montes, C., 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice, From early notions to markets and payment schemes, *Ecological Economics*, 69, 1209-1218.
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., Hastie, T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions, setting the scene. *Ecological modelling*, 157(2-3), 89-100.
- Guisan, A., Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution, offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J.B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P.R., Tulloch, A.I.T., Regan, T.J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T.G., Rhodes, J.R., Maggini, R., Setterfield, S.A., Elith, J., Schwartz, M.W., Wintle, B.A., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M.R., Possingham, H.P., Buckley, Y.M., 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology letters*, 16, 1424–1435.
- Gümüş, C., 2004. Ormancılık Politikası. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Fakülte Yayın No, 34, Trabzon, s.444.
- Güney, C. O., Özkan, K., Şentürk, Ö., 2016. Modelling of spatial prediction of fire ignition risk in the Antalya-Manavgat district. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2), 459-470.
- Gürçan, M., 1998. Lojistik regresyon analizi ve bir uygulama. Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Haeckel, E., 1866. *Generelle Morphologie der Organismen: Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformierte Descendenz-Theorie. Band 1: Allgemeine Anatomie. Band 2: Allgemeine Entwicklungsgeschichte.* de Gruyter.
- Haimes, Y. Y., 1999. Risk modeling, assessment, and management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C, Applications and Reviews*, 29(2), 315-315.
- Hanewinkel, M., Hummel, S. Cullmann, D.A., 2010. Modelling and economic evaluation of forest biome shifts under climate change in Southwest Germany. *Forest Ecology and Management*, 259, 710–719.
- Hanewinkel, M., Kuhn, T., Bugmann, H., Lanz, A., Brang, P., 2014. Vulnerability of uneven-aged forests to storm damage. *Forestry*, 87, 525–534.
- Hastie, T., Tibshirani, R., 1986. Generalized additive models. *Statistical science*, 1(3), 297-310.
- 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, A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978.
- Hussein, A., Workeneh, S., 2021. Modeling the impacts of climate changes on the distribution of aloe vera species in ethiopia. *Research Square*, 1-19.
- Imperatives, S. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development, Our common future. Accessed Feb, 10(42,427), 1-223.
- Janowiak, M. K., Iverson, L. R., Fosgitt, J., Handler, S. D., Dallman, M., Thomasma, S., Hutnik, B., Swanston, C. W., 2017. Assessing stand-level climate change risk using forest inventory data and species distribution models. *Journal of Forestry*, 115(3), 222-229.
- Johnson, K. D., Birdsey, R., Finley, A. O., Swantaran, A., Dubayah, R., Wayson, C., Riemann, R., 2014. Integrating forest inventory and analysis data into a LIDAR-based carbon monitoring system. *Carbon Balance and Management*, 9, 1–11.
- Kalaycı Kadak, M., Ozturk, S., & Mert, A. 2024. Predicting climate-based changes of landscape structure for Türkiye via global climate change scenarios: a case study in Bartın river basin with time series analysis for 2050. *Natural Hazards*, 120(14), 13289-13307.
- Karakaya, T., Yücel, E. 2021. Potential distribution modelling and mapping of dog rose (*Rosa canina* L.) in the nur mountains of gaziantep district, turkey. *Applied Ecology And Environmental Research*, 19, 2741-2760.
- Karataş, R., Şentürk, Ö., Arslan, M., Güner, D., Negiz, M. G., Özkan, K. 2019. Türkmen Dağı'ndaki bazı odun dışı orman ürünlerinin potansiyel dağılımı. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 6(1), 15-28.
- Kıraç, A., 2021. Potential distribution of two *Lynx* species in europe under paleoclimatological scenarios and anthropogenic clima change scenarios, *CERNE*, 27, e102517.
- Liu, J. H., Xiong, X., Pan, Y., Xiong, Z., Deng, Z., Yang, L., 2011. Predicting potential distribution of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* in Jiangxi Province, South China based on maximum entropy model. *Scientific Research and Essays*, 6(14), 2888-2894.
- Marchi, M., Ducci, F., 2018. Some refinements on species distribution models using treelevel national forest inventories for supporting forest management and marginal forest population detection. *Iforest-Biogeosciences and Forestry*, 11, 291–299.
- Masek, J. G., Goward, S. N., Kennedy, R. E., Cohen, W. B., Moisen, G. G., Schleeweis, K., Huang, C., 2013. United States forest disturbance trends observed using landsat time series. *Ecosystems*, 16, 1087–1104.
- Mert, A., Gülsoy, S., Özdemir, S., Şenol, A., Çelik, N., Özkan, K., Öztürk, M. 2025. Model-Based Mapping Processes of Soil Characteristics in Forest Ecosystems. *Forests and*

- Carbon Sequestration (Ed, Suratman MN., Gandaseca, S., Latif, ZA), Cambridge Scholars Publishing, UK, pp. 261-290.
- Mert, A., Özkan, K., Şentürk, Ö., Negiz, M. G., 2016. Changing the potential distribution of Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) under climate change in Turkey. Polish Journal of Environmental Studies, 25(4), 1633-1638.
- Mertler, C. A., Vannatta, R. A., LaVenja, K. N., 2021. Advanced and Multivariate Statistical Methods, Practical application and interpretation. Pyrczak Publishing, Los Angeles.
- Mezquida, E. T., Rubio, A., Sánchez-Palomares, O., 2010. Evaluation of the potential index model to predict habitat suitability of forest species, the potential distribution of mountain pine (*Pinus uncinata*) in the Iberian peninsula. European Journal of Forest Research 129, 133-140.
- Moisen, G. G., Freeman, E. A., Blackard, J. A., Frescino, T. S., Zimmermann, N. E., Edwards Jr, T. C. 2006. Predicting tree species presence and basal area in Utah, a comparison of stochastic gradient boosting, generalized additive models, and tree-based methods. Ecological modelling, 199(2), 176-187.
- Navarrate, E., Espinosa, M., 2011. Using the non-parametric classifies CART to model wood density. Journal of Data Science, 9(2), 261-270.
- Obiakara, M., Etaware, P., Chukwuka, K., 2020. Maximum entropy niche modelling to estimate the potential distribution of *Phytophthora megakarya* (Brasier & MJ Griffin) in tropical regions. European Journal of Ecology, 6(2), 23-40.
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. 1971. Fundamentals of ecology. Saunders, Philadelphia.
- Özdemir, S. 2022. Batı Akdeniz'de iklim değişimine göre asli orman ağacı türlerinin dağılım modellemesi. Doktora tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta.
- Özdemir, S. 2024a. Testing the Effect of Resolution on Species Distribution Models Using Two Invasive Species. Polish Journal of Environmental Studies, 33(2), 1325-1335.
- Özdemir, S. 2024b. Tür Dağılım Modellemesinin Kısa Tarihi: Web of Science üzerinden Bibliyometrik Çalışma. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 20(2), 334-351.
- Özdemir, S., 2018. Random Forest Yöntemi kullanılarak potansiyel dağılım modellemesi ve haritalaması, Yukarıgökdere Yöresi örneği. Turkish Journal of Forestry, 19(1), 51-56.
- Özdemir, S., Gülsoy, S., Mert, A., 2020. Predicting the effect of climate change on the potential distribution of Crimean Juniper. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 20(2), 133-142.
- Özdönmez, M., İstanbullu, T., Akesen, A., Ekizoğlu, A. 1996. Ormancılık Politikası. İstanbul Üniversitesi, Üniversite Yayın No, 3968, Fakülte Yayın No, 435, İÜ Basımevi, İstanbul, s.416.
- Özer, M. A., 2001. Derin ekoloji. Çağdaş Yerel Yönetimler, 10(4), 61-79.
- Özkan, K. 2016. On the way of only one fundamental information layer for everything within new paradigm sense; ecosystem qualification mapping. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 66(2), 410-444.
- Özkan, K., 2013a. Yönetim ve geliştirme planlarının temel ekolojik altlıkları, İklim değişimine uyarlabilir model tabanlı yetiştirme ortamı, biyoçeşitlilik, koruma alan değeri ve hedef tür habitat uygunluk haritaları. 2023'e doğru 2. Doğa ve Ormancılık Sempozyumu, 31 Ekim-03 Kasım 2013, Antalya, Türkiye, s. 129-148.
- Özkan, K., 2013b. Using the Non-Parametric Classifier CART to Model Lebanon Cedar (*Cedrus libani* A. Rich) Distribution in a Mountain Mediterranean Forest District. Polish Journal of Environmental Studies, 22(2), 495-501.
- Özkan, K., Makineci, E., Gülsoy, S., Özdemir, S., 2021. Orman Ekosistemleri ve İklim Değişimi. (Ed, Pakdemirli, B, Küçük, Ö, Bayraktar, Z, Takmaz, S), Ekoloji ve Ekonomi Ekseninde Türkiye'de Orman ve Ormancılık, Sonçağ Akademi, Ankara, s. 359-378.
- Özkan, K., Mert, A., 2010. Isparta Yukarı Gökdere yöresinde kasnak meşesinin senaryolarına göre 2050 ve 2080 yıllarında muhtemel potansiyel yayılış alanlarının coğrafi modellemesi, Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu 17-18 Haziran, 2010, Çorum, Türkiye, s.17-18.
- Özkan, K., Şentürk, Ö., Mert, A., Negiz, M. G., 2015. Modeling and mapping potential distribution of Crimean juniper (*Juniperus excelsa* Bieb.) using correlative approaches. Journal of environmental biology, 36(1), 9-15.
- Özkan, K., Şentürk, Ö., 2012. The application of group discrimination techniques to predict the potential distribution of turbentine tree, Internatinal Scientific Conference People Buildings and Environment, 7-9 November, Lednice, Czech Republic.
- Pecchi, M., Marchi, M., Giannetti, F., Bernetti, I., Bindi, M., Moriondo, M., Maselli, F., Fibbi, L., Corona, P., Travaglini, D., Chirici, G., 2019. Reviewing climatic traits for the main forest tree species in Italy. iForest – Biogeosciences and Forestry, 12, 173-180.
- Peterson, A. T., Ball, L. G., Cohoon, K. P., 2002. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. Ibis, 144(1), E27-E32.
- Peterson, A. T., Bauer, J. T., Mills, J. N., 2004. Ecologic and geographic distribution of filovirus disease. Emerging infectious diseases, 10(1), 40-47.
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H., Turner, W., 2014. Satellite remote sensing for applied ecologists, opportunities and challenges. Journal of Applied Ecology, 51(4), 839-848.
- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., Ferrier, S., 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models, implications for background and pseudo-absence data. Ecological applications, 19(1), 181-197.
- Phillips, S. J., Dudík, M., Schapire, R. E., 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of The Twenty-First International Conference on Machine Learning, 4 July, New York, United States, pp. 83.
- Pompe, S., Badeck, F. W., Hanspach, J., Klotz, S., Thuiller, W., Kuhn, I., 2008. Projecting impact on plant distributions under climate change- a case study from Germany. Biology Letters, 4(5), 564-567.
- Puglielli, G., Pärtel, M., 2023. Macroecology of plant diversity across spatial scales. New Phytologist, 237(4), 1432-1445.
- Rehfeldt, G. E., Worrall, J. J., Marchetti, S. B., Crookston, N. L., 2014. Adapting forest management to climate change

- using bioclimate models with topographic drivers. *Forestry*, 88, 528–539.
- Rigatti, S. J., 2017. Random forest. *Journal of Insurance Medicine*, 47(1), 31-39.
- Ruppert, D., Wand, M. P., Carroll, R. J., 2009. Semiparametric regression during 2003–2007. *Electronic journal of statistics*, 3, 1193.
- Schmithüsen, F. J., 2013. Three hundred years of applied sustainability in forestry. Working papers/Forest Policy and Forest Economics Department of Forest Sciences, 1.
- Schmutzenhofer, H. 1992. IUFRO's birthday. *IUFRO News*, 21/1, 2-3.
- Süel, H. 2014. Isparta-Sütçüler yöresinde habitat uygunluk modellemesi. Doktora tezi (basılmamış), Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Tekş, A., Özdemir, S., Aykurt, C., Gülsoy, S., Özkan, K., 2025. Species distribution modeling of red hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.) in response to climate change. *Şumarski list*, 149, 5-6.
- Tekin, S., Yalçinkaya, B., Acarer, A., Mert, A., (2018). Yaban hayatında uydu verilerinin kullanım olanakları üzerine bir çalışma, MaxEnt ile Karaca (*Capreolus capreolus* L.)'nın habitat uygunluk modellemesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 147-156.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, 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.
- Thuiller, W., Pollock, L. J., Gueguen, M., Münkemüller, T., 2015. From species distributions to meta-communities. *Ecology letters*, 18(12), 1321-1328.
- U.S. Forest Service, 2025a. Little-FIA Tree Atlas. <https://www.fs.usda.gov/nrs/atlas/littlefia/index.html#>, Erişim, 24.06.225.
- U.S. Forest Service, 2025b. Climate Change Tree Atlas, https://www.fs.usda.gov/nrs/atlas/tree/tree_atlas.html, Erişim, 24.06.225.
- United Nations, (1972). Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5-16 June 1972. UN.
- Walentowski, H., Falk, W., Mette, T., Kunz, J., Bräuning, A., Meinardus, C., Zang, C., Sutcliffe, L.M.E., Leuschner, C., 2017. Assessing future suitability of tree species under climate change by multiple methods, a case study in southern Germany. *Annals of Forest Research*, 60, 101–126.
- Wiersum, K. F., 1995. 200 years of sustainability in forestry, Lessons from history. *Environmental management*, 19, 321-329.
- Williams, M. I., Dumroese, R. K., 2013. Preparing for climate change, forestry and assisted migration. *Journal of Forestry*, 111(4), 287-297.
- Wisn, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., NCEAS Predicting Species Distributions Working Group., 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions*, 14(5), 763-773.
- WRI (World Resources Institute)., 2002. World Resources 2000-2001, People and Ecosystems, Fraying web of life, 10 G St., NE, Washington, DC, ISBN, 1-56973-443- 7.
- Yee, T. W., Mitchell, N. D., 1991. Generalized additive models in plant ecology. *Journal of vegetation science*, 2(5), 587-602.