

Tür Dağılım Modellemesinin Kısa Tarihi: Web of Science üzerinden Bibliyometrik Çalışma

A Brief History of Species Distribution Modeling: Bibliometric Study on the Web of Science

 Serkan ÖZDEMİR¹

Özet

Bu çalışmada tür dağılım modellemelerinin (TDM) tarihsel evrimi ve gelecekteki potansiyel gelişmeleri incelenmiştir. TDM'lerin kökeni, Humboldt'un bitki coğrafyası ve Darwin'in türlerin evrimi üzerine olan çalışmalarına dayanır. 1980'lerden itibaren, özellikle veri analitiği ve istatistiksel yöntemlerin gelişmesiyle, TDM'ler ekoloji ve biyocoğrafya araştırmalarda önemli bir araç haline gelmiştir. Çalışmada, Web of Science Core Collection veri tabanından 1980-2023 yıllarına ait olarak elde edilen veriler bibliyometrik yöntemlerle analiz edilmiştir. R programlama dilinde "bibliometrix" paketi kullanılarak yapılan analizlerle, TDM'lerin zaman içindeki gelişimi, kullanılan yöntemlerdeki değişimler değerlendirilmiştir. Bulgular, TDM'lerin geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu, iklim değişikliği ile beraber giderek daha fazla kullanıldığını ortaya koymuştur. Ayrıca istatistik ve bilgisayar teknolojileri alanlarındaki gelişmelerinde de farklı TDM yaklaşımlarının geliştirilmesine zemin hazırladığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bibliometrix, Biblioshiny, İklim değişikliği, Tür dağılım modellemeleri, WOSCC

Abstract

This study examines the historical evolution and potential future developments of species distribution modeling (SDM). The origins of SDMs trace back to Humboldt's pioneering explorations in plant geography and Darwin's groundbreaking work on the evolution of species. Since the 1980s, particularly with the advancement of data analytics and statistical methods, SDMs have become a significant tool in ecological and biogeographical research. The study analyzes data from the Web of Science Core Collection for the years 1980-2023 using bibliometric methods. The analysis, conducted with the "bibliometrix" package in the R programming language, assesses the evolution of SDMs over time and the changes in methodologies used. The findings indicate that SDMs have a wide range of applications and are increasingly utilized in the context of climate change. Additionally, advancements in statistics and computer technologies are believed to have paved the way for the development of various SDM approaches.

Keywords: Bibliometrix, Biblioshiny, Climate change, Species distribution modeling, WOSCC

Geliş Tarihi: 28.07.2024, Düzeltme Tarihi: 25.09.2024, Kabul Tarihi: 26.09.2024

Adres: ¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Ormanlık Bölümü

E-mail: serkanozdemir@isparta.edu.tr

1. Giriş

Türlerin coğrafi dağılımlarının belirlenmesine olan ilgi geçmişten günümüze devam etmektedir. Bu kapsamda yapılan sistematik çalışmaların başlangıç noktası Alexander von Humboldt'un yapmış olduğu Bitkilerin Coğrafyası “(Essay on the Geography of Plants)” isimli çalışmadır (von Humboldt, 1814). Esasında bundan elli yıl önce Linneaus, bitkilerin yaşam ortamlarını, onları belirleyen fiziksel koşullara atıfta bulunarak tartışmış ve bir süre sonra tohumların rüzgarlar ve diğer etkenlerle yayılmasını, iklim ve iklim koşullarının etkisini ele almıştır. Ancak Humboldt, gerçekleri ilkelere tabi kılan ve gözlemlenen tüm olgulara rasyonel bir açıklama vermeye çalışan, konuya ayırt edici bilimsel ruhla yaklaşan ilk kişi olarak ön plana çıkmıştır. Humboldt'un bu yaklaşımı onu yeryüzünün bitki örtüsünü biyoloğun bakış açısından ziyade fiziki coğrafyacının bakış açısı ile düşünmeye yöneltmiştir (Spalding, 1890). Bu çalışmalar yapıldıkça araştırmacıların bitki türlerine olan bakış açısı değişmiştir. Örneğin bazı bitki familyalarının baskın olması o ekosistemin karakteristikleri hakkında bilgi sunmaktadır. Ya da bazı türlerin varlığı ya da yokluğu o ekosistemin refahı ile ilişkilendirilebilmektedir. Araştırmalar bu ve benzeri sonuçları ortaya koydukça tür dağılım çalışmaları hız kazanarak ve devamlı perspektif değiştirerek devam etmiştir. Verilen örneklerden yola çıkarak bu çalışmaları sadece bitki türlerine atfetmek çok doğru bir yaklaşım değildir. Özellikle Charles Darwin tarafından yayınlanan On The Origin of Species (Türlerin Kökeni) ile birlikte canlı toplumlarına yönelik hakim paradigma da keskin bir kırılma yaşanmıştır (Darwin, 1859). Bahsi geçen sürecin neticesinde bitkilerde olduğu gibi hayvan türlerinin dağılımlarında da süregelen hakim paradigma değişim göstermiştir.

Türlerin dağılımlarını inceleyen çalışmalar, tarihsel süreç içerisinde farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların temel prensibini çalışmanın yayınlandığı dönem itibariyle hakim olan paradigma belirlemiştir. Dolayısı ile bu paradigmalardaki değişimler o dönemlerdeki mevcut trend üzerinde önemli kırılmalara sebep olmuştur. Kantitatif yaklaşımların doğa bilimleri içerisinde benimsenmesiyle yaşanan kırılma, verilebilecek en belirgin örneklerden birisidir. Kantitatif yöntemlerin selefleri olan yaklaşımlara kıyasla daha analitik, anlaşılabilir ve pratik sonuçlar sergilemesi doğa bilimleri içerisinde hızla yer edinmesine yardımcı olmuştur.

Kantitatif yaklaşımlar zamanla sosyal bilimler gibi farklı disiplinler içerisinde kendine yer edinmiştir. Dolayısı ile doğa bilimlerinde yaşanan paradigma değişimi farklı bilim dalları için de söz konusu olmuştur. Burada anlaşılması gereken husus kantitatif yöntemlerin hızla çeşitlenmesi ve farklı disiplinlerde alternatif yaklaşımlar olarak değerlendirilmiş olmasıdır.

Bunda istatistik yöntemlerde ve bilgisayar biliminde yaşanan gelişmelerin etkili olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Bahsi geçen değişim ve gelişim sürecinin neticesinde bitki ve hayvan toplumlarının habitatları ile ilişkilerini ortaya koyan çok sayıda yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında tür dağılım modellemeleri ön plana çıkmaktadır.

Tür dağılım modellemeleri (TDM), türlerin dağılımları ile habitat faktörleri arasındaki ilişkiye yönelik temel ekolojik (Whittaker ve ark., 1973) ve biyocoğrafik (Holdridge, 1947) kavramların temeli üzerine inşa edilmiş bir dizi prosedür, tanım ve teknikten oluşan ampirik metodolojilerdir.

TDM'ler uygun verilerin mevcut olması koşuluyla, deniz, kara ve tatlı su türleri de dahil olmak üzere herhangi bir taksona uygulanabilmektedir.

Tür dağılım modellemelerinin kökeni, hesaplama kapasitesinin sınırlı olduğu 1970'lerin sonlarına dayanmaktadır. Bu alandaki ilk çalışmaların çoğunlukla bir türün çevresel değişimlere tepkisini etkili bir şekilde modellemek için yeni yöntemlerin geliştirilmesine odaklanmıştır (Austin 1987, Austin ve ark., 1990). Metodolojiye yönelik bazı kavramsal bilgiler yapılan çeşitli çalışmalarda özetlenmiştir (Franklin, 1995, Guisan ve Zimmermann, 2000) ve bu çalışmalar halen mevcut dağıtım modelleme literatüründe referans noktaları olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, son 20 yılda, tür dağılım modellemelerin yönelik metodolojileri ve bunların tür ve ekosistem koruma, tür-yetişme ortamı ilişkileri ve evrimle ilgili geniş bir dizi soruya uygulanması üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin “Ekolojiyi Korumaya Yönelik Araçlar Olarak Tür Dağılım Modellerinin Faydası (The Utility of Species Distribution Models as Tools for Conservation Ecology)” başlıklı bir dizi uzmanlaşmış TDM çalıştayının (2008 Riederalp) üçüncüsünden çıkan özel sayıda, TDM alanının mevcut eğilimleri ve son on yıllarda kaydedilen ilerlemesi yansıtılmıştır.

Yukarıda bahsedildiği üzere TDM'ler, farklı koruma, ekolojik ve evrimsel süreçler altında türlerin yayılışlarını belirleyen faktörler hakkında istatistiksel çıkarımlar yapmaya yönelik ampirik yaklaşımları temsil eder. TDM'lerin istatistiksel temellerini geliştirmek için, yeni istatistiksel yöntemlerin uygulanması (Yee ve Mitchell, 1991, Phillips ve ark., 2006, Prasad ve ark., 2006, Elith ve ark., 2008; Çıvğa ve ark., 2024), örnekleme tasarımının model performansına göre değerlendirilmesi (Edwards ve ark., 2006, Guisan ve ark., 2006), TDM'lerin doğruluğuna ilişkin örneklem büyüklüğü ve yaygınlığının araştırılması (Stockwell ve Peterson, 2002; Zimmermann ve ark., 2007; Wisz ve ark., 2008), model uyumundan mekansal otokorelasyonun kaldırılması (Dormann ve ark., 2007), TDM'ler için çeşitli istatistiksel yöntemlerin karşılaştırılması (Elith ve ark., 2006) ve modellerin

değerlendirilmesi (Allouche ve ark., 2006; Smulders ve ark., 2010) başlıklarında yapılması önemli çalışmalar bulunmaktadır. Bunların dışında TDM sürecinde karşılaşılabilecek sorunları analiz eden ve önerilerde bulunan çalışmalar da bulunmaktadır (Pearson ve Dawson, 2003; Guisan ve Thuiller, 2005; Araújo ve Guisan, 2006; Elith ve Graham, 2009; Elith ve Leathwick, 2009).

Verilen bilgilerden anlaşılacağı üzere TDM'ler doğa bilimlerine yönelik çalışmalarda geçmişten günümüze araştırmacıların odağı olmuştur. Metodolojinin sunmuş olduğu uygulama yönelik çözümler bahsi geçen trendin temel sebebidir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde TDM'lere yönelik olarak geliştirilmiş çok sayıda yöntem olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerin bazıları doğrudan doğa bilimlerine yönelik olarak geliştirilmişken, bazıları ise farklı disiplinlere yönelik olarak geliştirilmiş ancak daha mekanistik yöntemler ve bağlantı yöntemleri olmak üzere iki başlık altında gruplandırıldığı görülmektedir. Mekanistik yöntemlerde hedef türlere ait ekofizyolojik özellikler kullanılmaktadır. TDM'ler neticesinde haritalama yapılacağı düşünüldüğünde alana ait olarak piksel bazlı sayısal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda düşünüldüğünde sayısal ekofizyolojik özelliklerin elde edilmesi diğer yetiştirme ortamı faktörlerinin elde edilmesine kıyasla oldukça zordur. Bağlantı yöntemlerinin gerçekleştirilmesi için ise ekofizyolojik özelliklere ihtiyaç duyulmadığından haritalama süreci çok daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Dolayısı ile bağlantı yöntemleri çok daha fazla tercih edilmektedir (Özdemir, 2022; Çıvğa, 2023).

Bağlantı yöntemleri profil teknikleri ve grup ayırım teknikleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bağımlı değişkene yönelik olarak sadece var verisinin olması durumunda profil teknikleri, ikili kategorik veri olması durumunda ise grup ayırım teknikleri olarak isimlendirilmektedir. Profil tekniklerine yönelik en bilinen yöntemler Maksimum Entropi (Maximum Entropy: MaxEnt), Ekolojik Niş Faktör Analizi (Ecological Niche Factor Analysis: ENFA), Biyoiklimsel Aralık Modelleri (Bioclimatic Envelope Models: BIOCLIM) ve Kural Seti Tahmini İçin Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction: GARP)'dır. Lojistik Regresyon (Logistic Regression: LR), Genelleştirilmiş Doğrusal Model (Generalized Linear Model: GLM), Genelleştirilmiş Eklemeli Model (Generalized Additive Model: GAM), Karar Ağaçları (Decision Trees: DT), Artırılmış Regresyon Ağacı (Boosted Regression Tree: BRT), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network: ANN), Esnek Ayırım Analizi (Flexible Discriminant Analysis: FDA), Çoklu Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (Multiple Adaptive Regression Splines: MARS) ve Rastgele Orman (Random Forest: RF) ise grup ayırım tekniklerinin en bilinen örnekleridir.

Bunların yanında bazen yalancı var ve yok verileri kullanılarak bahsi geçen yöntemler farklı şekillerde kullanılabilir. Örneğin arka planda yalancı yok verilerini kullanarak GAM (Zaniewski ve ark., 2002) ve RF (Valavi ve ark., 2021) yöntemlerinin sadece var verilerine dayalı olarak modellendiği çalışmalar bulunmaktadır.

Verilerden anlaşılacağı üzere zamanla çok sayıda çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda yeni yaklaşımlar önerilmiştir. Bu çalışmada TDM'ler kullanılarak 1980-2023 yılları arasında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları zaman içerisinde konuya olan eğilim ne ölçüde değiştiğinin tespit edilmesi, bu değişimlerin sebeplerinin ortaya koyulması ve gelecekte nasıl değişebileceğinin öngörülmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Veri Kaynağı

Çalışmada Bibliyometrik analizler kullanılarak Web of Science Core Collection (WOSCC) veri tabanında yer alan TDM üzerine yayınlanmış akademik çalışmalar analiz edilmiştir. WOSCC, 21.000'den fazla hakemli dergiye sahiptir ve akademik makale analizi için en sık kullanılan, en güvenilir küresel alıntı veri tabanıdır (Berk ve ark., 2024). WOSCC veri tabanından TDM'lere yönelik olarak 1980-2023 yılları arasındaki çalışmalar taranmıştır. Veri tabanı güncellemelerinin neden olduğu sapmaları önlemek için tüm veriler aynı gün indirilmiştir. Çalışmalar taranırken belirlenen kelimeler hem başlık hem de anahtar kelimelere ait olarak filtrelenmiştir. Diğer bir ifade ile belirlenen kelimenin başlıkta veya anahtar kelimelerde geçtiği çalışmaların verisi indirilmiştir. Daha sonra ise sırasıyla doküman tipi, araştırma alanı ve çalışma dili filtrelenmiştir. Kelimeler filtrelenirken TDM çalışmalarında başlıklarda ve anahtar kelimelerde en yaygın şekilde kullanılan kelime öbekleri (Hijmans ve Elith, 2013; Acarer, 2024; Acarer ve Mert, 2024; Özdemir, 2024; Zenbilci ve ark., 2024) diğer filtrelemelerde ise bibliyometrik analizlerde en sık tercih edilen filtreleme seçenekleri kullanılmıştır (Beram, 2024; Berk ve ark., 2024).

2.2. İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada bibliyometrik analizler için R programlama dilinde (R Core Team, 2021) "bibliometrix" paketi ile çalışan Biblioshiny web tabanlı ara yüzü kullanılmıştır (Aria ve Cuccurullo, 2017). R üzerinden web arayüzüne bağlanarak analizleri gerçekleştirmek için öncelikle bibliyometrik analiz için gerekli paket sırasıyla şu komutlar kullanılarak kuruldu:

```
install.packages("devtools")
```

```
devtools::install_github (massimoaria/bibliometrix)
```

Daha sonra paketin kütüphanesi “library(bibliometrix)” komutu ile aktif hale getirildi. Son olarak biblioshiny (maxUploadSize = 500) kodu kullanılarak veri tabanına erişildi. Çalışmada WOSCC veri tabanından indirilen dosyanın boyutu paketin standart olarak belirlenen 200 mb dosya yükleme üst sınırını aştığından veri tabanına yüklenebilecek WOSCC metin dosyası boyutunun üst sınırını artırmak için “maxUploadSize = 500” parametresi kullanıldı. Biblioshiny veri tabanı içerisinde dosya türü olarak WOS seçilerek hazırlanan metin dosyası programa aktarılmıştır. Daha sonra temel istatistikler, dergiler, anahtar kelimeler, yazarlar, kurumlar, ülkeler ve çalışmalar için analizler yapılmıştır. Makale boyunca kavramsal bir karmaşaya neden olmaması için bazı kavramlar hem metin içerisinde hem de görsellerde doğrudan veri tabanında geçtiği şekilde İngilizce karşılıkları ile sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada WOSCC veri tabanından taranan kelimeler ve filtrelemeler sonucu elde edilen çalışma sayıları Şekil 1’de sunulmuştur.

| | |
|------------------|--|
| Tanımlama | <p>1980-2023 Yılları İçin Tespit Edilen Çalışma Sayısı 34008</p> <p>Taranan Kelimeler ecological modeling (ekolojik modelleme), geographic distribution modeling (coğrafi dağılım modellemesi), habitat distribution modeling (habitat dağılım modellemesi), habitat modeling (habitat modellemesi), habitat suitability modeling (habitat uygunluk modellemesi), niche modeling (niş modellemesi), potential distribution modeling (potansiyel dağılım modellemesi), sdm (tdm), species distribution modeling (tür dağılım modellemesi)</p> |
| Eleme | <p>Doküman Tipi (Filtrelenen Doküman Tipleri: Makale, derleme makale, konferans bildirisi) 32753</p> <p>Araştırma Alanı: (Filtrelenen araştırma alanları: Environmental Sciences (Çevre Bilimleri), Biodiversity Conservation (Biyçeşitliliğin Korunması), Marine Freshwater (Deniz ve Tatlısu), Physical Geography (Fiziki Coğrafya), Evolutionary Biology (Evrimsel Biyoloji), Plant Sciences or Entomology (Bitki Bilimleri veya Entomoloji), Engineering (Mühendislik), Zoology (Zooloji), Forestry (Ormancılık), Life Sciences (Yaşam Bilimleri), Biomedicine (Biyomedikal), Water Resources (Su Kaynakları), Geology (Jeoloji), Ecology (Ekoloji), Biology (Biyoloji), Paleontology (Paleontoloji), Geography (Coğrafya), Remote Sensing (Uzaktan Algılama)) 24723</p> <p>Dil (Filtrelenen dil: İngilizce) 24481</p> |

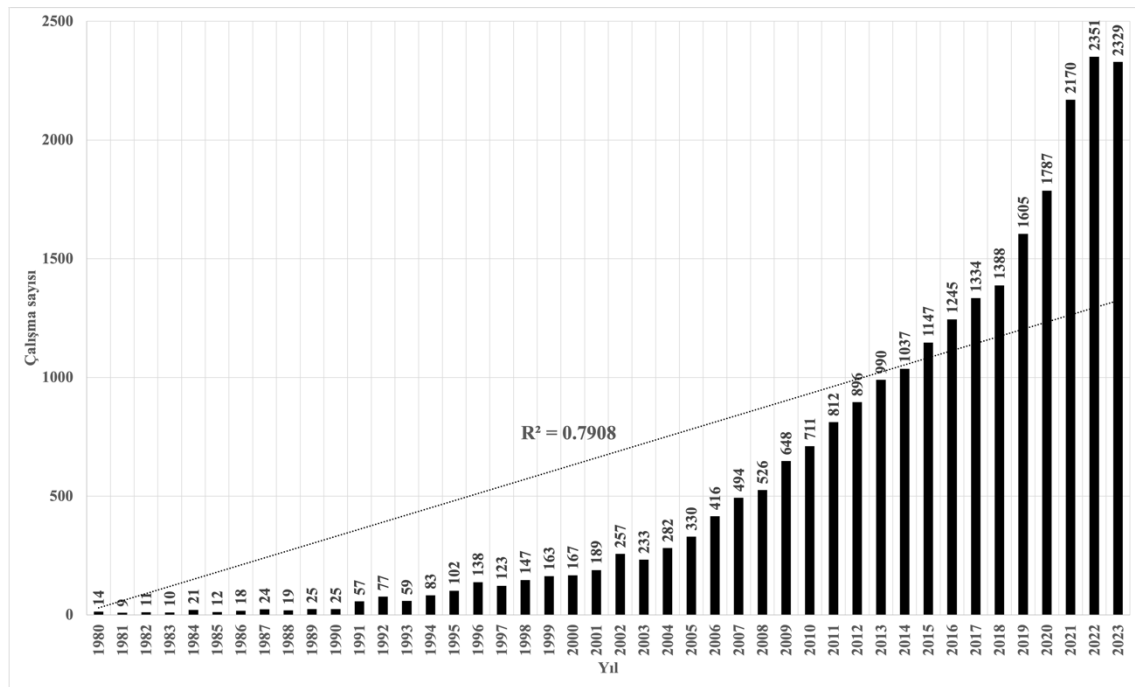
Şekil 1. Bibliyometrik analiz için çalışmaları taramak ve filtrelemek amacıyla kullanılan PRISMA akış diyagramı.

Yapılan tarama neticesinde ilk olarak 34008 adet çalışma tespit edilmiştir. Daha sonra ilk olarak doküman tipine göre filtreleme yapılmıştır. Sadece makale (Article), derleme makale (Review article) ve konferans bildirileri (Proceeding paper) seçilmiştir. Bu filtreleme neticesinde çalışma sayısı 32753’e düşmüştür. Ardından farklı alanlarda yapılan “sdm” gibi farklı anlama gelebilecek çalışmaların ayıklanabilmesi için araştırma alanları seçilmiştir ve

çalışma sayısı 24723'e düşmüştür. Diğer bir ifade ile “sdm” kelimesi “tür dağılım modellemesinin” İngilizce karşılığı olan “species distribution modeling” ifadesinin kısaltmasıdır. Ancak farklı disiplinlerde farklı konularda geçen ifadelerin kısaltması şeklinde de kullanılabilir. Bu nedenle bahsi geçtiği şekilde araştırma alanlarının seçilerek karşılaşılabilecek hataların önüne geçilmiştir. Son olarak ise dil olarak İngilizce seçilmiş ve geriye kalan 24481 çalışma verisi indirilmiştir.

Tüm çalışmalar incelendiğinde çalışmaların kitap ve dergi olarak toplamda 2795 kaynakta yayımlandığı görülmüştür. Tespit edilen 24481 çalışmanın 1535 tanesi tek yazarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışmalardaki yazar sayısı ise 63266 iken toplamda 705870 kaynak kullanılmıştır.

Yıllar itibariyle çalışma üretimine bakıldığında üretilen çalışma sayısı bakımından doğrusal bir artışın olduğu ve yıllara göre bu artışlar arasındaki R^2 değerinin 0.79 olduğu görülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Yıllar itibariyle yayımlanan çalışma sayıları.

Şekil 2 incelendiğinde 2023 yılına kadar gözle görülür bir artış olduğu görülmektedir. Bazı yıllarda dalgalanmaların olduğu diğer bir ifade ile bir önceki yıl ile bir sonraki yıl arasında artış ve azalmaların olduğu ancak genel trendin artış şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Artan nüfus, sanayileşme ve iklim krizine bağlı olarak doğal ekosistemlerde önemli sayılabilecek tür ve habitat kayıplarının ve/veya değişimlerinin olduğu bilinmektedir

(Ertuğrul ve ark., 2017; Özdemir ve ark., 2020a; Özdemir ve ark., 2020b). Dolayısı ile yıllar itibariyle genel trendin artış şeklinde olması beklenen bir sonuç olmuştur.

Konuya ilişkin çalışma yayınlayan dergilerden en fazla yayın sayısına sahip 20 dergi ismi ve bunların kalite dilimleri ile toplam alıntılanma sayıları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Konuya ilişkin olarak en fazla çalışma yayınlayan dergiler.

| Dergi | Çalışma sayısı | Toplam alıntılanma sayısı | Kalite çeyreği (Q1-Q4) |
|----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------|
| ECOLOGICAL MODELLING | 1055 | 20105 | Q2 |
| DIVERSITY AND DISTRIBUTIONS | 494 | 11735 | Q1 |
| ECOLOGICAL INDICATORS | 469 | 58287 | Q1 |
| ECOLOGY AND EVOLUTION | 456 | 25599 | Q2 |
| JOURNAL OF BIOGEOGRAPHY | 440 | 16982 | Q1 |
| BIOLOGICAL CONSERVATION | 408 | 38523 | Q1 |
| SUSTAINABILITY | 373 | 229213 | Q2 |
| ECOLOGICAL APPLICATIONS | 339 | 22067 | Q1 |
| SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT | 330 | 394564 | Q1 |
| GLOBAL CHANGE BIOLOGY | 281 | 68820 | Q1 |
| ECOGRAPHY | 277 | 16934 | Q1 |
| ECOLOGICAL INFORMATICS | 268 | 8069 | Q1 |
| ECOLOGY | 263 | 58920 | Q1 |
| LANDSCAPE ECOLOGY | 258 | 12576 | Q1 |
| JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY | 253 | 25150 | Q1 |
| ECOSPHERE | 249 | 12845 | Q2 |
| GLOBAL ECOLOGY AND BIOGEOGRAPHY | 249 | 17766 | Q1 |
| MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES | 230 | 34544 | Q2 |
| METHODS IN ECOLOGY AND EVOLUTION | 227 | 24981 | Q1 |
| BIODIVERSITY AND CONSERVATION | 210 | 13592 | Q1 |

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere en fazla makale yayınlayan ilk 20 derginin tamamının Q1 ve Q2 kalite çeyreğinde yer almaktadır ve liste çoğunlukla ekoloji dergilerden oluşmaktadır.

Tablo 2’de dağılım modellemeleri üzerine en çok çalışma yapan 20 yazarın çalışma sayıları yer almaktadır.

Tablo 2. Tür dağılım modellemeleri üzerine en çok çalışma yapan 20 yazar.

| Yazar | Çalışma Sayısı | Yazar | Çalışma Sayısı |
|------------------|----------------|------------------|----------------|
| GUIAN, A. | 134 | WANG, J. | 59 |
| PETERSON, A.T. | 130 | OVASKAINEN, O. | 53 |
| THUILLER, W. | 101 | ELITH, J. | 53 |
| ZHANG, Y. | 84 | GOETHALS, P.L.M. | 53 |
| WANG, Y. | 80 | ZHANG, L. | 53 |
| LIU, Y. | 80 | CHEN, Y. | 51 |
| LI, Y. | 78 | LOBO, J.M. | 51 |
| RÖDDER, D. | 69 | SVENNING, J.C. | 50 |
| ZHANG, J. | 66 | WANG, L. | 50 |
| ZIMMERMANN, N.E. | 66 | ARAÚJO, MB | 48 |

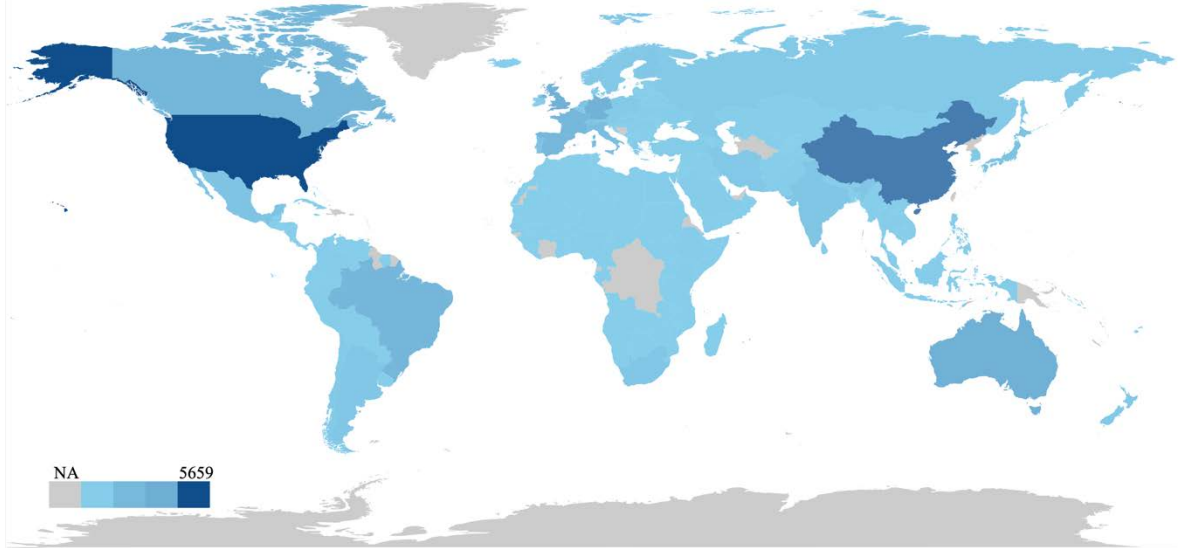
İlk 20 yazarın 1980-2023 yılları arasında toplamda 1409 çalışma yaptığı tespit edilmiştir. Bu değer toplam çalışma sayısının % 5,76'sına karşılık gelmektedir. Bu yazarların özellikle iklim senaryoları altından türlerin dağılımları üzerine yapılmış önemli çalışmalar ortaya koydukları görülmüştür (Guisan ve Zimmermann, 2000; Peterson ve ark., 2002; Thuiller, 2004; Engler ve Guisan, 2009; Keith ve ark., 2014; Chala ve ark., 2019).

Tür dağılım modellemeleri üzerine birçok ülkede farklı kurumlarda araştırmalar yapılmıştır. En çok araştırma yapan 20 kuruma bakıldığında ABD ve Fransa'nın başı çektiği, bu ülkeleri de sırasıyla Çin, İspanya, Meksika, İsviçre, Almanya, Avustralya ve Portekiz'in takip ettiği tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. En çok araştırma yapan 20 kurum ve bağlı buldukları ülkeler.

| Ülke | Çalışmayı yapan araştırmacının bağlı olduğu kurum | Çalışma sayısı |
|------------|--|----------------|
| Çin | CHINESE ACADEMY OF SCIENCES | 1514 |
| Fransa | CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) | 1303 |
| ABD | UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR | 1226 |
| ABD | UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM | 1038 |
| ABD | UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY | 891 |
| ABD | UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) | 801 |
| İspanya | CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS (CSIC) | 741 |
| ABD | UNITED STATES FOREST SERVICE | 605 |
| ABD | STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA | 580 |
| ABD | NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMIN (NOAA) - USA | 565 |
| Fransa | INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT (IRD) | 537 |
| Fransa | INRAE | 530 |
| Meksika | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | 462 |
| İsviçre | SWISS FEDERAL INSTITUTES OF TECHNOLOGY DOMAIN | 459 |
| Almanya | HELMHOLTZ ASSOCIATION | 451 |
| Avustralya | COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO) | 435 |
| Fransa | CNRS - INSTITUTE OF ECOLOGY AND ENVIRONMENT (INEE) | 407 |
| Fransa | UNIVERSITE DE MONTPELLIER | 384 |
| Portekiz | UNIVERSIDADE DO PORTO | 387 |
| ABD | UNIVERSITY OF FLORIDA | 381 |

Tür dağılım modellemeleri üzerine gerçekleştirilen çalışmaların sorumlu yazarlarının ülkelerine bakıldığında sonuçların kurumların bağlı buldukları ülkeler ile benzer olduğu ancak ufak farklılıkların yer aldığı görülmüştür (Şekil 3).



| En Fazla Çalışma Yapan İlk 20 Ülkeye Ait Sayısal Değerler | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------|----------|----------------|-----------|----------|----------------|-----------|------------|----------------|-----------|
| Ülke | Çalışma sayısı | Oranı (%) | Ülke | Çalışma sayısı | Oranı (%) | Ülke | Çalışma sayısı | Oranı (%) | Ülke | Çalışma sayısı | Oranı (%) |
| ABD | 5659 | 23.1 | Almanya | 1044 | 4.3 | Fransa | 764 | 3.1 | Hindistan | 382 | 1.6 |
| Çin | 3970 | 16.2 | Kanada | 1041 | 4.3 | İtalya | 657 | 2.7 | İsviçre | 358 | 1.5 |
| Avustralya | 1176 | 4.8 | İspanya | 871 | 3.6 | Japonya | 587 | 2.4 | Meksika | 353 | 1.4 |
| Birleşik Krallık | 1105 | 4.5 | Brezilya | 802 | 3.3 | Portekiz | 384 | 1.6 | İran | 307 | 1.3 |
| | | | | | | | | | Hollanda | 305 | 1.2 |
| | | | | | | | | | Belçika | 265 | 1.1 |
| | | | | | | | | | Arjantin | 257 | 1 |
| | | | | | | | | | Finlandiya | 248 | 1 |

Şekil 3. Sorumlu yazarın ülkesine göre TDM çalışmalarının dağılımı.

Yukarıdaki şekilden anlaşıldığı üzere sorumlu yazara göre en fazla çalışma yapan ülke ABD iken sırasıyla onu Çin, Avustralya, Birleşik krallık ve Almanya gibi ülkeler takip etmektedir. Ancak ABD ve Çin'e çalışma sayısı bakımından en yakın olan ülke Avustralya olmasına karşı aralarında yaklaşık 4 kat fark olduğu dikkat çekmektedir.

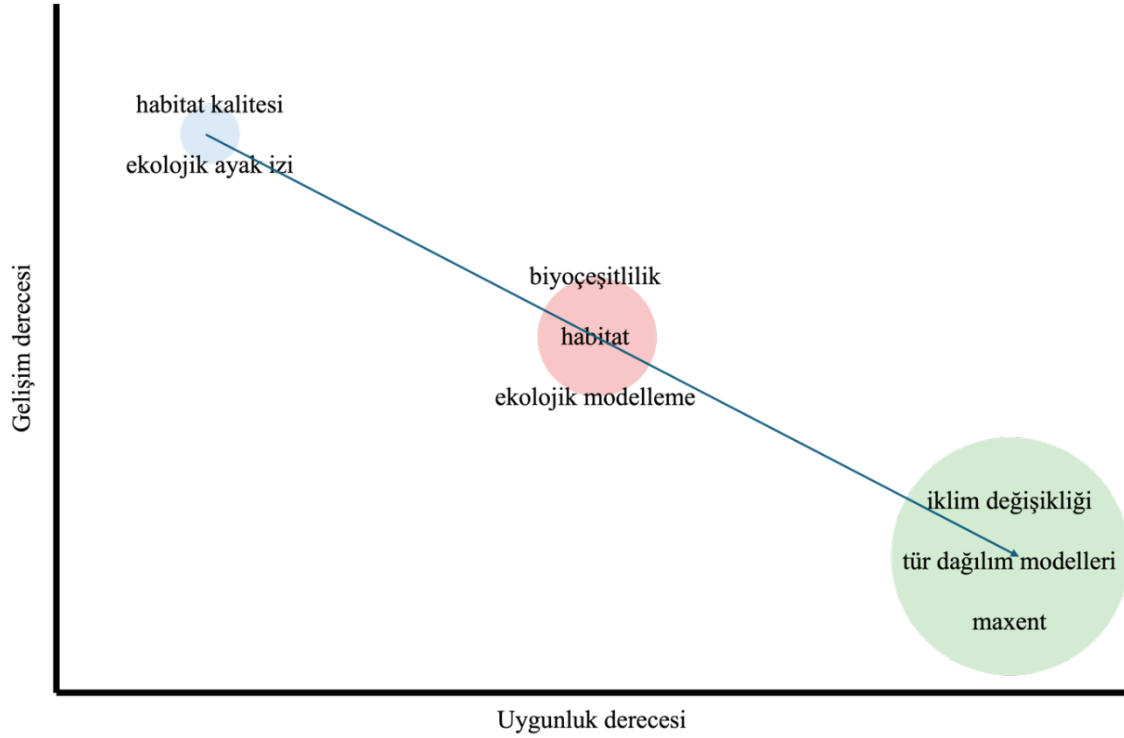
Çalışma alanları üzerinden TDM'lerin nasıl bir trend takip ettiğinin belirlenebilmesi için anahtar kelimeler dikkate alınmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yaygın olarak kullanılan anahtar kelimeler belirlenmiştir. Buna göre belirlenen en yaygın 50 anahtar kelime ve frekansları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. En yaygın kullanılan 50 anahtar kelime ve frekans değerleri.

| Anahtar kelime | Frekans | Anahtar kelime | Frekans |
|--|---------|---|---------|
| species distribution model (tür dağılım modeli) | 2845 | dispersal (yayılma) | 259 |
| climate change (iklim değişikliği) | 2263 | biological invasion (biyolojik istila) | 257 |
| species distribution modeling (tür dağılım modellemesi) | 1735 | distribution (dağılım) | 250 |
| maxent (maxent) | 1446 | ecological risk assessment (ekolojik risk değerlendirmesi) | 241 |
| ecological niche modeling (ekolojik niş modellemesi) | 1033 | habitat quality (habitat kalitesi) | 234 |
| conservation (koruma) | 735 | potential distribution (potansiyel dağılım) | 233 |
| ecological modeling (ekolojik modelleme) | 684 | conservation planning (koruma planlama) | 230 |
| habitat suitability (habitat uygunluğu) | 667 | habitat model (habitat modeli) | 225 |
| ecological niche model | 657 | habitat loss | 224 |

Yukarıda yer alan birliktelik ağından görüldüğü üzere beklenen şekilde yaygın kelimeler genellikle birlikte kullanılmıştır. Özellikle de “maxent” ve “climate change” anahtar kelimeleri çoğunlukla diğer anahtar kelimeler ile beraber tercih edilmiştir. Makalenin ilerleyen aşamalarında anahtar kelimelerin zaman içerisinde yönelik sunulan bulgular maxent ve climate change anahtar kelimeleri için elde edilen bu sonuçlara da yanıt sunmuştur.

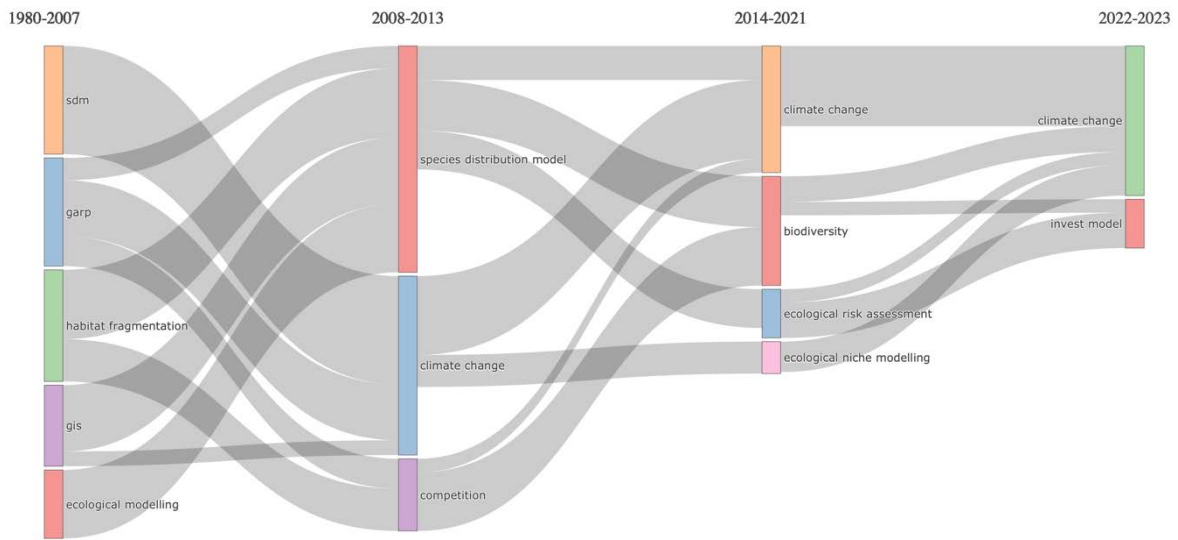
Çalışmaların genel yapısının çerçevesini belirleyebilmek amacıyla benzer şekilde anahtar kelimelerden faydalanılmıştır. Bu amaçla da tematik harita üretilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Anahtar kelimelere yönelik tematik harita.

Tematik haritada kümelerin boyutu belge sayısı, alıntı sayısı gibi ölçümlerle belirlenmektedir. Diğer yandan birbirlerine olan yakınlıkları temaların aralarındaki ilişkiler ve görece önemleri hakkında bilgiler vermektedir. Grafikte uygunluk derecesi olarak tanımlanan X eksenini genellikle bir temanın ilgili araştırma alanındaki önemini veya etkisini gösterir. Daha yüksek bir uygunluk derecesi, o temanın alan içinde daha merkezi veya etkili olduğunu göstermektedir. Y eksenini olan gelişim derecesi ise bir temanın olgunluk veya gelişim aşamasını gösterir. Yüksek bir gelişim derecesi, o temanın daha yerleşik olduğunu ve iyi tanımlanmış bir yapı ile geniş bir literatüre sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 5 incelendiğinde mavi ok ile de gösterildiği üzere sol üst çeyrekte sağ alt çeyreğe gittikçe kümelerin boyutu büyümektedir. Dolayısıyla iklim değişikliği, tür dağılım modelleri ve maxent anahtar kelimelerinin yükselen araştırma alanları olduğu anlaşılmaktadır. Diğer

yandan sol üç çeyrekte yer alan anahtar kelimelere göre habitat kalitesi ve ekolojik ayak izi kavramlarının ise iyi gelişmiş ancak alan içinde o kadar merkezi olmayan veya etkili olmayan konuları temsil ettiği anlaşılmaktadır. Grafikte merkezi olarak konumlanan biyolojik çeşitlilik, habitat ve ekolojik modelleme kavramlarının ise TDM çalışmalarının genel trendi içerisinde yaygın olarak ele alınan kavramları temsil ettikleri tespit edilmiştir. TDM çalışmalarının genel trendini ortaya koyan çalışmaların anahtar kelimelere göre nasıl bir evrim geçirdiğini ortaya koyabilmek için eşik olarak farklı yıllar belirlenip anahtar kelimelerin tercih edilme sıklıkları analiz edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Anahtar kelimelere göre yıllar itibarıyla tematik evrim.

Yukarıdaki şekilde 1980-2007, 2008-2013, 2014-2021 ve 2022-2023 aralıklarında anahtar kelimelerin kullanımına göre DM çalışmalarının genel temasının değişimi yer almaktadır. Ayrım noktası seçilen yıllar belirlenirken Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) dördüncü (AR4), beşinci (AR5) ve altıncı (AR6) değerlendirme raporlarını yayınladığı yıllar tercih edilmiştir. IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) değerlendirme raporları, küresel iklim değişikliğinin bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik yönlerini özetleyen ve değerlendiren kapsamlı çalışmalardır. AR4, iklim değişikliğinin kesinliği konusunda güçlü bir bilimsel konsensüs sağlamıştır. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artışının büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklandığını vurguladı. Yine bu raporda küresel ısınmanın çoğunlukla insan faaliyetlerinden kaynaklandığı %90 kesinlikle belirtilerek, iklim değişikliğinin etkileri ve gelecekteki riskler konusunda geniş bir perspektif sunulmuştur. Ayrıca iklim değişikliği konusunda acil eylem çağrısı yapılmış ve deniz seviyesindeki yükselme, sıcaklık artışları ve ekstrem hava olayları gibi somut etkiler vurgulanmıştır (Solomon ve ark., 2007; Özdemir, 2020a; Özdemir,

2020b). AR5, iklim değişikliğinin daha detaylı ve sofistike modellerle incelendiği bir rapordur. Bu rapor, iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini daha derinlemesine ele almıştır. Bu raporda küresel ısınmanın büyük bir kısmının insan faaliyetlerinden kaynaklandığı %95 kesinlikle belirtilmiştir. İklim sisteminin fiziksel bilim temeli, etkileri, uyum ve azaltım stratejileri gibi konularda detaylı analizler sunulurken, ısınmayı 2°C'nin altında tutma hedefi konusundaki tartışmalar güçlenmiştir. Ayrıca, iklim değişikliğinin ekonomi, sağlık ve sosyal yapılar üzerindeki etkilerine de geniş yer verilmiştir (Hajima v ark., 2014; Özdemir, 2020a; Özdemir, 2020b). Son rapor olan AR6, daha güncel bilimsel verileri ve modelleri kullanarak, iklim değişikliğinin mevcut durumunu ve gelecekteki projeksiyonlarını sunmuştur. Rapor, önceki raporlardan daha güçlü bir şekilde insan etkisini ve iklim değişikliğinin acil doğasını vurgulamaktadır. Raporda küresel ısınmanın 1.5°C'nin altında tutulmasının önemine dikkat çekilmiştir. Diğer yandan sera gazı emisyonlarının hızla azaltılmaması durumunda, iklim değişikliğinin daha ciddi ve geri dönülmez etkiler yaratacağı vurgulanmıştır. Ayrıca 1.5°C ve 2°C sınırlarının aşılmasının önlenmesi için gereken politik ve ekonomik değişiklikler, iklim değişikliğine uyum sağlama ve dirençli altyapılar geliştirme konuları daha fazla ön plana çıkarılarak, biyoçeşitlilik kaybı ve sosyal eşitsizliklerle ilişkili riskler ele alınmıştır (Özdemir, 2020a; Özdemir, 2020b; Pirani ve ark., 2024).

Buna göre 2007 öncesi sdm, garp, habitat fragmentation, gis ve ecological modelling anahtar kelimelerinin genel temayı temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Genel temanın 2000-2013 yılları arasında ise species distribution model, climate change ve competition anahtar kelimelerine evrildiği tespit edilmiştir. Bu noktada iklim değişikliği kavramının gündem olması AR4 ile beraber konunun önemini vurgulanmasından kaynaklanmaktadır. Bir sonraki ayırım noktası olan AR5 ile beraber biyolojik çeşitlilik, ekolojik risk değerlendirmesi ve ekolojik niş modellemesi kavramlarının ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Son ayırım noktası olan AR6 ile beraber iklim değişikliğinin gündemini koruduğu, bunun yanı sıra InVEST model kavramının popüler olmaya başladığı görülmüştür. InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) modeli, doğal ekosistemlerin sunduğu hizmetlerin (ekosistem hizmetleri) ekonomik, sosyal, ve çevresel değerlerini belirlemek ve analiz etmek için kullanılan bir yazılım aracıdır. Stanford Üniversitesi'ne bağlı Doğal Sermaye Projesi (Natural Capital Project) tarafından geliştirilmiştir (Sharp ve ark., 2016). InVEST modeli, çeşitli ekosistem hizmetlerinin değerlerini hesaplamak için coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve modelleme tekniklerini kullanmaktadır. Bu model, karar vericilerin arazi kullanımını, koruma planlamasını ve sürdürülebilirlik politikalarıyla ilgili daha bilinçli seçimler yapmalarına yardımcı olabilmektedir. InVEST, su kalitesi, karbon depolama, toprak

erozyonu kontrolü, biyolojik çeşitlilik, turizm gibi ekosistem hizmetlerini değerlendirebilen birçok modüle sahiptir. Model, farklı senaryoları karşılaştırarak ekosistem hizmetlerinin nasıl değişeceğini ve bu değişimlerin insan refahı üzerindeki potansiyel etkilerini tahmin etmeye olanak tanır. Bu ise, politika yapıcıların doğal kaynakların korunması ve yönetimi konusunda daha sürdürülebilir kararlar almasına yardımcı olabilmektedir (Sharp ve ark., 2016, Galdino ve ark., 2023).

4. Sonuçlar

Tür dağılım modelleri, türlerin konumu (bolluk, oluşum) verilerine ve tür dağılımlarını sınırlayan çevresel değişkenlerin ölçümlerine dayanan, türlerin çevre ilişkilerinin istatistiksel modelleridir ve mekansal tahminler yapmak için kullanılırlar. TDM'ler geniş bir ölçek aralığında deniz, kara ve tatlı su türleri için geliştirilmiştir. Yayınlanmış yüzlerce TDM çalışması vardır ve sayıları giderek artmaktadır. Yakın zamana kadar bu çalışmalar genellikle modelleme yöntemleri ve model değerlendirmesinin teknik konularını kapsamaktaydı. Bu amaca yönelik olarak üretilmiş yahut farklı amaçlar için üretilip doğa bilimleri içerisinde kendine yer edinmiş çok sayıda TDM yaklaşımı bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar çevresel değerlendirme, tahmin ve makro ekolojideki sorunlara çözüm sunma gibi farklı uygulama alanları sunmaktadır. Diğer yandan TDM'ler biyolojik çeşitliliğin değerlendirilmesi, korunması ve planlaması için de güçlü bir araçtır. TDM'ler ile bir sonuç ortaya koyma süreci veri toplama (bağımlı değişkenin üretilmesi), altlıkların (bağımsız değişkenlerin) elde edilmesi, modelleme ve simülasyon (haritalama) olmak üzere 4 temel aşamadan oluşmaktadır. Bu ana süreçlerin kendi içerisinde hedef türün veya türlerin tespit edilmesi, çevresel sınırlayıcıların belirlenmesi, örneklem büyüklüğünün belirlenmesi, örneklem yanlılığının gözetilmesi, yöntem seçimi, sonuçların istatistiksel ve uzman görüşü açısından değerlendirilmesi gibi birçok alt başlıktan oluşmaktadır. Bu ana ve alt başlıklar modelleme süreçlerinde çeşitli bilinmezlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu bilinmezlere yanıt arama süreci ise farklı TDM yaklaşımlarının geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Bu sebepler ile TDM'lerin doğa bilimlerindeki popülaritesinin her geçen gün artacağı, neticede de bu sürecin yeni yöntemlerin geliştirilmesiyle sonuçlanacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Acarer, A. (2024). Role of Climate Change on Oriental Spruce (*Picea orientalis* L.): Modeling and Mapping. *BioResources*, 19(2), 3845-3856.
- Acarer, A., & Mert, A. (2024). 21st Century Climate Change Threatens on the Brown Bear. *Cerne*, 30, e-103305.
- Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017) bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, 11(4), pp 959-975, Elsevier.
- Beram, A. (2024). Bibliometric Analysis of Academic Studies on Particleboard. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 20(1), 395-412.
- Berk, Ş., Özdemir, S., & Pektaş, A. N. (2024). Visualization of scientific production in *Caenorhabditis elegans*: a bibliometric analysis (1980–2023). *Genomics and Informatics*, 22(1), 1-15.
- Chala, D., Roos, C., Svenning, J. C., & Zinner, D. (2019). Species-specific effects of climate change on the distribution of suitable baboon habitats—Ecological niche modeling of current and Last Glacial Maximum conditions. *Journal of Human Evolution*, 132, 215-226.
- Çıvğa, A. (2023). Sütçüler Kekliği (*Origanum minutiflorum*) Potansiyel Dağılım Modellemesi. *21. Yüzyılda Fen ve Teknik*, 10(19), 1-8.
- Çıvğa, A., Özdemir, S., & Gülsoy, S. (2024). Prediction of potential geographic distribution of *Capparis spinosa*. *Biological Diversity and Conservation*, 17(3), 206-215.
- Darwin, C. (1859). *The origin of species by means of natural selection*. London: Murray. Reedited by E Mayr.
- Engler, R. & Guisan, A. (2009). MigClim: predicting plant distribution and dispersal in a changing climate. *Diversity and distributions*, 15(4), 590-601.
- Ertuğrul, E. T., Mert, A., & Oğurlu, İ. (2017). Burdur Gölü Havzasında bazı yaban hayvanlarının habitat uygunluk haritalaması. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 18(2), 149-154.
- Galdini, S., Silva, R., Zolin, C., Tosto, S., Quartaroli, C., Pereira, L., & Gomes, M. (2023). *InVEST-Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2-3), 147-186.

- Hajima, T., Kawamiya, M., Watanabe, M., Kato, E., Tachiiri, K., Sugiyama, M., & Ito, A. (2014). Modeling in Earth system science up to and beyond IPCC AR5. *Progress in Earth and Planetary Science*, 1, 1-25.
- Keith, D. A., Elith, J., & Simpson, C. C. (2014). Predicting distribution changes of a mire ecosystem under future climates. *Diversity and Distributions*, 20(4), 440-454.
- Özdemir, S. (2022). 'Batı Akdeniz'de iklim değişimine göre asli orman ağacı türlerinin dağılım modellemesi'. Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Özdemir, S. (2024). Testing the Effect of Resolution on Species Distribution Models Using Two Invasive Species. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(2), 1325-1335.
- Özdemir, S., Gülsoy, S., & Mert, A. (2020a). Predicting the effect of climate change on the potential distribution of Crimean Juniper. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 20(2), 133-142.
- Özdemir, S., Özkan, K., & Mert, A. (2020b). An ecological perspective on climate change scenarios. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3), 361-371.
- Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., & Stockwell, D. R. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416(6881), 626-629.
- R Core Team (2021). *RA language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/>.
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., & Douglass, J. (2016). Invest.-Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. *Project, TNC; University, S.; Minnesota, U. o.*
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., & Miller, H. (2007). IPCC fourth assessment report (AR4). *Climate change*, 374.
- Spalding, V.M. (1890). The distribution of plants. *The American Naturalist*, 24(285), 819-831.
- Thuiller, W. (2004). Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global change biology*, 10(12), 2020-2027.
- Valavi, R., Elith, J., Lahoz-Monfort, J. J., & Guillera-Arroita, G. (2021). Modelling species presence-only data with random forests. *Ecography*, 44(12), 1731-1742.
- Von Humboldt, A. (1814) *Essay on the geography of plants*. Chicago: Foundations of biogeography: classic papers with commentaries. University of Chicago Press.

- Zaniewski, A. E., Lehmann, A., & Overton, J. M. (2002). Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological modelling*, *157*(2-3), 261-280.
- Zenbilci, M., Özdemir, S., Çıvğa, A., Ünal, Y., & Oğurlu, İ. (2024). Habitat suitability modeling of wild goat (*Capra aegagrus* Erxleben, 1777) in different periods. *Şumarski list*, *148*(5-6), 273-284.