

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



MAKSİMUM ENTROPİ MODELİ İLE CBS KULLANILARAK
***Formica rufa* YUVALARININ POTANSİYEL DAĞILIMININ**
BELİRLENMESİ

EDA ÜNEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOÇ. DR. GONCA ECE ÖZCAN

HAZİRAN - 2024

KASTAMONU

TEZ ONAYI

Eda ÜNEL tarafından hazırlanan “MAKSİMUM ENTROPİ MODELİ İLE CBS KULLANILARAK *Formica rufa* YUVALARININ POTANSİYEL DAĞILIMININ BELİRLENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **27.06.2024** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Gonca Ece ÖZKAN Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü	Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ	
----------------	-----------------------	-------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Eda ÜNEL

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKSİMUM ENTROPİ MODELİ İLE CBS KULLANILARAK *Formica rufa* YUVALARININ POTANSİYEL DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

EDA ÜNEL

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:DOÇ. DR. GONCA ECE ÖZCAN

Bu çalışma; Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü ormanlarında 2022-2023 yıllarında yürütülmüş ve çalışma alanında toplam 267 *Formica rufa* yuvası tespit edilmiştir. *Formica rufa*'ların habitat tercihleri meşcere, topoğrafik ve iklim değişkenlerine göre değerlendirilmiştir. Aynı ayrı değerlendirildiğinde yuvaların 3 kapalı meşcereleri, orta bonitetleri, gölgeli bakırları, normal kapalı meşcereleri, 1800 m'ye kadar olan yükseltileri, düşük eğimli alanları, düşük sıcaklıklara sahip, 48 mm'den daha düşük yağış alan ve yüksek solar radyasyona sahip meşcereleri daha fazla tercih ettiği belirlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca *Formica rufa*'lar için potansiyel uygun alanların seçimi Maksimum Entropi (MaxEnt) yaklaşımı ile 30 farklı değişken kullanılarak modellenmiş ve habitat uygunluk haritası oluşturulmuştur. Modelin doğruluğu alıcı çalışma karakteristiği (ROC, Receiver Operating Characteristic) analizi ile değerlendirilmiş eğitim verilerinde eğrinin altındaki alan (AUC, Area Under Curve) 0.941; test verilerinde ise 0,946 olarak hesaplanmıştır. *Formica rufa*'ların potansiyel uygun alanların belirlenmesinde modele en çok katkı sağlayan değişken gelişim çağıdır ve bu değişken modelin %39,5'ini oluşturmaktadır. Bunun yanında gelişim çağı, nitelik ve En kurak ilk üç ayın yağış miktarı (BIO7) değişkenleri modelin %75,1'ini oluşturmaktadır. Habitat uygunluk haritasına göre arazi çalışması sonucunda tespit edilen *F. rufa* yuvalarının %79'u uygun ve çok uygun alanlarda yer almaktadır. Kuzey yarımküre ormanlarında yaygın olarak bulunan ve orman ekosistemleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan *Formica rufa* grubu aynı zamanda orman ekosistemlerinde en dikkat çeken biyoindikatör türlerdir. Bu türlerin habitat seçiminde etkili olan değişkenlerin ortaya koyulması bu türlerin korunması ve yönetilmesi açısından önemlidir.

ANAHTAR KELİMELE:*Formica rufa*, habitat uygunluk haritası, MaxEnt, ROC analizi

Haziran 2024, 53 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINING THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF *Formica rufa* NESTS USING GIS WITH MAXIMUM ENTROPY MODEL

EDA ÜNEL

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING
SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. GONCA ECE ÖZKAN

This study was carried out in the forests of Kastamonu Regional Directorate of Forestry, Kastamonu Forest Enterprise, in 2022-2023, and a total of 267 *Formica rufa* nests were determined in the study area. Habitat preferences of *F. rufa* were evaluated according to stand, topographic and climate variables. When the variables were assessed separately, the nests preferred full coverage stands, medium site index, shady aspects, productive stands, altitudes up to 1800 m, low slope area, low temperatures, precipitation lower than 48 mm, and high solar radiation stands. Also, in this study, suitable habitat selection for *F. rufa* was modeled using 30 different variables with the Maximum Entropy (MaxEnt) approach, and a habitat suitability map was created. The model's accuracy was evaluated by Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis, and the Area Under Curve (AUC) was calculated as 0.941 in the training data and 0.946 in the test data. The most contributing variable to the model in the habitat selection of *F. rufa* is the development stage, constituting 39.5% of the model. In addition, the development stage, productivity, and precipitation of the driest quarter (BIO7) variables constitute 75.1% of the model. According to the habitat suitability map, 79% of the *F. rufa* nests identified as a result of field work are located in suitable and very suitable areas. *F. rufa* group, which is widely found in the forests of the northern hemisphere and has a significant impact on forest ecosystems, is also the most remarkable bioindicator species in forest ecosystems. Revealing the variables that affect the habitat selection of these species is essential for the protection and management of these species.

KEYWORDS:*Formica rufa*, habitat suitability map, MaxEnt, ROC analysis

June 2024, 53 Page

TEŞEKKÜR

Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Lisansüstü programı kapsamında ‘Maksimum Entropi Modeli ile CBS Kullanılarak *Formica rufa* Yuvalarının Potansiyel Dağılımının Belirlenmesi’ çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans çalışmamın danışmanlığını üstlenerek değerli vaktini ayırıp, bilimsel desteğini sunan; tezimin başlangıç aşamasından son aşamasına kadar her kademesinde bana yol gösterici olan değerli ve kıymetli hocam Doç. Dr. Gonca Ece ÖZCAN’a teşekkür eder saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince bilimsel yaklaşımı ile *Formica rufa* yuvalarının haritalandırılması aşamasındaki katkılarıyla tezime yön vererek desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA hocama ayrıca şükranlarımı sunarım.

Çalışma konusu alanı itibari ile ev sahipliğini üstlenen benimde mensubu olduğum Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğünde görev yapan ve çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen her kademedeki ekip arkadaşlarıma; tez çalışmamda olduğu gibi desteklerini her zaman hissettiğim Kastamonu Orman İşletme Şefliği Ekibime ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak tez çalışma sürecimin yanı sıra tüm yaşamım boyunca bana güvenen aileme; bana her zaman benim yanımda olduğunu hissettiren kıymetli ve çok sevdiğim eşime ve daha dünyaya gelmeden varlığı ile motivasyon ve gücümü artıran sevgili kızım Dünya’ ya gönülden teşekkür ederim.

Eda ÜNEL

Kastamonu, 2024

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL YÖNTEM.....	7
2.1 Çalışma Alanı.....	7
2.2 Verilerin Toplanması	8
2.3 Değişkenlerin Belirlenmesi.....	9
2.4 Maximum Entropi (MaxEnt) ve Habitat Uygunluk Haritası	11
3. BULGULAR	14
3.1 <i>Formica rufa</i> 'ların Habitat Seçiminde Etkili Olan Bazı Meşcere Topografik ve İklim Değişkenlerine Ait Bulgular	14
3.2 <i>Formica rufa</i> 'lar İçin Potansiyel Uygun Alanların Maksimum Entropi (MaxEnt) İle Modellenmesi	28
4. TARTIŞMA	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Çalışma alanı.....	7
Şekil 2.2 Arazi çalışmalarında tespit edilen <i>Formica rufa</i> yuvalarından örnekler	9
Şekil 2.3 Akış diyagramı.....	13
Şekil 3.1 <i>Formica rufa</i> yuvalarının meşcere karışımına göre dağılımı	15
Şekil 3.2 <i>Formica rufa</i> yuvalarının meşcere kapalılığına göre dağılımı	16
Şekil 3.3 <i>Formica rufa</i> yuvalarının meşcere gelişim çağlarına göre dağılımı	17
Şekil 3.4 <i>Formica rufa</i> yuvalarının meşcere niteliğine göre dağılımı	18
Şekil 3.5 <i>Formica rufa</i> yuvalarının yetiştirme ortamı verim gücüne göre dağılımı.....	19
Şekil 3.6 <i>Formica rufa</i> yuvalarının bakıya göre dağılımı.....	21
Şekil 3.7 <i>Formica rufa</i> yuvalarının eğime göre dağılımı.....	22
Şekil 3.8 <i>Formica rufa</i> yuvalarının yükseltiye göre dağılımı	23
Şekil 3.9 <i>Formica rufa</i> yuvalarının sıcaklığa göre dağılımı	24
Şekil 3.10 <i>Formica rufa</i> yuvalarının yağışa göre dağılımı	25
Şekil 3.11 <i>Formica rufa</i> yuvalarının solar radyasyona göre dağılımı	26
Şekil 3.12 <i>Formica rufa</i> için habitat uygunluk modellemesinin ROC eğrisi	29
Şekil 3.13 MaxEnt modeli için sekiz değişkene göre Jackknife sonuçları	30
Şekil 3.14 <i>Formica rufa</i> habitat uygunluk haritası	31

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Çalışmada kullanılan meşcere, topoğrafik, iklim ve biyoklimatik değişkenler	10
Tablo 3.1 <i>Formica rufa</i> yuvalarının meşcere, topoğrafik ve iklim değişkenlerine göre dağılımları	27
Tablo 3.2 Belirlenen değişkenlerin modele olan katkı oranları ve önem yüzdeleri	28
Tablo 3.3 <i>Formica rufa</i> habitat uygunluk haritasının alansal ve sayısal dağılımı	30



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

m	: Metre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
pH	: Hidrojen iyon konsantrasyonunun negatif logaritması
Ha	: Hektar
°C	: Santgrad Derece
%	: Yüzde
d_{1.30}	: Göğüs yüzeyi yüksekliği
WH/m²	: Solar Radyasyon

Kısaltmalar

AUC	: Area Under Curve
B	: Bonitet
BIO1	: Yıllık Ortalama Sıcaklık
BIO2	: Günlük Ortalama Değişim Aralığı
BIO3	: İzotermalite
BIO4	: Mevsimsel Sıcaklık
BIO5	: En sıcak ayın maksimum sıcaklığı
BIO6	: En soğuk ayın minimum sıcaklığı
BIO7	: Yıllık Sıcaklık Değişim Aralığı
BIO8	: En nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO9	: En kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO10	: En sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO11	: En soğuk ilk üç ayın ortalama sıcaklığı
BIO12	: Yıllık yağış miktarı
BIO13	: En nemli ayın yağış miktarı
BIO14	: En kurak ayın yağış miktarı
BIO15	: Mevsimsel yağış miktarı
BIO16	: En nemli ilk üç ayın yağış miktarı
BIO17	: En kurak ilk üç ayın yağış miktarı
BIO18	: En sıcak ilk üç ayın yağış miktarı
BIO19	: En soğuk ilk üç ayın yağış miktarı
BK	: Bakı
<i>B.nigrita</i>	: <i>Brachyponera nigrita</i>
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
EG	: Eğim
<i>F.rufa</i>	: <i>Formica Rufa</i>
<i>F.policitena</i>	: <i>Formica policitena</i>
<i>F.aquilonia</i>	: <i>Formica aquilonia</i>

<i>F.pratensis</i>	: <i>Formica pratensis</i>
<i>F. logubris</i>	: <i>Formica logubris</i>
GPS	: Global Positioning System
GÇ	: Gelişim Çağı
<i>I.sexdentatus</i>	: <i>Ips sexdentatus</i>
KR	: Karışım
KP	: Kapalılık
MaxEnd	: Maksimum Entropi
<i>M. turrifex</i>	: <i>Mycetomoellerius turrifex</i>
N	: Nitelik
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği
<i>P.curvidens</i>	: <i>Pityokteines curvidens</i>
R	: Pearson Korelasyon kat sayısı
ROC	: Receiver Operating Characteris
S	: Sıcaklık
SR	: Solar Radyasyon
<i>T. arizonensis</i>	: <i>Trachymyrmex arizonensis</i>
<i>T. carinatus</i>	: <i>Trachymyrmex carinatus</i>
<i>T. smithi</i>	: <i>Tetramorium smithi</i>
<i>T. desertorum</i>	: <i>Trachymyrmex desertorum</i>
Y	: Yağış
YK	: Yükselti

1. GİRİŞ

Coğrafi olarak yaygın bir takson olan (Hölldobler ve Wilson 1990) karıncalar (Hymenoptera, Formicidae) yeryüzünde en yaygın görülen hayvanlardandır ve kutuplardan çöllere, yağmur ormanlarına kadar hemen hemen tüm ekosistemlerde yaşayabilirler (Jurgensen vd., 2008). Tüm karıncalar sosyal hayvanlar olup genellikle çok sayıda koloni oluşturma eğilimindedirler ve yaşadıkları karasal habitatta toprak mezofaunasında sayısal olarak baskındırlar (Hölldobler ve Wilson, 1990). Ekolojik açıdan baskın olan bu karıncalar, ormanlarındaki ekosistem işleyişi, madde ve enerji akışı için temel unsurlardır (Frouz vd., 2016). Sayıları oldukça çok olan karıncalar çeşitli yiyecek türleri ile beslendikleri için ormanların sağlık durumuna olumlu katkıları bulunurlar (Chiliński vd., 2018). Karıncalar sayı olarak oldukça çokturlar, hemen her ortamda bulunabilirler, hayatta kalma ve yiyecek arama faaliyetlerini etkilediklerinden sıcaklık ve nemdeki değişikliklere karşı çok hassastırlar (Agost ve Alonso, 2000).

Formica grubu karıncalar ise önemli anahtar türlerdir (Frouz vd., 2016; Robinson vd., 2016). Avrupa, Asya ve Kuzey Afrika'yı içine alan Palaearktik Bölge'nin ılıman kuşağındaki ormanlarda baskın türler olan (Seifert, 2018) Formica alt cinsine ait olan *Formica rufa* (Formica., Hymenoptera: Formicidae) (Linnaeus, 1761) (Kırmızı orman karıncaları) grubu kuzey yarımküre ormanlarında yaygın olarak bulunurlar (Çakır, 2019) ve farklı orman tiplerinde yaşayabilirler (Rubashko vd., 2011). Frouz vd (1997) Avrupa'daki ılıman ve dağlık ormanlarda yaptıkları çalışmada karıncaların besin döngüsünde önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Bu türler, yaşadıkları habitatlar üzerinde güçlü bir ekolojik etkiye sahiptir (Berberich vd., 2022; Frizzi vd., 2022) ve önemli ekolojik kilit taşı türleridir (Frouz ve Jílková 2008).

Formica rufa grubu, morfolojik olarak benzer olan *Formica rufa*, *Formica polycтена*, *Formica pratensis*, *Formica aquilonia*, *Formica luyubris* ve *Formica paralugubris*'si içeren altı karınca türünü içermekte ve orman karıncaları olarak tanımlanmaktadır (Goropashnaya vd., 2004). *Formica aquilonia* Yarrow 1955, *Formica dusmeti* Emery 1909, *Formica frontalis* Santschi 1919, *Formica helvetica* Seifert 2021, *Formica*

lugubris Zetterstedt 1838, *Formica paralugubris* Seifert 1996, *Formica polyctena* Foerster 1850, *Formica pratensis* Retzius 1783, *Formica rufa* L. 1761 ve *Formica truncorum* F. 1804 olmak üzere Avrupa’da on türü bulunmaktadır (Castellucci vd., 2022). Morfolojik benzerliğe rağmen, *F. rufa* grubu türleri farklı türde sosyal organizasyonlara sahiptir. *F. polyctena*, *F. aquilonia* ve *F. paralugubris*, genellikle birbirine bağlı yuvalardan oluşan geniş ağlar oluşturan, çok eşli türlerdir (Chapuisat vd., 1997). *F. rufa* ve *F. pratensis* çoğunlukla tek eşlidir, ancak her iki tür için de çokeşli yuvalar kaydedilmiştir (Kutter, 1977). *F. lugubris*, Britanya Adaları’nda ve İsviçre’de çokeşli, İrlanda’da çoğunlukla tekeşlidir (Crozier ve Pamilo, 1996).

Kırmızı orman karıncaları, ağaçlandırma alanları da dahil olmak üzere tüm orman ekosistemlerinin önemli bir bileşenidir (Jílková vd., 2011) ve bulundukları ekosistemde benzer etkilere sahiptirler (Çakır, 2019). Omnivordur ve orman üst toprağının yanı sıra ağaçlarda da avlanırlar (Lenoir, 2003). Bu grubun türleri besin zincirinde üst sıralarda yer alan yırtıcılardır ve ekosistem süreçlerini etkiledikleri bilindiğinden ekolojik açıdan önemlidir (Domisch vd., 2016; Frouz vd., 2016; Robinson vd., 2016). Ormanların sağlığı açısından korunmaları oldukça önemlidir (Trigos-Peral vd., 2021).

Sosyal böceklerin yuvaları dış ortama kıyasla daha az mikroklimatik dalgalanmalar içerir ve farklı kaynaklardan gelen bol miktarda besin bulundurdıklarından, diğer eklembacaklılar için potansiyel olarak avantajlı bir mikro habitatı temsil ederler (Parmentier vd., 2020). Sosyal böceklerden olan bu karıncaların da en dikkat çekici özelliklerinden biri kurdukları büyük yuvalardır (Frizzi vd., 2022). Büyük ve göze çarpan yuvalar oluşturan (Rubashko vd., 2011) kırmızı orman karıncaları, orman ekosistemlerinde özel bir ekolojik konuma sahiptir (Maresch ve Schreiber, 2023). Karıncalar, türlere bağlı olarak farklı şekilde yuvalar inşa eder. Toprak yuvalar ve yer üstü kısmı olan yuvalar olmak üzere iki ana yuva tipi bulunmaktadır. Toprak yuvaları genellikle krater şeklindedir ve boyutları küçüktür (Folgarait 1998; Frouz ve Jílková 2008; Goryunov 2015). Diğer tür yuvalar ise höyük şeklinde hem topraktan hem de organik malzemeden yapılmış, yer üstü eliptik şekilli büyük bir kısımdan oluşurlar (Folgarait 1998; Jurgensen vd., 2008). Tek tek yuvalar oluşturabilecekleri gibi yüzlerce karınca yuvasından oluşan yuva kolonileri kurabilirler. Yuva kolonileri,

bireysel yuvalara göre olumsuz etkenlere karşı daha dayanıklıdır (Zakharov, 2015). Uzun ömürlü canlılardır ve yuvalarında bulunan birey sayısı oldukça fazladır (Domisch vd, 2005). Karıncalar yuvalarını kurmak için toprak parçacıkları, küçük çakıl taşları, ince dallar, reçine ve ibreler gibi çok çeşitli malzemelerden yararlanırlar (Domisch vd., 2016; Risch vd., 2016). Reçine, yuvadaki potansiyel olarak patojenik bakteri ve mantarların büyümesini engeller (Kadochová ve Frouz, 2013). Yuva malzemenin bileşimi yuva hacminin tamamında aynı değildir. Karıncalar yuva yapısını gevşetirler ve organik madde sürekli olarak içeriden dış katmanlara taşınır (Coenen-Stass vd., 1980). Yuva yapısı ve mimarisi, yuva ısısının düzenlenmesinde hayati bir rol oynar. Karıncalar, arılar ve termitler gibi sosyal böcekler, yuva yapısı veya aktif havalandırma yoluyla yuvalarındaki sıcaklık-nem koşullarını ayarlayabilmektedir (Jones ve Oldroyd, 2006). Karıncaların oluşturduğu tüneller ve geçitler, esas olarak yuva sıcaklığını etkileyen havalandırma ve nem kontrolü açısından önemlidir (Castella vd., 2008).

Karınca yuvalarının fazlalığı ve yoğunluğu çevresel koşullar gibi doğal parametrelerin yanı sıra insan kaynaklı olumsuz etkiler, yırtıcı türler, diğer karınca türleri ile rekabet gibi faktörlerden etkilenmektedir (Jurgensen vd., 2005). Orman karıncalarının lokal olarak sayıları azalmaktadır (Risch vd., 2016). Öncelikle ulusal ve uluslararası düzenlemelerin orman karıncalarının korunmasında yetersiz kalması (Balzani vd., 2022), ekosistem üzerinde meydana gelen ormansızlaşma, ormanların parçalanması, orman yangınları, çevre kirliliği gibi insan kaynaklı faktörlerin olumsuz etkileri (Domisch vd., 2005), iklim değişikliğinin olası olumsuz etkileri (Fitzpatrick vd., 2021), rekreasyon alanlarına yakın olan karınca yuvalarının insanlar tarafından tahrip edilmesi (Stukalyuk vd., 2023), yuvalar büyük olduğu için açıkça görülebilmeleri ve karıncaların yiyecek arama yolları toprak yüzeyinde olduğu için kolaylıkla zarar görebilmeleri (Zakharov, 2015), yetersiz yönetim planlamaları ve habitat gereksinimleri hakkında bilgi eksikliğinin olması (Robinson vd., 2016) orman karıncalarının lokal olarak azalmasına neden olmaktadır.

Tüm kırmızı orman karınca türlerinin yırtıcı olmaları, bulundukları habitatlarda baskın olmaları ve bu habitatların fiziksel özelliklerini değiştirebilmeleri nedeniyle bitkilerden omurgalılara kadar yerel toplulukları etkileyebilmektedirler. Zararlı

böcekleri azaltmadaki rolleri önemlidir. Orman karıncaları, orman zararlılarının yönetiminde biyolojik kontrol ajanları olarak faydalı türlerdir (Frizzi vd., 2018; Pavan, 1979; Trigos-Peral vd., 2021). Kabuk böcekleri tarafından istila edilen ağaçların oranını azaltabilirler (Maňák vd., 2013; Sorvari, 2009; Trigos-Peral vd., 2021) bu nedenle, kabuk böceği saldırılarına eğilimli ormanlarda bulunan orman karıncalarının popülasyonunu korumak kabuk böceklerinin yayılmasını önlemek amacıyla tercih edilen bir uygulamadır (Véle ve Frouz, 2023).

Orman karıncaları çevre koşullarını değiştirerek bitki örtüsü dinamiklerini ve biyolojik çeşitliliği etkileyebilirler (Holec vd., 2023). Toprağın pH'ını ve besin içeriğini iyileştirirler (Jílková vd., 2011). Sosyal canlılar olan karıncaların oluşturduğu yuvalar çok çeşitli bitki türünün gelişimi için uygun mikro ortamlar oluştururlar (Berg-Binder ve Suarez, 2012). Bu türler çoğunlukla ağaç taçlarında veya yerde yakalanan omurgasızların parçalarını yerler (Lenoir, 2002; Sudd ve Lodhi, 1981), ancak aynı zamanda çeşitli bitki türlerinin tohumlarıyla da beslenirler. Karıncalar proteinler, lipitler ve karbonhidrat bakımından zengin tohumları tercih eder ve beslenme bir dereceye kadar tohumların yayılmasıyla sonuçlanır (Azcárate vd., 2005). Karıncaların çevresel değişikliklere hızlı ve hassas tepki vermesi, onların monitör organizma olarak kullanıldığını göstermektedir (Tiede vd., 2017). Biyoindikatörler, ekosistem sağlığını ve ekosistemde meydana gelen biyocoğrafik değişiklikleri değerlendirmek için kullanılan bitki, plankton, hayvan ve mikrop gibi canlı organizmalardır (Parmar vd., 2016). Biyoindikatörler sayesinde bir bölgenin doğal durumu veya kirlenme derecesini tahmin edilebilmektedir (Khatrı ve Tyagi, 2015). Karıncalar parçalanmış habitatlardaki ekosistem dengesinin izlenmesinde biyoindikatör olarak kullanılabilirler (Butin vd., 2010). Ayrıca, bulundukları habitatlarda çeşitli kirlilik türleri için iyi bir biyolojik gösterge grubudur (Kaspari ve Majer, 2000). Orman ekosistemlerinde en umut verici biyoindikatörlerden biri *Formica rufa* grubudur (Bernasconi vd., 2010).

Ormanların fonksiyonlarının iklim değişikliği ile olan etkileşimlerini anlayabilmek ve tahmin edebilmek için mikro iklimlerin ekolojik araştırmalara entegre edilmesi gerekmektedir (De Frenne vd., 2021). Uzaktan algılama teknikleri biyoçeşitlilik modelleri ve tahminlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Waltari vd.,

2014). Uzaktan algılamayla elde edilen görüntüler, dünya yüzeyinin, üzerindeki özelliklerin tanımlanmasına, konumlandırılmasına ve karakterize edilmesine olanak sağlamaktadır (Lechner vd., 2020). Doğal ve sosyal olaylar arasındaki karmaşık çevresel etkileşimlerin incelenmesinde önemli bir rol oynayan uzaktan algılama, ekosistem özelliklerini ve işlevlerini ölçmek, haritalamak ve ekosistem süreçlerini anlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Chopra vd., 2001, Chambers vd., 2007, Palacios-Orueta vd., 2012). Bu teknikler, istilacı türlerin haritalanması, arazi örtüsünde meydana gelen değişikliklerin izlenmesi, ormanların biyofiziksel ve biyokimyasal özelliklerinin tahmin edilmesi gibi farklı ormancılık disiplinlerine ilişkin uygulamalarda kullanılmaktadır (Lechner vd., 2020). Özellikle ekosistem durumunun değerlendirilmesinde uzaktan algılama teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Bulut vd., 2023; Bulut, 2023; Chiliński vd., 2018; de Araujo Barbosa vd., 2015; Klemas, 2011; Pasetto vd., 2018;). Biyoenformatik ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojilerindeki son gelişmeler, biyoçeşitlilik analizlerinde türlerin dağılımları ile ilgili, iklim temelli modellerin kullanımını büyük ölçüde kolaylaştırmıştır (Anderson 2012; Graham vd., 2004; Guralnick, Hill ve Lane 2007).

Tür Dağılım Modelleri ekolojik niş kavramına dayalı olarak oluşturulan istatistiksel-analitik algoritmalar (Franklin, 2009). Bu modeller mevcut olan tür kayıtları ile habitatın çevresel ve/veya mekansal özellikleri arasındaki ilişkiyi tahmin ederler (Franklin, 2009). Küçük veri tabanları ile karmaşık modeller oluşturabilen güncel modelleme tekniklerinden (Phillips ve Dudík, 2008) biri olan Maksimum entropi algoritması (MaxEnt) özellikle tür dağılımlarında ve habitat uygunluk modellenmesinde tercih edilen tahmine dayalı bir modellemedir (Cunze ve Tackenberg, 2015, González-Hernández vd., 2020). 2004 yılında kullanıma sunulmasından bu yana, tür dağılımlarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan MaxEnt, tür dağılımlarını yalnızca mevcut tür kayıtlarından modellemeye yönelik bir programdır (Elith vd., 2011) ve bu modelin tahmin performansı, en yüksek performanslı diğer yöntemlerle rekabet halindedir (Elith vd., 2006).

MaxEnt'te sürekli ve kategorik değişkenler olmak üzere iki tür çevresel değişken söz konusudur. Sürekli değişkenler rakım, yıllık yağış ve maksimum sıcaklık gibi ölçülen değerleri ifade eden gerçek değerlere sahip değişkenler, kategorik değişkenler ise

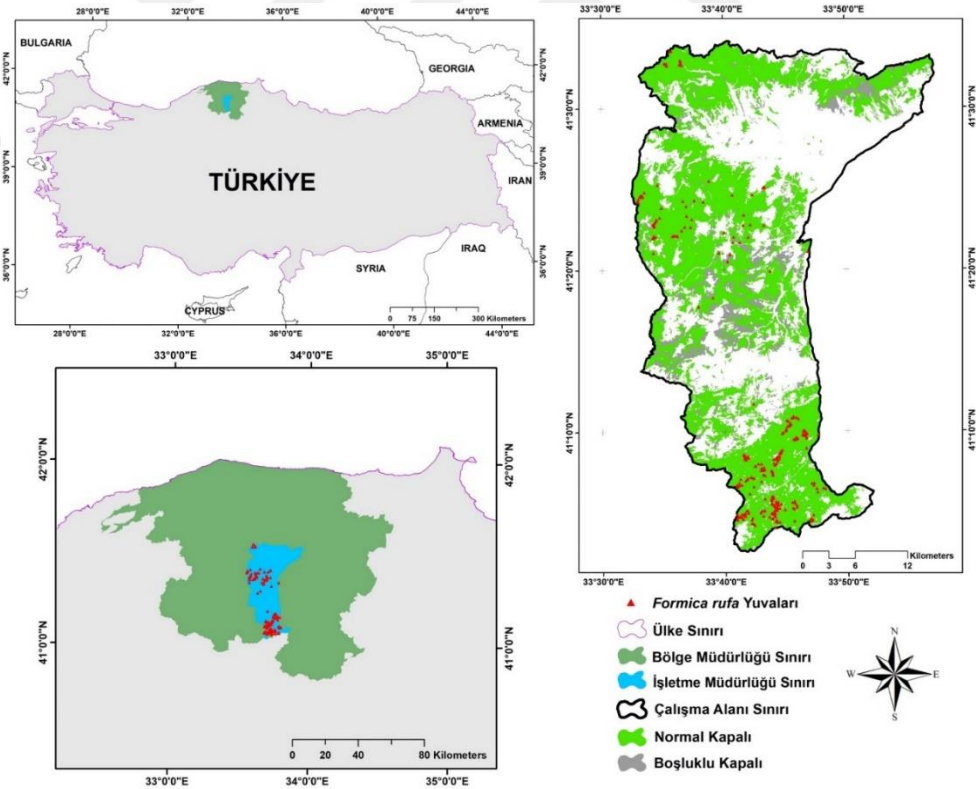
toprak türü veya bitki örtüsü türü gibi yalnızca sınırlı sayıda olan kategorik olarak belirlenmiş değişkenlerdir (Phillips ve Dudík, 2008). MaxEnt modellemesi farklı değişken türleri ile çalışabilmesi, az veri ile türlerin çevresel değişkenlerle olan ilişkilerini açıklayabilmesi, her bir çevresel tahmin değişkeninin beklenen değerinin kendi ampirik ortalamasına uyması koşuluyla, çalışma alanı için maksimuma yakın doğruluk seviyesinde dağılımı tahmin edebilmesi, sonuçları ile haritalar oluşturulmasını sağlaması, diğer yöntemlere göre daha iyi performans göstermesi bakımından tercih edilmektedir (Elith vd., 2006; Hernandez vd., 2006; Phillips vd., 2006).

Ekoloji ve koruma alanındaki planlamacılara yol gösterecek uygulamalar için türlerin coğrafi dağılımlarını belirleyen tahmine dayalı modeller önemlidir (Graham vd., 2004). Koruma, ekoloji ve biyocoğrafya alanlarında yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır (Sivrikaya vd., 2023; Tinoco vd., 2009; Verbruggen vd., 2009; Ward, 2007; Yates vd., 2010). Ancak Kırmızı orman karıncalarının MaxEnt ile tür dağılım çalışmaları oldukça sınırlıdır (Procter vd., 2015). Bulundukları ormanlarda kilit türler olan bu karıncaları, ekosistem mühendisleri ve biyokontrol ajanları olarak korumak için mekânsal dağılımları hakkında bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Risch vd., 2008). Bu çalışmada, Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü ormanlarında bulunan *Formica rufa* yuvalarının bazı meşcere, topoğrafik ve iklim değişkenlerine göre habitat tercihlerinin ortaya konulması ve *F. rufa*'lar için potansiyel uygun alanların Maksimum Entropi (MaxEnt) ile modellenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü (OBM), Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) ormanlarında yürütülmüştür (Şekil 2.1). Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü Ahlatçık Orman İşletme Şefliği (OİŞ), Bostan OİŞ, Değirmenciler OİŞ, Gelindağı OİŞ, Gölköy OİŞ, Karaçomak OİŞ, Kastamonu OİŞ ve Kuzyaka OİŞ olmak üzere toplam 8 İşletme şefliğinden oluşmaktadır. İşletme müdürlüğü toplam 61.027 ha ormanlık alana sahiptir ve bu ormanlık alanın 53.074 ha (%87)'ı normal kapalı, 7.963 ha (%13)'ü ise boşluklu kapalıdır. Çalışma alanı Karaçam (Çk), Sarıçam (Çs), Gökmar (G), Gürgen (Gn), Kayın (Kn), Meşe (M), Kavak (Kv), Ardiç (Ar) aslı ağaç türlerini içermektedir.



Şekil 2.1 Çalışma alanı

2.2 Verilerin Toplanması

Bu çalışmanın verileri 2022-2023 yılları arasında gerçekleştirilen arazi çalışmalarından elde edilmiştir. Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü'nün tüm ormanlık alanları gezilmiş ve toplam 267 adet *Formica rufa* yuvası belirlenmiştir (Şekil 2.2). Tespit edilen *F. rufa* yuvaların koordinatları 1 metre hassasiyete sahip Küresel Konumlama Sistemi (GPS, Global Positioning System) ile alınmış ve bazılarının fotoğrafı çekilmiştir. Yuvaların koordinatları, bulundukları İşletme Şefliği ve bölme numaraları ve meşcere tiplerini içeren bilgiler bir veri dosyasında toplanmıştır.

Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen sayısal meşcere haritasından kapalılık, karışım, nitelik, gelişim çağı ve bonitet katmanları ArcGIS 10.6'da üretilmiştir. <https://earthexplorer.usgs.gov> adresinden ücretsiz olarak indirilen 25 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) (USGS, 2023) verisinden bakı, solar radyasyon, eğim, yükseklik, bakı katmanları oluşturulmuştur. Sıcaklık, yağış ve biyoklimatik (BIO 1, BIO 2, BIO 3, BIO 4, BIO 5, BIO 6, BIO 7, BIO 8, BIO 9, BIO 10, BIO 11, BIO 12, BIO 13, BIO 14, BIO 15, BIO 16, BIO 17, BIO 18 ve BIO 19) veriler 750 m çözünürlüklü raster veri olarak <http://worldclim.org/> adresinden (WorldClim, 2023) elde edilmiştir. Modelin güvenilir ve kesin sonuçlar üretebilmesi için kullanılan değişkenlerin çözünürlüklerinin uyumlu olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı kaynaklardan elde edilen verilerin çözünürlükleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle, kullanılan bütün değişkenler yeniden örnekleme (resampling) yöntemi ile ArcGIS'te 25 çözünürlüğe dönüştürülmüştür.



Şekil 2.2 Arazi çalışmalarında tespit edilen *Formica rufa* yuvalarından örnekler

2.3 Değişkenlerin Belirlenmesi

Çalışma alanında *F. rufa* yuvalarının dağılımlarının belirlenmesinde bazı meşcere, topoğrafik, iklim ve biyoklimatik değişkenler dikkate alınmıştır. Bu değişkenlere literatüre bağlı kalarak karar verilmiştir (Domisch vd., 2005; Gibb vd., 2016; Kilpeläinen vd., 2007; Risch vd., 2008; Vandegehuchte vd., 2017; Yılmaz vd., 2023). Meşcere özellikleri bakımından, meşcere karışımı saf ve karışık olmak üzere iki gruba, meşcere niteliği normal kapalı ve boşluklu kapalı olmak üzere iki gruba, kapalılık 1, 2, 3, 4 ve boşluklu kapalı olmak üzere dört gruba, gelişim çağı a, b, c ve d ve bonitet ise I. II. III. ve IV. bonitet olmak üzere 4 grupta değerlendirilmiştir. Gelişim çağı ve bonitet değişkenlerinde boşluklu kapalı ormanlar ayrı olarak verilmiştir. Topoğrafik değişkenler açısından, bakı gölgeli ve güneşli olmak üzere iki gruba, çalışma alanının topoğrafyası dikkate alınarak eğim 3 gruba ve yükselti 3 gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. İklim değişkenlerinden, yağış, sıcaklık ve solar radyasyon 4'er grupta değerlendirilmiştir.

Mekansal ve zamansal ölçeklerde türler için uygun alanları incelemek ve tahmin etmek için iklim verileri kullanılmaktadır (Carstens ve Richards 2007; Carnaval vd., 2007; Nogués-Bravo 2009; Sivrikaya vd., 2023). Biyoklimatik değişkenler, potansiyel

dağılım modellemelerinde en sık kullanılan ortak değişkenlerden biridir (Kriticos vd., 2014). İklim değişkenleri, bitki ve hayvan türlerinin dağılımı için en önemli belirleyici olarak kabul edilmektedir (Franklin, 2009). Tür dağılım modellemeleri olarak adlandırılan bitki ve hayvan türlerinin dağılım analizlerinin ilk kez niceliksel olarak ortaya koyulması 1980’lerde bir konum için ortalama iklim koşullarını tahmin edebilecek güvenilir yöntemlerin geliştirilmeye başlanması ile tanımlanmıştır (Franklin, 2009). MaxEnt ile bir türün coğrafi dağılımı modellenirken WorldClim web sitesinde bulunan biyoiklimsel değişkenler veri tabanı kullanılmıştır ve analiz için gerekli biyoiklimsel değişkenler doğrudan WorldClim web sitesinden indirilmiştir (Ramírez Villegas ve Bueno Cabrera, 2009). WorldClim aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar ve aylık yağış verileri ile bunlardan türetilen 19 biyoiklimsel değişkeni sağlamaktadır (Busby, 1991). Biyoiklimsel değişkenler yılın belirli bir dönemini (ay veya çeyrek) yansıtmaktadır (Bede-Fazekas ve Somodi, 2020). Bu çalışmada kullanılan 30 adet değişkene ilişkin bilgiler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tüm *F. rufa* yuvalarının koordinatları ArcGIS’te sayısal meşcere haritasına aktarılmış ve yuva katmanı ile belirlenen topoğrafik, iklimik ve meşcere değişkenlerine ait katmanlar ArcGIS ortamamında ayrı ayrı olacak şekilde çakıştırılmıştır. Böylece *F. rufa* yuvalarının bu değişkenlere göre dağılımları belirlenmiş ve haritaları üretilmiştir.

Tablo 2.1 Çalışmada kullanılan meşcere, topoğrafik, iklim ve biyoklimatik değişkenler

Kodlar	Değişken Adı	Birimi
KR	Karışım	%
KP	Kapalılık	
GÇ	Gelişim çağı	
N	Nitelik	
B	Bonitet	%
BK	Bakı	
EG	Eğim	
YK	Yükselti	
S	Sıcaklık	°C
Y	Yağış	mm
SR	Solar radyasyon	°C
BIO 1	Yıllık ortalama sıcaklık	
BIO 2	Günlük ortalama değişim aralığı	
BIO 3	İzotermalite	

Tablo 2.1'in devamı

Kodlar	Değişken Adı	Birimi
BIO 4	Mevsimsel sıcaklık	°C
BIO 5	En sıcak ayın maksimum sıcaklığı	°C
BIO 6	En soğuk ayın minimum sıcaklığı	°C
BIO 7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı (Bio5-Bio6)	°C
BIO 8	En nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 9	En kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 10	En sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 11	En soğuk ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	°C
BIO 12	Yıllık yağış miktarı	mm
BIO 13	En nemli ayın yağış miktarı	mm
BIO 14	En kurak ayın yağış miktarı	mm
BIO 15	Mevsimsel yağış miktarı	%
BIO 16	En nemli ilk üç ayın yağış miktarı	mm
BIO 17	En kurak ilk üç ayın yağış miktarı	mm
BIO 18	En sıcak ilk üç ayın yağış miktarı	mm
BIO 19	En soğuk ilk üç ayın yağış miktarı	mm

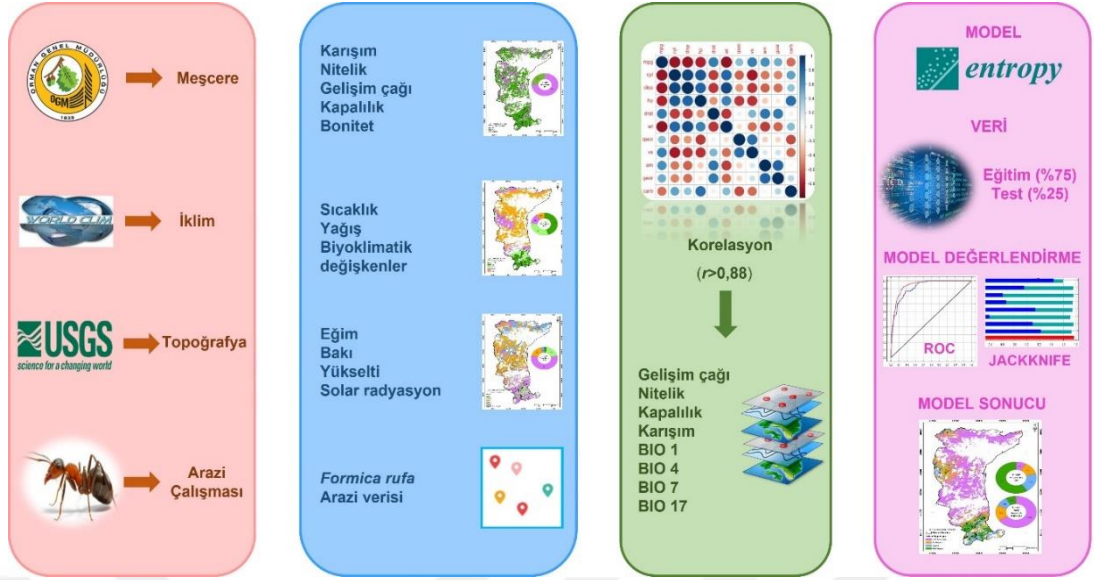
Modellemede değişkenler birbirini etkileyebilir ve değişkenler arasındaki yüksek korelasyon, modelin aşırı uyumuna yol açarak tahminlerin doğruluğunu etkileyebilmektedir (Méndez-Encina vd., 2021; Mendoza, 2011). Değişken tahminlerinde çoklu doğrusallık etkilerini ortadan kaldırmak, aşırı uyumdan kaçınmak ve en uygun değişkenleri seçmek amacıyla 30 değişken arasındaki korelasyonun belirlenmesi için Pearson Korelasyon Analizi (r) kullanılmıştır. Korelasyonu güçlü olan ($r \geq 0,88$ Pearson korelasyon katsayısı) ilişkili iki değişkenden biri modelden çıkarılmıştır (Cao vd., 2016; Yang vd., 2013).

2.4 Maximum Entropi (MaxEnt) ve Habitat Uygunluk Haritası

Formica rufa için habitat uygunluk modellemesi maksimum entropi yaklaşımı MaxEnt 3.4.4 (Phillips vd., 2006) sürümü ile yapılmıştır. *Formica rufa* yuvalarının bulunduğu habitatın özelliklerini değerlendirmek için meşcere, topoğrafik, iklim ve biyoklimatik değişkenler ile karınca yuvalarının konumları kullanılmıştır. *F. rufa* yuvalarına ait koordinatlardan toplam 267 var verisi olarak kullanılmıştır. Meşcere, topoğrafik, iklim ve biyoklimatik değişkenler ASCII formatına dönüştürmüştür. Modelde 267 var verisinin %75'i eğitim verisi; %25'i ise test verisi olarak kullanılmıştır. Çapraz doğrulama (Crossvalidate) metodolojisi 10 yineleme,

maksimum 5000 yineleme, tek bir düzenleme çarpanı ve diğer tüm parametreler için varsayılan değerlerle uygulandı. Model sonucu için Lojistik formatı seçilmiştir (Yan vd., 2020). MaxEnt modelinin çıktı sonuçlarında, habitat uygunluk katsayısına ilişkin raster piksel değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Rakamsal olarak büyük değer yüksek habitat uygunluğunu ifade etmektedir. *Formica rufa* yuvalarının potansiyel dağılım haritaları oluştururken model sonucu elde edilen harita ArcGIS 10.6 yazılımında Jenks natural breaks sınıflandırma yöntemine göre çok az uygun alan, az uygun alan, uygun alan, çok uygun alan olmak üzere dört kategoriye ayrılmıştır.

Modelin başarısı alıcı çalışma karakteristiği ROC (Receiver Operating Characteristic) analizinden çıkarılan eğri altındaki alan AUC (Area Under the ROC Curve) değeri ile yorumlanmıştır (Phillips ve Dudík, 2008; Wang vd., 2007). ROC eğrisi altındaki alanlar (AUC) tür modelleme yöntemine uygulanabilecek performans ölçüsüdür (Fielding ve Bell, 1997). Bulunan AUC değeri belirlenmiş eşik değerlere göre modelin başarısını ortaya koymaktadır. AUC değeri 0,5’den büyük ise modelin rastgele bir tahminden daha iyi bir başarı gösterdiğini ifade etmektedir (Arslan vd., 2020; Phillips ve Elith, 2010). Bunun yanında AUC değeri 1’e ne kadar yakınsa model o kadar duyarlı ve geçerlidir (Gassó vd., 2012; Phillips vd., 2006). AUC değeri 0,75’in üzerinde olan modellerin potansiyel olarak faydalı olduğu düşünülmektedir (Elith, 2002). Kısaca AUC 0,5 ise bilgi vermeyen; AUC 0,7 ise açıklayıcı; AUC 0,9 ise mükemmel açıklayıcı model olarak ifade edilmektedir (Phillips vd., 2006). Daha sonra MaxEnt modelinde Jackknife testi yöntemi ile bu modelde kullanılan biyoiklimsel faktörlerin etki düzeyi belirlenmiştir (Pearson vd., 2007; Shcheglovitova ve Anderson, 2013).



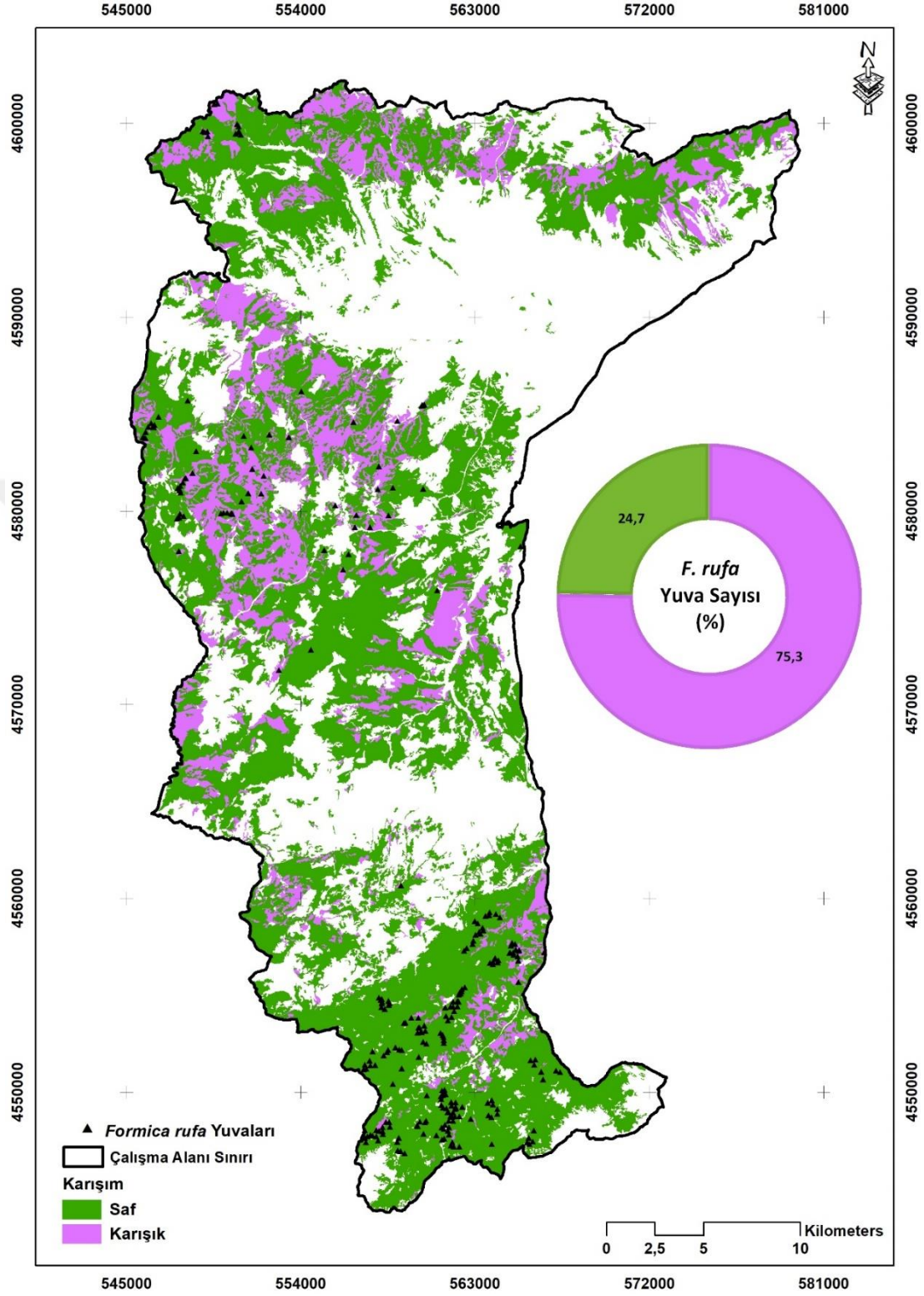
Şekil 2.3 Akış diyagramı

3. BULGULAR

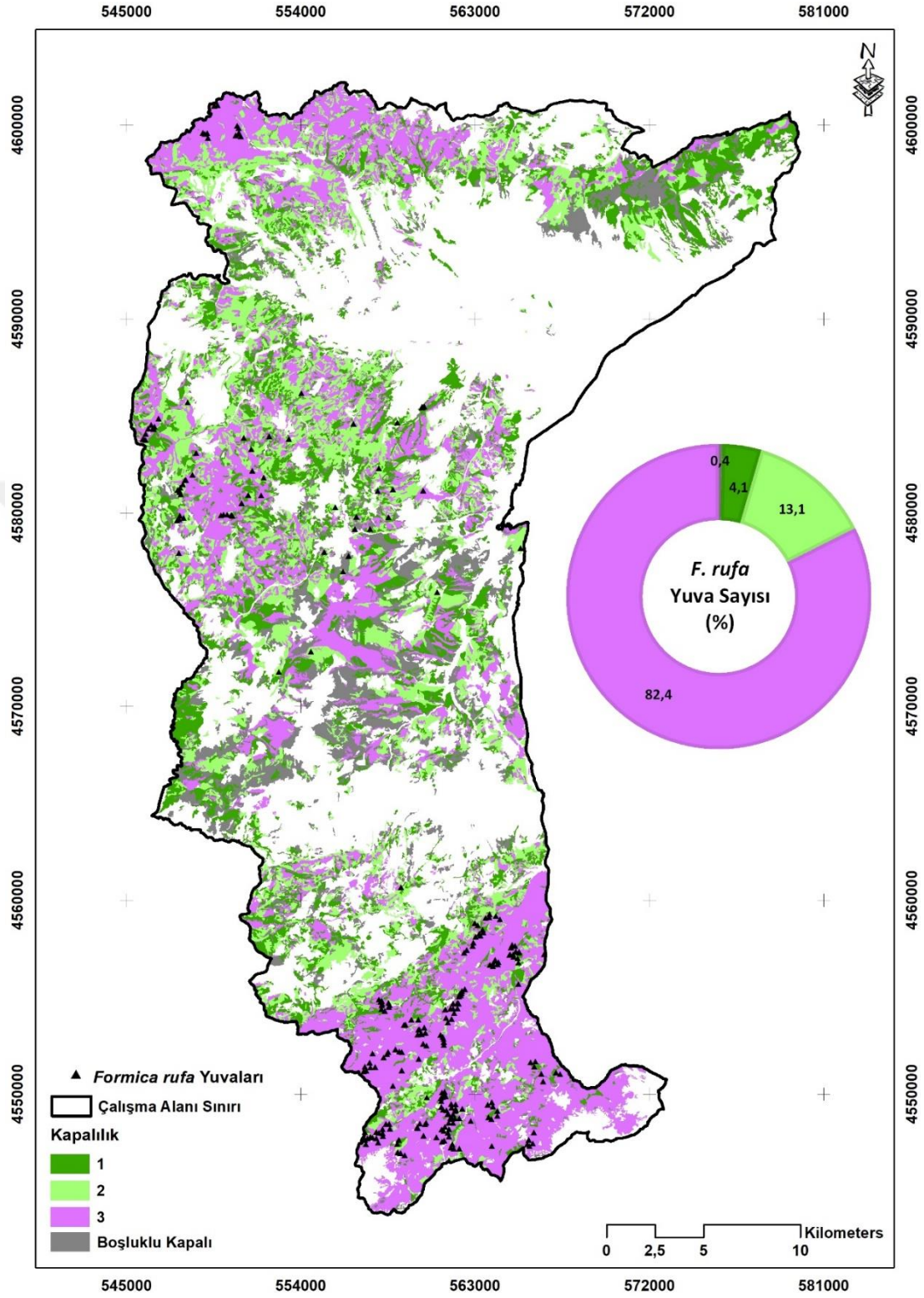
3.1 *Formica rufa*'ların Habitat Seçiminde Etkili Olan Bazı Meşcere Topografik ve İklim Değişkenlerine Ait Bulgular

Çalışma alanında aktif toplam 267 adet *Formica rufa* yuvası tespit edilmiştir. *Formica rufa*'ların habitat seçiminde etkili olan karışım, kapalılık, gelişim çağı, nitelik ve boniteti içeren meşcere değişkenleri, bakı, eğim ve yükseltiyi içeren topoğrafik değişkenleri ve sıcaklık, yağış ve solar radyasyonu içeren iklim değişkenleri değerlendirilmiştir. Meşcere değişkenlerinden, meşcere karışımı saf ve karışık olarak iki ayrı grupta değerlendirilmiştir. Buna göre *F. rufa* yuvalarının %75,3'ü karışık; %24,7'si ise saf meşcerelerde bulunmaktadır (Tablo 3.1; Şekil 3.1). Karışık meşcerelerde bulunan yuvaların sayısı saf meşcerelerde bulunan yuvaların sayısından yaklaşık 3 kat daha fazladır.

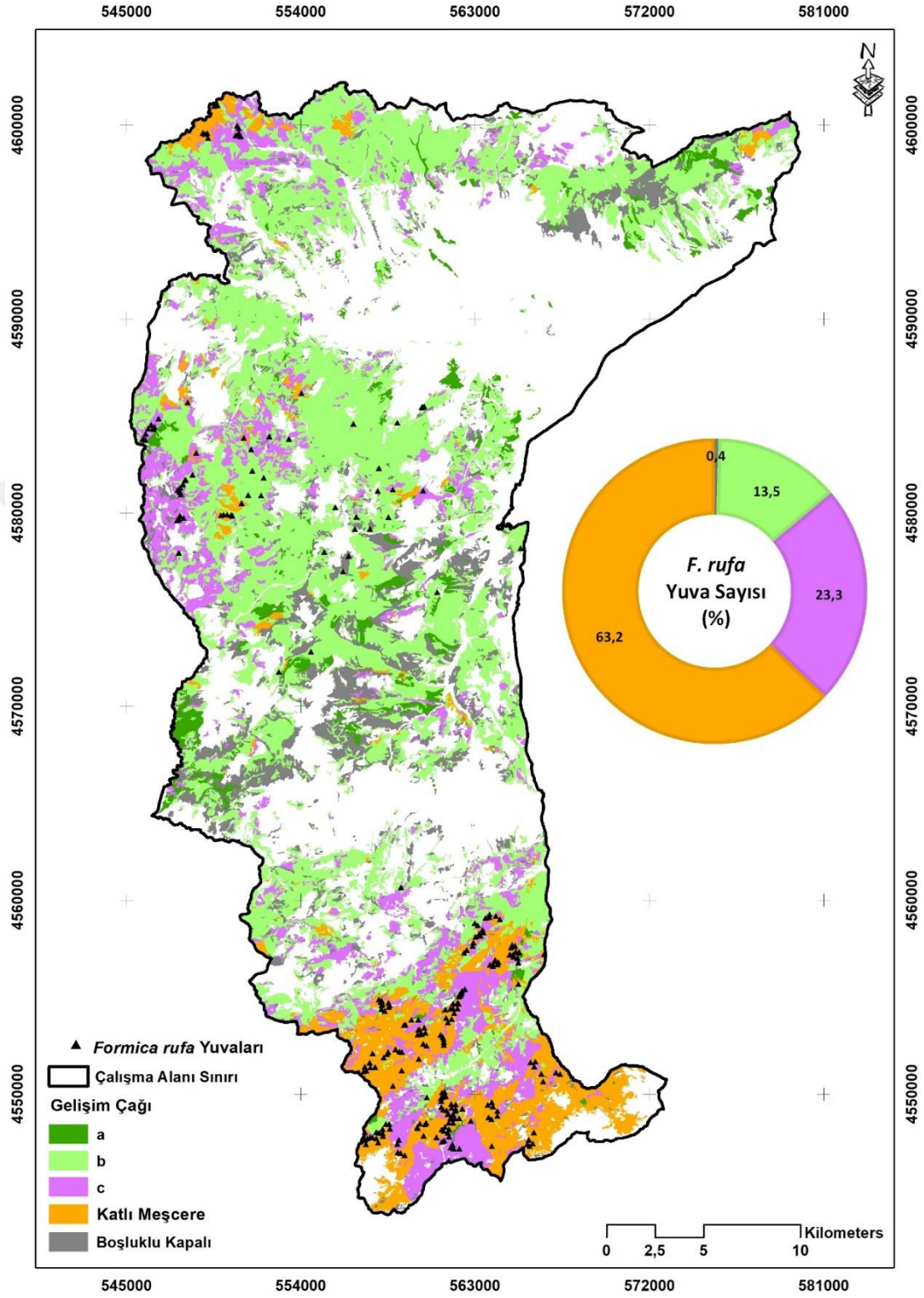
Meşcere kapalılığı boşluklu kapalı (%1-10), 1 kapalı (%10-40), 2 kapalı (%40-70) ve 3 kapalı (%70-100) olmak üzere 4 grupta değerlendirilmiştir. Yuvaların %0,4'ü boşluklu kapalı; %4,1'i 1 kapalı; %13,1'i 2 kapalı ve %82,4'ü 3 kapalı meşcerelerdedir. Yuvaların çok yüksek oranda 3 kapalı meşcereleri tercih ettiği görülmektedir (Tablo 3.1; Şekil 3.2). Meşcere gelişim çağıları boşluklu kapalı, b çağı, c çağı ve katlı meşcereler olmak üzere 4 grupta değerlendirilmiştir. Yuvaların %0,4'ü boşluklu kapalı; %13,2'si b çağı ($d_{1,30}$ çapları 8-19,9 cm); %23,3'ü c çağı ($d_{1,30}$ çapları 20-35,9 cm) ve %63,2'si katlı meşcerelerde (seçme meşcereleri) tespit edilmiştir. *F. rufa* yuvaların yarısından fazlasının katlı meşcereleri tercih ettiği görülmüştür (Tablo 3.1; Şekil 3.3). Meşcere niteliği boşluklu kapalı ve normal kapalı olarak 2 grupta değerlendirilmiştir. Yuvaların %0,4'ü boşluklu kapalı; %99,6'sı ise normal kapalı meşcerelerdedir. Yuvaların hemen hemen tamamı normal kapalı meşcereleri tercih etmiştir (Tablo 3.1; Şekil 3.4). Yetiştirme ortamı verim gücü ise boşluklu kapalı, I. II., III., IV. ve V. bonitet olmak üzere 6 grupta değerlendirilmiştir. Yuvaların %0,4'ü boşluklu kapalı; %2,6'sı I. Bonitet; %18,3'ü II. Bonitet; %57,7'si III. Bonitet; %16,9'u IV. bonitet ve %4,2'si V. bonitette bulunan meşcerelerde tespit edilmiştir. Yuvaların %57,7'si orta bonitetde bulunan meşcerelerde bulunmaktadır (Tablo 3.1; Şekil 3.5).



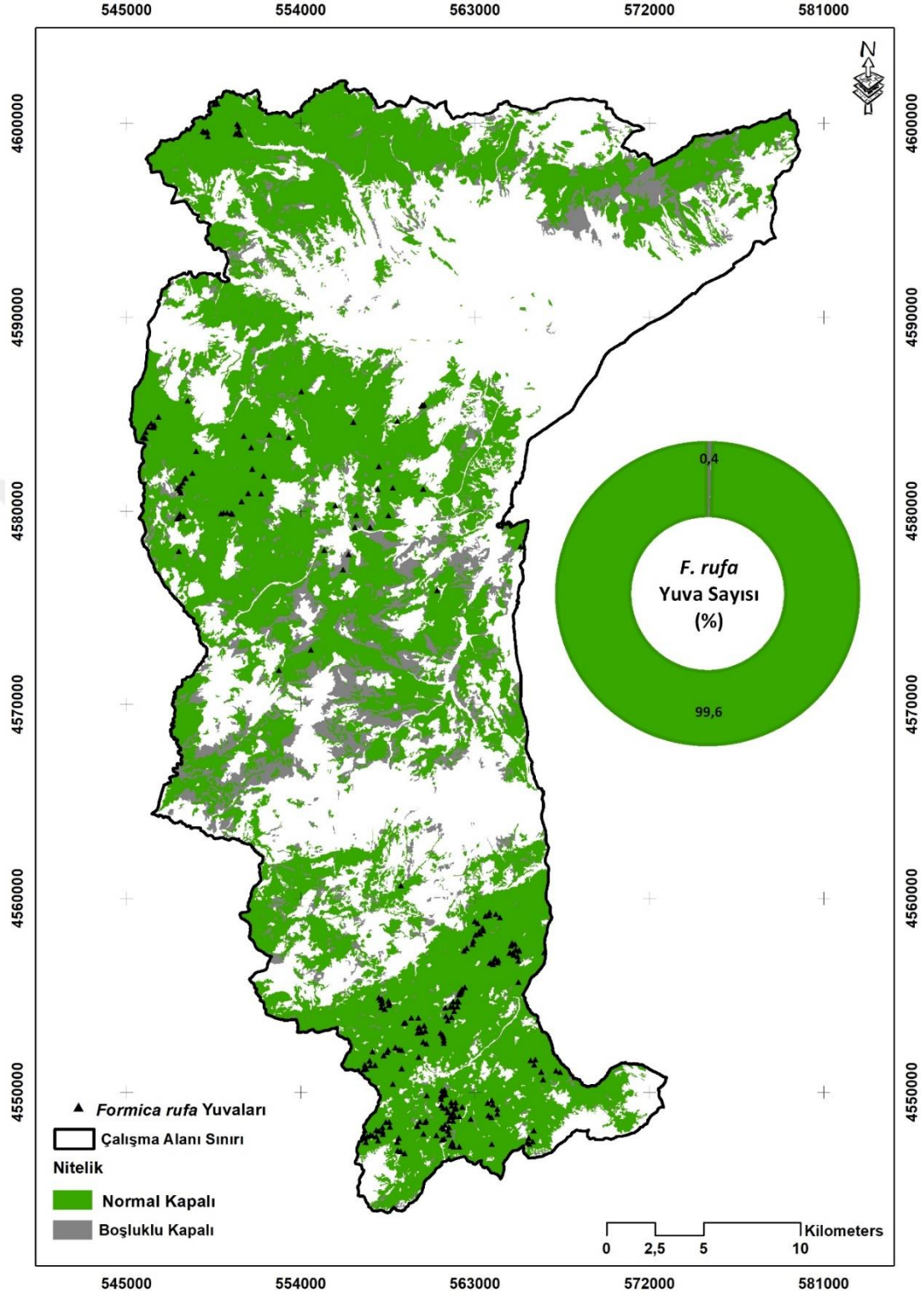
Şekil 3.1 *Formica rufa* yuvalarının meşcere karışımına göre dağılımı



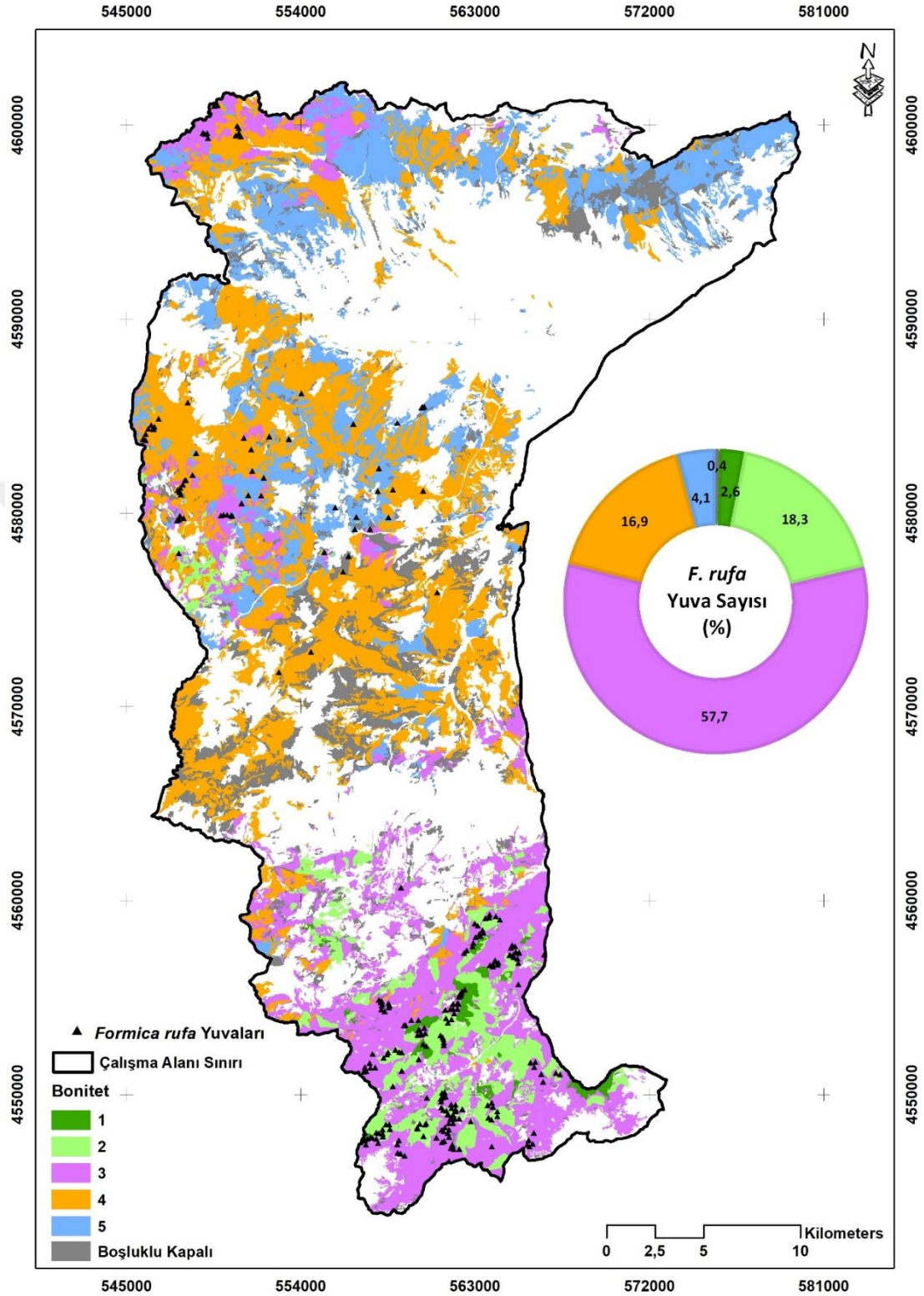
Şekil 3.2 *Formica rufa* yuvalarının meşcere kapalılığına göre dağılımı



Şekil 3.3 *Formica rufa* yuvalarının meşcere gelişim çağılarına göre dağılımı



Şekil 3.4 *Formica rufa* yuvalarının meşcere niteliğine göre dağılımı

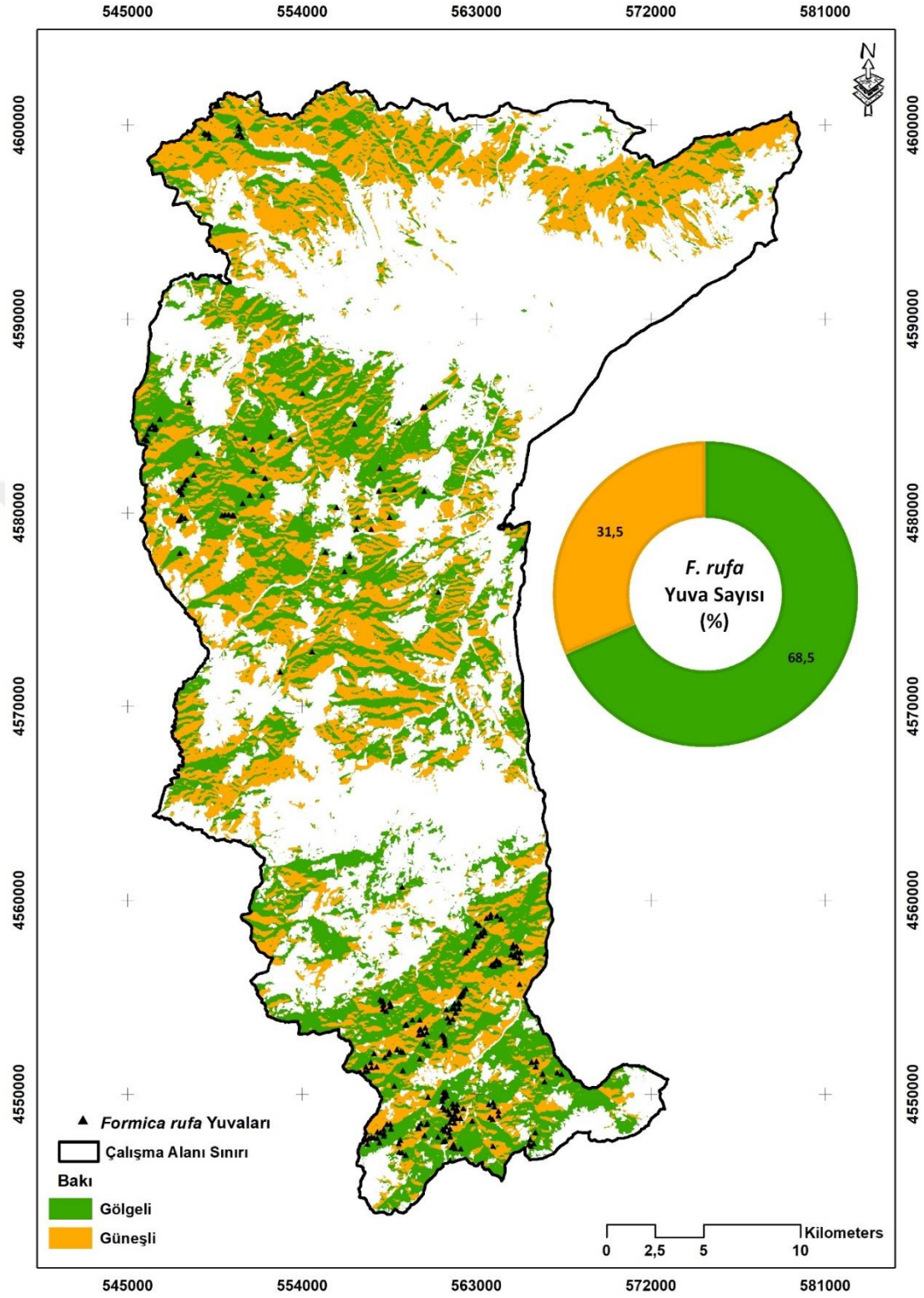


Şekil 3.5 *Formica rufa* yuvalarının yetiştirme ortamı verim gücüne göre dağılımı

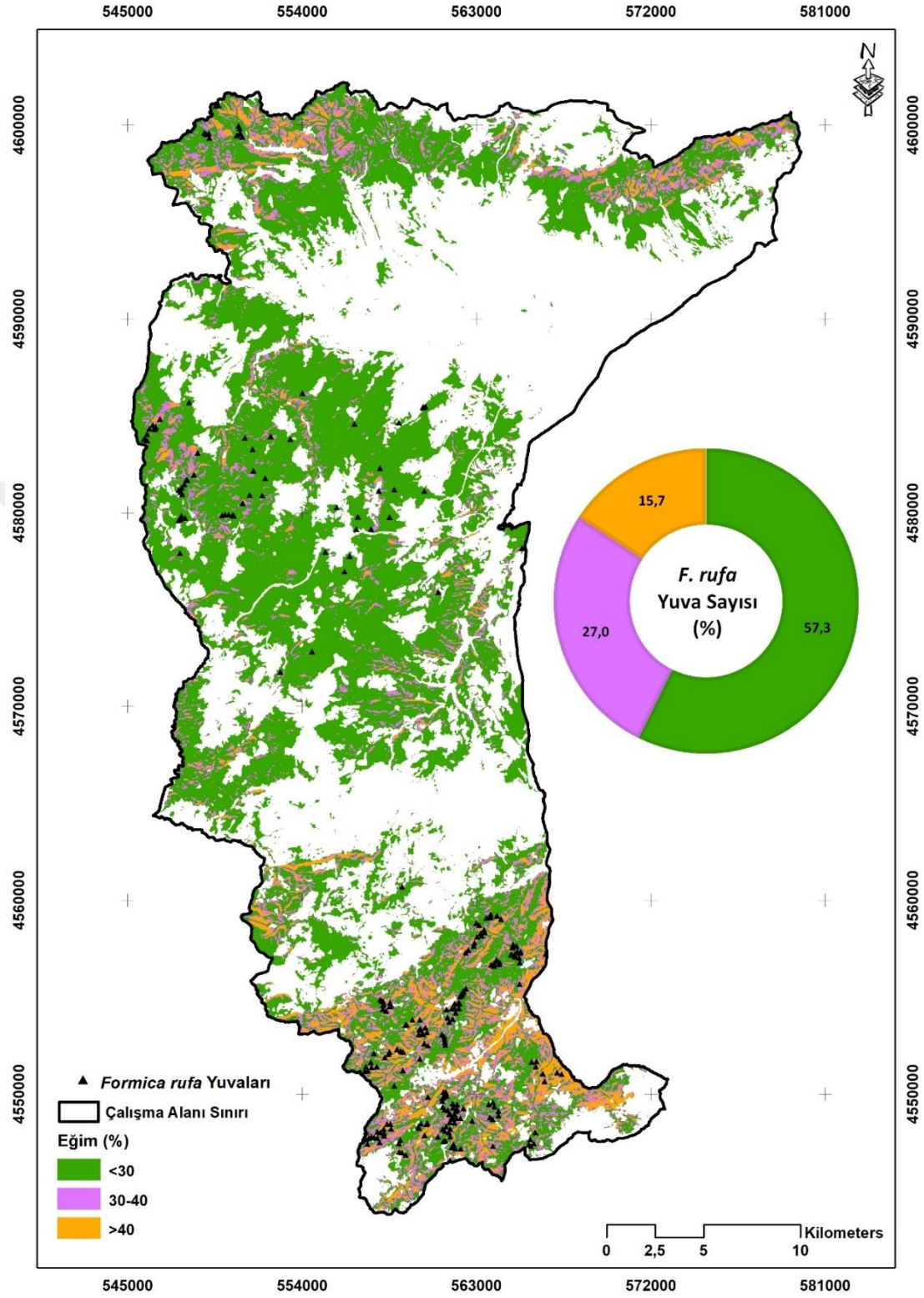
Topoğrafik değişkenlerden bakı gölgeli ve güneşli olarak 2 ayrı grupta değerlendirilmiştir. Buna göre *F. rufa* yuvalarının %68,5'i gölgeli; %31,5'i ise güneşli bakılarda bulunmaktadır (Tablo 3.1; Şekil 3.6). Gölgeli bakılarda bulunan

yuvaların sayısı güneşli bakılarda saf meşcerelerde bulunan yuvaların sayısından yaklaşık 2 kat daha fazladır. Meşcere eğimi %30'dan düşük; %30-40 ve %40'dan daha fazla eğime sahip meşcereler olmak üzere 3 grupta değerlendirilmiştir. Eğimin %30'dan daha az olduğu meşcerelerde yuvaların %57,3'ü; eğimin %30-40 arasında olan meşcerelerde yuvaların %27'si ve eğimin %40'dan daha fazla olduğu meşcerelerde yuvaların %15,7'si bulunmaktadır (Tablo 3.2; Şekil 3.7). Yuvaların yarısından fazlasının eğimin düşük olduğu meşcerelerde olduğu görülmektedir. Yükselti ise 1400 m'den daha düşük; 1400-1800 m arasında ve 1800m'den daha fazla yükseltiye sahip meşcereler olmak üzere 3 grupta değerlendirilmiştir. *F. rufa* yuvalarının %30,7'si yükseltinin 1400 m'den daha düşük olduğu meşcerelerde; %59,2'si yükseltinin 1400-1800 m arasında olan meşcerelerde ve %10,1'i 1800 m ve daha fazla yükseltiye sahip meşcerelerde bulunmaktadır. Yuvaların çoğunluğu 1800 m'ye kadar olan meşcerelerde yer almaktadır (Tablo 3.2; Şekil 3.8). İklim değişkenlerinden sıcaklık 13°C'den daha düşük, 13-14°C aralığında, 14-15°C aralığında ve 15°C'den daha yüksek sıcaklıklara sahip meşcereler olarak 4 gruba ayrılmıştır. Yuvaların %45,3'ü 13°C'den daha düşük; %30'u 13-14°C'de; %14,6'sı 14-15°C'de ve %10,1'i 15°C'den daha yüksek sıcaklıklara sahip meşcerelerde tespit edilmiştir. *F. rufa*'lar habitat seçiminde düşük sıcaklıklara sahip alanları daha fazla tercih etmiştir (Tablo 3.1; Şekil 3.9).

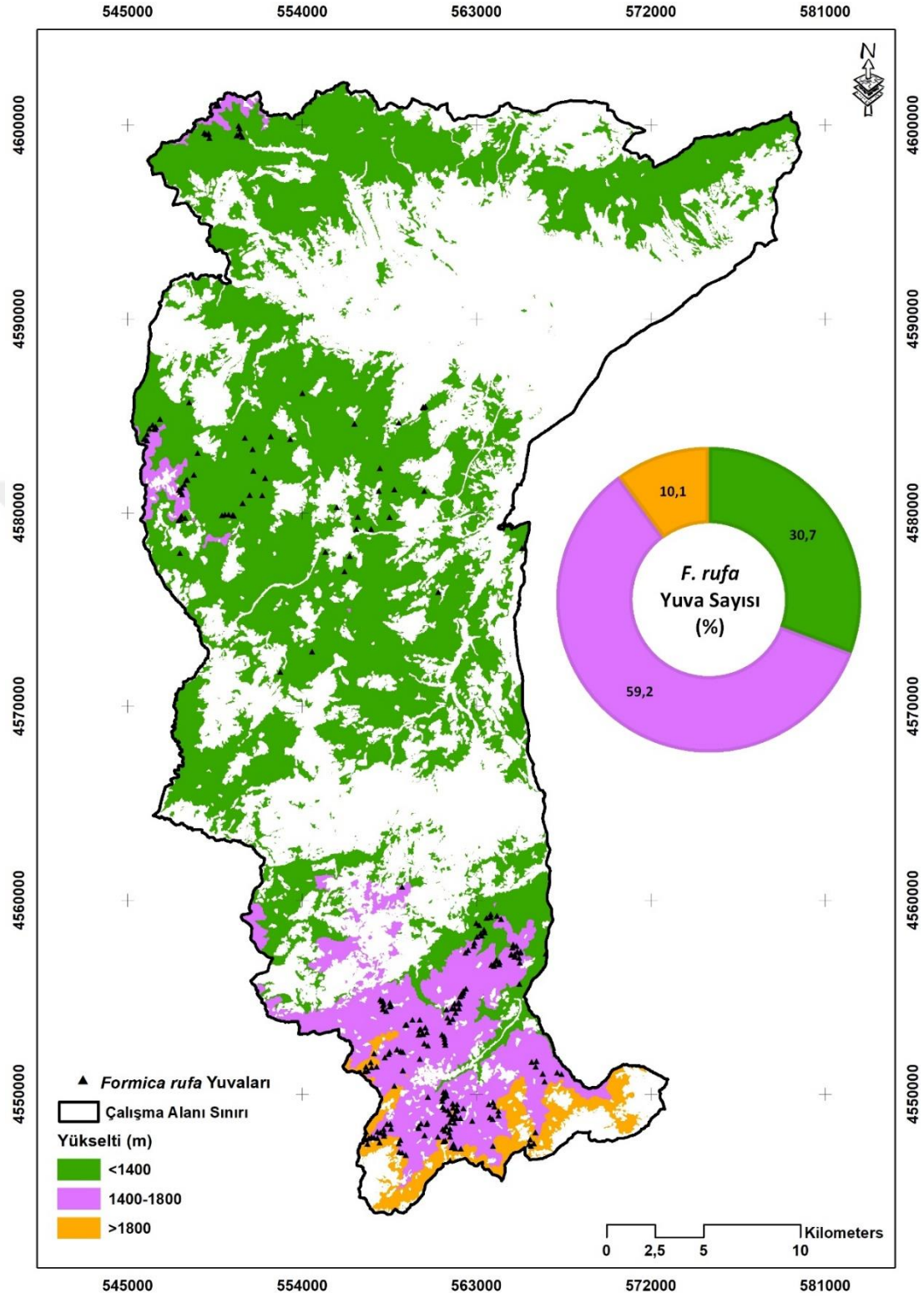
Yağış değişkeni 47 mm'den daha düşük, 47-48 mm arasında, 48-49 mm arasında ve 49 mm'den daha fazla yağış alan meşcereler olarak 4 gruba ayrılmıştır. Yuvaların %34,5'i 47 mm'den daha düşük; %25,8'i 47-48 mm; %21,7'si 48-49 mm ve %18'i 49 mm'den daha fazla yağış alan meşcereler de bulunmuştur. Yuvaların %60,3'ü 48 mm'den daha düşük meşcerelerde yer almıştır (Tablo 2; Şekil 10). Solar radyasyon 750000 WH/m²'den daha düşük, 750000-800000 WH/m², 800000-850000 WH/m² ve 850000 WH/m²'den daha yüksek yoğunlukta olan meşcereler olmak üzere gruba ayrılmıştır. *F. rufa* yuvalarının %15,7'si 750000 WH/m²'den daha düşük; %21,3'ü 750000-800000 WH/m²; 28,9'u 800000-850000 WH/m² ve %34,1'i 850000 WH/m²'den daha yüksek yoğunlukta olan meşcerelerde yer almıştır. Yuvaların sayısı solar radyasyonla doğrusal olarak artmaktadır (Tablo 3.2; Şekil 3.11).



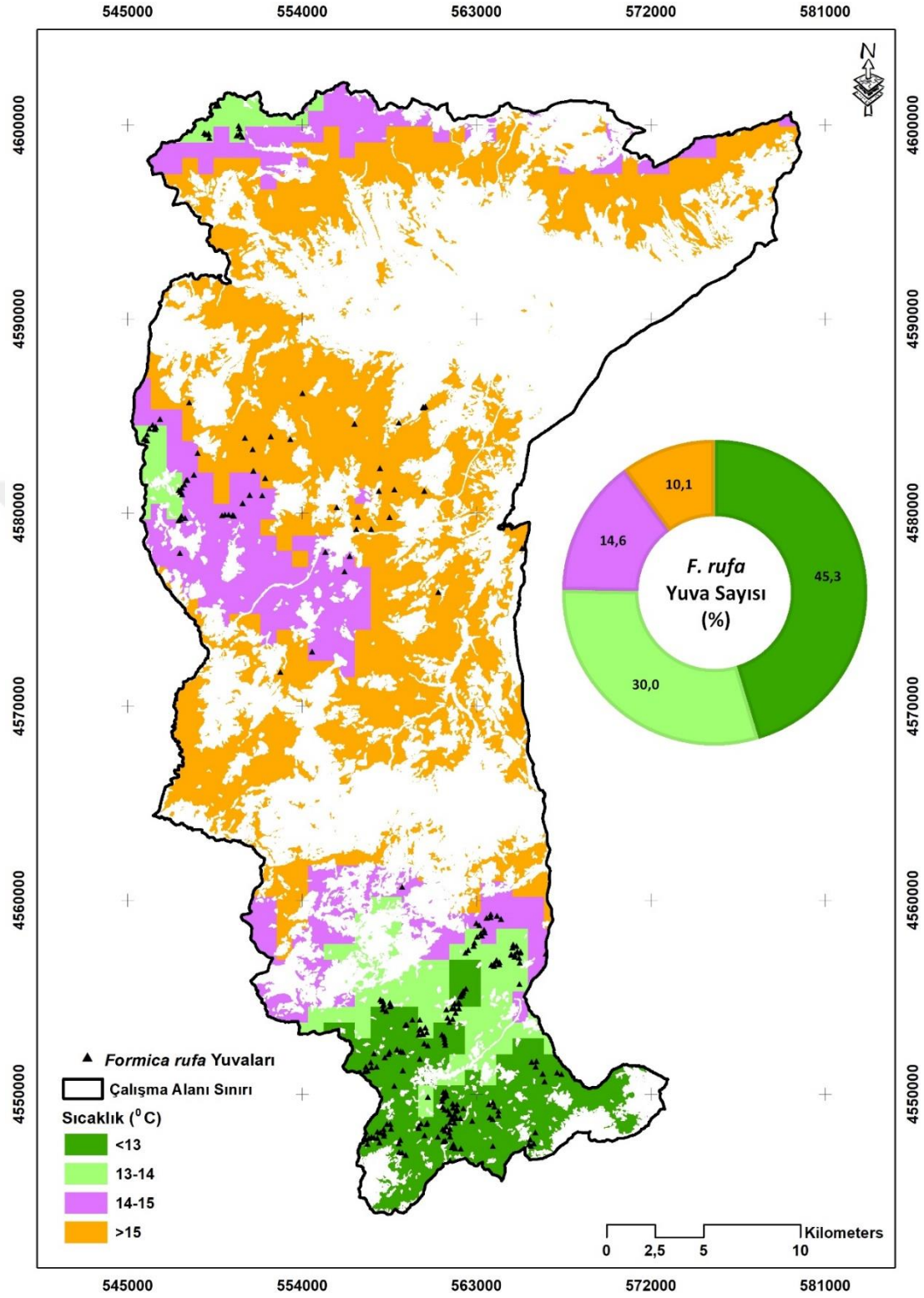
Şekil 3.6 *Formica rufa* yuvalarının bakıya göre dağılımı



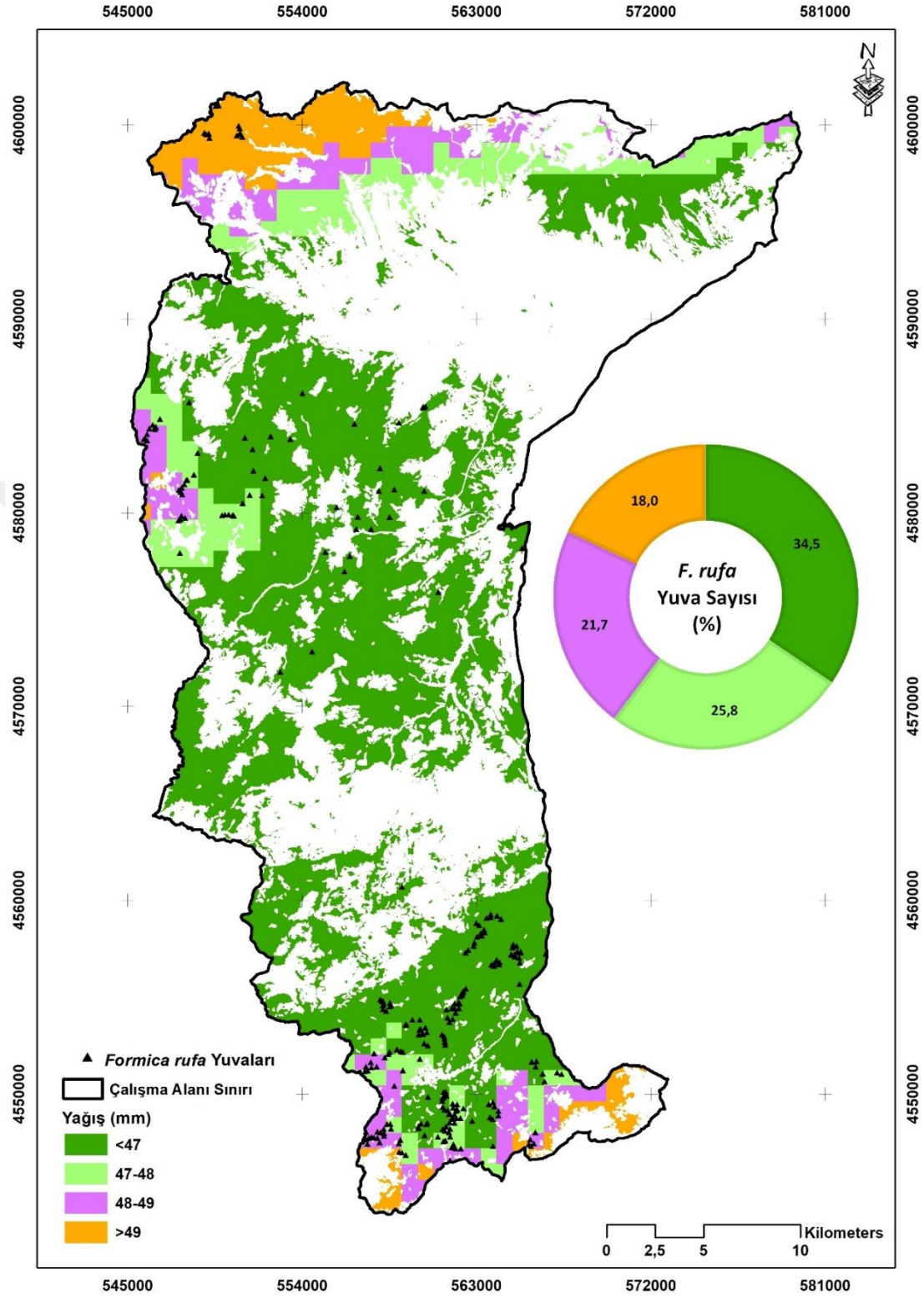
Şekil 3.7 *Formica rufa* yuvalarının eğime göre dağılımı



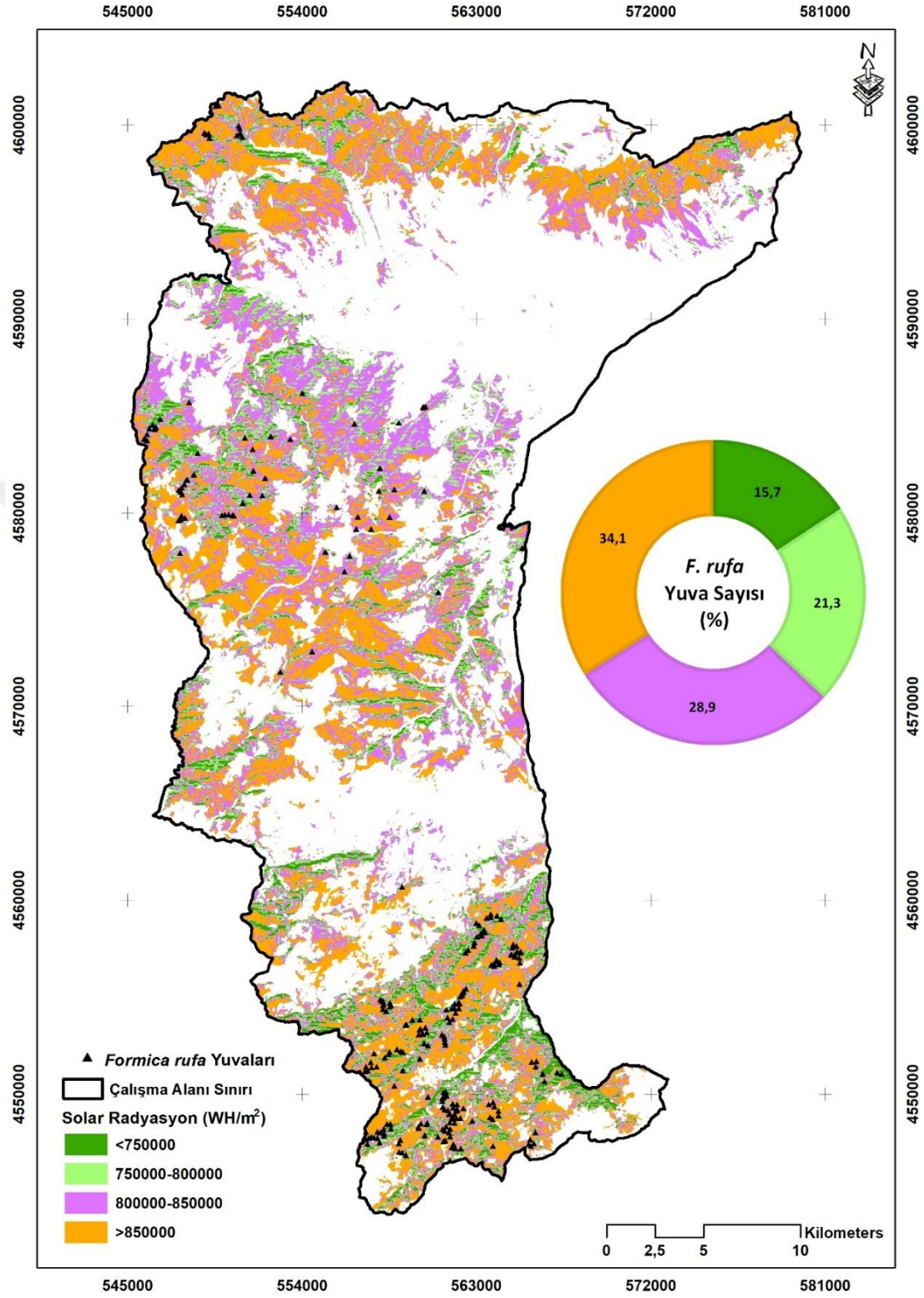
Şekil 3.8 *Formica rufa* yuvalarının yükseltiye göre dağılımı



Şekil 3.9 *Formica rufa* yuvalarının sıcaklığa göre dağılımı



Şekil 3.10 *Formica rufa* yuvalarının yağışa göre dağılımı



Şekil 3.11 *Formica rufa* yuvalarının solar radyasyona göre dağılımı

Tablo 3.1 *Formica rufa* yuvalarının meşcere, topoğrafik ve iklim değişkenlerine göre dağılımları

Değişken	Adı	Grup	<i>Formica rufa</i> yuva	
			Adet	%
Meşcere	Karışım	Karışık	201	75,3
		Saf	66	24,7
	Kapalılık (%)	Boşluklu kapalı (%1-10)	1	0,4
		1 kapalı (%10-40)	11	4,1
		2 kapalı (%40-70)	35	13,1
		3 kapalı (%70-100)	220	82,4
	Gelişim Çağı	Boşluklu kapalı	1	0,4
		B	36	13,5
		c	62	23,3
		Katlı meşcereler	168	63,2
	Nitelik	Boşluklu kapalı	1	0,4
		Normal kapalı	266	99,6
	Bonitet	Boşluklu kapalı	1	0,4
		I. (en iyi bonitet)	7	2,6
		II. (iyi bonitet)	49	18,3
		III. (orta bonitet),	154	57,7
		IV. (fena bonitet)	45	16,9
		V. (kötü bonitet)	11	4,2
Topoğrafik	Bakı	Gölgeli	183	68,5
		Güneşli	84	31,5
	Eğim (%)	<30	153	57,3
		30-40	72	27,0
		>40	42	15,7
	Yükselti (m)	<1400	82	30,7
		1400-1800	158	59,2
		>1800	27	10,1
İklim	Sıcaklık (°C)	<13	121	45,3
		13-14	80	30
		14-15	39	14,6
		>15	27	10,1
	Yağış (mm)	<47	92	34,5
		47-48	69	25,8
		48-49	58	21,7
		>49	48	18,0
	Solar radyasyon (WH/m ²)	<750000	42	15,7
		750000-800000	57	21,3
		800000-850000	77	28,9
		>850000	91	34,1

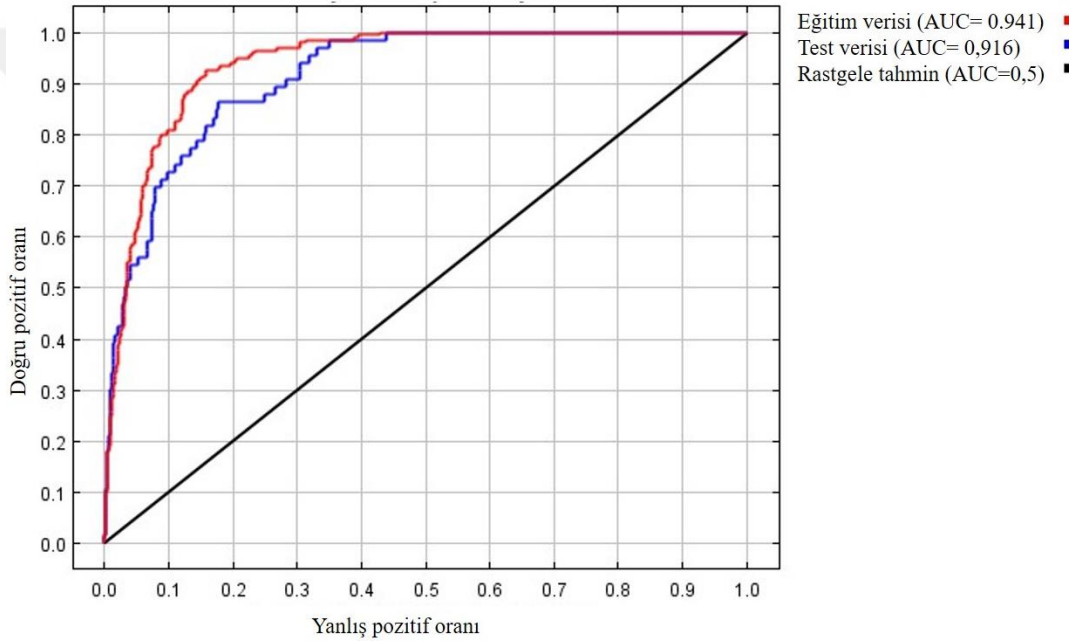
3.2 *Formica rufa*'lar İçin Potansiyel Uygun Alanların Maksimum Entropi (MaxEnt) İle Modellenmesi

Formica rufa'lar için potansiyel uygun alanların belirlenmesi amacıyla MaxEnt modellenmesinde toplam 30 farklı değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler meşcere, topoğrafik, iklim ve bioklimatik değişkenlerdir ve materyal yöntem bölümünde Tablo 3.1'de detaylı olarak verilmiştir. Belirlenen 30 değişken için yapılan Pearson Korelasyon Analizi ($r^2 < 0,88$)'ne göre modelin tahmin gücünü zayıflatan değişkenler çıkartılmış ve değişken sayısı 8'e düşürülmüştür. Başka bir ifade ile *F. rufa*'lar için uygun potansiyel alanların belirlenmesinde 8 ayrı ilişkisiz değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler gelişim çağı (GÇ), nitelik (N), yıllık sıcaklık değişim aralığı (BIO 7), kapalılık (K), karışım (KR), mevsimsel sıcaklık (BIO 4), en kurak ilk üç ayın yağış miktarı (BIO 17) ve yıllık ortalama sıcaklık (BIO 1)'dir. *Formica rufa*'lar için potansiyel uygun alanların belirlenmesinde model sonucuna en çok katkı sağlayan değişkenin gelişim çağı (GÇ) olduğu ve modelin %39,5'ini oluşturduğu belirlenmiştir. Diğer yedi değişken olan N, BIO7, K, KR, BIO4, BIO17 ve BIO 1'in modele olan katkı oranları sırasıyla %19,6; %16; %12,3; %4,3; %3,7; %2,9 ve %1,7 olmuştur. GÇ, N ve BIO7 değişkenleri toplam olarak modelin %75,1'ini oluşturmaktadır. Bunun yanında model için en yüksek permütasyon önemine sahip ilk üç değişken N (%43,2), BIO7 (%40,2) ve GÇ (%8,2)'dir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Belirlenen değişkenlerin modele olan katkı oranları ve önem yüzdeleri

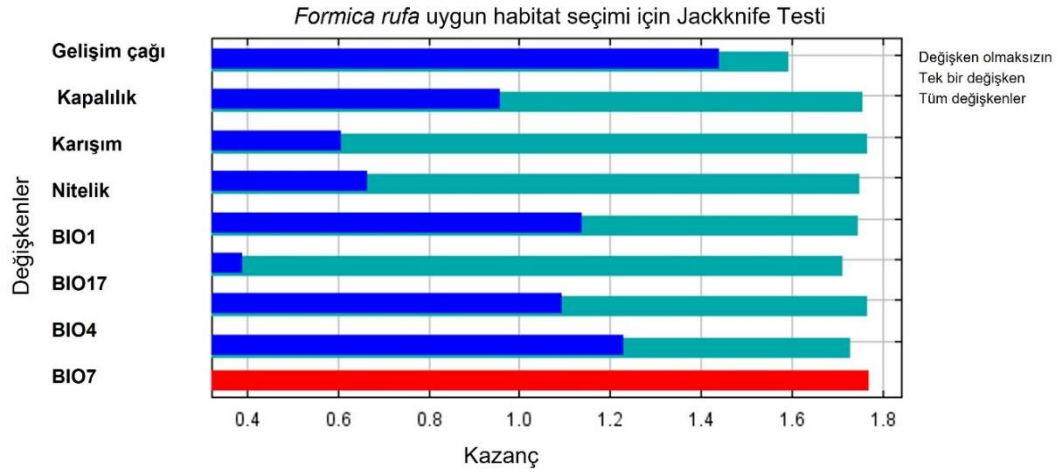
Değişken	Katkı Oranı (%)	Permütasyon Önemi (%)
GÇ	39,5	8,2
N	19,6	43,2
BIO7	16	40,2
K	12,3	0,9
KR	4,3	0,4
BIO4	3,7	0,3
BIO17	2,9	5,3
BIO1	1,7	1,5
Toplam	100	100

Belirlenen bu 8 ilgili değişken ile geliştirilen MaxEnt modelinin doğruluğu ROC analizi ile gerçekleştirilmiştir. Modelin sonuçlarına göre AUC değerinin 0,5’den büyük olması nedeniyle modelin rastgele bir tahminden daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. ROC analiz sonuçlarına göre eğitim verilerinde AUC 0,941; test verilerinde ise AUC 0,916 olarak bulunmuştur (şekil 3.12). Buna göre bu çalışmada geliştirilen modelin doğruluğu yüksek olup *Formica rufa*’lar için potansiyel uygun alanları belirleyen haritaların oluşturulması bu karıncaların özellikle tranplantasyonlarının belirlenmesinde doğru alanların seçilmesinde faydalı ve kullanılabilir sonuçlar ortaya koymaktadır.



şekil 3.12 *Formica rufa* için habitat uygunluk modellemesinin ROC eğrisi

Değişkenlerin modellemedeki etkileri Jackknife (ek-çıkar) testi ile ortaya konulmuştur. Jackknife testi herbir değişkenin modele olan katkısını vermektedir. *Formica rufa*’lar için potansiyel alanların uygunluğu için Jackknife testi kazanım tablosu şekil 3.13’de verilmiştir. Eğitim veri setini kullanan Jackknife analizinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. şekilde görüldüğü gibi potansiyel uygun alanların belirlenmesinde en etkili değişkenler sırasıyla G, BIO7, BIO1 ve BIO4’dr. G değişkeninin modele tek başına katkısı en yüksektir ve bu sebeple diğer değişkenlerde olmayan en çok bilgiye sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bu değişkenlerin katkı oranının 1,1’den büyük olması (değişkenin modele bağımsız katkısı), diğer değişkenlere göre daha yararlı bilgiler sağladığını göstermektedir.

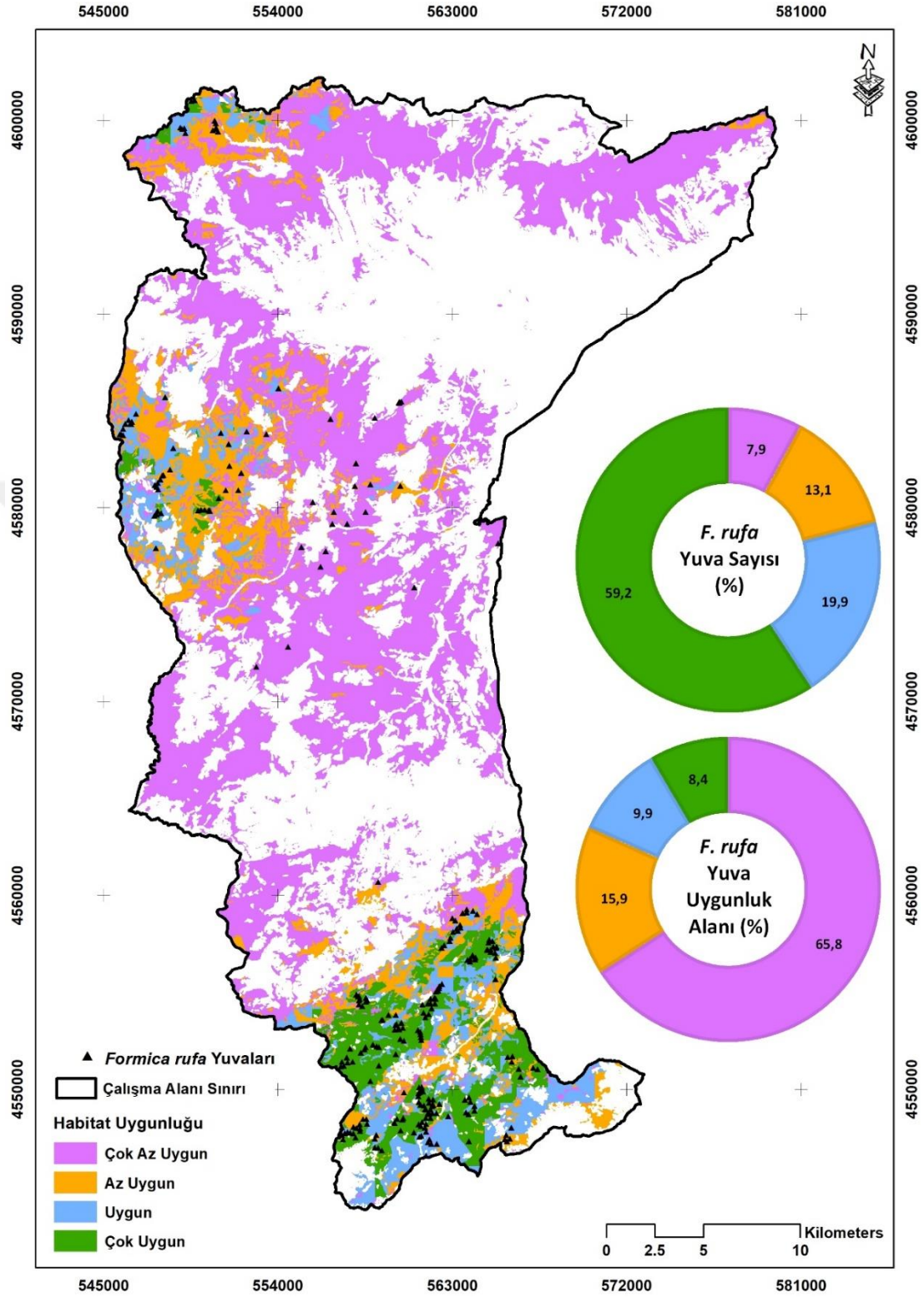


Şekil 3.13 MaxEnt modeli için sekiz değişkene göre Jackknife sonuçları

Formica rufa lar için potansiyel alanların uygunluk haritası MaxEnt modeline göre oluşturulmuştur (Şekil 4). Oluşturulan harita çok az uygun alan, az uygun alan, uygun alan, çok uygun alan olmak üzere dört kategoriye ayrılmıştır. Buna göre çalışma alanının %65,8'i çok az uygun alan; %15,9'u az uygun alan; %9,9'u uygun alan ve %8,4'ü çok uygun alan sınıflarında yer almaktadır. Diğer bir ifade ile alanın %18,3'ü uygun kategorisinde yer almaktadır. Bunun yanında çalışmada tespit edilen *F. rufa* yuvalarının %7,9'u çok az uygun alan; %13,1'i az uygun alan; %19,8'i uygun alan ve %59,2'si çok uygun alan sınıflarında yer almaktadır (Tablo 3.3, Şekil 3.14).

Tablo 3.3 *Formica rufa* habitat uygunluk haritasının alansal ve sayısal dağılımı

Habitat uygunluk sınıfları	Alan		<i>Formica rufa</i>	
	ha	%	adet	%
Çok az uygun	40115,3	65,8	21	7,9
Az uygun	9666,8	15,9	35	13,1
Uygun	6031,3	9,9	53	19,8
Çok uygun	5141,7	8,4	158	59,2
Toplam	60955,1	100	267	100



Şekil 3.14 *Formica rufa* habitat uygunluk haritası

4. TARTIŞMA

Kırmızı orman karıncalarının habitat seçimi kapalılık (Risch vd., 2008), habitat parçalanması (Punttila ve Kilpeläinen 2009), ağaç türü, gelişim çağı (Gibb vd., 2016), besin tedariki, yükselti (Vandeghechhte vd., 2017), güneş radyasyonu gibi bazı abiyotik (Kadochová ve Frouz 2014) faktörlerden etkilenmektedir. Aynı zamanda habitat seçiminde güneşlenme süresi, ışık, nem ve sıcaklık gibi iklim faktörleri, toprak özellikleri, bakı, eğim, yükselti gibi topoğrafik özellikler ve bitki örtüsü, meşcere tipi ve yapısı, kapalılık, gelişim çağı gibi meşcere özellikleri etkili olmaktadır (Domisch vd., 2005; Kilpeläinen vd., 2007; Kilpeläinen vd., 2008; Punttila ve Kilpeläinen 2009; Risch vd., 2016; Seifert, 2018; Serttaş vd., 2020; Sondej vd., 2012; Vandeghechhte vd., 2017; Yılmaz vd., 2023). Ayrıca alanda besin kaynaklarının varlığında da etkili olmaktadır (Kilpeläinen vd., 2005). *Formica rufa* yuvalarının bulundukları yerlerden taşınarak başka alanlara transplantasyonları yapılmaktadır. Bu aşamada yuvaların taşındıkları habitatlarda başarılı olarak yerleşebilmeleri için uygun ekolojik koşulların sağlanması önemlidir (Serttaş vd., 2013; Yılmaz vd., 2023)

Bu çalışmada karışık meşcerelerde bulunan yuvaların saf meşcerelerden daha fazla olduğu görülmüş ve karıncalar habitat seçiminde karışık meşcereleri saf meşcerelere göre daha fazla tercih etmişlerdir. Bu türlerin genellikle ibreli ormanları tercih ettiği ancak yaprak döken ormanlarda da bulunabildikleri bilinmektedir (Maresch ve Schreiber, 2023). Kuzey Avrupa ve Asya’da *Formica rufa* grubu ibreli meşcereler ve ibreli ile karışım oluşturan yapraklı meşcerelerde bulunurlar (Risch vd., 2008). Rosengren vd., (1979). *F. rufa* yuvalarının karışık ormanları tercih ettiğini belirtmektedir. *F. rufa* yuvalarının %55,6’sının karışık ibreli meşcerelerde bulunduğu ifade edilmiştir (Yılmaz vd., 2023). Norveç ladininin baskın olduğu ormanlarda da karışık ormanlar yuva yoğunluğu bakımından daha fazla tercih edilmiştir (Vandeghechhte vd 2017).

Karıncaların çok yüksek oranda 3 kapalı meşcereleri diğer bir ifade ile kapalılığı yüksek olan meşcereleri tercih ettiği tespit edilmiştir. *F. rufa* grubunun habitat tercihlerinde önemli olan meşcere kapalılığı (Punttila ve Kilpeläinen, 2009) dikkate

alındığında Öçal, (2011) 2 ve 3 kapalı meşcerelerin Serttaş vd., (2013) 2 kapalı meşcerelerin, Yılmaz vd. (2023) orta ve tam kapalı meşcerelerin, Antonova ve Marinov (2021) %40-80 kapalılıkta olan meşcerelerin, Serttaş vd. (2020) gevşek ve orta kapalı meşcerelerin, Berberich vd. (2022) ise yüksek kapalılık oranına sahip meşcerelerin yuvalar için daha uygun olduğunu ifade etmektedirler. Bunun yanında *F. rufa* ve *F. polycтена*'nın düşük ve yüksek kapalılıklarda yaklaşık eşit bir oranlarda bulunmuşlardır (Punttila ve Kilpeläinen 2009).

Çalışma alanında *F. rufa* yuvalarının yarısından fazlasının katlı meşcereleri tercih ettiği belirlenmiştir. Bunun yanında c çağında bulunan meşcereleri de ikinci sırada tercih ettikleri görülmektedir. *F. rufa*'nın habitat tercihinde b ve c gelişim çağında (Öçal, 2011), d gelişim çağındaki meşcereleri tercih ettiği belirlenmiştir (Yılmaz vd., 2023). Genellikle yaşlı meşcereler daha fazla yuva barındırmaktadırlar (Antonova ve Marinov 2021; Sondej vd., 2012; Sorvari, 2009). Bu çalışmada yuvaların hemen tamamı normal kapalı meşcerelerde bulunmaktadır. Yılmaz (2023)'de *F. rufa* yuvalarının %72,3 oranında verimli ormanları tercih ettiği vurgulanmaktadır. Yetiştirme ortamı verim gücüne göre yuvaların yarısından fazlası orta bonitette bulunan meşcerelerdedir. Benzer şekilde Yılmaz vd. (2023) *F. rufa* yuvalarının verimli ormanlarda daha fazla bulunduğunu ve II. ve III. bonitetteki meşcerelerde yoğunlaştıklarını belirtmektedir.

Çalışma alanında gölgeli bakılarda bulunan yuvaların sayısı güneşli bakılarda saf meşcerelerde bulunan yuvaların sayısından yaklaşık 2 kat daha fazla bulunmuştur. Karıncaların genel olarak güneşli bakıları daha fazla tercih ettiği vurgulamaktadır (Hughes ve Broome 2007; Risch vd., 2016;). Yine yuvaların %51'i güneşli bakılarda; %33'ü gölgeli bakılarda tespit edilmiştir (Risch vd., 2008). Bu bulguların aksine Yılmaz (2023)'de *F. rufa* yuvaları gölgeli bakıları tercih etmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda da Kırmızı orman karıncalarının gölgeli bakıları tercih ettiği (Freitag vd., 2016; Öçal, 2011; Serttaş vd., 2020; Vandegehuchte vd., 2017) görülmektedir. Gölgeli bakılar özellikle öğlen saatlerinde yüksek solar radyasyondan kaçınmayı sağlayabilir (Vandegehuchte vd., 2017).

Bu çalışmada *F. rufa* yuvalarının genellikle eğimin düşük olduğu meşcereleri tercih ettiği tespit edilmiştir. İngiltere, Galler ve İskoçya’da yapılan bir çalışmada yüksek eğimli alanların düz alanlara göre daha fazla yuva barındırdığı ifade edilmiştir (Nelmes, 1938). Genellikle yüksek eğimli alanlar tercih ettikleri vurgulanmaktadır (Risch vd., 2016). Bunun yanında Türkiye’de yuvaların daha düşük eğimli (Aktaş 1987; Öçal, 2011; Yılmaz vd., 2023) alanlarda bulunduğu ifade edilmiştir. Benzer bir çalışmada da yuvaların eğimin %21-30 olduğu alanlarda bulunduğu belirtilmiştir (Serttaş vd., 2013). Yuvaların %21’i eğimin %0 olduğu düz arazide, %18’i ise %15’den daha dik alanlarda bulunmuştur (Risch vd., 2008).

Yükselti değişkenine göre yuvaların çoğunluğu 1800 m’ye kadar olan meşcerelerde yer almaktadır (Tablo 2; Şekil 9). Türkiye’de yapılan çalışmalarda *F. rufa* yuvalarının 1500 m’den daha yüksekte (Yılmaz vd., 2023), 1500-1700 m’de Öçal (2011), 800 ile 2600 m’de (Aktaş, 1987), 1515-1570 m yükseltiler arasında (Serin, 1999) yoğunlaştığı belirtilmiştir. İklim değişkenlerinden sıcaklığa göre yuvalar habitat seçiminde düşük sıcaklıklara sahip alanları daha fazla tercih ettiği görülmüştür. *F. rufa* yuvalarının daha fazla oranda 11°C’den daha düşük sıcaklığa sahip meşcereleri tercih ettiği tespit edilmiştir (Yılmaz vd., 2023).

Bu çalışmada kırmızı orman karıncalarının yuvalarının %60,3’ü 48 mm’den daha düşük meşcerelerde ve yer almıştır ve yuvaların sayısı solar radyasyonla doğrusal olarak artmıştır. *F. rufa* yuvalarının daha fazla oranda 53 mm’den daha az yağış alan meşcerelerde bulunmuştur (Yılmaz vd., 2023). Yellowstone milli parkında *Formica obscuripes*, *Formica oreas* ve *Formica puberula*’un değerlendirildiği çalışmada yuvaların yıllık ortalama yağışa bağlı olarak rastgele olmayan bir dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Buna göre yuvaların %73’ü yıllık ortalama yağışın 250-760 mm olan yerlerde bulunduğunu ve 1270 mm’den daha fazla yağış alanlarda ise hiç yuva bulunmadığını belirtmiştir (Risch vd., 2008). Solar radyasyon yuvanın ısıtılması ve kuru tutulması açısından önemlidir (Frouz, 2000). *F. rufa* yuvalarının 800000-900000 WH/m² solar radyasyona sahip meşcereleri tercih ettikleri tespit edilmiştir (Yılmaz vd., 2023).

Ekosistem yönetimi açısından türlerin dağılımlarının bilinmesi önemlidir. Bir türün coğrafi ve çevresel dağılımını tahmin etmek için kullanılan tür dağılım modelleri mevsimsel ve zamansal değişkenliği birleştirerek değerlendirme sağlamaktadır (Robinson vd., 2017). Bir türün bir alandaki dağılımını anlamak ve tahmin etmek için kullanılan tür dağılım modelleri, bazen bioiklimsel modeller, iklim modelleri, ekolojik niş modelleri, habitat modelleri, kaynak seçimi modelleri olarak da kullanılabilmektedir (Elith ve Leathwick, 2009). Türlerin ekolojik niş dağılımını anlamak ve potansiyel habitat uygunluğunu tahmin etmek için çeşitli tür dağılım teknikleri kullanılmaktadır kullanmıştır. Tür dağılım modelleri arasında MaxEnt modelinin daha fazla tercih edildiği görülmektedir (Adhikari ve Barik, 2012; Garcia vd., 2013; Kumar ve Stohlgren, 2009). Bunun nedeni MaxEnt yaklaşımının küçük örneklem büyüklüğünün yeterli olması, çalışma mantığının basit olması, hesaplama sonuçlarının anlaşılabilirliği ve kısa sürede sonuca ulaşılabilmesi olarak görülmektedir (Li vd., 2020; Philips vd., 2006; Zhang vd., 2018).

Bizim çalışmamızda *Formica rufa*'lar için potansiyel uygun alanların belirlenmesi MaxEnt yaklaşımı ile modellenmiştir. *Formica rufa*'lar için potansiyel uygun alanların uygunluk seçiminde model sonucuna en çok katkı sağlayan değişken meşcere gelişim çağı olmuştur. Bunun yanında GÇ (gelişim çağı), N (nitelik) ve BIO7 (yıllık sıcaklık değişim aralığı) değişkenleri toplam olarak modelin %75,1'ini oluşturmuştur. ROC analiz sonuçlarına göre eğitim verilerinde AUC 0,941; test verilerinde ise AUC 0,946 olarak bulunmuştur. Sonuçlar modelin mükemmel bir tahmin gücü olduğunu göstermektedir (Gassó vd., 2012).

Bugüne kadar ki çalışmalara bakıldığında tür dağılım modelleri karınca çalışmalarında sıklıkla kullanılmamaktadır ancak, bu tarz dağılım modelleri başta biyocoğrafya, ekoloji ve ilgili alanlardaki çalışmalar için iyi bir yaklaşım sergilemektedir (Silva vd., 2022). *Formica rufa* grubu için habitat uygunluğunun MaxEnt ile yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Procter vd. (2015) MaxEnt ile yeni kurulan yerli olmayan ibreli ağaç plantasyonlarının *Formica lugubris* için uygun yaşam alanı sunup sunmadığını modellemişlerdir. İngiltere'de North York Moors Ulusal Parkı'nda gerçekleştirilen bu çalışmada

ağaçlandırma oranı 1854'ten 2013'e kadar olan zaman aralığında değerlendirilmiş ve mevcut *Formica lugubris* yuvalarının konumları kullanılmıştır. Buldukları modelin AUC değeri 0,793 olarak hesaplanmıştır. Ağaçlandırma alanlarının bu karıncalar için uygun bir yaşam alanı olduğunu ortaya koyulmuş ve belirli bir yerde bir karınca yuvası bulunma olasılığını tahmin etmede en önemli değişkenin, 1854 yılında bu yuvanın orman örtüsüne olan uzaklığı olarak belirlenmiştir.

Bunun yanında MaxEnt yaklaşımı farklı karınca türlerinin potansiyel uygun alanlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Fareen vd. (2022)'de yaptıkları çalışmada *Brachyponera nigrita*'nın Pakistan'da 2050'ler için coğrafi dağılımını MaxEnt ile modellemişlerdir. Buna göre *B. nigrita*'nın bioklimatik değişkenlere göre mekânsal dağılımının çeşitli bölgelerde artacağı belirtilmiştir. Modelin ortalama AUC değeri 0,930 ile doğruluğunun mükemmel olduğu vurgulanmıştır. Jackknife testine göre ise BIO4 (mevsimsel sıcaklık), BIO8 (en sıcak ilk üç ayın yağış miktarı), BIO17 (en kurak ilk üç ayın yağış miktarı) ve BIO15 (mevsimsel yağış miktarı) 'in diğer tüm değişkenlerle karşılaştırıldığında türün potansiyel dağılımının tahminine %98 katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

MaxEnt modeli ile yabancı istilacı karıncalardan olan Arjantin karıncasının (*Linepithema humile* (Mayr, 1868) (Hymenoptera: Formicidae)), Çin'deki potansiyel uygun alanları tahmin edilmiştir. Belirlenen değişkenlere bağlı olarak *L. humile*'nin mevcut potansiyel habitat alanı için MaxEnt modeline göre AUC değeri 0,833 olmuştur ve buna göre tahmin doğruluğu oldukça yüksetir. Biyoklimatik değişkenlerden BIO11 (en soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı), BIO9 (en soğuk çeyreğin yağışı), BIO8 (en yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı) ve BIO18 (en sıcak çeyreğin yağışı) en önemli değişkenler olarak belirlenmiştir (Li vd., 2022).

Senula vd. (2019) Amerika Birleşik Devletleri'ndeki *Trachymyrmex* ve *Mycetomoellerius* cinsine ait karıncaların habitat uygunluğunu iklim ve toprak değişkenlerini kullanarak MaxEnt ile tahmin etmişlerdir. Biri hariç tüm modellerde iklim değişkenleri toprak değişkenlerinden daha önemli olarak bulunmuştur. Modelinin performansında en önemli değişkenler *M. turrifex*'de (Wheeler, 1903) BIO1 (yıllık ortalama sıcaklık), *T. arizonensis* (Wheeler, 1907), *T. carinatus* ve *T.*

smithi Buren, 1944'de BIO15 (mevsimsel yağış miktarı), *T. septentrionalis* (McCook, 1881)'de BIO19 (en soğuk ilk üç ayın yağış miktarı) ve *T. desertorum* (Wheeler, 1911)'de yıllık sel taşkını olmuştur.

Song vd., (2021) Çin'deki mevcut ve gelecekteki iklim senaryoları için istilacı bir tür olan ateş karıncası ((*Solenopsis invicta*) (Hymenoptera: Formicidae))'nı MaxEnt kullanarak modellediler. Gelecek seneryosuna göre tür için potansiyel uygun alanların artmasının beklendiği belirtilmiştir. Modelin AUC değeri eğitim verileri için 0,974; test verileri için 0,973 olarak bulunmuştur.

Krapf (2023) bir karınca türü olan *Manica rubida* (Hymenoptera: Formicidae)'nın dağılım haritasını oluşturmuştur. Buna göre türün asıl yayılış yerlerinin Avrupa Alpleri, Orta Masif ve Karpatlar'daki dağlık bölgeler olduğu, aynı zamanda Pindus Dağları ve Kafkasya'da var olduklarını belirtmektedir. Tür dağılım modeline göre ise Pireneler, Apeninler, Avrupa Yaylaları, Dinarik Alpler, Karpatlar, Pindus Dağları, Balkan Dağları, Pontus Dağları ve Kafkasya'da potansiyel uygun alanların bulunduğu vurgulanmaktadır.

MaxEnt yaklaşımı bazı zararlı türlerin istila risklerini ortaya koymak içinde kullanılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda da modelin doğrulukları oldukça yüksek bulunmuştur. Sivrikaya vd. (2023) Kazdağı göknarı ormanlarının kabuk böceklerinden *Pityokteines curvidens*'e olan duyarlılığını MaxEnt ile değerlendirmişlerdir. Buna göre modele katkı veren en önemli değişkenler meşcere karışımı, bonitet ve yükselti olmuştur. Model için yapılan ROC analizine göre böceğin duyarlılık haritalamasının doğruluğu 0,739 olarak hesaplanmıştır. Modele göre çalışma alanındaki göknar ormanları *P. curvidens*'e karşı hassas olduğu ortaya konulmuştur.

Sivrikaya ve Özcan (2022) Karaçam ormanlarında zarar yapan *Ips sexdentatus* için duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Sadece bioklimatik değişkenler ile yapılan modellemede BIO1 (yıllık ortalama sıcaklık) zararlı türün ormanlardaki duyarlılığı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir ve AUC 0,705 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışma alanının büyük bir bölümünün *I. sexdentatus*

istilalarına karşı hassas olduğu bulunmuştur. Méndez-Encina vd. (2021) *Dendroctonus mexicanus*'un zarar yaptığı üç *Pinus* türü için MaxEnt ile yapılan çalışmada, tek bir değişkenin (BIO 1) modelin %93,9'unu oluşturdugunu bulmuşlardır.

Evangelista vd. (2011) 2020 ve 2050 için mevcut ve öngörülen iklim koşulları altında üç kabuk böceği türünün (Curculionidae: Scolytinae) orman hassasiyetini ve potansiyel dağılımını tahmin etmek için yaptıkları çalışmada *Dendroctonus poeterosae* ve *Ips pini* için uygun habitatların gelecekte azalacağı *Dendroctonus brevicomis* için ise uygun habitatların artacağı sonucuna varılmıştır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü ormanlarında gerçekleştirilmiştir.

Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü ormanlarında toplam 267 adet *Formica rufa* yuvası tespit edilmiştir.

Ormanlarda bulunan *Formica rufa*'ların habitat tercihleri bazı meşcere, topoğrafik ve iklim değişkenlerine göre yorumlanmıştır.

Meşcere karışımına göre *F. rufa* yuvalarının %75,3'ü karışık; %24,7'si ise saf meşcerelerde bulunmaktadır. Meşcere kapalılığına göre *F. rufa* yuvalarının %82,4'ü 3 kapalı meşcerelerde tespit edilmiştir.

Meşcere gelişim çağlarına göre *F. rufa* yuvaların yarısından fazlası katlı meşcereleri tercih etmiştir. *F. rufa* yuvalarının yetişme ortamı verimliliğine göre %57,7'si orta bonitetde bulunan meşcerelerde bulunmaktadır.

F. rufa yuvalarının %99,6'sı ise normal kapalı meşcereleri tercih etmiştir. Gölgeci bakılarda bulunan *F. rufa* yuvalarının sayısı güneşli bakılarda bulunan yuvaların sayısından yaklaşık 2 kat daha fazladır.

F. rufa yuvalarının yarıdan fazlasının eğimin düşük olduğu meşcerelerde olduğu belirlenmiştir. Yükseltiye göre değerlendirildiğinde ise *F. rufa* yuvalarının çoğunluğunun 1800 m'ye kadar olan meşcerelerde bulunduğu tespit edilmiştir.

F. rufa'lar habitat seçiminde düşük sıcaklıklara sahip alanları daha fazla tercih etmiştir. Yuvaların %60,3'ü 48 mm'den daha düşük meşcerelerde yer almıştır. Ayrıca yuvaların sayısı solar radyasyonla doğrusal olarak artmaktadır.

Formica rufa'ların habitat seçiminin MaxEnt yaklaşımı ile modellenmesinde toplam 30 farklı değişken kullanılmıştır, ancak bu değişkenlerden gelişim çağı, nitelik, yıllık

sıcaklık değişim aralığı, kapalılık, karışım, mevsimsel sıcaklık, en kurak ilk üç ayın yağış miktarı ve yıllık ortalama sıcaklık ilişkisiz değişken olarak belirlenmiştir.

Formica rufa'ların habitat uygunluk seçiminde model sonucuna en çok katkı sağlayan değişken gelişim çağıdır.

Değişkenlerin modele katkı oranları GÇ %39,5; N %19,6; BIO4 %16; K %12,3; KR %4,3; BIO4 %3,7; BIO17 %2,9 ve BIO 1 %1,7 olmuştur.

Bunun yanında GÇ; N ve BIO7 değişkenleri toplam olarak modelin %75,1'ini oluşturmaktadır.

Model için en yüksek permütasyon önemine sahip ilk üç değişken N, BIO7 ve GÇ'dir.

ROC analiz sonuçlarına göre eğitim verilerinde AUC 0,941; test verilerinde ise AUC 0,946 olarak bulunmuştur

Jackknife (Çek-Çıkar) testine göre ise habitat seçiminde en etkili faktörler sırasıyla GÇ, BIO7, BIO1 ve BIO4'dür.

MaxEnt modeline göre çalışma alanının %65,8'i çok az uygun alan; %15,9'u az uygun alan; %9,9'u uygun alan ve %8,4'ü çok uygun alan sınıflarında yer almaktadır.

F. rufa yuvalarının %7,9'u çok az uygun alan; %13,1'i az uygun alan; %19,8'i uygun alan ve %59,2'si çok uygun alan sınıflarında yer almaktadır.

Türlerin coğrafi dağılımlarının doğru modellenmesi, ekoloji ve koruma alanındaki çeşitli uygulamalar için çok önemlidir. *Formica rufa* yuva dağılımlarına ilişkin verilerin geniş ölçekte değerlendirilmesi ile eğilimlerinin ortaya koyulması gelecekte bu türlere ilişkin iyileştirme çalışmalarına yardımcı olacaktır.

Bu yuvaların orman habitatlarında kolonileşmelerini kolaylaştırmak için bu çalışmanın sonuçları dikkate alınarak planlamalar yapılmalıdır. Mevcut ormanlarda

doğal olarak bulunan *F. rufa*'ların habitat tercihleri gelecek yayılımları için hedef olarak alınmalıdır.



KAYNAKLAR

- Adhikari, D., Barik, S.K., & Upadhaya, K.(2012). Habitat distribution modelling for reintroduction of *Ilex khasiana* Purk., a critically endangered tree species of Northeastern India. *Ecological Engineering*, 40, 37–43
- Agosti, D., & Alonso, L.E. (2000). The all protocol, ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity. *Smithsonian Institution Press*.
- Aktaç, N. (1987). Research on spread and taxonomy of red wood ants (*Formica rufa*, Hymenoptera: Formicidae) in Turkey. *1st Entomology Congress of Turkey*, 13-16, İzmir.
- Anderson, R.P. (2012) Harnessing the world’s biodiversity data: promise and peril in ecological niche modeling of species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1260, 66–80.
- Antonova, V., & Marinov, M.P. (2021). Red wood ants in Bulgaria: distribution and density related to habitat characteristics. *Journal of Hymenoptera Research*, 85, 135.
- Arslan, E.S., Akyol,, A., Örüçü Ö.K., & Sarıkaya, A.G. (2020). Distribution of rose hip (*Rosa canina* L.) under current and future climate conditions. *Regional Environmental Change*, 20, 107.
- Azcárate, F. M., Arqueros, L., Sánchez, A. M., & Peco, B. (2005). Seed and fruit selection by harvester ants, *Messor barbarus*, in Mediterranean grassland and scrubland. *Functional Ecology*, 19(2), 273-283.
- Balzani, P., Dekoninck, W., Feldhaar, H., Freitag, A., Frizzi, F., Frouz, J., Masoni, A., Robinson, E., Sorvari, J., & Santini, G. (2022). Challenges and a call to action for protecting european red wood ants. *Conservation Biology*, 36, e13959.
- Bede-Fazekas, Á., & Somodi, I. (2020). The way bioclimatic variables are calculated has impact on potential distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(12), 1559-1570.
- Berberich, G.M., Berberich, M.B., & Gibhardt, M. (2022). Red wood ants (*Formica rufa*-group) prefer mature pine forests in Variscan granite environments (Hymenoptera: Formicidae). *Fragmenta Entomologica*, 54(1), 1-18.
- Berg-Binder, M.C., & Suarez, A.V. (2012). Testing the directed dispersal hypothesis: are native ant mounds (*Formica* sp.) favorable microhabitats for an invasive plant? *Oecologia*, 169, 763-772.
- Bernasconi, C., Pamilo, P., & Cherix, D. (2010). Molecular markers allow sibling species identification in red wood ants (*Formica rufa* group). *Systematic Entomology*, 35(2), 243-249.

- Bulut, S. (2023). Machine learning prediction of above-ground biomass in pure Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands of the Mediterranean region, Türkiye. *Ecological Informatics*, 74, 101951.
- Bulut, S., Günlü, A., & Şatır, O. (2023). Estimating net primary productivity of semi-arid Crimean pine stands using biogeochemical modelling, remote sensing, and machine learning. *Ecological Informatics*, 76, 102137.
- Busby, J.R. (1991). A bioclimatic analysis and prediction system. C.R. Margules & M.P. Austin, (Eds.), *Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis*, (pp. 64-68). Australia: MP. CSIRO.
- Bution, M. L., Tango, M. F., de A., & Caetano, F. H. (2010). Intrinsic and extrinsic factors in the conservation of ants and their use as bioindicators. *Arquivos do Instituto Biológico*, 77(1), 181-188.
- Cao, B., Bai, C.K., Zhang, L.L., Li, G., & Mao, M. (2016). Modeling habitat distribution of *Cornus officinalis* with Maxent modeling and fuzzy logics in China. *Journal of Plant Ecology*, 9, 742–751.
- Carnaval, A.C., Hickerson, M.J., Haddad, C.F.B., Rodrigues, M.T. & Moritz, C. (2009). Stability predicts genetic diversity in the Brazilian Atlantic Forest hotspot. *Science*, 323, 785–789.
- Carstens, B.C. & Richards, C.L. (2007) Integrating coalescent and ecological niche modeling in comparative phylogeography. *Evolution*, 61, 1439–1454.
- Castella, G, Chapuisat, M., & Christe, P. (2008). Prophylaxis with resin in wood ants. *Animal Behaviour*, 75(4):1591–1596.
- Castellucci, F., Schifani, E., Luchetti, A., & Scharff, N. (2022). New association between red wood ant species (*Formica rufa* group) and the myrmecophilic spiders *Mastigusa arietina* and *Thyreosthenius biovatus*. *Bulletin of Insectology*, 75(2), 231-238.
- Chambers, J.Q., Asner, G.P., Morton, D., Anderson, L.O., Saatchi, S.S., Espírito-Santo, F.D., Place, C & Souza, C. (2007). Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(8), 414-423.
- Chapuisat, M., Goudet, J., & Keller, L. (1997). Microsatellites reveal high population viscosity and limited dispersal in the ant *Formica paralugubris*. *Evolution*, 51(2), 475-482.
- Chiliński, M.T., Czajkowska, K., Krzysztofiak, L., & Mazurkiewicz, P.J. (2018). Application of remote sensing indices in determining the interrelation between condition of tree stands and myrmecofauna in forests of Wigry National Park. *Steciana*, 22(3), 115-121.

- Chopra, R., Verma, V.K., & Sharma, P.K. (2001). Mapping, monitoring and conservation of Harike wetland ecosystem, Punjab, India, through remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 22(1), 89-98.
- Coenen-Stass, D., Schaarschmidt, B., & Lamprecht, I. (1980). Temperature distribution and calorimetric determination of heat production in the nest of the wood ants *Formica polyctena* (Hymenoptera Formicidae). *Ecology*, 61, 238–244
- Crozier, R.H., & Pamilo, P. (1996). Evolution of social insect colonies: sex allocation and kin selection. *Oxford University Press*.
- Cunze, S., & Tackenberg, O. (2015). Decomposition of the maximum entropy niche function—A step beyond modelling species distribution. *Environmental Modelling & Software*, 72, 250-260.
- Çakır, M. (2019). The negative effect of wood ants (*Formica rufa*) on microarthropod density and soil biological quality in a semi-arid pine forest. *Pedobiologia*, 77, 150593.
- De Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., & Dearing, J.A. (2015). Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 52, 430-443.
- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B.R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M.B., Christiansen, D.M., Decocq, G., Pauw, K.D., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klimes, D.H., Koelemeijer, I.A., Lembrechts, J.J., Marrec, R., Meeussen, C., Ogée, J., Tyystjärvi, V., Vangansbeke, P., & Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279-2297.
- Domisch, T., Finér, L., & Jurgensen, M.F. (2005). Red woodant mound densities in managed boreal forests. *Annales Zoologici Fennici*, 42, 277-282.
- Domisch, T., Risch, A.C., & Robinson, E.J.H. (2016). Wood ant foraging and mutualism with aphids. Stockan, J.A., Robinson, E.J.H (Eds.). *Wood ant ecology and conservation* (pp. 145-176). Cambridge. UK: Cambridge University Press.
- Elith, J. (2002). Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. S. Ferson & M. Burgman (Eds.), *Quantitative methods for conservation biology* (pp. 39-58). Springer.
- Elith, J., & Leathwick, J.R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677-697.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., & Zimmermann, N.E. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151

- 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.
- Evangelista, P.H., Kumar, S., Stohlgren, T.J., & Young, N.E. (2011). Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management*, 262(3), 307-316.
- Fareen, G.E.A., Mahmood, T., Bodlah, I., Rashid, A., Khalid, A., & Mahmood, S. (2022). Modeling potential distribution of newly recorded ant, *Brachyponera nigrita* using Maxent under climate change in Pothwar region, Pakistan. *Plos one*, 17(1), e0262451.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38–49.
- Fitzpatrick, B.R., Baltensweiler, A., Düggelein, C., Fraefel, M., Freitag, A., Vandegehuchte, M.L., Wermelinger, B., & Risch, A.C. (2021). The distribution of a group of keystone species is not associated with anthropogenic habitat disturbance. *Diversity and Distributions*, 27, 572–584.
- Folgarait, P.J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation*, 7, 1221-1244
- Franklin, J. (2009). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. *Cambridge University Press*.
- Freitag, A., Kaiser-Benz, M., Bernasconi, C., Cherix, D., Düggelein, C., Risch, A., & Wermelinger, B. (2016). Vielfalt und Verbreitung der Waldameisen in Graubünden (Hymenoptera, Formicidae, *Formica rufa*-Gruppe): erste Ergebnisse. *Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden*, 119, 161-176.
- Frizzi, F., Masoni, A., Quilghini, G., Ciampelli, P., & Santini, G. (2018). Chronicle of an impact foretold: the fate and effect of the introduced *Formica paralugubris* ant. *Biological Invasions*, 20, 3575-3589.
- Frizzi, F., Masoni, A., Santedicola, M., Servini, M., Simoncini, N., Palmieri, J., & Santini, G. (2022). Intraspecific relationships and nest mound shape are affected by habitat features in introduced populations of the red wood ant *Formica paralugubris*. *Insects*, 13(2), 198.
- Frouz, J. (1997). The effect of wood ants (*Formica polyctena* Foerst.) on the transformation of phosphorus in a spruce plantation. *Pedobiologia*, 41, 437-447.
- Frouz, J. (2000). The effect of nest moisture on daily temperature regime in the nests of *Formica polyctena* wood ants. *Insectes Sociaux*, 47 (3), 229–235.

- Frouz, J., & Jilkova, V. (2008). The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological news*, 11, 191–199.
- Frouz, J., Jilkova V., & Sovari, J. (2016). Contribution of wood ants to nutrient cycling and ecosystem function. J.A Stockan & E.J.H Robinson (Eds.), *Wood ant ecology and conservation* (pp. 207–220). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Garcia, K., Lasco, R., Ines, A., & Pulhin, F. (2013). Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the Philippines. *Applied Geography*, 44, 12–22.
- Gassó, N., Thuiller, W., Pino, J., & Vilà, M. (2012). Potential distribution range of invasive plant species in Spain. *NeoBiota*, 12, 25–40.
- Gibb H., Andersson J., Johansson T. (2016). Foraging loads of red wood ants: *Formica aquilonia* (Hymenoptera: Formicidae) in relation to tree characteristics and stand age. *PeerJ*, 4:e2049.
- González-Hernández A, Morales-Villafañá R, Romero-Sánchez ME, Islas-Trejo B, & Pérez-Miranda R. (2020). Modelling potential distribution of a pine bark beetle in Mexican temperate forests using forecast data and spatial analysis tools. *Journal of Forestry Research*, 31, 649–659.
- Goropashnaya, A.V., Fedorov, V.B., & Pamilo, P. (2004). Recent speciation in the *Formica rufa* group ants (Hymenoptera, Formicidae): inference from mitochondrial DNA phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 32(1), 198–206.
- Goryunov, D.N. (2015). Nest-building in ants *Formica exsecta* (Hymenoptera Formicidae). *Entomological Review*, 95(8), 953–958
- Graham, C., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C. & Peterson, A. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 497–503.
- Guralnick, R.P., Hill, A.W., & Lane, M. (2007). Towards a collaborative, global infrastructure for biodiversity assessment. *Ecology Letters*, 10, 663–672.
- Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L., Albert, D.L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29, 773–785.
- Holec, M., Holcová, D., & Frouz, J. (2023). Red wood ants (*Formica rufa*) help propagate invasive small balsam (*Impatiens parviflora*) in accordance with the directed dispersal hypothesis. *Applied Soil Ecology*, 191, 105048.
- Hölldobler B., & Wilson E.O. (1990). The ants. *Harvard University Press*.
- Hughes, J., & Broome, A. (2007). Forests and wood ants in Scotland. Forestry Commission, Information Note, 8.

- Jílková, V., Matějček, L., & Frouz, J. (2011). Changes in the pH and other soil chemical parameters in soil surrounding wood ant (*Formica polyctena*) nests. *European Journal of Soil Biology*, 47, 72–76.
- Jurgensen, M.F., Finér, L., Domisch, T., Kilpeläinen, J., Punttila, P., Ohashi, M., Niemelä, P., Sundström, L., Neuvonen, S. & Risch, A.C. (2008). Organic mound-building ants: their impact on soil properties in temperate and boreal forests. *Journal of Applied Entomology*, 132 (4), 266-275.
- Jurgensen, M.F., Storer, A.J., & Risch, A.C. (2005). Red wood ants in North America. *Annales Zoologica Fennici*, 42, 235–242.
- Kadochová S., & Frouz J. (2014). Red wood ants *Formica polyctena* switch off active thermoregulation of the nest in autumn. *In-sectes Sociaux*, 61(3), 297–306.
- Kadochová, Š., & Frouz, J. (2013). Thermoregulation strategies in ants in comparison to other social insects, with a focus on red wood ants (*Formica rufa* group). *F1000Research*, 2.
- Kaspari, M., & Majer, J.D. (2000). Using ants to monitor environmental change. Agosti, D., Majer, J., Alonso, E. Schultz, T., (Eds.), *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. biological diversity handbook series. smithsonian institution press. Washington D.C., pp 20+280.
- Khatri, N., Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*, 8(1), 23–39.
- Kilpeläinen, J., Punttila, P., Finér, L., Niemelä, P., Domisch, T., Jurgensen, M. F., Neuvonen, S., Ohashi, M., Risch, A.C., & Sundström, L. (2008). Distribution of ant species and mounds (*Formica*) in different-aged managed spruce stands in eastern Finland. *Journal of Applied Entomology*, 132(4), 315-325
- Kilpeläinen, J., Punttila, P., Finér L., Niemelä, P., Domisch, T., Jurgensen, M.F., Neuvonen S., Ohashi, M., Risch A.C., & Sundström, L. (2007). Distribution of ant species and mounds (*Formica*) in different-aged managed spruce stands in Eastern Finland. *Journal Applied Entomology*, 132, 315-325.
- Kilpeläinen, J., Punttila, P., Sundström, L., Niemelä, P., & Finér, L. (2005). Forest stand structure, site type and distribution of ant mounds in boreal forests in Finland in the 1950s. *Annales Zoologici Fennici*, 42, 243-258.
- Klemas, V. (2011). Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: An overview. *Journal of Coastal Research*, 27(1), 2-17.
- Krapf, P. (2023). Contribution of the public to the modelling of the distributions of species: occurrence and current and potential distribution of the ant *Manica rubida* (Hymenoptera: Formicidae). *European Journal of Entomology*, 120, 137-148.

- Kriticos, D., Morin, L., & Webber, B. (2014). Taxonomic uncertainty in pest risks or modelling artefacts? Implications for biosecurity policy and practice. *NeoBiota*, 23, 81-93.
- Kumar, S., & Stohlgren, T.J. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment*, 1(4), 94–98.
- Lechner, A.M., Foody, G.M., & Boyd, D.S. (2020). Applications in remote sensing to forest ecology and management. *One Earth*, 2(5), 405-412.
- Lenoir, L. (2002). Can wood ants distinguish between good and bad food patches on the forest floor? *European Journal of Soil Biology*, 38(1), 97-102.
- Lenoir, L. (2003). Response of the foraging behaviour of red wood ants (*Formica rufa* group) to exclusion from trees. *Agricultural and Forest Entomology*, 5(3), 183-189.
- Li, J.J., Fan, G., He, Y. (2020). Predicting the current and future distribution of three *Coptis* herbs in China under climate change conditions, using the MaxEnt model and chemical analysis. *Science of The Total Environment*, 698, 134141.
- Maňák, V., Nordenhem, H., Björklund, N., Lenoir, L., & Nordlander, G. (2013). Ants protect conifer seedlings from feeding damage by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Agricultural and Forest Entomology*, 15, 98–105.
- Maresch, L., & Schreiber, U. (2023). Structural geological interpretation of settlement patterns of red wood ants (*Formica rufa* group) in Southwest Germany between the Black Forest and the Swabian Alb. *Preprints*.
- Méndez-Encina, F.M., Méndez-González, J., MendietaOviedo, R., López-Díaz, J.Ó., & Nájera-Luna, J.A. (2021). Ecological niches and suitability areas of three host pine species of bark beetle *Dendroctonus mexicanus* Hopkins. *Forests*, 12(4), 385.
- Mendoza, M.G., Salinas-Moreno, Y., Olivo-Martínez, A., Zúñiga, G. (2011). Factors influencing the geographical distribution of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the sierra madre occidental, Mexico. *Environmental Entomology*. 40(3), 549-559.
- Nelmes, E. (1938). A survey of the distribution of the wood ant (*Formica rufa*) in England, Wales and Scotland. *The Journal of Animal Ecology*, 74-104.
- Nogués-Bravo, D. (2009). Predicting the past distribution of species climatic niches. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 521–531.
- Öçal, F. (2011). Isparta-Senirkent Kapıdağ sedir ormanında *Formica rufa*'nın Envanteri ve Habitat Tercihi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.

- Palacios-Orueta, A., Huesca, M., Whiting, M.L., Litago, J., Khanna, S., Garcia, M., & Ustin, S.L. (2012). Derivation of phenological metrics by function fitting to time-series of Spectral Shape Indexes AS1 and AS2: Mapping cotton phenological stages using MODIS time series. *Remote Sensing of Environment*, 126, 148-159.
- Parmar, T.K., Rawtani, D., & Agrawal, Y.K. (2016). Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in life science*, 9(2), 110-118.
- Parmentier, T., De Laender, F., & Bonte, D. (2020). The topology and drivers of ant-symbiont networks across Europe. *Biological Reviews*, 95(6), 1664-1688.
- Pasetto, D., Arenas-Castro, S., Bustamante, J., Casagrandi, R., Chrysoulakis, N., Cord, A.F., Dittrich, A., Domingo-marimon, C., Serafy, G.E., Karnieli, A., Kordelas, G.A., Manakos, I., Mari, L., Monterio, A., Palazzi, E., Poursanidis, D., Rinaldo, A., Terzago, S., Ziemba, A., & Ziv, G. (2018). Integration of satellite remote sensing data in ecosystem modelling at local scales: Practices and trends. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1810-1821.
- Pavan, M. (1979). Significance of ants of the *Formica rufa* group in Italy in ecological forestry regulation. *Bulletin srop Varenna*, 11(3), 161-169.
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M. & Townsend Peterson A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117.
- Phillips, S.J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Phillips, S.J., & Elith, J. (2010). POC plots: calibrating species distribution models with presence-only data. *Ecology*, 91, 2476–2484.
- Procter, D.S., Cottrell, J., Watts, K., & Robinson, E. J. (2015). Do non-native conifer plantations provide benefits for a native forest specialist, the wood ant *Formica lugubris*? *Forest Ecology and Management*, 357, 22-32.
- Punttila P., Kilpeläinen J. (2009). Distribution of mound-build-ing ant species (*Formica* spp., Hymenoptera) in Finland: preliminary results of a national survey. *Annales Zoologici Fennici*, 46(1), 1–15.
- Ramírez Villegas, J., & Bueno Cabrera, A. (2009). Working with climate data and niche modeling: I. Creation of bioclimatic variables. *Creating bioclimatic variables to work with Maxent*.
- Risch, A.C., Ellis, S., & Wiswell, H. (2016). Where and why? Wood ant population ecology. J.A Stockan & E.J.H Robinson (Eds.), *Wood ant ecology and conservation* (pp. 81-105). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Risch, A.C., Jurgensen, M.F., Storer, A.J., Hyslop, M.D., & Schütz, M. (2008). Abundance and distribution of organic mound-building ants of the *Formica rufa* group in Yellowstone National Park. *Journal of Applied Entomology*, 132(4), 326-336.
- Robinson, E.J.H., Stockan, J.A., & Iason, G.R. (2016). Wood ants and their interaction with other organisms. J.A Stockan & E.J.H Robinson (Eds.), *Wood ant ecology and conservation* (pp. 177-206). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Robinson, N.M., Nelson, W.A., Costello, M.J., Sutherland, J.E., & Lundquist, C.J. (2017). A systematic review of marine-based species distribution models (SDMs) with recommendations for best practice. *Frontiers in Marine Science*, 4, 421.
- Rosengren, R., Vepsäläinen, K., & Wuorenrinne, H. (1979). Distribution, nest densities, and ecological significance of wood ants (the *Formica rufa* group) in Finland. *OILB Bull SROP* 3, 181-213.
- Rubashko, G.E., Khanina, L.G., & Smirnov, V.E. (2011). The dynamics of vegetation on and around *Formica rufa* nests. *Entomological Review*, 91, 169-176.
- Seifert, B. (2018). The ants of central and north Europe. *Lutra Verlags-und Vertriebsgesellschaft*.
- Senula, S.F., Scavetta, J.T., Banta, J.A., Mueller, U.G., Seal, J.N., & Kellner, K. (2019). Potential distribution of six North American higher-attine fungus-farming ant (Hymenoptera: Formicidae) species. *Journal of Insect Science*, 19(6), 24, 1-14.
- Serin, M. (1999). Bolu ormanlarında bulunan *Formica rufa* L. grubu karıncaların yaşam biçimleri ve transplantasyon olanakları üzerinde araştırmalar. *Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü*, 2, 133-182.
- Sertaş, A., Bakar, Ö., Alkan, U.M., Yılmaz, A., Yolcu, H.I., & Ipekdağ, K. (2020). Nest survival and transplantation success of *Formica rufa* (Hymenoptera: Formicidae) ants in Southern Turkey: a predictive approach. *Forests*, 11(5), 533.
- Sertaş, A., Yolcu, H. İ., Sarıbaşak, H., Güngöroğlu, C., Erler, F., & Avcı, M. (2013). Elmalı-Çığlıkara sedir ormanlarında büyük *Formica rufa* L. yuvalarının bazı özellikleri. *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 1(15), 17-31.
- Shcheglovitova, M., & Anderson, R.P. (2013). Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9–17
- Silva, P.S., de Azevedo Koch, E.B., Arnhold, A., & Delabie, J.H.C. (2022). A review of distribution modeling in ant (Hymenoptera: Formicidae) biogeographic studies. *Sociobiology*, 69(4), e7775-e7775.

- Sivrikaya, F., & Özcan, G.E. (2022). Modeling spatial distribution of bark beetle susceptibility using the maximum entropy approach. *Intercontinental Geoinformation Days*, 6, 105-109.
- Sivrikaya, F., Özcan, G.E., & Enez, K. (2023). Predicting the Susceptibility to *Pityokteines curvidens* Using GIS with AHP and MaxEnt Models in Fir Forests. *Analytic hierarchy process-models, methods, concepts, and applications*. IntechOpen.
- Sondeij, I., Domisch, T., Finér, L., & Czechowski, W. (2012). Wood ants in the Białowieża Forest and factors affecting their distribution. *Annales Zoologici Fennici*, 55, 103–114.
- Song, J., Zhang, H., Li, M., Han, W., Yin, Y., & Lei, J. (2021). Prediction of spatiotemporal invasive risk of the red import fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), in China. *Insects*, 12(10), 874.
- Sorvari, J. (2009). Foraging distances and potentiality in forest pest insect control: an example with two candidate ants (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol News*, 12, 211-15.
- Stukalyuk, S., Goncharenko, I., & Kozyr, M. (2023). Changes in the structure of nest complexes of the red wood ants *Formica rufa* and *F. polyctena* (Hymenoptera, Formicidae) in urban forests. *Zoodiversity*, 57(5).
- Sudd, J.H., & Lodhi, A.Q.K. (1981). The distribution of foraging workers of the wood-ant *Formica lugubris* Zetterstedt (Hymenoptera: Formicidae) and their effect on the numbers and diversity of other Arthropoda. *Biological Conservation*, 20(2), 133-145.
- Tiede, Y., Schlautmann, J., Donoso, D.A., Wallis, C.I., Bendix, J., Brandl, R., & Farwig, N. (2017). Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. *Ecological Indicators*, 83, 527-537.
- Tinoco, B.A., Astudillo, P.X., Latta, S.C., & Graham, C.H. (2009). Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: the Violet-throated Metaltail (*Metallura baroni*). *Bird Conservation International*, 19, 63–76.
- Trigos-Peral, G., Juhász, O., Kiss, P.J., Módra, G., Tenyér, A., & Maák, I. (2021). Wood ants as biological control of the forest pest beetles *Ips* spp. *Scientific Reports*, 11, 17931.
- U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>, 2021. Erişim tarihi 3/03/2024.
- Vandegehuchte, M.L., Wermelinger, B., Fraefel, M., Baltensweiler, A., Düggin, C., Brändli, U.B., Freitag, A., Bernasconi, C., Cherix, D., & Risch A.C. (2017). Distribution and habitat requirements of red wood ants in Switzerland: implications for conservation. *Biological Conservation*, 212, 366-375.

- Véle, A., & Frouz, J. (2023). Bark beetle attacks reduce survival of wood ant nests. *Forests*, 14(2), 199.
- Verbruggen, H., Tyberghein, L., Pauly, K., Vlaeminck, C., Van Nieuwenhuyze, K., Kooistra, W., Leliaert, F. & De Clerck, O. (2009). Macroecology meets macroevolution: evolutionary niche dynamics in the seaweed *Halimeda*. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 393–405.
- Waltari, E., Schroeder, R., McDonald, K., Anderson, R. P., & Carnaval, A. (2014). Bioclimatic variables derived from remote sensing: assessment and application for species distribution modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(10), 1033-1042.
- Ward, G., Hastie, T., Barry, S.C., Elith, J. & Leathwick, J.R. (2009). Presence-only data and the EM algorithm. *Biometrics*, 65, 554–563.
- Wardle, D. A., Hyodo, F., Bardgett, R. D., Yeates, G. W., & Nilsson, M. C. (2011). Long-term aboveground and belowground consequences of red wood ant exclusion in boreal forest. *Ecology*, 92(3), 645-656.
- Worldclim 2023. Global Climate Data, Version 2 (Free climate data for ecological modeling and GIS). <http://worldclim.org/version2> Erişim tarihi: 13/05/2023
- Yang, J., Pedlar, J.H., McKenney, D.W., Weersink, A.J. (2015). The development of universal response functions to facilitate climate smart regeneration of black spruce and white pine in Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management*, 339, 34-43.
- Yates, C., McNeill, A., Elith, J. & Midgley, G. (2010). Assessing the impacts of climate change and land transformation on *Banksia* in the South West Australian Floristic Region. *Diversity and Distributions*, 16, 187–201.
- Yilmaz, M., Özcan, G. E., Sivrikaya, F., & Enez, K. (2023). Investigation of some factors affecting habitat selection and nest size of *Formica rufa*. *Forest Ecology and Management*, 545, 121244.
- Zakharov, A.A. (2015). Ants of forest communities, their life cycle and role in forests. Moskva: KMK, *Scientific Press*, 1-404.
- Zhang, K.L., Yao, L.J., Meng, J.S., Tao, J. (2018). Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. *Science of The Total Environment*, 634, 1326–1334.