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

YANGIN RİSK HARİTALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HAZIRLANMASI

SİNAN KARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. FATİH SİVRİKAYA

HAZİRAN - 2023
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Sinan KARA tarafından hazırlanan "**YANGIN RİSK HARİTALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HAZIRLANMASI**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **21.06.2023** 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	Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....

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

Enstitü Müdürü V. Doç. Dr. Osman ÇİÇEK .....

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.

Sinan KARA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YANGIN RİSK HARİTALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HAZIRLANMASI

SİNAN KARA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:PROF. DR. FATİH SİVRİKAYA

Bu çalışma Hatay Orman Bölge Müdürlüğü'nde (OBM) gerçekleştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı Çok Kriterli Karar Verme tekniklerine göre çalışma alanının yangın risk haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. 2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınlara ilişkin bilgiler Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi'nden (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) elde edilmiştir. Yangın risk haritası oluşturmak için 4 ana parametre (meşcere, topoğrafya, çevre ve iklim) ve 16 alt parametre (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık, eğim, bakı, yükselti, topoğrafik ıslaklık indeksi, yerleşim yerine uzaklık, tarım alanına uzaklık, yola uzaklık, nehre uzaklık, nüfus yoğunluğu, sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve solar radyasyon) kullanılmıştır. Yangın risk haritaları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Frekans Oranı Yöntemi (FRM) ve İstatistiksel İndeks'e (SI) göre düzenlenmiştir. Meydana gelen yangınların yaklaşık %61'inin kızılçam meşcereleri ve makilik alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Geliştirilen yangın risk modellerinin doğruluğu Göreceli Çalışma Karakteristiği (ROC) analizi ile test edilmiş ve AHP ve FRM modelleri için Eğrinin Altındaki Alan (AUC) değerleri sırasıyla 0,821 ve 0,844 olarak bulunmuştur. Modeller arasında ise FRM'nin AHP'ye göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre her iki modele göre yangın risk haritalarının güvenilir sonuçlar ürettiği ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile CBS tabanlı çok kriterli karar verme tekniklerinin yangın risk haritalarının hazırlanmasında etkili bir araç olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Orman yangını, AHP, FRM, Yangın risk haritası, ROC, Coğrafi Bilgi Sistemi

Haziran 2023, 85 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

PREPARING FIRE RISK MAP USING GIS-BASED MULTI CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES

SİNAN KARA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING
SUPERVISOR:PROF. DR. FATİH SİVRİKAYA

This study was carried out in the Hatay Regional Directorate of Forestry. It is aimed to prepare the fire risk map of the study area according to the Multi Criteria Decision Making techniques based on Geographic Information Systems. Fires data that occurred between 2012 and 2021 was obtained from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). To create a fire risk map, four main parameters (stand structure, topography, environment, and climate) and 16 sub-parameters (tree species, developing stage, crown closure, slope, aspect, elevation, topographic wetness index, distance to settlement, distance to agricultural area, distance to road, distance to river, population density, temperature, precipitation, wind speed, and solar radiation) were used. Fire risk maps were prepared according to the Analytical Hierarchy Process (AHP), Frequency Ratio Method (FRM), and Statistical Index (SI). It has been determined that approximately 61% of the fires occurred in Calabrian pine stands and maquis areas. The accuracy of the developed fire risk models was tested by Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis, and the Area Under The Curve (AUC) values for the AHP and FRM models were found to be 0,821 and 0,844, respectively. Among the models, it was determined that FRM was more successful than AHP. According to these results, it was revealed that the fire risk maps produced reliable results according to both models. With this study, it has been demonstrated that GIS-based multi-criteria decision making techniques can be used as an effective tool in the preparation of fire risk maps.

KEYWORDS: Forest fire, AHP, FRM, Fire risk map, ROC, Geographic Information Systems

June 2023, 85 Page

TEŞEKKÜR

Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Lisansüstü programı kapsamında "Yangın Risk Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Hazırlanması" çalışması gerçekleştirilmiştir. Konu seçiminden tez yazım aşamasına kadar tüm aşamalarda desteğini esirgemeyen ve yaşamın her alanında bilgisine, deneyimine ve görüşüne başvurduğum çok saygıdeğer ve sevgili tez danışmanım Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezin şekillenmesinde ve yazım aşamasında yardım ve desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK'e, sayın hocam Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ'ye ve sayın hocam Doç. Dr. Gonca Ece ÖZCAN'a engin bilgi ve deneyimlerini esirgemedikleri için teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tezin şekilsel olarak düzenlenmesine katkı sağlayan sayın hocam Arş. Gör. Döndü DEMİREL'e de teşekkür ederim.

Benim için her şeyden önemli olan, sevgi ve sabırlarını hiçbir zaman esirgemeyen, hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmasının bütün aşamalarında da her zaman desteklerini hissettiğim aileme, sevgili eşim Sibel BİLGİÇ KARA'ya ve oğlum Seymen Efe'ye en derin duygularımla sevgilerimi sunuyorum.

SİNAN KARA

Kastamonu, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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**
1.1 Yangın Risk Haritaları 8
1.2 Yangın Riskini Etkileyen Temel Parametreler 8
1.2.1 Meşcere Parametreleri 9
1.2.2 Topoğrafik Parametreleri 10
1.2.3 Çevre Parametreleri 11
1.2.4 İklim Parametreleri 11
2. MATERYAL VE YÖNTEM **13**
2.1 Çalışma Alanı 13
2.2 Materyal 14
2.3 Parametrelerin Seçimi 16
2.4 Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri 19
2.4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 19
2.4.2 Frekans Oranı Yöntemi (FRM) 21
2.4.3 İstatistiksel İndeks (SI) 22
2.5 Yangın Risk Haritalarının Düzenlenmesi 23
2.6 Yangın Risk Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi 23
3. BULGULAR **25**
3.1 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı Meşcere Özelliklerine İlişkin Bulgular 25
3.2 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı Topoğrafik Özelliklerine İlişkin Bulgular 30
3.3 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı Çevre Özelliklerine İlişkin Bulgular 36
3.4 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı İklim Özelliklerine İlişkin Bulgular 44
3.5 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemine Göre Yangın Risk Haritası 50
3.6 Frekans Oranı (FRM) Yöntemine Göre Yangın Risk Haritası 53
3.7 İstatistiksel İndeks Yöntemine Göre Yangın Risk Haritası 57
3.8 Yangın Risk Haritasının Doğruluğunun Test Edilmesi 61
4. TARTIŞMA **62**
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **68**
KAYNAKLAR **71**
ÖZGEÇMİŞ **85**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Çalışma alanının konumu 14
Şekil 2.2 Çalışmanın kavramsal tasarımı 16
Şekil 3.1 Çalışma alanının ve orman yangınlarının ağaç türüne göre dağılımı 27
Şekil 3.2 Çalışma alanının ve orman yangınlarının kapalılığa göre dağılımı 28
Şekil 3.3 Çalışma alanının ve orman yangınlarının gelişim çağına göre dağılımı..... 29
Şekil 3.4 Çalışma alanının ve orman yangınlarının bakıya göre dağılımı 32
Şekil 3.5 Çalışma alanının ve orman yangınlarının eğime göre dağılımı 33
Şekil 3.6 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yükseltiye göre dağılımı 34
Şekil 3.7 Çalışma alanının ve orman yangınlarının topoğrafik ıslaklık indeksine göre dağılımı 35
Şekil 3.8 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yerleşim yerine uzaklığına göre dağılımı 39
Şekil 3.9 Çalışma alanının ve orman yangınlarının tarım alanlarına uzaklığına göre dağılımı 40
Şekil 3.10 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yola uzaklığına göre dağılımı..... 41
Şekil 3.11 Çalışma alanının ve orman yangınlarının nehire uzaklığına göre dağılımı..... 42
Şekil 3.12 Çalışma alanının ve orman yangınlarının nüfus yoğunluğuna göre dağılımı..... 43
Şekil 3.13 Çalışma alanının ve orman yangınlarının sıcaklığa göre dağılımı..... 46
Şekil 3.14 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yağışa göre dağılımı..... 47
Şekil 3.15 Çalışma alanının ve orman yangınlarının rüzgara göre dağılımı..... 48
Şekil 3.16 Çalışma alanının ve orman yangınlarının solar radyasyona göre dağılımı..... 49
Şekil 3.17 AHP metoduna göre yangın risk haritası 51
Şekil 3.18 Frekans oranı yöntemine göre yangın risk haritası 56
Şekil 3.19 Frekans oranı yöntemine göre yangın risk haritası 61

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Çalışmada kullanılan verilere ilişkin genel bilgiler 15
Tablo 2.2 Yangın risk haritalarının düzenlenmesinde kullanılan parametreler 17
Tablo 2.3 Saaty ikili karşılaştırma ölçeği 20
Tablo 2.4 Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri 21
Tablo 3.1 Çalışma alanının ve orman yangınlarının meşcere özelliklerine göre dağılımları 26
Tablo 3.2 Çalışma alanının ve orman yangınlarının topoğrafik özelliklerine göre dağılımları 31
Tablo 3.3 Çalışma alanının ve orman yangınlarının çevre özelliklerine göre dağılımları 37
Tablo 3.4 Çalışma alanının ve orman yangınlarının iklim özelliklerine göre dağılımları 45
Tablo 3.5 Parametre ve alt parametrelerin katsayı ve tutarlılık oranları 52
Tablo 3.6 Yangın risk kategorilerine göre alan miktarı ve yangın sayısı 52
Tablo 3.7 Yangın risk haritası için parametrelerin frekans katsayı değerleri 53
Tablo 3.8 Yangın risk kategorilerine göre alan miktarı ve yangın sayısı 57
Tablo 3.9 Yangın parametreleri ile yangın noktaları arasındaki mekânsal ilişki 58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

λ_{max}	**:** En Büyük Özdeğer
°C	**:** Derece Santigrat
cm	**:** Santimetre
ha	**:** Hektar
km	**:** Kilometre
m	**:** Metre
M	**:** Yangın Sayısı
n	**:** Kriter Sayısı
N	**:** Piksel Sayısı
S	**:** Saniye

Kısaltmalar

AHP	**:** Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANFIS	**:** Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi
ANN	**:** Yapay Sinir Ağları
ANP	**:** Analitik Ağ Prosesi
AUC	**:** Eğrinin Altındaki Alan
CBS	**:** Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	**:** Tutarlılık İndeksi
CR	**:** Tutarlılık Oranı
Çf	**:** Fıstıkçamı
Çk	**:** Karaçam
ÇKKV	**:** Çok Kriterli Karar Verme
Çz	**:** Kızılçam
DEM	**:** Sayısal Yükseklik Modeli
EFFIS	**:** Avrupa Orman Yangınları Bilgi Sistemi
FL	**:** Bulanık Mantık
FRM	**:** Frekans Oranı Yöntemi
G	**:** Göknar
Gn	**:** Gürgen
IDW	**:** Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntem
Kn	**:** Kayın
Mak	**:** Maki
MaxEnt	**:** Maksimum Entropi
MODIS	**:** Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi
OBM	**:** Orman Bölge Müdürlüğü
Ok	**:** Okaliptus
PR	**:** Frekans Katsayısı
RF	**:** Göreceli Frekans

RI	**:** Rastgele İndeksi
ROC	**:** Göreceli Çalışma Karakteristiği
S	**:** Sedir
SI	**:** İstatistiksel İndeks Yöntemi
TÜİK	**:** Türkiye İstatistik Kurumu
TWI	**:** Topoğrafik Islaklık İndeksi
UA	**:** Uzaktan Algılama
USGS	**:** Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma
YRI	**:** Yangın Risk İndeksi

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri, dünyadaki kara alanının yaklaşık üçte birini kaplamaktadır (Moayedi vd., 2020). Ekosistemlerin devamlılığı için en önemli doğal kaynaklardan biri ormanlardır. Ormanlar, insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için iklim dengesinin sağlanmasında, karbon depolamada, toprak korumada, havayı temizlemede, oksijen üretmede, su kaynaklarını düzenlemede ve kalitesini artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Bilgili vd., 2021a; Dadiko ve Bekele, 2014; Pourtaghi vd., 2015). Fakat, ormanlar böcek istilaları, hastalıklar, kuraklık, tarımsal faaliyetler için orman alanının işgal edilmesi, plansız yerleşimler ve orman yangınları gibi faktörler tarafından tehdit edilmektedir (Kuter vd., 2011). Bu faktörler içerisinde orman yangınları, en önemli zarar verici unsulardan biri olarak görülmektedir.

Akdeniz ülkelerinin en sık karşılaştığı sorunlardan birisi de orman yangınlarıdır. Orman yangınları, orman ekosistemini etkileyebilecek en zararlı olaylardan biridir. Orman yangınları her yıl binlerce hektar alanı etkilemekte ve orman ekosistemlerinde dramatik ve önemli olumsuzluklara sebep olmaktadır (Goldammer ve Mutch, 2001; Mitsopoulos vd., 2017; Yavuz vd., 2018). Özellikle Akdeniz havzasında meydana gelen büyük orman yangınları, çok büyük çevresel, ekolojik ve ekonomik tahribatların yanı sıra can kayıplarına da neden olmaktadır. Yangınlar ekosistemin sürekliliği, stabilitesi ve biyolojik çeşitlilik için büyük bir tehdittir (Garbolino vd., 2016; Lavanya ve Padmaja, 2014; McKenzie vd., 2014; Naderpour vd., 2019). Orman yangınları ayrıca toprağın bozulmasına, karbondioksit tutulmasına (Bo vd., 2020), çölleşmeye ve ormansızlaşmaya (Moayedi vd., 2020) neden olmaktadır. Yangından zarar görmüş ağaçlar, kereste hacminin kalitesini ve orman ağaçlarının ekonomik değerini önemli ölçüde azaltabilen mantar ve böcekler gibi bozulma faktörlerine karşı daha duyarlı olabilir (Akay vd., 2006; Akay vd., 2012).

Ekosistemlerin şekillenmesinde diğer çevresel faktörlerle birlikte insan müdahalesinin etkisi de son derece önemlidir. Dünyanın farklı coğrafyalarında görülen yangın rejimleri ile birlikte Akdeniz ekosistemlerinin yangın rejimlerinde de önemli değişimler görülmektedir (Keeley vd., 2012). Artan nüfus, son yıllarda yanlış arazi

kullanımı, yoğun insan popülasyonu ve buna bağlı olarak yapılaşma ekstrem hava hallerinin olduğu dönemlerde orman yangınlarının artışında önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır (Bowman vd., 2017). Yangın sayılarındaki artışla birlikte iklim değişikliğinin neden olduğu daha şiddetli ve uzun süreli sıcak hava dalgaları Akdeniz Havzası'ndaki yangınların büyümesine ve ekosistemlerde büyük tahribatların oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Kalem vd., 2022; Tavşanoğlu, 2021).

Akdeniz tipi ekosistemler, mevcut bitki türlerinin kompozisyonları bakımından orman yangınlarına son derece hassastırlar. Bu nedenle, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü Yunanistan, İspanya, İtalya, Portekiz, Türkiye ve Fransa gibi ülkeler yangın açısından ayrı bir öneme sahiptir (Akbulak vd., 2018; Mallinis vd., 2018; Quintano vd., 2018; Teodoro ve Amaral, 2019). Akdeniz Havzası'ndaki orman ekosistemi yangına çok hassas ve yatkındır (Çoban ve Erdin, 2020; Sağlam vd., 2008; Sivrikaya vd., 2014). Yangınlar bu ekosistemlerde ve ülkelerde sıklıkla meydana gelmektedir. Avrupa Orman Yangınları Bilgi Sistemi (EFFIS) verilerine göre 2011-2020 yılları arasında yılda ortalama yanan ormanlık alan miktarı Yunanistan'da 24.253 ha, İtalya'da 64.819 ha, İspanya'da 96.593 ha, Portekiz'de 130.706 ha ve Fransa'da 13.373 ha'dır. Yıllık yangın sayısı açısından Yunanistan'da 947, İtalya'da 5.418, İspanya'da 11.341, Portekiz'de 17.713 ve Fransa'da ise 4.323 yangın meydana gelmiştir. Yangın başına ortalama yanan alan miktarı Yunanistan'da 25,61 ha, İtalya'da 11,96 ha, İspanya'da 8,52 ha, Portekiz'de 7,38 ha, Türkiye'de 3,46 ha, Fransa'da 3,09 ha (EFFIS, 2021).

Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkemiz özellikle yaz aylarında yoğun yangın tehdidi ile karşı karşıya kalmakta ve bunun sonucu olarak her yıl meydana gelen orman yangınları ile önemli miktarda orman alanı zarar görmektedir. Ülkemizde 12,6 milyon ha'lık orman alanı yangına çok hassas bölgelerde yer almaktadır. Bu alanların 7,67 milyon ha I. derecede, 4,91 milyon hektarı II. derecede yangına hassas işletmelerde bulunmaktadır. Gerek sahip olduğu iklim gerekse yangına hassas ağaç türlerinin yoğun şekilde bulunduğu Hatay'dan başlayıp Akdeniz ve Ege sahil bölgelerinden İstanbul'a kadar uzanan kıyı şeridi, yangınlar için en riskli bölgeyi oluşturmaktadır (OGM, 2020).

Son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle birlikte artan hava sıcaklıkları, havanın ve yanıcı maddenin nem oranını azaltarak orman yangınlarının ciddi bir tehdit

haline gelmesine neden olmaktadır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında meteorolojik parametrelerdeki bu değişimlere paralel olarak yangın riski ve yangın aktivitesi artmıştır (Fernandes, 2013). Seidl vd., (2011) özellikle Akdeniz Havzası'ndaki yangın rejimi değişikliğinin temel nedeninin orman ekosistemindeki değişiklikten çok iklim değişikliğinden kaynaklandığını belirtmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar ve değişen hava koşulları nedeniyle yangın riskinin giderek artacağı tahmin edilmektedir (Liberatore vd., 2021). Hızlı nüfus artışı ve iklim değişikliği nedeniyle son yıllarda orman yangınlarının ekonomik, ekolojik ve sosyal etkileri artmıştır (Dunn vd., 2017; Jolly vd., 2015; Stephens vd., 2014). Geleceğe yönelik projeksiyonlar, iklim değişikliği nedeniyle yangın mevsiminin daha uzun ve gelecek yıllarda kuraklık seviyelerinin daha yüksek olacağını göstermektedir. Bu durum daha yıkıcı ve mega yangınların meydana gelebileceğini göstermektedir (Kucuk ve Sevinc, 2023; Sakellariou vd., 2020; Yavuz vd., 2018). Giannakopoulos vd., (2009) 2030-2060 yangın riski projeksiyonuna göre, Akdeniz bölgesindeki orman yangını sezonunun 2 ile 6 hafta uzayacağını ve Türkiye'nin bölgede en çok etkilenen ülkelerden biri olacağını belirtmiştir.

Türkiye'de Orman Genel Müdürlüğü'nden elde edilen verilere göre 2011-2020 yılları arasında, her yıl yaklaşık 2.631 orman yangını meydana gelmekte ve ortalama 9.096 ha orman alanı yanmaktadır. Dünyada ve Akdeniz iklim kuşağında yangınlar açısından çok dramatik geçen 2021 yılında ise ülkemizde 2.793 yangın meydana geldi ve 139.503 ha orman alanı yandı (OGM, 2021). Dünyanın birçok bölgesinde ve Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'de de 2021 ve 2022 yaz aylarında çıkan mega orman yangınlarının oldukça yıkıcı etkileri olmuştur (Kalem vd., 2022; Tavşanoğlu ve Pausas, 2022). Kesintisiz orman alanlarının varlığı, ormanlardaki yanıcı madde miktarının artması ve iklim değişikliğine bağlı olarak meteorolojik parametrelerin ekstrem olacağı öngörüsüyle gelecekte Türkiye ve Akdeniz Havzası'nda mega orman yangınlarının devam etmesi beklenmektedir (Pausas ve Keeley, 2021; Tavşanoğlu, 2021). Türkiye'de son 2 yıldır görülen mega yangınlar sürecinde, farklı orman ekosistemlerinin ve bitki örtüsünün sadece Akdeniz ekosistemlerinin alçak rakımlarında değil, hemen hemen tamamında yangına maruz kalmaya başlamış olması öne çıkan faktörlerdir (Kalem vd., 2022).

Yangınlar, geçmişten günümüze kadar ekosistemlerin ekolojik olarak şekillenmesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Bond vd., 2005; Glasspool vd., 2004). Yangınların olumsuz ekolojik ve ekonomik etkilerini azaltmak için yangınlarla mücadele konusunda yeni teknolojilerin de entegrasyonunu içeren yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yangınlarla mücadele çalışmaları genellikle yangın çıktıktan sonraki aşama üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yangınların ekolojik olarak sistemin bir parçası olduğunu kabul eden anlayışın yaygın olmaması, ağaçlandırma faaliyetlerinin artması ve yanıcı maddenin azaltılmasına yönelik yeterli silvikültürel müdahalelerin zamanında yapılamaması nedeniyle ormanlardaki yanıcı madde miktarı artış göstermektedir (Pausas ve Keeley, 2021). Bunun yanında iklim değişikliğinin etkisi, yangın öncesi bakım ve yangın sonrası ormancılık faaliyetleri gibi değişen restorasyon çalışmaları sonucunda yangın rejimlerinde de değişimler başlamıştır (Moreira vd., 2020; Pausas ve Fernández-Muñoz, 2012).

Mega yangınlar döneminde değişen koşullara uyum sağlamak için sadece yangın sırasında ve sonrasında ormancılık yönetiminde değişiklik yapmak yeterli olmayacaktır. Aynı zamanda bu tür riskli bölgeler için objektif ve standardize edilmiş hızlı risk değerlendirme ve afet yönetimi sisteminin geliştirilmesi gerekli hale gelmiştir. Bu sayede can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi, orman varlıklarının daha sürdürülebilir kullanılması, orman varlığının devamının sağlanması sonucu gelişen yeni mega yangınlar sürecine insan ve çevre sağlığı açısından uyumun geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Yangınların ekosistemlerde yaptığı etkiler yanan alan büyüklüğü, yangın sıklığı, yangın mevsimi ve yangın şiddeti ile doğrudan ilişkilidir. Yanan alan büyüklüğü ve yangın şiddeti ise yüksek rüzgar hızı, yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem ve yoğun yanıcı madde birikimi ile orantılı olmaktadır. Mega yangınlar sonucu yangınların ekosistemlerde oluşturdukları tahribat çok daha büyük olmaktadır. Bu tahribatın ölçüsünün çok hızlı belirlenmesi ekosistemin eski haline getirilmesi için ormancılık faaliyetlerinin kesintisiz ve planlı bir şekilde yürütülmesi son derece önemlidir (Bilgili vd., 2021a; Bilgili vd., 2021b). Yangınların sebeplerini ve ekosistemdeki rollerini anlamak, restorasyon uygulamalarının kapsamını ve başarısını doğrudan etkilemektedir (Moore, 2005).

Orman yangın yönetim sistemi, yangın tehlike ve riskinin haritalanması, aktif yangınların izlenmesi, yangına duyarlı alanların belirlenmesi ve yangın sonrası oluşan bozulmanın belirlenmesi olmak üzere dört adımdan oluşmaktadır (Roy, 2003). Yangın risk haritalaması yangın yönetim sisteminin ilk adımını oluşturmaktadır. Yangın risk haritaları ile orman yangınlarına neden olan faktörler analiz edilerek, yangın riski tahmin edilebilmekte ve böylece yangınların sebep olduğu zararlar önlenebilmektedir (Dong vd., 2006). Bu nedenle orman yangın risk haritalarının hazırlanması yangın afetini ve yangının neden olabileceği zararları önlemede önemli bir altlık teşkil etmektedir (Jaiswal vd., 2002). Yangına duyarlı alanlarda yangın risk haritalarının hazırlanması (Güngöroğlu, 2017; Sağlam vd., 2008; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014), yangın riskinin yüksek olduğu alanlarda gerekli önlemlerin alınmasına (Alonso-Betanzos vd., 2003; Çolak ve Sunar, 2020), ilk müdahale ekibinin özellikle yangına duyarlı alanlara yerleştirilmesine (Küçük ve Bilgili, 2006) ve ekibin en kısa ve en güvenli yolu kullanarak yangına en kısa sürede ulaşmasına yardımcı olmaktadır (Akay vd., 2012; Küçük vd., 2017).

Son zamanlarda yangınla mücadeleye yönelik yeni yaklaşımlar, yangın riski taşıyan potansiyel alanları tahmin etmeye ve yangın çıkmadan önce stratejiler geliştirmeye odaklanmıştır (Mitsopoulos vd., 2017). Kızılötesi algılama kameraları, termal kameralar, video analiz, yapay zeka, sensör uygulamaları gibi erken uyarı sistemleri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Amaç, yangınları mümkün olan en kısa sürede tespit etmek ve etkin bir şekilde mücadele etmektir. Bu nedenle orman yangınlarıyla ilgilenen kuruluşlar arasında bu konudaki çalışmalar ilgi görmeye başlamıştır. Yangın riskini azaltmak için orman yangınlarının etkin yönetimine ve ormanların sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu yöntemlerden biri de yangın risk haritası geliştirmektir (Çolak ve Sunar, 2020). Yangın risk haritaları, yangın yönetim kuruluşları tarafından dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Orman yangını risk haritaları, yangına neden olabilecek durumların değerlendirilmesine olanak sağladığı gibi, orman yöneticilerine, karar vericilere ve itfaiyecilere önemli bilgi sağlamaktadır (Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Geleneksel ölçümler, orman yangını riskini değerlendirmek ve saha doğrulaması yapmak için kritik öneme sahiptir. Ancak bunlar maliyetli, zaman alıcı ve belirsizlik taşımaktadır (Çolak ve Sunar, 2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri topoğrafya, arazi yüzey sıcaklığı, bitki türleri ve meteorolojik koşullar gibi çeşitli yangın riski değişkenlerini hızlı, ucuz ve yüksek doğrulukta değerlendirme imkanı sunmaktadır. Bu parametreler yangın riskini belirlemede ve yangın risk haritası oluşturmada etkin şekilde kullanılmakta ve uygulanabilir sonuçlar elde edilmektedir (Bentekhici vd., 2020; Mitsopoulos vd., 2017; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014; Yavuz vd., 2018). CBS, yangınların önceden tahmin edilebilmesi, modellenmesi, yangınların seyrinin izlenmesi, yangın sonrasında ortaya çıkan zararın belirlenmesi gibi çalışmalarda hızlı ve yüksek doğruluk oranına sahip analizlerin yapılmasına imkan sağlamaktadır (Akay vd., 2012; Bahadır, 2010; Erten vd., 2005; Fox ve Stuart, 1994; Jaiswal vd. 2002; Karabulut vd., 2013; Özşahin, 2014; Sağlam vd., 2008; Sharma vd., 2009; Sivrikaya vd., 2014; Şahin ve Gümüşay, 2007). CBS tabanlı olarak gerçekleştirilen yangın risk analizlerinde çok farklı parametreler analize dahil edilebilmekte ve veri güncellemesi gerçekleştirilebilmektedir (Dong vd., 2005; Özşahin, 2014).

CBS kullanılarak yangın risk haritalarının yapımı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcut olup farklı haritalama tekniği ve yaklaşımı kullanılmış ve test edilmiştir (Ateşoğlu, 2014; Çoban ve Erdin, 2020; Güngöroğlu, 2017; Sevinç vd., 2020; Sivrikaya vd., 2014; Teodoro ve Duarte, 2013). Bu çalışmalarda yangına neden olan parametreler (topoğrafya, vejetasyon, arazi kullanımı, populasyon ve yerleşim) kullanılarak ağırlıklandırılmakta ve yangın risk indeksleri hesaplanmaktadır. Bu indekslere göre de CBS ve UA kullanılarak yangın risk haritaları yapılabilmektedir (Adab vd., 2013; Chuvieco ve Congalton, 1989; Cáceres, 2011; Chuvieco ve Sales, 1996; Dong vd., 2006; Ghobadi vd., 2012; Jaiswal vd., 2002; Setiawan vd., 2004; Sharma vd., 2009; Sowmya vd., 2010; Strino vd., 2007).

Literatürde yangın risk haritalarının yapımında analitik hiyerarşi prosesi (Analytical Hierarchy Process) (Akay ve Şahin, 2019; Ateşoğlu, 2014; Çoban ve Erdin, 2020; Hoang vd., 2020; Novo vd., 2020), Fuzzy AHP (Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017), analitik ağ prosesi (Analytic Network Process-ANP)

(Gheshlaghi vd., 2020), yapay sinir ağları (Artificial Neural Network-ANN) (Satir vd., 2016; Vasilakos vd., 2009), bulanık mantık (Fuzzy Logic-FL) (Silva vd., 2020) ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-ANFIS) (Moayedi vd., 2020) gibi farklı model yaklaşımları kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar da lojistik regresyon (Castedo-Dorado vd., 2011; Eskandari ve Chuvieco, 2015; Yakubu ve Duker, 2015), Maksimum Entropi (Maximum Entropy-MaxEnt) (Janiec ve Gadal, 2020) ve Bayes ağ modellerini kullanarak yangın risk haritalarını düzenlemektedir (Sevinç vd., 2020).

Son yıllarda, karar vericiler orman yangın riskini modellemek için yaygın bir şekilde CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerini kullanmaktadır. ÇKKA ve CBS'yi birleştirerek, yangın riskini haritalamak etkili bir yöntemdir (Gheshlaghi vd., 2020). ÇKKV yöntemleri, orman yangınları gibi orman ekosistem olaylarının karmaşık yapıları nedeniyle kullanıcı tanımlı yaklaşımlar ve gereksinimlerle çözümler ortaya koyabilmektedir (Sari, 2021; Zolekar ve Bhagat, 2015). ÇKKV çok sayıda kriter içerisinden en iyi tercihin seçilmesini sağlayan yöntemdir. Karar vericiler açısından değerlendirildiğinde fazla sayıda birbirinden bağımsız kriterlerin ne derecede etkili olduğunu ortaya koyarak, probleme ve faktörlere göre en uygun kararın verilmesine yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda kriterlerin birbiri ile çelişmesi ya da yine kriterlerin sayısal bir değerle ifade edilip edilemeyeceği durumlarında ortak bir dilde çıkarımlar sunarak değerlendirme yapabilen yöntemlerdir (Arslankaya ve Göraltay, 2019).

En yaygın ÇKKV tekniklerinden biri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'dir (Saaty ve Vargas, 1991; Saaty, 2001). AHP, anlaşılabilirlik açısından kullanıcılara önemli kolaylıklar sağladığından, diğer yöntemler arasında en çok tercih edilen yöntemdir. AHP, ÇKKV problemlerinde tek başına kullanılabildiği gibi farklı yöntemlerle bir arada da rahatlıkla kullanılabilmektedir. Bulanık AHP, genellikle AHP ile elde edilen ağırlıkların farklı yöntemlerde girdi olarak kullanıldığı durumlarda tercih edilen bir yöntemdir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, bulanık AHP, AHP ile aynı işlevi yerine getirmektedir. Ancak bulanık AHP, matematiksel işlemleri AHP'ye göre daha fazla artırmakta ve karmaşıklaştırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Frekans Oranı Yöntemi (FRM) ve İstatistiksel İndeks (SI) yöntemlerine göre meşcere, topoğrafya, çevre ve iklim parametrelerini kullanarak yangın risk haritalarının düzenlenmesi ve Göreceli Çalışma Karakteristiği (ROC) kullanarak model doğruluklarının karşılaştırılmasıdır.

1.1 Yangın Risk Haritaları

Yangın riski belirli bir alanda insan ya da yıldırım gibi doğal nedenlerin varlığı ve etkisi ile yangının başlama olasılığını ifade etmektedir (Hardy, 2005; Marques vd., 2012; Sağlam vd., 2008). Yangına hassas alanların haritalanması (Akay vd., 2012; Sivrikaya vd., 2014), yangın riski yüksek olan alanlarda gerekli tedbirlerin alınmasını (Alonso-Betanzos vd. 2003), ilk müdahale ekiplerinin yangın riskinin yüksek olduğu alanlarda konuşlandırılmasını (Küçük ve Bilgili, 2006), ilk müdahale ekiplerin en kısa ve en güvenli yolu kullanarak yangına en kısa sürede ulaşımını kolaylaştırmakta (Akay ve Şakar, 2009; Akay vd., 2012; Varol vd., 2010) ve yangına müdahale reçetelerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır (Başaran vd., 2004). Yangın risk haritaları birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Orman yangını risk haritası, yalnızca yangın potansiyeli hakkında bilgi vermekle kalmaz, aynı zamanda orman yöneticilerine ve karar vericilere yardımcı olmaktadır.

CBS tabanlı yangın risk değerlendirmelerinde (yangın risk haritaları) yangına neden olan parametreler (topoğrafya, bitki örtüsü, arazi kullanımı, nüfus, yerleşim alanları, iklim, vs.) ağırlıklandırılmakta ve yangın risk indeksleri tahmin edilmektedir. Yangın risk indekslerine göre yangın risk haritaları CBS ile düzenlenmektedir (Cáceres, 2011; Çolak ve Sunar, 2020; Ghobadi vd., 2012; Naderpour vd., 2019; Sari, 2021). Türkiye'de orman yangınlarına neden olan faktörlere göre yangın risk haritaları üretilmekte ve kullanılmaktadır (Akbulak vd., 2018; Çolak ve Sunar, 2020; Güngöroğlu, 2017; Sağlam vd., 2008; Sivrikaya vd., 2014).

1.2 Yangın Riskini Etkileyen Temel Parametreler

Yangın risk haritalarının düzenlenmesi için orman yangınlarını etkileyen faktörlerin tanımlanması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Meşcere yapısı (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), topoğrafya (eğim, bakı, yükselti), çevre faktörleri (yola ve yerleşim

birimlerine olan uzaklık) ve iklim faktörlerinin (sıcaklık, yağış, solar radyasyon) birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Bilgili vd., 2009; Dong vd., 2006; Küçük ve Sağlam, 2004; Sivrikaya ve Küçük, 2022). Meşcere yapısı, yangınların meydana gelmesi için gerekli olan yanıcı materyali oluşturmaktadır. Topoğrafik faktörler içerisinde yer alan eğim faktörü de önemli bir etkiye sahiptir (Castro ve Chuvieco, 1998; Dong vd., 2006). Bakı yangınların yayılışını etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Kuzeye bakan yamaçlar genellikle diğer yamaçlara göre orman yangınlarına daha hassastır (Castro ve Chuvieco, 1998; Dinc Durmaz vd., 2006; Sivrikaya vd., 2014). Orman yangınlarını etkileyen faktörler arasında, insanların kullandığı yollar ve yerleşim alanları gibi belirli altyapı tesislerinin konumsal dağılımı da bulunmaktadır (Castro ve Chuvieco, 1998; Chuvieco ve Salas, 1996; Sivrikaya vd., 2014). Yangın çıkma olasılığı yerleşim yerlerine yakın olan alanlarda insan faktöründen dolayı fazladır (Erten vd., 2005; Naderpour vd., 2019).

Yangın riskini doğru şekilde belirlemek ve haritalandırmak için ayrıca geçmişte çıkan yangınların sıklığı, konumsal dağılımı ve koordinatlarının bilinmesi gerekmektedir (Koutsias vd., 2004; Kuter vd., 2011). Bir bölgede çıkan yangın sayısı fazla ise bölgenin yangın tehlike derecesi de yüksektir. Geçmişte yaşanan yangınlar, gelecekte yaşanacak olan yangınlar için rehber niteliği taşımakta ve yangınlara karşı önlem alma, planlama ve karar verme süreçlerinde etkili olmaktadır (Duran, 2014). Bunun yanında, yangın riskini arttıran mekânsal parametrelerin (yerleşim yerleri, tarım alanları, yollar ve topoğrafik özellikler) değişimi sınırlı ve uzun dönemlidir. Yangın ile mekânsal faktörler arasındaki güçlü ilişkiler yapılan birçok çalışma ile ortaya konulmuştur (Başaran vd., 2004; Moreira vd., 2011; Neyişçi vd., 1996). Orman yangınlarını etkileyen mekânsal faktörler, CBS ortamında yangına hassas alanları ve yangın düzeylerini belirleyebilecek analizler yapılabilmektedir (Cáceres, 2011; Duran vd., 2014; Jovanović vd., 2013; Karabulut vd., 2013; Sağlam vd., 2008;).

1.2.1 Meşcere Parametreleri

Orman yapısı, orman yangınları için kritik öneme sahiptir. Yangın başlama ve yangın davranışı üzerindeki etkisi açısından yangın riski çalışmalarında dikkate alınan en önemli faktörlerden biridir (Akbulak vd., 2018; Jaiswal vd., 2002; Sivrikaya vd., 2014;

Sivrikaya ve Küçük, 2022). Ağaç türleri, kapalılık ve gelişim çağı, yangın tutuşmasını etkileyen meşcere yapılarıdır (Akay ve Şahin, 2019; Çoban ve Erdin, 2020; Çolak ve Sunar, 2020; Gao vd., 2011; Güngöroğlu, 2017; Kucuk vd., 2021). Tüm ağaç türleri yanıcıdır ve her ağaç türü değişen derecelerde yanma potansiyeline sahiptir. İğne yapraklı ormanlarda ölü örtü tabakası inanılmaz derecede kurudur ve tutuşmaya eğilimlidir (Sari, 2021). Akdeniz bölgesindeki çam ormanlarındaki ölü örtü, yüksek miktarda kuru ibre ve kimyasal reçine uçuculuğu nedeniyle son derece yanıcıdır (Küçük ve Aktepe, 2017). Bu faktörler potansiyel olarak çam ağaçlarından oluşan ormanlarda çok yüksek yangın oranlarına neden olabilmektedir (Küçük vd., 2018). İğne yapraklı ağaç türleri, düşük nem, yüksek derecede yanıcı reçine ve hızlı tutuşma potansiyelleri nedeniyle yüksek yangın riskine sahiptirler. Yapraklı ağaç türlerinden oluşan ormanlar ise yüksek nem içeriği nedeniyle yangına karşı daha dayanıklıdırlar (Gazzard, 2012). Türkiye'de kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), yangına karşı en hassas ağaç türüdür ve oldukça yanıcıdır (Çolak ve Sunar, 2020). Kapalılık orman yangınlarını önlemede önemli bir parametredir. Doğal dal budaması ormandaki ölü organik madde miktarını artırmaktadır. Böyle bir alanda örtü yangını hızlı bir şekilde tepe yangınına dönüşebilmektedir. Orman yangınları özellikle kapalılığın yüksek olduğu meşcerelerde daha tehlikelidir (Çolak ve Sunar, 2020). Orman yangınlarında önemli olan bir diğer meşcere parametresi gelişim çağıdır. Yangın riski, genç meşcerelerde yaşlı meşcerelere göre daha yüksektir ve meşcere yaşlandıkça yangın riski azalmaktadır (Akay ve Erdoğan, 2017; Güngöroğlu, 2017; Sağlam vd., 2008).

1.2.2 Topoğrafik Parametreleri

Eğim, orman yangınlarının başlangıcını, davranışını, hızını ve oranını etkileyerek orman yangınlarında çok önemli bir rol oynamaktadır (Bentekhici vd., 2020; Maktite ve Faleh, 2017; Sari, 2021). Yangın, yokuş yukarı çıktıkça daha hızlı yayılmakta ve eğim arttıkça yangın yayılma hızı, ölü örtünün tutuşması ve yangın riski de artmaktadır (Bonora vd., 2013; Butler vd., 2007; Gerdzheva, 2014; Güngöroğlu, 2017). Nem ve sıcaklık nedeniyle, bakı da yangın riskini etkilemektedir. Ormanların güney bakıları kuzey bakılardan daha fazla güneş ışığı almakta ve bu nedenle güney ve güneybatı yönleri yangına karşı daha risklidirler (Bentekhici vd., 2020; Jose, 2012; Lin ve Sergio, 2009; Sari, 2021). Yükseklik, yüksek sıcaklıklar, düşük nem seviyeleri ve yüksek

rüzgar hızları ile ilişkili temel bir topoğrafik değişkendir. Bu özellikler tutuşma ve yangın riskini artırmaktadır (Suryabhagavan vd., 2016; Xiangwei vd., 2011). Yüksek rakımlı alanlarla karşılaştırıldığında alçak rakımlı alanlar, yüksek sıcaklıkları ve düşük nem miktarları nedeniyle yangın açısından en tehlikeli alanlardır (Bentekhici vd., 2020). Topoğrafik ıslaklık indeksi (Topographic Wetness Index-TWI) yüzey yangınlarının yayılmasında ve tutuşmasında önemli bir faktördür (Cardille vd., 2001).

1.2.3 Çevre Parametreleri

Orman yangınları, kamp ateşlerini gözetimsiz bırakmak, yanan bir sigarayı yere atmak, tarım arazilerindeki mahsul kalıntılarını yakmak ve otlakları yakmak gibi doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleriyle güçlü bir şekilde ilişkilidir (Vilar vd., 2010). Türkiye'de orman yangınlarının yaklaşık %87'si insan kaynaklıdır (OGM, 2021). Birçok orman alanı, kentsel yerleşimlerin ve tarım alanlarının yakınında bulunmakta ve bu durum, orman yangını riskini artırmaktadır. Ormanların yollara, nehirlere, tarım alanlarına ve yerleşim yerlerine yakınlığı yangın tutuşma potansiyelini artırmakta ve orman yolları nehirlere, tarım alanlarına ve yerleşim yerlerine ne kadar yakınsa risk o kadar artmaktadır (Hoang vd., 2020; Sari, 2021; Satir vd., 2016). İnsan faaliyetleri ve araç trafiği yanlışlıkla orman yangınlarına neden olabilmektedir. Nüfus yoğunluğu da orman yangın riskini etkileyen önemli bir faktördür ve yoğun nüfuslu alanlara yakın ormanlar yangına karşı daha savunmasızdır (Akbulak vd., 2018; Güngöroğlu, 2017). İnsanlar nehir kenarlarını rekreatif faaliyetler için yoğun şekilde kullanmakta ve bu durum kamp ateşlerinden ve dikkatsizce sigara içilmesinden kaynaklanan yangın riskini artırmaktadır. Yollara, yerleşim yerlerine, tarım alanlarına ve nehirlere uzaklık ve nüfus yoğunluğu birçok çalışmada orman yangınını etkileyen çevresel risk faktörleri olarak sıralanmıştır (Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Hoang vd., 2020; Mitchell, 2013; Saklani, 2008; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Suryabhagavan vd., 2016).

1.2.4 İklim Parametreleri

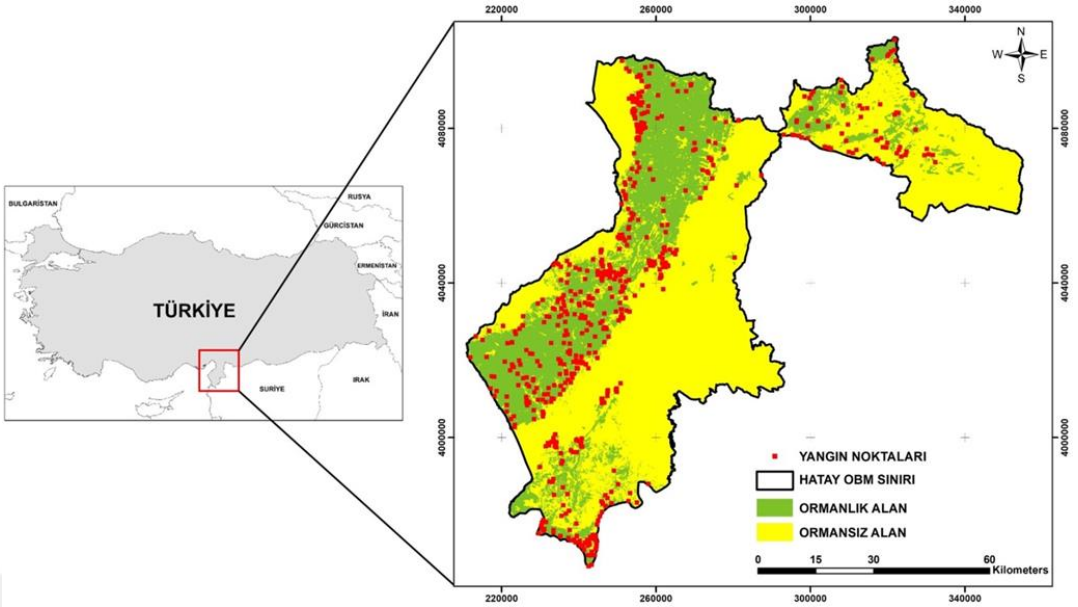
Orman yangın riski ve davranışı yağış, sıcaklık, rüzgar hızı ve bağıl nem gibi meteorolojik değişkenlerle ilişkilidir (Akbulak vd., 2018; Dimitrakopulos vd., 2011;

Ghobadi vd., 2012; Güngöroğlu, 2017). Yüksek sıcaklıklar, ölü örtü nemini azaltmakta ve yangın riskini artırmaktadır. Rüzgar, ölü örtünün nem içeriğini azaltır ve kurumasına neden olarak yangının söndürülmesini zorlaştırır (Mitsopoulos vd., 2017). Daha yüksek rüzgar hızları, yangının daha hızlı yayılmasına ve yoğunluğuna neden olmaktadır (Hoang vd., 2020; Teodoro ve Duarte, 2013). Yağış, orman ekosistemlerinde su kaynaklarının düzenlenmesinde belirleyici bir parametredir. Yağış ölü örtü ve bağıl nem üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yağış miktarının az olduğu alanlarda ölü örtü nemi düşük olmakta ve bu da yangın riskini ve yayılma potansiyelini artırmaktadır. Yağışın olmaması, yanıcı maddelerin nem kapasitesini azaltarak yangın riskini artırmaktadır (Prasad vd., 2008). Akdeniz bölgesindeki orman yangınlarında yağış önemli bir rol oynamaktadır (Bonora vd., 2013; Güngöroğlu, 2017; Pereira vd., 2005). Solar radyasyon miktarı, ölü örtüdeki nem oranını, havadaki bağıl nemi ve rüzgar hızını etkilediği için orman yangınları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Asori vd., 2020).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma Hatay Orman Bölge Müdürlüğü'nde (OBM) gerçekleştirilmiştir. Hatay OBM 19 Kasım 2021 tarih ve 31664 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 4813 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile merkezi Hatay İli olmak üzere kurulmuştur. Hatay OBM Antakya, İskenderun, Dörtyol ve Kilis Orman İşletme Müdürlüklerinden oluşmaktadır. Çalışma alanı ülkemizin güneyinde İskenderun körfezinin doğu kıyılarında 211000-294000 doğu boylamları ve 3965000-4099000 kuzey enlemleri (UTM koordinat sistemi, 37. Zon) arasında kalmaktadır (Şekil 2.1). Hatay OBM 878.272 ha alana sahip olup bu alanın yaklaşık %42'si (366.746 ha) ormanlık alandır. Ormanlık alanın %70'i (257,963 ha) normal kapalı ve %30'u (108.783 ha) ise boşluklu kapalı meşcerelerden meydana gelmektedir. Çalışma alanında hakim ağaç türü kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) olup bunun yanında karaçam (*Pinus nigra* Arnold), sedir (*Cedrus libani* A. Rich.), meşe türleri (*Quercus* ssp.) ve maki vejetasyonu bulunmaktadır. Yangın hassasiyet derecesi bakımından çalışma alanı yangına birinci derecede hassas bir bölgede yer almaktadır. Çalışma alanında yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı karakteristik Akdeniz iklimi hakimdir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 8,1 – 27,9°C arasında değişmekte olup en sıcak ay Ağustos ve en soğuk ay Ocak ayıdır. Diğer bir ifade ile aylık sıcaklık ortalamaları yaz aylarında en fazla, kış aylarında ise en düşük değerlere sahiptir. Yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 1161,5 mm'dir. Yağış miktarının fazla olmasının temel sebeplerinden biri Amanos Dağları'nın denizden gelen hava akımlarına dik uzanış göstermesi ve buna bağlı oluşan orografik yağışlardır. Hatay OBM'nün çalışma alanı olarak seçilmesinin temel nedenleri; alandaki hakim ağaç türünün yangına en hassas tür olan kızılçamın olması, alanın Akdeniz iklim kuşağında bulunması, her yıl çok sayıda yangının meydana gelmesi ve birinci derecede yangına hassas bir bölgede bulunmasıdır.



Şekil 2.1 Çalışma alanının konumu

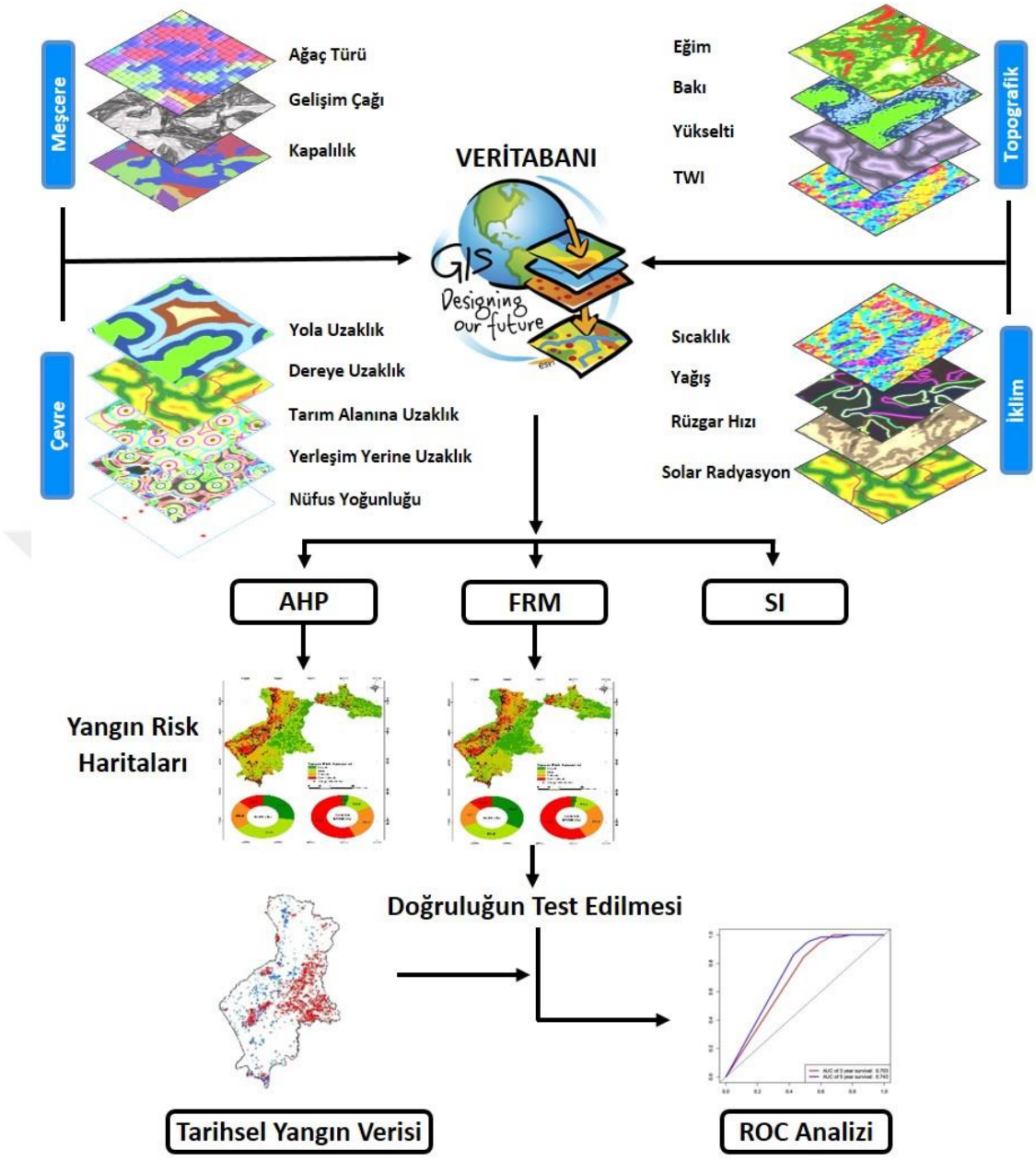
2.2 Materyal

2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınlara ilişkin bilgiler yangın izleme için özel olarak tasarlanmış termal sensörler sağlayan ilk uydu olan Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi'nden (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) elde edilmiştir. Veriler Fire Information for Resource Management System web sitesinden (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/country/) elde edilmiştir. MODIS konumsal çözünürlüğü 1 km, zamansal çözünürlüğü ise 1 gündür. MODIS sistemi, algılama doğruluğu açısından en doğru ve güvenilir kaynak olarak kabul edilmektedir (Langner ve Siegert, 2009). Çalışma alanında 2012-2021 yılları arasında 3.257 adet orman yangını meydana gelmiştir. Çalışma alanına ait 2016 tarihli sayısal meşcere haritası Hatay OBM'den temin edilmiştir. Sayısal meşcere haritası kullanılarak ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık, yerleşim yeri ve tarım alanları haritaları üretilmiştir. 30 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (DEM) Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma web sitesinden (https://earthexplorer.usgs.gov, United States Geological Survey, USGS) temin edilmiştir. DEM verisinden eğim, bakı, yükseklik, topoğrafik ıslaklık indeksi (TWI) ve solar radyasyon haritaları türetilmiştir. İklim verileri (sıcaklık, yağış ve rüzgar hızı) WorldClim (http://worldclim.org) adresinden raster veri olarak indirilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış miktarına ilişkin veriler indirilen iklim verilerinden

elde edilmiştir. Nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) alınmıştır. Nüfus verileri ters mesafe ağırlıklı yöntem (Inverse Distance Weighted, IDW) kullanılarak nokta verisinden poligon verisine dönüştürüldü. Yol ve nehir verileri OpenStreetMap web sitesinden (https://www.openstreetmap.org) elde edilmiştir. Tüm CBS analizlerinde ArcGIS 10.6 kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verilere ilişkin genel bilgiler Tablo 2.1'de ve yangın risk haritalarının düzenlenmesinde kullanılan metodoloji ise Şekil 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Çalışmada kullanılan verilere ilişkin genel bilgiler

Veriler	Kaynak	Veri Tipi	Çözünürlük
Yangın Veriler	MODIS	Nokta	-
Meşcere Haritası	Hatay OBM	Poligon	-
Sayısal Arazi Modeli	USGS	Raster	25 m
İklim Verileri	WorldClim	Raster	750 m
Nüfus Verileri	TÜİK	Nokta	-
Yol ve Nehir Verileri	OpenStreetMap	Çizgi	-



Şekil 2.2 Çalışmanın kavramsal tasarımı

2.3 Parametrelerin Seçimi

Yangın risk haritasının oluşturulması için hangi parametrelerin kullanılması gerektiğine karar vermek için detaylı literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması sonucunda yangın risk haritası oluşturmak için 4 ana parametre (meşcere, topoğrafya, çevre ve iklim) ve 16 alt parametre (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık, eğim, bakı, yükselti, topoğrafik ıslaklık indeksi, yerleşim yerine uzaklık, tarım alanına uzaklık, yola uzaklık, nehre uzaklık, nüfus yoğunluğu, sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve

solar radyasyon) kullanıldı (Tablo 2.2). Parametrelere 1'den 10'a kadar bir puan verilmiş olup, 1 en düşük yangın riskini, 10 en yüksek yangın riskini ifade etmektedir.

Tablo 2.2 Yangın risk haritalarının düzenlenmesinde kullanılan parametreler

Parametre	**Alt Parametre**	**Literatür**
Meşcere	Ağaç Türü	Akay ve Şahin, 2019; Akbulak vd., 2018; Çoban ve Erdin, 2020; Çolak ve Sunar, 2020; Gao vd., 2011; Güngöroğlu, 2017; Satir vd., 2016; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Gelişim Çağı	Çoban ve Erdin, 2020; Çolak ve Sunar, 2020; Gao vd., 2011; Güngöroğlu, 2017; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Kapalılık	Akbulak vd., 2018; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Güngöroğlu, 2017; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022
Topoğrafya	Eğim	Banerjee vd., 2021; Bentekhici vd., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Hoang vd., 2020; Jaiswal vd., 2002; Maktite ve Faleh, 2017; Moayedi vd., 2020; Novo vd., 2020; Pham vd., 2020; Rahmati vd., 2016; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Bakı	Banerjee vd., 2021; Bentekhici vd., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Jaiswal vd., 2002; Moayedi vd., 2020; Novo vd., 2020; Pham vd., 2020; Pourghasemi vd., 2016; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022; You vd., 2017
	Yükselti	Bentekhici vd., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Hoang vd., 2020; Jaiswal vd., 2002; Moayedi vd., 2020; Novo vd., 2020; Pham vd., 2020; Rahmati vd., 2016; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Vacchiano vd., 2018
	Topoğrafik Islaklık İndeksi (TWI)	Banerjee, 2021; Cardille vd., 2001; Güngöroğlu, 2017; Moayedi vd., 2020; Rahmati vd., 2016; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Vadrevu vd., 2010

Tablo 2.2'nin devamı

Parametre	Alt Parametre	Literatür
Çevre	Yerleşim Yerine Uzaklık	Ajin vd., 2016; Costafreda-Aumedes vd., 2017; Çoban ve Erdin, 2020; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Hoang vd., 2020; Jaiswal vd., 2002; Novo vd., 2020; Pham vd., 2020; Pourghasemi vd., 2016; Sari, 2021; Satir vd., 2016; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022; You vd., 2017
	Tarım Alanına Uzaklık	Çoban ve Erdin, 2020; Hoang vd., 2020; Moayedi vd., 2020; Pham vd., 2020; Satir vd., 2016; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Yola Uzaklık	Bentekhici vd., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Jaiswal vd., 2002; Martin vd., 2019; Moayedi vd., 2020; Novo vd., 2020; Sari, 2021; Satir vd., 2016; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Vilar vd., 2016
	Nehire Uzaklık	Bentekhici vd., 2020; Eskandari, 2017; Hoang vd., 2020; Moayedi vd., 2020; Pourghasemi vd., 2016; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2014; Sivrikaya ve Küçük, 2022; You vd., 2017
	Nüfus Yoğunluğu	Aldersley, 2011; Güngöroğlu, 2017; Kwak vd., 2012; Oliveira vd., 2012; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Vilar vd., 2016
İklim	Sıcaklık	Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Hoang vd., 2020; Moayedi vd., 2020; Pham vd., 2020; Pourghasemi vd., 2016; Sari, 2021; Satir vd., 2016; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Yağış	Banerjee vd., 2021; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Hoang vd., 2020; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Rüzgar Hızı	Costafreda-Aumedes vd., 2017; Çoban ve Erdin, 2020; Eskandari, 2017; Gheshlaghi vd., 2020; Hoang vd., 2020; Moayedi vd., 2020; Pourghasemi vd., 2016; Satir vd., 2016; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022
	Solar Radyasyon	Asori vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022

2.4 Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

2.4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri'nin (ÇKKV) en yaygın yöntemlerinden biridir. Dijital bir metodoloji, güçlü ve esnek bir karar verme teorisi (Belhadi vd., 2017; Kumar ve Garg, 2017) olan AHP, karar verme problemlerini çözmek için kullanılmakta ve alternatif seçenekler arasından en uygun çözümü değerlendirerek araştırmaktadır (Saaty, 2001). Hiyerarşik bir karar verme süreci olan AHP hedefler ile olası alternatifler arasındaki ilişkileri göstermektedir. AHP'nin en büyük avantajlarından bir tanesi, deneyimler, sezgiler ve öznel tercihler gibi maddi olmayan varlıkların mantıksal ve yapısal olarak kapsanmasına izin vermesidir (Mu ve Pereyra-Rojas, 2017). AHP, yangın risk haritası, heyelan haritası, böcek risk haritası gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Bentekhici vd., 2020; Çevik ve Topal, 2003; Pourghasemi vd., 2013; Sari, 2021; Sivrikaya vd., 2022; Youssef vd., 2011). AHP yöntemi, hedeflerin, ana kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesine ve bunları hiyerarşik bir düzende tanımlamasına olanak tanımaktadır.

AHP dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar modelleme, değerleme, önceliklendirme ve sentezden oluşmaktadır. AHP'de ilk adım, karar için bir hiyerarşi oluşturmaktır. Buna karar modelleme de denir ve sadece kararı analiz etmek için bir hiyerarşi oluşturmaktan ibarettir. AHP, problemi bir hiyerarşi olarak yapılandırmaktadır. Problemi bu şekilde yapılandırarak, alınacak kararın, kullanılacak kriterlerin ve değerlendirilecek alternatiflerin daha iyi anlaşılmasını mümkün kılmaktadır. Tüm kriterler aynı öneme sahip değildir. Bu nedenle, AHP sürecindeki ikinci aşama, kriter, alt kriter ve alternatif çiftlerin ikili karşılaştırmasını içermektedir. Bu aşamada karar vericiler, Tablo 3.3'de gösterildiği gibi Saaty (2012) tarafından geliştirilen önceliklerin nicel ve nitel performanslarını standartlaştırmak için 1'den 9'a kadar değişen sayısal bir ölçek kullanarak her bir kriter ve alt kriterin göreceli önceliklerini türetmektedir.

Tablo 2.3 Saaty ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2, 4, 6 ve 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Bu ikili karşılaştırmalar, her bir faktörün katkısının bağımsız olarak değerlendirilmesine izin vererek karar verme sürecini basitleştirir (Rezaei-Moghaddam ve Karami, 2008). AHP'nin en önemli avantajlarından biri de doğal sadeliğidir. AHP yönteminde kriterlerimizin sayısı çok olmasına rağmen iki kriter sürekli olarak birbiriyle karşılaştırılır. Bir diğer önemli avantajı ise maddi değişkenlerin yanı sıra maddi olmayan değişkenlerin de dikkate alınmasıdır (Mu ve Pereyra-Rojas, 2017). İkili karşılaştırma matrisi aşağıda verilmiştir (2.1).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

AHP'deki önemli aşamalardan biri de tutarlılık oranının tahmin edilmesidir (Saaty, 2001). AHP kendi içinde güvenilir bir değerlendirme süreci olmasına rağmen, sonuçların doğruluğu, kriterler ve alt kriterler arasındaki ikili karşılaştırmanın tutarlılığına bağlıdır. Bu tutarlılığı belirlemek için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmaktadır. CR, kriterler arasında bire bir karşılaştırmaları test etme fırsatı sunmaktadır. AHP analizine devam etmek için CR değerinin 0,10 veya daha düşük olması gerekmektedir. Bu, ikili karşılaştırma matrisinin kabul edilebilir bir tutarlılığa sahip olduğu anlamına gelmektedir. CR 0,10'dan büyük ise, ikili tutarlılık yetersiz tutarlılığa sahiptir. Bu durumda, tutarsızlığı 0,10'ın altına indirmek için değerlendirmeleri revize etmek ve gerektiğinde değiştirmek gerekmektedir (Chakraborty ve Banik, 2006; Chen vd., 2010; Saaty, 2012). Endeks ve CR'nin hesaplanması aşağıdaki gibidir (2.2; 2.3).

$$CI = \lambda_{max} - n \,/\, n - 1 \tag{2.2}$$

$$CR = CI \,/RI \tag{2.3}$$

burada *CI* tutarlılık indeksi, λ_{max} en büyük özdeğer, *n* matriste karşılaştırılan kriter sayısı, *RI* karşılaştırılan kriter sayısına bağlı rastgele indekstir. Tutarlılığı belirlerken n'e bağlı *RI* değerleri Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4 Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

AHP metoduna göre yangın risk haritası düzenlemek için kullanılan kriterlerin ikili karşılaştırması Saaty (2012) ikili karşılaştırma ölçeğine göre yapıldı ve karşılaştırmada bu ölçeğe göre 1 ila 9 arasında değerler verildi. İkili karşılaştırmanın tutarlılık oranı hesaplandı ve tutarlılık oranı 0,10'dan küçük olan kriter katsayıları dikkate alındı. Böylece her bir kriter ve alt kriterin AHP metoduna göre ağırlıkları hesaplandı.

2.4.2 Frekans Oranı Yöntemi (FRM)

Frekans oranı yöntemi (Frequency Ratio Method-FRM), anlaşılabilir ve uygulaması kolay bir olasılık modelidir. Bu özelliği sayesinde yaygın olarak yangın risk haritalarının oluşturulmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Sıklık oranı, bir olayın gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanmaktadır (Erener vd., 2010; Lee vd., 2004; Lee ve Evangelista, 2005; Sivrikaya vd., 2022). Geçmişteki orman yangınlarının yerleri ile söz konusu orman yangınını etkileyen her bir faktör arasındaki ilişkiyi araştırmak için frekans oranı yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle her bir orman yangınını etkileyen faktörler kategorilere ayrılmakta ve CBS fonksiyonları kullanılarak her bir faktörün her bir kategorideki frekans oranı değeri hesaplanmaktadır (2.4).

$$FR_i = (M_i/M) \,/\, (N_i/N) \tag{2.4}$$

burada M_i, her bir alt kriter için yangın içeren piksel sayısını, M, çalışma alanındaki toplam yangın sayısını, N_i, her bir alt kriterin piksel sayısını ve N çalışma alanındaki toplam piksel sayısını ifade etmektedir (Ehret vd., 2010). Hesaplanan frekans oranı (FR) değerleri 1'in üzerinde ise orman yangın riski yüksektir; tersine, değer 1'den ne kadar düşükse, bu ilişki o kadar düşük olmaktadır. Bu yaklaşıma dayalı olarak, mevcut orman yangın verileri ve ilgili parametreler kullanılarak 3.4 nolu formüle göre olasılık frekans oranı değerleri tablosu hazırlandı.

2.4.3 İstatistiksel İndeks (SI)

Meydana gelen orman yangınları ile orman yangını risk faktörleri arasındaki nicel ilişkiyi göstermek için istatistiksel indeks (Statistical Index-SI) modeli kullanılmaktadır. SI yöntemi, Van Westen (1997) tarafından önerilen ve orman yangını risk haritası için kullanılan iki değişkenli istatistiksel analizlerden biridir (Pourghasemi vd., 2016; Sivrikaya ve Küçük, 2022). İki değişkenli analiz, nicel (istatistiksel) analizin en basit biçimlerinden biridir ve analitik yeteneklere sahip CBS ile yangın risk haritasının hazırlanmasında kullanılmaktadır (Van Westen vd., 2003; Yeşilnacar, 2005). İki değişkenli istatistiksel yöntemin temel avantajı, karar vericilerin yangın riskini etkileyen faktörleri veya faktörlerin kombinasyonlarını belirleyebilmesidir. Bu nedenle, yangın riskini etkileyen çeşitli faktörlerin önemini belirlemek için iki değişkenli istatistik yöntemi kullanılmaktadır. Her bir alt kriter sınıfı için bir ağırlık değeri, kriter sınıfındaki orman yangını yoğunluğunun tüm haritadaki orman yangını yoğunluğuna bölünmesinin doğal logaritması olarak tanımlanmaktadır (Pourghasemi vd., 2013; Pourghasemi vd., 2016). SI aşağıdaki denklemle tahmin edilmektedir (Van Westen, 1997) (2.5):

$$W_{SI} = \ln\left(\frac{M_{ij}/M_T}{N_{ij}/N_T}\right) \tag{2.5}$$

burada W_{SI}, j parametresinin belirli bir i sınıfına verilen ağırlığı; M_{ij}, j parametresinin belirli bir i sınıfındaki orman yangınlarının sayısını; M_T, tüm haritadaki toplam orman yangın sayısını; N_{ij}, j parametresinin belirli bir *i* sınıfındaki piksel sayısını ve N_T, tüm haritanın toplam piksel sayısını ifade etmektedir. İstatistiksel indeks, yangın verileri ve ilgili parametreler kullanılarak 3.6 nolu formüle göre hesaplandı.

2.5 Yangın Risk Haritalarının Düzenlenmesi

Yangın risk haritası yangın risk indeksi (YRI) ile tahmin edildi. YRI değeri ne kadar yüksek ise yangın riski o kadar yüksek, düşük ise o kadar yangın riski düşük demektir. Her üç yaklaşıma göre her bir parametre ve alt parametrenin ağırlıkları hesaplandı ve her bir parametre katmanında veri tabanına girildi. Tüm parametre katmanları üst üste bindirildi ve YRI değerleri, ArcGIS 10.6'daki Raster Calculator aracı kullanılarak tüm parametrelerin ağırlıklarının toplanması ile elde edildi (2.6).

$$YRI_i = YRI_1 + YRI_2 + YRI_3 + \ldots\ldots + YRI_n \quad (2.6)$$

YRI, ArcGIS'teki doğal kırılma (natural breaks) sınıflandırma tekniğine göre düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Böylece üç farklı modele göre (AHP, FRM ve SI) yangın risk haritaları oluşturulmuştur.

2.6 Yangın Risk Haritalarının Doğruluğunun Test Edilmesi

Orman yangını risk haritalarının doğruluğunun test edilmesi süreci bu çalışmanın en önemli adımlarından biridir. Göreceli Çalışma Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic-ROC), geliştirilmiş bir modelin geçerliliğini değerlendirmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir ve genellikle orman yangını risk haritası çalışmalarında da etkin şekilde kullanılmaktadır (Dlamini, 2011; Gheshlaghi vd., 2020; Jaafari vd., 2014; Pourghasemi vd., 2016; Satir vd., 2016; Sevinç vd., 2020). ROC eğrisi, duyarlılık ve özgüllük arasındaki dengeyi kontrol etmek için grafiksel bir tekniktir (Althouse, 2016). ROC eğrisi, X ekseninde yanlış bir pozitif oranı (özgüllük -1) ve Y ekseninde gerçek bir pozitif oranı (duyarlılık) gösteren bir grafik diyagramdır (Kumar ve Indrayan, 2011). İki oran arasındaki dengeyi sembolize etmektedir (Negnevitsky, 2002). Böylece, ROC eğrisi, eğrinin her noktasında yanlış pozitif ve gerçek pozitif değerleri karşılaştırmamıza ve incelememize izin vermektedir. Eğrinin Altındaki Alan (Area Under the Curve-AUC) puanları 0,5 ile 1 arasında değişir ve model doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmaktadır (Nandi ve Shakoor, 2010). En iyi sonuç, en yüksek AUC puanına sahip olmaktır ve AUC puanı 1 ise mükemmel tahmin anlamına gelmektedir (Yeşilnacar, 2005). AUC skoru şu şekilde sınıflandırılmaktadır: 0,9-1,0 mükemmel, 0,8-0,9 çok iyi, 0,7-0,8 iyi, 0,6-0,7 orta ve

0,5-0,6 zayıf. (Pradhan ve Lee, 2010; Pourghasemi vd., 2013; Sivrikaya ve Küçük, 2022). Yangın verileri kullanılarak ROC analizi ile üç farklı modele göre geliştirilen yangın risk haritalarının doğruluğu test edildi.

3. BULGULAR

Çalışma alanında bazı meşcere özellikleri (ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık), topoğrafik (eğim, bakı, yükselti ve topoğrafik ıslaklık indisi), çevre (yerleşim yerine uzaklık, tarım alanına uzaklık, yola uzaklık, nehire uzaklık ve nüfus yoğunluğu) ve iklim (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve solar radyasyon) parametreleri ile 2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınlar dikkate alınarak Analitik Hiyerarşi Prosesi, Frekans Oranı Yöntemi ve İstatistiksel İndeks yöntemlerine göre yangın risk durumu değerlendirilmiştir.

3.1 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı Meşcere Özelliklerine İlişkin Bulgular

Meşcere özelliklerinden ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık açısından çalışma alanı ve 2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınların dağılımı irdelenmiştir. Ağaç türü açısından değerlendirildiğinde, toplam alanın %14,4'ü (97.476,8 ha) kızılçam meşceresi ve makilik alanlardan, %9,6'sı (65.045,2 ha) gürgen, kayın, karışık karaçam yapraklı meşcere ve diğer boşluklu kapalı meşcerelerden, %4,3'ü ise (28.875,1 ha) okaliptus, karışık kızılçam ibreli meşcere ve boşluklu kapalı kızılçam meşcerelerinden oluşmaktadır. Meydana gelen yangınlar açısından değerlendirildiğinde ise yangınların %60,8'i (403 adet) kızılçam meşceresi ve makilik alanlarda, %10,0'u (66 adet) gürgen, kayın, karışık karaçam yapraklı meşcere ve diğer boşluklu kapalı meşcerelerde ve %13,0'ü (86 adet) ise okaliptus, karışık kızılçam ibreli meşcere ve boşluklu kapalı kızılçam meşcerelerinde meydana gelmiştir (Tablo 3.1; Şekil 3.1). Yangınların çoğunluğunun yangına en hassas türlerden biri olan kızılçam meşcerelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

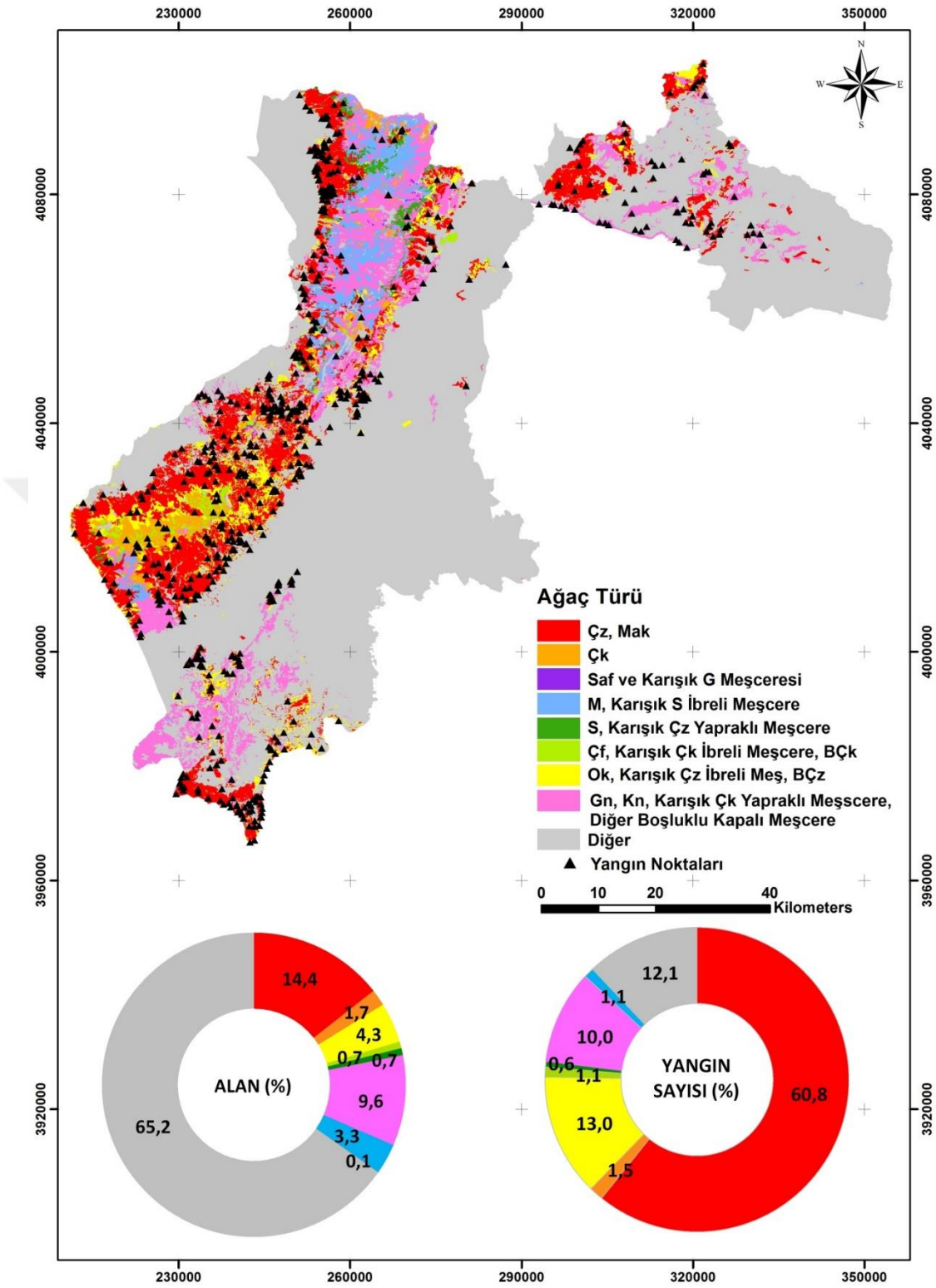
Kapalılığa göre irdelendiğinde, toplam alanın %5,6'sı (38.181,8 ha) 1 kapalı, %6,7'si (45.133,3 ha) 2 kapalı, %11,4'ü (77.091,7 ha) 3 kapalı ve %11,0'ı (74.705,4 ha) boşluklu kapalı meşcerelerden oluşmaktadır. Meydana gelen yangınlar açısından değerlendirildiğinde ise yangınların %24,3'ü (161 adet) 2 kapalı, %22,5'i (149 adet) 3 kapalı, %21,4'ü (142 adet) boşluklu kapalı ve %19,8'i (131 adet) 1 kapalı

meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.1; Şekil 3.2). Yangınların yaklaşık %47'si (300 adet) 2 ve 3 kapalı meşcerelerde görülmüştür.

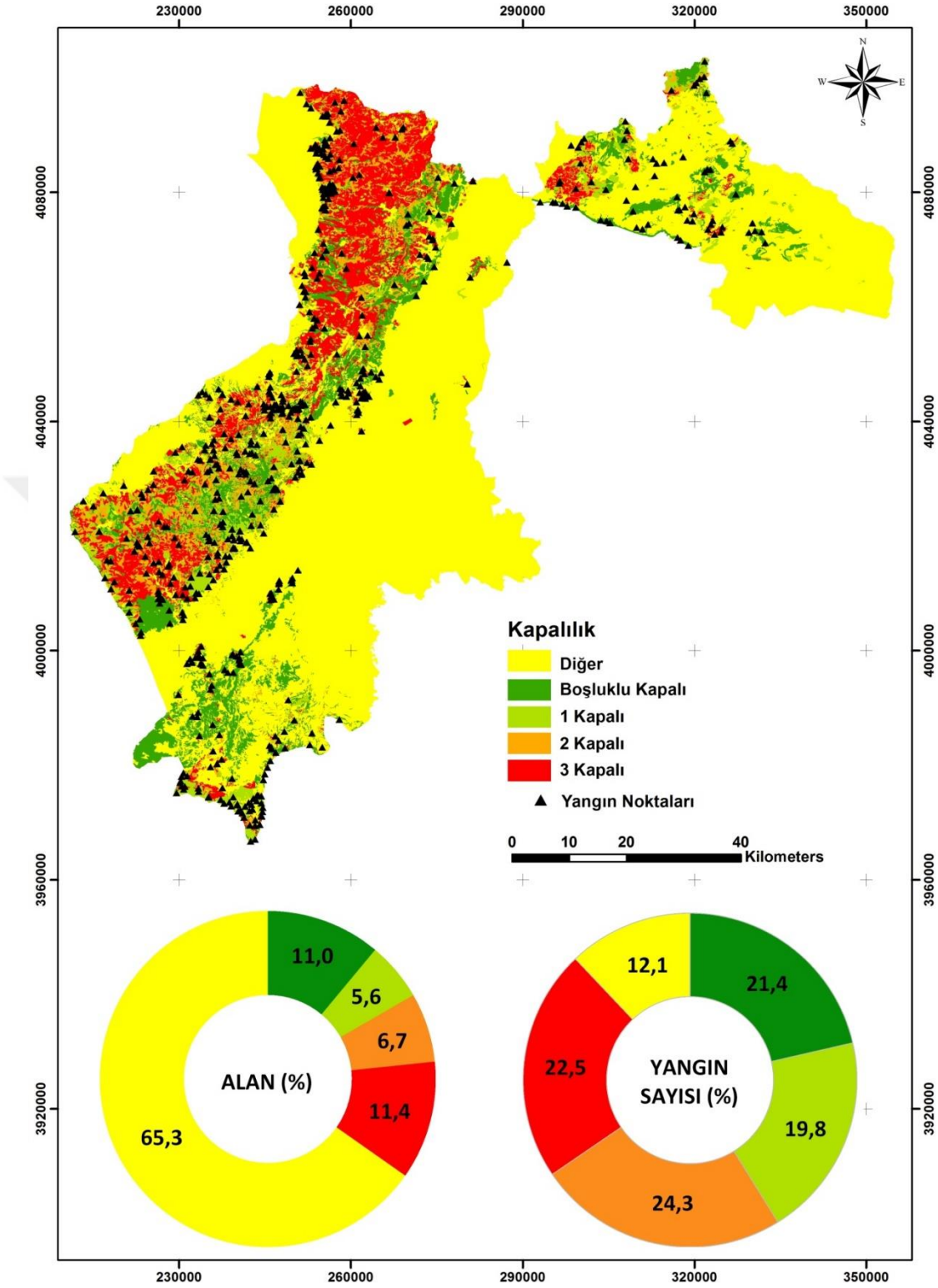
Meşcere gelişim çağlarına göre değerlendirildiğinde toplam alanın %3,4'ü (23.297,6 ha), %10,6'sı (71.561,4 ha), %9,5'i (64.041,3 ha) ve %0,3'ü (1.712,1 ha) sırasıyla a, b, c ve d gelişim çağlarında olan meşcerelerdir. Ayrıca, %76,3'ü (516.087,6 ha) ise boşluklu kapalı meşcereler ve orman dışı alanlardır. Bunun yanında, meydana gelen yangınların %14,9'u (99 adet), %23,7'si (157 adet), %26,1'i (173 adet) ve %1,8'i (12 adet) a, b, c ve d gelişim çağlarında meydana gelmiştir (Tablo 3.1; Şekil 3.3). Genel olarak değerlendirildiğinde meydana gelen yangınların çoğunun b ve c gelişim çağındaki meşcerelerde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.1 Çalışma alanının ve orman yangınlarının meşcere özelliklerine göre dağılımları

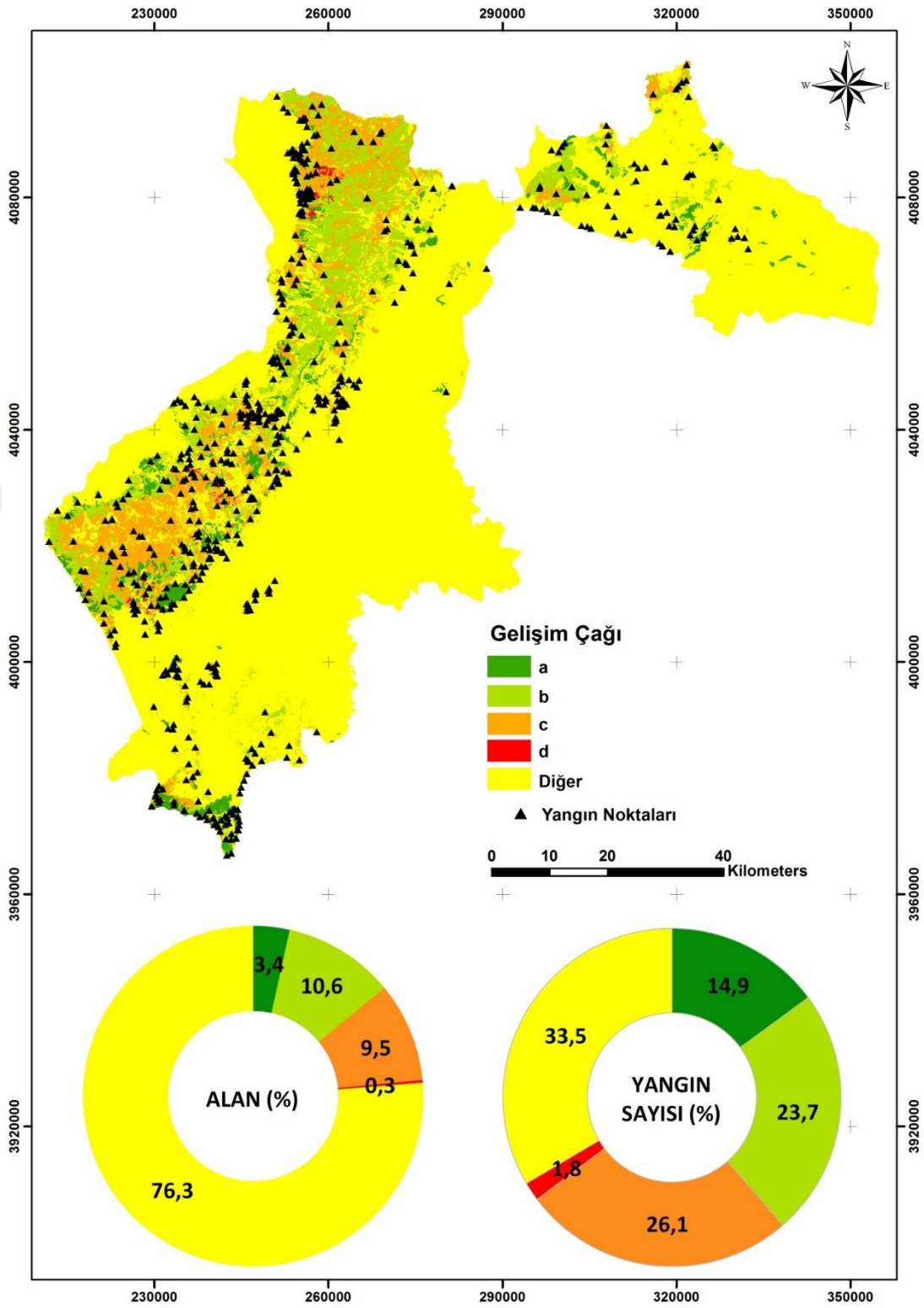
Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın	
		ha	%	Adet	%
Ağaç Türü	Çz, Mak	97.476,8	14,4	403	60,8
	Çk	11.815,2	1,7	10	1,5
	Ok, Karışık Çz İbreli Meşcere, BÇz	28.875,1	4,3	86	13,0
	Çf, Karışık Çk İbreli Meşcere, BÇk	4.756,3	0,7	7	1,1
	S, Karışık Çz Yapraklı Meşcere	5.065,4	0,7	4	0,6
	Gn, Kn, Karışık Çk Yapraklı Meşcere, Diğer Boşluklu Kapalı Meşcereler	65.045,2	9,6	66	10,0
	M, Karışık S İbreli Meşcere	22.081,5	3,3	7	1,1
	G Saf ve Karışık Meşcereler	366,4	0,1		0,0
	Diğer	441.218,1	65,2	80	12,1
Kapalılık (%)	Boşluklu Kapalı	74.705,4	11,0	142	21,4
	1 Kapalı	38.181,8	5,6	131	19,8
	2 Kapalı	45.133,3	6,7	161	24,3
	3 Kapalı	77.091,7	11,4	149	22,5
	Diğer	441.587,8	65,3	80	12,1
Gelişim Çağı (cm)	a	23.297,6	3,4	99	14,9
	b	71.561,4	10,6	157	23,7
	c	64.041,3	9,5	173	26,1
	d	1.712,1	0,3	12	1,8
	Diğer	516.087,6	76,3	222	33,5



Şekil 3.1 Çalışma alanının ve orman yangınlarının ağaç türüne göre dağılımı



Şekil 3.2 Çalışma alanının ve orman yangınlarının kapalılığa göre dağılımı



Şekil 3.3 Çalışma alanının ve orman yangınlarının gelişim çağına göre dağılımı

3.2 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı Topoğrafik Özelliklerine İlişkin Bulgular

Topoğrafik özelliklerden bakı, eğim, yükselti ve topoğrafik ıslaklık indeksi açısından çalışma alanı ve 2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınların dağılımı değerlendirilmiştir. Bakı açısından irdelendiğinde, toplam alanın %26,4'ü (178.947,9 ha) batı ve güneydoğu, %22,4'ü (151.759,4 ha) kuzeydoğu ve kuzeybatı, %13,4'ü (90.808,3 ha) güney ve %13,0'ü (87.909,8 ha) güneybatı bakılardadır. Meydana gelen yangınların %26,8'i (178 adet) batı ve güneydoğu, %23,2'si (154 adet) kuzeydoğu ve kuzeybatı, %213,7'si (91 adet) güney ve %16,6'sı (131 adet) ise güneybatı bakılarda meydana gelmiştir (Tablo 3.2; Şekil 3.4). Meydana gelen yangınların yaklaşık %54'ü (359 adet) yangın açısından hassa olan güney, güneybatı, güneydoğu ve batı bakılardadır.

Eğime göre değerlendirildiğinde toplam alanın %30,3'ü (204.716,4 ha), %23,3'ü (157.568,3 ha), %25,5'i (172.581,9 ha) ve %21,0'ı (141.833,4 ha) sırasıyla %6'den daha az, %6-15, %16-35 ve %35'den daha büyük eğim gruplarına sahip meşcerelerdir. Bunun yanında meydana gelen yangınların %43,3'nün (287 adet) %16-36 eğim aralığında olan meşcerelerde, %41,3'nün (274 adet) %35'den daha fazla eğime sahip olan meşcerelerde, %12,5'inin (83 adet) %6-15 eğim aralığında olan meşcerelerde ve %2,9'unun (19 adet) ise %6'den daha az eğime sahip olan meşcerelerde bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.2; Şekil 3.5). Genel bir değerlendirme yapıldığında, yangınların yaklaşık %85'inin %16'dan daha fazla eğime sahip meşcerelerde meydana geldiği, eğimin artması ile birlikte yangın riskinin de arttığı görülmektedir.

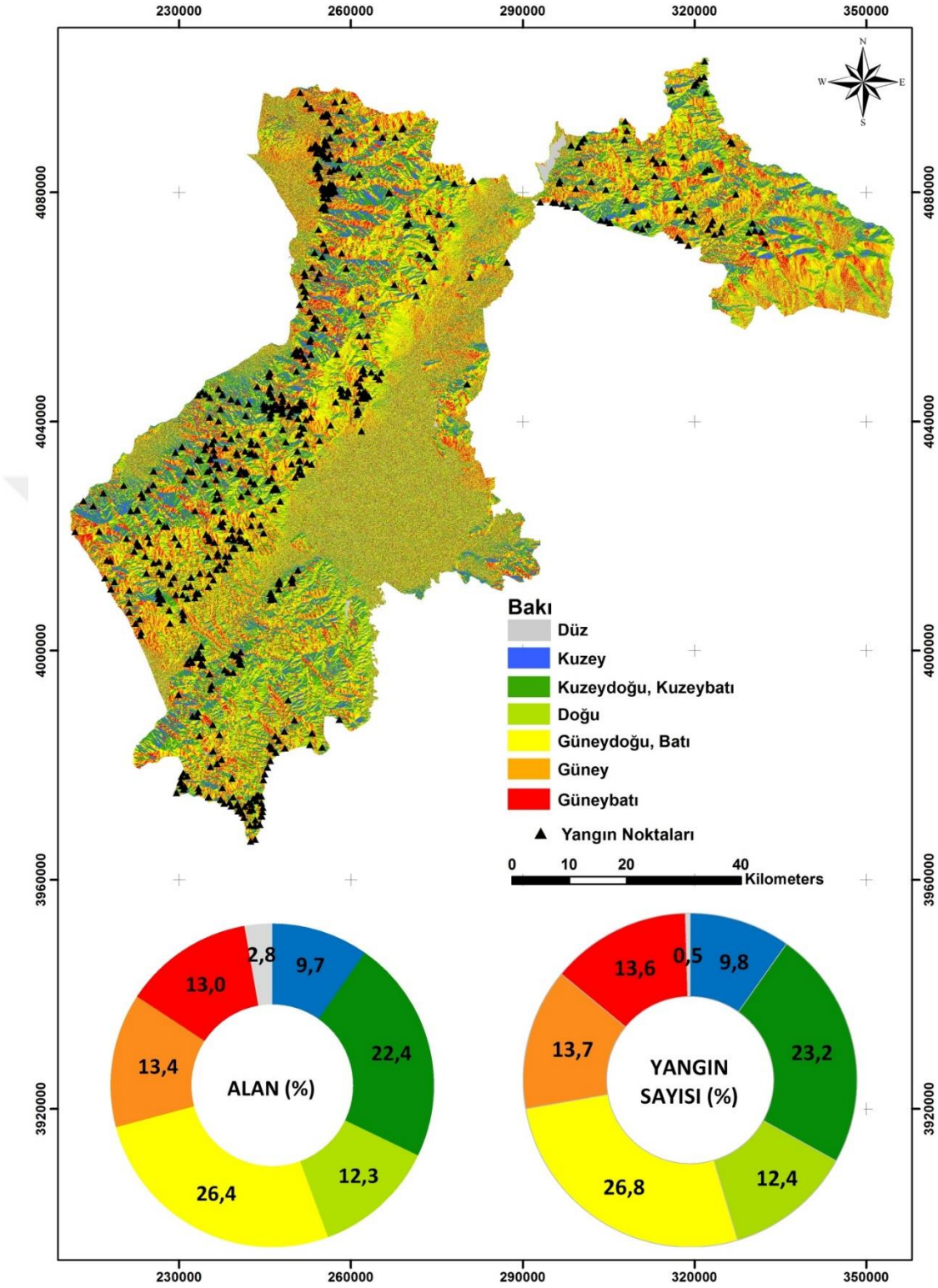
Yükseltiye göre değerlendirildiğinde toplam alanın %53,4'ü (361.590,2 ha) 500 m'den daha düşük yükseltide, %35,1'i (237.226,8 ha) 500-1.000 m arasında ve %9,1'i (61.711,3 ha) 1.000-1.500 m arasında bulunan meşcerelerdedir. Yangınların ise %53,4'ü (354 adet) 500 m'den daha düşük yükseltilere sahip meşcerelerde, %39,7'si (263 adet) 500-1.000 m arasındaki meşcerelerde ve %6,3'ü (42 adet) 1.000-1.500 m arasındaki meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.2; Şekil 3.6). 2.000 m'den daha fazla yükseltiye sahip meşcerelerde yangın meydana gelmez iken meydana gelen

yangınların yaklaşık %93'ü (617 adet) 1.000 m'den daha az yüksekliğe sahip alanlarda meydana geldiği ve yükseltinin artmasıyla yangın riskinin azaldığı belirlenmiştir.

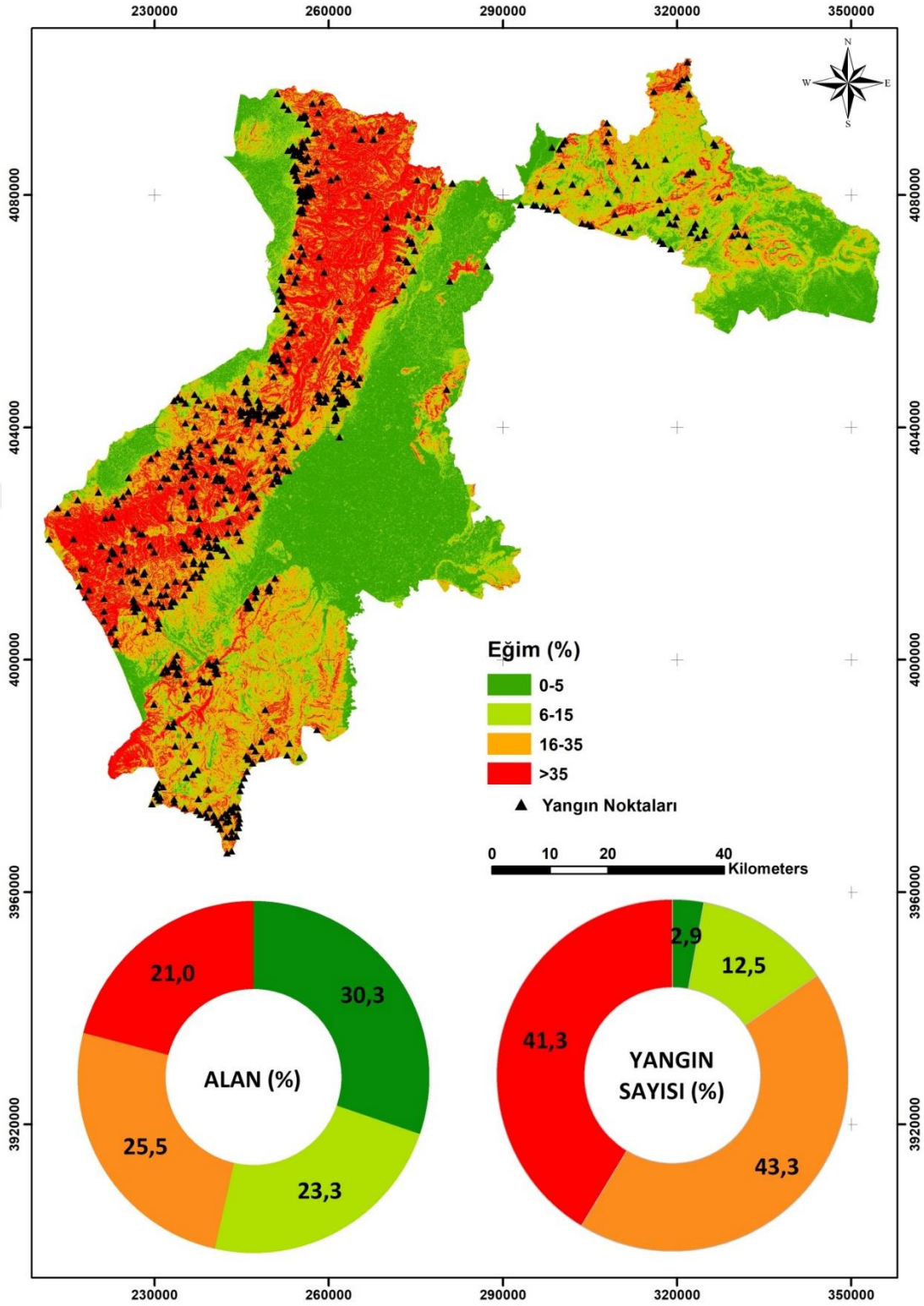
Topoğrafik ıslaklık indeksine göre irdelendiğinde, toplam alanın %29,6'sı (200.259,3 ha) 6,5-8,0, %27,6'sı (187.054,6 ha) 9,5'ten büyük, %21,9'u (147.889,7 ha) 5,0-6,5 ve %20,5'i (200.259,3 ha) 8,0-9,5 topoğrafik ıslaklık indeks grubunda yer almaktadır. Yangınlar açısından değerlendirildiğinde, yangınların %40,9'unun (271 adet) 5,0-6,5 topoğrafik ıslaklık indeks aralığındaki meşcerelerde, %39,1'inin (259 adet) 6,5-8,0 topoğrafik ıslaklık indeks aralığındaki meşcerelerde ve %11,8'inin (78 adet) 8,0-9,5 topoğrafik ıslaklık indeks aralığındaki meşcerelerde meydana geldiği ortaya konulmuştur (Tablo 3.2; Şekil 3.7). Başka bir ifade ile meydana gelen yangınların yaklaşık %80'i (530 adet) 5,0-8,0 topoğrafik ıslaklık indeks aralığındaki meşcerelerdedir.

Tablo 3.2 Çalışma alanının ve orman yangınlarının topoğrafik özelliklerine göre dağılımları

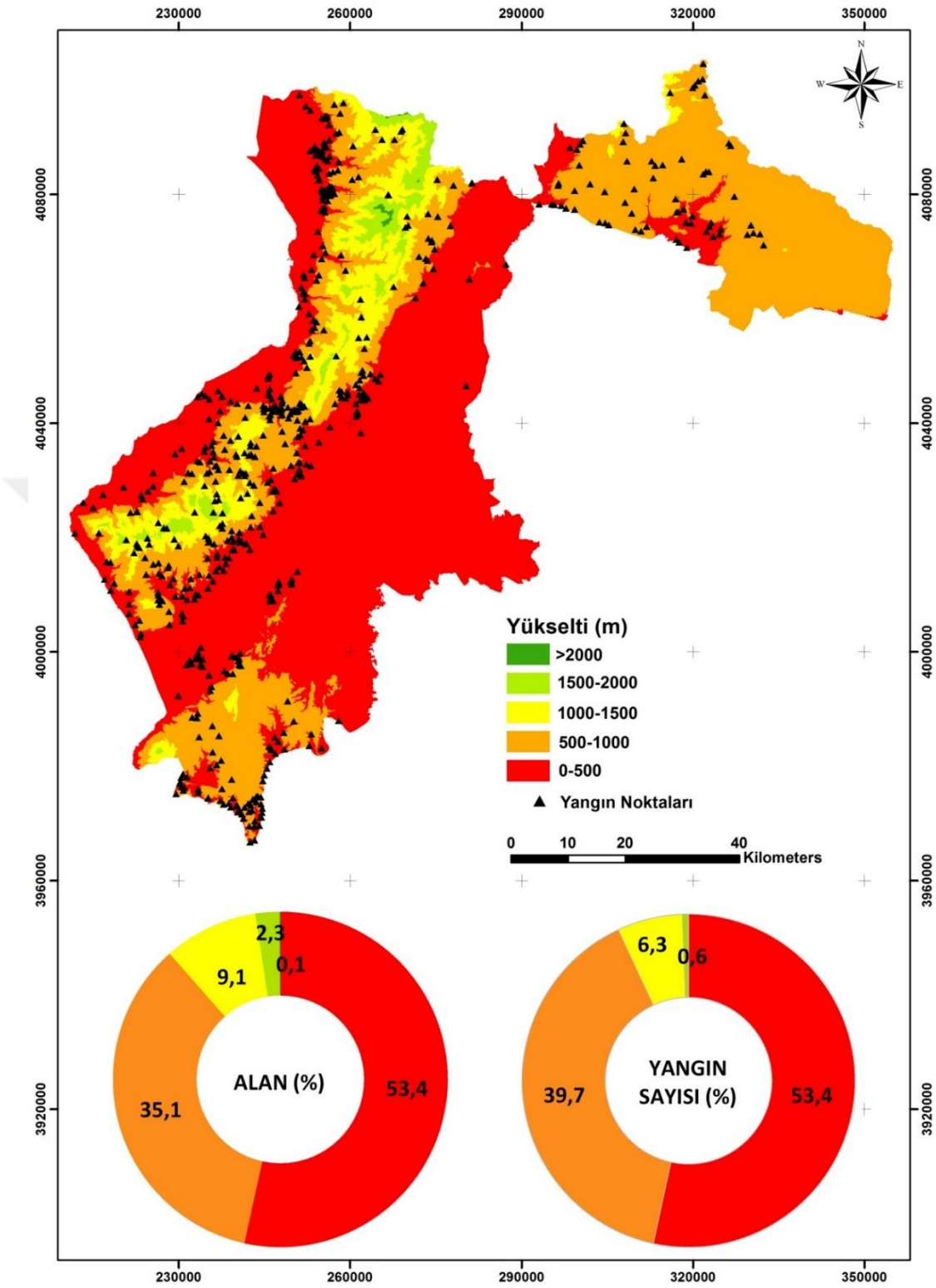
Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın	
		ha	%	Adet	%
Bakı	Kuzey	65.647,1	9,7	65	9,8
	Kuzeydoğu, Kuzeybatı	151.759,4	22,4	154	23,2
	Doğu	82.975,5	12,3	82	12,4
	Batı, Güneydoğu	178.947,9	26,4	178	26,8
	Güney	90.808,3	13,4	91	13,7
	Güneybatı	87.909,8	13,0	90	13,6
	Düz	18.652,0	2,8	3	0,5
Eğim (%)	0 – 5	204.716,4	30,3	19	2,9
	6 – 15	157.568,3	23,3	83	12,5
	16 – 35	172.581,9	25,5	287	43,3
	> 35	141.833,4	21,0	274	41,3
Yükselti (m)	0-500	361.590,2	53,4	354	53,4
	500-1.000	237.226,8	35,1	263	39,7
	1.000-1.500	61.711,3	9,1	42	6,3
	1.500-2.000	15.644,9	2,3	4	0,6
	>2.000	526,8	0,1		0,0
Topoğrafik Islaklık İndeksi	<5,0	2.456,1	0,4	1	0,2
	5,0-6,5	147.889,7	21,9	271	40,9
	6,5-8,0	200.259,3	29,6	259	39,1
	8,0-9,5	139.040,3	20,5	78	11,8
	>9,5	187.054,6	27,6	54	8,1



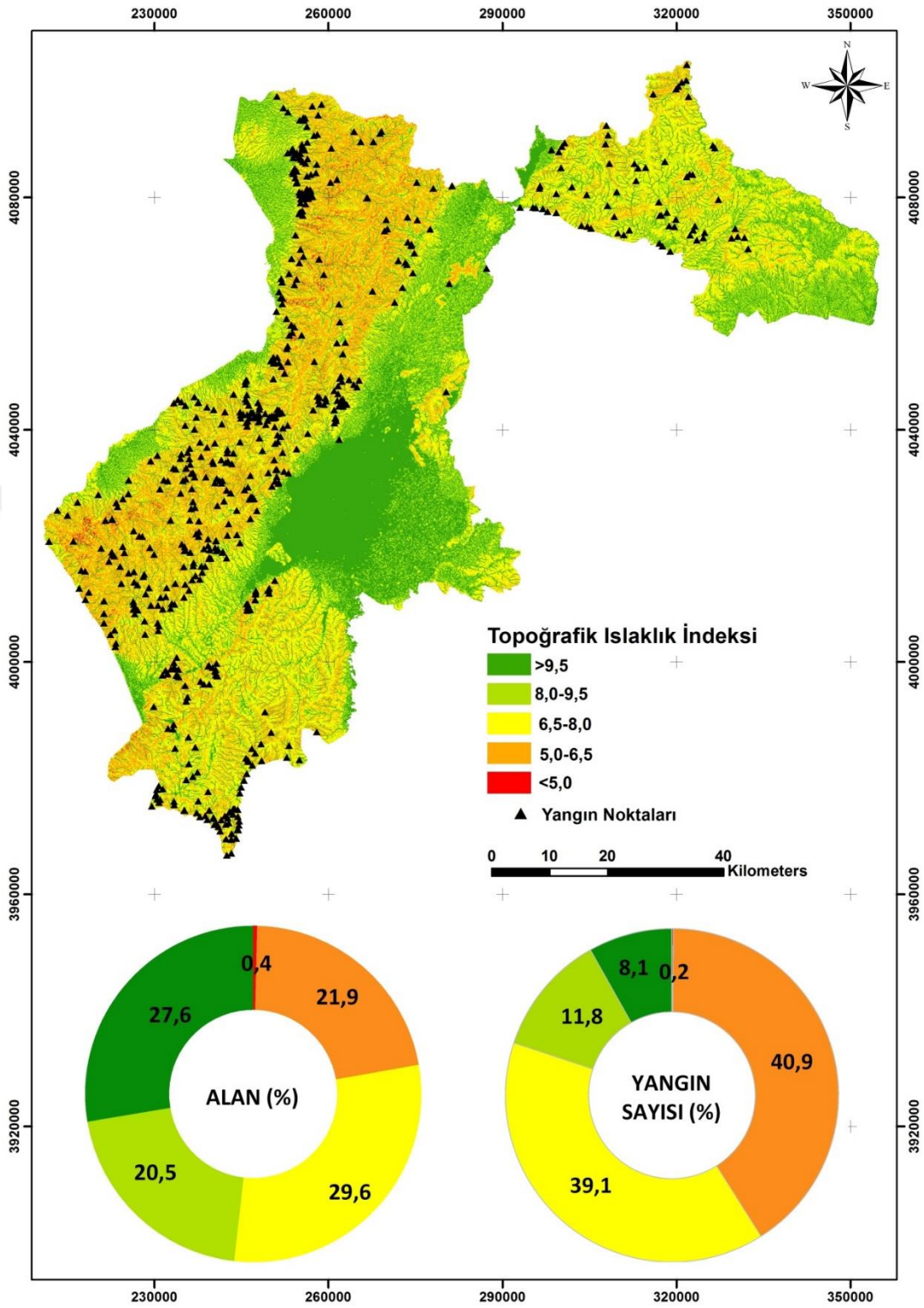
Şekil 3.4 Çalışma alanının ve orman yangınlarının bakıya göre dağılımı



Şekil 3.5 Çalışma alanının ve orman yangınlarının eğime göre dağılımı



Şekil 3.6 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yükseltiye göre dağılımı



Şekil 3.7 Çalışma alanının ve orman yangınlarının topoğrafik ıslaklık indeksine göre dağılımı

3.3 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı Çevre Özelliklerine İlişkin Bulgular

Çevre özelliklerinden yerleşim yerine uzaklık, tarım alanına uzaklık, yola uzaklık, nehire uzaklık ve nüfus yoğunluğu açısından çalışma alanı ve 2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınların dağılımı değerlendirilmiştir. Yerleşim yerine uzaklık açısından irdelendiğinde, toplam alanın %46,8'i (316.719,0 ha) 1.000-5.000 m arasında, %24,0'ü (162.224,1 ha) 500-1.000 m arasında, %15,6'sı (105.561,9 ha) 0-250 m arasında ve %11,4'ü (77.141,3 ha) ise 250-500 m arasında yer almaktadır. Yangınlar açısından irdelendiğinde, yangınların %41,9'u (278 adet) 1.000-5.000 m arasında, %25,9'u (172 adet) ise 500-1.000 m arasında, %19,6'sı (130 adet) 250-500 m arasında, %9,7'si (64 adet) 0-250 m arasında ve %2,9'u (19 adet) ise 5.000 m'den uzak meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.8).

Tarım alanına uzaklık açısından incelendiğinde, toplam alanın %68,9'u (466.493,2 ha) 0-250 m arasında, %14,6'sı (98.487,3 ha) 1.000-5.000 m arasında, %8,7'si (58.638,9 ha) 500-1.000 m arasında ve %7,8'i (53.080,6 ha) ise 250-500 m arasında bulunmaktadır. Yangınların ise %56,3'ü (373 adet) 0-250 m arasında, %17,6'sı (117 adet) 250-500 m arasında, %13,7'si (91 adet) 1.000-5.000 m arasında ve %12,4'ü (82 adet) 500-1.000 m arasındaki meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.9). Tarım alanına uzaklık ile yangın riski arasında ters bir ilişki olup tarım alanına uzaklığın artması ile birlikte risk te azalmaktadır. Yangınların çoğu (%56,3'ü) 0-250 metre arasındaki meşcerelerde gerçekleşmiştir.

Yola uzaklık açısından değerlendirildiğinde, toplam alanın %34,0'ü (230.119,5 ha) 1.000-5.000 m arasındaki meşcerelerde ve %22,2'si (150.018,4 ha) ise 500-1.000 m arasındaki meşcerelerde yer almaktadır. Başka bir ifade ile alanın yaklaşık %56'sı 500-5.000 m arasındaki meşcerelerde bulunmaktadır. Meydana gelen yangınların ise %39,2'si (260 adet) 1.000-5.000 m arasında, %22,0'si (146 adet) 500-1.000 m arasında, %18,6'sı (123 adet) 250-500 m arasında ve %16,4'ü (123 adet) ise 0-250 m arasındaki meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.10).

Nehire uzaklık açısından değerlendirildiğinde, toplam alanın %58,7'si (397.349,5 ha) 1.000-5.000 m arasında, %19,1'i (129.370,1 ha) 5.000 m'den uzak meşcerelerde ve

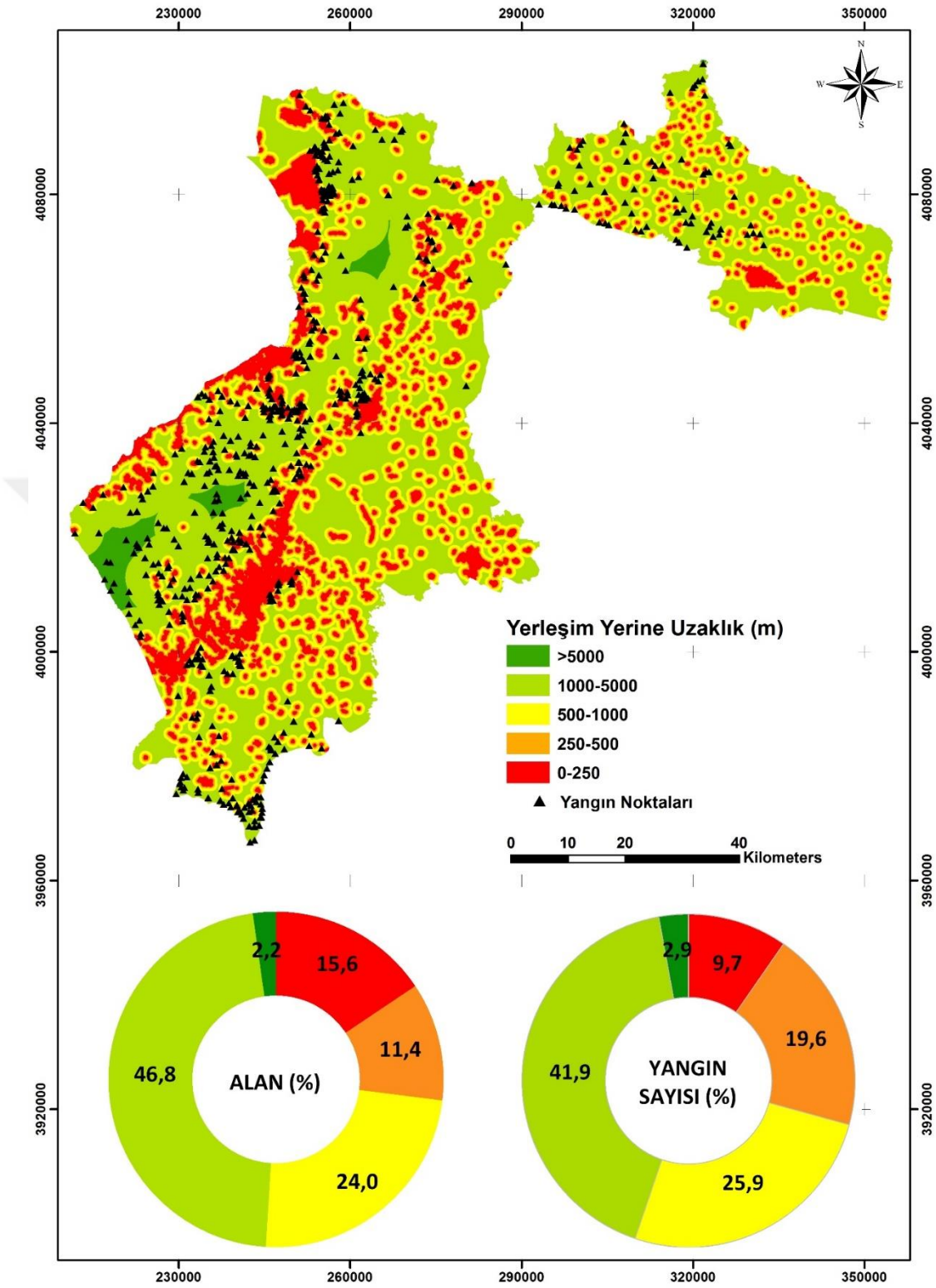
%10,6'sı (71.398,5 ha) 500-1.000 m arasındaki meşcerelerde bulunmaktadır. Yangınlar açısından irdelendiğinde ise, meydana gelen yangınların %67,6'sı (448 adet) 1.000-5.000 m arasında, %13,6'sı (90 adet) 500-1.000 m arasında ve %10,4'ü (69 adet) yola 5.000 m'den daha fazla uzak olan meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.11). Meydana gelen yangınların yaklaşık %92'si nehire 500 m'den daha fazla uzak olan meşcerelerdedir.

Tablo 3.3 Çalışma alanının ve orman yangınlarının çevre özelliklerine göre dağılımları

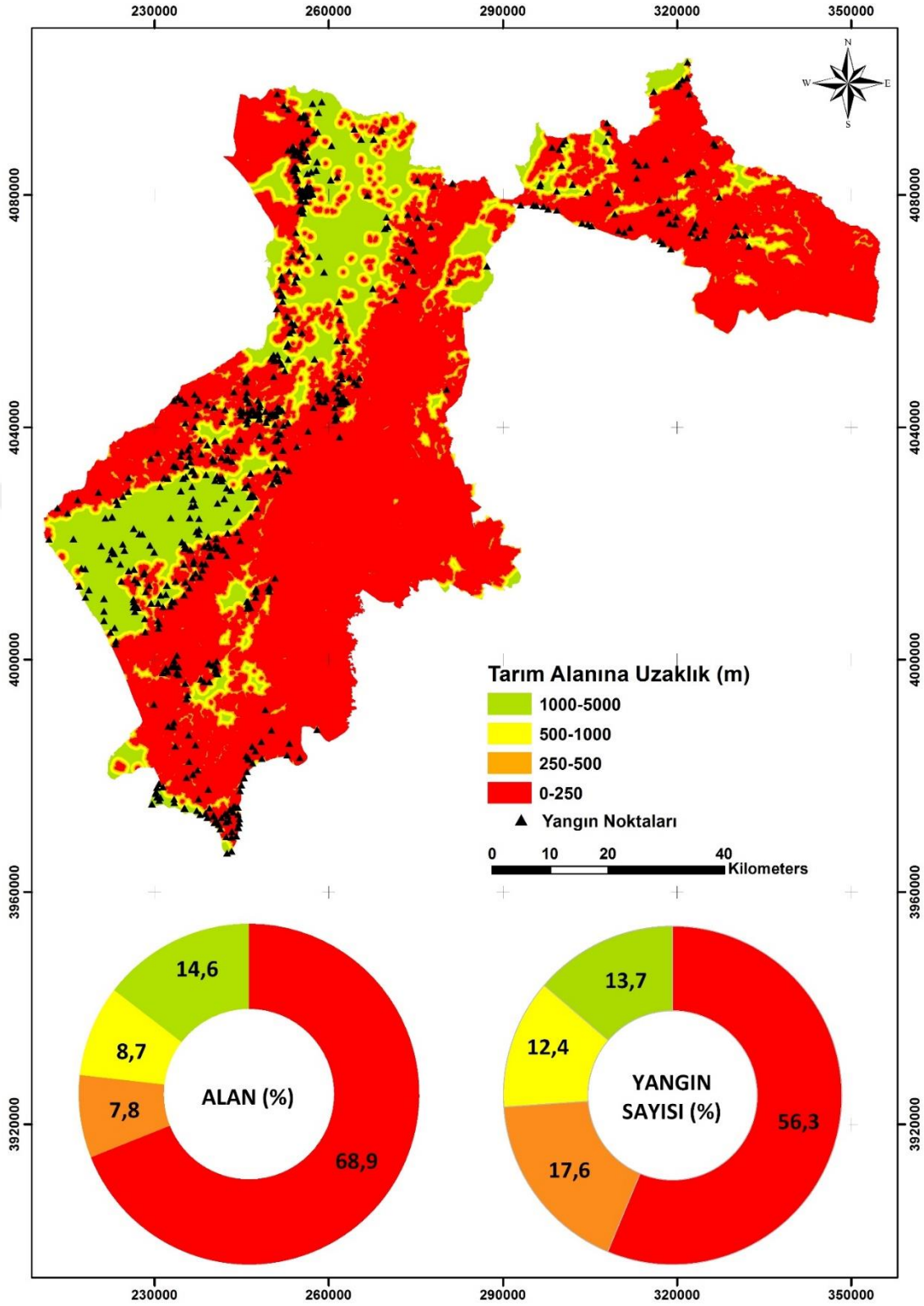
Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın	
		ha	%	Adet	%
Yerleşim Yerine Uzaklık (m)	0-250	105.561,9	15,6	64	9,7
	250-500	77.141,3	11,4	130	19,6
	500-1000	162.224,1	24,0	172	25,9
	1000-5000	316.719,0	46,8	278	41,9
	>5000	15.053,7	2,2	19	2,9
Tarım Alanına Uzaklık (m)	0-250	466.493,2	68,9	373	56,3
	250-500	53.080,6	7,8	117	17,6
	500-1000	58.638,9	8,7	82	12,4
	1000-5000	98.487,3	14,6	91	13,7
Yola Uzaklık (m)	0-250	146.537,3	21,7	109	16,4
	250-500	107.761,8	15,9	123	18,6
	500-1000	150.018,4	22,2	146	22,0
	1000-5000	230.119,5	34,0	260	39,2
	>5000	42.263,0	6,2	25	3,8
Nehire Uzaklık (m)	0-250	41.059,2	6,1	17	2,6
	250-500	37.522,7	5,5	39	5,9
	500-1000	71.398,5	10,6	90	13,6
	1000-5000	397.349,5	58,7	448	67,6
	>5000	129.370,1	19,1	69	10,4
Nüfus Yoğunluğu (Kişi/km^2)	0-100	78.610,2	11,6	36	5,4
	100-200	115.514,4	17,1	95	14,3
	200-300	161.934,3	23,9	120	18,1
	300-400	190.042,5	28,1	232	35,0
	>400	130.598,6	19,3	180	27,1

Nüfus yoğunluğu açısından irdelendiğinde, toplam alanın %28,1'i (190.042,5 ha) 300-400 kişi/km^2 yoğunluğu arasında, %23,9'u (161.934,3 ha) 200-300 kişi/km^2 yoğunluğu arasında, %19,3'ü (130.598,6 ha) >400 kişi/km^2 yoğunlukta, %17,1'i (115.514,4 ha) 100-200 kişi/km^2 yoğunluğu arasında ve %11,6'sı (78.610,2 ha) 0-100

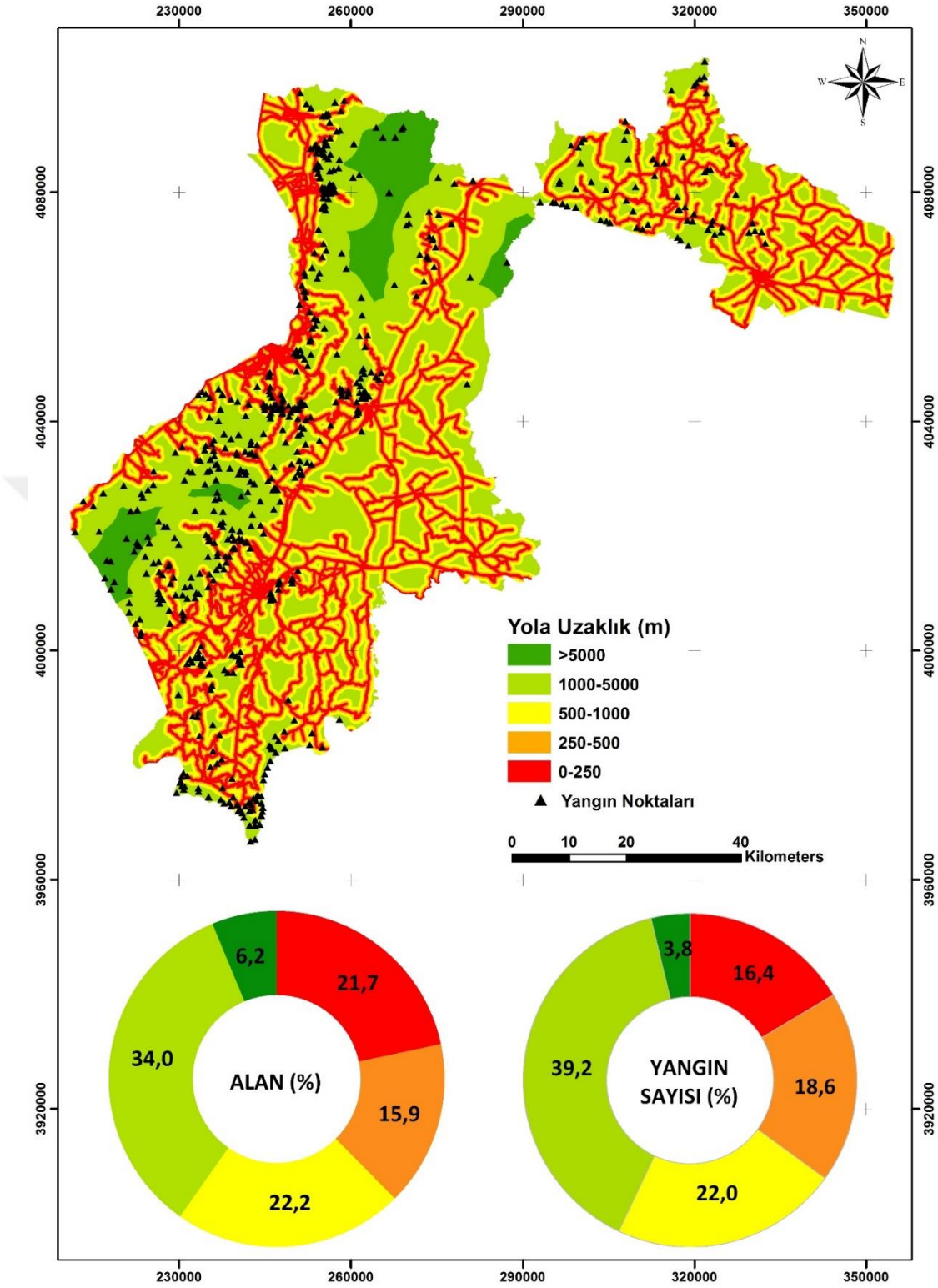
kişi/km^2 yoğunluğu arasında yer almaktadır. Meydana gelen yangınların %35,0'i (232 adet), %27,1'i (180 adet), %18,1'i (120 adet), %14,3'ü (95 adet) ve %5,4'ü (36 adet) sırasıyla 300-400 kişi/km^2, >400 kişi/km^2, 200-300 kişi/km^2, 100-200 kişi/km^2 ve 0-100 kişi/km^2 yoğunluğa sahip meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.12). Nüfus yoğunluğu ile yangın riski arasında doğrusal bir ilişki olup yoğunluk ile birlikte riskte artmaktadır. Ancak, nüfus yoğunluğunun 400 kişi/km^2 olduğu meşcerelerde yoğunluğun 300-400 kişi/km^2 olduğu meşcerelere göre yangın riski %8 oranında azalmıştır.



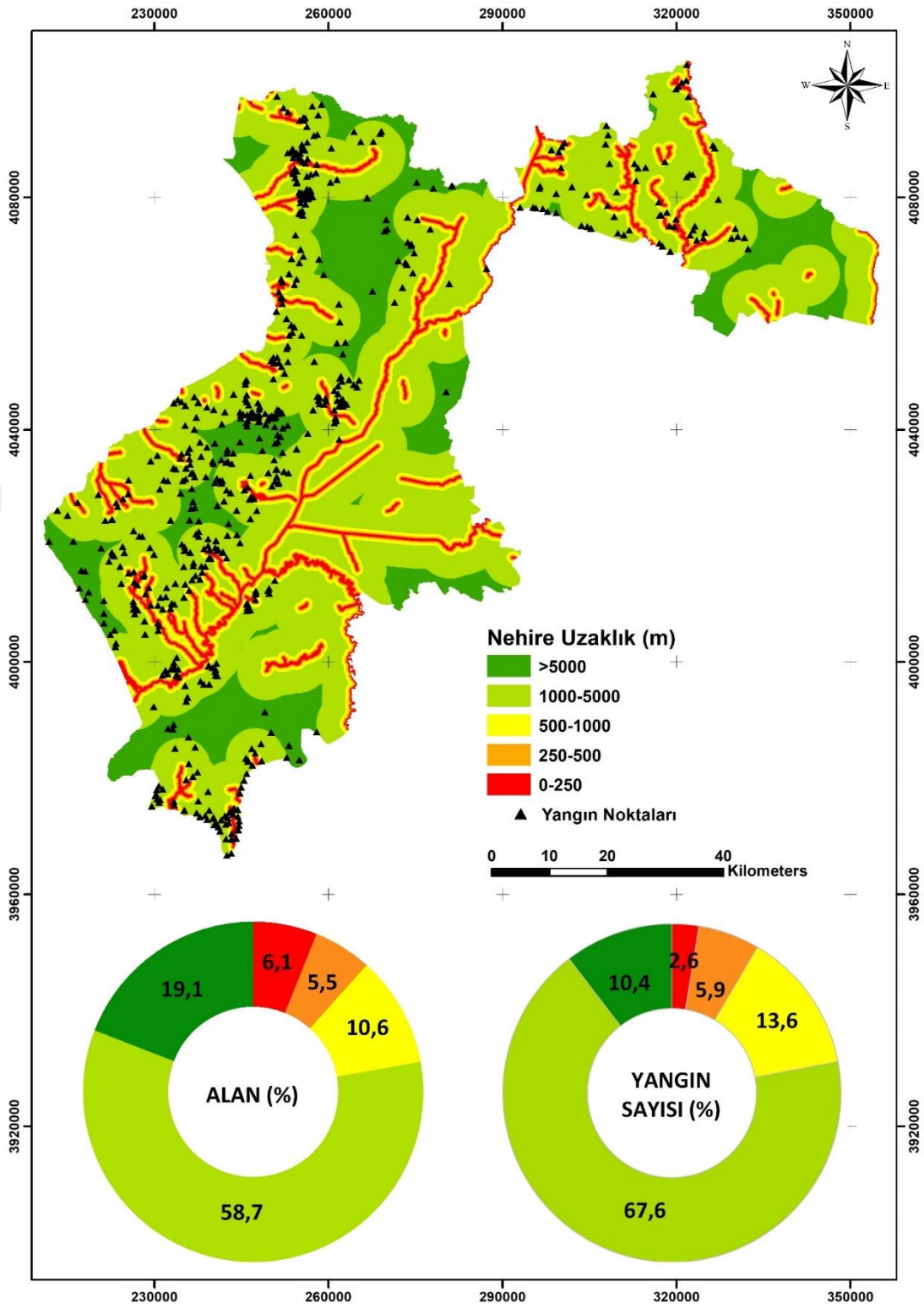
Şekil 3.8 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yerleşim yerine uzaklığına göre dağılımı



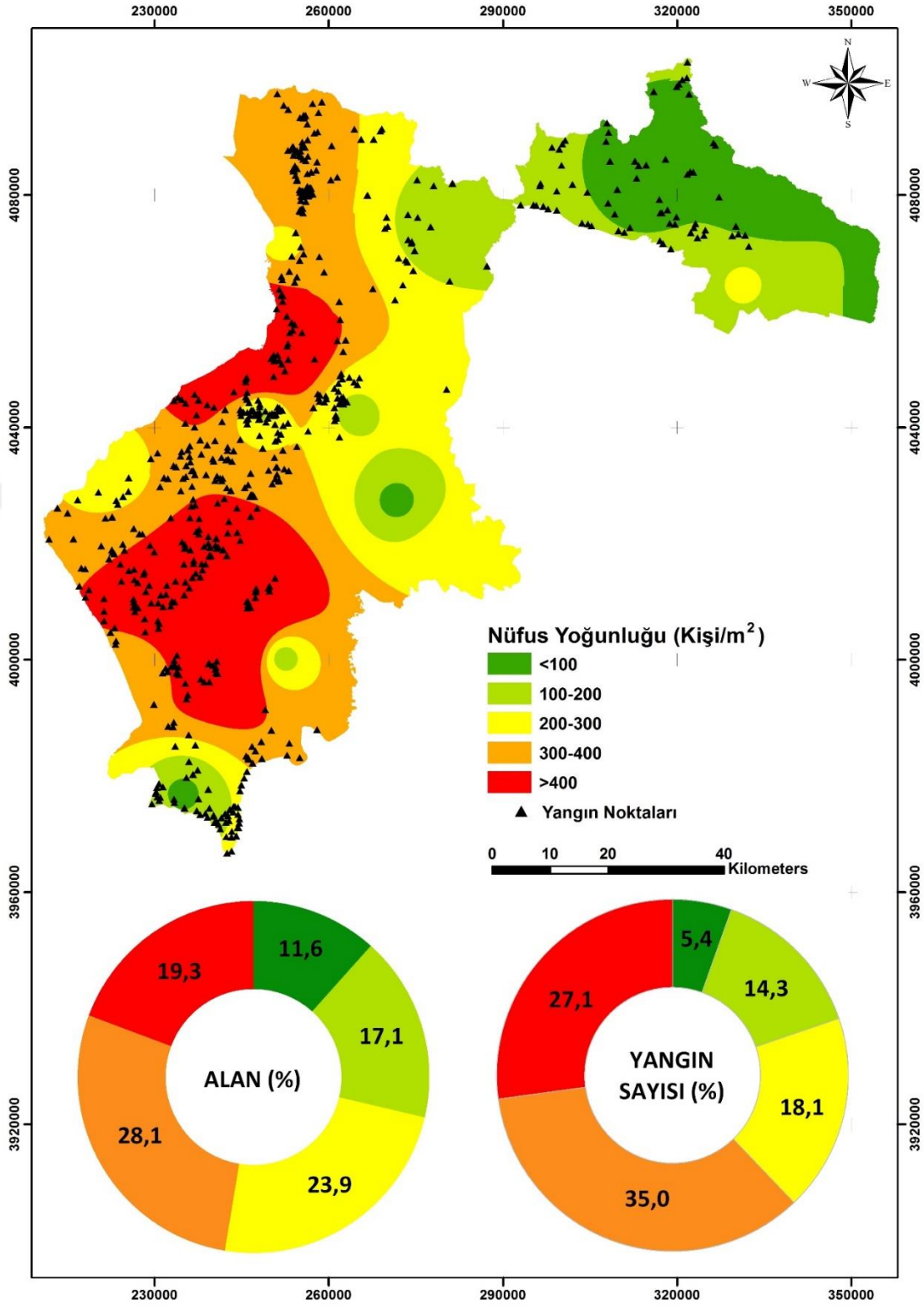
Şekil 3.9 Çalışma alanının ve orman yangınlarının tarım alanlarına uzaklığına göre dağılımı



Şekil 3.10 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yola uzaklığına göre dağılımı



Şekil 3.11 Çalışma alanının ve orman yangınlarının nehire uzaklığına göre dağılımı



Şekil 3.12 Çalışma alanının ve orman yangınlarının nüfus yoğunluğuna göre dağılımı

3.4 Orman Yangınlarını Etkileyen Bazı İklim Özelliklerine İlişkin Bulgular

İklim özelliklerinden sıcaklık, yağış, rüzgar ve solar radyasyon açısından çalışma alanı ve 2012-2021 yılları arasında meydana gelen yangınların dağılımı araştırılmıştır. Sıcaklık açısından değerlendirildiğinde, toplam alanın %43,4'ü (293.577,7 ha), %28,7'si (194.133,5 ha), %13,9'u (93.942,9 ha), %8,8'i (59.401,8 ha) ve %5,3'ü (35.644,1 ha) sırasıyla 25°C'den büyük, 23-25°C, 21-23°C, 19-21°C ve 19°C'den düşük sıcaklıktaki meşcerelerden oluşmaktadır. Yangınlar açısından değerlendirildiğinde, yangınların %51,1'i (339 adet), %24,1'i (160 adet), %14,5'i (96 adet), %7,7'si (51 adet) ve %2,6'sı (17 adet) sırasıyla sıcaklığın 23-25°C, 21-23°C, 25°C'den büyük, 19-21°C ve 19°C'den düşük olduğu meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.4; Şekil 3.13). Sıcaklık ile yangın riski arasında doğrusal bir ilişki olup sıcaklık ile birlikte riskte artmaktadır. Ancak, 25°C'den daha büyük sıcaklıklarda risk azalmaktadır.

Yağış değerleri irdelendiğinde, toplam alanın %30,5'i (206.521,3 ha) 22-27 mm arasında, %20,8'i (140.675,2 ha) 17 mm'den küçük, %18,8'i (127.548,4 ha) 27-32 mm arasında, %15,8'i (107.124,1 ha) 32 mm'den büyük ve %14,0'i (94.831,0 ha) 17-22 mm arasındaki yağış alan meşcerelerde meydana gelmiştir. Yangınların ise %36,3'ü (241 adet) yağış miktarı 27-32 mm arasındaki meşcerelerde, %24,7'si (164 adet) 22-27 mm arasındaki meşcerelerde, %22,5'i (149 adet) 32 mm'den büyük meşcerelerde, %10,4'ü (69 adet) 17 mm'den küçük meşcerelerde ve %6,0'sı (40 adet) 17-22 mm arasındaki meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.4; Şekil 3.14).

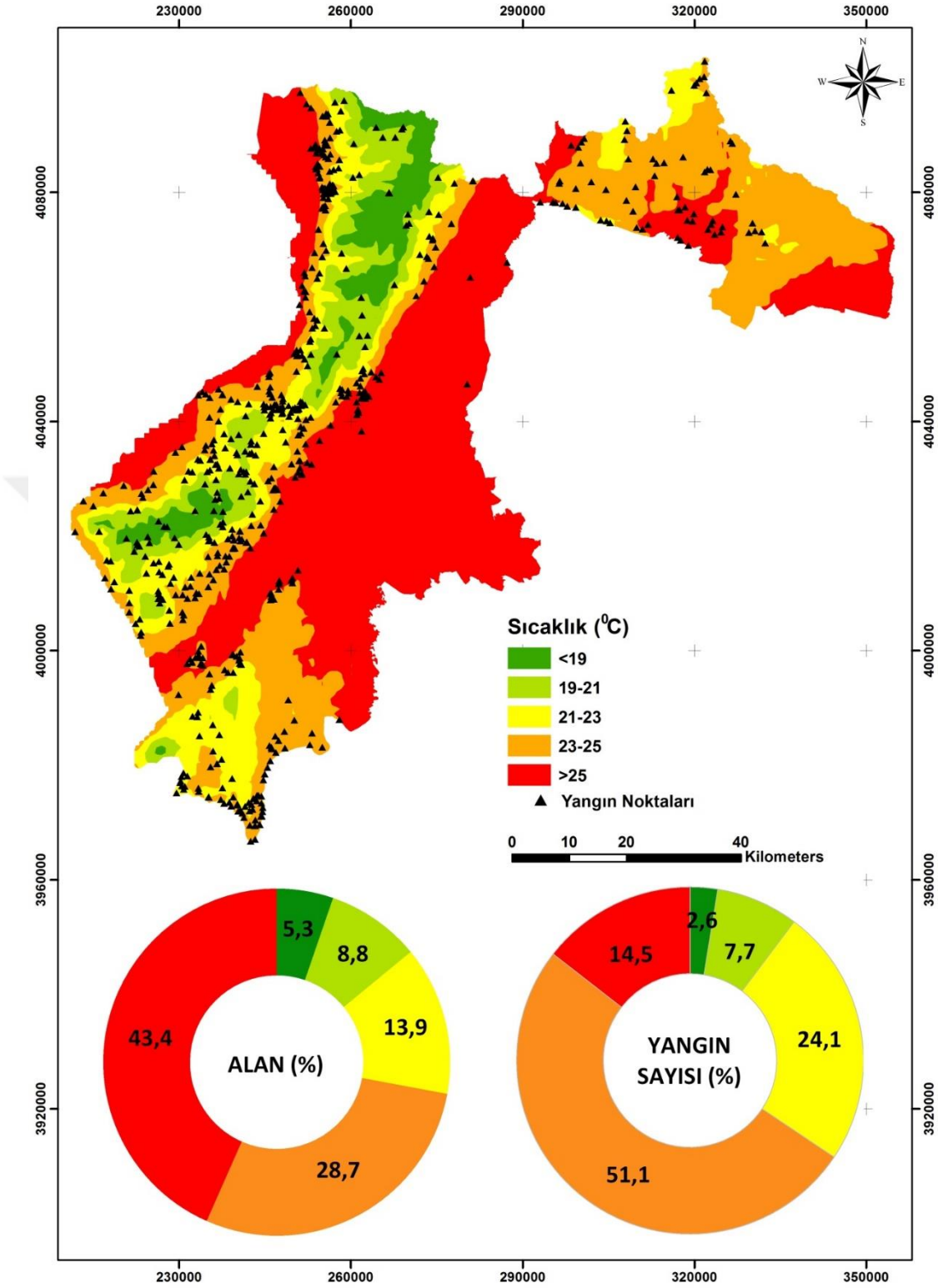
Rüzgar açısından değerlendirme yapılırsa, toplam alanın %37,8'i (256.068,6 ha) 2,4-2,6 m/s arasında, %34,2'si (231.251,8 ha) 2,6-2,8 m/s arasında, %20,1'i (136.004,3 ha) 2,8-3,0 m/s arasında, %6,4'ü (43.516,4 ha) 3,0 m/s'den büyük ve %1,5'i (9.858,9 ha) 2,4 m/s'den küçük meşcerelerde meydana gelmiştir. Meydana gelen yangınlar açısından incelendiğinde ise yangınların %35,3'ü (234 adet) rüzgarın 2,4-2,6 m/s arasındaki meşcerelerde, %29,3'ü (194 adet) 2,8-3,0 m/s arasındaki meşcerelerde, %25,2'i (167 adet) 2,6-2,8 m/s arasındaki meşcerelerde, %9,4'ü (62 adet) 3,0 m/s'den büyük meşcerelerde ve %0,9'u (6 adet) 2,4 m/s'den küçük olduğu meşcerelerde

meydana gelmiştir (Tablo 3.4; Şekil 3.15). Meydana gelen yangınların hemen hemen tamamına yakını rüzgarın 2,4-3,0 m/s arasındaki meşcerelerde meydana gelmiştir.

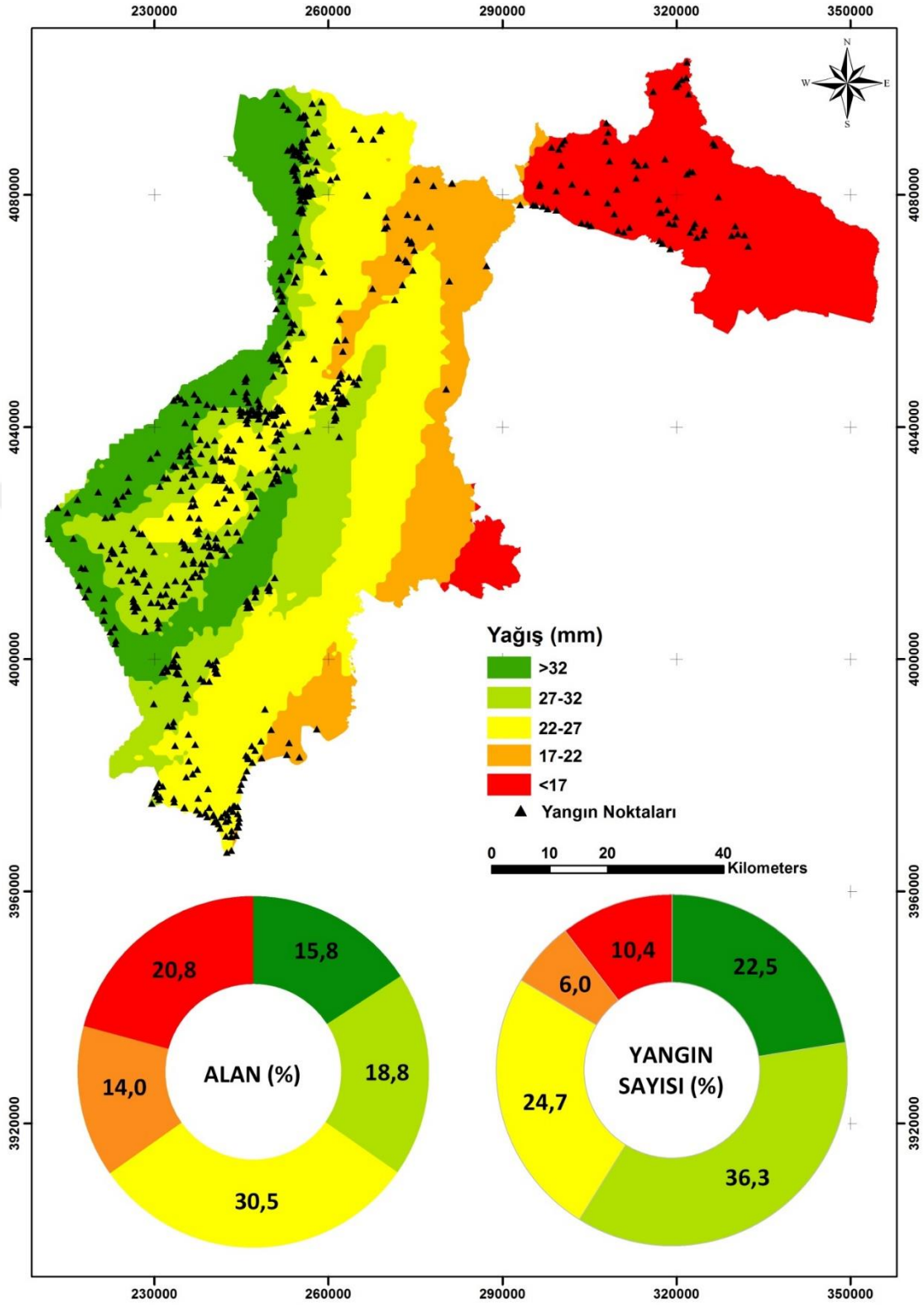
Solar radyasyon değerleri incelendiğinde toplam alanın %55,2'si (373.478,6) 900.000-1.000.000 WH/m^2, %31,1'i (210.770,8 ha) 1.000.000 WH/m^2'den daha yüksek yoğunlukta, %9,9'u (67.146,9 ha) 800.000-900.000 WH/m^2, %2,8'i (18.811,9ha) 700.000-800.000 WH/m^2 ve %1,0'i (6.491,8 ha) 700.000 WH/m^2'den daha düşük yoğunlukta olan meşcerelerde yer almaktadır. Yangınların ise %43,9'u (291 adet) 900.000-1.000.000 WH/m^2, %28,1'i (186 adet) 900.000 WH/m^2'den daha yüksek yoğunlukta olan meşcerelerde, %20,2'si (134 adet) 800.000-900.000 WH/m^2, %5,9'u (39 adet) 700.000-800.000 WH/m^2 ve %2,0'si (13 adet) 700.000 WH/m^2'den daha düşük yoğunlukta olan meşcerelerde meydana gelmiştir (Tablo 3.4; Şekil 3.16).

Tablo 3.4 Çalışma alanının ve orman yangınlarının iklim özelliklerine göre dağılımları

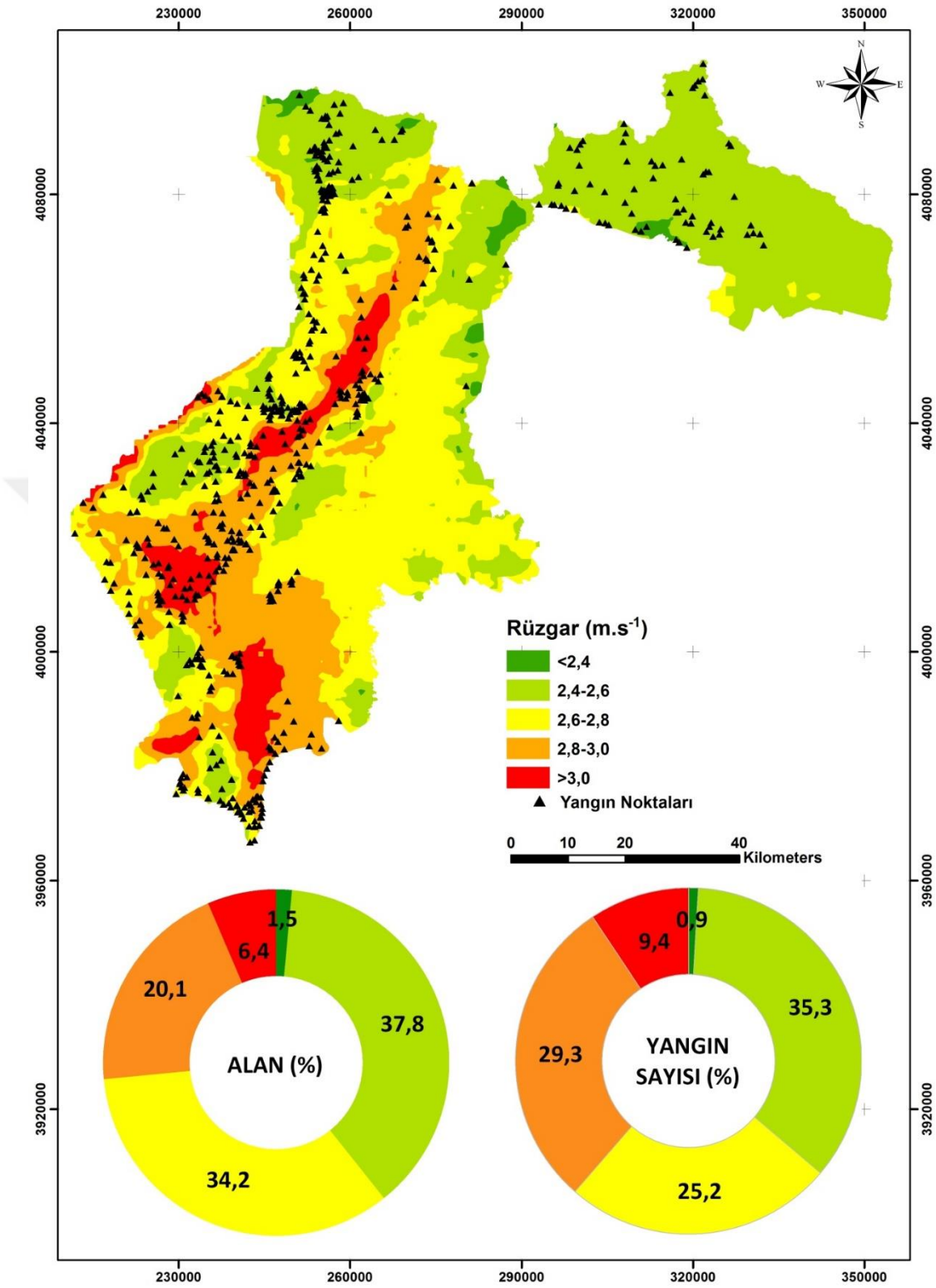
Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın	
		ha	%	Adet	%
Sıcaklık (°C)	<19	35.644,1	5,3	17	2,6
	19-21	59.401,8	8,8	51	7,7
	21-23	93.942,9	13,9	160	24,1
	23-25	194.133,5	28,7	339	51,1
	>25	293.577,7	43,4	96	14,5
Yağış (mm)	<17	140.675,2	20,8	69	10,4
	17-22	94.831,0	14,0	40	6,0
	22-27	206.521,3	30,5	164	24,7
	27-32	127.548,4	18,8	241	36,3
	>32	107.124,1	15,8	149	22,5
Rüzgar (m/s)	<2,4	9.858,9	1,5	6	0,9
	2,4-2,6	256.068,6	37,8	234	35,3
	2,6-2,8	231.251,8	34,2	167	25,2
	2,8-3,0	136.004,3	20,1	194	29,3
	>3,0	43.516,4	6,4	62	9,4
Solar Radyasyon (WH/m^2)	<700.000	6.491,8	1,0	13	2,0
	700.000-800.000	18.811,9	2,8	39	5,9
	800.000-900.000	67.146,9	9,9	134	20,2
	900.000-1.000.000	373.478,6	55,2	291	43,9
	>1.000.000	210.770,8	31,1	186	28,1



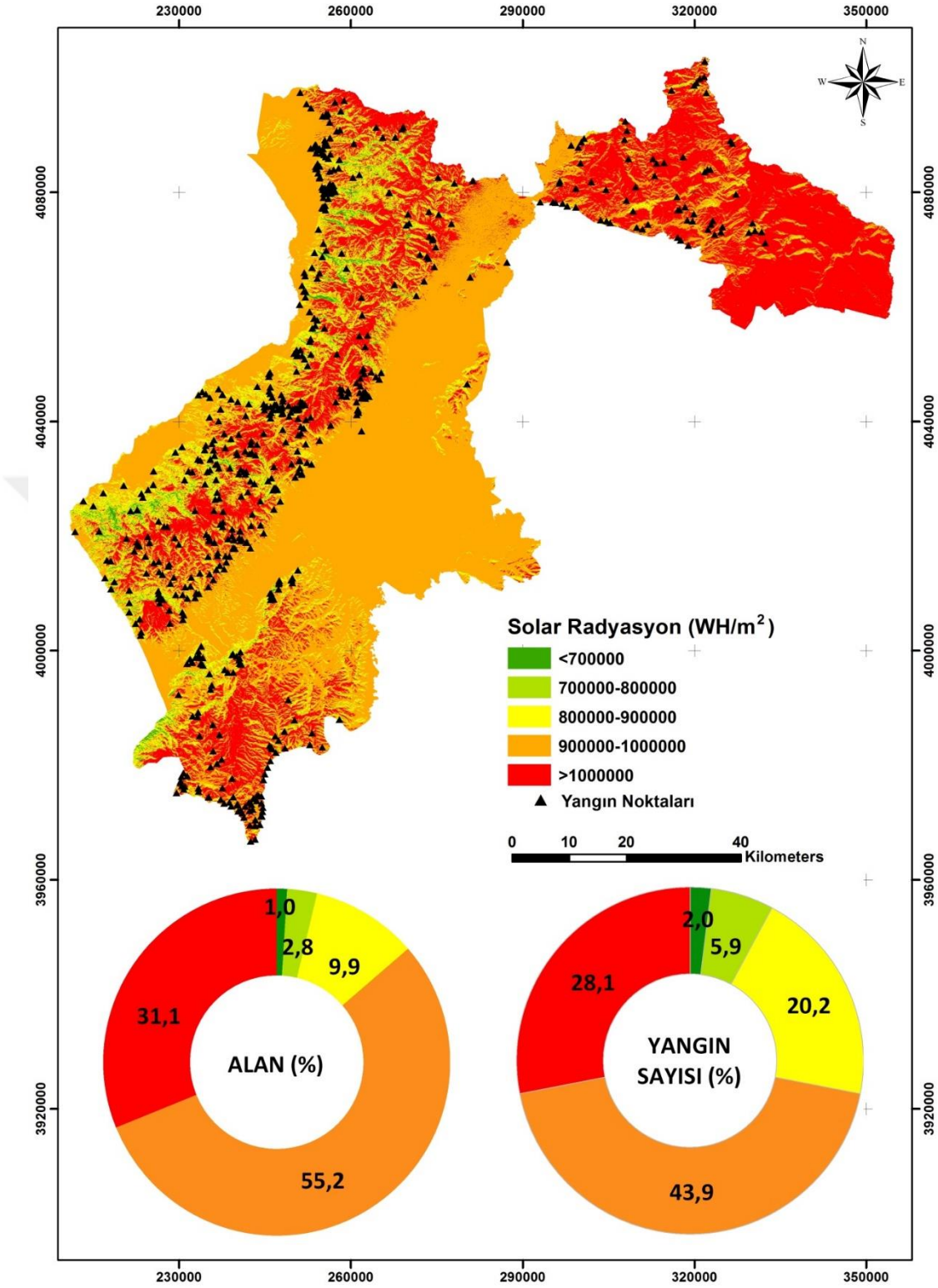
Şekil 3.13 Çalışma alanının ve orman yangınlarının sıcaklığa göre dağılımı



Şekil 3.14 Çalışma alanının ve orman yangınlarının yağışa göre dağılımı



Şekil 3.15 Çalışma alanının ve orman yangınlarının rüzgara göre dağılımı



Şekil 3.16 Çalışma alanının ve orman yangınlarının solar radyasyona göre dağılımı

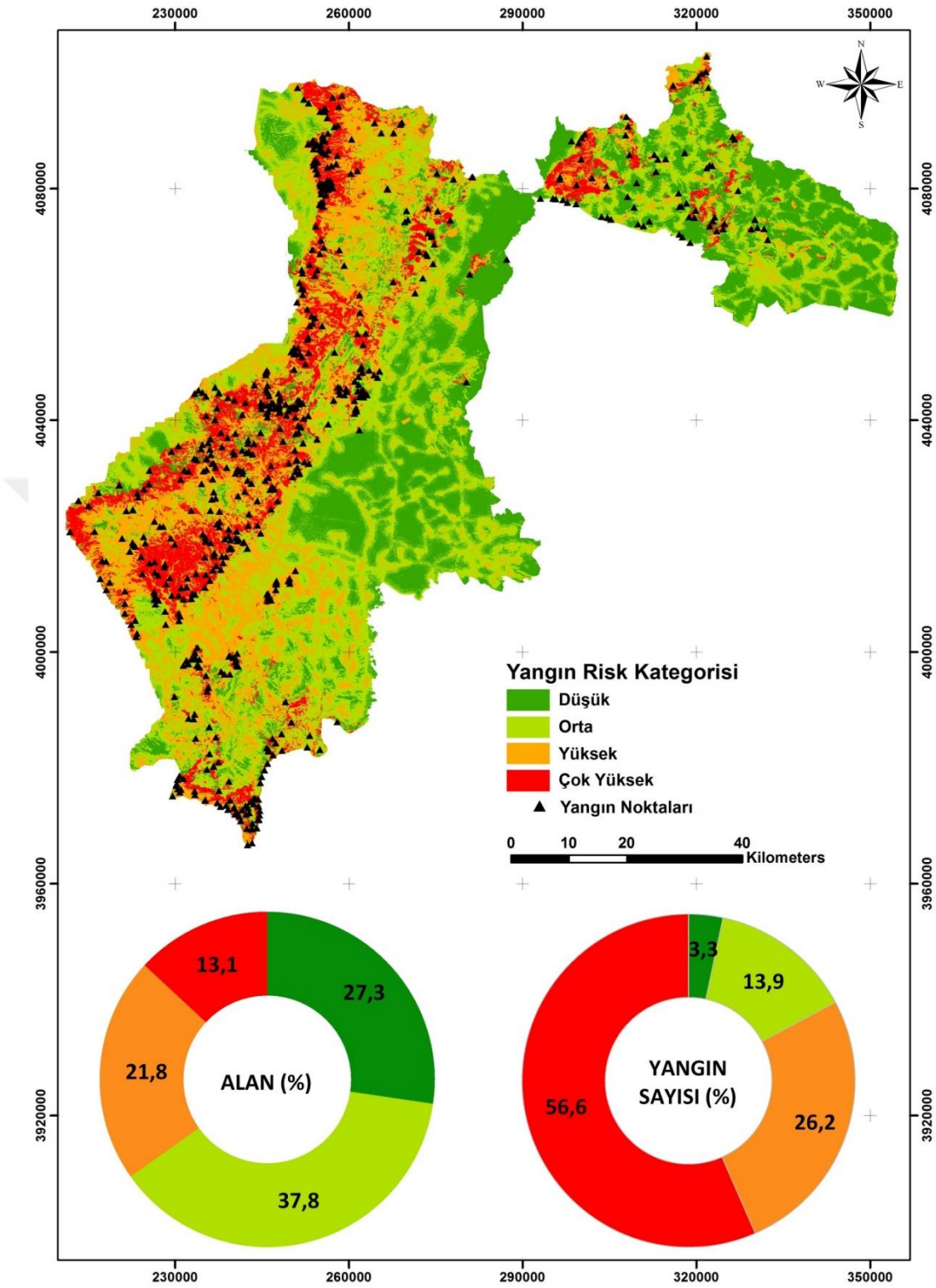
3.5 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemine Göre Yangın Risk Haritası

AHP yöntemine göre yangın risk haritalarının düzenlenmesi için yangın parametrelerinin katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, parametrelerin ve alt parametrelerin katsayılarını belirlemek için AHP ikili karşılaştırma matrisi kullanılmıştır. Meşcere, topoğrafya, çevre ve iklim parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (CR) değerleri hesaplandı (Tablo 3.5). Elde edilen bulgulara göre, tüm parametre ve alt parametre değerlerinin CR'si 0,1'den küçüktür. Bu sonuçlara dayanarak, tüm ikili karşılaştırma matrislerinin yeterli ve kabul edilebilir tutarlılığa sahip olduğu belirlendi. Meşcere, topoğrafya, çevre ve iklimin CR değeri 0,074'dür. Çevre kriteri %37'lik ağırlığı ile orman yangını riskini etkileyen en önemli parametre olmuştur. Bunu %33 ile meşcere, %21 ile topoğrafya ve %9 ile iklim parametreleri takip etmektedir. Alt parametreler dikkate alındığında meşcerede ağaç türü, topoğrafyada bakı, çevrede yola uzaklık ve iklimde ise sıcaklık yangın riskini etkileyen en önemli parametreler olarak tespit edilmiştir. Ağaç türü %54 ağırlık ile yangın riskini etkileyen en önemli parametre olarak belirlenmiştir. Akdeniz ülkelerinde orman yangınlarına en duyarlı türlerden biri olan kızılçam, çalışma alanındaki hakim ağaç türüdür ve bu nedenle yangın riski açısından en önemli faktördür.

AHP yöntemine göre hesaplanan katsayılara göre yangın risk indeksi (YRI) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (3.1).

$$YRI = (0{,}3302 \times Meşcere) + (0{,}2063 \times Topoğrafya) + (0{,}3702 \times Çevre) + (0{,}0934 \times İklim) \quad (3.1)$$

YRI, ArcGIS'teki doğal kırılma (natural breaks) sınıflandırma tekniğine göre düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört gruba ayrılmış ve böylece yangın risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 AHP metoduna göre yangın risk haritası

Tablo 3.5 Parametre ve alt parametrelerin katsayı ve tutarlılık oranları

Parametre	Katsayı	CR	Alt Parametreler	Katsayı	CR
Meşcere	0,3302	0,074	Ağaç Türü	0,5390	0,008
			Gelişim Çağı	0,2973	
			Kapalılık	0,1638	
Topoğrafya	0,2063		Eğim	0,3533	0,065
			Bakı	0,3938	
			Yükselti	0,1611	
			Topoğrafik Islaklık İndeksi	0,0918	
Çevre	0,3702		Yerleşim Yerine Uzaklık	0,2326	0,038
			Tarım Alanına Uzaklık	0,1693	
			Yola Uzaklık	0,2878	
			Nehire Uzaklık	0,0625	
			Nüfus Yoğunluğu	0,2477	
İklim	0,0934		Sıcaklık	0,3525	0,089
			Yağış	0,1302	
			Rüzgar Hızı	0,2043	
			Solar Radyasyon	0,3130	

AHP yöntemine göre oluşturulan yangın risk haritasına göre her bir yangın risk kategorisindeki alan miktarı ve yangın sayısı Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Bu haritaya göre çalışma alanının %27,3'ü (184.886,7 ha) düşük, %37,8'i (256.094,4 ha) orta, %21,8'i yüksek (147.284,7 ha) ve %13,1'i (88.434,2 ha) ise çok yüksek yangın risk kategorisinde yer almaktadır. Yangınlar açısından değerlendirildiğinde ise meydana gelen toplam 663 orman yangınından 22 adedi düşük, 92 adedi orta, 174 adedi yüksek ve 375 adedi ise çok yüksek yangın risk kategorisinde meydana gelmiştir. Çalışma alanının yaklaşık %35'lik bölümü yüksek ve çok yüksek yangın risk kategorisinde yer almasına rağmen meydana gelen yangınların %83'ü (549 adet) bu kategorilerde meydana gelmiştir. Bu sonuçlar AHP metoduna göre oluşturulan yangın risk haritasının tutarlılığını ve doğruluğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3.6 Yangın risk kategorilerine göre alan miktarı ve yangın sayısı

Yangın Risk Kategorisi	Alan		Yangın	
	ha	%	Adet	%
Düşük	184.886,7	27,3	22	3,3
Orta	256.094,4	37,8	92	13,9
Yüksek	147.284,7	21,8	174	26,2
Çok Yüksek	88.434,2	13,1	375	56,6
Toplam	**676.700,0**	**100**	**663**	**100**

3.6 Frekans Oranı (FRM) Yöntemine Göre Yangın Risk Haritası

Frekans oranı yöntemi kullanılarak, yangın riskini etkileyen parametreler arasındaki mekansal ilişkiler hesaplandı. Her bir parametre için katsayı değerleri (PR), Tablo 3.7'de gösterildi. PR değerlerine göre, eğim (3,634), gelişim çağı (3,304), yükselti (3,054), ağaç türü (2,935) ve toprak ıslaklık indeksi (2,934) yangın riski için oldukça etkili parametreler olarak tespit edildi. Yangın riski açısından en az önemli faktör ise yola uzaklık (1,000) olarak belirlendi. Tabloda FRM frekans oranını, RF göreceli frekansı ve PR ise her bir parametrenin frekans katsayı değerini ifade etmektedir.

Tablo 3.7 Yangın risk haritası için parametrelerin frekans katsayı değerleri

Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın		FRM	RF	PR
		ha	%	Adet	%			
Ağaç Türü	Çz, Mak	97.476,8	14,4	403	60,8	4,220	0,352	2,935
	Çk	11.815,2	1,7	10	1,5	0,864	0,072	
	Ok, BÇz, Karışık Çz İbreli Meşcere	28.875,1	4,3	86	13,0	3,040	0,254	
	Çf, BÇk, Karışık Çk İbreli Meşcere	4.756,3	0,7	7	1,1	1,502	0,125	
	S, Karışık Çz Yapraklı Meşcere	5.065,4	0,7	4	0,6	0,806	0,067	
	Gn, Kn, Karışık Çk Yapraklı Meşcere, Diğer Boşluklu Kapalı Meşcereler	65.045,2	9,6	66	10,0	1,036	0,086	
	M, Karışık S İbreli Meşcere	22.081,5	3,3	7	1,1	0,324	0,027	
	G Saf ve Karışık Meşcereler	366,4	0,1		0,0	0,000	0,000	
	Diğer	441.218,1	65,2	80	12,1	0,185	0,015	
Kapalılık (%)	Boşluklu Kapalı	74.705,4	11,0	142	21,4	1,940	0,173	2,561
	1 Kapalı	38.181,8	5,6	131	19,8	3,502	0,312	
	2 Kapalı	45.133,3	6,7	161	24,3	3,641	0,324	
	3 Kapalı	77.091,7	11,4	149	22,5	1,973	0,176	
	Diğer	441.587,8	65,3	80	12,1	0,185	0,016	
Gelişim Çağı (cm)	a	23.297,6	3,4	99	14,9	4,337	0,256	3,304
	b	71.561,4	10,6	157	23,7	2,239	0,132	
	c	64.041,3	9,5	173	26,1	2,757	0,163	
	d	1.712,1	0,3	12	1,8	7,154	0,423	
	Diğer	516.087,6	76,3	222	33,5	0,439	0,026	

Tablo 3.7'nin devamı

Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın		FRM	RF	PR
		ha	%	Adet	%			
Bakı	Kuzey	65.647,1	9,7	65	9,8	1,011	0,160	1,164
	Kuzeydoğu, Kuzeybatı	151.759,4	22,4	154	23,2	1,036	0,164	
	Doğu	82.975,5	12,3	82	12,4	1,009	0,160	
	Batı, Güneydoğu	178.947,9	26,4	178	26,8	1,015	0,161	
	Güney	90.808,3	13,4	91	13,7	1,023	0,162	
	Güneybatı	87.909,8	13,0	90	13,6	1,045	0,166	
	Düz	18.652,0	2,8	3	0,5	0,164	0,026	
Eğim (%)	0 – 5	204.716,4	30,3	19	2,9	0,095	0,022	3,634
	6 – 15	157.568,3	23,3	83	12,5	0,538	0,125	
	16 – 35	172.581,9	25,5	287	43,3	1,697	0,395	
	> 35	141.833,4	21,0	274	41,3	1,972	0,458	
Yükselti (m)	0-500	361.590,2	53,4	354	53,4	0,999	0,324	3,054
	500-1.000	237.226,8	35,1	263	39,7	1,132	0,367	
	1.000-1.500	61.711,3	9,1	42	6,3	0,695	0,225	
	1.500-2.000	15.644,9	2,3	4	0,6	0,261	0,085	
	>2.000	526,8	0,1		0,0	0,000	0,000	
Topoğrafik Islaklık İndeksi	<5,0	2.456,1	0,4	1	0,2	0,416	0,093	2,934
	5,0-6,5	147.889,7	21,9	271	40,9	1,870	0,418	
	6,5-8,0	200.259,3	29,6	259	39,1	1,320	0,295	
	8,0-9,5	139.040,3	20,5	78	11,8	0,573	0,128	
	>9,5	187.054,6	27,6	54	8,1	0,295	0,066	
Yerleşim Yerine Uzaklık (m)	0-250	105.561,9	15,6	64	9,7	0,619	0,110	1,636
	250-500	77.141,3	11,4	130	19,6	1,720	0,307	
	500-1.000	162.224,1	24,0	172	25,9	1,082	0,193	
	1.000-5.000	316.719,0	46,8	278	41,9	0,896	0,160	
	>5.000	15.053,7	2,2	19	2,9	1,288	0,230	
Tarım Alanına Uzaklık (m)	0-250	466.493,2	68,9	373	56,3	0,816	0,150	2,197
	250-500	53.080,6	7,8	117	17,6	2,250	0,414	
	500-1.000	58.638,9	8,7	82	12,4	1,427	0,263	
	1.000-5.000	98.487,3	14,6	91	13,7	0,943	0,173	
Yola Uzaklık (m)	0-250	146.537,3	21,7	109	16,4	0,759	0,162	1,000
	250-500	107.761,8	15,9	123	18,6	1,165	0,249	
	500-1.000	150.018,4	22,2	146	22,0	0,993	0,212	
	1.000-5.000	230.119,5	34,0	260	39,2	1,153	0,247	
	>5.000	42.263,0	6,2	25	3,8	0,604	0,129	
Nehire Uzaklık (m)	0-250	41.059,2	6,1	17	2,6	0,423	0,095	1,612
	250-500	37.522,7	5,5	39	5,9	1,061	0,238	
	500-1.000	71.398,5	10,6	90	13,6	1,287	0,288	
	1.000-5.000	397.349,5	58,7	448	67,6	1,151	0,258	
	>5.000	129.370,1	19,1	69	10,4	0,544	0,122	

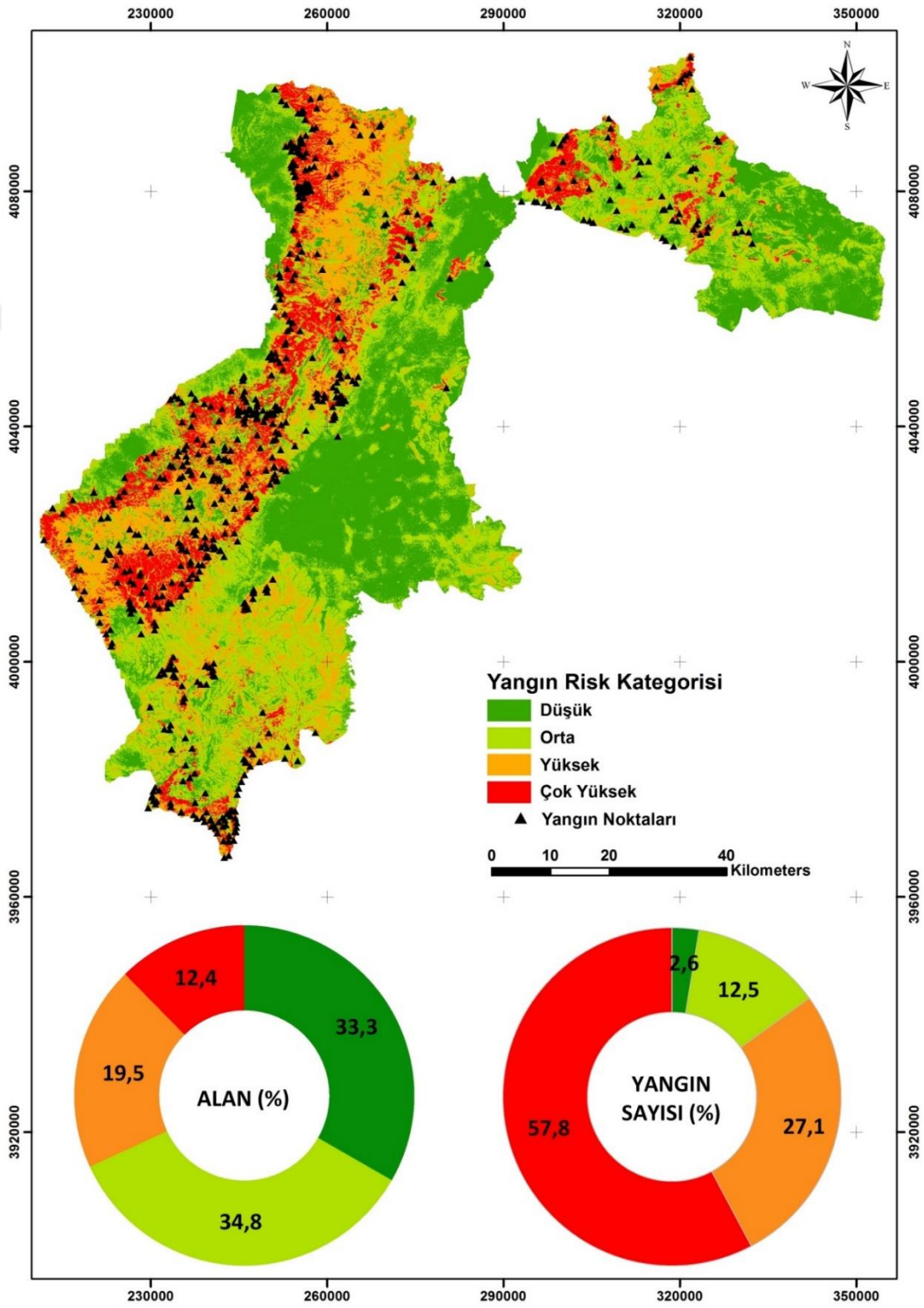
Tablo 3.7'nin devamı

Parametre	Sınıflar	Alan		Yangın		FRM	RF	PR
		ha	%	Adet	%			
Nüfus Yoğunluğu (Kişi/km^2)	0-100	78.610,2	11,6	36	5,4	0,467	0,099	1,659
	100-200	115.514,4	17,1	95	14,3	0,839	0,178	
	200-300	161.934,3	23,9	120	18,1	0,756	0,160	
	300-400	190.042,5	28,1	232	35,0	1,246	0,264	
	>400	130.598,6	19,3	180	27,1	1,407	0,298	
Sıcaklık (°C)	<19	35.644,1	5,3	17	2,6	0,487	0,093	2,312
	19-21	59.401,8	8,8	51	7,7	0,876	0,168	
	21-23	93.942,9	13,9	160	24,1	1,738	0,333	
	23-25	194.133,5	28,7	339	51,1	1,782	0,342	
	>25	293.577,7	43,4	96	14,5	0,334	0,064	
Yağış (mm)	<17	140.675,2	20,8	69	10,4	0,501	0,098	2,451
	17-22	94.831,0	14,0	40	6,0	0,431	0,085	
	22-27	206.521,3	30,5	164	24,7	0,811	0,159	
	27-32	127.548,4	18,8	241	36,3	1,929	0,379	
	>32	107.124,1	15,8	149	22,5	1,420	0,279	
Rüzgar (m/s)	<2,4	9.858,9	1,5	6	0,9	0,621	0,119	1,337
	2,4-2,6	256.068,6	37,8	234	35,3	0,933	0,179	
	2,6-2,8	231.251,8	34,2	167	25,2	0,737	0,142	
	2,8-3,0	136.004,3	20,1	194	29,3	1,456	0,280	
	>3,0	43.516,4	6,4	62	9,4	1,454	0,280	
Solar Radyasyon (WH/m^2)	<700.000	6.491,8	1,0	13	2,0	2,044	0,259	1,394
	700.000-800.000	18.811,9	2,8	39	5,9	2,116	0,268	
	800.000-900.000	67.146,9	9,9	134	20,2	2,037	0,258	
	900.000-1.000.000	373.478,6	55,2	291	43,9	0,795	0,101	
	>1.000.000	210.770,8	31,1	186	28,1	0,901	0,114	

Frekans oranı yöntemine göre belirlenen katsayılara göre yangın risk indeksi (YRI) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (3.2).

YRI = (2,935 x Ağaç türü)+(2,561 x Kapalılık)+(3,304 x Gelişim çağı)
+(1,164 x Bakı)+ (3,634 x Eğim)+ (3,054 x Yükselti)
+ (2,934 x Topoğrafik ıslaklık indeksi)+ (1,636 x Yerleşim yerine uzaklık)
+ (2,197 x Tarım alanına uzaklık)+ (1,000 x Yola uzaklık)+ (1,612 x Nehire uzaklık)
+ (1,659 x Nüfus yoğunluğu)+ (2,312 x Sıcaklık)+ (2,451 x Yağış)
+ (1,337 x Rüzgar) + (1,3944 x Solar radyasyon) (3.2)

YRI, ArcGIS'teki doğal kırılma (natural breaks) sınıflandırma tekniğine göre düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört gruba ayrılmış ve böylece yangın risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Frekans oranı yöntemine göre yangın risk haritası

Frekans oranı yöntemine göre oluşturulan yangın risk haritasına göre her bir yangın risk kategorisindeki alan miktarı ve yangın sayısı Tablo 3.8'de verilmiştir. Yangın risk haritasına göre alanının %33,3'ü (225.291,3 ha) düşük, %34,8'i (235.710,1 ha) orta, %19,5'i yüksek (132.016,6 ha) ve %12,4'ü (83.682,0 ha) ise çok yüksek yangın risk kategorisinde yer almıştır. Meydana gelen yangınlar açısından irdelendiğinde ise toplam 663 orman yangınından 17 adedi düşük, 83 adedi orta, 180 adedi yüksek ve 383 adedi ise çok yüksek yangın risk kategorisinde meydana gelmiştir. Çalışma alanının yaklaşık %32'lik bölümü yüksek ve çok yüksek yangın risk kategorisinde yer almasına rağmen meydana gelen yangınların %85'i (563 adet) bu kategorilerde meydana gelmiştir. Bu sonuçlar frekans oranı yöntemine göre oluşturulan yangın risk haritasının doğruluğunu ve yangın risk çalışmalarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3.8 Yangın risk kategorilerine göre alan miktarı ve yangın sayısı

Yangın Risk Kategorisi	Alan		Yangın	
	ha	%	Adet	%
Düşük	225.291,3	33,3	17	2,6
Orta	235.710,1	34,8	83	12,5
Yüksek	132.016,6	19,5	180	27,1
Çok Yüksek	83.682,0	12,4	383	57,8
Toplam	**676.700,0**	**100**	**663**	**100**

3.7 İstatistiksel İndeks Yöntemine Göre Yangın Risk Haritası

Yangın riskini etkileyen parametreler ile yangın noktaları arasındaki konumsal ilişki İstatistiksel İndeks modeline göre Tablo 3.9'da gösterilmiştir. Yangın noktaları ile ağaç türü arasındaki ilişkiye göre en yüksek SI değerine (1,44) kızılçam ağaç türü sahip olmuştur. İkinci en yüksek SI değerine (1,11) sahip ağaç türü sınıfı ise, okaliptüs, boşluklu kapalı kızılçam meşceresi ve karışık kızılçam meşcereleridir. Bu sonuç, yangına karşı en hassas ve duyarlı ağaç türünün kızılçam ve yangın oluşumunda da en fazla etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. İki kapalı ve bir kapalı meşcereler ile orman yangını oluşumu arasındaki ilişki 1,29 ve 1,25 SI değerleri ile en yüksek değerlere sahiptir. Bakı açısından batı, güneydoğu, güney ve güneybatı sırasıyla 0,20; 0,02; 0,02 ve 0,04 pozitif SI değerine sahiptir. Bu sınıflarda yangın çıkma ihtimalinin diğer bakı gruplarına göre daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Eğim açısından

ise SI değeri 0,53 ve 0,68 değerleri ile en yüksek oranda eğimin %16 – 35 ve %35'ten büyük alanlarda mevcuttur. Eğim değeri arttıkça SI değeri artmakta diğer bir ifade ile yangın riski de artmaktadır. Yükseklik ile yangın riski arasında ters bir ilişki mevcut olup yükseklik arttıkça SI değerleri azalmaktadır. En yüksek SI değeri 500 ile 1.000 m arasındaki yüksekliklerde, en düşük SI değeri ise 1.500 ile 2.000 m arasındaki yüksekliklerdedir. Düşük yükseltilerde yangın çıkma olasılığı daha yüksektir. Yangın oluşumu açısından, topoğrafik ıslaklık indeksi yükseklik ile benzer bir ilişki göstermektedir. Topoğrafik ıslaklık indeksi arttıkça yangın riski azalmaktadır. Yerleşim yerine, tarım alanına ve yola uzaklıkta 250 ile 500 m arasındaki mesafeler en yüksek SI değerlerine sahiptir (sırasıyla 0,54; 0,81 ve 0,15). Nehire uzaklıkta ise en yüksek SI değeri (0,25) 500-1.000 m arasındaki mesafededir. Mesafe ile SI değeri arasında ters bir ilişki vardır. Nüfus yoğunluğu arttıkça yangın riski de artmaktadır. Bu nedenle, en yüksek SI değeri (0,34) 400 kişi/m^2 yoğunluktan fazla olan meşcerelerdedir ve SI değeri nüfus yoğunluğu ile artmaktadır. 21 °C'nin altında yangın riski ile sıcaklık arasında negatif bir ilişki varken 21-25 °C arasında ise pozitif bir ilişki vardır ve bu aralıkta sıcaklık ile risk artmaktadır. Benzer ilişki rüzgar parametresinde de mevcuttur. 2,4-2,8 m/s arasında negatif bir ilişki varken 2,8 m/s' den büyük meşcerelerde ise doğrusal bir ilişki mevcuttur. Solar radyasyon açısından irdelendiğinde 900.000 WH/m^2 kadar olan meşcerelerde yangın riski ile pozitif bir ilişki mevcutken bu değerden büyük meşcerelerde ise negatif bir ilişki söz konusudur.

Tablo 3.9 Yangın parametreleri ile yangın noktaları arasındaki mekânsal ilişki

Parametre	Sınıflar	Piksel		Yangın		SI
		Adet	%	Adet	%	
Ağaç Türü	Çz, Mak	1.559.628	14,4	403	60,8	1,44
	Çk	189.043	1,7	10	1,5	-0,15
	Ok, BÇz, Karışık Çz İbreli Meşcere	462.002	4,3	86	13,0	1,11
	Çf, Bçk, Karışık Çk İbreli Meşcere	76.100	0,7	7	1,1	0,41
	S, Karışık Çz Yapraklı Meşcere	81.047	0,7	4	0,6	-0,22
	Gn, Kn, Karışık Çk Yapraklı Meşcere, Diğer Boşluklu Kapalı Meşcereler	1.040.723	9,6	66	10,0	0,04
	M, Karışık S İbreli Meşcere	353.304	3,3	7	1,1	-1,13
	G Saf ve Karışık Meşcereler	5.862	0,1		0,0	
	Diğer	7.059.491	65,2	80	12,1	-1,69

Tablo 3.9'un devamı

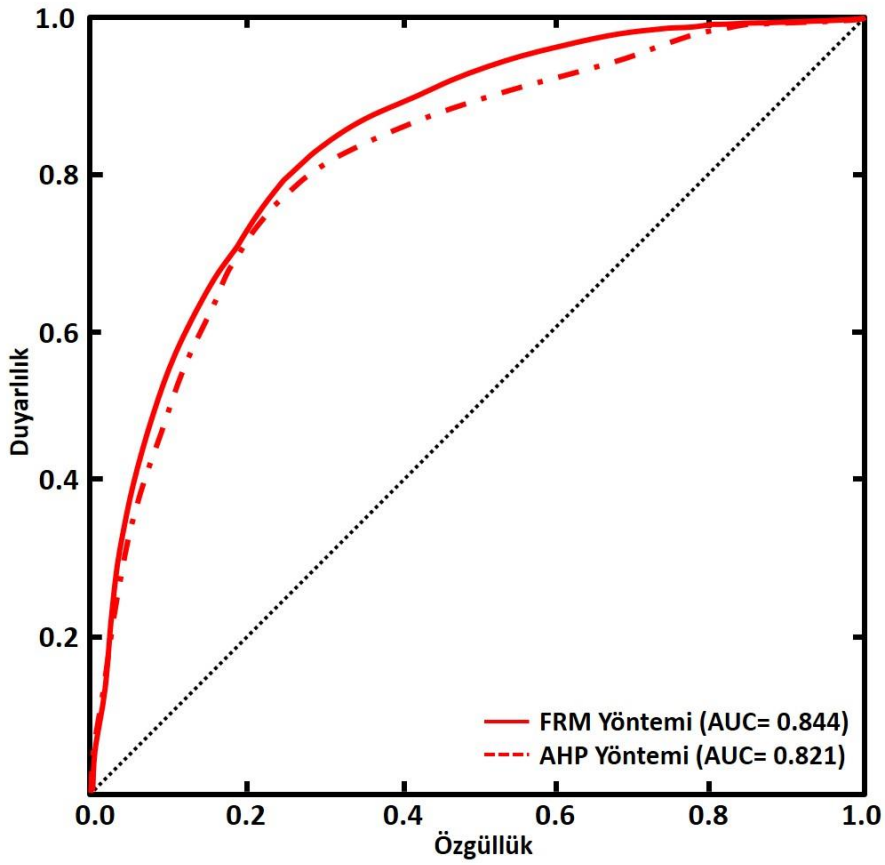
Parametre	Sınıflar	Piksel		Yangın		SI
		Adet	%	Adet	%	
Kapalılık (%)	Boşluklu Kapalı	1.195.286	11,0	142	21,4	0,66
	1 Kapalı	610.909	5,6	131	19,8	1,25
	2 Kapalı	722.133	6,7	161	24,3	1,29
	3 Kapalı	1.233.465	11,4	149	22,5	0,68
	Diğer	7.065.407	65,3	80	12,1	-1,69
Gelişim Çağı (cm)	a	372.761	3,4	99	14,9	1,47
	b	1.144.982	10,6	157	23,7	0,81
	c	1.024.660	9,5	173	26,1	1,01
	d	27.393	0,3	12	1,8	1,97
	Diğer	8.257.404	76,3	222	33,5	-0,82
Bakı	Kuzey	1.050.354	9,7	65	9,8	0,01
	Kuzeydoğu, Kuzeybatı	2.428.150	22,4	154	23,2	0,04
	Doğu	1.327.608	12,3	82	12,4	0,01
	Batı, Güneydoğu	2.863.167	26,4	178	26,8	0,02
	Güney	1.452.932	13,4	91	13,7	0,02
	Güneybatı	1.406.557	13,0	90	13,6	0,04
	Düz	298.432	2,8	3	0,5	-1,81
Eğim (%)	0 – 5	3.275.462	30,3	19	2,9	-2,36
	6 – 15	2.521.093	23,3	83	12,5	-0,62
	16 – 35	2.761.311	25,5	287	43,3	0,53
	> 35	2.269.334	21,0	274	41,3	0,68
Yükselti (m)	0-500	5.785.444	53,4	354	53,4	0,00
	500-1.000	3.795.629	35,1	263	39,7	0,12
	1.000-1.500	987.380	9,1	42	6,3	-0,36
	1.500-2.000	250.318	2,3	4	0,6	-1,34
	>2.000	8.429	0,1		0,0	
Topoğrafik Islaklık İndeksi	<5,0	39.297	0,4	1	0,2	-0,88
	5,0-6,5	2.366.235	21,9	271	40,9	0,63
	6,5-8,0	3.204.149	29,6	259	39,1	0,28
	8,0-9,5	2.224.644	20,5	78	11,8	-0,56
	>9,5	2.992.875	27,6	54	8,1	-1,22
Yerleşim Yerine Uzaklık (m)	0-250	1.688.989	15,6	64	9,7	-0,48
	250-500	1.234.260	11,4	130	19,6	0,54
	500-1.000	2.595.586	24,0	172	25,9	0,08
	1.000-5.000	5.067.505	46,8	278	41,9	-0,11
	>5000	240.860	2,2	19	2,9	0,25
Tarım Alanına Uzaklık (m)	0-250	7.463.891	68,9	373	56,3	-0,20
	250-500	849.290	7,8	117	17,6	0,81
	500-1.000	938.223	8,7	82	12,4	0,36
	1.000-5.000	1.575.796	14,6	91	13,7	-0,06

Tablo 3.9'un devamı

Parametre	Sınıflar	Piksel		Yangın		SI
		Adet	%	Adet	%	
Yola Uzaklık (m)	0-250	2.344.596	21,7	109	16,4	-0,28
	250-500	1.724.190	15,9	123	18,6	0,15
	500-1.000	2.400.294	22,2	146	22,0	-0,01
	1.000-5.000	3.681.913	34,0	260	39,2	0,14
	>5.000	676.207	6,2	25	3,8	-0,50
Nehire Uzaklık (m)	0-250	656.947	6,1	17	2,6	-0,86
	250-500	600.363	5,5	39	5,9	0,06
	500-1.000	1.142.376	10,6	90	13,6	0,25
	1.000-5.000	6.357.592	58,7	448	67,6	0,14
	>5.000	2.069.922	19,1	69	10,4	-0,61
Nüfus Yoğunluğu (Kişi/km^2)	0-100	1.257.764	11,6	36	5,4	-0,76
	100-200	1.848.230	17,1	95	14,3	-0,18
	200-300	2.590.949	23,9	120	18,1	-0,28
	300-400	3.040.680	28,1	232	35,0	0,22
	>400	2.089.577	19,3	180	27,1	0,34
Sıcaklık (°C)	<19	570.306	5,3	17	2,6	-0,72
	19-21	950.428	8,8	51	7,7	-0,13
	21-23	1.503.087	13,9	160	24,1	0,55
	23-25	3.106.136	28,7	339	51,1	0,58
	>25	4.697.243	43,4	96	14,5	-1,10
Yağış (mm)	<17	2.250.803	20,8	69	10,4	-0,69
	17-22	1.517.296	14,0	40	6,0	-0,84
	22-27	3.304.341	30,5	164	24,7	-0,21
	27-32	2.040.775	18,8	241	36,3	0,66
	>32	1.713.985	15,8	149	22,5	0,35
Rüzgar (m/s)	<2,4	157.743	1,5	6	0,9	-0,48
	2,4-2,6	4.097.097	37,8	234	35,3	-0,07
	2,6-2,8	3.700.028	34,2	167	25,2	-0,31
	2,8-3,0	2.176.069	20,1	194	29,3	0,38
	>3,0	696.263	6,4	62	9,4	0,37
Solar Radyasyon (WH/m^2)	<700.000	103.869	1,0	13	2,0	0,71
	700.000-800.000	300.991	2,8	39	5,9	0,75
	800.000-900.000	1.074.349	9,9	134	20,2	0,71
	900.000-1.000.000	5.975.658	55,2	291	43,9	-0,23
	>1.000.000	3.372.333	31,1	186	28,1	-0,10

3.8 Yangın Risk Haritasının Doğruluğunun Test Edilmesi

Model çalışmalardaki en önemli aşamalardan biri geliştirilen modellerin doğruluğunun test edilmesidir. Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Frekans Oranı yöntemlerine göre geliştirilen yangın risk haritalarının doğruluğunu belirlemek için ROC eğrisi metodu kullanıldı. AHP ve FRM modelleri için AUC sırasıyla 0,821 ve 0,844 olarak hesaplandı (Şekil 3.19). Yangın riskini tahmin etmede her iki yöntemin (AHP ve FRM) başarısının çok iyi olduğu (AUC=0,8-0,9 çok iyi) ortaya konuldu. Ancak, FRM yönteminin AHP yöntemine göre daha başarılı olduğu da tespit edilmiştir.



Şekil 3.19 Frekans oranı yöntemine göre yangın risk haritası

4. TARTIŞMA

Orman yangınları doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleriyle güçlü bir şekilde ilişkilidir (Vilar vd., 2010). Birçok orman alanı, kentsel yerleşimlerin ve tarım alanlarının yakınında bulunmakta ve bu durum orman yangın riskini artırmaktadır. Ormanların yollara, nehirlere, tarım alanlarına ve yerleşim yerlerine yakınlığı yangın tutuşma potansiyelini artırmaktadır (Hoang vd., 2020; Sari, 2021; Satir vd., 2016). Nüfus yoğunluğu da orman yangın riskini etkileyen önemli faktörlerden biridir ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlara yakın ormanlar yangına karşı daha hassastırlar (Akbulak vd., 2018; Güngöroğlu, 2017). Bu çalışmada, çevre kriteri %37'lik bir oranla orman yangın riskini etkileyen en önemli parametre olarak bulunmuştur. Türkiye'deki orman yangınlarının %86'sının ana nedeni insan faaliyetleridir (OGM, 2020). Bu nedenle, çevresel faktörlerin orman yangınlarını etkileyen en önemli neden olması bu sonuçla tutarlılık göstermektedir. Daha önce yapılan birçok çalışma, insan faaliyetlerinin orman yangın riskinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Eskandari (2017), orman yangın riskini etkileyen yollara, nehirlere, tarım alanlarına ve yerleşim yerlerine olan mesafelerin yanı sıra bakı, eğim ve yükseklik gibi parametrelerin ağırlıklarını tahmin etmek için CBS tabanlı AHP kullanmıştır. Sonuçlar çevre faktörünün 0,301 değeri ile en önemli parametre olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada çevre faktörünü %33 ile meşcere, %21 ile topoğrafya ve %9 ile iklim parametreleri takip etmektedir. Güngöroğlu (2017) çevre, topoğrafik, iklim ve meşcere yapısı parametrelerini dikkate alarak bulanık AHP yöntemi ile Akdeniz bölgesi için yangın risk haritası oluşturmuştur. Çevre parametresi 0,35 ağırlıkla modellemede en önemli parametre olarak belirlenmiştir. Bu parametreyi sırasıyla 0,25; 0,23 ve 0,17 ağırlıklarla topoğrafik, iklim ve meşcere yapısı parametreleri izlemiştir. Akbulak vd., (2018), yangın risk haritası yapımında çevre, bitki örtüsü, topoğrafik ve iklim kriterlerinin ağırlıklarının sırasıyla 0,360; 0,291; 0,169 ve 0,117 olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgulara göre çevre parametresi, orman yangını riskinin azaltılmasında en etkili faktör olmuştur. Çoban ve Erdin (2020), Bucak Model Orman planlama biriminde yangın riskini modellemek için AHP'yi kullanmış ve orman

yangın riskinde en fazla ağırlığa (0,5646) çevre parametresinin sahip olduğunu, ardından yapısal özellikler, topoğrafik yapı ve iklimin geldiğini göstermiştir. Ayrıca, birçok çalışma, orman yangınları ile topoğrafik faktörler arasında önemli ilişkiler olduğunu göstermiştir (Eskandari, 2017; Sivrikaya vd., 2014).

Yangın başlatma ve yangın davranışı üzerindeki etkisi açısından meşcere yapısı yangın riski çalışmalarında dikkate alınan en önemli faktörlerden biridir (Akbulak vd., 2018; Jaiswal vd., 2002; Sivrikaya vd., 2014). Ağaç türleri, kapalılık ve gelişme çağı yangın tutuşmasını etkileyen meşcere yapılarıdır (Akay ve Şahin, 2019; Çoban ve Erdin, 2020; Çolak ve Sunar, 2020; Gao vd., 2011; Güngöroğlu, 2017). Bu çalışmada meşcere yapısı olarak ağaç türü %54'lük bir oranla orman yangın riskini etkileyen en önemli kriter olarak bulunmuştur. Ağaç türleri içerisinde de en yüksek RF ve SI değerine (0,352; 1,44) sahip olan ağaç türü ise kızılçamdır. Tüm ağaç türleri yanıcıdır ve her ağaç türü değişen derecelerde yanma potansiyeline sahiptir. İğne yapraklı ormanlarda ölü örtü tabakası inanılmaz derecede kurudur ve tutuşmaya eğilimlidir (Sari, 2021). Akdeniz ormanları yüksek miktarda ince ölü örtü tabakası ve kimyasal reçine uçuculuğu nedeniyle son derece yanıcıdır (Küçük ve Aktepe, 2017) ve bu faktörler potansiyel olarak çam meşcerelerinde çok yüksek yangın oranlarına neden olabilmektedirler (Küçük vd., 2018). İğne yapraklı ağaç türleri, düşük nem, yüksek derecede yanıcı reçine ve hızlı tutuşma potansiyelleri nedeniyle yangın riskini artırmaktadır. Türkiye'de kızılçam (Pinus brutia Ten.), yangına karşı en hassas ağaç türüdür (Çolak ve Sunar, 2020). Eskandari (2017) tarafından yapılan çalışmada, yangın riski açısından 0,1839 ağırlığı ile ağaç türü en önemli parametre olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile kızılçam yangın riski açısından en fazla etkiye sahip parametredir. Birçok çalışma, kızılçamın yangına karşı en savunmasız türlerden biri olduğunu göstermiştir (Baysal, 2021; Çolak ve Sunar, 2020). Uygun yanma özelliği ile bilinen bir ağaç türü olan kızılçamın hem kozalak hem de iğne yaprağa sahip olması nedeniyle yaz mevsiminde çevredeki yanıcı madde miktarını artırmaktadır (Kantarcıoğlu vd., 2023; Rosavec vd., 2022). Bu çalışmada a ve b gelişim çağındaki meşcereler ile 2 ve 3 kapalı meşcereler daha yüksek yangın potansiyeline sahip meşcere parametreleri olarak tespit edilmiştir. Orman yangınları özellikle kapalılığın yüksek olduğu alanlarda tehlikelidir (Çolak ve Sunar, 2020; Küçük vd., 2009). Orman yangınlarında önemli olan bir diğer meşcere parametresi gelişim çağıdır. Yangın riski,

gençlik, sırıklık ve direklik çağındaki meşcerelerde daha yüksektir (Akay ve Erdoğan, 2017; Güngöroğlu, 2017; Sağlam vd., 2008).

Bu çalışmada çevresel parametrelerden yola uzaklık 0,2878; nüfus yoğunluğu 0,2477; yerleşim yerine uzaklık 0,2326; tarım alanına uzaklık 0,1693 ve nehire uzaklık 0,0625 ağırlıkla yangın riskini etkilemektedir. Ayrıca, yerleşim yerine, tarım alanına, yola ve dereye uzaklık arttıkça yangın riskinin azaldığı ve nüfus yoğunluğu arttıkça yangın riskinin arttığı tespit edilmiştir. Novo vd. (2020) yaptığı çalışmasında çevre parametreleri içerisinde 0,750 ağırlıkla yollara uzaklık en yüksek ve 0,250 ağırlıkla yerleşim yerlerine uzaklık ikinci en yüksek öneme sahip parametre olarak belirlendi. Eskandari (2017), yangın riski için çevresel alt kriterler arasında 0,3736 ağırlıkla yollara uzaklığın ve 0,3227 ağırlıkla yerleşim yerlerine olan mesafenin en yüksek ağırlıklar olduğunu belirtmiştir. Ormanlara en önemli erişim noktaları orman yolları ve yerleşim alanlarıdır. İnsanlar ve turistler, orman ve rekreasyon alanlarına ulaşmak için orman yollarını kullanmakta ve bazen kazara orman yangınlarına neden olmaktadır. Birçok araştırmacı, orman yollarının orman yangınlarında temel bir parametre olduğunu belirtmişlerdir (Akay ve Şahin, 2019; Eskandari vd., 2013; Güngöroğlu, 2017; Sivrikaya vd., 2014). Ayrıca, mesafe arttıkça orman yangın sıklığının genel olarak azaldığı belirtilmiştir (Hoang vd., 2020; Satir vd., 2016).

Orman yangın riski yağış, sıcaklık, rüzgar hızı ve solar radyasyon gibi meteorolojik değişkenlerle ilişkilidir (Akbulak vd., 2018; Dimitrakopulos vd., 2011; Ghobadi vd., 2012; Güngöroğlu, 2017). Daha yüksek hava sıcaklıkları, yüzey malzemelerinin nemini azaltır ve yangına karşı yüksek hassasiyete yol açar. Rüzgar, ölü örtünün nem içeriğini azaltır ve kurumasına neden olarak yangının söndürülmesini zorlaştırır (Mitsopoulos vd., 2017). Daha yüksek rüzgar hızları, yangının daha hızlı yayılmasına neden olur (Hoang vd., 2020; Teodoro ve Duarte, 2013). Yağış, yoğun ölü örtü tabakasına sahip orman ekosistemlerinde su kaynaklarının düzenlenmesinde belirleyici bir parametredir. Yağış olmaması, yanıcı maddelerin nem tutma kapasitesini azaltarak yangın riskini artırır (Prasad vd., 2008). Akdeniz bölgesindeki orman yangınlarında yağış önemli bir rol oynamaktadır (Bonora vd., 2013; Güngöroğlu, 2017; Pereira vd., 2005). Solar radyasyon miktarı, yanıcı madde miktarını, havadaki bağıl nemi ve rüzgar hızını etkilediği için orman yangınları

üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Asori vd., 2020). Bu çalışmada, iklim parametrelerinden sıcaklık 0,3525; solar radyasyon 0,3130; rüzgar hızı 0,2043 ve yağış 0,1302 ağırlıkla yangın riskini etkilemektedir. Sıcaklık, rüzgar hızı ve solar radyasyon yangın riski arasında pozitif bir ilişki tespit edilmişken yağış ile yangın riski arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. En önemli iklim kriteri, 0,2652 ağırlığı ile yıllık sıcaklık ortalamasıdır (Eskandari, 2017). Yangın riski ile sıcaklık, rüzgar hızı ve solar radyasyon arasında pozitif bir ilişki belirlendi. SI değerleri sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı ile birlikte yükselmektedir. Artan sıcaklık, rüzgar hızı ve solar radyasyon ile orman yangın riski arasında bir korelasyon (0,36; 0,64 ve 0,39) tespit edilmiştir (Asori vd., 2020; Güngöroğlu, 2017; Pereira vd., 2005). Yağış miktarı ile yangın riski arasında ters bir ilişki tespit edilmiştir. 60 mm'den az yağış en yüksek SI değeri olan 0,62 iken 80 mm'den fazla yağış en düşük SI değeri olan 0,64 değerini almıştır. Daha az yağış olduğunda yangın çıkma olasılığı daha yüksektir (Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Eğim, yangınların başlangıcını, davranışını, hızını ve oranını etkileyerek orman yangınlarında önemli rol oynamaktadır (Bentekhici vd, 2020; Maktite ve Faleh, 2017; Sari, 2021). Yangın, eğim arttıkça yangın yayılma hızı, tutuşması ve yangın riski de artmaktadır (Antoniya ve Gerdzheva, 2014; Bonora vd., 2013; Butler vd., 2007; Güngöroğlu, 2017). Ormanların güney bakıları kuzey bakılarından daha fazla güneş ışığı almaktadır ve bu nedenle güney ve güneybatı bakılar yangına karşı daha hassastır (Bentekhici vd., 2020; Jose, 2012; Lin ve Sergio, 2009; Sari, 2021). Yükseklik sıcaklık, düşük nem seviyeleri ve yüksek rüzgar hızları ile ilişkili temel bir topografik değişken olup yangın riskini artırmaktadır (Suryabhagavan vd., 2016; Xiangwei vd., 2011). Yüksek rakımlı alanlarla karşılaştırıldığında alçak rakımlı alanlar, yüksek sıcaklıkları ve düşük nem miktarları nedeniyle yangın açısından daha tehlikelidir (Bentekhici vd., 2020). Topoğrafik Islaklık İndeksi ayrıca yüzey yangınlarının yayılmasında ve tutuşmasında önemli bir faktördür (Cardille vd., 2001). Bu çalışmada, topoğrafik parametrelerden bakı 0,3938; eğim 0,3533; yükselti 0,1611 ve topoğrafik ıslaklık indeksi 0,0918 ağırlıkla yangın riskini etkilemektedir. Güneşli bakıların yangın riski açısından daha riskli, eğimin artmasıyla yangın riskinin arttığı ve yükselti ve topoğrafik ıslaklık indisi ile yangın riski arasında ters bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda yangın riskinin eğim derecesi ile ilişkili olduğu ve eğim derecesi arttıkça arttığını göstermiştir (Bentekhici vd., 2020; Maktite ve Faleh,

2017). Yükseklik ile yangın riski arasında ters bir ilişki bulunmuş ve yükseklik arttıkça SI değerleri azalmıştır (Sivrikaya ve Küçük, 2022). Düşük yükseltilerde yangın çıkma olasılığı daha yüksektir. Daha yüksek yağış ve nem nedeniyle, daha yüksek rakımlarda yangın riski daha azdır (Adab vd., 2013; Pourtaghi vd., 2016).

Çalışma alanının AHP yöntemine göre yaklaşık %35'lik ve Frekans oranı yöntemine göre ise yaklaşık %32'lik bölümü yüksek ve çok yüksek yangın risk kategorisinde yer almasına rağmen meydana gelen yangınların %83'ü (549 adet) AHP yönteminde ve %85'i (563 adet) Frekans oranı yönteminde aynı kategorilerde yer almıştır. Elde edilen bu sonuçlar yapılan diğer araştırma sonuçlarını desteklemektedir (Bentekhici vd., 2020; Çolak ve Sunar, 2020; Eskandari, 2017; Sari, 2021). Sivrikaya ve Küçük (2022) tarafından yapılan çalışmada yangın noktalarının %85'inden fazlası (toplam 990 yangınından 846'sı) aşırı veya yüksek yangın risk sınıfında yer aldığı ve düşük yangın riski kategorisinde hiç yangının meydana gelmediği tespit edildi. Hindistan'da Jaiswal vd., (2002), UA verilerini kullanarak yangın riskini değerlendirdi ve yangın riskini çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak beş gruba ayırdı. Sonuçlara göre, alanın %55,75'i yüksek ve çok yüksek yangın risk sınıflarında yer almıştır. Eskandari vd., (2013), İran'da yangın risk haritası oluşturdu. Yangın risk haritası, değişkenlerin ağırlıklarına göre geliştirildi ve sonuçlar, yangınların %51'inin yüksek riskli bölgelerde meydana geldiğini gösterdi. Bir diğer çalışmada CBS ve UA teknikleri kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur. Sonuçlara göre, orman yangınlarının %57,5'i yüksek riskli bölgede, %33'ü orta riskli bölgede ve %9,5'i düşük riskli bölgede meydana gelmiştir (Adab vd., 2013).

Bu çalışmada geliştirilen yangın risk modellerinin doğruluğu test edildiğinde AHP ve FRM modelleri için AUC değerleri sırasıyla 0,821 ve 0,844 olarak bulundu. Bu sonuçlara göre yangın riski haritalarının güvenilir sonuçlar ürettiği ortaya konuldu. Pourghasemi vd., (2016), değiştirilmiş AHP modellerini kullanarak İran'daki orman yangını risk haritalarını değerlendirdi. ROC eğrisine göre yangın risk haritasının doğruluğu %77,7 olarak hesaplanmıştır. Diğer çalışmalarda yangın riski için ROC eğrisinin doğruluğu %76,6 (Adab vd., 2013); %80 (Ghorbanzadeh vd., 2019); ve %82 (Gheshlaghi vd., 2020) olarak bulunmuştur. Sağlam vd., (2023), hakim ağaç türünün kızılçam olduğu Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan Kozan ve Milas planlama

birimlerinde yangın risk haritalaması çalışması yapmıştır. Geliştirilen yangın risk haritalarının doğruluğu Kozan ve Milas için sırasıyla AUC değerleri 0,740 ve 0,816 olarak bulunmuştur. Kim vd., (2019), Güney Kore'deki orman yangını riskini modellemek için MaxEnt modelini kullandı. Sonuçlar yangınların genellikle 1980'lerde 0,753 AUC ile iğne yapraklı ormanlarla meydana geldiğini ortaya koydu. Sari (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ise Türkiye'de Antalya, Aydın ve Muğla illerindeki orman yangınları MaxEnt modeli kullanılarak geliştirilmiş ve AUC değeri 0,870 olarak bulundu.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak Hatay Orman Bölge Müdürlüğü için yangın risk haritaları geliştirilmiştir. Yangın risk haritaları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Frekans Oranı Yöntemi (FRM) ve İstatistiksel İndeks'e (SI) göre düzenlenmiştir.

Yangın riskini etkileyen birçok farklı parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada yangın riskini belirlemede dikkate alınan parametreler meşcere yapısı (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), topografya (eğim, bakı, yükselti, toprak ıslaklık indeksi), çevre faktörleri (yola, nehire, tarım alanlarına, yerleşim yerlerine olan uzaklık ve nüfus yoğunluğu) ve iklim faktörleri (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve solar radyasyon)'dir.

Çalışma alanının çoğunlukla kızılçam meşcereleri ve makilik alandan oluştuğu ve yangınların yaklaşık %61'inin bu alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.

AHP'ye göre çevre kriteri %37'lik ağırlığı ile orman yangını riskini etkileyen en önemli parametre olarak tespit edilmiştir. Bunu %33 ile meşcere, %21 ile topoğrafya ve %9 ile iklim parametreleri takip etmiştir.

FRM'ye göre eğim (3,634), gelişim çağı (3,304), yükselti (3,054), ağaç türü (2,935) ve toprak ıslaklık indeksi (2,934) yangın riski için oldukça etkili parametreler olarak tespit edilmiştir.

IS modeline göre ise yangın riskini etkileyen en önemli parametre ağaç türleri açısından 1,44 SI değeri ile kızılçam ağaç türü olmuştur.

AHP'ye göre oluşturulan yangın risk haritasına göre çalışma alanının %27,3'ü (184886,7 ha) düşük, %37,8'i (256094,4 ha) orta, %21,8'i yüksek (147284,7 ha) ve %13,1'i (88434,2 ha) ise çok yüksek yangın risk kategorisinde yer aldığı belirlenmiştir. Orman yangınlarından 22 adeti düşük, 92 adeti orta, 174 adeti yüksek ve 375 adeti ise çok yüksek yangın risk kategorisinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

FRM'ye dayalı düzenlenen yangın risk haritasına göre çalışma alanının %33,3'ü (225291,3 ha) düşük, %34,8'i (235710,1ha) orta, %19,5'i yüksek (132016,6 ha) ve %12,4'ü (83682,0 ha) ise çok yüksek yangın risk kategorisinde yer almıştır. Toplam 663 orman yangınından 17 adeti düşük, 83 adeti orta, 180 adeti yüksek ve 383 adeti ise çok yüksek yangın risk kategorisinde meydana gelmiştir.

AHP ve FRM'ye göre geliştirilen yangın risk haritalarının doğruluğu ROC analizi ile belirlenmiştir. ROC analizi sonucuna göre her iki yöntemin de doğruluğu "çok iyi" olarak belirlenmiştir. Modeller arasında ise FRM'nin AHP yöntemine göre daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışma ile CBS tabanlı çok kriterli karar verme tekniklerinin yangın risk haritalarının hazırlanmasında etkili bir araç olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

AHP ve FRM ile geliştirilen yangın risk haritaları doğruluk ve hassasiyet açısından tatmin edici sonuçlar sağladığı ve bu nedenle yangın riskinin önceden tahmin edilmesi ve önleyici tedbirlerin alınması için yöneticilere ve planlamacılara yardımcı olabilecektir.

Yangın risk haritalarının hazırlanması için kullanılan verilerin kalitesi ve doğruluğu ve aynı zamanda model çeşitleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, faklı ve yeni nesil model teknikleri (MaxEnt, ANN, ANP, ANFIS, vs.) yangın risk haritalarının geliştirilmesinde kullanılmalıdır. Bu model teknikleri, yangın risk yönetimi ve planlaması için önemli bir araç olabilir ve yangın riskinin azaltılması için etkili stratejilerin belirlenmesine yardımcı olabilir.

Karar verme teknikleri, yangın risk haritalarının hazırlanmasında kullanılan farklı parametrelerin ağırlıklarını ve önem düzeylerini belirleme imkanı sağlamaktadır. Bu sayede, yangın riskinin en yüksek olduğu alanların belirlenmesi ve yangınlarla mücadelenin daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olabilir.

Yangın risk haritalarının yanı sıra, özellikle yangın riskinin yüksek olduğu bölgelerde yangın riskini azaltmaya yönelik stratejilerin belirlenmesi ve uygulanması da önemlidir.

KAYNAKLAR

Adab, H., Kanniah, K. D., & Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65, 1723-1743.

Ajin, R. S., Loghin, A. M., Jacob, M. K., Vinod, P. G., & Krishnamurthy, R. R. (2016). The risk assessment study of potential forest fire in Idukki Wildlife Sanctuary using RS and GIS techniques. *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, 5(1), 308-318.

Akay, A. E., & Erdoğan, A. (2017). GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire risk mapping. In *4Th International Geoadvances Workshop-Geoadvances 2017: Isprs Workshop On Multi-Dimensional & Multi-Scale Spatial Data Modeling*. Copernicus Gesellschaft Mbh.

Akay, A. E., & Şahin, H. (2019). Forest fire risk mapping by using GIS techniques and AHP method: A case study in Bodrum (Turkey). *European Journal of Forest Engineering*, 5(1), 25-35.

Akay, A. E., Sessions, J., Bettinger, P., Toupin, R., & Eklund, A. (2006). Evaluating the salvage value of fire-killed timber by helicopter-effects of yarding distance and time since fire. *Western Journal of Applied Forestry*, 21(2), 102-107.

Akay, A. E., Wing, M. G., Sivrikaya, F., & Sakar, D. (2012). A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 184, 1391-1407.

Akbulak, C., Tatlı, H., Aygün, G., & Sağlam, B. (2018). Forest fire risk analysis via integration of GIS, RS and AHP: The Case of Çanakkale, Turkey. *Journal of Human Sciences*, 15(4), 2127-2143.

Alonso-Betanzos, A., Fontenla-Romero, O., Guijarro-Berdiñas, B., Hernández-Pereira, E., Andrade, M. I. P., Jiménez, E., Soto, J. L. L., & Carballas, T. (2003). An intelligent system for forest fire risk prediction and fire fighting management in Galicia. *Expert Systems with Applications*, 25(4), 545-554.

Althouse, A. D. (2016). Statistical graphics in action: making better sense of the ROC curve. *International Journal of Cardiology*, 215, 9-10.

Arslankaya, S., & Göraltay, K. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar*. İKSAD Publishing House, Ankara, 2019.

Asori, M., Emmanuel, D., & Dumedah, G. (2020). Wildfire hazard and Risk modelling in the Northern regions of Ghana using GIS-based Multi-Criteria Decision Making Analysis. *Journal of Environment and Earth Science*, 10(11).

Atesoglu, A. (2014). Forest fire hazard identifying. Mapping using satellite imagery-geographic information system and analytic hierarchy process: Bartin, Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 15(2), 715-725.

Bahadır, M. (2010). Türkiye'de (1998-2007) görülen orman yangınlarının yüzey ve rakamsal sorgulama analizi. *Nature Sciences*, 5(3), 146-162.

Banerjee, P., 2021. Maximum entropy-based forest fire likelihood mapping: Analysing the trends, distribution, and drivers of forest fires in Sikkim Himalaya. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36(4), 275-288.

Başaran, M. A., Sarıbaşak, H., & Cengiz, Y. (2004). Yangın söndürme planı temel esaslarının belirlenmesi (Manavgat örneği). *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten*, 18, 1-96.

Belhadi, A., Touriki, F. E., & El Fezazi, S. (2017). Prioritizing the solutions of lean implementation in SMEs to overcome its barriers: An integrated fuzzy AHP-TOPSIS approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(8), 1115-1139.

Bentekhici, N., Bellal, S. A., & Zegrar, A. (2020). Contribution of remote sensing and GIS to mapping the fire risk of Mediterranean forest case of the forest massif of Tlemcen (North-West Algeria). *Natural Hazards*, 104(1), 811-831.

Bilgili, E., Coskuner, K. A., Usta, Y., Saglam, B., Kucuk, O., Berber, T., & Goltas, M. (2019). Diurnal surface fuel moisture prediction model for Calabrian pine stands in Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 12(3), 262.

Bilgili, E., Küçük, Ö., Sağlam, B., Baysal, İ., Dinç Durmaz, B., & Coşkuner, K.A. (2021a). Türkiye orman ekosistemlerinde yangınların ekolojik rolü. In Pakdemirli, B., Küçük, Ö., Bayraktar, Z., Takmaz, S., *Ekoloji ve Ekonomi Ekseninde Türkiye'de Orman ve Ormancılık*, Sonçağ Akademi, Ankara, Türkiye.

Bilgili, E., Küçük, Ö., Sağlam, B., & Coşkuner, A. (2021b). Mega forest fires: causes, organization and management. *Science and Thought Series*, 33, 1-23.

Bo, M., Mercalli, L., Pognant, F., Berro, D. C., & Clerico, M. (2020). Urban air pollution, climate change and wildfires: The case study of an extended forest fire episode in northern Italy favoured by drought and warm weather conditions. *Energy Reports*, 6, 781-786.

Bond, W. J., Woodward, F. I., & Midgley, G. F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, 165(2): 525-538.

Bonora, L., Conese, C. C., Marchi, E., Tesi, E., & Montorselli, N. B. (2013). Wildfire occurrence: Integrated model for risk analysis and operative suppression aspects management. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 705–710.

Bowman, D. M., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A., & Smith, A. M. (2017). Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature Ecology & Evolution*, 1(3), 0058.

Butler, B. W., Anderson, W. R., & Catchpole, E. A. (2007). Influence of slope on fire spread rate. *The Fire Environment İnnovations, Management, and Policy*, 75-83.

Cáceres, C. F. (2011). Using GIS in hotspots analysis and for forest fire risk zones mapping in the Yeguare Region, Southeastern Honduras. *Papers in Resource Analysis*, 13, 1-14.

Cardille, J. A., Ventura, S. J., & Turner, M. G. (2001). Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecological applications*, 11(1), 111-127.

Castedo-Dorado, F., Rodriguez-Perez, J. R., Marcos-Menendez, J. L., & Alvarez-Taboada, M. F. (2011). Modelling the probability of lightning-induced forest fire occurrence in the province of León (NW Spain). *Forest Systems*, 20(1), 95-107.

Castro, R., & Chuvieco, E. (1998). Modeling forest fire danger from geographic information systems. *Geocarto International*, 13(1), 15-23.

Chakraborty, S., & Banik, D. (2006). Design of a Material Handling Equipment Selection Model Using Analytic Hierarchy Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(11-12), 1237- 1245.

Chen, Y., Yu, J., & Khan, S. (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 25(12), 1582-1591.

Chuvieco, E., & Congalton, R. G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2), 147-159.

Chuvieco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3), 333-345.

Coban, H., & Erdin, C. (2020). Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak Forest Enterprise, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1), 1567–1583.

Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., & Vega-Garcia, C. (2017). Human-caused fire occurrence modelling in perspective: A review. *International Journal of Wildland Fire*, 26(12), 983-998.

Çevik, E., & Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949-962.

Çolak, E., & Sunar, F. (2020). Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101479.

Datiko, D., & Bekele, A. (2014). Habitat association and distribution of rodents and insectivores in Chebera Churchura National Park, Ethiopia. *Tropical Ecology*, 55(2), 221–229.

Dimitrakopoulos, A. P., Bemmerzouk, A. M., & Mitsopoulos, I. D. (2011). Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications*, 18(1), 83-93.

Dinc Durmaz, B., Kadiogullari, A. I., Bilgili, E., Baskent, E. Z., & Saglam, B. (2006). Mapping fire development potential using Landsat satellite imagery. In *Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry*, Vienna (pp. 14-15).

Dlamini, W. M. (2011). Application of Bayesian networks for fire risk mapping using GIS and remote sensing data. *GeoJournal*, 76, 283-296.

Dong, X., Li-min, D. A. I., Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169-174.

Dong, X., Shao, G., Limin, D., Zhanging, H., Lei, T., & Hui, W. (2006). Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 49(1), 140-149.

Dunn, C. J., Thompson, M. P., & Calkin, D. E. (2017). A framework for developing safe and effective large-fire response in a new fire management paradigm. *Forest Ecology and Management*, 404, 184-196.

Duran, C. (2014) Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001- 2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(1), 38-49.

EFFIS (2021). *According to The Data of The European Forest Fire Declaration System (EFFIS), Forest Fire in Türkiye*. General Directorate of Agriculture and Forestry.

Ehret, D., Rohn, J., Dumperth, C., Eckstein, S., Ernstberger, S., Otte, K., Rudolph, R., Wiedenmann, J., Wei, X., & Bi, R. (2010). Frequency ratio analysis of mass movements in the Xiangxi catchment, Three Gorges Reservoir area, China. *Journal of Earth Science*, 21, 824-834.

Erener, A., & Düzgün, H. S. B. (2010). Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway). *Landslides*, 7, 55-68.

Erten, E., Kurgun, V., & Musaoğlu, N. (2005). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sisteminin Kurulması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara.

Eskandari, S. (2017). A new approach for forest fire risk modeling using fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian forests of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 1-13.

Eskandari, S., & Chuvieco, E. (2015). Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 57-64.

Fernandes, P. M. (2013). Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landscape and Urban Planning*, 110, 175-182.

Fox, L., & Stuart, J. D. (1994, April). Detecting changes in forest condition following wildfire using image processing and GIS. In *Proceedings ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition*, 1, 197-206.

Gao, X., Fei, X., & Xie, H. (2011, June). Forest fire risk zone evaluation based on high spatial resolution RS image in Liangyungang Huaguo Mountain Scenic Spot. In *Proceedings 2011 IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services* (pp. 593-596). IEEE.

Garbolino, E., Sanseverino-Godfrin, V., & Hinojos-Mendoza, G. (2016). Describing and predicting of the vegetation development of Corsica due to expected climate change and its impact on forest fire risk evolution. *Safety Science*, 88, 180-186.

Gazzard, R. (2012). Risk management control measure: Toolkit for practitioners and advisors. *UK Vegetation Fire Risk Management*, 24.

Gerdzheva, A. A. (2014). A comparative analysis of different wildfire risk assessment models (a case study for Smolyan district, Bulgaria). *European Journal of Geography*, 5(3), 22-36.

Gheshlaghi, H. A., Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3), 481-499.

Ghobadi, G. J., Gholizadeh, B., & Dashliburun, O. M. (2012). Forest fire risk zone mapping from geographic information system in Northern Forests of Iran (Case study, Golestan province). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(12), 818-824.

Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., & Goodess, C. M. (2009). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 C global warming. *Global and Planetary Change*, 68(3), 209-224.

Glasspool, I. J., Edwards, D., & Axe, L. (2004). Charcoal in the Silurian as evidence for the earliest wildfire. Geology, 32(5), 381-383.

Goldammer, J. G., & Mutch, R. W. (2001). *Global Forest Fire Assessment. FAO Forest Resources Assessment Programme*. Working Paper 55, Rome, Italy.

Güngöroğlu, C. (2017). Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with the application of GIS: The case of Turkey/Çakırlar. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(2), 388-406.

Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), 73-82.

Hoang, T. V., Chou, T. Y., Fang, Y. M., Nguyen, N. T., Nguyen, Q. H., Canh, P. X., Toan, D. N. B., Nguyen, X. L., & Meadows, M. E. (2020). Mapping forest fire risk and development of early warning system for NW Vietnam using AHP and MCA/GIS methods. *Applied Sciences*, 10(12), 4348.

Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 909-926.

Janiec, P., & Gadal, S. (2020). A comparison of two machine learning classification methods for remote sensing predictive modeling of the forest fire in the North-Eastern Siberia. *Remote Sensing*, 12(24), 4157.

Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6(1), 7537.

Jose, K. S. (2012). Geospatial characterization and conservation potential for Agasthyamala Biosphere Reserve, Western ghats, India. PhD Dissertation, *School of Environmental Sciences, Mahatma Gandhi University*, India.

Jovanović, R., Bjeljac, Ž., Miljković, O., & Terzić, A. (2013). Spatial analysis and mapping of fire risk zones and vulnerability assessment: Case study mt. Stara planina. *Zbornik radova Geografskog instituta" Jovan Cvijić", SANU*, 63(3), 213-226.

Kalem, S., Ürker, O., İlemin, Y., Tavşanoğlu, Ç., Kaynaş, B. Y., Günlü, A., Parlar-Ürker, Ö., & Köşk, U. C. (2022). *Ecological and Socio-Economic Effects of Large Forest Fires in The Mediterranean Region of Türkiye*. Technical Report in Türkiye, WWF-Türkiye and NATURA Association, ISBN: 978-605-9903-31-8. 63 Pages, PrintWorld, Istanbul.

Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., & Kızılelma, Y. (2013). Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak başkonuş dağında (Kahramanmaraş) orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24), 171-179.

Keeley, J. E., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Pausas, J. G., & Rundel, P. W. (2011). *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*. Cambridge University Press.

Koutsias, N., Kalabokidis, K. D., & Allgöwer, B. (2004). Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods. *Natural Resource Modeling*, 17(4), 359-375.

Kucuk, O., & Sevinc, V. (2023). Fire behavior prediction with artificial intelligence in thinned black pine (*Pinus nigra* Arnold) stand. *Forest Ecology and Management*, 529, 120707.

Kucuk, O., Bilgili, E., & Uzumcu, R. (2018). Modeling surface fire rate of spread within a thinned Anatolian black pine stand in Turkey. *Forest Systems*, 27(2), 3.

Kucuk, O., Evcin, O., & Aslan, F. (2017). Evaluating the frequency, dominance, resemblance analysis and diversity index of bird species in Ilgaz Mountain National Park. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(8), 5295-5304.

Kucuk, O., Goltas, M., Demirel, T., Mitsopoulos, I., & Bilgili, E. (2021). Predicting canopy fuel characteristics in *Pinus brutia* Ten., *Pinus nigra* Arnold and *Pinus pinaster* ait. forests from stand variables in North-western Turkey. *Environmental Engineering & Management Journal* (EEMJ), 20(2).

Kumar, D., & Garg, C. P. (2017). Evaluating sustainable supply chain indicators using fuzzy AHP: Case of Indian automotive industry. *Benchmarking: An International Journal*, 24(6), 1742–1766.

Kumar, R., & Indrayan, A. (2011). Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatrics*, 48, 277-287.

Kuter, N., Yenilmez, F., & Kuter, S. (2011). Forest fire risk mapping by kernel density estimation. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 32(2), 599-610.

Küçük, Ö., & Aktepe, N. (2017). Effect of phenolic compounds on the flammability in forest fires. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(4), 320-327.

Küçük, Ö., & Bilgili, E. (2007). Yangın davranışının coğrafi bilgi sistemi (CBS) yardımıyla haritalanması: Korudağ Örneği. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(2), 64-70.

Küçük, Ö., & Sağlam, B. (2004). Orman yangınları ve hava halleri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 4(2), 220-231.

Lavanya, B., & Padmaja, B. (2014). A Novel Approach for Identification of Forest Fires using Land Surface Temperature Images. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 16(5), 78-83.

Lee, S., & Evangelista, D. G. (2005). Landslide susceptibility mapping using probability and statistics models in Baguio City, Philippines. In *Proceedings of the ISPRS 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, Saint Petersburg, Russia* (pp. 20-24).

Lee, S., Choi, J., & Min, K. (2004). Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 25(11), 2037-2052.

Liberatore, F., León, J., Hearne, J., & Vitoriano, B. (2021). Fuel management operations planning in fire management: A bilevel optimisation approach. *Safety Science*, 137, 105181.

Lin, J., & Rinaldi, S. (2009). A derivation of the statistical characteristics of forest fires. *Ecological Modelling*, 220(7), 898-903.

Maktite, A., & Faleh, A. (2017). Cartographie des zones à risque d'incendies de forêts à l'aide Du SIG et la télédétection dans l'arrière-pays du port Tanger Med. *European Scientific Journal*, 13(32), 205-224.

Mallinis, G., Mitsopoulos, I., & Chrysafi, I. (2018). Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience & Remote Sensing*, 55(1), 1-18.

Marques, S., Garcia-Gonzalo, J., Botequim, B., Ricardo, A., Borges, J. G., Tomé, M., & Oliveira, M. M. (2012). Assessing wildfire occurrence probability in Pinus pinaster Ait. stands in Portugal. *Forest Systems*, 21, 111-120.

Martín, Y., Zúñiga-Antón, M., & Rodrigues Mimbrero, M. (2019). Modelling temporal variation of fire-occurrence towards the dynamic prediction of human wildfire ignition danger in northeast Spain. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 385-411.

McKenzie, D., Shankar, U., Keane, R. E., Stavros, E. N., Heilman, W. E., Fox, D. G., & Riebau, A. C. (2014). Smoke consequences of new wildfire regimes driven by climate change. *Earth's Future*, 2(2), 35-59.

Mitchell, J. W. (2013). Power line failures and catastrophic wildfires under extreme weather conditions. *Engineering Failure Analysis*, 35, 726-735.

Mitsopoulos, I., Mallinis, G., Zibtsev, S., Yavuz, M., Saglam, B., Kucuk, O., Bogomolov, V., Borsuk, A., & Zaimes, G. (2017). An integrated approach for mapping fire suppression difficulty in three different ecosystems of Eastern Europe. *Journal of Spatial Science*, 62(1), 139-155.

Moayedi, H., Mehrabi, M., Bui, D. T., Pradhan, B., & Foong, L. K. (2020). Fuzzy-metaheuristic ensembles for spatial assessment of forest fire susceptibility. *Journal of Environmental Management*, 260, 109867.

Moore, P. (2005). *Forest Landscape Restoration After Fires. In: Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees* (Ed: Mansourian S., Vallauri D., Dudley N.), Springer, New York, pp. 331-338.

Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M., Moreno, J. M., Pereira, J.C., Catry, F., Armesto, J., Bond, W.J., Gonzalez, M., Curt, T., Koutsias, N., McCaw, L.,

Price, O., Pausas, J., Rigolot, E., Stephens, S., Tavsanoglu, C., Vallejo, R., Van Wilgen, B., Xanthopoulos, G., & Fernandes, P. M. (2020). Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. *Environmental Research Letters*, 15(1), 011001.

Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., & Bilgili, E. (2011). Landscape–wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2389-2402.

Mu, E., & Pereyra-Rojas, M. (2017). *Practical Decision Making an Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions V2*. Springer.

Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N., & Pradhan, B. (2019). Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 106558.

Nandi, A., & Shakoor, A. (2010). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110(1-2), 11-20.

Negnevitsky, M. (2002). *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems*. Addison-Wesley, Harlow, UK.

Neyişçi, T., Ayaşlıgil, Y., Ayaşlıgil, T., & Sönmezışık, S. (1996). *Yangına Dirençli Orman Kurma İlkeleri*. TUBİTAK, TOGTAG-1342. TMMOB Orman Mühendisleri Odası Yayın No: 21.

Novo, A., Fariñas-Álvarez, N., Martínez-Sánchez, J., González-Jorge, H., & Lorenzo, H. (2020). Automatic processing of aerial LiDAR data to detect vegetation continuity in the surroundings of roads. *Remote Sensing*, 12(10), 1677.

OGM. (2020). 2020 yılı Orman Yangınları Değerlendirme Raporu, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara

OGM. (2021). 2020 Yılı Ormancılık İstatistikleri, Orman Yangın Verileri, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Özşahin, E. (2014). Forest fire susceptibility analysis using GIS and AHP: the case of Antakya Forestry Operation Directorate. *Route Educational and Social Science Journal*, 1(3), 50-71.

Pausas, J. G., & Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change*, 110(1-2), 215-226.

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2021). Wildfires and global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *19*(7), 387-395.

Pereira, M. G., Trigo, R. M., da Camara, C. C., Pereira, J. M., & Leite, S. M. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129(1-2), 11-25.

Pham, B. T., Jaafari, A., Avand, M., Al-Ansari, N., Dinh Du, T., Yen, H. P. H., Phong, T. V., Nguyen, D. H., Le, H. V., Mafi-Gholami, D., Prakash, I., Thuy, H. T., & Tuyen, T. T. (2020). Performance evaluation of machine learning methods for forest fire modeling and prediction. *Symmetry*, 12(6), 1022.

Pourghasemi, H. R., Beheshtirad, M., & Pradhan, B. (2016). A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2), 861-885.

Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural hazards*, 69, 749-779.

Pourtaghi, Z. S., Pourghasemi, H. R., & Rossi, M. (2015). Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests, Golestan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1515-1533.

Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 747-759.

Prasad, V. K., Badarinath, K. V. S., & Eaturu, A. (2008). Biophysical and anthropogenic controls of forest fires in the Deccan Plateau, India. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 1-13.

Quintano, C., Fernández-Manso, A., & Fernández-Manso, O. (2018). Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 221-225.

Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 137, 360-372.

Rezaei-Moghaddam, K., & Karami, E. (2008). A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environment, Development and Sustainability*, 10, 407-426.

Roy, P. S. (2003). Forest fire and degradation assessment using satellite remote sensing and geographic information system. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, pp. 361-400.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting and Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York.

Saaty, T. L. (2001). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, 2nd ed. PRWS Publications, Pittsburgh PA.

Saaty, T. L. (2012). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Third, Revised edition. RWS Publications, Pittsburgh.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1991). *Prediction, Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 25.

Sağlam, B., Bilgili, E., Durmaz, B. D., Kadıoğulları, A. İ., & Küçük, Ö. (2008). Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery. *Sensors*, 8(6), 3970-3987.

Sakellariou, S., Cabral, P., Caetano, M., Pla, F., Painho, M., Christopoulou, O., Sfougaris, A., Dalezios, N., & Vasilakos, C. (2020). Remotely sensed data fusion for spatiotemporal geostatistical analysis of forest fire hazard. *Sensors*, 20(17), 5014.

Saklani, P (2008) Forest fire risk zonation, A case study Pauri Garhwal, Uttarakhand, India. MSc Thesis, *International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede of the Netherlands and Indian Institute of Remote Sensing (NRSA)*, Dehradun, India.

Sari, F. (2021). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Türkiye: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644.

Satir, O., Berberoglu, S., & Donmez, C. (2016). Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5), 1645-1658.

Seidl, R., Schelhaas, M. J., & Lexer, M. J. (2011). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17(9), 2842–2852.

Setiawan, I., Mahmud, A. R., Mansor, S., Mohamed Shariff, A. R., & Nuruddin, A. A. (2004). GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 13(5), 379-386.

Sevinc, V., Kucuk, O., & Goltas, M. (2020). A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes. *Forest Ecology and Management*, *457*, 117723.

Sharma, D., Hoa, V., Cuong, T. V., Tuyen, T., & Sharma, N. (2009, October). Forest fire risk zonation for Jammu district forest division using remote sensing and GIS. In *7th FIG Regional Conference*, Hanoi, Vietnam.

Silva, I. D. B., Valle, M. E., Barros, L. C., & Meyer, J. F. C. (2020). A wildfire warning system applied to the state of Acre in the Brazilian Amazon. *Applied Soft Computing*, 89, 106075.

Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537.

Sivrikaya, F., Özcan, G. E., Enez, K., & Sakici, O. E. (2022). Comparative study of the analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic regression models for predicting the susceptibility to Ips sexdentatus in crimean pine forests. *Ecological Informatics*, 71, 101811.

Sivrikaya, F., Saglam, B., Akay, A. E., & Bozali, N. (2014). Evaluation of forest fire risk with GIS. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1), 187–194.

Sowmya, S. V., & Somashekar, R. K. (2010). Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. *Journal of Environmental Biology*, 31(6), 969.

Stephens, S. L., Burrows, N., Buyantuyev, A., Gray, R. W., Keane, R. E., Kubian, R., Liu, S., Seijo, F., Shu, L., Tolhurst, K. G., & Van Wagtendonk, J. W. (2014). Temperate and boreal forest mega-fires: Characteristics and challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(2), 115-122.

Strino, J. G., Alhaddad, B., & Cladera, J. R. (2007). Remote Sensing Analysis to Detect Fire Risk Locations. *Using Remote Sensing for Forest Fires Effects Analysis Geo Congres, Quebec*, Canada, 2-5 October

Suryabhagavan, K. V., Alemu, M., & Balakrishnan, M. (2016). GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire susceptibility mapping: a case study in Harenna forest, southwestern Ethiopia. *Tropical Ecology*, 57(1), 33-43.

Şahin, K., & Gümüşay, M. Ü. (2007). İnternet tabanlı coğrafi bilgi sistemleri ve orman yangınlarında kullanılması. *Harita Dergisi*, 138, 69-83.

Tavsanoglu, Ç., & Pausas, J. G. (2022). Turkish postfire action overlooks biodiversity. *Science*, 375(6579), 391-391.

Tavşanoğlu, Ç. (2021). *Akdeniz Bölgesindeki Büyük Orman Yangınlarının Sebepleri ve Yangın Sonrası Yapılması Gerekenler*. Teknik Rapor, Hacettepe University, Ankara (In Turkish).

Teodoro, A. C., & Duarte, L. (2013). Forest fire risk maps: a GIS open source application–a case study in Norwest of Portugal. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(4), 699-720.

Teodoro, A., & Amaral, A. (2019). A statistical and spatial analysis of Portuguese forest fires in summer 2016 considering Landsat 8 and Sentinel 2A data. *Environments*, 6(3), 36.

Vacchiano, G., Foderi, C., Berretti, R., Marchi, E., & Motta, R. (2018). Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 935-948.

Vadrevu, K. P., Eaturu, A., & Badarinath, K. (2010). Fire risk evaluation using multicriteria analysis; a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 223-239.

Van Westen, C. (1997). *Statistical Landslide Hazards Analysis, ILWIS 2.1 for Windows Application Guide*. ITC Publication, Enschede, pp. 73–84.

Van Westen, C. J., & Getahun, F. L. (2003). Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. *Geomorphology*, 54(1-2), 77-89.

Varol, T., Özel, H. B., & Macaroğlu, K. (2010). Netvvork Analizinin Orman Yangınlarında Kullanım Olanakları (Yenihan Orman İşletme Şefliği Örnek Çalışması). *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20, 22.

Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., & Matsinos, I. (2009). Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural Hazards*, 50, 125-143.

Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., & Martín, M. P. (2016). Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces. *Forest Ecology and Management*, 378, 68-78.

Vilar, L., Woolford, D. G., Martell, D. L., & Martín, M. P. (2010). A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 19(3), 325-337.

Xiangwei, G., Xianyun, F., & Hongquan, X. (2011). Forest fire risk zone evaluation based on high spatial resolution RS image in Liangyungang Huaguo Mountain Scenic Spot. In *Proceedings 2011 IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services* (pp. 593-596). IEEE.

Yakubu, I., Mireku-Gyimah, D., & Duker, A. A. (2015). Review of methods for modelling forest fire risk and hazard. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 155-165.

Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(2), 171-188.

Yesilnacar, E. K. (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey. Dissertation. *Department of Geomatics, The University of Melbourne*, Melbourne.

You, W., Lin, L., Wu, L., Ji, Z., Zhu, J., Fan, Y., & He, D. (2017). Geographical information system-based forest fire risk assessment integrating national forest

inventory data and analysis of its spatiotemporal variability. *Ecological Indicators*, 77, 176-184.

Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611-623.

Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 300-321.