T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

MAXENT YAKLAŞIMI İLE TÜRKİYE'NİN GÜNEYBATISINDA ORMAN YANGIN POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

Merih GÖLTAŞ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Hamit AYBERK

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Merih GÖLTAŞ tarafından, **Doç. Dr. Hamit AYBERK** danışmanlığında hazırlanan **"MAXENT YAKLAŞIMI İLE TÜRKİYE'NİN GÜNEYBATISINDA ORMAN YANGIN POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **23/06/2021** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Doç. Dr. Hamit AYBERK İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. H.Hüseyin CEBECİ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İNAN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Ölçme Bilgisi ve Kadastro Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK Kastamonu Üniversitesi Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Erol AKKUZU Kastamonu Üniversitesi Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Merih GÖLTAŞ

(İmza)

Orman Yangını Şehitlerimize, Üzerimde Emeği Olan Tüm Hocalarıma ve Aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

MAXENT YAKLAŞIMI İLE TÜRKİYE'NİN GÜNEYBATISINDA ORMAN YANGIN POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Ülkemiz orman yangını yönetim için yeni katkı sağlayacak bu güncel tez konusunun seçilmesi dahil bu çalışmanın planlanmasından bitimine kadar her aşamasında, destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren, bilgilerinden sürekli istifade ettiğim danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hamit AYBERK'e ve Sayın Prof. Dr. Ömer KÜÇÜK hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirlerinden her zaman yararlandığım ve bana her konuda destek olan hocalarım Sayın Prof. Dr. H.Hüseyin CEBECİ, Prof. Dr. Erol AKKUZU, Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İNAN, Dr. Öğr. Üyesi Özkan EVCİN ve Dr. Öğr. Üyesi İsmail BAYSAL ile fikir alışverişinde bulunduğum değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Ferhat BOLAT ve Arş. Gör. Tufan DEMİREL'e teşekkür ederim.

Veri temini konusunda katkı sağlayan Orman Genel Müdürlüğü'ne ve her türlü olanaklarından sürekli olarak faydalandığım İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'ya teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım ve çalışmalarım süresince maddi ve özellikle manevi desteklerini esirgemeyen, babama, anneme, kardeşime ve eşime müteşekkir olduğumu belirtir, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını dilerim.

Haziran 2022 **Merih GÖLTAŞ**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **i**
BEYAN ..... **ii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **5**
2.1. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİ 5
2.2. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİ 14
2.3. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ 17
3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **20**
4. MATERYAL VE YÖNTEM **21**
4.1. ÇALIŞMA ALANI 21
4.2. ALTLIK HARİTALARIN HAZIRLANMASI VE DEĞİŞKENLER 22
4.2.1. Yanıcı Madde Haritaları 22
4.2.2. İnsan Aktivitesi Haritaları 24
4.2.3. Topoğrafik Haritalar 26
4.2.4. Meteorolojik Parametre Haritaları 27
4.3. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI 32
4.3.1. Maksimum Entropi (MaxEnt) Yöntemi 32
4.3.2. Maksimum Entropi (MaxEnt) Yaklaşımı ile Yangın Risk Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması 33

4.4. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİNİN MODELLEMESİ VE HARİTALANMASI 35
4.4.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi 36
4.4.2. AHP yöntemi ile Yangın Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması 39
4.5. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ 42
5. BULGULAR 44
5.1. GEÇMİŞ YANGINLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 44
5.2. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ HARİTALANMASI 49
5.2.1. Mayıs Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları 50
5.2.2. Haziran Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları 55
5.2.3. Temmuz Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları 60
5.2.4. Ağustos Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları 64
5.2.5. Eylül Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları 68
5.2.6. Ekim Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları 72
5.3. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI 76
5.3.1. Mayıs Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları 78
5.3.2. Haziran Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları 79
5.3.3. Temmuz Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları 81
5.3.4. Ağustos Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları 83
5.3.5. Eylül Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları 85
5.3.6. Ekim Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları 87
5.4. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ 89
6. TARTIŞMA 91
6.1. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI 91
6.2. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI 95
6.3. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ 98
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 100
KAYNAKLAR 102
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 113
ETİK KURUL İZİN YAZISI 114
KURUM İZNİ YAZILARI 115
ÖZGEÇMİŞ 116

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1: Çalışma Alanı Arazi Kullanım Haritası. 22

Şekil 4.2: Meşcere (Yanıcı Madde) Özellikleri Altlık Haritaları (a) Ağaç Tür Kompozisyonu, (b) Meşcere Kapalılığı, (c) Gelişim Çağı. 24

Şekil 4.3: İnsan Aktivitesine Yakınlık Haritaları (a) Tarım Alanlarına Yakınlık, (b) Yerleşim Alanlarına Yakınlık, (c) Yola Yakınlık..... 25

Şekil 4.4: Topoğrafya Haritaları (a) Eğim, (b) Bakı, (c) Yükselti. 27

Şekil 4.5: Maksimum Sıcaklık Haritaları (a)Mayıs, (b)Haziran, (c) Temmuz, (d) Ağustos, (e) Eylül, (f) Ekim..... 29

Şekil 4.6: Yağış Haritaları (a) Mayıs, (b)Haziran, (c) Temmuz, (d) Ağustos, (e) Eylül, (f) Ekim. 30

Şekil 4.7: Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı (a) Mayıs, (b) Haziran, (c) Temmuz, (d) Ağustos, (e) Eylül, (f) Ekim..... 31

Şekil 4.8: Yangın Risk Potansiyelinin Modellenmesine İlişkin Akış Diyagramı. 34

Şekil 4.9: Analitik Hiyerarşi Süreci Hiyerarşi İnşası. 36

Şekil 4.10: Yangın Tehlike Potansiyelinin Modellemesine İlişkin Akış Diyagramı. 40

Şekil 4.11: Ana ve Alt Kriterlere İlişkin Karar (Hiyerarşi) Şeması. 40

Şekil 5.1: Muğla OBM'de 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların (Adet-Alan Olarak) Aylara Göre Dağılımı. 45

Şekil 5.2: Muğla OBM'de 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların OİM Göre Dağılımı..... 46

Şekil 5.3: Muğla OBM'de 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların Çıkış Nedenlerine Göre Dağılımı. 47

Şekil 5.4: Muğla OBM 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların İhbar Şekline Göre Dağılımı..... 47

Şekil 5.5: Muğla OBM 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların Suçlu Tespit Grafiği..... 48

Şekil 5.6: İlk Müdahale Süresine Göre Yangın Başına Yanan Alan Miktarı. 49

Şekil 5.7:Yıllar İtibariyle İlk Müdahale Süresi. 49

Şekil 5.8: Muğla OBM Mayıs Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları. 51

Şekil 5.9: Muğla OBM Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: Standart Sapma)..... 52

Şekil 5.10: Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri..... 54

Şekil 5.11: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları. 55

Şekil 5.12: Muğla OBM Haziran Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları..... 56

Şekil 5.13: Muğla OBM Haziran Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma)..... 57

Şekil 5.14: Haziran ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri. 59

Şekil 5.15: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları (Haziran)..... 60

Şekil 5.16: Muğla OBM Temmuz Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları..... 61

Şekil 5.17: Muğla OBM Temmuz Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma)..... 62

Şekil 5.18: Temmuz Ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri. 63

Şekil 5.19: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları (Temmuz). 64

Şekil 5.20: Muğla OBM Ağustos Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları..... 65

Şekil 5.21: Muğla OBM Ağustos Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma)..... 66

Şekil 5.22: Ağustos Ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri. 67

Şekil 5.23: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları. 68

Şekil 5.24: Muğla OBM Eylül Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları. 69

Şekil 5.25: Muğla OBM Eylül Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma)..... 70

Şekil 5.26: Eylül Ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri. 71

Şekil 5.27: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları. 72

Şekil 5.28: Muğla OBM Ekim Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları. 73

Şekil 5.29: Muğla OBM Ekim Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı. 74

Şekil 5.30: Ekim ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri. 75

Şekil 5.31: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları. 76

Şekil 5.32: Muğla OBM Mayıs Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası. 78

Şekil 5.33: Muğla OBM Haziran Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası. 80

Şekil 5.34: Muğla OBM Temmuz Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası. 82

Şekil 5.35: Muğla OBM Ağustos Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası. 84

Şekil 5.36: Muğla OBM Eylül Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası. 86

Şekil 5.37: Muğla OBM Ekim Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası. 88

Şekil 5.38: Mevcut ve Önerilen Yeni Kuleler Tarafından Görülen ve Görünemeyen Alanlar. 90

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: İkili Karşılaştırma Yönteminde Kullanılan Önem Ölçeği (Saaty, 1990). 37

Tablo 4.2: Rastgele Tutarlılık İndeksi (Saaty, 1990). 39

Tablo 4.3: Yangın Tehlike Potansiyelinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterlerin Nispi Etkilerinin Sınıflandırılması. 41

Tablo 4.4: "Yangın Gözetleme Kulelerine İlişkin" Parametreler ve Açıklamaları. 43

Tablo 5.1: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Mayıs). 52

Tablo 5.2: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Haziran). 57

Tablo 5.3: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Temmuz). 62

Tablo 5.4: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Ağustos). 66

Tablo 5.5: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Eylül). 70

Tablo 5.6: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Ekim). 74

Tablo 5.7: Ana ve Alt Kriter ağırlıkları..... 77

Tablo 5.8: Mayıs Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları. 79

Tablo 5.9: Haziran Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Analiz Sonuçları. 81

Tablo 5.10: Temmuz Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları. ... 83

Tablo 5.11: Ağustos Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları. 85

Tablo 5.12: Eylül Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları. 87

Tablo 5.13: Ekim Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları. 89

Tablo 5.14: Yangın Gözetleme Kuleleri Tarafından Orman Alanlarının Görünürlük Durumu. 89

Tablo 6.1: 2019-2020 Yılı Yangıları ile Yangın Risk Potansiyeli Modeli Denetimi Tablosu. 93

Tablo 6.2: Yangın Sezonu Aylık Yangın Tehlike Potansiyeli Karşılaştırma. 96

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
AHP	: Analitik Hiyerarşi süreci
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
YRP	: Yangın Risk Potansiyeli
YTP	: Yangın Tehlike Potansiyeli
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
MaxEnt	: Maksimum Entropi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MAXENT YAKLAŞIMI İLE TÜRKİYE'NİN GÜNEYBATISINDA ORMAN YANGIN POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

Merih GÖLTAŞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Danışman: Doç. Dr. Hamit AYBERK

Orman yangınları sorunuyla karşı karşıya olan birçok ülkede yangına hazırlık ve yangın öncesi bilgi sağlamak amacıyla mevcut ve geçmiş yangın kayıtlarından yararlanılarak analiz, değerlendirme ve tahminler yapılmaktadır. Bu tez çalışması, yangın öncesi yangın yönetim planlamaları, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın organizasyonlarına yardımcı olacak Yangın Risk ve Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması, Yangın Gözetleme Kulelerinin Görünürlük Analizi çalışmaları olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Çalışma alanı olarak Türkiye'nin güneybatısında yangına birinci derece hassas Muğla Orman Bölge Müdürlüğü seçilmiştir.

Yangın Risk Potansiyeli (YRP), bir makine öğrenme algoritması olan Maksimum Entropi (MaxEnt) yaklaşımı ile modellenmiş ve haritalandırılmıştır. Modelleme için hızlı ve kolay elde edilebilen yanıcı madde özellikleri, topoğrafya, meteorolojik parametreler ve insan aktivitesi gibi sabit ve değişken çevre faktörleri bağımsız değişken ve geçmiş yangın kayıtlarını da (2008-2018) bağımlı değişken olarak alınmıştır. MaxEnt tabanlı yaklaşım ile YRP modelinin

sonuçlarına göre model performans göstergesi olan AUC değerleri yangın sezonu boyunca aylara göre 0,71 ile 0,87 arasında değişmekte ve ortalama AUC değeri 0,79'dur. Model performansları aylara göre değişmekle birlikte yüksek ve çok yüksek şeklinde olmuştur. Bu model performansı da modelin güvenirliği açısından oldukça tatmin edicidir. Yangın risk potansiyeli modelleri detaylı şekilde analiz edildiğinde tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişkenler Maksimum Sıcaklık, Ağaç Tür Kopozisyonu, Solar Radyasyon ve Tarım Alanlarına yakınlık olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişkense Yola Yakınlık ve Yağış olmuştur.

Yangın Tehlike Potansiyeli (YTP) modelleme ve haritalaması, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi süreci (AHP) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. YTP model sonuçlarına göre çalışma alanın potansiyel yangın tehlike sınıfının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Çok Yüksek (sırasıyla %49, %64 ve %60); Mayıs ve Eylül aylarında Yüksek (sırasıyla %73 ve %68); Ekim ayında ise Orta (%82) tehlike sınıfına ait alanların çoğunlukta olduğu ve yangından daha fazla etkilendiği görülmüştür.

Çalışma alanı sınırları içinde yer alan mevcut 46 adet yangın gözetleme kulesi için görünürlük analizi değerlendirmesi yapılmış ve değerlendirme sonucunda orman alanlarının %38,3'inin en az bir kule tarafından görebildiği, %61,7'lik kısmının ise görülemediği ortaya konmuştur. Gözetleme Kulesi ağına 10 yeni kule eklenip 1 kulenin de yerinin değiştirilmesi sonucunda orman alanlarının kuleler tarafından görünürlük oranı %38,3'den %47,5'e çıktığı ortaya konmuştur.

Bu çalışma, yangın öncesi yangın yönetim planlamaları, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın organizasyonlarına katkı sağlayacaktır.

Haziran 2022 , 135 sayfa.

Anahtar kelimeler: Orman yangınları, Yangın risk ve tehlike modelleme, Maksimum entropi, Çok ktiterli karar verme

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

MODELLING AND MAPPING OF THE FOREST FIRE POTENTIAL BASED ON MAXENT APPROACH IN SOUTHWEST OF TURKEY

Merih GÖLTAŞ

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Forest Engineering of Programme

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hamit AYBERK

In many countries facing the problem of forest fires, analysis, evaluation and predictions are made by using current and past fire records in order to provide information about fire preparation and pre-fire. This thesis consists of 3 main sections to assist fire organizations in pre-fire management planning, firefighting and post-fire studies: Modeling and Mapping of Fire Risk and Danger Potential, and Visibility Analysis of Fire Watchtowers. Muğla Regional Directorate of Forestry was chosen as the study area because it is first degree sensitive to fire in the southwest of Turkey.

The Fire Risk Potential (FRP) is modeled and mapped with the Maximum Entropy (MaxEnt) approach which is a machine learning algorithm. For modeling, fixed and variable environmental factors such as fuel properties, topography, meteorological parameters and human activity, which can be obtained quickly and easily, were taken as independent variables and past fire records (2008-2018) as dependent variables. The results of the FRP model showed that the AUC values which are the model performance indicators vary between 0.71 and 0.87

according to the months during the fire season, and the average AUC value is 0.79. Model performances were high and very high, although they changed according to the months. This performances are quite satisfactory in terms of the reliability of the model. When FP models are analyzed in detail, it is seen that environmental variables with the highest gain when used alone are Maximum Temperature, Tree Species Composition, Solar Radiation and proximity to Agricultural Fields. Proximity to the Road and Precipitation were the environmental variables that reduced the gain the most when skipped.

Fire Danger Potential (FDP) modeling and mapping were made using the Analytical Hierarchy process (AHP) method, which is one of the multi-criteria decision making methods. FDP model results showed that the potential fire danger class of the study area was very in June, July and August high (49%, 64% and 60%, respectively); high in May and September (73% and 68%, respectively); it was seen that the areas belonging to the Medium (82%) danger class in October, Medium (82%) danger class is majority and were more affected by the fire.

Visibility analysis evaluation was made for 46 existing fire watchtowers within the boundaries of the study area. The results of the evaluation showed that 38.3% of the forest areas can be visible by at least one tower, while 61.7% of them cannot be visible. It has been revealed that as a result of adding 10 new towers to the fire watchtower network and relocating 1 tower, the visibility of forest areas by towers increased from 38.3% to 47.5%.

This study will contribute to fire organizations in pre-fire management planning, fire fighting and post-fire studies.

June 2022, [135] pages.

Keywords: [Forest fire, Fire risk and danger modeling, Maximum entropy, Multi-criteria decision making]

1. GİRİŞ

Orman yangınları, dünyanın birçok bölgesinde nadiren doğal olaylardan çoğunlukla insan faaliyetlerinden kaynaklanan ve orman ekosistemlerini etkileyen bir hadise olarak karşımıza çıkmaktadır. Orman yangını, yangına bağımlı ekosistemlerin varlığı ve sürekliliği için gerekli olmasına rağmen orman ekosistemine, çevreye ve sosyo-ekonomik hayata önemli zararlar verebilmektedir (Mol ve Küçükosmanoğlu, 1998; Bilgili ve diğ., 2001). Zorlu yangın yönetimi, yangınla mücadele politikaları ve iklim değişikliği gibi eklenen şartlar nedeniyle de son yıllarda büyük ve yıkıcı etkilere sahip çok sayıda büyük yangın meydana gelmiştir (Bilgili ve diğ., 2021, İnan ve diğ. 2021).

Büyük yangınlar, yanıcı madde miktarının fazlalığı, düşük nem, yüksek sıcaklıklar ve şiddetli rüzgarlar gibi ekstrem koşulların sonucu olması nedeniyle küçük yangınlardan daha büyük etkilere sahiptir. Büyük yangınların orman ekosistemine, çevreye ve sosyo-ekonomik hayata etkileri son derece yıkıcı olabilmektedir (Bilgili ve diğ., 2021). Özellikle yerleşim yerlerinin ve tarım alanlarının ormanlık alanlarla iç içe olduğu alanlarda daha fazla hasara neden olmaktadır (Hudak ve diğ., 2011). Büyük yangınlarla mücadele, yangının büyüklüğü, açığa çıkardığı ısı, süresi ve şiddeti yüksek olmasından dolayı mücadelesi zor ve maliyetli olmaktadır. Bu tür yangınlarla mücadelede fazla sayıda yangın söndürme personelinin tehlikeli şartlarda çalışmak zorunda kalması can ve mal kaybı riskini de artırmaktadır (Bilgili ve diğ., 2021).

Orman yangınlarıyla etkin bir şekilde mücadele edebilmek için analiz ve değerlendirmeler genellikle 4 adımda yapılmaktadır: (i) yangın öncesi yangın risk ve tehlike potansiyelinin modellenmesi ve haritalandırılması (Sağlam ve diğ., 2008a; Güney ve diğ., 2016; Varol ve Ertuğrul, 2016; Güngöroğlu, 2017; Sevinç ve diğ., 2020) (ii) çıkan yangının tespit edilmesi (Göltaş ve diğ., 2017; Küçük ve diğ., 2017; Pakdemirli ve Küçük, 2021), (iii) mevcut yangının izlenmesi (Küçük ve Bilgili, 2007; Sağlam ve diğ., 2008b) ve (iv) yangın sonrası hasarın tespit edilmesidir (Roy ve diğ., 2002; Adap ve diğ., 2013; Chhabra ve diğ., 2022). Yangın öncesinde yangın risk ve tehlike potansiyelinin belirlenmesi en önemli adımlardandır. Çünkü can, mal ve doğal kaynaklar üzerindeki tehditleri en aza indirmek için yangın risk ve tehlikesinin yüksek

olduğu yeri bilmek koruyucu ve önleyici tedbirlerin alınması ve mücadele yöntemlerinin belirlenmesi açısından son derece kritik öneme sahiptir.

Yangın riski ve yangın tehlikesi terimleri birbirinden farklı durumları ifade etmektedir. Yangın riski (yangın çıkma ihtimali), yangına neden olabilecek etmenlerin varlığı (insan, yıldırım vb.) ve bunların faaliyetlerine bağlı olarak tutuşma olasılığı anlamına gelmektedir (Preisler ve diğ. 2004). Yangın tehlikesi ise yangını etkileyen sabit ve değişken çevre faktörlerine bağlı olarak yangının büyümesi, kontrol güçlüğü ve verebileceği potansiyel hasarları ifade etmektedir (NWCG, 1996 ; Sağlam, 2008; Coşkuner, 2019). Yangın risk ve tehlike değerlendirmeleri, yangın çıkma ihtimalini ve potansiyel zararı ölçmeye ve mekânsal ölçekte yangından korunma faaliyetlerine öncelik vermeye katkı sağlayan bir yönetim aracıdır (Haight ve diğ., 2004).

Orman yangınları sorunuyla karşı karşıya olan birçok ülkede yangına hazırlık ve yangın öncesi bilgi sağlamak amacıyla mevcut ve geçmiş yangın kayıtlarından yararlanılarak bir yangın risk ve tehlike modeli geliştirilmektedir (Bachmann ve Allgöwer, 2001). Ancak yangın risk ve tehlike potansiyelini modellemek ve haritalamak karmaşık zamansal ve mekânsal analizler gerektirir, çünkü orman yangınları, yanıcı madde özellikleri, topografya ve hava halleri gibi çeşitli sabit ve değişken çevre faktörlerinin yol açtığı karmaşık mekânsal ve zamansal süreçlerden etkilenmektedir. Yangın risk ve tehlike potansiyelinin modellenmesinde bu karmaşık faktörlerin etki derecelerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli metodlar kullanılmaktadır; (i) teoriye dayalı fonksiyonlar (Prestemon ve diğ., 2002), (ii) uydu görüntülerinin analizi (Maselli ve diğ., 2003), (iii) coğrafi bilgi sistemi yöntemleri (Güngöroğlu, 2017) ve (iv) peyzaj simülasyon modelleri (Shang ve diğ., 2004). Yangın risk ve tehlikenin modellenmesinde kullanılan yöntemlere ilaveten kolayca ulaşılabilen girdiler kullanılarak güncel teknolojilerden yararlanmaya ihtiyaç vardır.

Ülkemizin de içinde bulunduğu tipik Akdeniz iklim kuşağında düşük bağıl nem, yüksek sıcaklık ve kuvvetli, kuru rüzgârlarla karakterize, uzun süreli yaz kuraklıkları nedeniyle orman yangınları birçok ekosistem sürecinde önemli role sahiptir (Chandler ve diğ., 1983). Akdeniz tipi bitki örtüsü, yangın çıkmasına elverişli iklim koşulları altında gelişmiştir ve bu nedenle kuraklığa dirençli ve oldukça yanıcı hale gelmiştir (Chandler ve diğ., 1983). Ülkemiz toplam ormanlık alanların yaklaşık %35'i birinci derece, %23'ü ikinci derece ve %22'si üçüncü derece orman yangınlarına karşı hassastır (Bilgili ve Küçük, 2001; Küçük ve Ünal, 2005; Arıcak ve

diğ., 2011). 1988-2019 yıllarını kapsayan orman yangınlarına ilişkin istatistiklere göre ülkemizde yıllık ortalama orman yangın sayısı 2.068 olup, yıllık ortalama yanan alan miktarı 10.151 hektar iken son yıllarda yangın sayısı ve yanan alan miktarında ciddi derecede artış gözlenmektedir (OGM, 2020). Özellikle 2021 yılında ekstrem meteorolojik koşullar nedeniyle 16 adet büyük orman yangını ile aynı anda mücadele edilmiş ve yaklaşık 142.000 hektar alan yangınlardan zarar görmüştür (Karacabey, 2021). İklim değişikliği nedeniyle böylesi olağandışı hallerde büyük yangınlarla karşı karşıya kalınabilme ihtimali yüksektir. Bu durum dikkate alındığında planlama ve yangınlarla etkin mücadele edebilmek, hızlı karar alabilmek ve acil tedbirler alıp uygulayabilmek amacıyla yangın öncesi yangın risk ve tehlike potansiyelinin modellenmesi ve haritalandırılmasının önemi açıktır. Ülkemizde yapılan yangın risk ve tehlike potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları çoğunlukla ya yanıcı madde, topoğrafya ve insan faktörlerine dayalı yapılmış (Sağlam ve diğ. 2008a; Coşkuner, 2019) ya da sadece meteorolojik faktörlere bağlı olarak yapılmıştır (TOVAG, 2015). Bu çalışmada yanıcı madde, topoğrafya ve insan faktörlerine ek olarak orman yangının tutuşmasında ve davranışında en önemli faktörlerden birisi olan meteorolojik faktörler de değişken olarak alınmıştır. Risk ve tehlike potansiyelinin belirlenmesinde mevcut çalışmalardan farklı olarak meteorolojik faktörlerin değişmesi dolayısıyla orman yangını risk ve tehlike potansiyeli mekânsal ve zamansal (aylık) olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca makine öğrenmesi algoritması kullanılarak yapılan ilk yangın risk potansiyelinin belirlenmesi çalışmalarından birisidir.

Orman yangınına hassas orman alanlarının izlenmesi ve yangının erken tespiti, ilk müdahale süresini önemli ölçüde kısaltarak, olası hasarı ve yangınla mücadele maliyetini azaltmaktadır. Orman yangınına sebep olan ilk kıvılcımın düştüğü anda 1 litre su yeterliyken, 2. dakikada 100 litreden fazla su, 10. dakikada ise 1.000 litre'den daha fazla su yangının söndürülmesinde yetersiz kalabilmektedir (Alkhatib, 2021). Bu nedenle, orman yangınlarının başladığı ilk anda yerinin tespit edilmesi ve ilk müdahale ekiplerine haber verilerek yangınla mücadeleye başlanması can (insanlar, hayvanlar, bitkiler), mal kaybının (ekonomik) önüne geçilmesine, emek ve zamandan tasarruf yapılmasına büyük katkı sağlamaktadır (Çanakçıoğlu, 1993). Ülkemizde orman yangınlarının tespiti için her ne kadar İnsansız Hava Araçları gibi gelişmiş teknolojiler kullanılsa da halen orman yangınlarının tespiti büyük oranda insanlı ya da kamera destekli yangın kuleleri aracılığıyla veya telefon ihbarı yoluyla yapılmaktadır. Yangın kulelerinde gözetleme işlemi ister kameralı sistemlerle isterse gözeticiler tarafından yapılsın kulelerin konumlandığı yerin önemi büyüktür. Bu sebeplerle, CBS yöntemleri ile yangın

gözetleme kulelerinin görünürlük analizinin yapılmasına ve konumlarının değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmanın amaçları, yangın öncesi yönetim planlamaları ile yangın yönetim organizasyonlarına yardımcı olmak üzere (i) makine öğrenmesi tekniği olan MaxEnt yaklaşımı ile aylık Orman Yangını Risk Poatnsiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması, (ii) çok kriterli karar verme yöntemiyle Orman Yangını Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması ve (iii)Yangın Gözetleme Kulelerinin Görünürlük Analizi'nin yapılması ve etkinliğinin değerlendirilmesidir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİ

Dünya genelinde farklı yanıcı madde tipi ve iklim koşullarına sahip bölgelerde yangın öncesi çalışmalar ile yangın risk potansiyelini önceden tahmin eden modeller geliştirilmiştir.

Jaiswal ve diğ. (2002) tarafından Hindistan'ın Madhya Pradesh eyaletinde yapılan çalışmada sürekli olarak bir orman yangını sorunuyla karşı karşıya olan bir bölge için yangın risk haritasını oluşturulmuştur. Hindistan Uzaktan Algılama Uydusu (IRS) 1D LISS III'ten türetilen uzaktan algılama verilerin sınıflandırılması yoluyla bir vejetasyon haritası oluşturulmuştur. Daha sonra, diğer önemli faktörleri, yani eğim ve insan yapılarına yakınlık (şehirler ve yol ağı) topoğrafik haritalar ve arazi bilgilerinden elde edilmiştir. Çalışmada tematik ve topografik bilgiler sayısallaştırılmış ve analiz için CBS kullanılmıştır. Orman yangını açısından risk taşıyan bölgeler, duyarlılıklarına veya yangını tetikleme yeteneklerine göre öznel ağırlıklar atanarak tanımlamıştır (Eşitlik 2.1). Araştırma sonucunda oluşturulan yangın risk sınıflamasına göre çalışma alanının yaklaşık % 30'unun çok yüksek ve yüksek riskli bölgelerden oluştuğunu ortaya konmuştur. Ayrıca söz konusu bu çalışmada CBS tabanlı orman yangını risk modelinin sonuçları ile yangından etkilenen gerçek sahalardan elde edilen veriler arasında güçlü bir uyum elde edilmiştir.

$$FR = 10F + 2H + 2R + 3S \quad (2.1)$$

Burada;
FR= yangın riskinin sayısal değeri,
F= bitki örtüsü değişkeni,
H= insan yerleşimine yakınlık,
R= yol faktörü ve
S= eğim faktörünü ifade etmektedir.

Pradhan ve diğ. (2007) tarafından Malezya'da yapılan bir çalışmada uydu görüntüleri (AVHRR NOAA 12 ve NOAA 16) kullanılarak 2000 ile 2005 yılları arasındaki geçmiş sıcak nokta (historical hotspots) verilerinden yararlanılarak çalışma alanındaki orman yangınına maruz kalan alanlar belirlenmiştir. NOAA uydularından beş yıl üst üste yangın noktaları toplanmış ve bu noktalar baz alınarak denetimsiz sınıflandırma yöntemiyle arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. Aynı zamanda, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksini (NDVI)

hesaplanmış, toprak özellikleri, meteorolojik ve topografik faktörler modelde girdi olarak kullanılmıştır. Son olarak orman yangınlarına duyarlı alanların belirlenmesinde yukarıda bahsedilen her bir faktörün ne derece etkili olduğu Frekans Analiz Methoduna (Frequency Analysis Method) dayanarak değerlendirilmiştir. Tüm değişkenler için karşılık gelen ağırlıklar belirlenerek ve nihai duyarlılık modeli (Eşitlik 2.2) ile haritasını geliştirilmiştir. Oluşturulan duyarlılık haritasının denetimi ise, yeni yazılan bir programlama koduyla yardımıyla orman yangını lokasyon verileri kullanılarak yapılmıştır. Denetim sonuçları, duyarlılık haritası ile orman yangını konumuna ilişkin mevcut veriler arasında tatmin edici (73.18'lik bir tahmin doğruluğu) bir uyum olduğunu göstermiştir.

$$FFSI = Fr_1 + \ Fr_2 + \cdots + Fr_n \qquad (2.2)$$

Burada;
FFSI = Orman Yangını Duyarlılık İndeksi,
Fr = Her bir faktörün tipi veya aralığının oranı'nı ifade etmektedir.

Saglam ve diğ. (2008) tarafından 1987 ve 2000 yılları arasını kapsayan verilerle Korudağ Orman İşletme Şefliğinde yapılan çalışmada, orman yangını riski potansiyelini, tür kompozisyonu, eğim ve bakı ile birlikte yerleşim alanlarından ve tarım arazilerinden uzaklık gibi arazi kullanım özelliklerine göre belirlenmiştir. İlk aşamada, her bir değişken sınıfına, her sınıfın risk potansiyeline göre bir yangın risk derecesi (çok yüksek, yüksek, orta ve düşük) atanmıştır. Daha sonra, her bir yangın riski sınıfı 1'den 5'e kadar ordinal bir ölçekte sınıflandırılmış ve tüm değişkenler (katmanlar) Eşitlik 2.3 kullanılarak CBS aracılığıyla haritalandırılmıştır.

$$FRI = 10SC + 2AL + 2SA + 3S + 2IS \qquad (2.3)$$

Burada;
FRI = Yangın Riski Ponsiyeli İndeksi,
SC = Tür Kompozisyonu,
AL = Tarım Arazilerine Yakınlık,
SA = Yerleşim Yerlerine Yakınlık,
S = Eğim faktörü ve
IS = Bakı Faktörü'nü ifade etmektedir.

Carmel ve diğ. (2009) tarafından İsrail'in Karmel dağında (300 km^2) yapılan çalışmada Amerikan FARSITE adlı bir yangın simülasyon modeli kullanarak dağlık bir bölgenin yangın riski tahmin edilmeye çalışılmıştır. FARSITE yanıcı madde modellerini Akdeniz koşullarına göre ayarlamışlardır. Bu çalışmada yangın riski 500 iterasyon yapılarak oluşturulan Monte Carlo Simulasyon sonuçlarına göre belirlenmiştir. Modellerin söz konusu çalışma alanına uyarlanmasında başta yanıcı madde türleri dikkate alınarak topografya, yanıcı madde özellikleri (nem, meşçere kapalılığı vb.), meteorolojik faktörler (rüzgar hızı ve yönü, bağıl nem, sıcaklık), tutuşma noktasının konumu gibi kritik faktörler kullanılmıştır. Bununla birlikte, araştırmacılar yangın olaylarının çoğunun insan aktivitesinin yoğun olduğu yol ağına yakın bir yerde meydana geldiği varsayımından yola çıkarak, çalışma alanındaki tüm yollar için 30 m ve yürüyüş parkurları için ise 10m tampon (buffer) zonlar oluşturmuşlardır. Rastgele belirlenen tutuşma noktalarının % 80'i bu tampon bölgelere, kalan% 20si ise çalışma alanı diğer bölgelerine düşmüştür. Son olarak, tüm bu simülasyon sonuçlarına dayanarak, bir yangın risk haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmada yangın risk haritasının yanıcı madde haritasına kısmen benzerlik gösterdiği ifade edilmiş, bununla birlikte kentsel alanların konumun, mikro iklim koşullarının, topografya ve yangın konumları dağılımının (karayolundan etkilenen) yangın risk haritasının oluşturulmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

Vadrevu ve diğ. (2010) tarafından Hindistan'ın Andhra Pradesh eyaletinde yapılan çalışmada AHP ve Fuzzy Set teorisini bir CBS ortamına entegre eden çok kriterli karar analizini kullanarak bir yangın risk modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada uydu uzaktan algılama verileri ile topografya, bitki örtüsü, iklim ve sosyoekonomik faktörler birlikte değerlendirilmiştir**.** Bu faktörlerden topoğrafya: yükselti, eğim, bakı ve yüzey nemiyle ilgili bileşik topografik indeks; bitki örtüsü özellikleri: yaprak döken kuru türler, biyokütle yoğunluğu ve yanma sonucunda açığa çıkan enerji miktarı ile ilgili bir indeks; iklimsel değişkenler: en sıcak mevsimdeki ortalama sıcaklık, yağış miktarı ve evapotranspirasyon miktarı; Sosyoekonomik / demografik değişkenler: nüfus yoğunluğu, okuryazarlık oranı, ekonominin birincil sektöründe (özellikle tarım) istihdam edilen personel sayısı ve beslenme yoğunluğu ile temsil edilmiştir. Tüm bu belirli değişkenlere bulanık küme teorisi tekniklerine dayalı olarak farklı ağırlıklar atanırken, daha genel kategorilerde ise AHP tekniğini uygulamışlar ve Eşitlik 2.4'ü geliştirmişlerdir. Son olarak, bu indeksler bir CBS ortamına entegre edilmiş ve harita cebiri aracılığıyla nihai yangın risk haritası oluşturulmuştur. Burada, bu değişkenlerden bazıları için (özellikle sosyoekonomik olanlar, örneğin beslenme yoğunluğu vb.), yangın risk haritasının geliştirilmesine bunların dahil

edilmesini (katkılarını) güvenli bir şekilde açıklayan herhangi bir somut teorik arka planın olmadığı vurgulanmalıdır.

$$FR = 0{,}312 \times Soc + 0{,}255 \times Veg + 0{,}233 \times Clim + 0{,}204 \times Top \quad (2.4)$$

Burada;
FR = Yangın Riski,
Soc=Sosyo-Ekonomik Parametler,
Veg=Bitki Örtüsü Parametreler,
Clim= İklim Parametreleri ve
Top= Topoğrafya Parametreleri anlamına gelmektedir.

Sharma ve diğ. (2012) tarafından Hindistan'ın Himaçel Pradeş eyaletinde yangın riski zon haritasını oluşturmak için yaptıkları çalışmada çok kriterli karar analizi yöntemini kullanılmıştır. Yanıcı madde tipi, topografya (yükseklik, eğim ve bakı) ve yakınlık bölgeleri (yol ve yerleşim yerinden uzaklık) gibi değişkenler kullanıldığı araştırmada; yanıcı madde indeksi, yükseklik indeksi, eğim indeksi, bakı indeksi, yol indeksi ve yerleşim indeksinin birleşik etkisini elde etmek için Sharma (1995) ve Porwal ve diğ. (1997)'nin çalışmalarından yararlanılmıştır. Son olarak, araştırmacılar orman yangınlarına özgü belirsizliklerle başa çıkmak amacıyla tüm bu değişkenleri bilgiye dayalı yaklaşım, net (AHP) ve bulanık (FAHP) analitik hiyerarşi süreci olmak üzere 3 farklı yöntem uygulamışlardır. Net (Eşitlik 2.5) ve bulanık (Eşitlik 2.6) yöntemlerinin hemen hemen aynı sonuçları sağladığı ve bilgiye dayalı yaklaşım tekniği (Eşitlik 2.7) ise belirli bir dereceye kadar farklılık ile karakterize edildiğini ortaya koymuşlardır.

$$CFRISK = (0{,}028236 \times ELI) + (0{,}149059 \times SLI) + (0{,}263077 \times ASI) + (0{,}042108 \times SI) + (0{,}065369 \times RI) + (0{,}452152 \times FUI) \quad (2.5)$$

$$CFRISK = (0{,}027948 \times ELI) + (0{,}143654 \times SLI) + (0{,}269224 \times ASI) + (0{,}041103 \times SI) + (0{,}0604 \times RI) + (0{,}454032 \times FUI) \quad (2.6)$$

$$CFRISK = (1 \times ELI) + (2 \times SLI) + (3 \times ASI) + (1 \times SI) + (1 \times RI) + (4 \times FUI) \quad (2.7)$$

Eşitliklerde;
CFRISK= Toplam yangın risk indeks değeri,
ELI= yükseklik indeksi,
SLI=eğim indeksi,
ASI= Bakı indeksi,

RI= yol indeksi,

SI=yerleşim endeksi ve

FUI=yanıcı madde tipi indeksini ifade etmektedir.

Sivrikaya ve diğ. (2014) tarafından meşçere özellikleri, topoğrafik ve antropojenik faktörlere dayalı olarak Yeşilova Orman İşletme Müdürlüğü ölçeğinde yangın riski potansiyeli değerlendirilmiştir. Model girdileri tür kompozisyonu, meşçere kapalılığı ve gelişim çağı, eğim, bakı, yerleşim yerinden uzaklık, tarım alanından uzaklık ve yoldan uzaklık değişkenleridir. Yukarıda belirtilen tüm faktörlerin etkileşimi ile CBS'nin analitik yeteneklerinden yararlanılarak bir yangın risk haritası (Eşitlik 2.8) oluşturulmuştur.

$$FRI = 10 \times (SC + CC + DS) + 5 \times S + 3 \times IS + 2 \times SA + 2 \times R \quad (2.8)$$

Burada;

FRI = Yangın Risk İndeksi,

SC = Tür Kompozisyonu

CC = Kapalılık

DS = Gelişime Çağı

S = Eğim Faktörü,

IS = Bakı Faktörü,

SA = Yerleşim Yerleri Ve Tarım Arazisinden Uzaklık ve

R = Yoldan Uzaklığı ifade eder.

Thomason (2015) tarafından Kaliforniya'da yapılan çalışmada orman yangın olasılığı, 1984 – 2013 yıllları arası 30 yıllık bir dönemi kapsayan orman yangını gözlemleri ve 29 adet çevresel değişkenler göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Bu değişkenlerden biyoiklim veri setleri (Bio 1-Bio 19 arası) için kendi arasında ilişkili olan değişkenleri çıkarmak amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır ve bu değişkenler atılmıştır. Kaliforniya'da orman yangını olasılığının dağılımını modellemek için, 1984 ve 2013 arasındaki orman yangını gözlemleri bağımlı değişken, tutuşturma kaynakları, bioiklim, topografya ve bitki örtüsü gibi değişkenler bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. MaxEnt yazılımı kullanılarak, orman yangını olasılığının dağılımı, uzun vadeli (1984-2013), orta vadeli (1984-1988) ve yakın tarihli (2009-2013) olarak tahmin edilmiştir.

Amalina ve diğ. (2016) tarafından CBS ve uzaktan algılama veri ve araçlarını kullanarak biyo-fiziksel ve insani faktörlerine bağlı yangınına duyarlılık haritası geliştirilmiştir. Endonezya'da yapılan bu çalışmada kullanılan veriler Landsat 8 görüntü yorumlamasından

toplanmış ve arazi kontrolü ile tamamlanmıştır. Değişken olarak kullanılan faktörler arasında bitki örtüsü, bitki örtüsü indeksi, nem indeksi, yüzey sıcaklığı, yoldan uzaklık, nehirden uzaklık, yerleşimden uzaklık, çeltik tarlasından uzaklık, kuru arazi çiftliğinden uzaklık ve ekim alanından uzaklık faktörleri değerlendirmeye alınmıştır. Bahsi geçen her bir değişkeni orman yangınlarına olan etkilerine göre değerlendirilmiş ve onlara farklı bir ağırlık atanmıştır. Son olarak tüm değişkenleri birleştiren denklemler geliştirmişler ve buna göre yüksek, orta ve düşük sınıflarına sahip yangın duyarlılık haritası oluşturmuştur. Endonezya'da orman yangınlarını tetikleyen en büyük faktörün insan faaliyetleri olduğunu gösteren geçmiş çalışma sonuçları olması nedeniyle ağırlıklandırmayı iki farklı vaka çalışması yapılmıştır. Birinci vakaya (Denklem 2.9) göre insan faktörü için 0,9 ve doğal faktörler için 0,1ağırlık belirlenirken, ikinci vakaya (Denklem 2.10) göre insan faktörü için 0,1 ve doğal faktör için 0,9 ağırlık belirlenmiştir. Ancak insan faktörüne% 90 ağırlık verecek somut bir argüman olmadığı sonucuna varılmış ve bu yüzden sonunda bu hipotez reddedilerek Denklem 2.10'un kullanılabileceğini anlaşılmıştır.

$$y = 0{,}1 \times (x1 + x2 + x3 + x4) + 0{,}9 * (x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10) \quad (2.9)$$

$$y = 0{,}9 \times (x1 + x2 + x3 + x4) + 0{,}1 * (x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10) \quad (2.10)$$

Bu eşitliklerde;

y = Orman yangınının duyarlılık puanı,

x1 = Bitki örtüsü,

x2 = Yüzey sıcaklığı,

x3 = Normalleştirilmiş farklılık bitki örtüsü indeksi (NDVI),

x4 = Normalleştirilmiş fark nem indeksi (NDMI),

x5 = Yoldan uzaklık,

x6 = Nehirden uzaklık,

x7 = Yerleşimden uzaklık,

x8 = Plantasyondan uzaklık,

x9 = Kuru arazi çiftliğinden uzaklık ve

x10 = Çeltik tarlasından uzaklığı ifade etmektedir.

Eugenio ve diğ. (2016) tarafından Brezilya'nın güneydoğusunda yapılan çalışmada yangın riskininin tahmininde değişken olarak yalnızca bölgenin bölgenin fiziksel (arazi eğimi, arazi kullanımı / işgal, yollara yakınlık, arazi yönelim ve yükseklik) faktörlerini değil, aynı zamanda bir başka değişken olan iklim faktörlerini (yağış, sıcaklık, su açığı ve evapotranspirasyon) de modele dahil edilmiştir. AHP tekniklerini uygulayarak, her bir değişken

için belirli ağırlıklar atamışlar ve Eşitlik 2.11 kullanılarak orman yangın risk indeksi (FFR) hesaplamışlardır (Eşitlik 2.11).

$$FFR = 0{,}3070 \times Prec + 0{,}2182 \times Temp + 0{,}1543 \times Def + 0{,}1089 \times Slo + 0{,}0764 \times Road + 0{,}0533 \times Use + 0{,}0370 \times Pet + 0{,}0259 \times Asp + 0{,}0189 \times DEM \quad (2.11)$$

Burada;

FFR = Orman yangın riski

Prec = yeniden sınıflandırılmış yağış;

Temp = yeniden sınıflandırılmış sıcaklık;

Def = yeniden sınıflandırılmış su açığı;

Slo = yeniden sınıflandırılmış eğim;

Road = yeniden sınıflandırılmış Öklid uzaklığı;

Use = yeniden sınıflandırılmış arazi kullanımı;

Pet = yeniden sınıflandırılmış potansiyel evapotranspirasyon;

Asp = yeniden sınıflandırılmış bakı ve

DEM = sayısal yükseklik modelini ifade etmektedir.

Pourghasemi (2016) tarafından İran'ın Golestan eyaletinde yapılan çalışmada yangın riski haritasını üretmek için kanıta dayalı inanç işlevi (evidential belief function, EBF) ve ikili lojistik regresyon (binary logistic regression, BLR) modellerine dayalı iki istatistiksel yöntem kullanılmıştır. Model, topografya (eğim, bakı ve yükseklik); topografik konum ve ıslaklık endeksleri (yükseklik ve eğimle ilgili indeksler),doğal ve antropojenik unsurlara yakınlık (su kütleleri, yerleşim alanları ve yol ağı), arazi kullanımı, NDVI, toprak türleri ve meteorolojik değişkenleri (yağış, sıcaklık ve rüzgar özellikleri) içermektedir. Aynı zamanda, geçmiş yangın noktalarının % 70'ini eğitim veri seti olarak ve % 30'unu doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Bu veriler MODIS platformundan alınmış ve modellerin doğrulanması için kullanılmıştır. Daha sonra, her bir alt sınıfın, alt sınıf başına sıcak nokta sayısına göre tüm değişkenler içindeki özel ağırlığını belirlemek için kanıtsal inanç işlevini (EBF) uygulanmıştır. Son olarak, her bir alt sınıfın ilgili ağırlık ile çarpılmasından sonra yukarıda belirtilen tüm faktörler birleştirilmiş ve ilk yaklaşım ile yangın risk haritasını oluşturulmuştur. İkinci yaklaşım, ikili lojistik regresyona (BLR) göre ağırlıkların belirlenmesini içermektedir. Eğri altındaki alan tahminine (AUC) dayalı iki yöntemin karşılaştırılmasından sonra, EBF ve BLR modelleri için AUC'nin sırasıyla 0,8193 (% 81,93) ve 0,7430 (% 74,30) olduğunu göstermiştir.

You ve diğ. (2017) tarafından Çin'in Fujian eyaletinin kuzeybatısında bulunan bir dünya mirası alanı olan Wuyishan Manzara Bölgesi'nde yaptıkları çalışmada potansiyel orman yangını riskini ölçmek ve risk bölgelerini haritalamak için kavramsal şemaya dayalı 12 değişken kullanılmıştır. Bunlar; topoğrafik faktörler (DEM yoluyla eğim, bakı ve yükselti), iklim faktörleri (sıcaklık, yağış miktarı ve evapotranspirasyon), orman özellikleri (yanıcı madde türleri, gelişme çağı ve kapalılık) ve insan aktivitesi (kasabalara, tarım yollarına ve su kütlelerine yakınlık)'dir. Tüm bu değişkenlerin özel ağırlığını (Eşitlik 2.12) AHP tekniğine göre değerlendirilmiş ve CBS'nin doğal bir bileşeni olan harita cebiri aracılığıyla nihai risk haritasını geliştirilmiştir. Sonuçlar, çalışma alanındaki ana yangın riski bölgelerinin düşük veya orta kategorilerde (1997'de toplam alanının %76,7'sini ve 2009'da %79,2'sini oluşturmaktaydı) olduğunu göstermiştir.

$$FRI = 0{,}3693 \times HAF + 0{,}2137 \times TF + 0{,}2540 \times FCF + 0{,}1630 \times CF \quad (2.12)$$

Burada;
FRI= orman yangın riskini,
HAF = insan aktivitesi faktörlerini,
TF = Topoğrafik faktörleri,
FCF = Orman özellikleri faktörlerini,
CF = iklim faktörlerini ifade etmektedir.

Brooke (2017) tarafından yapılan çalışmada 2001-2016 arası gerçekleşen yangın konumları bağımlı; bioiklim (yıllık yağış, maks. en sıcak ayın sıcaklığı, en kuru çeyreğin ortalama sıcaklığı, ortalama yıllık yıcaklık, en yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı), topoğrafya (yükseklik, topografik pürüzlülük indeksi, solar radyasyon, bakı), bitki örtüsü (bitki örtüsü türü), insan faktörleri (yerleşim alanına uzaklık, yola uzaklık, nüfus yoğunluğu) değişkenleri bağımsız değişken olarak kullanmıştır. Ana faktörler ayrı ayrı ve birlikte çevresel değişken olarak kullanılarak MaxEnt yaklaşımı ile yangın risk potansiyeli modellenmiştir. Tek ana değişkenli model sonuçlarına göre topoğrafik faktörlerde yükselti, bioiklim değişkenlerinde yıllık yağış, İnsan aktivitesi değişkeninde Yerleşim Alanlarına Yakınlık modele en çok katkı sağlayan alt değişkenler olmuştur.

Dickey (2018) tarafından yapılan araştırma ile Willamette Ulusal Ormanı'ndaki insan faaliyetleri ile insan kaynaklı orman yangını oluşumları arasındaki mekansal ilişkiyi, bu faaliyetlerin birçok orman yangını tutuşmasından sorumlu olup olmadığını incelenmiştir. 1995-

2008 yılları arasında 493 insan kaynaklı yangın meydana geldiği ve bu yangınların yoğunluğu, rekreasyon alanlarının ve insan altyapılarının yakınındaki kümelenmeyi belirlemek için araştırıldığı anlaşılmaktadır. Maxent yazılımı, orman içinde yer alan rekreasyon alanları ve insan altyapı alanları ile ilgili olarak orman yangını oluşma olasılığını modellemek için kullanılmıştır. Başlangıçta, belirli rekreasyon alanlarının yakınında başka yerlere göre daha fazla orman yangını meydana geldiği varsayılmış ve ön veri araştırması, kasabalar, insan altyapıları ve ana karayolları yakınında yüksek yoğunlukta orman yangını oluşumları göstermiş, ancak bunlar aynı zamanda rekreasyon alanı kümelerinin alanları olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle, hangi belirli faaliyetlerin orman yangını tutuşmalarıyla en güçlü şekilde ilişkili olduğunu görsel olarak belirlemek mümkün olmadığı vurgulanmıştır. Model sonuçları, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanların ve rekreasyon alanlarında insan kaynaklı yangın (tutuşturma) olasılığının daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Akyüz (2019) tarafından Bursa OBM'de yapılan çalışmada 2013-2017 yılları arasında çıkmış olan orman yangın konumları ve sadece bioiklim verileri (Bio 1-19) kullanılarak MaxEnt yöntemi ile yangın risk potansiyelini tahmin eden model geliştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yangın çıkma olasılığı tahmin modelini etkileyen önemli değişkenler yıllık ortalama sıcaklık (Bio1), mevsimsel yağış (Bio15), en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı (Bio5), Ortalama Gündüz Sıcaklık (Bio2), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (Bio10) olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, orman yangınlarının çıkış sebepleri ağırlıklı olarak insan faktörüne bağlı olsa da meteorolojik şartların yangının başlama ve gelişmesi aşamasında son derece önemli olduğu vurgulanmıştır.

Sivrikaya ve Küçük (2022) tarafından Mersin OBM'nde yapılan çalışmada orman yangını risk haritası oluşturmaya yönelik entegre bir yaklaşım tasarlanmıştır. Söz konusu bu çalışmada AHP ve bir istatistiksel indeks (SI) ile coğrafi bilgi sistemi tabanlı çok kriterli karar analizini (GIS-MCDA) kullanılmıştır. Yangın risk haritası, orman meşçere yapısı, topografya, çevre ve iklim olmak üzere 4 ana kriter ve 16 alt kriter kullanılarak Eşitlik 2.13'e göre yapılmıştır. Araştımacılar, her bir kriterin ağırlığını AHP tekniğini kullanılarak belirmiş ve buna göre orman yangınlarının çıkmasında çevresel faktörlerin en etkili olduğunu ve bunu orman yapısının izlediğini belirtmişlerdir.

$$FRI = 0{,}313 \times \mathrm{FS} + 0{,}243 \times T + 0{,}3535 \times E + 0{,}1302 \times C \qquad (2.13)$$

Burada;

FRI = Yangın Risk İndeksi,
FS = Orman Meşcere Kriteri,
T = Topografik Kriter,
E = Çevre Kriteri ve
C = İklim Kriteri anlamına gelmektedir.

2.2. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİ

Beall (1946) tarafından yangın tehlikesini belirlemek için Kanada da yapılan çalışmada Riding Mountain, Manitboa, and Prince Albert Milli Parklarına 4'er adet meteoroloji istasyonları kurulmuştur. 1939 ile 1944 yılları arasında yangın yangın sezonunda parklarda toplam 147 yangın meydana gelmiştir. Yangın kontrol personelinin sahadaki görevlerinin düzenlenmesinde yol gösterici olması için Doğu Kanada da hazırlanan yangın tehlike tabloları kullanılmıştır. Bununla birlikte, geçmiş yangın kayıtları, tehlike çizelgeleri bir kılavuz olarak tehlike indeksinin güvenilirliğini değerlendirmek için değerli bir temel olarak hizmet etmiştir. Yangının başladığı gün her yangına en yakın meteoroloji istasyonundaki tehlike indeksi not edilmiş ve her bir yangının yaktığı toplam alan da tablolaştırılmış olup herhangi bir eşitlik verilmemiştir. Yangın tehlike indeksi ile orman yangınlarının oluşumu ve büyüklüğü arasında dikkate değer derecede yüksek derecede bir korelasyon bulunmuştur.

McArthur (McArthur, 1966; McArthur, 1977) tarafından çayır yangın tehlike indeksleri, özellikle Yeni Güney Galler ve Avustralya Başkent Bölgesi çayırlarında, çayır tipi yanıcı madde yangın davranışının tahmin edilmesine yardımcı olmak için geliştirilmiştir. McArthur Mk 5 Çayır Yangın Tehlike Ölçer, Mk 4 Çayır Yangın Tehlike Ölçerin yerini almak üzere geliştirilmiştir (McArthur, 1966; McArthur, 1977). McArthur Mk 5 Çayır Yangın Tehlike İndeksi (Eşitlik 2.14))'inde, sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve çayır kuruluk derecesini bağımsız değişken (Eşitlik 2.15) olarak kullanılmaktadır. Bu indekste çayır kuruluk derecesi % 0-100 aralığında bir değer olarak belirlenmektedir.

$$GFDI5 = \begin{cases} 3{,}35 \times We^{(-0{,}0897m+0{,}0403U)}, m < 18{,}8 \\ 0{,}299 \times We^{(-1{,}686+0{,}0403U)*(30-m)}, 18{,}8 \leq m < 30 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$m = \frac{97{,}7+4{,}06\times H}{T+6} - 0{,}00854 \times H - \frac{3000}{C} - 30 \quad (2.15)$$

Burada;

GFDI5 = McArthur Mk 5 Çayır Yangın Tehlike İndeksi,
W = Yanıcı Madde Ağırlığıdır (t/ha),
m = Yanıcı Madde Nemi (%),
T = Sıcaklık (ºC),
H = Bağıl Nem (%) ve
C = Çayır Kuruluk Derecesi (%) anlamına gelmektedir.

McArthur orman yangını tehlike indeksi, McArthur (1967) tarafından ilk geliştirilmelerinden bu yana Doğu Avustralya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu indeks sistemindeki tehlike ölçerler, orman yanıcı madde türlerinde yangın tehlikesini değerlendirmek için kullanılmakta ve 800'den fazla yangından elde edilen gözlemlere dayanmaktadır. Tehlike ölçerlerin önceki versiyonları tablo biçiminde sunulmuş, ancak daha sonra değiştirilmiş ve dairesel hareketli cetveller biçimine dönüştürülmüştür. Şu anda Avustralya'da kullanımda olan Orman Yangını Tehlike Oranı veya Orman Yangını Tehlike İndeksi (Eşitlik 2.16) olarak adlandırılan McArthur (1977) Mk 5 Orman Yangını Tehlike Ölçer temeline dayanmaktadır. McArthur orman yangını tehlike ölçerleri, yangın tehlikesi sınıflandırmasının temelidir. Yangın tehlikesi koşullarının, Orman Yangını Tehlike İndeksi değerinin karşılığı bir dizi eşik değerine göre düşük, orta, yüksek veya çok yüksek olarak sınıflandırılır. McArthur (1977) Mk 5 Orman Yangını Tehlike Ölçer, yangın tehlikesini belirlemek için sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve 1-10 arasında değişen kuraklık faktörü (Keetch ve Byram, 1968) değişkenlerine göre tahmin edilmektedir.

$$FFDI = 2e^{(-0{,}45+0{,}987\times\ln DF+0{,}0338\times T-0{,}0345\times H+0{,}0234\times U)} \quad (2.16)$$

Burada;
FFDI = Orman Yangını Tehlike Ornaı veya Orman Yangını Tehlike İndeksi
T = Kuru Termometre Sıcaklığı (ºC),
H = Bağıl Nem (%),
U= Rüzgâr Hızı (km/s),
DF = Kuraklık Faktörü'dür.

Kanada Orman Yangını Tehlike Oranı Sistemi, yangın risk ve tehlike potansiyelinin değerlendirilmesi ve yorumlanması amacıyla kullanılmaktadır (Countryman, 1966; Merrill ve Alexander, 1987; Çoşkuner, 2019). Bu sistem Meteorolojik Yangın İndeksi (MYİ) Sistemi (Van Wagner, 1987) ve Yangın Davranışı Tahmin Sistemi (Van Wagner, 1998) oluşmaktadır.

MYİ sisteminin çıktıları, dört hava gözleminin (sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı, yağış miktarı) sürekli kaydına dayalı olarak düz bir arazide standart yanıcı madde türü (çam meşceresi) için yangın risk ve tehlikesi hakkında bilgi veren bileşenlerden oluşmaktadır (Van Wagner ve Pickett, 1985; Van Wagner, 1987). MYİ Sisteminin ilk üç bileşeni, farklı kuruma hızlarına sahip üç yanıcı madde sınıfının nem içeriğindeki günlük değişiklikleri takip eden yanıcı madde nem kodlarından oluşmaktadır. MYİ Sisteminin son üç bileşeni ise yangın davranış yangın risk ve tehlikesi potansiyeli hakkında bilgi veren Başlangıç Yayılma İndeksi, Birikmiş Yanıcı Madde İndeksi, Meteorolojik Yangın İndeksi'dir. Yangın açısından hava koşulları kötüleştikçe bu indekslerin değerleri artar. Sistemin diğer ana bileşeni olan Yangın Davranışı Tahmin Sistemi mevcut yangın davranışı (yangın türü, yayılma oranı, yangın şiddeti, yanıcı madde tüketimi) hakkında bilgi sağlamaktadır (De Groot, 1993).

Sağlam ve diğ. (2008a) tarafından Korudağ Orman İşletme Şefliğinde yapılan çalışmada yangın tehlike potansiyeli; tür kompozisyonu, meşcere gelişim çağı, meşcere kapalılığı, eğim ve bakı gibi değişkenler dikkate alınarak modellenmiştir. İlk olarak, her bir değişken sınıfına, her sınıfın tehlike potansiyeline göre bir yangın risk derecesi (çok yüksek, yüksek, orta ve düşük) atanmıştır. İkinci olarak, her bir yangın riski sınıfı 1'den 5'e kadar ordinal bir ölçekte sınıflandırılmıştır. Son olarak, tüm değişkenler (katmanlar) daha sonra oluşturulan Eşitlik 2.17 kullanılarak CBS aracılığıyla entegre edilmiş ve yangın tehlike potansiyeli zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmiştir. Y-Bu çalışmada, yangın tehlikesi potansiyeli modellenmesinde meşçere özelliklerinin önemine vurgu yapılmıştır.

$$FDI = SC^2 \times (CC + SD + S + IS) \quad (2.17)$$

Burada;

FRI = Yangın Tehlike Ponsiyeli İndeksi,

SC = Tür Kompozisyonu,

CC = Meşçere Kapalılığı,

SD = Gelişim çağı,

S = Eğim faktörü ve

IS = Bakı Faktörü'nü ifade etmektedir.

Sharples ve diğ. (2009a) tarafından yapılan çalışmada, sıcaklık ve bağıl nem dikkate alınarak elde edilen yanıcı madde nemi ve rüzgar hızı değişkenlerinden oluşan bir yangın tehlikesi indeksi (F, Eşitlik 2.19) geliştirilmiştir. Bu indeks, nem içeriği arttıkça yangın tehlikesi

azalır, ancak rüzgâr hızı arttıkça artar varsayımına dayanmaktadır. Yanıcı madde nemi Eşitlik 2.18 (Sharples ve diğ., 2009b) ile hesaplanırken, buna bağlı olarak yangın tehlikesi indeksi (F) Eşitlik 2.19'a göre hesaplanmaktadır.

$$FMI = 10 - 0{,}25 \times (T - H) \tag{2.18}$$

$$F = \frac{Max(U_0\ ,U)}{FMI} \tag{2.19}$$

Burada;

FMI= Yanıcı Madde Nemi

T =Sıcaklık (ºC)

H = Bağıl Nem (%)

F = Yangın Tehlikesi İndeksi

U = Rüzgar Hızı (km/s)

U_0 = Rüzgar Hızı Eşiği'ni ifade etmektedir.

Laneve ve diğ. (2020) tarafından İtalya'nın Sardinia adasında yapılan çalışmada günlük yangın tehlikesi, bitki örtüsünün yoğunluğu, türü ve nem içeriği, NDVI (Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi), Küresel Bitki Örtüsü Nem İndeksi (GVMI) ve günlük uydu görüntülerinden elde edilen evapotranspirasyon gibi bir dizi indeks kullanılarak geliştirilen özel yanıcı madde haritaları kullanılarak modellenmiştir. 2017 yangın sezonunda yanmış alan poligonları raster formatına çevrilmiş ve yangın sezonunun her günü için, toplam yanan alanın 10 ha eşik değerinden yüksek olması şartıyla, yanan alanların her pikseli için hesaplanan günlük yangın tehlike sınıfları kaydedilmiştir. Son olarak, çalışma alanın yangın tehlike sınıfı dağılımları belirlenmiştir.

2.3. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ

Orman yangınlarıyla mücadelede başarı, gerekli önlemleri zamanında almaktan, kaynakları verimli ve ekonomik kullanmaktan geçmektedir (Cumming 2005; Holmes ve Calkin, 2012; Küçük ve diğ., 2017). Yangın yönetiminin tüm aşamalarında yeni teknolojilerin kullanılması son derece önemlidir (Sağlam ve diğ., 2008a; Küçük ve diğ., 2017; Sevinç ve diğ., 2020). Yangınları zamanında tespit etmek ve yangınla mücadele birimlerine bildirmek yangın kontrol ve söndürme çabalarının başarısında önemli bir rol oynamaktadır (Arıcak ve diğ. 2014; Göltaş ve diğ.,2017). Orman yangını ile ilişkili kayıpların en aza indirmek, büyük ölçüde

yangından korunma, tespit ve yangınla mücadele gibi önlemlere bağlıdır. Yangın önleme başarısız olduğunda, yangınla mücadele stratejileri başlatılmalıdır, ancak bu yangının erken tespiti sonrasında gerçekleşebilir. Bu nedenle, yangınla mücadele maliyetlerini ve yangın kayıplarını azaltmanın en iyi yolu, erken tespit, kaynakların hızlı dağıtımı ve erken müdahaledir (Rego ve Catry, 2006; Küçük ve diğ., 2017).

Dünyada ve ülkemizde orman yangınlarının gözetlenmesi ve tespitinde uydu tabanlı sistemler (Giglio ve diğ., 1999; Nakau ve diğ., 2006; Aslan ve diğ., 2012), kamera tabanlı sistemler (Mathews, ve diğ., 2010) gibi gelişmiş yöntemler kullanılmasına rağmen halen yangın gözetleme kuleleri aracılığıyla ormanların gözetlenmesi en çok kullanılan yöntemdir. Geleneksel olarak yangına hassas bölgelerde ormanların gözetlenmesi yangın gözetleme kulelerindeki çoğunlukla gözeticiler aracılığıyla yapılmaktadır (Oğurlu, 1990). Gözetleme kulelerinden izleme faaliyetleri yangın sezonu boyunca görev yapan yangın gözetleme personelleri tarafından dürbünlerle 24 saat aralıksız olarak gerçekleştirilmektedir (Korkmaz, 2009). Yangın gözetleme kuleleri çıkan yangınların tespit edilmesinde ve ihbar yoluyla alınan yangın haberinin teyit edilmesinde önemli role sahiptir.

McArdle (1935) orman yöneticilerinin nöbetçi gözcü sayısının ne zaman artırılması gerektiğini ve bu gözcü sayısının ne zaman güvenli bir şekilde azaltılabileceğini belirlemek amacıyla, gözetleme kuleleri civarındaki görünürlük koşullarını ölçmeye yönelik araçsal bir yönteme ihtiyaç duyulduğunu tespit etmiştir Oküler görünürlük tahminlerinin yanlış olduğunu vurgulayarak görüş koşulları hakkında doğru bilgi sağlamak için gözcüler tarafından kullanılmak üzere pus ölçer olarak bilinen bir alet geliştimiştir. Bu alet, ölçüm anında geçerli olan koşullar altında standart boyutta bir yangının algılanabileceği maksimum mesafeyi mil olarak göstermektedir.

Göltaş ve diğ. (2017) yangınlarının en kısa sürede ve doğru bir şekilde tespit edilmesi ve orman yangınlarıyla mücadelenin etkin bir şekilde yapılabilmesi için gözetleme kulelerinin çok önemli olduğunu vurgulamıştır. Dalaman Orman İşletme Müdürlüğü'nde yapılan bu örnek çalışmada, çalışma alanını gözetleyen 9 yangın gözetleme kulesinin yeri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve kuleleri tarafından görünebilen orman alanları tespit edilmiştir. Çalışma alanını denetleyen 9 yangın gözetleme kulesi için görünürlük analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, görüş yüzdesini makul seviyelere çıkarmak için yeni yangın gözetleme kuleleri

eklenebilir veya aktif olmayan yangın gözetleme kulelerinin uygun yerlere taşınabileceği sonucuna varılmıştır.

Küçük ve diğ. (2017) tarafından ikinci derece yangına hassas Boyabat Orman İşletme Müdürlüğünde yapılan çalışmada öncelikle yangın gözetleme kuleleri ağı üzerinde bir görünürlük analizi gerçekleştirilerek görünen ve görenemeyen alanlar tespit edilmiştir. Daha sonra, yangın tehlike haritası (çok yüksek, yüksek, orta, düşük, açık alan); tür kompozisyonu, gelişim çağı, kapalılık eğim ve bakıya göre oluşturulmuştur. Son olarak, yangın tehlikesi haritası, mevcut yangın gözetleme kulelerinin bir görünürlük haritası ile kesiştirilerek tehlike sınıflarına göre görünen orman alanları belirlenmiştir.

Akay ve diğ. (2020) tarafından yangına hassas bölgelerde orman yangınlarının erken tespiti için en etkili yolun ormanlık alanların yangın gözetleme kulelerinden izlenmesi olduğu ve yangın kulelerindeki gözetleme personelinin mümkün olduğu kadar fazla orman alanını izleyebileceği şekilde sistematik olarak yerleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü'nde yapılan çalışmada bulunan gözetleme kulelerinin görünürlük yetenekleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı görünürlük ve uygunluk analizi ile değerlendirilerek mevcut kulelere ek olarak beş yeni kule önermişlerdir.

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu çalışma, yangın öncesi yönetim planlamaları, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın yönetim ve organizasyonlarına yardımcı olacak 3 ana bölümden oluşmaktadır: Bunlar;

- Makine Öğrenmesi tekniklerinden biri olan MaxEnt Yaklaşımı ile Yangın Risk Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması,
- Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan AHP tekniğiyle Yangın Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması,
- Yangın Gözetleme Kulelerinin Görünürlük Analizi'dir.

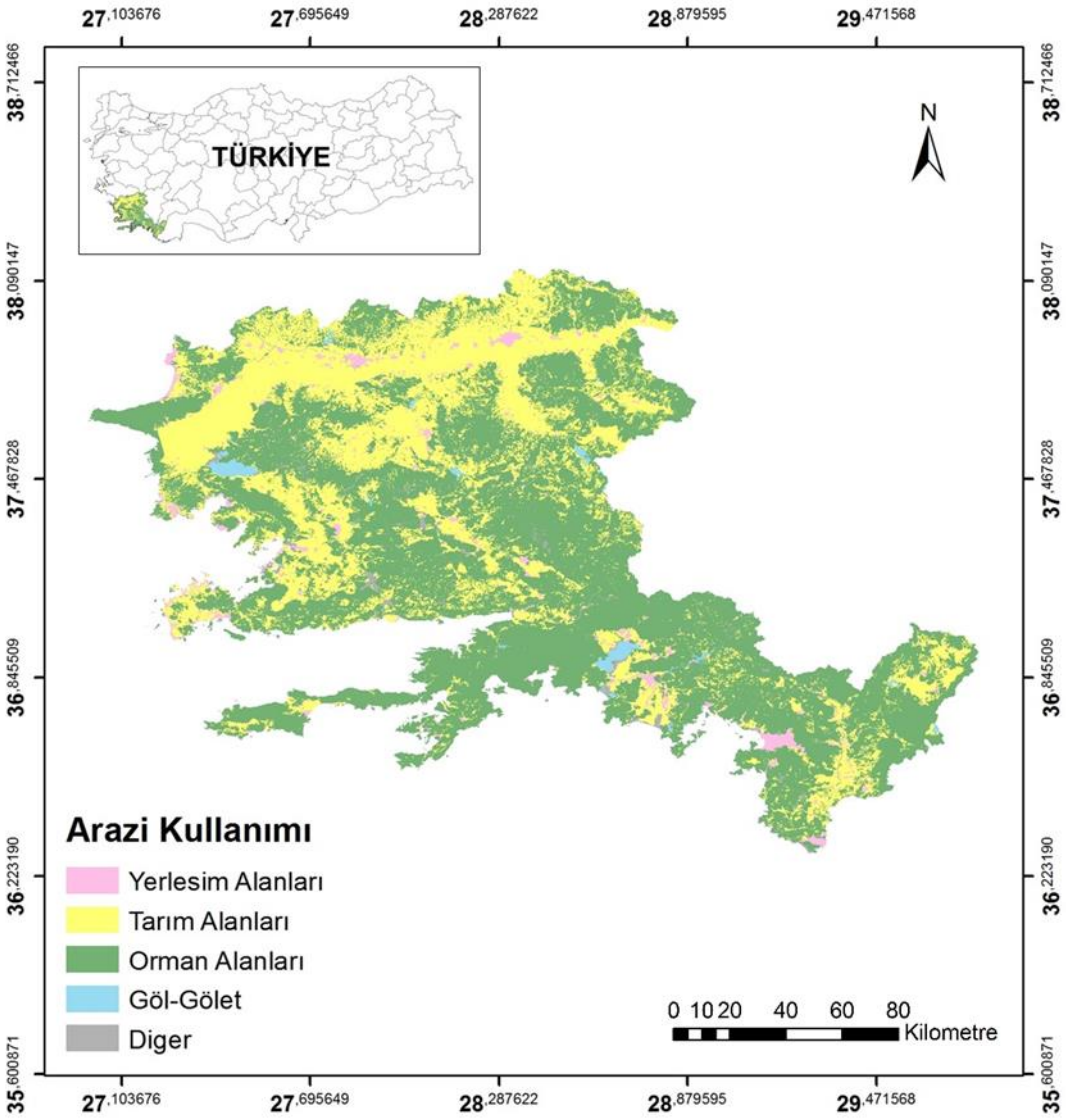
Orman yangınlarıyla mücadelenin başarılı olabilmesi sadece gerekli önlemlerin yerinde, zamanında alınması ve kaynakların etkin ve ekonomik bir şekilde kullanılması yanında gelişmiş teknolojilerin de yangın sürecinin her aşamasında kullanılmasıyla mümkün olabilecektir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. ÇALIŞMA ALANI

Akdeniz iklim kuşağı içinde yer alan Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (OBM)'nde yaz aylarında yüksek hava sıcaklıkları ve şiddetli yaz kuraklıkları görülmektedir. Bu durum, yaz döneminde geniş alanları etkileyen büyük orman yangınlarının oluşması ve geniş orman alanlarının zarar görmesi üzerinde etkili olmaktadır (Altan ve diğ., 2011). Bu yüzden çalışma alanı olarak Türkiye'nin güney batısını temsil eden Muğla Orman Bölge Müdürlüğü seçilmiştir (Şekil 4.1). Çalışma alanında bir yandan tarımsal faaliyetlerin çeşitliliği, bu faaliyetlerin yıl boyu devam etmesi ve tarım alanlarının ormanla iç içe bulunması, diğer yandan ise ülkemizin en gözde turistik bölgelerinden biri olması sebepleriyle insan kaynaklı orman yangınları açısından büyük bir risk taşımaktadır. Ayrıca orman içerisinde çok sayıda maden ocağının bulunması, orman içi ve yakınındaki yapılaşma ve turistik tesislerin büyük oranda artış göstermesi, sayısı günden güne artan rüzgâr tribünleri ve orman içine yapılmış çöp depolama alanları nedeniyle orman içi ve yakınındaki insan aktivitelerini arttırmakta ve bu durum insan kaynaklı orman yangınları riskini arttırmaktadır.

Muğla OBM bünyesinde 12 adet Orman İşletme Müdürlüğü (Aydın, Nazilli, Dalaman, Fethiye, Seydikemer, Köyceğiz, Marmaris, Muğla, Kavaklıdere, Yatağan, Milas, Yılanlı), 104 adet Orman İşletme Şefliği bulunmaktadır. 2.051.212 hektarlık alana sahip olan Muğla OBM'nin %56'sı (1.158.925 ha) ormanlarla kaplıdır. Çalışma alanı ormanlarının %67'sinin 500 metre rakımın altında bulunması nedeniyle yoğun ölü ve diri örtü bulunmakta ve yangın risk ve tehlike potansiyelini arttırmaktadır. Nitekim 2021 yılında çalışma alanında 369 adet yangın çıkmış olup 52.219 hektarlık orman alanı, orman yangınlarından zarar görmüştür (URL 1).



Şekil 4.1: Çalışma Alanı Arazi Kullanım Haritası.

4.2. ALTLIK HARİTALARIN HAZIRLANMASI VE DEĞİŞKENLER

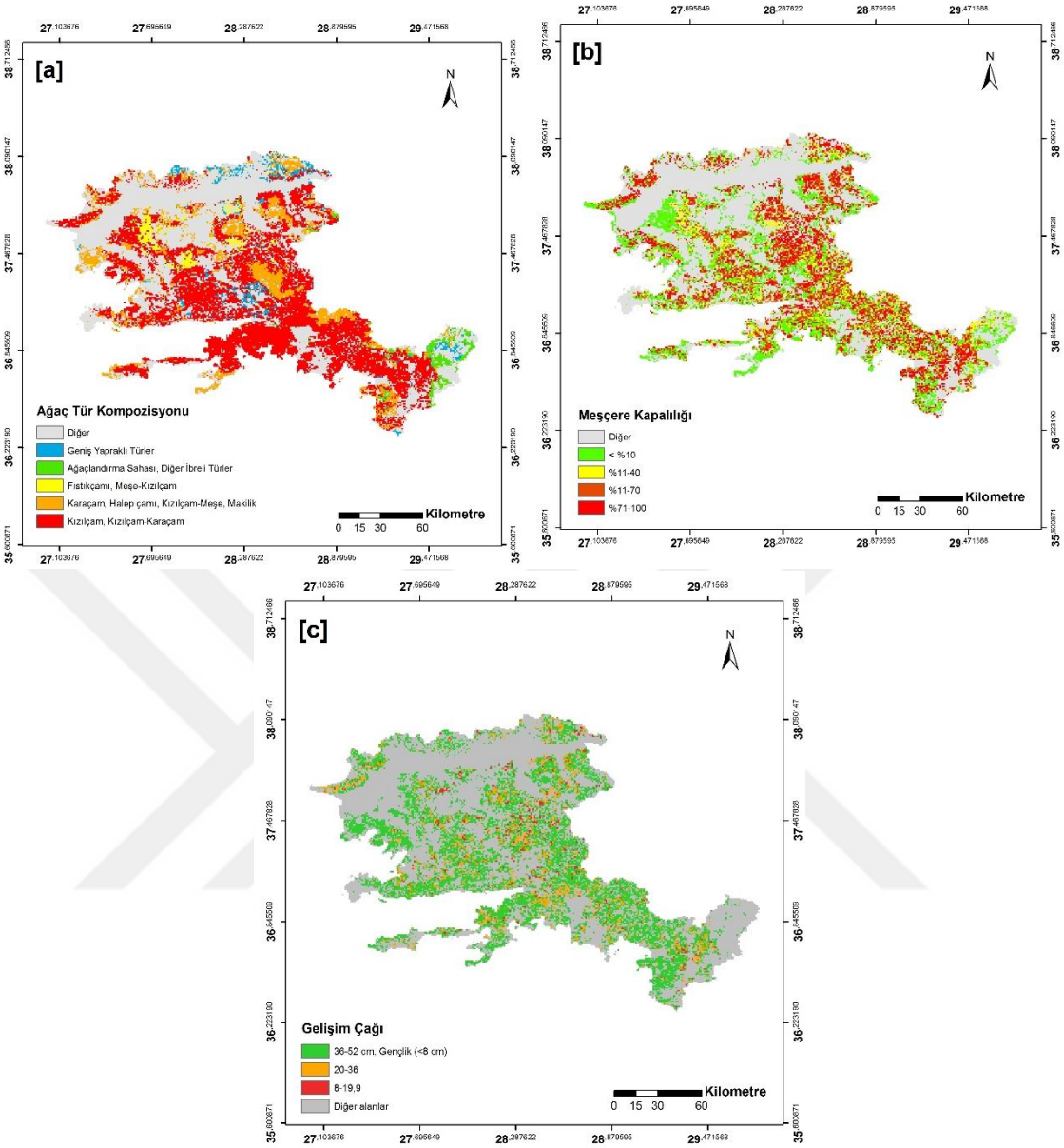
Yangın risk ve tehlike potansiyelinin modellenmesinde açıklayıcı değişken olarak kullanılmak üzere yanıcı madde, insan aktiviteleri, topoğrafya ve meteorolojik parametrelerin altlık haritaları hazırlanmıştır.

4.2.1. Yanıcı Madde Haritaları

Yanıcı madde; örtüde ya da tepede canlı veya ölü olarak bulunan, tutuşup yanma özelliğine sahip organik materyallerdir. Yanıcı madde tipi, sürekliliği, miktarı, boyutu gibi özellikleri yangın davranışı üzerinde etkilidir. Yanıcı madde tipi, yanıcı maddelerin

yanabiliriliğini; yanıcı madde sürekliliği, yangın şiddetini, yayılma yönü ve oranını; yanıcı madde boyutu da yanma hızını etkilemektedir (Küçük ve diğ., 2005). Bu tez çalışması kapsamında geliştirilecek modellerde, yanıcı madde tipini temsilen tür kompozisyonu; yanıcı madde sürekliliği ve miktarını temsilen meşçere kapalığı; yanıcı madde boyutunu temsilen gelişim çağı açıklayıcı değişken olarak dikkate alınmıştır. Ağaç türlerinin yangına karşı olan dirençleri farklılık göstermektedir. Ülkemiz ormanlarında özellikle kızılçam ve karaçam türleri ile birlikte bazı maki türlerinin yangın risk ve tehlike potansiyeli yüksektir. (Mutch ve diğ., 1993; Küçük ve diğ., 2005).

OGM'den temin edilen orman amenajman veri tabanında bulunan meşcere haritaları ağaç tür kompozisyonu, gelişim çağı ve kapalılığa göre yeniden sınıflandırılarak yanıcı madde özelliklerini temsil eden meşçere özellikleri haritaları ArgGIS programı yardımıyla hazırlanmıştır (Şekil 4.2). Vektör formatlı hazırlanan meşçere özellikleri haritaları raster formatına dönüştürülmüştür.



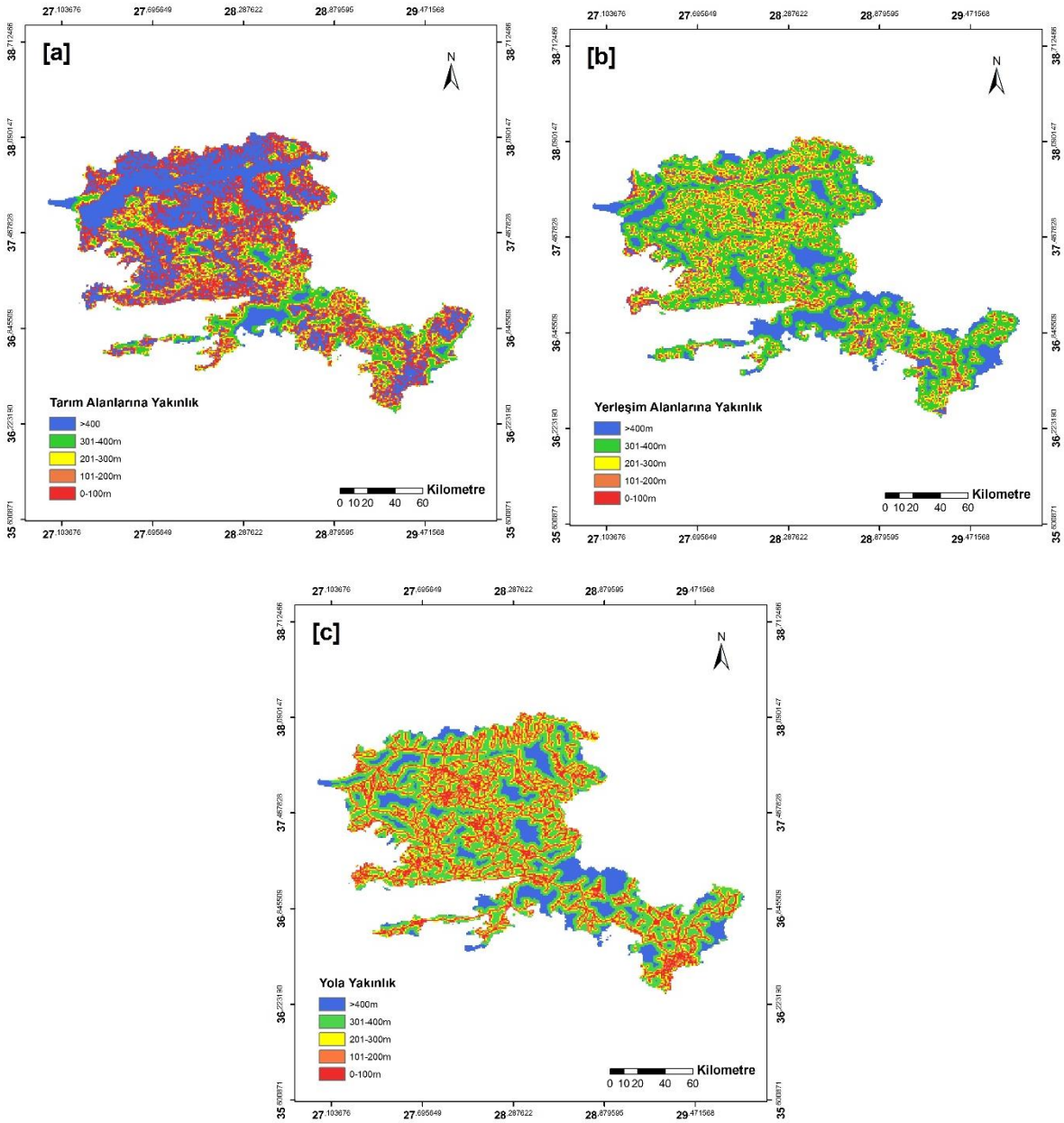
Şekil 4.2: Meşcere (Yanıcı Madde) Özellikleri Altlık Haritaları (a) Ağaç Tür Kompozisyonu, (b) Meşcere Kapalılığı, (c) Gelişim Çağı.

4.2.2. İnsan Aktivitesi Haritaları

Akdeniz ülkelerinde insan aktiviteleri orman yangınlarının risk değerlendirmesinde büyük önem taşımaktadır (Henderson ve diğ. 2005). Avrupa'daki yangınların %97,1'inin doğrudan veya dolaylı olarak insan kaynaklı etkenlerden kaynaklandığı görülmektedir (Ganteaume ve diğ., 2013) . İnsan kaynaklı yangın oluşumunu modellemeye yönelik ilk girişimler, demografik göstergeler veya ormanlık alanlara genel erişilebilirliğe ilişkin veriler kullanılarak insan faaliyetlerinin dolaylı değerlendirmelerine dayanmaktadır (Altobellis 1983; Donoghue ve Main 1985). Daha sonra, yangın oluşumu, yollara olan yakınlık, tarım alanlalarına yakınlık veya yerleşim yerlerine olan yakınlık gibi mekansal olarak net faktörlerin rolü

araştırılmıştır (Chuvieco ve Congalton, 1989; Vega-García ve diğ.,1995; Pew ve Larsen, 2001; Prestemon ve Butry, 2005; Vasilakos ve diğ., 2007; Yang ve diğ., 2007; Sevinç ve diğ., 2020)
.

Orman alanlarının yol, tarım, yerleşim alanlarına mesafelerine göre buffer zon atılarak tutuşturucu kaynak olan insan aktivitesinin etkisini ortaya koymak amacıyla buffer haritaları oluşturularak uygun raster formata çevrilmiştir (Şekil 4.3).

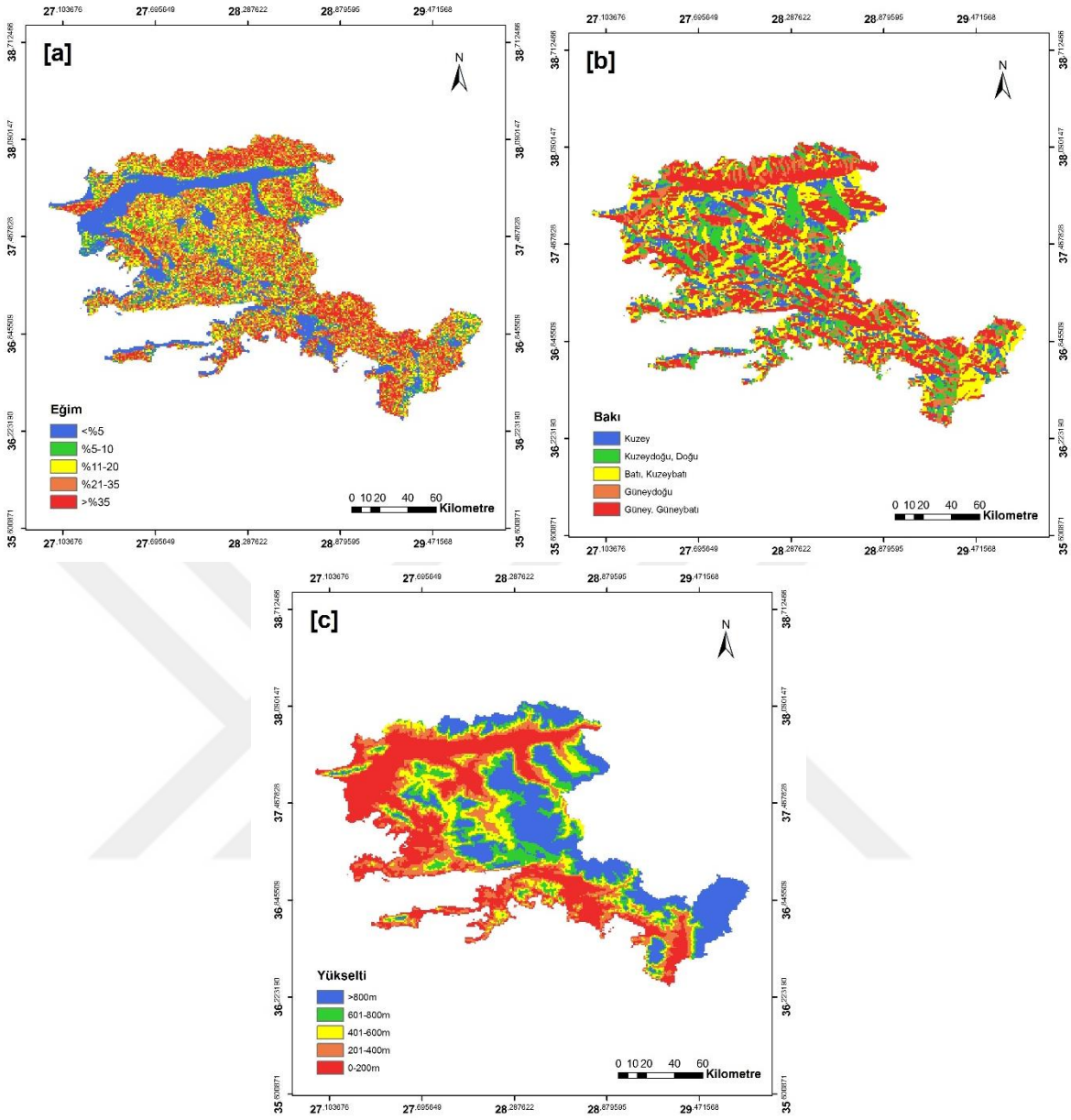


Şekil 4.3: İnsan Aktivitesine Yakınlık Haritaları (a) Tarım Alanlarına Yakınlık, (b) Yerleşim Alanlarına Yakınlık, (c) Yola Yakınlık.

4.2.3. Topoğrafik Haritalar

Topoğrafya yangın davranışını etkileyen sabit faktörlerdendir. Bakıya bağlı olarak yanıcı madde özelliklerinde farklılıklar olmaktadır. Kuzey yarım kürenin güneyli bakılarında daha fazla güneş ışığı, daha yüksek sıcaklıklar, sert rüzgârlar ve düşük nem durumu görülmektedir. Bunlara bağlı olarak güney bakılı yamaçlarda yanıcı madde neminin daha düşük olması, yanıcı maddeyi yanmaya daha elverişli hale getirerek yangın riskini arttırmaktadır. Yükselti; hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen değişiklikler bakımından yangını etkileyen topoğrafik faktörlerdendir. Eğim; Yangının yayılma yönü ve yayılma oranı üzerinde etkili olmaktadır (Bilgili ve diğ., 2002).

Topoğrafik özellikleri temsil eden eğim, bakı ve yükselti haritaları ArgGIS programı kullanılarak sayısal arazi modelinden (DEM) türetilmiştir (Şekil 4.4).



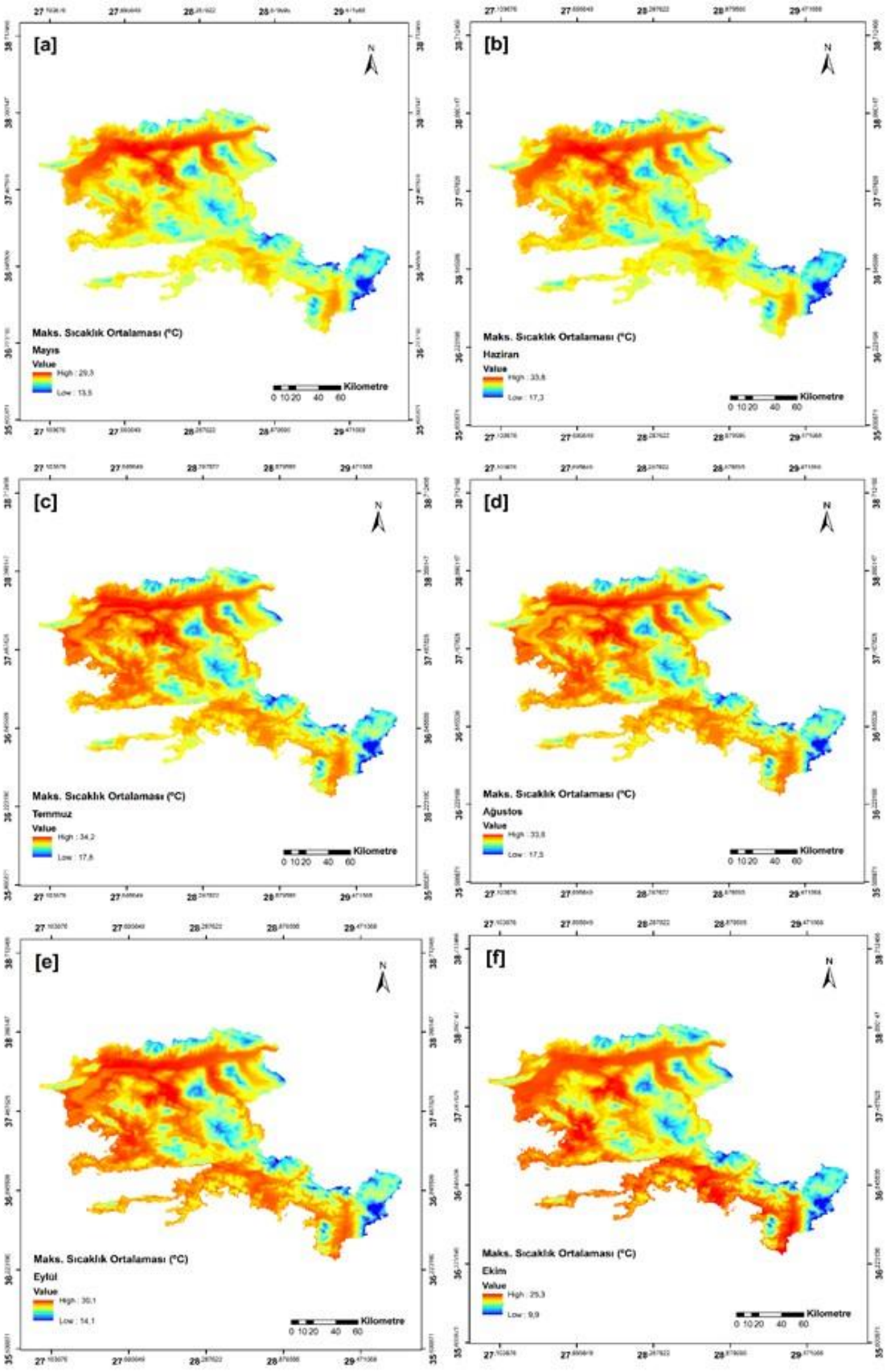
Şekil 4.4: Topoğrafya Haritaları (a) Eğim, (b) Bakı, (c) Yükselti.

4.2.4. Meteorolojik Parametre Haritaları

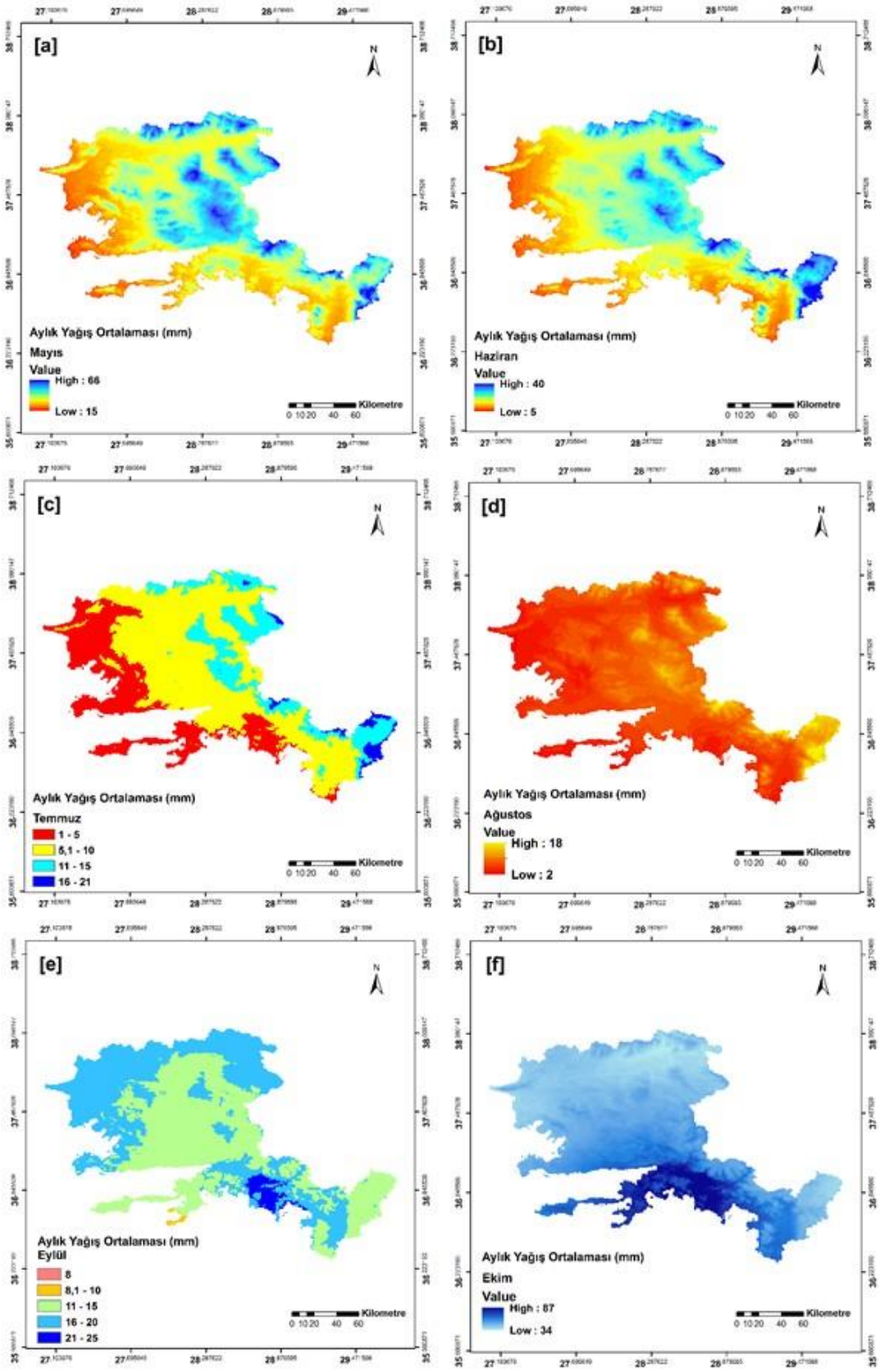
İklim, bir bölgedeki bitki örtüsünü belirler ve dolayısıyla yangına hassas alanların oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bölgenin iklimi ne kadar kuruysa, bölge o derce yangına meyilli olmaktadır. Yüksek sıcaklık, hem yanıcı maddenin kurumasına neden olmakta hem de yanıcı madde sıcaklığının arttırarak yanıcı materyalin tutuşması için daha az ısıya ihtiyaç duymasına sebep olmaktadır. Yağış, yanıcı madde neminde artışa neden olmakta ve bu yüzden yangın ihtimalini ve yangın tehlike potansiyelini düşürmektedir. Gün içerisinde yangın riskinin en yüksek olduğu zamanlar sıcaklığın en yüksek, bağıl nemin en düşük olduğu öğle saatleridir. Bu yüzden değişken olarak aylık ortalama sıcaklık yerine Maksimum sıcaklık

ortalamaları açıklayıcı değişken olarak dikkate alınmıştır. Rüzgar, yangın potansiyelini etkileyen en kritik meteorolojik faktördür (Gorski ve Farnsworth, 2000) ve bir yangının yayılma hızını ve yönünü belirleyen ana bileşenlerden biridir. Rüzgar, yangın öncesinde kurutucu etkisiyle tutuşma ihtimalini arttırırken yangın esnasında ise alevlerin yanıcı maddeler üzerine eğilmesine neden olarak yangının şiddetini ve yayılma oranını arttırmaktadır.

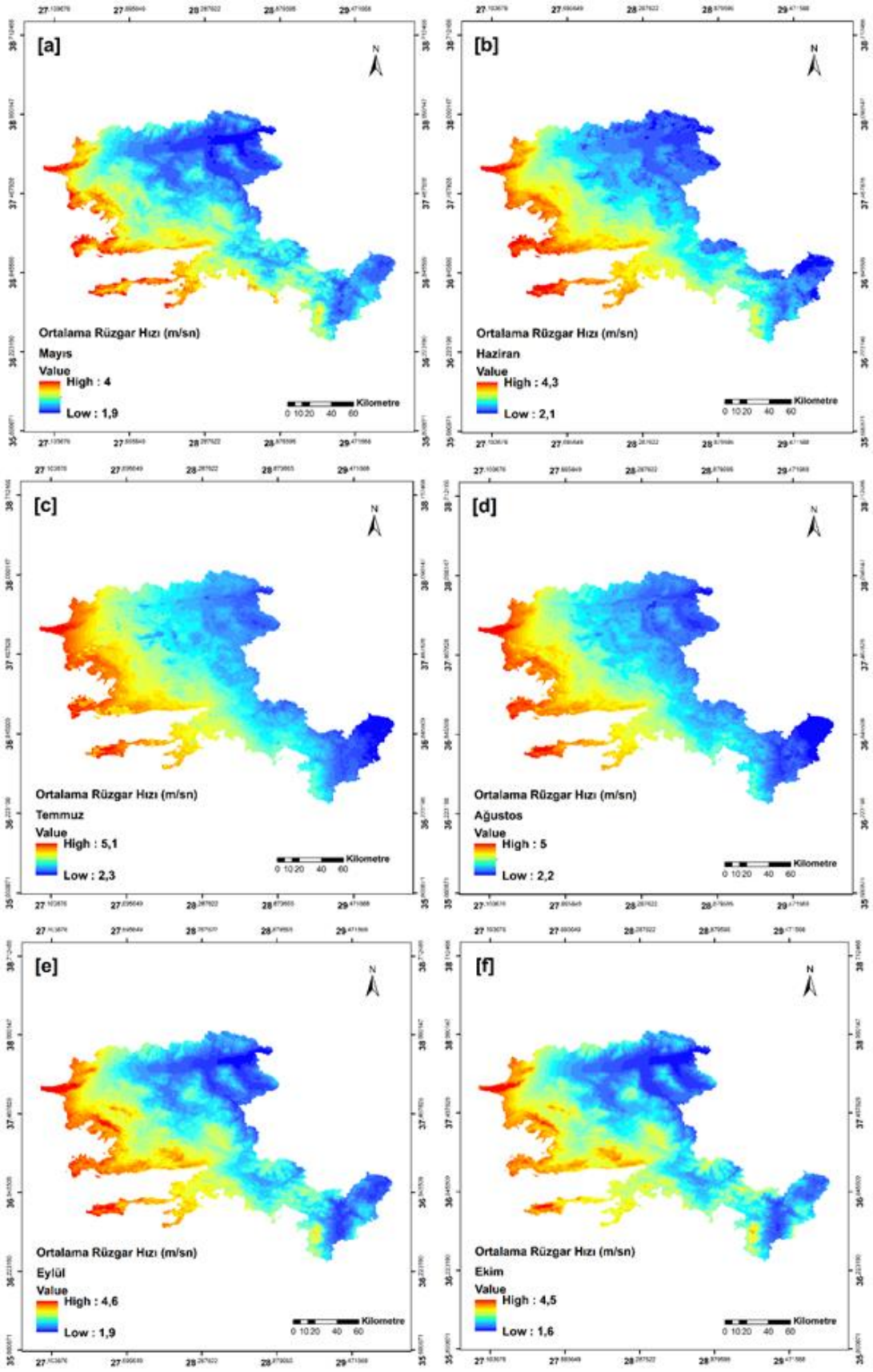
Meteorolojik parametreleri temsil eden sıcaklık, yağış, solar radyasyon ve rüzgar hızı haritaları için açık kaynaklı internet sitesinden (URL-2) yararlanılmıştır (Şekil 4.5-4.7). Aylık maksimum sıcaklık, yağış ve rüzgar ortalamalarını gösteren haritalar, ArgGIS programı kullanılarak çalışma alanına göre kesilmiştir (Şekil 4.5-4.7).



Şekil 4.5: Maksimum Sıcaklık Haritaları (a)Mayıs, (b)Haziran, (c) Temmuz, (d) Ağustos, (e) Eylül, (f) Ekim.



Şekil 4.6: Yağış Haritaları (a) Mayıs, (b)Haziran, (c) Temmuz, (d) Ağustos, (e) Eylül, (f) Ekim.



Şekil 4.7: Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı (a) Mayıs, (b) Haziran, (c) Temmuz, (d) Ağustos, (e) Eylül, (f) Ekim.

4.3. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

Yangın risk potansiyelinin modellenmesi ve haritalanması işlemi yangın sezonu boyunca aylık olarak Maksimum Entropi (MaxEnt) yöntemi ile yapılmıştır. MaxEnt yöntemi ve modelleme süreci aşağıda açıklanmaktadır.

4.3.1. Maksimum Entropi (MaxEnt) Yöntemi

Maksimum Entropi (MaxEnt), sadece var verileri kullanılarak tür habitatının n-boyutlu çevresel alandan olasılık dağılımının modellenmesine yönelik bir makine öğrenme algoritmasıdır (Phillips ve diğ., 2006). Veri değerlendirmesi ve modellemeler için maksimum entropi yaklaşımını kullanan java tabanlı MaxEnt 3.4.1 açık kaynak kodlu yazılım kullanılmaktadır (Phillips ve diğ., 2006; Elith ve Leathwick, 2009). MaxEnt yazılımı, maksimum entropinin olasılık dağılımını her var noktasında (bağımlı değişken), çevresel değişkenlere (bağımsız değişkenler) uyarlayarak bir hedef olasılık dağılımını tahmin etmektedir. MaxEnt özellikle var veri noktalarını çevresel değişkenlere uyarlar ve bu türler için çevresel gereksinimleri (yani uygunluğu) tahmin eden bir yazılımdır (Phillips ve diğ., 2006; Parisien ve diğ., 2012).

MaxEnt yazılımının kullanılabilmesi için var veri noktalarının koordinat değerlerinin virgülle ayrılmış (yangın, x, y) “csv” dosyası olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Çevresel değişken olarak kullanılacak bağımsız değişken haritalarının aynı çözünürlük ve koordinat sisteminde sahip olacak şekilde ascii formatında olması gerekmektedir. Çevresel değişkenler, kategorik veya sürekli veri tipinde girilebilir. Bilgiler, bilinen açıklayıcı değişkenleri kullanarak örneklenmemiş bölgelerin tür (nokta) dağılımını tahmin etmek ve “lojistik”, “kümülatif” ve / veya “ham” raw olasılıkları içeren bir habitat uygunluk (tür dağılım) haritası oluşturmak için kullanılmaktadır. Çıktılardaki her bir hücrenin harita değerleri, grid hücresi başına mutlak olmaktan ziyade nisbi varlık olasılığının bir tahminini temsil etmektedir. Yazılım, modelde kullanılan çevresel değişkenlerden tarafsız olarak toplandığını varsaymaktadır (Phillips ve diğ., 2006).

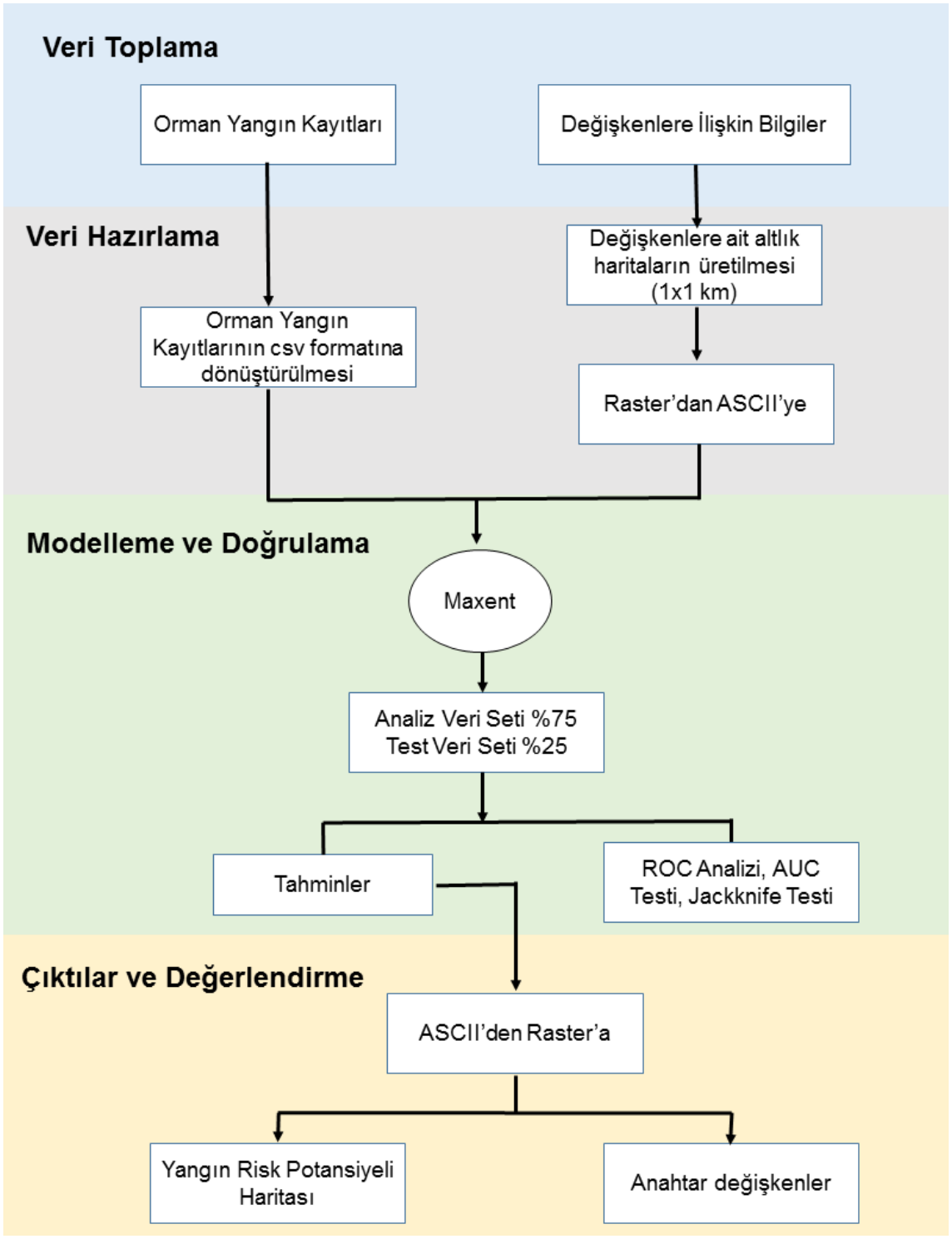
Modelleme sonucu çıkan uygunluk haritalarının gerçekle ne kadar uyuştuğunun denetlenmesi Reciever Operating Characteristic (ROC) eğrisi analizi ile yapılmaktadır. Eğrinin anlamlılığı Area Under Curve (AUC) ile yani eğri altında kalan alanın büyüklüğüyle ölçülmektedir (Evcin, 2018). Eğrinin altındaki alan (AUC), sistemin önceden tanımlanmış

"olayların" doğru bir şekilde meydana gelmesini veya gelmemesini bekleme yeteneğini tanımlayarak bir tahmin sisteminin kalitesini karakterize etmektedir (Bui ve diğ., 2012). Model performansı ile AUC değeri arasındaki nicel-nitel ilişki 0,5-0,6 (kötü), 0,6-0,7 (ortalama), 0,7-0,8 (yüksek), 0,8-0,9 (çok yüksek) ve 0,9–1 (mükemmel) şekilde kategorize edilmektedir (Yeşilnacar, 2005; Graham ve Hijmans, 2006).

Modelleri etkileyen değişkenlerin sorgulanması ve değerlendirilmesinde ise jackknife test yöntemi kullanılmaktadır (Krebs, 1998; Phillips ve diğ., 2006). Bu yöntemde her tekrar için çevresel değişkenlerin biri dışarıda bırakılıp, geriye kalan değişkenler kullanılarak model çalıştırılmakta ve sonuç olarak oluşan kazanç hesaplanmaktadır. Daha sonra model yalnızca etkisi hesaplanmak istenen değişken kullanılarak ikinci bir kazanç daha hesaplamaktadır. Toplam kazanç tüm değişkenler analize tekrar katılarak hesaplanmaktadır. Elde edilen kazanç modeli oluşturan değişkenlerin model sonucuna verdikleri katkıyı ölçmek için kullanılmaktadır (Ertürk, 2010; Süel, 2014; Evcin, 2018).

4.3.2. Maksimum Entropi (MaxEnt) Yaklaşımı ile Yangın Risk Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması

Yangın risk potansiyelinin modellenmesi ve haritalanmasında kullanılan değişkenler şunlardır; Ağaç Tür kompozisyonu, Maksimum Sıcaklık, Yağış, Solar Radyasyon, Bakı, Yola Yakınlık, Yerleşim Yerlerine Yakınlık, Tarım Alanlarına Yakınlık'tır. Yangın Çıkma İhtimalini tahmin eden MaxEnt model akış diyagramı Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8: Yangın Risk Potansiyelinin Modellenmesine İlişkin Akış Diyagramı.

MaxEnt yazılımında kullanılmak üzere bağımlı değişken olan yangın sezonu geçmiş yangın kayıtlarının (2008-2018) koordinat değerleri virgülle ayrılmış (yangın, X, Y) "csv" dosyası aylık olarak düzenlenmiştir. Çevresel değişken olarak kullanılacak bağımsız değişkenler kullanılarak türetilen altlık haritaların aynı çözünürlük (1x1km) ve aynı koordinat

sistemine (WGS 84) sahip olocak şekilde ascii formatında hazırlanmıştır. Daha sonra geçmiş yangın aylık kayıtları (2008-2018) programın Örnekler (Samples), açıklayıcı değişken altlık haritaları çevresel katmanlar (Environmental Layers) kısmına eklenmiştir. Ağaç Tür Kompozisyonu ve Bakı kategorik değişken olarak tanımlanmışken diğer değişkenler ise sürekli veri tipinde yazılıma tanıtılmıştır. MaxEnt yazılımıyla modellemede kullanılan ayarda örnekleme yöntemi olarak Crossvalidate yöntemi ile aynı temel varsayımlara dayanan Boostrap yöntemi seçilmiştir. Boostrap örnekleme yöntemi, modeli daha fazla eğitmek için ek işlem süresi gerektiren bir kaldır ve bir değiştir tekniğini kullanmaktadır (Kohavi, 1995). Model çıktı formatı olarak tür veya yangın için karakteristik koşullara sahip tüm alanlarda bulunma olasılığını tahmin etmek için Lojistik (logistic) format seçilmiştir (Elith ve diğ., 2011). Verilerin testi için her çalıştırmada farklı bir rastgele noktalama seçeneği (random seed) seçilmiş ve rastgele test yüzdesi %25 olarak alınmıştır (yangın kayıtlarının %25'i model sınamaları için rastgele kullanılmıştır). Modelleme işlemi, her çalıştırma farklı bir rastgele noktalama kullandığından ve kararlı bir model için birden çok çalıştırma gerektirmesi nedeniyle 20 kez tekrarlanmış ve regularization çarpanı 1 olarak alınmıştır. Regularization çarpanı tahmin edilen dağılımın ne kadar gerçeğe uyumlu ya da belli bir odaklanmaya sahip olduğunu belirlemektedir. 1'den küçük değerler modelde tanımlanan var noktalarına uyumlu daha lokal dağılımlarla sonuçlanırken, 1'den büyük değerler ise var verisinden daha geniş bir dağılım alanı ile sonuçlanmaktadır (Philips ve diğ., 2006). Tepki eğrileri, her bir çevresel değişkenin orman yangını ile nasıl ilişkili olduğunu göstermektedir. Her bir değişkenin önemini test etmek için Jackknife testi kullanılmıştır (Elith ve diğ., 2011). Model performansı, AUC değeri ile tespit edilmiştir. Model performansı, AUC değeri, 0,5-0,6 arasındaysa kötü; 0,6-0,7 arası ortalama;, 0,7-0,8 arası yüksek; 0,8-0,9 arası yüksek ve 0,9–1 arası mükemmel olarak tespit edilmiştir (Yeşilnacar, 2005; Graham ve Hijmans, 2006). YRP model denetimi için Jackknife testine ek olarak 2019-2020 yangınları, YRP haritalarının doğruluğu denetlenmiştir.

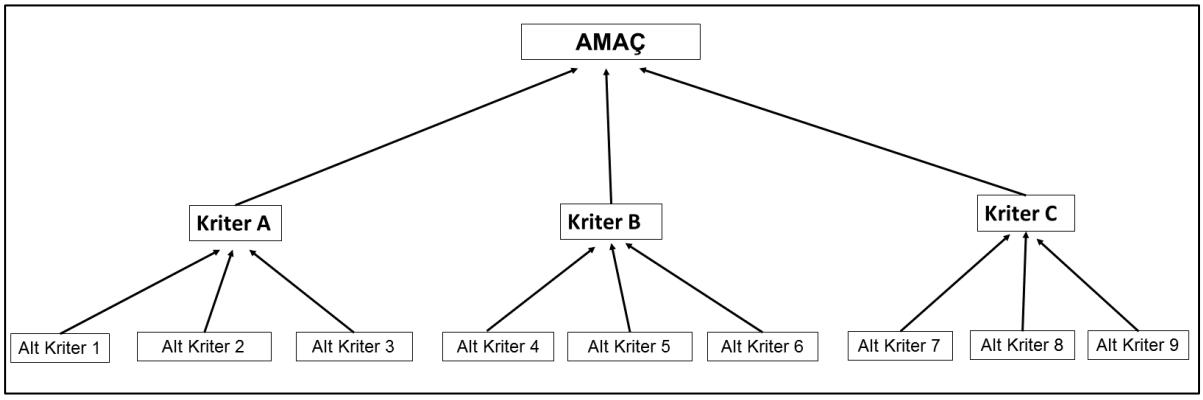
4.4. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİNİN MODELLEMESİ VE HARİTALANMASI

Yangın tehlike potansiyelinin modellenmesi ve haritalanması işleminde Çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)'nden yararlanılmıştır. AHP yöntemi ve modelleme süreci aşağıda anlatılmıştır.

4.4.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi

AHP, karmaşıklığı basitleştirmek ve sentezlemek için çok çeşitli çalışma konularında kullanılabilecek bir araçtır. AHP, olası karar alternatiflerinin veya sonuçlarının göreli ağırlıklarının, ikili karşılaştırmaların matematiksel bir temsiline dayalı olarak işlevsel bir değerin verildiği çok kriterli karar verme yöntemidir (Saaty, 1990). Analitik Hiyerarşi Süreci Hiyerarşi inşası, ikili karşılaştırmalar, ağırlıkların hesaplanması, tutarlılık kontrolü ve sonuç üretilmesi olmak üzere beş adıma ayrılmaktadır (Saaty, 2001).

AHP sürecine başlamak için öncelikle kararın genel sonuca katkıda bulunan kısımlarının belirlenmesi ve hiyerarşinin inşası gerekmektedir (Şekil 4.9). Bunu yapmak için kararın kriterlere (kategorilere) ayırılması, ardından daha alt kriterlere bölünmesi gerekmektedir. Kriterler ve alt kriterler belirlendikten sonra, her bir faktörün karara ne kadar katkıda bulunduğunu belirlemek için faktörlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması gerekmektedir. Karşılaştırma yapmanın iki yolu vardır. İlk yol, her uzmanın kendi görüşünü ortaya koyması sonucunda grubu temsilen tek bir değer elde etmek için bazı yöntemler (ortalama, ağırlıklandırma, ortalama belirleme) kullanılmaktadır. İkinci yol ise, uzmanların tartışması ve birlikte bir fikir birliği elde etmesidir. İster her uzman kendi karşılaştırma matrisini derlesin, isterse tüm uzmanlar genel bir fikir birliğine karar versin, gerekli sonuç nxn boyutlu tek bir ikili karşılaştırma matrisi olmalıdır.



Şekil 4.9: Analitik Hiyerarşi Süreci Hiyerarşi İnşası.

Alt kriterin de her birinin birbiriyle karşılaştırılması gerekecektir. Bunu yapmanın da iki yöntemi vardır. Birinci yöntemde, ana kriterler birbirleriyle karşılaştırıldıktan sonra ana kriterlerin altında, her bir alt kriterin ayrı ayrı karşılaştırılmasıdır. İkinci yöntemde ise her bir alt kriterin karara genel katkısını belirlemek için, her bir alt kriteri doğrudan birbiriyle karşılaştırılmakatadır. Bu yöntem daha fazla karşılaştırma içerir ve belirsiz bir sonuca yol açan

çok farklı iki alt kriter arasında bir karşılaştırma yapılabileceğinden kafa karıştırıcı hale gelebilmektedir.

Sonuç olarak çeşitli yöntemler tercih edilerek konunun uzmanları tarafından toplam n sayıdaki kriter veya alt kriterler arasında ikili karşılaştırılmalar yapılması sonucunda n×n boyutunda ikili karşılaştırma (A matrisi) matrisi elde edilmektedir.

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Kriterlerin karşılaştırılmasında Saaty (1990) tarafından geliştirilen 9 puanlı önem ölçeği kullanılmaktadır (Tablo 4.1). Kriterlerin karşılaştırılmasında matris elemanları arasında çift taraflı değer elde edilir yani i=1, 2, 3, …n ve j=1, 2, 3, …n olmak üzere matris elemanları $a_{ij}=1/a_{ji}$ ilişkisine sahiptir, ayrıca köşegen üzerindeki matris elemanları kendileriyle karşılaştırıldığı için 1 değerini almaktadır (Saaty, 1990).

Tablo 4.1: İkili Karşılaştırma Yönteminde Kullanılan Önem Ölçeği (Saaty, 1990).

Dereceler	**Tanım**
1	Eşit önemli
3	Biraz daha önemli
5	Daha önemli
7	Çok daha önemli
9	Kesinlikle önemli
2, 4, 6, 8 - Ara değerler	

Kriter veya alt kriterlerin ağırlıklarını belirlemek üzere karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörleri yardımıyla Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi (C matrisi) oluşturulur. C matrisi elemanlarının hesaplanmasında Denklem 4.1 kullanılmaktadır.

$$C=\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{c_{ij}} = \frac{\mathbf{c_{ij}}}{\sum_{i=1}^{n} \mathbf{c_{ij}}} \qquad (4.1)$$

Kriter ağırlıklarının (W) belirlenmesi için Denklem 4.2 kullanarak C matrisini oluşturan satır elemanlarının aritmetik ortalaması hesaplanmaktadır.

$$W=\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{W_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{c_{ij}}}{\boldsymbol{n}} \qquad (4.2)$$

Tüm toplam ağırlıklar hesaplandıktan sonra, AHP'nin bir sonraki adımı faktör matrisinin tutarlılığını kontrol etmektir. Matristeki tutarlılık sürecin sonucunu etkilediği için önemlidir. Tutarlılığın ölçülebilmesi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmalıdır. Tutarlılık oranın belirlenebilmesi için aşağıdaki adımların sırasıyla takip edilmesi gerekmektedir. A karşılaştırma matrisi ile W ağırlık vektörünün çarpımından D sütun vektörü elde edilmektedir.

$$D=AxW=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix}$$

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölünmesiyle (Denklem 4.3) kriterlere ilişkin temel değer (E) bulunmaktadır. Kriterlere ilişkin temel değerlerin (E) aritmetik ortalaması (Denklem 4.4) λ katsayısını vermektedir. λ katsayısı hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), denklem 4.5 kullanılarak hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı (CR) ise denklem 4.6'dan yararlanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 4.6'daki Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) sabit değerlerdir ve kriter sayısına göre farklılık göstermektedir (Saaty, 1990). Bu indeks, rastgele oluşturulmuş bir n × n kriterli karşılaştırma matrisinin (9 puanlık önem ölçeğine dayalı) belirli bir miktarda tutarsızlık üretebileceği fikrine dayanmaktadır. n'den 10'a kadar olan değerler için, Saaty tarafından rastgele üretilen 500 matrisin ortalama tutarsızlıklarını hesaplanmıştır ve Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) adını verilen bir karşılaştırma indeksi ortaya konulmuştur.

$$E_{\text{İ}} = \frac{d_i}{w_i} \qquad i = (1,2,3 \dots n) \qquad (4.3)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{n} \quad (4.4)$$

$$CI = \frac{\lambda - \mathrm{n}}{n-1} \quad (4.5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.6)$$

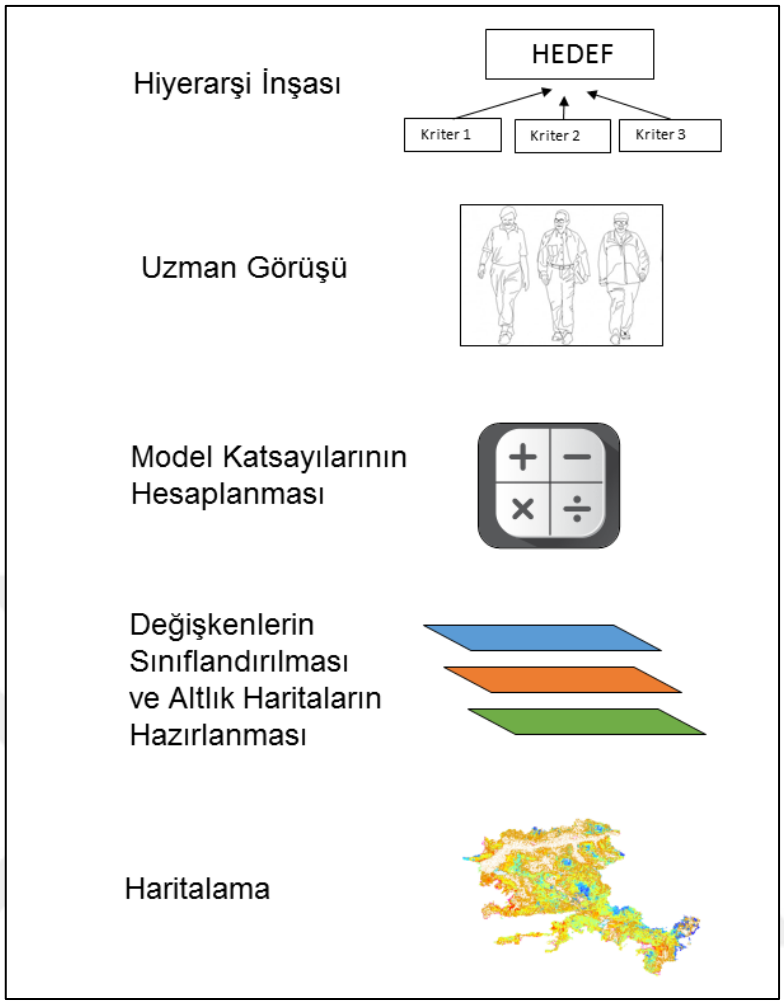
Tablo 4.2: Rastgele Tutarlılık İndeksi (Saaty, 1990).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.058	0.090	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0.01'den küçükse, kullanımdaki matris yeterince tutarlıdır ve sonuçların hesaplanması için kullanılabilir. Eğer Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0.01'den büyükse nihai kararın tutarlılığını artırmak için ikili karşılaştırmalar uzmanlar tarafından yeniden yapılmalıdır.

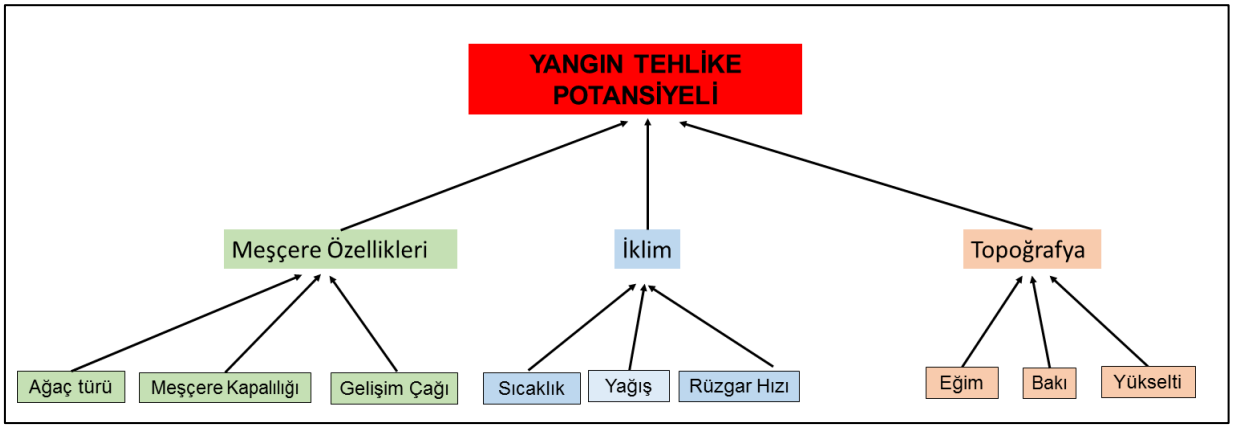
4.4.2. AHP yöntemi ile Yangın Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması

Yangın tehlike potansiyelinin modellenmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden analitik hiyerarşi süreci yöntemi kullanılmıştır. yangın tehlike potansiyelinin modellemesine ilişkin akış diyagramı Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Yangın Tehlike Potansiyelinin Modellemesine İlişkin Akış Diyagramı.

AHP ile yangın tehlike potansiyelini modellemek için yangın davranışını etkileyen topoğrafya, iklim (hava halleri) ve meşçere özellikleri (yanıcı madde özellikleri) olan ana kriterlere bağlı 9 alt kriter belirlenmiş ve hiyerarşi inşası yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Ana ve Alt Kriterlere İlişkin Karar (Hiyerarşi) Şeması.

AHP yöntemi kullanılarak ana kriter ve alt kriterlerin önem derecesini belirlemek için 5 uzman görüşüne başvurulmuş ve her uzman kendi görünüşünü ortaya koymuştur. Grubu temsilen değer elde etmek için uzman görüşlerinin ortalaması alınarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Yöntem (3.4.1) kısmında açıklanan hesaplama adımları takip edilerek toplam değeri 1 olan normalleştirilmiş ağırlık katsayıları elde edilmiştir. Ardından matrisin Tutarlılık Oranları (CR) hesaplanmış ve sonuçlar karar vericilerin tutarsızlıklarının olmadığını ortaya çıkarmıştır. Model katsayılarını belirlemek için ana kriter ile alt kriterlerin ağırlık katsayıları çarpılarak alt kriterlerin model içindeki nihai ağırlıkları belirlenmiştir.

Daha sonra, değişken sınıflarına, her bir sınıfın tehlike potansiyeline göre çok yüksek, yüksek, orta ve düşük olmak üzere bir yangın tehlike derecesi verilmiş (Jaiswal ve diğ., 2002) ve ardından her bir yangın tehlike parametresi kendi içerisinde ArcMap 10.5 (ESRI, 2017) programı kullanılarak yeniden sınıflandırılma (reclasify) yoluyla 1'den 5'e kadar derecelendirilerek altık haritalar türetilmiştir (Tablo 4.3). Parametrelere atanan değerlerde "1" değeri yangın tehlikesinin çok düşük, "5" değeri ise yangın riskinin çok yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 4.3: Yangın Tehlike Potansiyelinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterlerin Nispi Etkilerinin Sınıflandırılması.

Değişkenler (Alt Kriterler)	Sınıflar	Yangın Tehlike Değeri	Yangın Tehlikesi
1. Ağaç Tür Kompozisyonu (ATK)	Kızılçam	5	Çok Yüksek
	Kızılçam ve Karaçam	5	Çok Yüksek
	Karaçam, Halep çamı	4	Yüksek
	Kızılçam ve Meşe	4	Yüksek
	Maki	4	Yüksek
	Fıstıkçamı	3	Orta
	Meşe ve Kızılçam	3	Orta
	Ağaçlandırma	2	Düşük
	Diğer İbreli	2	Düşük
	Yapraklı	1	Çok Düşük
2. Gelişme Çağı (GÇ)	Gençlik (a, <8cm)	3	Orta
	Sıklık (ab, b, 8-19,9 cm)	5	Çok Yüksek
	İnce Ağaçlık (bc, c, 20-35,9 cm)	4	Yüksek
	Orta Ağaçlık (cd, d, 36-51,9 cm)	3	Orta
	Kalın Ağaçlık (de, e, >52 cm)	1	Düşük
3. Meşçere Kapalılığı (MK)	Bozuk (<%10)	1	Çok Düşük
	1 kapalı (%11-40)	2	Düşük
	2 kapalı (%41-70)	4	Yüksek
	3 kapalı (%41-100)	5	Çok Yüksek

Tablo 4.3 (Devam)

4. Eğim (E)	≤ %5	1	Çok Düşük
	% 5-10	2	Düşük
	%10-20	3	Orta
	%20-35	4	Yüksek
	> %35	5	Çok Yüksek
5. Bakı (B)	0 – 23º ve 339 – 360º (Kuzey)	1	Çok Düşük
	24 – 68º (Kuzeydoğu)	2	Düşük
	69 – 113º (Doğu)	2	Düşük
	114 – 158º (Güneydoğu)	4	Yüksek
	159 – 203º (Güney)	5	Çok Yüksek
	204 – 248º (Güneybatı)	5	Çok Yüksek
	249 – 293º (Batı)	3	Orta
	294 – 338º (Kuzeybatı)	3	Orta
6. Yükselti	0-200	5	Çok Yüksek
	201-400	4	Yüksek
	401-600	3	Orta
	601-800	2	Düşük
	>800	1	Çok Düşük
7. Aylık Maksimum Sıcaklık Ortalaması (MaksSıc)	≥ 29 ºC	5	Çok Yüksek
	25.1 – 29 ºC	4	Yüksek
	21.1 – 25 ºC	3	Orta
	17.1 – 21 ºC	2	Düşük
	≤ 17 ºC	1	Çok Düşük
8. Aylık Yağış (Y)	≤25 mm	5	Çok Yüksek
	25 – 50 mm	4	Yüksek
	50 – 75 mm	3	Orta
	75 – 125 mm	2	Düşük
	≥ 125 mm	1	Çok Düşük
	>400	1	Çok Düşük
9. Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	≤3 m/s	1	Düşük
	3-6 m/s	3	Orta
	≥6 m/s	5	Çok Yüksek

Son olarak geliştirilen modelin genel alt kriter katsayıları yardımıyla ArcMap 10.5 (ESRI, 2017) programı kullanılarak CBS'de ağırlıklı örtüşme yöntemi (weighted sum overlay method) ile yangın tehlike potansiyeli haritaları üretilmiştir.

4.5. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ

Orman yangınları ile mücadele çalışmalarında, yangınların mümkün olan en kısa sürede tespiti ve konumunun doğrulanması önem arz etmektedir (Küçük ve diğ., 2017). Orman yangınlarının gözetlenmesi ve tespitinde çeşitli yöntemler kullanılmasına rağmen orman alanlarının gözetlenmesi amacıyla hakim tepelere insanlı ya da kamera tabanlı yangın gözetleme kuleleri aracılığıyla yapılmaktadır. Yangının kısa sürede tespiti ya da telefonla ihbar

edilen yangının teyiti ve konumunun belirlenmesi için bu gözetleme kulelerinin orman alanlarının görünülebilirliğinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla CBS tabanlı görünürlük analizlerinden yararlanılmıştır.

Görünürlük analizi için ücretsiz olarak erişilebilen yüksek çözünürlüklü DEM verileri kullanılmıştır. Öncelikle yangın kulelerinin koordinatları OGM'den alınmış ve veri tabanına "yangın kuleleri" nokta katmanı olarak eklenmiştir. Bu özel nokta katmanına görünürlük analizi için gerekli veri parametreleri eklenmiştir (Tablo 4.4). Öznitelik tablosuna her kulelenin rakımı (SPOT) eklenmiştir. Kuleden tüm çalışma alanının taranabilmesi için görüş (yatay tarama) açısı 360 derece (Azimuth 1-2, 0 º -360º) olarak kabul edilmiştir. Yangın sırasında sadece alevlerin doğrudan görülmesi değil aynı zamanda yerden yükselen dumanın da görülebilmesi için görüş yüksekliği (görülebilir duman yüksekliği, Offset B) 100 m olarak belirlenmiştir. Dikey tarama açısı başlangıç ve sonu (Vert 1-2,) +90º ve -90º olarak girilmiştir. Taranan alan dış çapı (Radius 2) yani görüş mesafesi yarıçapı 10 km olarak, kör alan yarıçapı (Radius 1) ise 3 m olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4). Ardından ArcGIS 10.5 programı kullanılarak görünürlük analizi yapılmıştır.

Tablo 4.4: "Yangın Gözetleme Kulelerine İlişkin" Parametreler ve Açıklamaları.

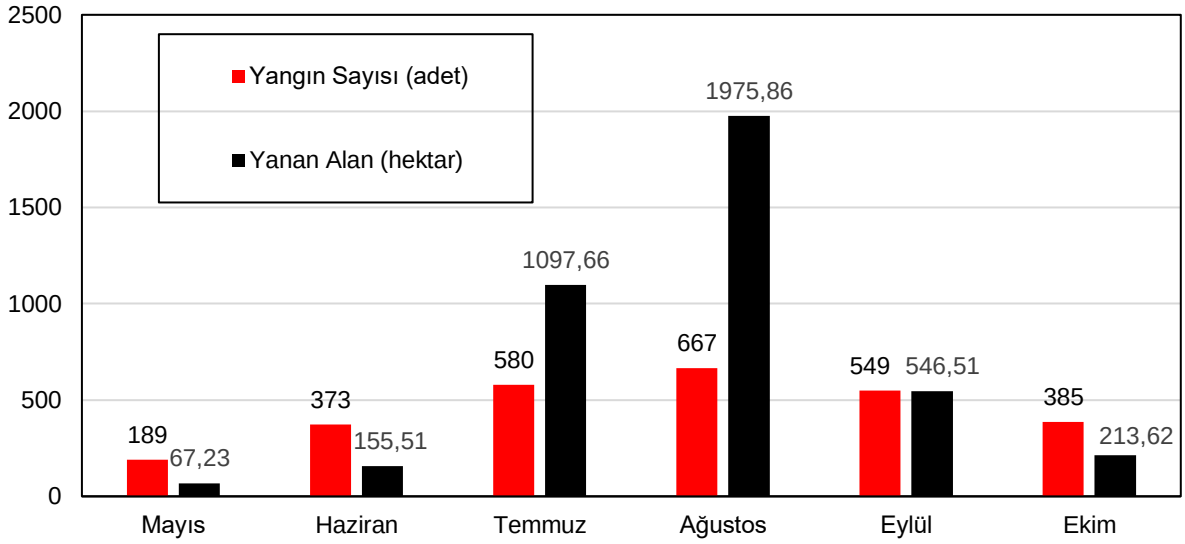
Parametreler	Açıklamalar
Koordinat	Yangın gözetleme kulelerinin X ve Y koordinatları
SPOT	Kule rakımı
Offset A	Gözetleme platformu yüksekliği
Offset B	Görülebilir duman yüksekliği
Azimuth 1	Yatay tarama açısının başlangıcı
Azimuth 2	Yatay tarama açısının sonu
Vert 1	Dikey tarama açısının başlangıcı
Vert 2	Dikey tarama açısının sonu
Radius 1	Taranan alan iç yarıçapı (kör alan yarıçapı)
Radius 2	Taranan alan dış yarıçapı (Görüş mesafesi yarıçapı)

5. BULGULAR

Bu çalışmada, yangın öncesi yangın yönetim planlamaları, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın organizasyonlarına yardımcı olacak Yangın Çıkma İhtimali ve çıkan yangının Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması, Yangın Gözetleme Kulelerinin Görünürlük Analizi çalışmaları Orman Bölge Müdürlüğü bazında yapılmıştır. Yangın Çıkma İhtimalinin Modellenmesi ve Haritalanmasında Maksimum Entropi (MaxEnt) yöntemi kullanılarak yangın sezonu boyunca aylık olarak, Yangın Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanmasında ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu kullanılarak yine yangın sezonu boyunca aylık olarak yapılmıştır.

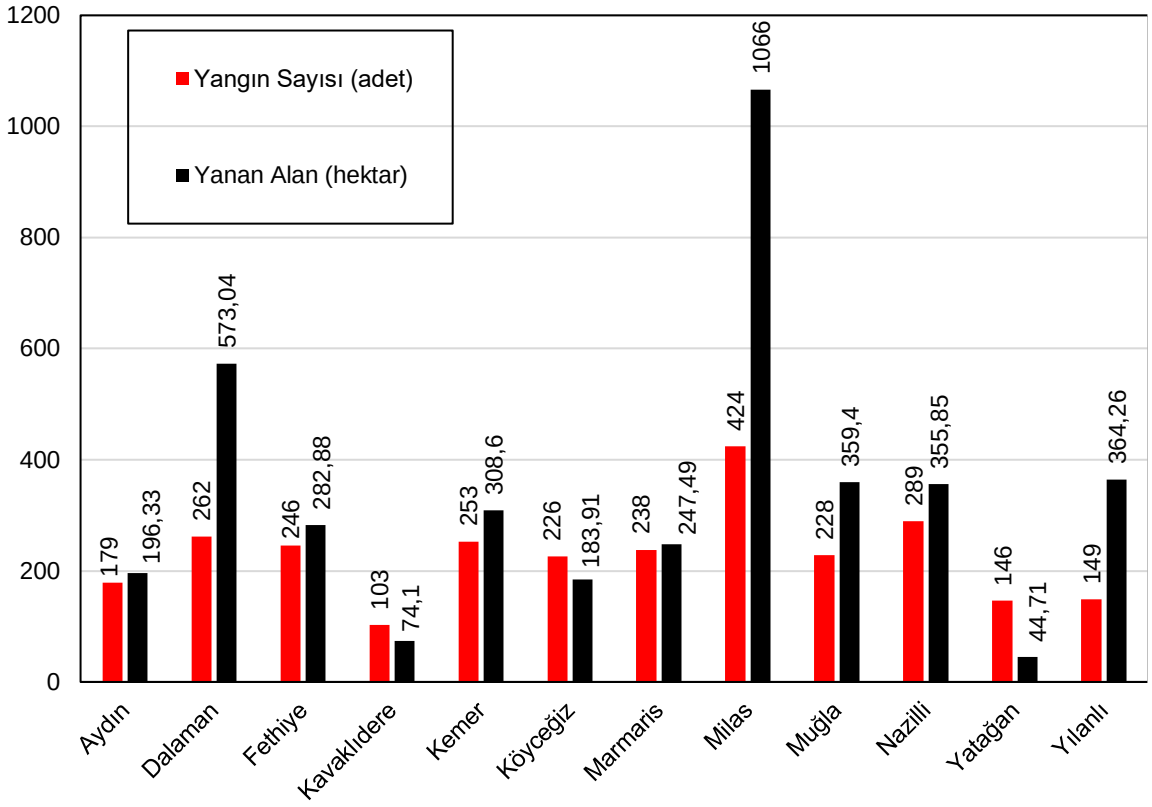
5.1. GEÇMİŞ YANGINLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Geçmiş yangın kayıtlarının (2008-2018 arası) incelenmesi sonucunda Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (OBM)'nde toplam 3.742 adet yangın çıkmış olup bu yangınların %79'u (2.743 adet) yangın sezonunda gerçekleşmiştir. Toplam zarar gören orman alanı 4.507 hektar olup %90'lık kısmı (4.056 hektar) yangın sezonunda gerçekleşen yangınlardan zarar görmüştür. Yangın sezonu da kendi içinde değerlendirildiğinde Temmuz, Ağustos ve Eylül ayı diğer aylardan daha fazla yangın sayısı ve yanan alan miktarına sahiptir (Şekil 5.1).



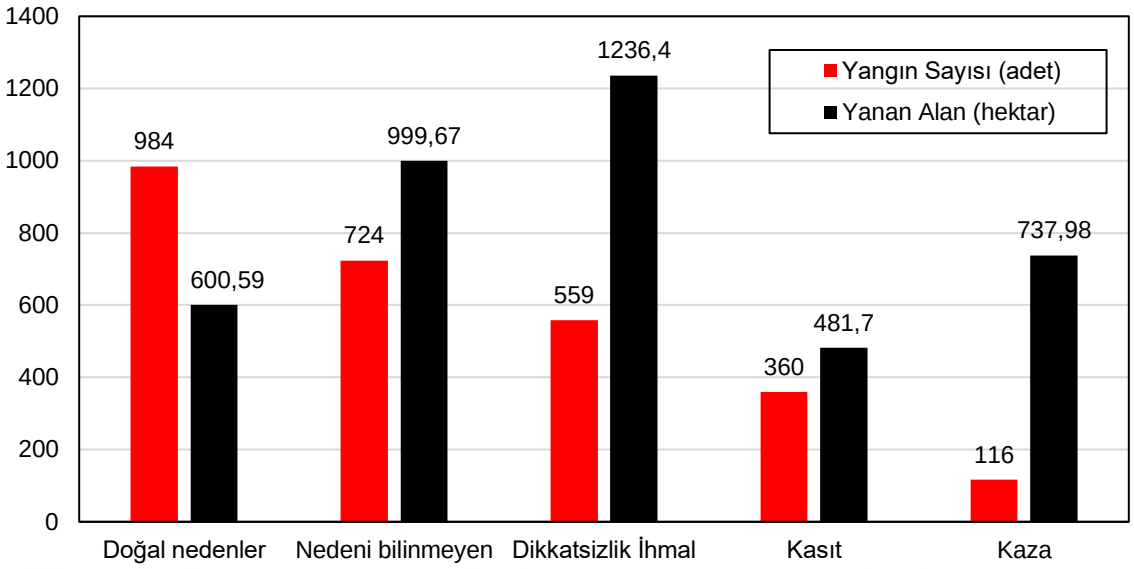
Şekil 5.1: Muğla OBM'de 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların (Adet-Alan Olarak) Aylara Göre Dağılımı.

Yangınların Orman İşletme Müdürlüklerine göre dağılımı incelendiğinde, 2008-2018 yılları arası yangın sezonunda gerçekleşen yangınların alansal olarak %26,3'ü Milas, %14,1'i Dalaman, %9'u Yılanlı, %8,9'u Muğla, %8,8'i Nazilli, %7,6'sı Kemer, %7'si Fethiye, %6,1'i Marmaris, %4,8'i Aydın, %4,5'i Köyceğiz, %1,8'i Kavaklıdere, %1,1'i Yatağan Orman İşletme Müdürlüklerinde gerçekleşmiştir (Şekil 5.2). Yangınların sayısal olarak ise %15,5'i Milas, %10,5'i Nazilli, %9,6'sı Dalaman, %9,2'si Kemer, %9'u Fethiye, %8,7'si Marmaris, %8,3'ü Muğla, %8,2'si Köyceğiz, %6,5'i Aydın, %5,4'ü Yılanlı, %5,3'ü Yatağan, %3,8'i Kavaklıdere Orman İşletme Müdürlüklerinde gerçekleşmiştir (Şekil 5.2).



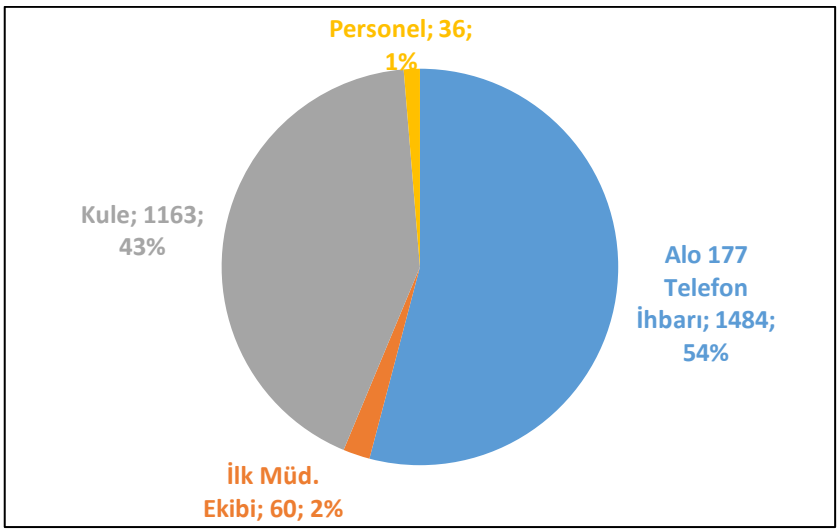
Şekil 5.2: Muğla OBM'de 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların OİM Göre Dağılımı.

2008-2018 yılları arası yangın sezonunda gerçekleşen yangınların çıkış nedenlerine göre yanan alanların dağılımı dikkate alındığında %14,8'i doğal nedenler, %24,6'sı nedeni bilinmeyen, %30,5'si dikkatsizlik-ihmal, 11,9'u kasıt, %18,2'si kaza'dan meydana geldiği görülmüştür. Çıkan yangınların sayısal (adet) olarak çıkış nedenlerine dağılımı ise %35,9'u Doğal Nedenler, %26,4'ü Nedeni Bilinmeyen, %20,4'ü Dikkatsizlik-İhmal, %13,1'i Kasıt, %4,2'si Kaza kaynaklı sebeplerdir (Şekil 5.3).



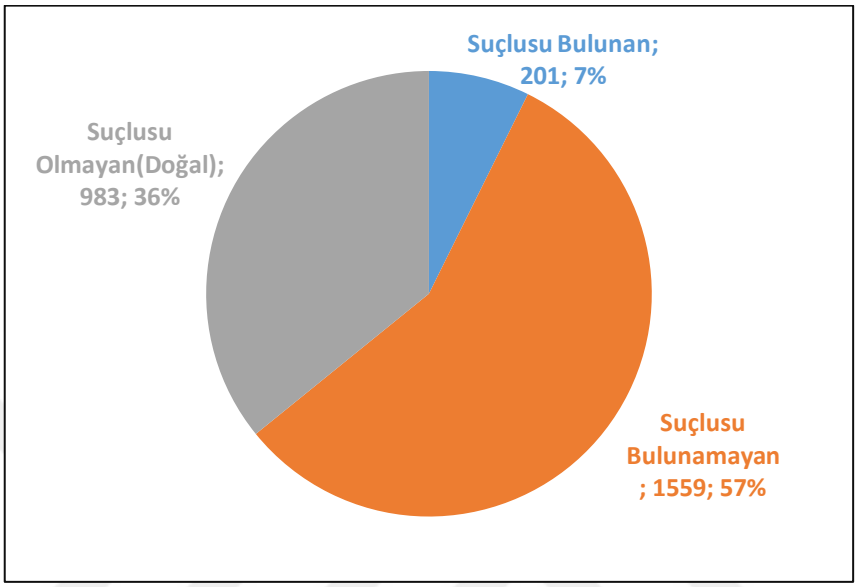
Şekil 5.3: Muğla OBM'de 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların Çıkış Nedenlerine Göre Dağılımı.

Yangınların ihbar şekillerine bakıldığında %54'ü Alo 177 telefon ihbarı, %43'ü kule, %2'si ilk müdahale ekibi, %1'i de personel tarafından ihbar edilmiştir (Şekil 5.4). Bu sonuçlar da göstermiştir ki yangın kuleleri, yangının tespitinde telefon ihbarlarından sonra en önemli unsur olmuştur. Bu yüzden kuleler tarafından görülebilir alanların belirlenmesi ve görülen alanın arttırılması yangınların erken tespiti için oldukça önemlidir.



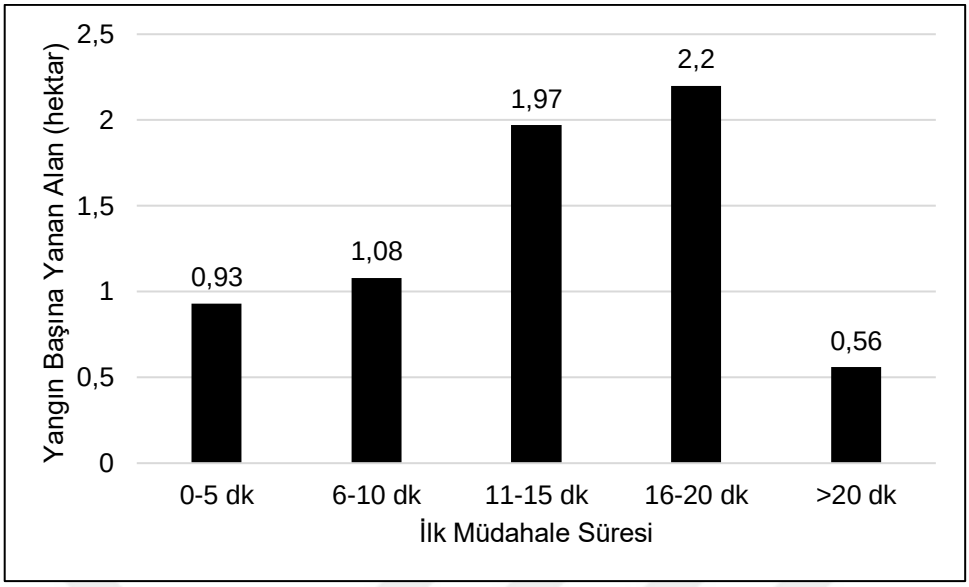
Şekil 5.4: Muğla OBM 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların İhbar Şekline Göre Dağılımı.

2008-2018 yılları arası yangın sezonunda gerçekleşen 2.743 yangının %7'sinin suçlusu bulunmuş, %57'sinin suçlusu bulunamamış (faili meçhul) ve %36'lık kısmının suçlusunun olmadığı (doğal) kayıtlara geçmiştir (Şekil 5.5).



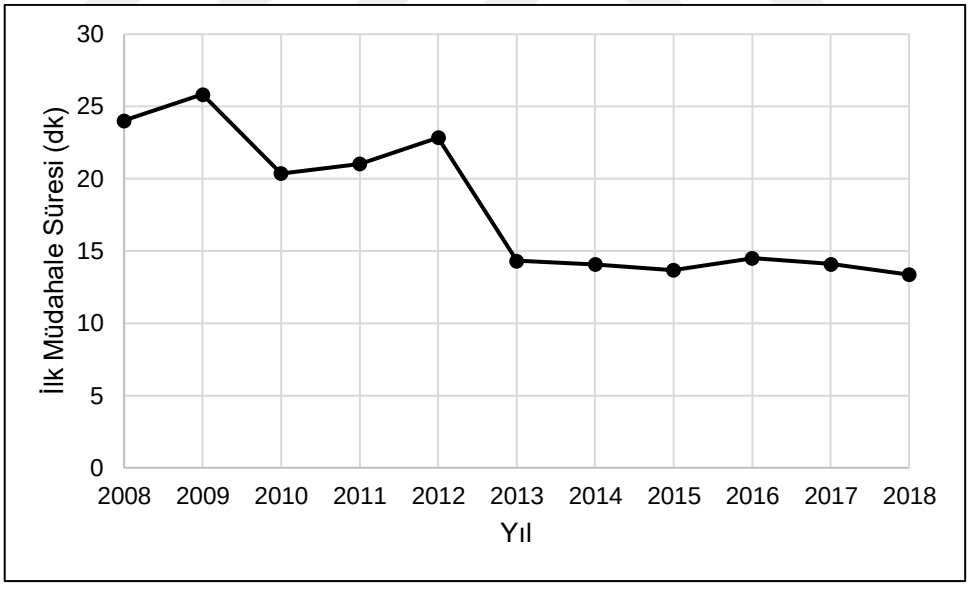
Şekil 5.5: Muğla OBM 2008-2018 Yılları Arası Yangın Sezonunda Çıkan Yangınların Suçlu Tespit Grafiği.

İlk müdahale süresine göre yangın başına ortalama yanan alan dağılımına bakıldığında, ilk müdahale süresi ≤ 5 dk olan durumlarda 0,93 ha, 6-10 dk. arası olan durumlarda 1,08 ha, 11-15 dk. arası olan durumlarda 1,97 ha, 16-20 dk. arası olan durumlarda 2,2 ve ≥ 20 olan durumlarda ise 0,56 ha alan yanmaktadır (Şekil 5.6). İlk müdahale süresi geciktikçe yangın başına yanan alan miktarında artış gözlenmekte ve daha fazla alan yanmaktadır. Sonuçlarda dikkat çeken diğer unsur ise ilk müdahale süresinin 20 dk'dan fazla olduğu durumlarda ise yangın başına yanan alan miktarı en düşüktür. Bu durumun olası sebebi söz konusu alanlarda yangının büyüme ve genişleme şansının bulunmamasıdır.



Şekil 5.6: İlk Müdahale Süresine Göre Yangın Başına Yanan Alan Miktarı.

İlk müdahale süresi 2008 yılında 25 dakikalarda iken 2018 yılına gelindiğinde 13 dakikalara düştüğü gözlenmektedir. Bu durum yangınların büyümeden kontrol altına alınıp söndürülmesi açısından son derece önemlidir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7:Yıllar İtibariyle İlk Müdahale Süresi.

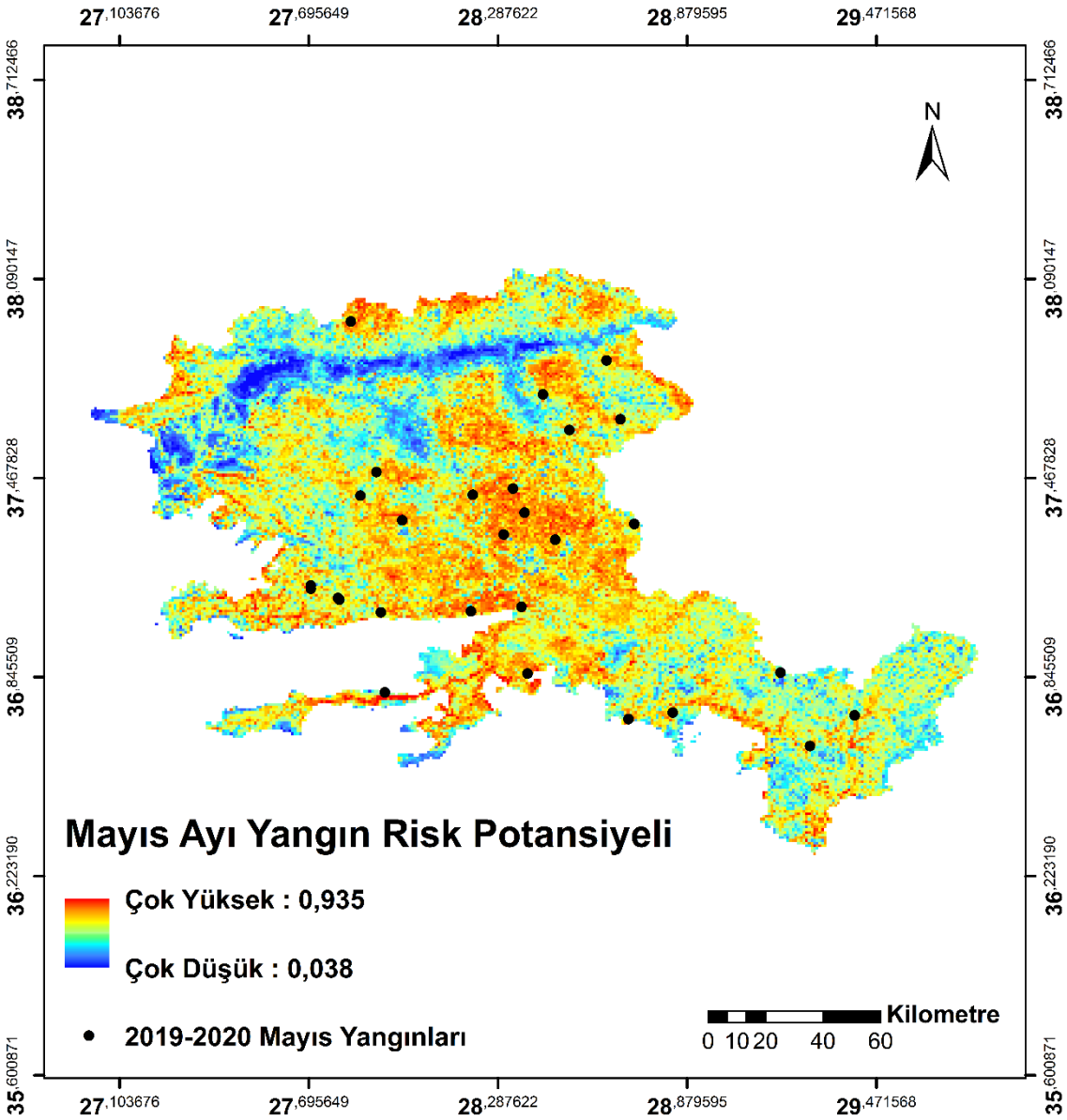
5.2. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ HARİTALANMASI

Yangın sezonunu kapsayan her bir ay için 2008-2018 yılları arasında çıkan orman yangınlarının konumları ve çevresel değişkenler (iklim, topoğrafya, yanıcı madde türü, insan aktiviteleri), orman yangını olasılık modelinde sırasıyla bağımlı ve bağımsız girdi değişkenleri

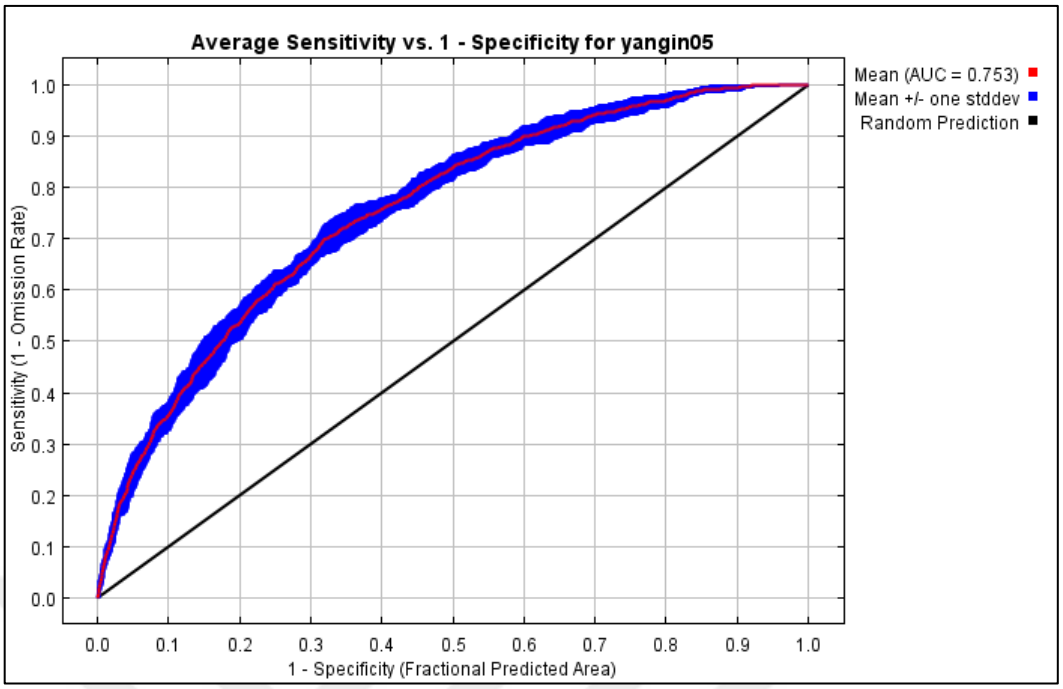
olarak kullanılmıştır. Muğla OBM'ndeki alanlara ait aylık yangın risk potansiyelinin modellenmesi ve haritalanması işlemi MaxEnt yazılımı kullanılarak yapılmış ve çevresel değişkenlerle ilişkileri analiz edilmiştir. Model sonuçları ve değerlendirmeleri aşağıda aylık olarak verilmiştir. Aylık yangın risk potansiyeli haritasında, sıcak renk (kırmızı) tonları yangın risk potansiyelinin yüksek olduğunu gösterirken soğuk renk (mavi) tonları yangın risk potansiyelinin düşük olduğunu göstermektedir.

5.2.1. Mayıs Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları

2008 ve 2018 yılları arasında Mayıs ayında çıkan orman yangınlarının konumları bağımlı değişken ve yanıcı madde, iklim, topoğrafya, insan faaliyetlerini temsil eden sekiz çevresel değişken ise bağımsız değişkenler olarak alınarak Mayıs ayı için yangın risk poatnsiyelinin modellenmesi ve haritalanması yapılmıştır (Şekil 5.8). Yangın risk potansiyelini tahmin etmek için geliştirilen modelin AUC değeri 0,753 ve standart sapması 0,011'dir. (Şekil 5.9). Sonuçlar değerlendirildiğinde yangın risk potansiyelini tahmin eden modelin performansı yüksek (AUC=0,75) bulunmuştur (Şekil 5.9). Muğla OBM'nde 2019-2020 yılları Mayıs ayında toplam 28 adet yangın çıkmış olup, bu yangınların %75'i yangın risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek risk sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Muğla OBM Mayıs Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları.



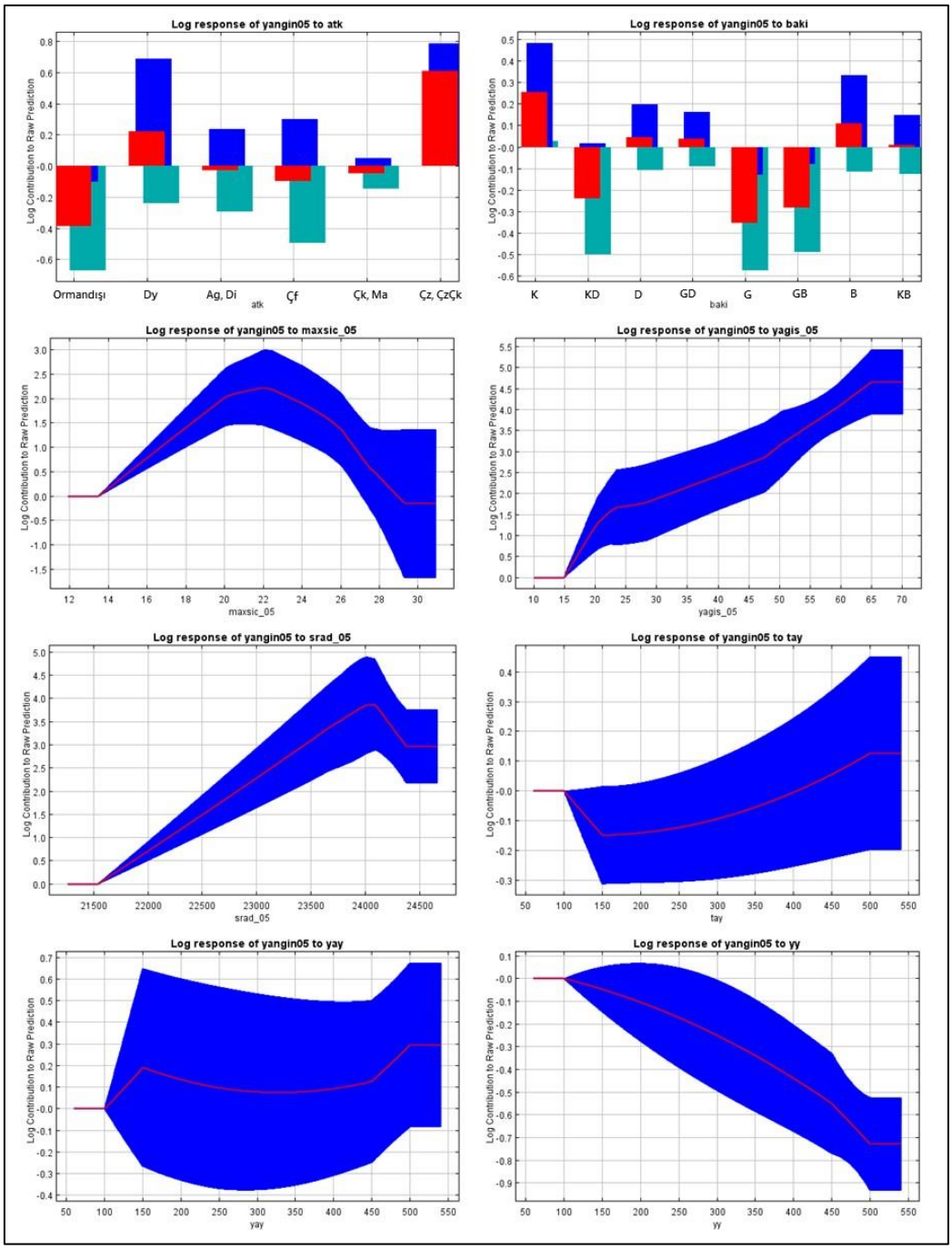
Şekil 5.9: Muğla OBM Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: Standart Sapma).

Tablo 5.1'de çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline Nisbi katkıları yüzde olarak verilmektedir. Değişkenlerin Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali modeline katkı oranları sırasıyla Ağaç Tür Kompozisyonu (atk; %34,4), Mayıs ayı Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_05; %15,1), Yola Yakınlık (yy; %14,1), Mayıs ayı Yağış Ortalaması (yagis_05; %8,1), Bakı (baki, %7,9), Yerleşim Alanlarına Yakınlık (yay; %7,6), Tarım Alanlarına Yakınlık (tay; %6,8) ve Mayıs ayı Solar Radyasyon Ortalaması (srad_05) şeklinde olmuştur. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda değişkenin ne kadar önemli olduğunu gösteren permutasyon önemine bakıldığında Yağış %23,4 ile birinci sırada yer alırken, bunu %17,4 ile Ağaç tür Kompozisyonu, %14,8 ile Yola Yakınlık, % 14,7 ile Maksimum Sıcaklık ve %11,4 ile Solar Radyasyon izlemiştir. Diğer tüm değişkenler modelde daha az öneme sahiptir.

Tablo 5.1: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Mayıs).

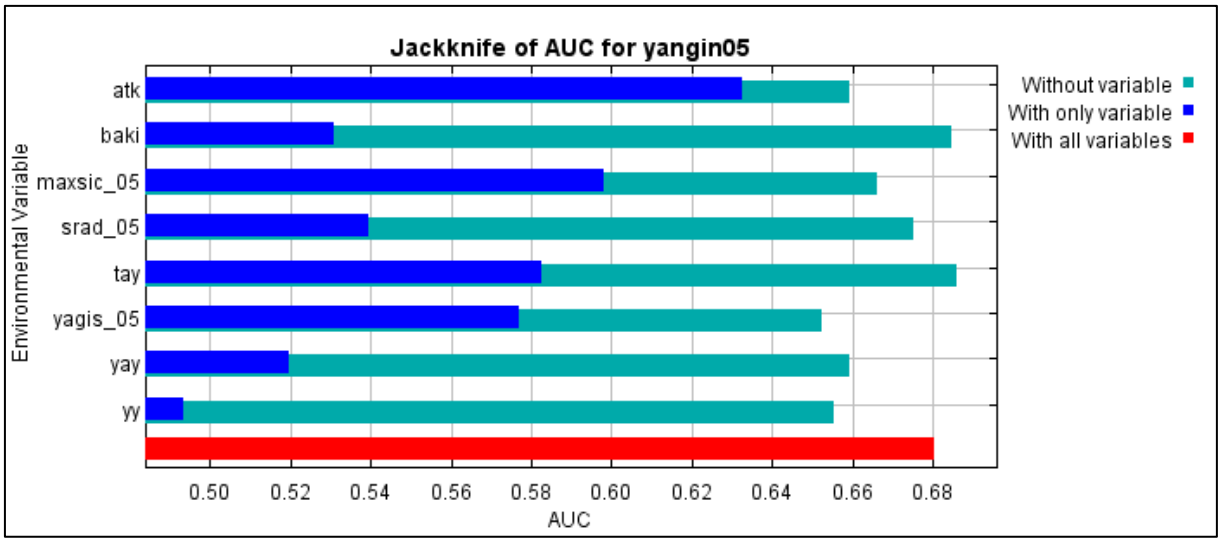
Değişken	**Katkı Yüzdesi (%)**	**Permutasyon Önemi (%)**
atk	34,4	17,2
maxsic_05	15,1	14,7
yy	14,1	14,8
yagis_05	8,1	23,4
baki	7,9	6,3
yay	7,6	7,8
tay	6,8	4,3
srad_05	6,1	11,4

Mayıs Yangın Çıkma İhtimali ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler, sekiz değişkenin marjinal tepki eğrilerinde gösterildiği gibi oldukça farklıdır (Şekil 5.10). Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini yapılandıran değişkenlerin marjinal tepki eğrilerine bakıldığında yangın riski ile Kızılçam (Çz) ve Kızılçam-Karaçam Tür Karışımı (ÇzÇk),Maksimum Sıcaklık Ortalaması, Solar Radyasyon ve yağış arasında pozitif yönlü; Yerleşim Alanları ve Yollardan Uzaklık parametrelerinde negatif yönlü bir ilişki göze çarpmaktadır.



Şekil 5.10: Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri.

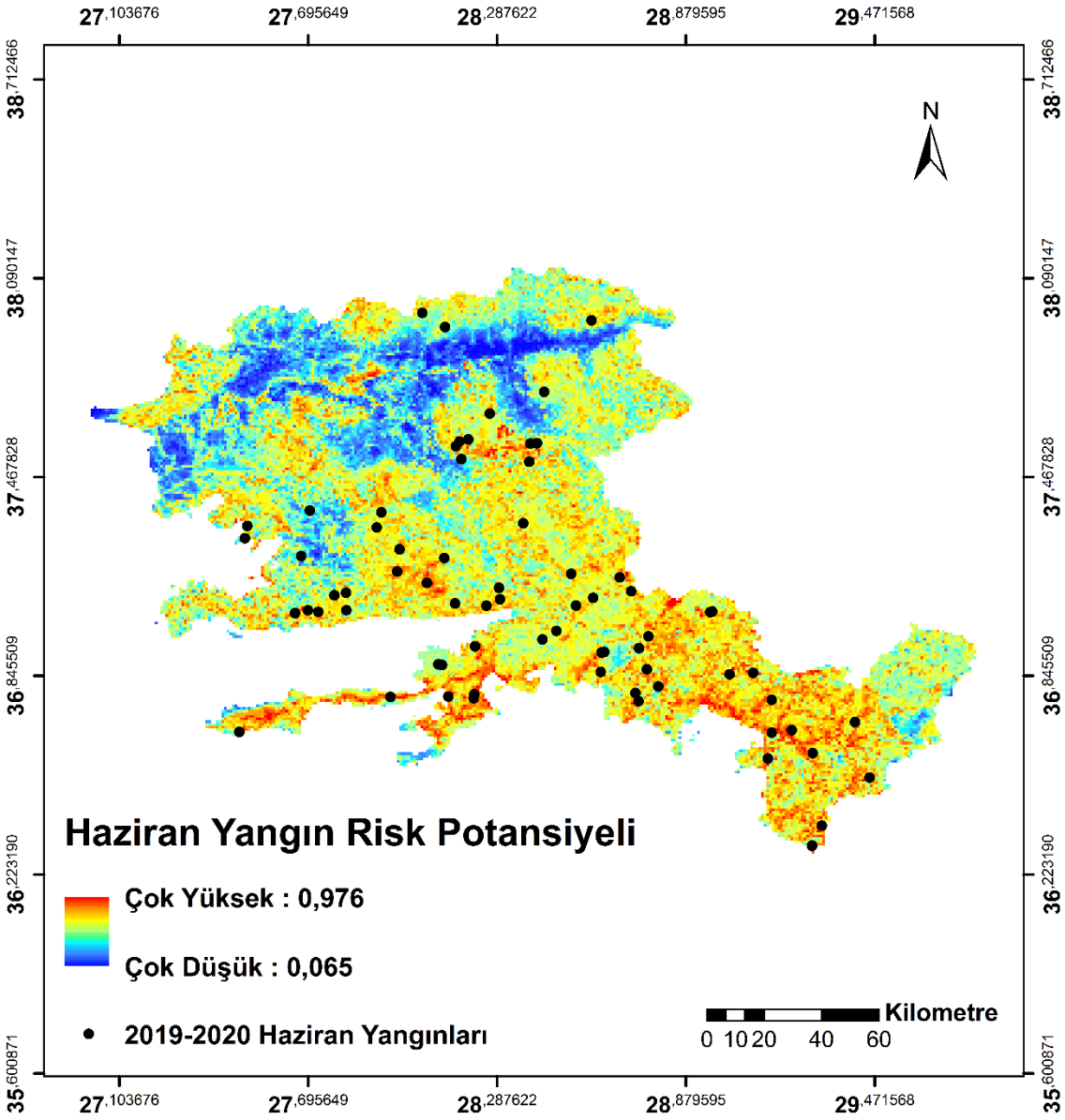
Şekil 5.11'de Jackknife değişken önem testinin sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçlarına göre tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişken Ağaç Tür Kompozisyonu (atk)'dur ve bu nedenle tek başına en yararlı bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken Yola Yakınlık (yy)'dır, bu değişkende diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip olduğu görünmektedir. Gösterilen değerler, tekrarlanan çalıştırmaların ortalamalarıdır.



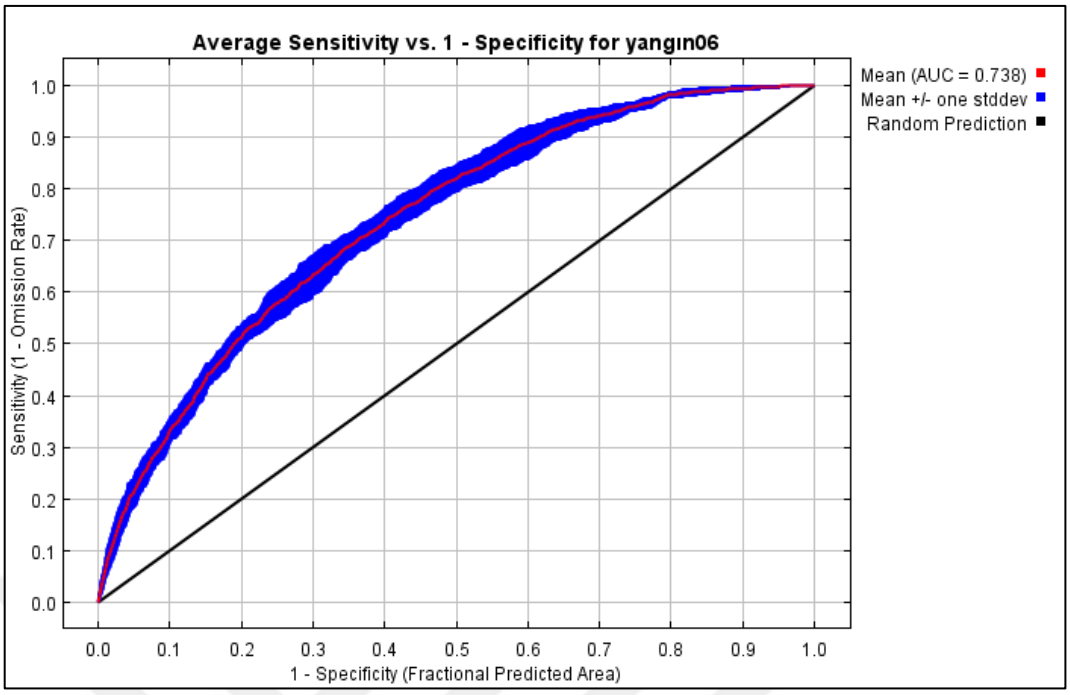
Şekil 5.11: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları.

5.2.2. Haziran Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları

2008 ve 2018 yılları arasında Haziran ayında çıkan orman yangınlarının konumları bağımlı değişken olarak alınmış, yanıcı madde, iklim, topoğrafya, insan faaliyetlerini temsil eden sekiz çevresel değişken ise bağımsız değişkenler olarak alınarak Mayıs ayı için yangın modellenmesi ve haritalanması yapılmıştır (Şekil 5.12). Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen modelinin AUC değeri 0,738 ve standart sapması 0,014'dir. (Şekil 5.13). Sonuçlar değerlendirildiğinde yangın risk potansiyelini tahmin eden modelin performansı yüksek (AUC=0,74) bulunmuştur. Muğla OBM'nde 2019-2020 yılları Haziran ayında toplam 72 adet yangın çıkmış olup, bu yangınların %81'i yangın risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek risk sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: Muğla OBM Haziran Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları.



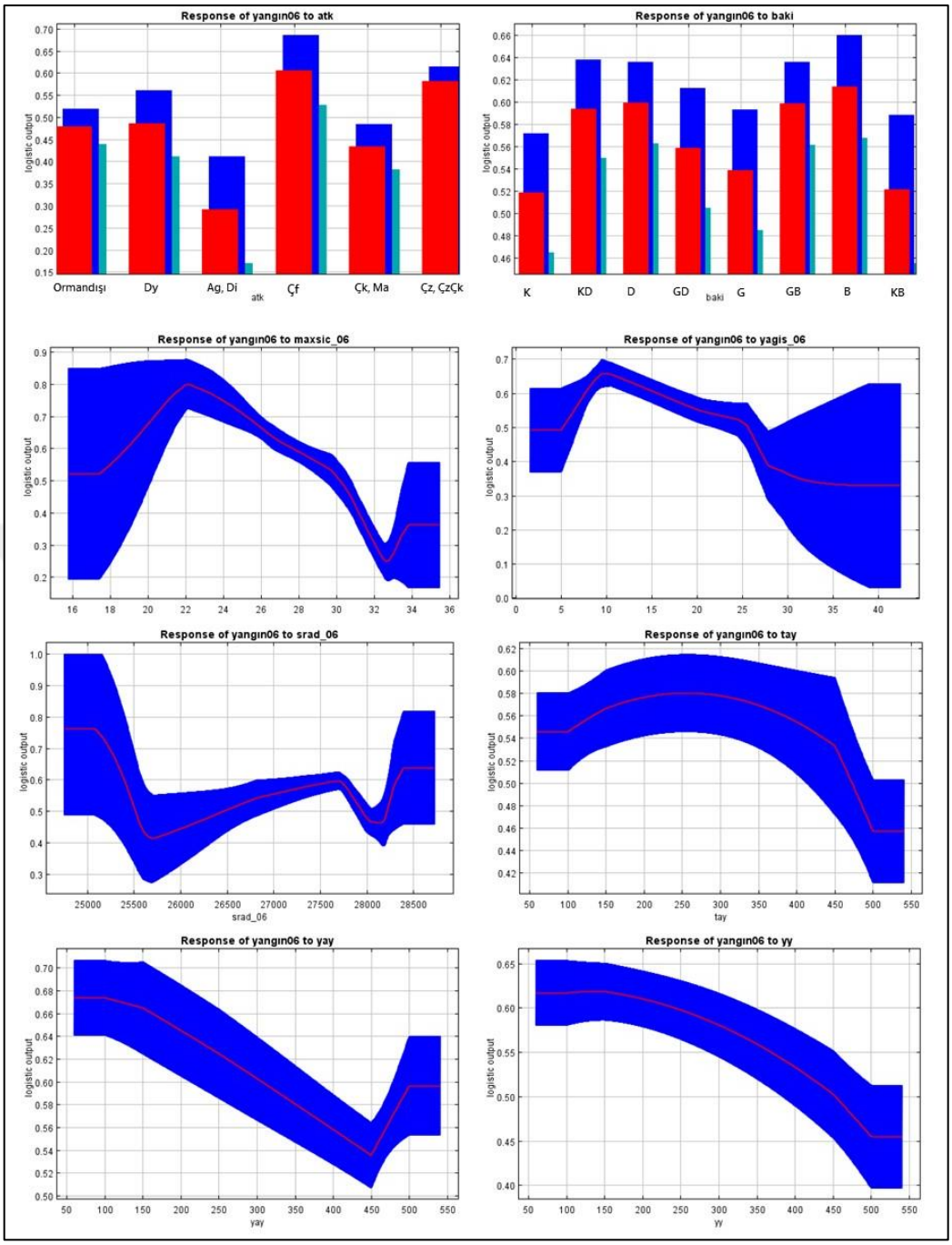
Şekil 5.13: Muğla OBM Haziran Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma).

Tablo 5.2'de çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline göreli katkılarının tahminlerini verilmektedir. Değişkenlerin Haziran ayı Yangın Çıkma İhtimali modeline katkı oranları sırasıyla Ağaç Tür Kompozisyonu (atk; %21,9), Haziran ayı Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_06; %19,7), Tarım Alanlarına Yakınlık (tay; % 18,3), Yola Yakınlık (yy; %10,3), Haziran ayı Yağış Ortalaması (yagis_06; %8,7), Haziran ayı Solar Radyasyon Ortalaması (srad_06; %7,8), Yerleşim Alanlarına Yakınlık (yay; %7,4), ve Bakı (baki, %5,9), şeklinde olmuştur. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda değişkenin ne kadar önemli olduğunu gösteren permutasyon önemine bakıldığında Maksimum Sıcaklık % 26,5 ile birinci sırada yer alırken, bunu % 17,8 ile Yağış Ağaç tür Kompozisyonu, %15,4 ile Yola Yakınlık takip etmektedir. Diğer tüm değişkenler modelde daha az öneme sahiptir.

Tablo 5.2: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Haziran).

Değişken	Yüzde Katkısı (%)	Permutasyon Önemi (%)
atk	21.9	8,5
maxsic_06	19.7	26,5
tay	18.3	8,0
yy	10.3	15,4
yagis_06	8.7	17,8
srad_06	7.8	6,6
yay	7.4	9,4
baki	5.9	7,8

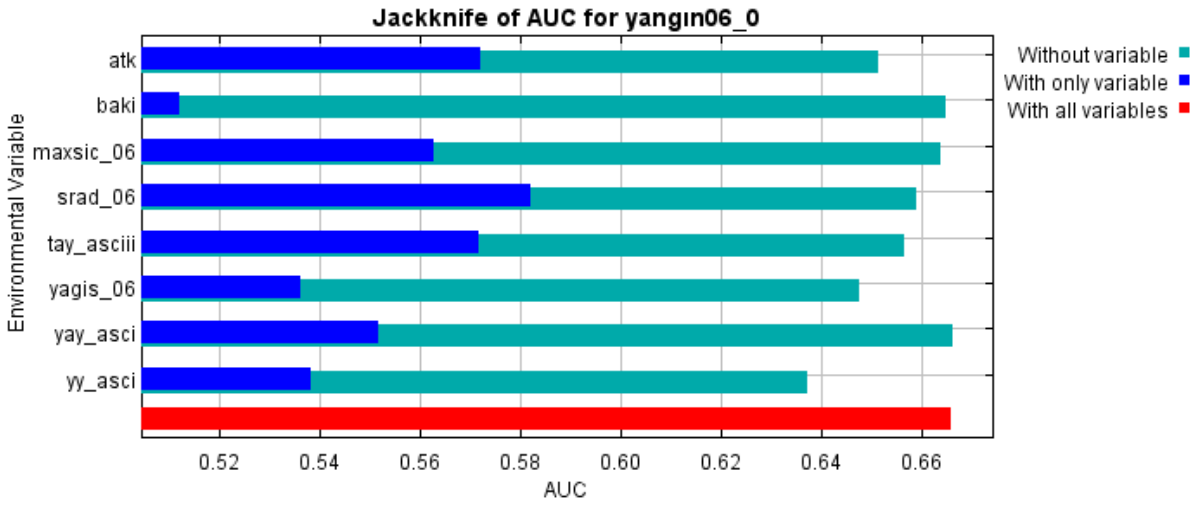
Haziran Yangın Çıkma İhtimali ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler, sekiz değişkenin marjinal tepki eğrilerinde gösterildiği gibi oldukça farklıdır (Şekil 5.14). Haziran ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrilerine bakıldığında Tarım Alanları, Yerleşim Alanları ve Yollara Uzaklık değişkenleri ile yangın risk potansiyeli arasında negatif yönlü bir ilişki göze çarpmaktadır. Ağaç tür kompozisyonu ve bakı değişkenlerinde beklenilen ilişki grafiklerde gözükmemektedir.



Şekil 5.14: Haziran ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri.

Şekil 5.15'de Jackknife değişken önem testinin sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçlarına göre tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişken Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_06)'dur ve bu nedenle tek başına en yararlı bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken Yola Yakınlık (yy)'dır,

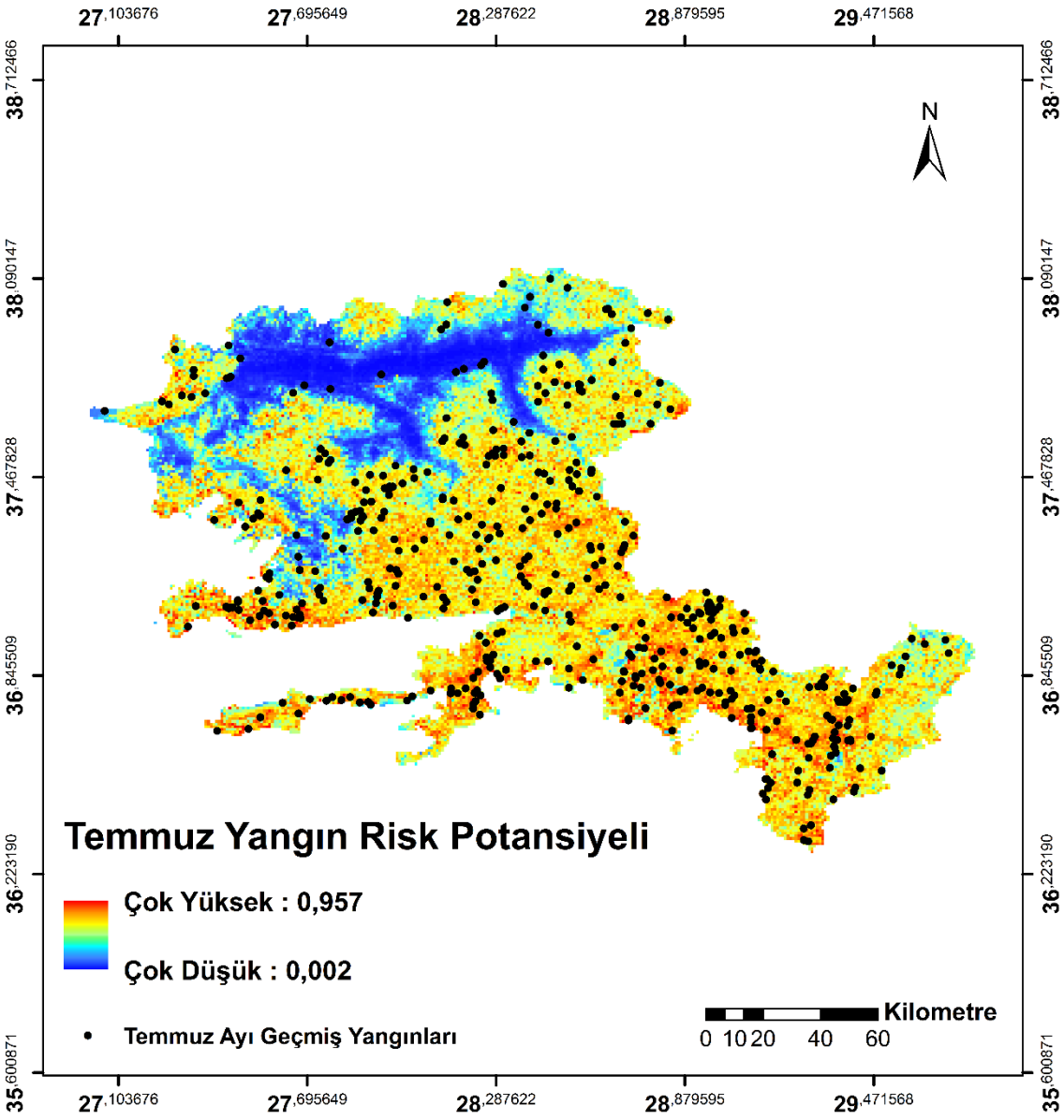
bu nedenle diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip olduğu görünmektedir. Gösterilen değerler, tekrarlanan çalıştırmaların ortalamalarıdır.



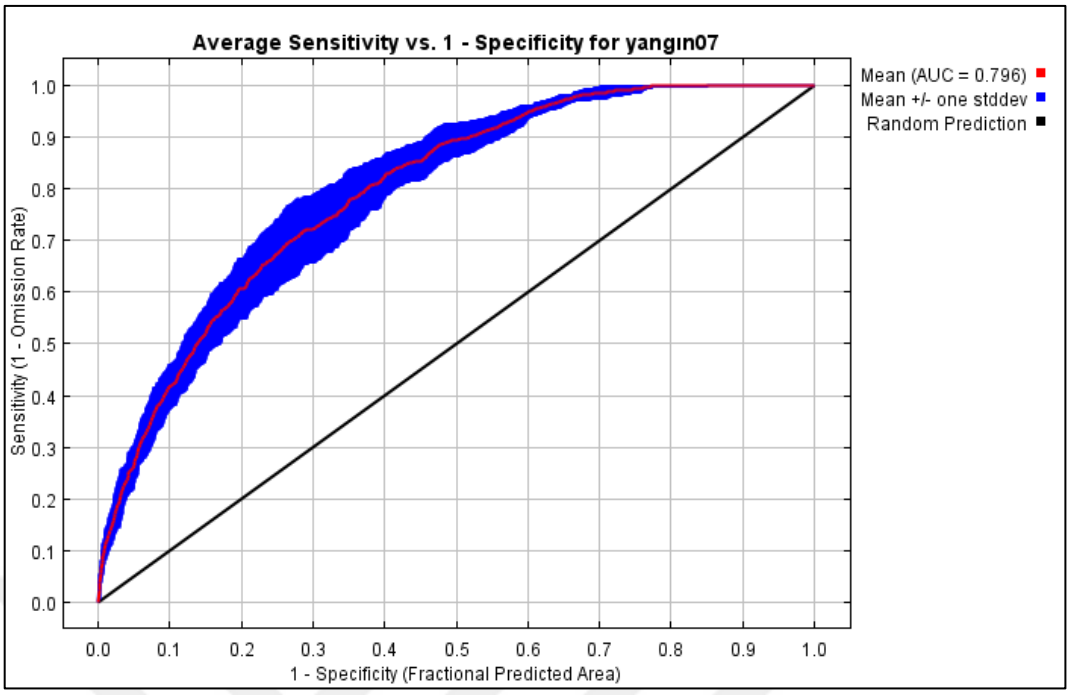
Şekil 5.15: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları (Haziran).

5.2.3. Temmuz Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları

2008 ve 2018 yılları arasında Temmuz ayında çıkan orman yangınlarının konumları bağımlı değişken olarak alınmış, yanıcı madde, iklim, topoğrafya, insan faaliyetlerini temsil eden sekiz çevresel değişken ise bağımsız değişkenler olarak alınarak Mayıs ayı için yangın risk potansiyelininmodellenmesi ve haritalanması yapılmıştır (Şekil 5.16). Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen modelinin AUC değeri 0,796 ve standart sapması 0,021'dir. (Şekil 5.17). Sonuçlar değerlendirildiğinde yangın risk potansiyelini tahmin eden modelin performansı çok yüksek (AUC=0,80) bulunmuştur. Muğla OBM'nde 2019-2020 yılları Temmuz ayında toplam 81 adet yangın çıkmış olup, bu yangınların %78'i yangın risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek risk sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: Muğla OBM Temmuz Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları.



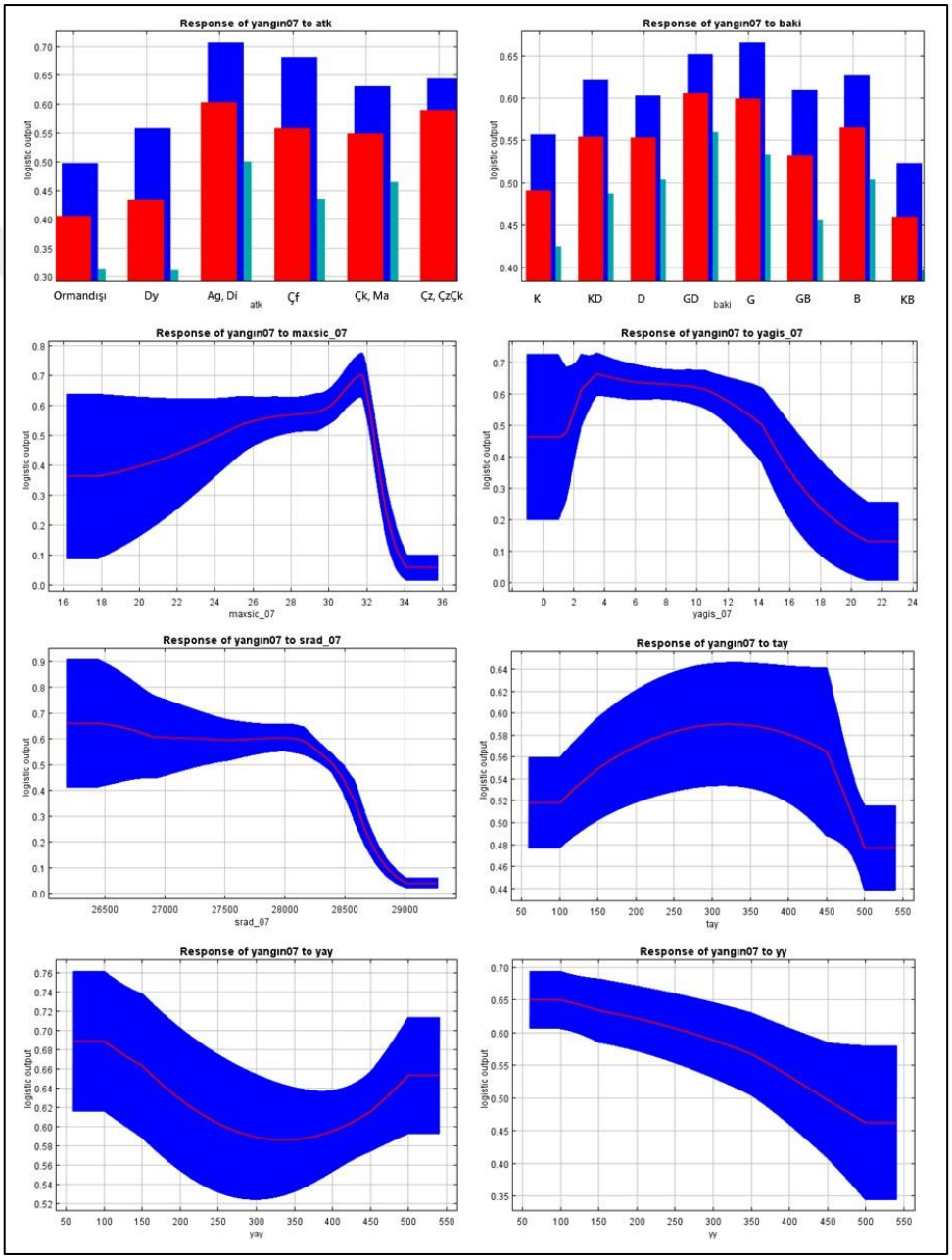
Şekil 5.17: Muğla OBM Temmuz Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma).

Tablo 5.3'de çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline Nisbi katkılarının tahminlerini verilmektedir. Değişkenlerin Mayıs ayı Yangın Çıkma İhtimali modeline katkı oranları sırasıyla Temmuz ayı Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_07; %22,4), Temmuz ayı Solar Radyasyon Ortalaması (srad_05; %20,9), Ağaç Tür Kompozisyonu (atk; %19,5), Bakı (baki, %11,3), Tarım Alanlarına Yakınlık (tay; %8,8), Yola Yakınlık (YY; %6,7), Yerleşim Alanlarına Yakınlık (yay; %5,7) ve Temmuz ayı Yağış Ortalaması (yagis_07; %4,7) şeklinde olmuştur. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda değişkenin ne kadar önemli olduğunu gösteren permutasyon önemine bakıldığında Solar Radyasyon % 22,4 ile birinci sırada yer alırken, bunu % 15,3 ile Sıcaklık, %12,9 ile Bakı ve %11,1 ile Tarım Alanlarına Yakınlık takip etmektedir. Diğer tüm değişkenler modelde daha az öneme sahiptir (Tablo 5.3).

Tablo 5.3: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Temmuz).

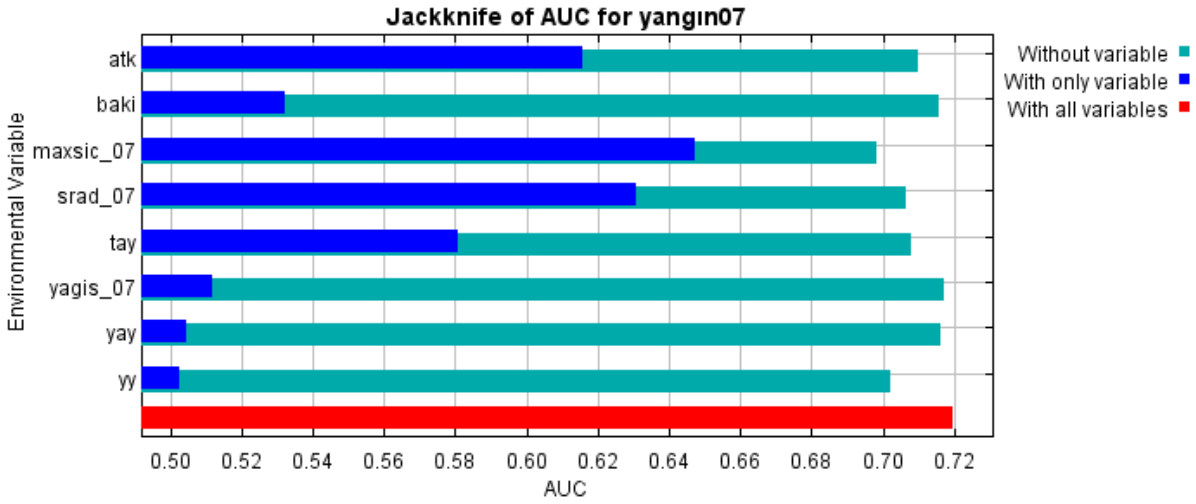
Değişken	Yüzde (%) Katkısı	Permutasyon Önemi
maxsic_07	22.4	15.3
srad_07	20.9	22.4
atk	19.5	8.7
baki	11.3	12.9
tay	8.8	11.1
yy	6.7	10.4
yay	5.7	9.4
yagis_07	4.7	9.9

Temmuz ayı Yangın Çıkma İhtimali ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler, sekiz değişkenin marjinal tepki eğrilerinde gösterildiği gibi oldukça farklıdır (Şekil 5.18). Temmuz ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrilerine bakıldığında yoldan uzaklık ve yağış ortalaması ile yangın risk potansiyeli arasında negatif yönlü bir ilişki göze çarpmaktadır.



Şekil 5.18: Temmuz Ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri.

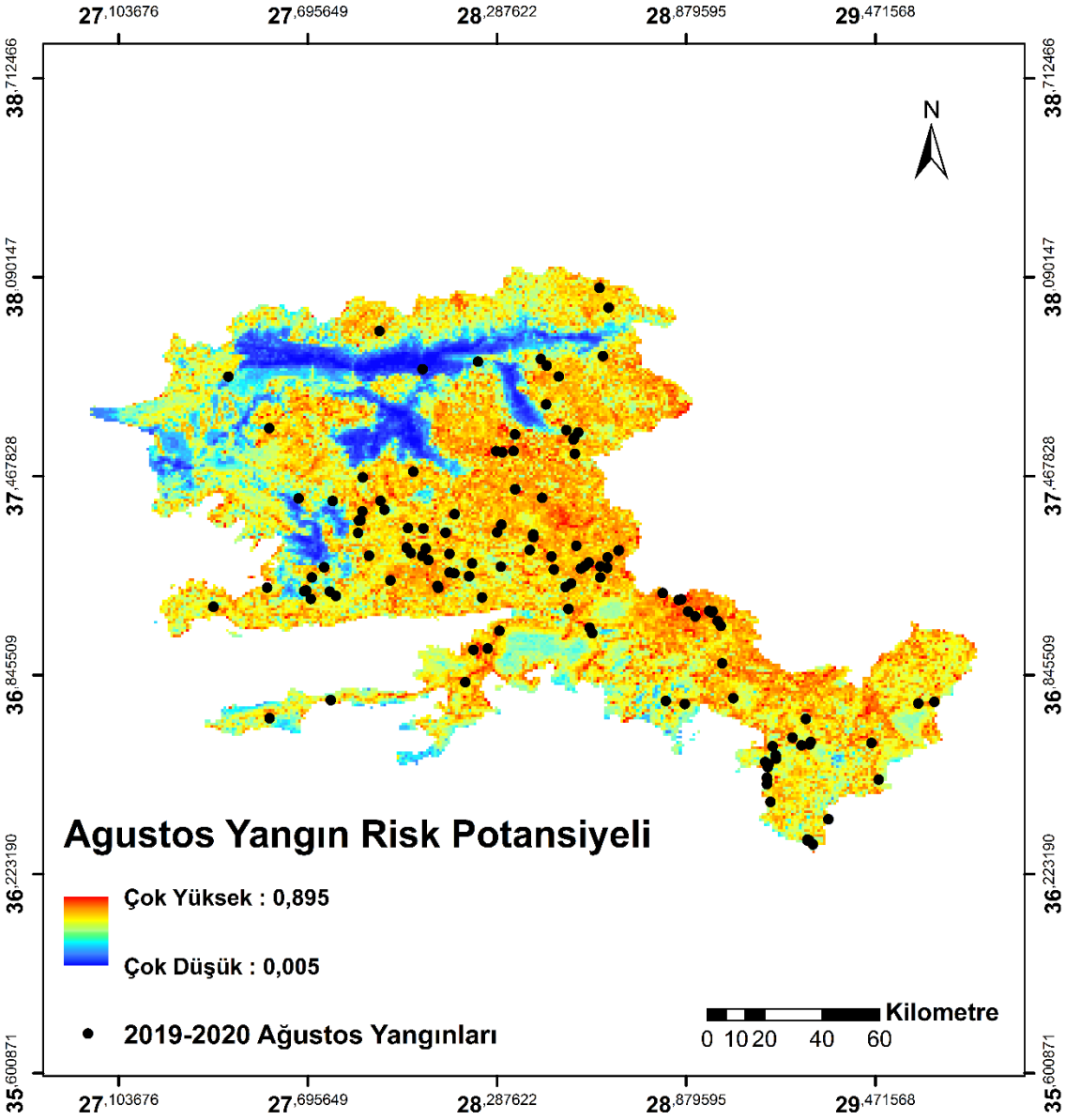
Şekil 5.19'da Jackknife değişken önem testinin sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçlarına göre tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişken Temmuz Ayı Maksimum sıcaklık (maxsic_07)'tır ve bu nedenle tek başına en yararlı bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken Yola Yakınlık (yy)'tır, bu nedenle bu değişkende diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip olduğu görünmektedir. Gösterilen değerler, tekrarlanan çalıştırmaların ortalamalarıdır.



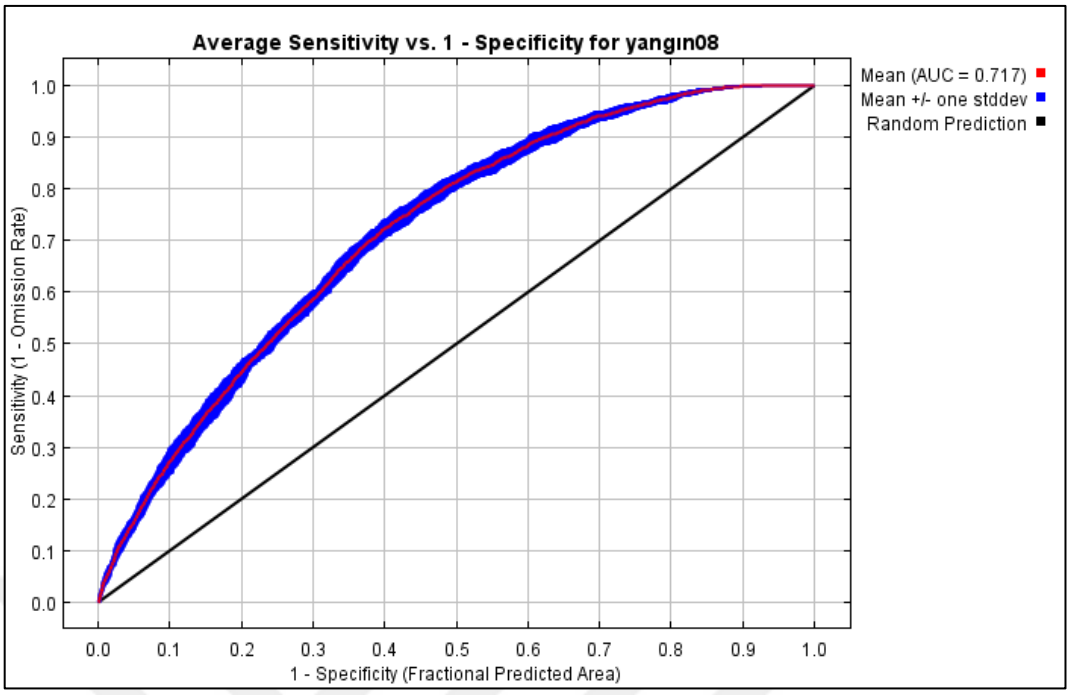
Şekil 5.19: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları (Temmuz).

5.2.4. Ağustos Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları

2008 ve 2018 yılları arasında Ağustos ayında çıkan orman yangınlarının konumları bağımlı değişken olarak alınmış, yanıcı madde, iklim, topoğrafya, insan faaliyetlerini temsil eden sekiz çevresel değişken ise bağımsız değişkenler olarak alınarak Ağustos ayı için yangın risk potansiyelininmodellenmesi ve haritalanması yapılmıştır (Şekil 5.20). Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen modelinin AUC değeri 0,717 ve standart sapması 0,007'dir. (Şekil 5.21). Sonuçlar değerlendirildiğinde yangın risk potansiyelini tahmin eden modelin performansı yüksek (AUC=0,72) olarak bulunmuştur. Muğla OBM'nde 2019-2020 yılları Haziran ayında toplam 132 adet yangın çıkmış olup, bu yangınların %85'i yangın risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek risk sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20: Muğla OBM Ağustos Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları.



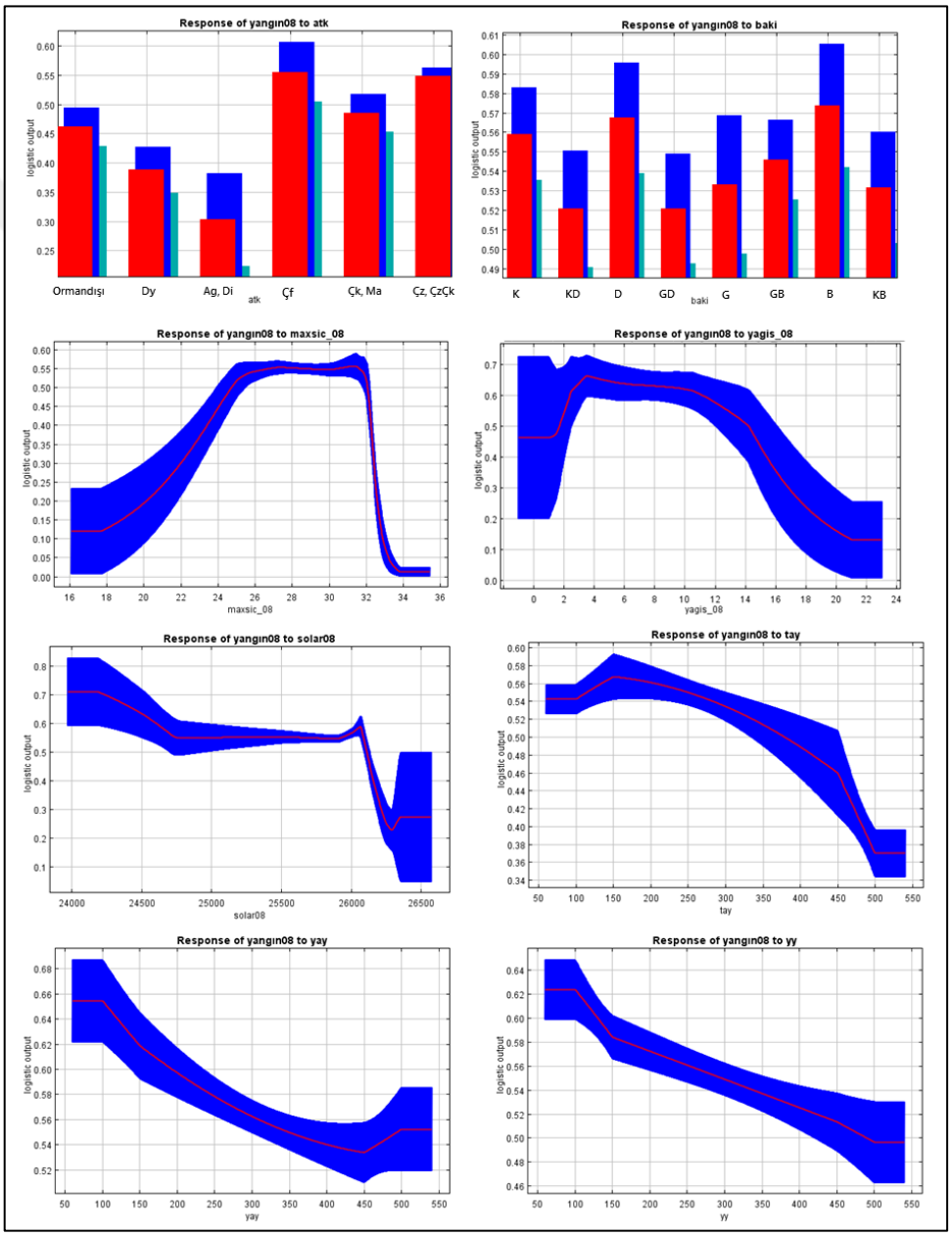
Şekil 5.21: Muğla OBM Ağustos Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma).

Tablo 5.4'de çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline Nisbi katkıları yüzde olarak verilmektedir. Değişkenlerin Ağustos ayı Yangın Çıkma İhtimali modeline katkı oranları sırasıyla Tarım Alanlarına Yakınlık (tay; %31,8), Ağustos ayı Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_08; %23,4), Ağaç Tür Kompozisyonu (atk; %11,3), Yola Yakınlık (YY; %10,7), Ağustos ayı Yağış Ortalaması (yagis_08; %7), Ağustos ayı Solar Radyasyon Ortalaması (srad_05; %6,5), Bakı (baki, %5,2) ve Yerleşim Alanlarına Yakınlık (yay; %4,1), şeklinde olmuştur. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda değişkenin ne kadar önemli olduğunu gösteren permutasyon önemine bakıldığında Maksimum Sıcaklık %21,6 ile birinci sırada yer alırken, bunu % 19,2 ile Tarım Alanlarına Yakınlık, %17,1 ile Yağış ve %13,8 ile Yola Yakınlık izlemektedir. Diğer değişkenler modelde daha az öneme sahiptir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Ağustos).

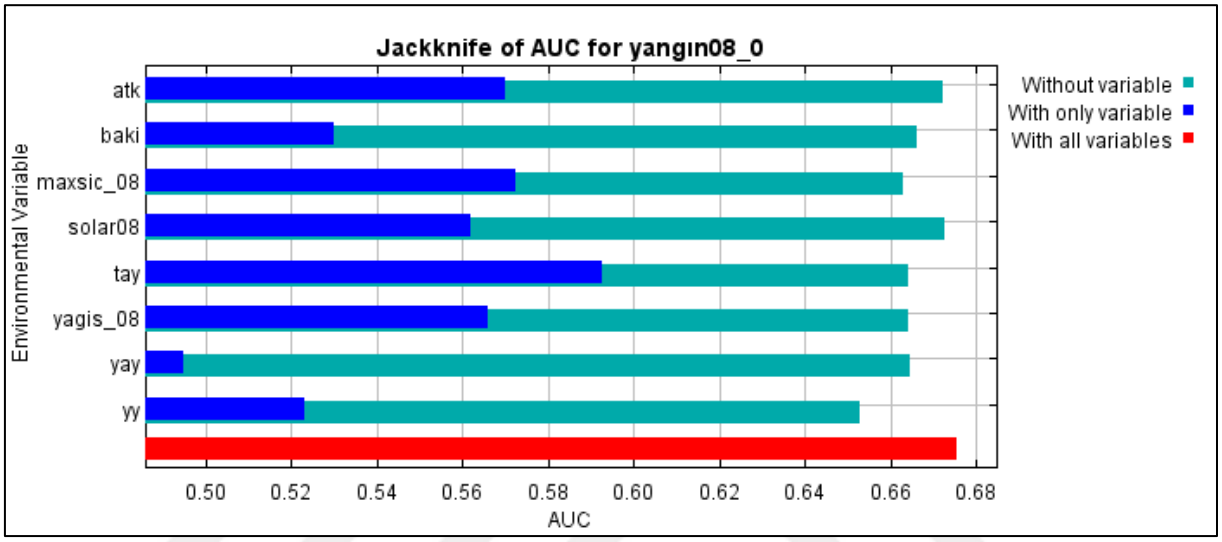
Değişken	Katkı yüzdesi (%)	Permutasyon Önemi
tay	31,8	19,2
maxsic_08	23,4	21,6
atk	11,3	9,8
yy	10,7	13,8
yagis_08	7	17,1
solar08	6,5	5,7
baki	5,2	5,9
yay	4,1	7

Ağustos ayı Yangın Çıkma İhtimali ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler, sekiz değişkenin marjinal tepki eğrilerinde gösterildiği gibi oldukça farklıdır (Şekil). Ağustos ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini yapılandıran değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrilerine bakıldığında Kızılçam (Çz) ve Kızılçam-Karaçam Tür Karışımı (ÇzÇk), Karaçam-Maki (Çk-Ma) türleri karışımı, Fıstıkçamı (Çf) türleri ve Maksimum Sıcaklık Ortalaması arasında pozitif yönlü ilişki; Yağış, Tarım Alanları, Yerleşim Alanları ve Yollardan uzaklık ile yangın risk potansiyeli arasında negatif yönlü güçlü bir ilişki göze çarpmaktadır.



Şekil 5.22: Ağustos Ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri.

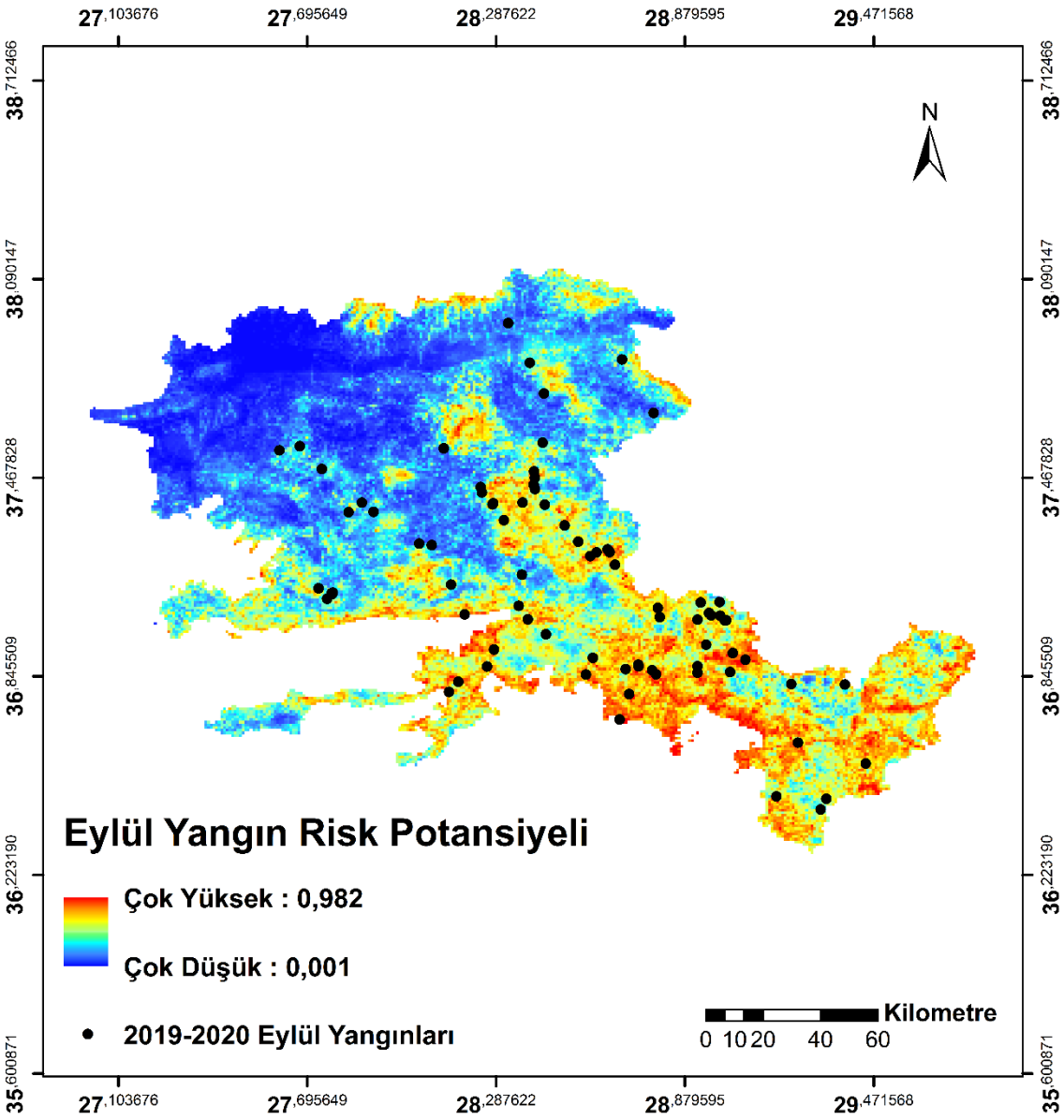
Şekil 5.23'de Jackknife değişken önem testinin sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçlarına göre tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişken Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_07)'dur ve bu nedenle tek başına en yararlı bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken Yola Yakınlık (yy)'dır, bu nedenle diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip gibi görünmektedir. Gösterilen değerler, tekrarlanan çalıştırmaların ortalamalarıdır.



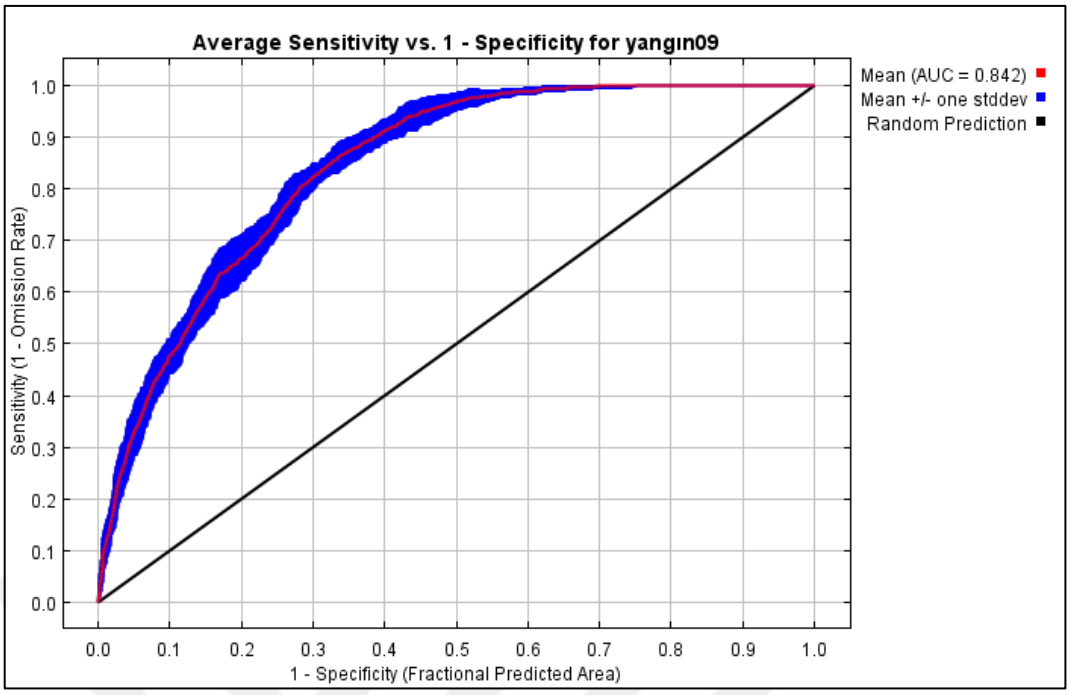
Şekil 5.23: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları.

5.2.5. Eylül Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları

2008 ve 2018 yılları arasında Temmuz ayında çıkan orman yangınlarının konumları bağımlı değişken olarak alınmış, yanıcı madde, iklim, topoğrafya, insan faaliyetlerini temsil eden sekiz çevresel değişken ise bağımsız değişkenler olarak alınarak Eylül ayı için yangın risk potansiyelininmodellenmesi ve haritalanması yapılmıştır (Şekil 5.24). Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen modelinin AUC değeri 0,842 ve standart sapması 0,014'dir (Şekil 5.25). Sonuçlar değerlendirildiğinde yangın risk potansiyelini tahmin eden modelin performansı çok yüksek (AUC=0,84) olarak bulunmuştur (Şekil 5.25). Muğla OBM'nde 2019-2020 yılları Eylül ayında toplam 81 adet yangın çıkmış olup, bu yangınların %57'si yangın risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek risk sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: Muğla OBM Eylül Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları.



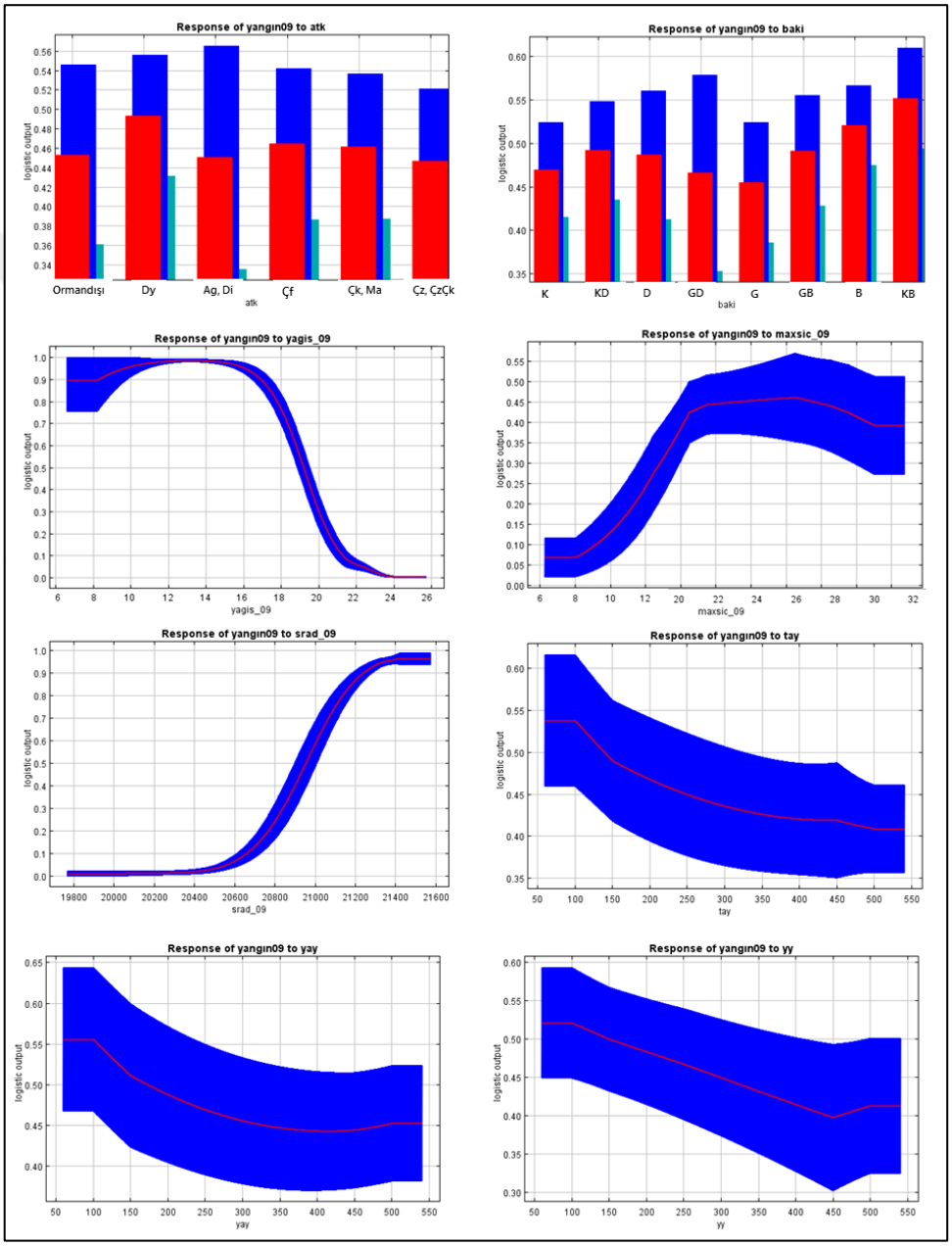
Şekil 5.25: Muğla OBM Eylül Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı (Mean: Ortalama, stddev: standart sapma).

Tablo 5.5'de çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline Nisbi katkıları verilmektedir. Değişkenlerin Eylül ayı Yangın Çıkma İhtimali modeline katkı oranları sırasıyla Eylül ayı Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_09; %38,3), Eylül ayı Solar Radyasyon Ortalaması (srad_09; %32), Tarım Alanlarına Yakınlık (tay; %10), Bakı (baki, %5,8), Yerleşim Alanlarına Yakınlık (yay; %3,8), Yola Yakınlık (yy; %3,6), Ağaç Tür Kompozisyonu (atk; %3,5), ve Eylül ayı Yağış Ortalaması (yagis_09; %3,1) şeklinde olmuştur. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda değişkenin ne kadar önemli olduğunu gösteren permutasyon önemine bakıldığında Maksimum sıcaklık % 47,3 ile birinci sırada yer alırken, bunu % 39,5 ile Solar Radyasyon takip etmektedir. Diğer değişkenler modelde daha az öneme sahiptir (Tablo 5.5).

Tablo 5.5: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Eylül).

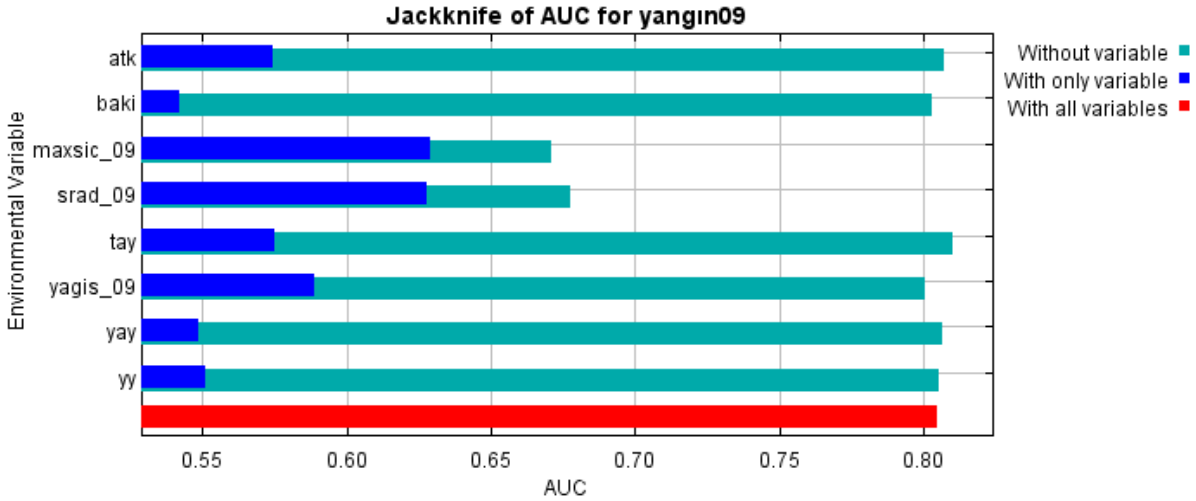
Değişken	Yüzde(%) Katkısı	Permutasyon Önemi (%)
maxsic_09	38,3	47,3
srad_09	32	39,5
tay	10	1,2
baki	5,8	3,6
yay	3,8	1,1
yy	3,6	2,2
atk	3,5	0,7
yagis_09	3,1	4,4

Eylül ayı Yangın Çıkma İhtimali ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler, sekiz değişkenin marjinal tepki eğrilerinde gösterildiği gibi oldukça farklıdır (Şekil). Eylül ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrilerine bakıldığında Yağış, Tarım Alanlarından uzaklık, Yerleşim Alanların uzaklık ve Yollardan uzaklık ile yangın risk potansiyeli arasında negatif yönlü bir ilişki, Maksimum Sıcaklık Ortalaması ve Solar Radyasyon ile de pozitif yönlü güçlü bir ilişki göze çarpmaktadır.



Şekil 5.26: Eylül Ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri.

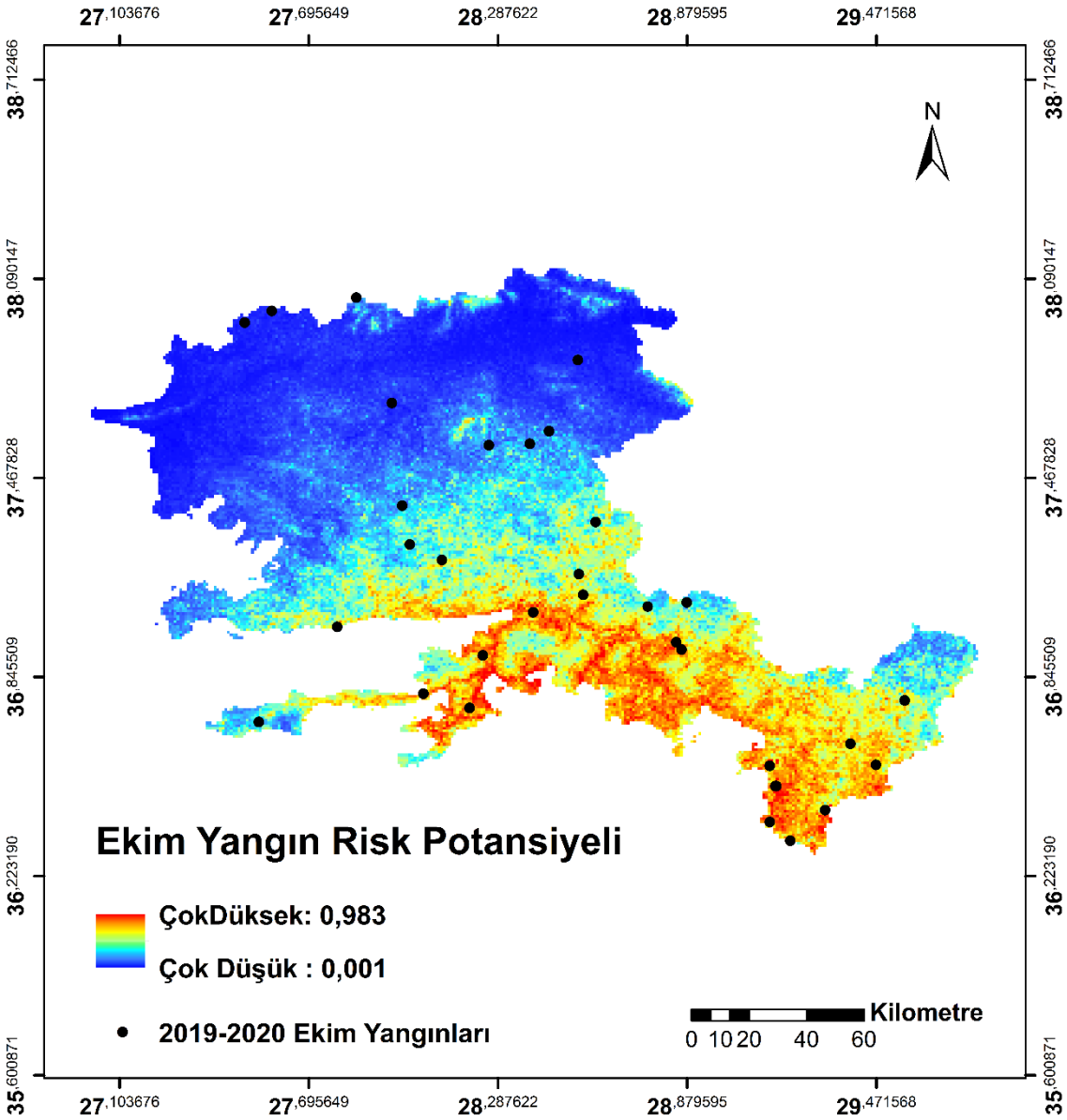
Şekil 5.27'de Jackknife değişken önem testinin sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçlarına göre tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişken Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_09)'dır ve bu nedenle tek başına en yararlı bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken Maksimum Sıcaklık (maxsic_09)'dır, bu nedenle bu değişkende diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip gibi görünmektedir. Gösterilen değerler, tekrarlanan çalıştırmaların ortalamalarıdır.



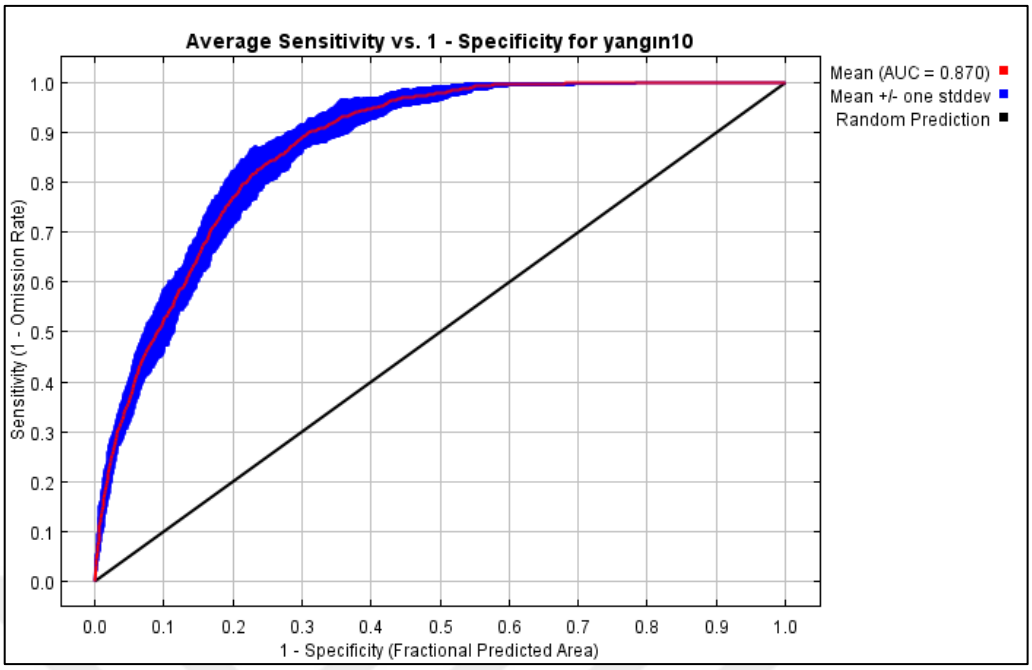
Şekil 5.27: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları.

5.2.6. Ekim Ayı Yangın Risk Potansiyeli Model Sonuçları

2008 ve 2018 yılları arasında Ekim ayında çıkan orman yangınlarının konumları bağımlı değişken olarak alınmış, yanıcı madde, iklim, topoğrafya, insan faaliyetlerini temsil eden sekiz çevresel değişken ise bağımsız değişkenler olarak alınarak Ekim ayı için yangın risk potansiyelininmodellenmesi ve haritalanması yapılmıştır (Şekil 5.28). Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen modelinin AUC değeri 0,870 ve standart sapması 0,015'dir (Şekil 5.29). Sonuçlar değerlendirildiğinde yangın risk potansiyelini tahmin eden modelin performansı çok yüksek (AUC=0,87) olarak bulunmuştur (Şekil 5.29). Muğla OBM'nde 2019-2020 yılları Haziran ayında toplam 31 adet yangın çıkmış olup, bu yangınların %55'i yangın risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek risk sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28: Muğla OBM Ekim Ayı Yangın Risk Potansiyeli Haritaları ve Geçmiş Yangınları.



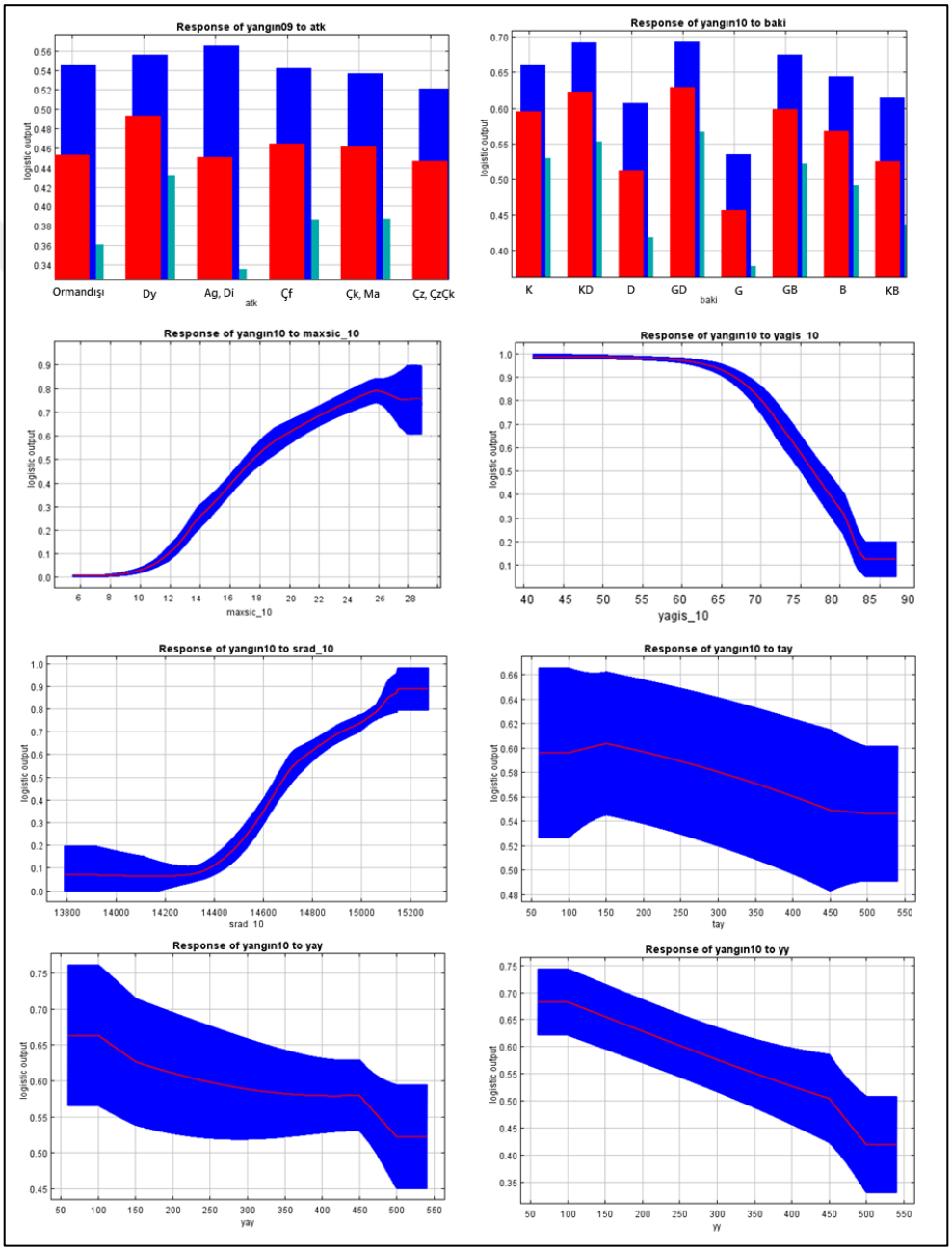
Şekil 5.29: Muğla OBM Ekim Ayı Yangın Çıkma İhtimali Model Performansı.

Tablo 5.6'da çevresel değişkenlerin MaxEnt modeline nisbi katkılarını yüzde olarak verilmektedir. Değişkenlerin Ekim ayı Yangın Çıkma İhtimali modeline katkı oranları sırasıyla Ekim ayı Yağış Ortalaması (yagis_10; %65,2), Ekim ayı Maksimum Sıcaklık Ortalaması (maxsic_10; %11), Ekim ayı Solar Radyasyon Ortalaması (srad_10; %9,8), Yola Yakınlık (yy; %4), Ağaç Tür Kompozisyonu (atk; %3), Bakı (baki, %2,7), Tarım Alanlarına Yakınlık (tay; %2,3) ve Yerleşim Alanlarına Yakınlık (yay; %2) şeklinde olmuştur. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda değişkenin ne kadar önemli olduğunu gösteren permutasyon önemine bakıldığında Yağış % 46,9 ile birinci sırada yer alırken, bunu ve %25,4 ile Solar Radyasyon ve % 18,8 ile Maksimum Sıcaklık izlemektedir. Diğer değişkenler modelde daha az öneme sahiptir (Tablo 5.6)

Tablo 5.6: Değişkenlerin MaxEnt Modeline Nisbi Katkıları (Ekim).

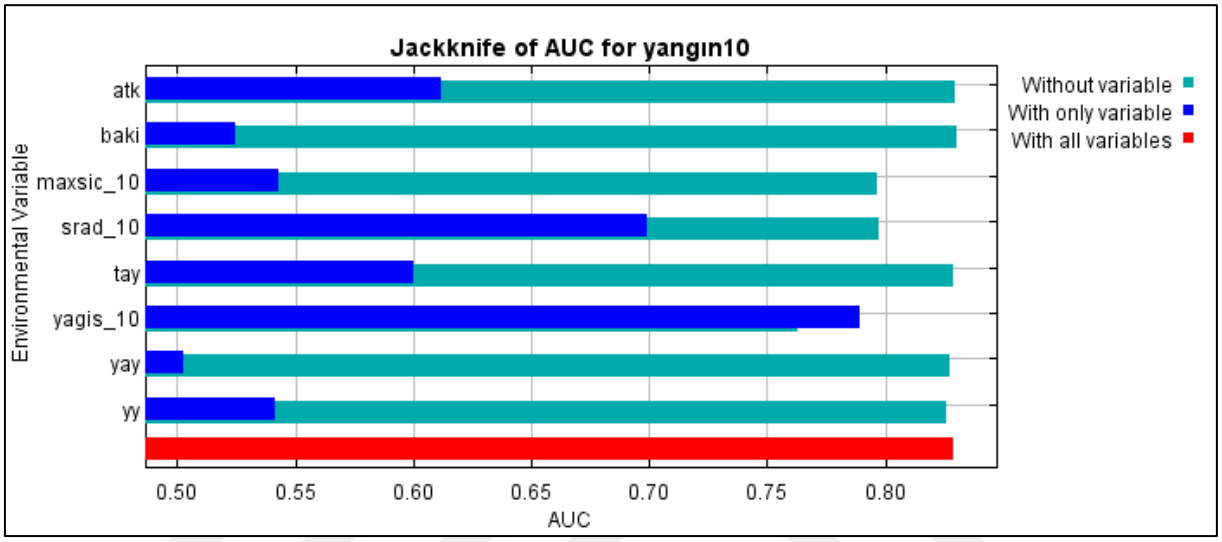
Değişken	Yüzde(%) Katkısı	Permutasyon Önemi
yagis_10	65.2	46.9
maxsic_10	11	18.8
srad_10	9.8	25.4
yy	4	4.2
atk	3	0.5
baki	2.7	1.2
tay	2.3	1.3
yay	2	1.8

Ekim ayı Yangın Çıkma İhtimali ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler, sekiz değişkenin marjinal tepki eğrilerinde gösterildiği gibi oldukça farklıdır (Şekil 5.30). Ekim ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrilerine bakıldığında Yağış, Tarım Alanlarından uzaklık, Yerleşim Alanların uzaklık ve Yollardan uzaklık ile yangın risk potansiyeli arasında negatif yönlü bir ilişki, Maksimum Sıcaklık Ortalaması ve Solar Radyasyon ile de pozitif yönlü güçlü bir ilişki göze çarpmaktadır.



Şekil 5.30: Ekim ayı Yangın Çıkma İhtimali Modelini Yapılandıran Değişkenlerin Marjinal Tepki Eğrileri.

Şekil 5.31'de Jackknife değişken önem testinin sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçlarına göre tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişken Yağış Ortalaması (yagis_10)'dır ve bu nedenle tek başına en yararlı bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken Yağış Ortalaması (yagis_10)'dır, bu nedenle diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip gibi görünmektedir. Gösterilen değerler, tekrarlanan çalıştırmaların ortalamalarıdır.



Şekil 5.31: Jackknife Değişken Önem Testinin Sonuçları.

5.3. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

AHP kullanılarak yangın tehlike potansiyeli haritalarının hazırlanmasında ağırlıkların tahmin edilebilmesi için her bir kriterin öneminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kriter ve alt kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için uzman görüşleri alınarak AHP ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İklim, meşçere özellikleri ve topografya kriterlerinin Tutarlılık oranları (CR) hesaplanmıştır (Tablo 5.7). Elde edilen bulgulara göre, tüm kriterlerin ve alt kriter değerlerinin CR değeri 0,1'den küçüktür yani tüm ikili karşılaştırma matrislerinin yeterli ve kabul edilebilir tutarlılığa sahiptir.

Tablo 5.7: Ana ve Alt Kriter ağırlıkları.

Ana Kriter	Ana Kriter Ağırlığı	CR (Tutarlık Oranı)	Alt Kriter	Alt Kriter Ağırlığı	Nihai Ağırlık (YTP)
İklim/Hava Halleri	0,66	0,064	Sıcaklık	0,61	0,40
			Yağış	0,27	0,18
			Rüzgar Hızı	0,12	0,08
Meşçere Özelikleri	0,21	0,008	Ağaç Tür Kompoziyonu	0,63	0,13
			Meşçere Kapalılığı	0,17	0,04
			Gelişim Çağı	0,19	0,04
Topoğrafya	0,13	0,046	Eğim	0,33	0,04
			Bakı	0,41	0,05
			Yükselti	0,26	0,03

Meteorolojik parametreler %66 ağırlık ile orman yangını tehlike potansiyelini etkileyen en önemli ana kriter olurken hemen ardından %21'lik ağırlık ile meşçere özellikleri olmuştur. Alt kriterler dikkate alındığında ise orman yangını tehlikesini etkileyen en önemli 3 faktör sırasıyla Maksimum sıcaklık (%40), Yağış (%28) ve Rüzgar hızı (%8) olmuştur (Tablo 5.7).

$$YTP\dot{I} = 0{,}40 * S + 0{,}18 * Y + 0{,}08 * RH + 0{,}13 * ATK + 0{,}04 * MK + 0{,}04 * G\text{Ç} + 0{,}04 * E + 0{,}05 * B + 0{,}03 * Y \quad (5.1)$$

Burada;

YTPİ = Yangın Tehlike Potansiyeli İndeksi

S = Sıcaklık,

Y = Yağış,

RH = Rüzgâr Hızı,

ATK = Ağaç Tür Kompozisyonu,

MK = Meşçere Kapalılığı,

GÇ = Gelişim Çağı,

E = Eğim,

B = Bakı ve

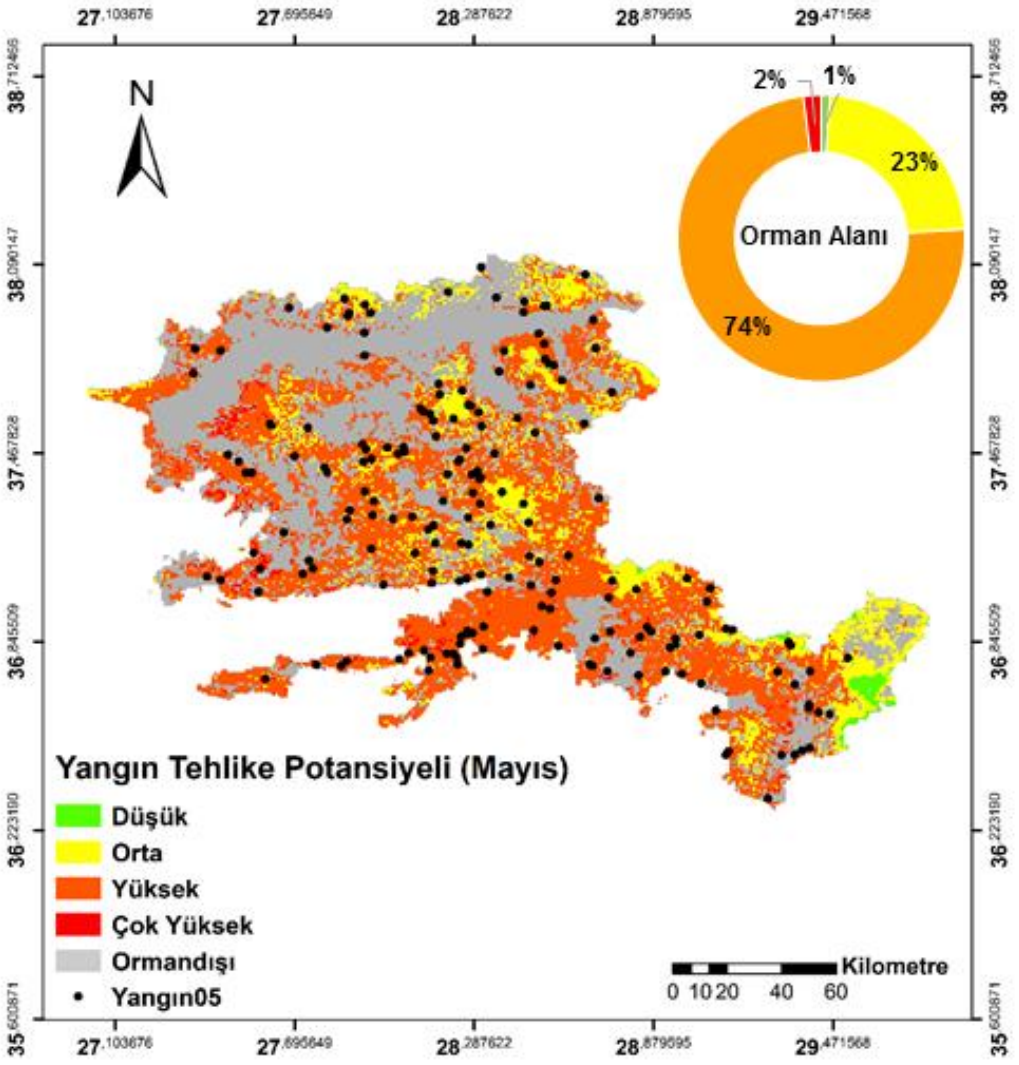
Y = Yükselti'yi ifade etmektedir.

Muğla OBM için yangın tehlike potansiyelini etkileyen faktörlere bağlı olarak yapılan modelleme sonucunda yangın sezonunu boyunca her ay için yangın tehlike potansiyeli haritaları oluşturulmuştur. Haritalar çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere

5 adet yangın tehlike potansiyeli sınıfından oluşmaktadır. Yangın sezonunu kapsayan her bir ay için analizler yapılmış ve orman alanlarının yangın tehlike potansiyeli ortaya konulmuştur

5.3.1. Mayıs Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları

Yangın Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Tehlike Potansiyeli modellerinden elde edilen Mayıs ayına ait haritalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Mayıs ayı yangın tehlike potansiyeli haritalarının analizi sonucunda toplam ormanlık alanın orman yangınları açısından %2'sini oluşturan 25099,5 ha alanın Çok Yüksek, %74'ünü oluşturan 85.6018,2 ha Yüksek, %23'ünü oluşturan 265290,5 ha alanın Orta, %1'ini oluşturan 12516,8 ha alanın Düşük yangın tehlike sınıfına sahip olduğu ve Çok Düşük yangın tehlike sınıfına ait alanların olmadığı belirlenmiştir (Şekil 5.32).



Şekil 5.32: Muğla OBM Mayıs Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası.

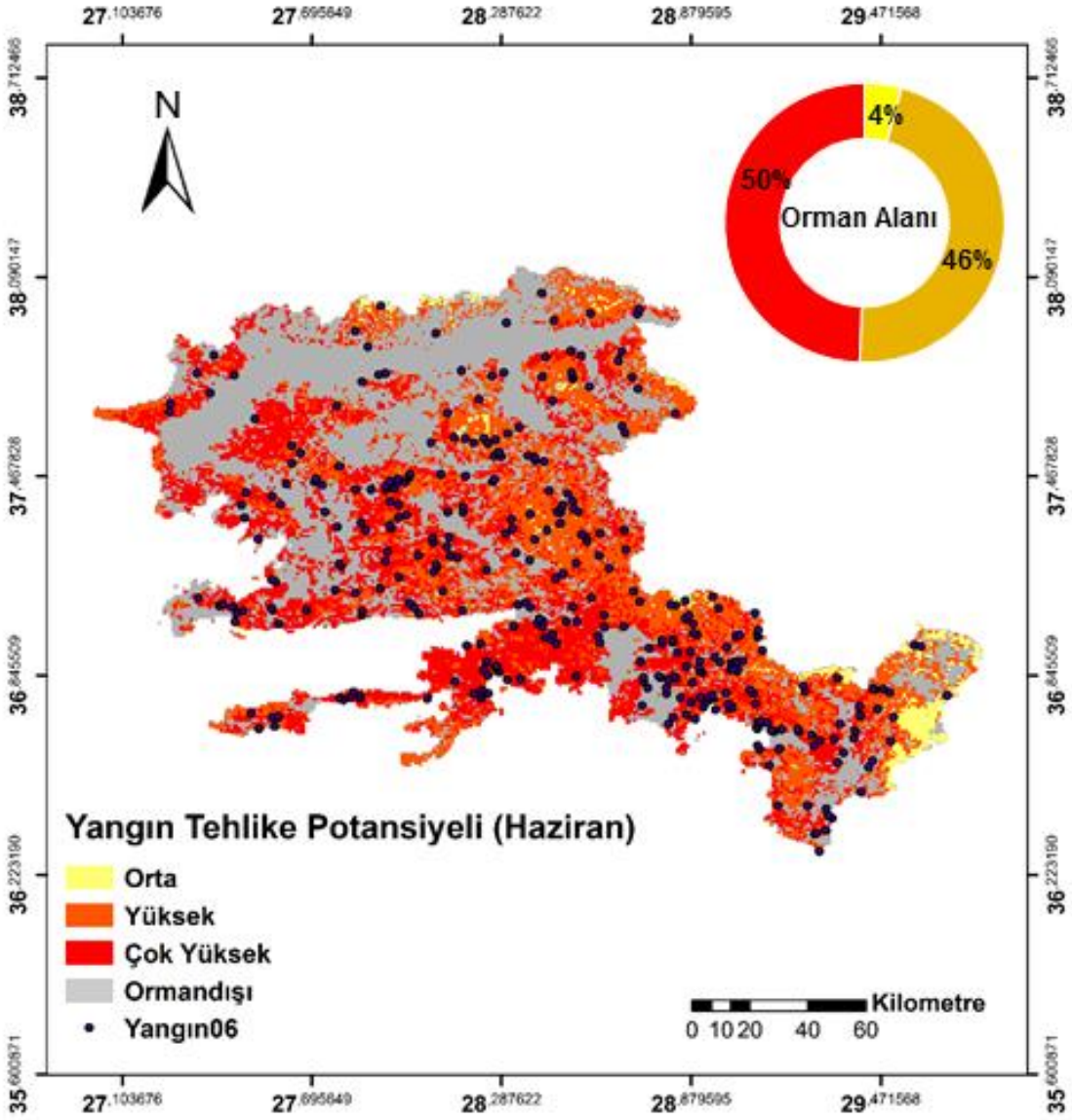
Mayıs ayı Yangın Tehlike Potansiyeli haritasına geçmiş yıllarda Mayıs ayında çıkan yangınlar eklenmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına göre, 2008-2018 yılları arası Mayıs ayında çıkan orman yangınlarının sayıca %6,9'u Çok Yüksek, %78,8'i Yüksek, %14,3'ü Orta yangın tehlike potansiyel sınıfına ait orman alanlarında gerçekleşmiş ve düşük yangın tehlike sınıfına giren alanlarda hiç yangın çıkmamıştır (Tablo 5.8). Yanan alan miktarının potansiyel tehlike sınıflarına dağılımı değerlendirildiğinde ise yangınların %90,6'lık kısmını oluşturan 60,9 ha alan Yüksek ve Çok Yüksek yangın tehlike potansiyel sınıflarına ait meşçerelerde olduğu görülmektedir (Tablo 5.8). Özetle, Mayıs ayında sayısal ve alansal olarak yangından en fazla etkilenen Yüksek ve Çok Yüksek, en az etkilenen ise Düşük ve Orta tehlike sınıfına ait alanlar olmuştur (Tablo 5.8).

Tablo 5.8: Mayıs Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları.

Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Mayıs	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	12516,8	1,1	–	–	–	–	–
	Orta	265291	22,9	27	14,3	6,3	9,4	0,23
	Yüksek	856018	73,8	149	78,8	56,7	84,3	0,38
	Çok Yüksek	25099,5	2,2	13	6,9	4,2	6,3	0,32

5.3.2. Haziran Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları

Yangın Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Tehlike Potansiyeli modellerinden elde edilen Haziran ayına ait haritalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Haziran ayı yangın tehlike potansiyeli haritalarının analizi sonucunda toplam ormanlık alanın orman yangınları açısından %50'sini oluşturan 572808,8 ha alanın Çok Yüksek, %46'sını oluşturan 536444,2 ha alanın Yüksek, %4'ünü oluşturan 49672 ha alanın Orta tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.33).



Şekil 5.33: Muğla OBM Haziran Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası.

Haziran ayı Yangın Tehlike Potansiyeli haritasına geçmiş yıllarda Haziran ayında çıkan yangınlar eklenmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 2008-2018 yılları arası Haziran ayında çıkan orman yangınlarının sayıca %61,6'sı Çok Yüksek, %37,3'ü Yüksek, %1,1'i Orta yangın tehlike potansiyel sınıfına ait orman alanlarında gerçekleşmiş olup Düşük ve Çok Düşük yangın tehlike sınıfına giren alanlarda hiç yangın çıkmamıştır (Tablo 5.9). Yanan alan miktarının potansiyel tehlike sınıflarına dağılımı değerlendirildiğinde ise yangınların %56,9'luk kısmını oluşturan 88,42 ha alan Çok Yüksek, %43'luk kısmını oluşturan 66,96 ha alan Yüksek ve %0,1'lik kısmını oluşturan 0,12 ha alan Orta yangın tehlike potansiyel sınıflarına ait meşçerelerde olduğu görülmekte düşük ve Çok Düşük tehlike sınıfına ait

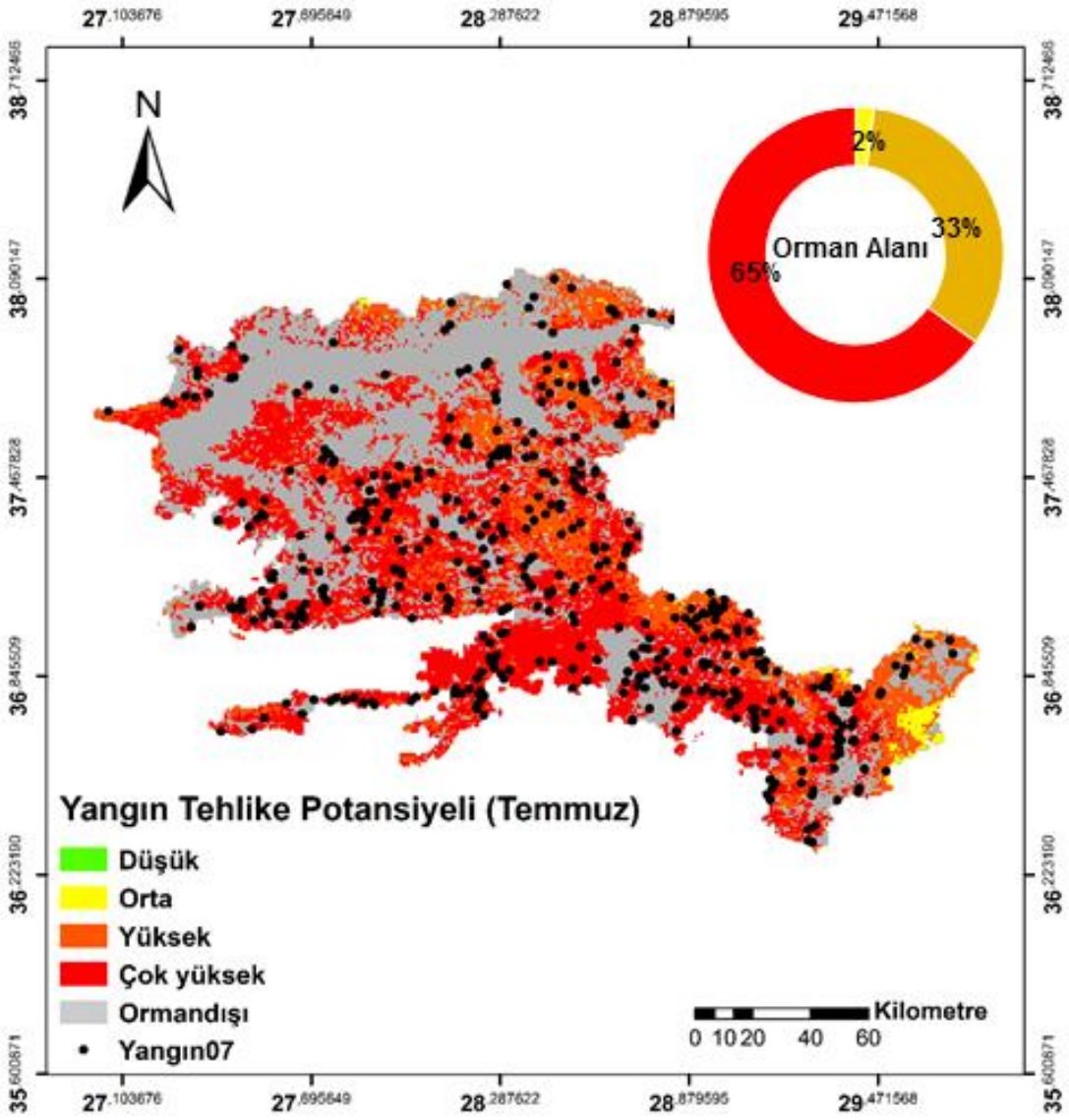
alanlarda yangın gözlenmemiştir (Tablo 5.9). Özetle, Haziran ayında yangınların sayısal ve alansal dağılımı bakımından en çok etkilenen alanlar sırasıyla Çok Yüksek ve Yüksek tehlike sınıfına ait alanlar iken, en az etkilenen Orta tehlike sınıfına ait alanlar olmuş ve hiç etkilenmeyen ise Düşük ve Çok Düşük tehlike sınıfına ait alanlar olmuştur (Tablo 5.9).

Tablo 5.9: Haziran Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Analiz Sonuçları.

Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Haziran	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Orta	49672	4,3	4	1,1	0,12	0,1	0,03
	Yüksek	536444,2	46,3	139	37,3	66,96	43	0,48
	Çok Yüksek	572808,8	49,4	230	61,6	88,42	56,9	0,38

5.3.3. Temmuz Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları

Yangın Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Tehlike Potansiyeli modellerinden elde edilen Temmuz ayına ait haritalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Temmuz ayı yangın tehlike potansiyeli haritalarının analizi sonucunda toplam ormanlık alanın orman yangınları açısından %65'ini oluşturan 750811,1 ha alanın Çok Yüksek, %33'ünü oluşturan 387164,7 ha alanın Yüksek, %2'sini oluşturan 20817,4 ha alanın Orta tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.34: Muğla OBM Temmuz Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası.

Temmuz ayı Yangın Tehlike Potansiyeli haritasına geçmiş yıllarda Temmuz ayında çıkan yangınlar eklenmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 2008-2018 yılları arası Temmuz ayında çıkan orman yangınlarının sayıca %71,2'si'u Çok Yüksek, %28,1'i Yüksek, %0,7'si Orta yangın tehlike potansiyel sınıfına ait orman alanlarında gerçekleşmiş olup Düşük ve Çok düşük yangın tehlike sınıfına giren alanlarda hiç yangın çıkmamıştır (Tablo). Yanan alan miktarının potansiyel tehlike sınıflarına dağılımı değerlendirildiğinde ise yangınların %80,5'lik kısmını oluşturan 883,88 ha alan Çok Yüksek, %19,4'lük kısmını oluşturan 213,03 ha alan Yüksek, %0,1'ini oluşturan 0,75 ha alan Orta yangın tehlike sınıflarına

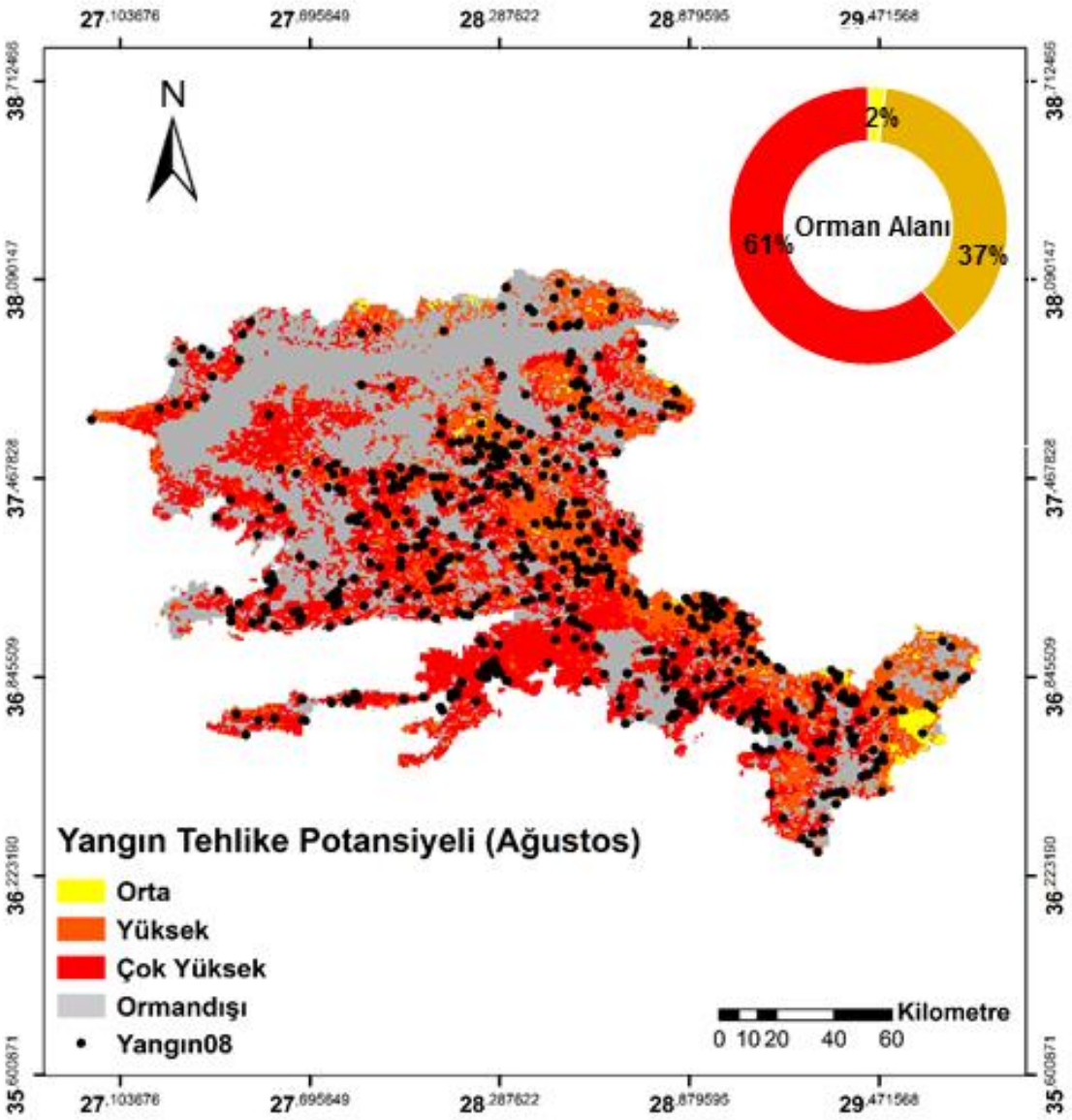
ait meşçerelerde olduğu görülmektedir (Tablo 5.10). Özetle, Temmuz ayında sayısal ve alansal olarak yangından en fazla etkilenen alanlar Çok Yüksek ve Yüksek tehlike sınıfına ait alanlar iken, en az etkilenen Orta tehlike sınıfına ait alanlar olmuş, hiç etkilenmeyen ise Düşük ve Çok Düşük tehlike sınıfına ait alanlar olmuştur (Tablo 5.10).

Tablo 5.10: Temmuz Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları.

Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Temmuz	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	131,8	0,1	–	–	–	–	–
	Orta	20817,4	1,8	4	0,7	0,75	0,1	0,19
	Yüksek	387164,7	33,3	163	28,1	213,03	19,4	1,31
	Çok Yüksek	750811,1	64,8	413	71,2	883,88	80,5	2,14

5.3.4. Ağustos Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları

Yangın Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Tehlike Potansiyeli modellerinden elde edilen Ağustos ayına ait haritalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Ağustos ayı yangın tehlike potansiyeli haritalarının analizi sonucunda toplam ormanlık alanın orman yangınları açısından %61'ini oluşturan 703313,1 ha alanın Çok Yüksek, %37'sini oluşturan 430776 ha alanın Yüksek, %2'sini oluşturan 24836 ha alanın Orta tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35: Muğla OBM Ağustos Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası.

Ağustos ayı Yangın Tehlike Potansiyeli haritasına geçmiş yıllarda Ağustos ayında çıkan yangınlar eklenmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 2008-2018 yılları arası Ağustos ayında çıkan orman yangınlarının sayıca %66,4'ü Çok Yüksek, %23,9'u Yüksek, %0,1'i Orta yangın tehlike potansiyel sınıfına ait orman alanlarında gerçekleşmiş olup Düşük ve Çok düşük yangın tehlike sınıfına giren alanlarda hiç yangın çıkmamıştır (Tablo 5.11). Yanan alan miktarının potansiyel tehlike sınıflarına dağılımı değerlendirildiğinde ise yangınların %76'lık kısmını oluşturan 1501,70 ha alan Çok Yüksek, %23,'luk kısmını oluşturan 472,54 ha alan Yüksek ve %1,2,'lik kısmını oluşturan Orta yangın potansiyel tehlike sınıflarına ait meşçerelerde olduğu görülmektedir (Tablo 5.11). Özetle, Ağustos ayında sayısal

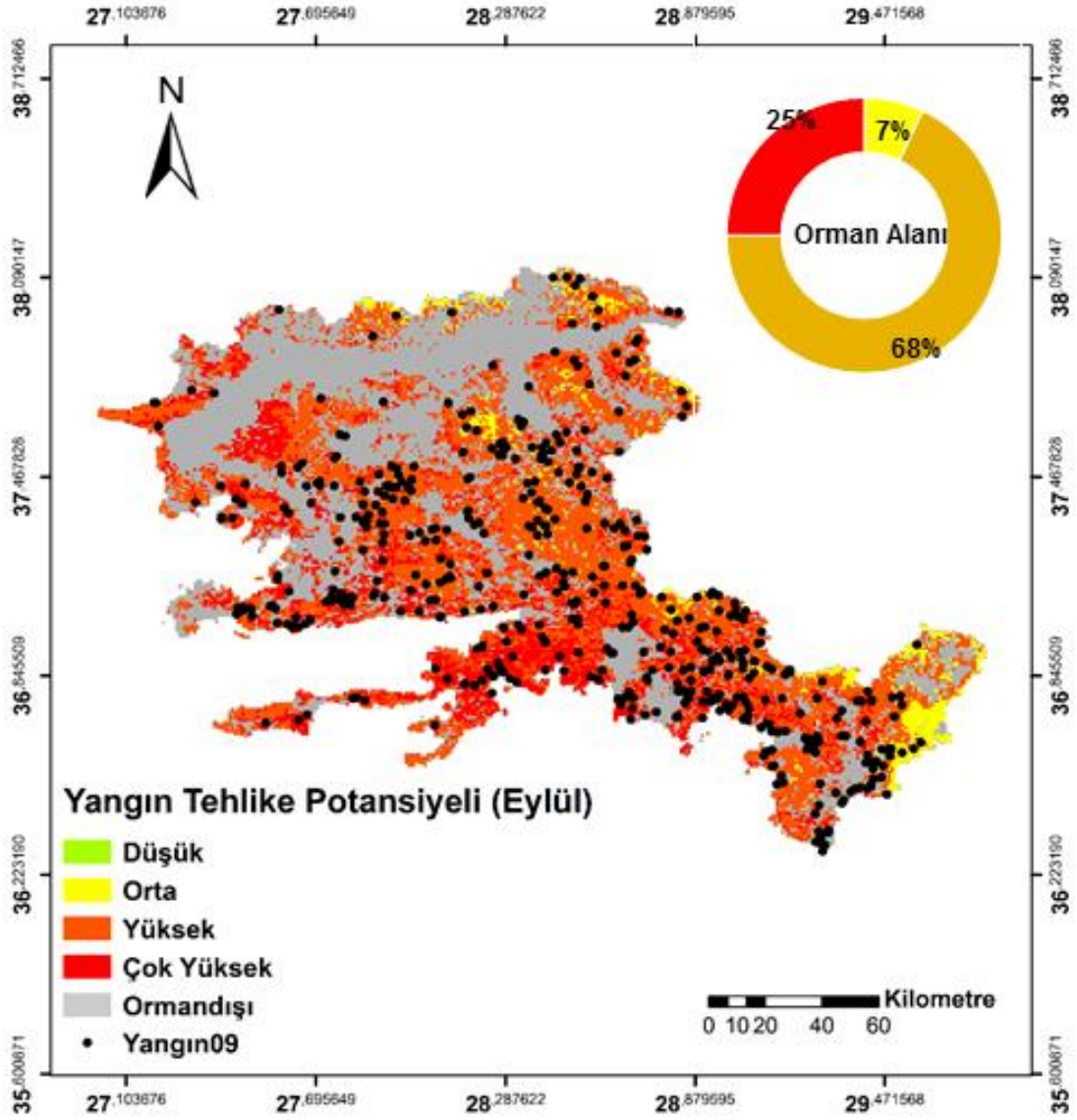
ve alansal olarak yangından en fazla etkilenen alanlar Çok Yüksek ve Yüksek tehlike sınıfına ait alanlar iken, en az etkilenen Orta tehlike sınıfına ait alanlar olmuş, hiç etkilenmeyen ise Düşük ve Çok Düşük tehlike sınıfına ait alanlar olmuştur (Tablo 5.11).

Tablo 5.11: Ağustos Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları.

Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Ağustos	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Orta	24836	2,1	8	1,2	0,63	0,1	0,08
	Yüksek	430776	37,2	216	32,4	472,54	23,9	2,19
	Çok Yüksek	703313,1	60,7	443	66,4	1501,70	76	3,39

5.3.5. Eylül Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları

Yangın Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Tehlike Potansiyeli modellerinden elde edilen Eylül ayına ait haritalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Eylül ayı yangın tehlike potansiyeli haritalarının analizi sonucunda toplam ormanlık alanın orman yangınları açısından %25'ini oluşturan 294342,7 ha alanın Çok Yüksek, %68'ini oluşturan 788822,6 alanın Yüksek, %7'sini oluşturan 75298,5 ha alanın Orta tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.36).



Şekil 5.36: Muğla OBM Eylül Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası.

Eylül ayı Yangın Tehlike Potansiyeli haritasına geçmiş yıllarda Eylül ayında çıkan yangınlar eklenmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 5.36). Analiz sonuçlarına göre, 2008-2018 yılları arası Eylül ayında çıkan orman yangınlarının sayıca %34,4'ü Çok Yüksek, %62,1'i Yüksek, %3,1'i Orta yangın tehlike potansiyel sınıfına ait orman alanlarında gerçekleşmiş olup Düşük ve Çok düşük yangın tehlike sınıfına giren alanlarda hiç yangın çıkmamıştır (Tablo). Yanan alan miktarının potansiyel tehlike sınıflarına dağılımı değerlendirildiğinde ise yangınların %67,1'lik kısmını oluşturan 367,00 ha alan Çok Yüksek, %31,2,'lik kısmını oluşturan 170,52 ha alan Yüksek ve %1,7,'lik kısmını oluşturan Orta yangın tehlike sınıflarına ait meşçerelerde olduğu görülmektedir (Tablo 5.12). Özetle, Eylül ayında sayıca en fazla yangın çıkan tehlike sınıfı 341 adet yangınla (%62,'lik oranla) Yüksek tehlike sınıfı olmasına rağmen

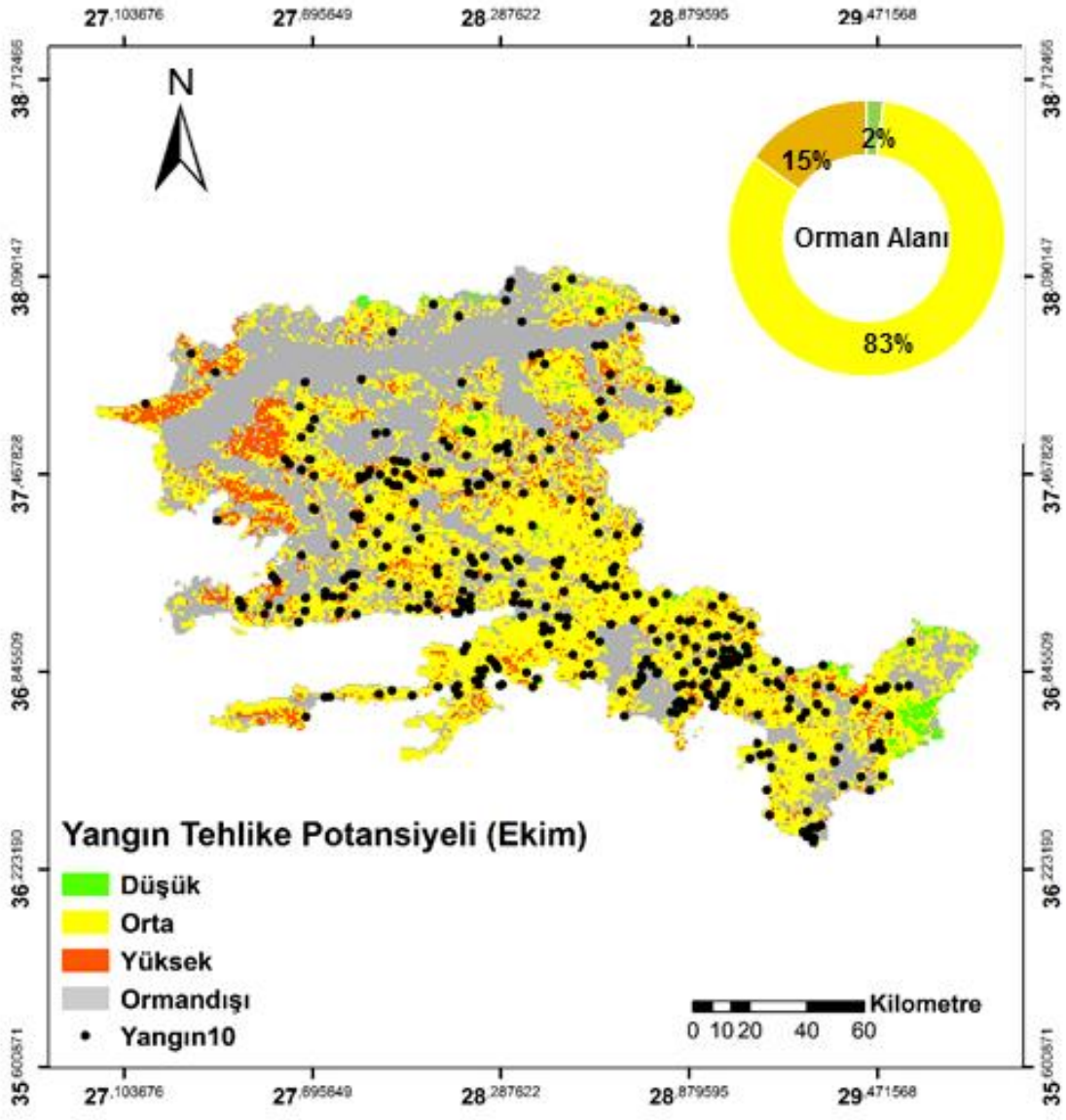
alansal olarak en fazla etkilenen tehlike sınıfı ise 367,00 ha ile (%67,1'lik oranla) Çok Yüksek yangın tehlike sınıfı olmuştur. Ayrıca sayısal ve yanan alan dağılımı bakımından en az etkilenen Orta tehlike sınıfına ait alanlar olmuş, hiç etkilenmeyen ise Düşük ve Çok Düşük tehlike sınıfına ait alanlar olmuştur (Tablo 5.12).

Tablo 5.12: Eylül Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları.

Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Eylül	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	461,1	0,1	–	–	–	–	–
	Orta	75298,5	6,5	19	3,5	8,99	1,7	0,47
	Yüksek	788822,6	68,0	341	62,1	170,52	31,2	0,50
	Çok Yüksek	294342,7	25,4	189	34,4	367,00	67,1	1,94

5.3.6. Ekim Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Sonuçları

Yangın Tehlike potansiyelinin belirlenmesi amacıyla belirlenen faktörlere bağlı olarak Yangın Tehlike Potansiyeli modellerinden elde edilen Ekim ayına ait haritalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Ekim ayı yangın tehlike potansiyeli haritalarının analizi sonucunda toplam ormanlık alanın orman yangınları açısından, %15'sini oluşturan 174774,2 ha alanın Yüksek, %83'ünü oluşturan 957338,5 ha alanın Orta, %2'ini oluşturan 26812,3 ha alanın Düşük tehlike potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.37).



Şekil 5.37: Muğla OBM Ekim Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli Haritası.

Ekim ayı Yangın Tehlike Potansiyeli haritasına geçmiş yıllarda Ekim ayında çıkan yangınlar eklenmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 2008-2018 yılları arası Ekim ayında çıkan orman yangınlarının sayıca %18,7'si Yüksek, %80'i Orta, %1,3'ü Düşük yangın tehlike potansiyel sınıfına ait orman alanlarında gerçekleşmiş olup Çok Yüksek ve Çok Düşük yangın tehlike sınıfına giren alanlarda hiç yangın çıkmamıştır (Tablo 5.13). Yanan alan miktarının potansiyel tehlike sınıflarına dağılımı değerlendirildiğinde ise yangınların %29,1'i kısmını oluşturan 62,6 ha alan Yüksek, %70,7'sini kısmını oluşturan 151,04 ha alan Orta ve %0,2'lik kısmını oluşturan 0,52 ha alan Düşük yangın tehlike potansiyel sınıflarına ait meşçerelerde olduğu görülmektedir (Tablo 5.13). Özetle, Ekim ayında sayısal ve alansal olarak yangından en fazla etkilenen alanlar Orta ve Yüksek tehlike sınıfına ait alanlar

iken, en az etkilenen Düşük tehlike sınıfına ait alanlar olmuş, hiç etkilenmeyen ise Çok Yüksek ve Çok Düşük tehlike sınıfına ait alanlar olmuştur (Tablo 5.13). Ekim ayında 380 adet yangınla en fazla yangın çıkan tehlike sınıfı Orta tehlike sınıfı olmasına rağmen yangın başına düşen yanan alan miktarı 0,86 ha ile Yüksek tehlike sınıfı birinci sıradadır.

Tablo 5.13: Ekim Ayı Yangın Tehlike Potansiyeli (Değerlendirme) Analiz Sonuçları.

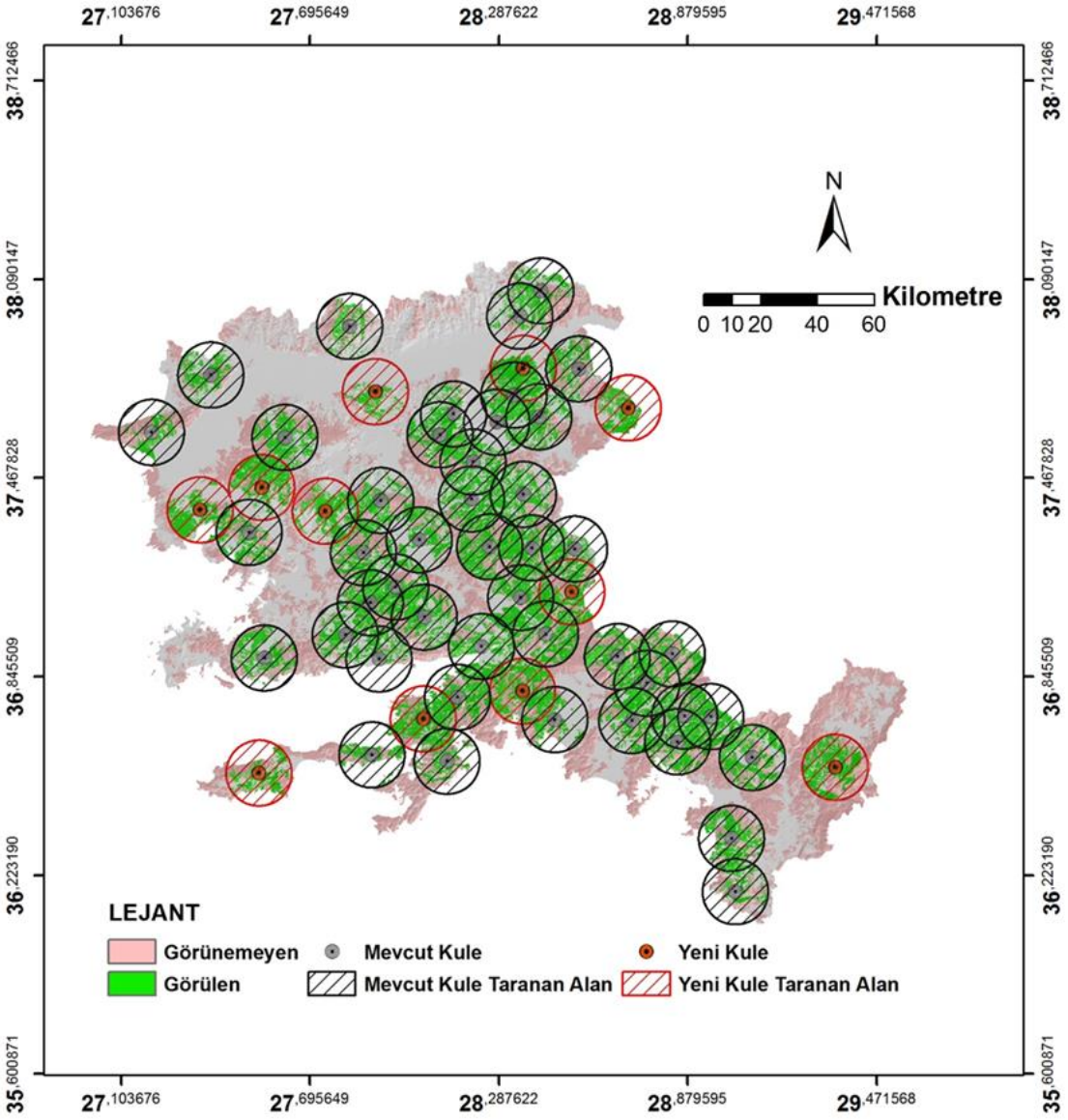
Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Ekim	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	26812,3	2,3	5	1,3	0,52	0,2	0,1
	Orta	957338,5	82,6	308	80,0	151,04	70,7	0,49
	Yüksek	174774,2	15,1	72	18,7	62,06	29,1	0,86
	Çok Yüksek	–	–	–	–	–	–	–

5.4. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ

Çalışma alanı sınırları içinde yer alan mevcut 46 adet yangın gözetleme kulesi için görünürlük analizi yapılmış ve kuleler tarafından orman alanlarının görülebilirliği değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda orman alanlarının %33,3'lik kısmı tek kule tarafından, %4,6'sı 2 kule tarafından, %0,4'lik kısmı da 3 kule tarafından görülebilmekte olup orman alanlarının toplam %38,3'i kuleler tarafından görebildiği, %61,7'lik kısmının ise görülemediği ortaya konmuştur (Şekil 5.39). Gözetleme Kulesi ağına 10 yeni kule eklenip 1 kulenin de yerinin değiştirilmesi sonucunda orman alanlarının kuleler tarafından görünürlük oranı %38,3'den %47,5'e çıkmaktadır (Tablo 5.14, Şekil 5.39).

Tablo 5.14: Yangın Gözetleme Kuleleri Tarafından Orman Alanlarının Görünürlük Durumu.

Orman Alanı	Mevcut Durum	Yeni Durum
Görünmeyen	%61,7	%52,5
1 Kule Tarafından Görülen	%33,3	%41,6
2 Kule Tarafından Görülen	%4,6	%5,4
3 Kule Tarafından Görülen	%0,4	%0,4



Şekil 5.38: Mevcut ve Önerilen Yeni Kuleler Tarafından Görülen ve Görünemeyen Alanlar.

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, yangın öncesi yangın yönetim planlamaları, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın organizasyonlarına yardımcı olacak Risk ve Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması, Yangın Gözetleme Kulelerinin Görünürlük Analizi çalışmaları Orman Bölge Müdürlüğü bazında yapılmıştır. Tartışma bölümü, 3 alt bölüm halinde aşağıda verilmiştir.

6.1. ORMAN YANGINI RİSK POTANSİYELİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

Çalışmanın bu kısmı, gelecekteki orman yangınlarının potansiyel konumları hakkında bir fikir edinmek için sabit ve değişken çevre faktörleri (yanıcı madde, meteorolojik parametreler, topoğrafya ve insan aktivitesi) ile geçmiş orman yangını konumu arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yangın sezonunu boyunca aylık olarak yangın risk potansiyeli (YRP) modelleri bir makine öğrenmesi tekniği olan MaxEnt Tabanlı yaklaşım ile geliştirilmiş ve model sonuçları analiz edilmiştir. MaxEnt yaklaşımı, son yıllarda mekansal modellemede yaygın olarak kullanılmaktadır ve çeşitli konularda yapılan çalışmalar **(**Mohammad-Djafari, 2015; Phillips ve diğ., 2006; Evcin, 2018; Zhang ve Wang, 2022) ile bilinen bilgilere dayanarak bilinmeyen dağılımları tahmin etmedeki güçlü yeteneği kanıtlanmıştır. MaxEnt yaklaşımı, mekansal faktörlerin tüm kısıtlamalarını karşılar ve makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde maksimum entropi ile yaklaşık dağılımı bulma verimliliğini artırır (Zhang ve Wang, 2022). MaxEnt modelleri basit ve kesindir, bu da modelleme mekanizmasının yorumlanmasını kolaylaştırır (Elith ve diğ., 2011).

MaxEnt tabanlı yaklaşım ile yangın risk potansiyeli modelinin sonuçlarına göre model performans göstergesi olan AUC değerleri yangın sezonu boyunca aylara göre 0,71 ile 0,87 arasında değişmekle birlikte ortalama AUC değeri 0,79'dur. Model performansı ile AUC değeri arasındaki nicel-nitel ilişki 0,5-0,6 kötü, 0,6-0,7 ortalama, 0,7-0,8 yüksek, 0,8-0,9 çok yüksek ve 0,9–1 mükemmel) şeklinde kategorize edilmektedir (Yeşilnacar, 2005; Graham ve Hijmans, 2006). Model AUC değerleri de model performanslarının yüksek veya çok yüksek

olduğunu göstermektedir. Model performansları aylara göre değişmekle birlikte yüksek ve çok yüksek şeklinde olmuştur. Bu sonuçlar modelin güvenirliği açısından oldukça tatmin edicidir.

Yangın risk potansiyeli modelleri detaylı şekilde analiz edildiğinde tek başına kullanıldığında en yüksek kazanıma sahip çevresel değişkenler Maksimum Sıcaklık, Ağaç Tür Kopozisyonu, Solar Radyasyon ve Tarım Alanlarına yakınlık olduğu görülmektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişkense Yola Yakınlık ve Yağış olmuştur. Bu nedenle bu iki değişkenin diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip olduğu görülmektedir. Yangın risk potansiyeline değişkenlerin tepkileri farklıdır. Sıcaklık ve solar radyasyonun yükselmesi yangın çıkma ihtimalini arttırmaktadır. Tarım alanı, Yerleşim yeri ve yollardan uzaklaştıkça yangın risk potansiyeli düştüğü görülmektedir. Kızılçam ve makilik alanlar yangın riskinin yüksek olduğu alanlardır.

Yangın sezonunu kapsayan her bir ay için 2008-2018 yılları arasında çıkan orman yangınlarının konumları ve çevresel değişkenler ile geliştirilen modelin denetimi 2019-2020 yılı yangın sezonunda çıkan yangınlar kullanılarak aylık olarak yapılmıştır. Model sonuçlarına göre, yangın risk potansiyeli aylara göre değişiklik göstermektedir. YRP, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Yüksek ve Çok Yüksek olurken bu aylara göre Eylül ve Ekim aylarında ise nispeten daha düşük bulunmuştur. (Tablo 6.1). Her ay da düşük ve çok düşük yangın risk potansiyeline sahip orman alanları bulunmaktadır. Ancak yangınlar sayıca ve yanan alan bakımından risk potansiyelinin yüksek ve çok yüksek olduğu alanlarda yoğunlaşmıştır (Tablo 6.1).

Tablo 6.1: 2019-2020 Yılı Yangıları ile Yangın Risk Potansiyeli Modeli Denetimi Tablosu.

Ay	YRP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Mayıs	Çok Düşük	108447,1	9,4	–	–	–	–	–
	Düşük	141812,4	12,2	–	–	–	–	–
	Orta	216306	18,7	7	25	0,54	0,5	0,08
	Yüksek	508517,1	43,9	12	42,9	105,95	98,3	8,83
	Çok Yüksek	183803,3	15,9	9	32,1	1,26	1,2	0,14
Haziran	Çok Düşük	145262,6	12,5	–	–	–	–	–
	Düşük	126992,1	11	2	2,8	0,4	0,9	0,2
	Orta	217913,5	18,8	12	16,7	1,77	3,8	0,15
	Yüksek	540706,2	46,7	43	59,7	20,466	44,1	0,48
	Çok Yüksek	128011,4	11	15	20,8	23,73	51,2	1,58
Temmuz	Çok Düşük	23524,3	2	4	4,9	11,391	1,9	2,85
	Düşük	29483,8	2,5	6	7,4	14,651	2,4	2,44
	Orta	308482,1	26,6	8	9,9	19,07	3,2	2,38
	Yüksek	532119,8	45,9	39	48,1	382,6591	63,4	9,81
	Çok Yüksek	265275,8	22,9	24	29,6	175,32	29,1	7,31
Ağustos	Çok Düşük	125580,6	10,8	1	0,8	1,06	0,2	1,06
	Düşük	158828,3	13,7	3	2,3	29,15	4,5	9,72
	Orta	215874,7	18,6	16	12,1	117,96	18,4	7,37
	Yüksek	320989,2	27,7	35	26,5	176,3	27,5	5,04
	Çok Yüksek	337613	29,1	77	58,3	317,53	49,5	4,12
Eylül	Çok Düşük	436964	37,7	7	8,6	3,72	6	0,53
	Düşük	163925,2	14,1	12	14,8	7,74	12,4	0,65
	Orta	197290,5	17	16	19,8	20,67	33,2	1,29
	Yüksek	242182,7	20,9	26	32,1	16,16	26	0,62
	Çok Yüksek	118523,3	10,2	20	24,7	13,89	22,3	0,69
Ekim	Çok Düşük	660405,7	57	3	9,7	0,02	0,2	0,01
	Düşük	108133,4	9,3	5	16,1	0,412	3,3	0,08
	Orta	97116,18	8,4	6	19,4	0,61	4,9	0,1
	Yüksek	186390,9	16,1	8	25,8	1,4401	11,6	0,18
	Çok Yüksek	106839,6	9,2	9	29	9,9	80	1,1

Dickey (2018) tarafından yapılan benzer çalışmada 1995 ile 2008 yılları arasında insan kaynaklı orman yangın konumları bağımsız değişken; rekreasyonel alanlar (kamp ve günlük kullanım), yol ve patika, arazi kullanımı (konut, idari) gibi değişkenleri çevresel değişken olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada orman yangınları için değişken katkıları, %27,6 ile kamp alanı ilk sırada yer alırken bunu % 14,6 ile günlük kullanım alanları ve %11 ile idari alanlar'a yakınlık izlemektedir. Atlandığında kazancı en çok azaltan çevresel değişken ise parklar, yollara ve günlük kullanım alanlarına yakınlık olarak bulunmuştur. Sonuç olarak insan aktivitelerinin fazla olduğu kamp alanları katkı yüzdesi bakımından ve yollar ise atlandığında kazancı en çok azaltan değişken olması bakımından bu tez çalışması ile benzerlik göstermektedir.

Brooke (2018) tarafından yapılan çalışmada bioiklim, topoğrafya, bitki örtüsü, insan faktörleri ayrı ayrı ve birlikte çevresel değişken olarak kullanılarak MaxEnt yaklaşımı ile yangın risk potansiyeli modellenmiştir. Bioiklim, topoğrafya, bitki örtüsü ve insan faktörü değişkenlerinden sadece biri çevresel faktör olarak alındığında model performansını gösteren AUC değerleri sırasıyla 0,64, 0,67, 0,62 ve 0,58 olmuştur. Model sonuçlarına göre topoğrafik faktörlerde yükselti, bioiklim değişkenlerinde yıllık yağış, insan aktivitesi değişkeninde yerleşim alanlarına yakınlık modele en çok katkı sağlayan alt değişkenler olmuştur. Genel modelde ise tüm ana faktörler çevresel değişken olarak alınmış ve AUC değeri 0,68 bulunmuştur. Genel modele en çok katkıyı %53,4 ile yıllık yağış, %11,1 ile yükselti, % 8,2 ile bitki örtüsü türü olmuştur. Çalışma sonuçları yağış ve bitki örtüsünün en önemli 3 değişkenden biri olması bakımından bu tez çalışması ile benzerlik göstermektedir.

Akyüz (2019) tarafından 2013-2017 yılları arasında çıkmış olan orman yangın konumları ve sadece bioiklim verileri kullanılarak Bursa OBM'de yapılan çalışmada MaxEnt yöntemi ile yangın risk potansiyelini tahmin eden model geliştirilmiştir. Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen uygunluk modelinin AUC değeri 0,629 olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yangın çıkma olasılığı tahmin modelini etkileyen önemli değişkenler yıllık ortalama sıcaklık (Bio1), mevsimsel yağış (Bio15), en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı (Bio5), Ortalama Gündüz Sıcaklık (Bio2), en sıcak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı (Bio10) olarak bulunmuştur. Orman yangınlarının çıkış sebepleri ağırlıklı olarak insan faktörüne bağlı olsa da meteorolojik şartlar yangının başlama ve gelişmesi aşamasında son derece önemli olduğu

vurgulanmıştır. Çalışma sonuçları iklim verilerinden sıcaklık ve yağışın en önemli değişken olması bakımından bu tez çalışması ile benzerlik göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, sabit ve değişken çevresel değişkenlerle (topoğrafya, yanıcı madde, meteorolojik parametreler, insan aktivitesi) MaxEnt (tür dağılım/habitat uygunluğu) modelleme yönteminin orman yangını risk potansiyelini tahmin etmek için yararlı yöntem olabileceğini göstermektedir.

6.2. ORMAN YANGINI TEHLİKE POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi, uzman görüşü yöntemine dayanan ikili karşılaştırmaların matematiksel bir temsili olarak fonksiyonel bir değerin verildiği, en yaygın karar verme yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntem, karar vericilere potansiyel alternatifleri değerlendirmek için nicel bir şekilde birden fazla kriter kullanmasına ve ardından en uygun seçeneği seçmesine izin vermektedir. Ayrıca uzman tarafından sağlanan ağırlıklandırmanın tutarlılığını kontrol etme olanağına da sahip bir yöntemdir.

Sonuçlar gösterdi ki çalışma alanın potansiyel yangın tehlike sınıfının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Çok Yüksek (sırasıyla %49, %64 ve %60); Mayıs ve Eylül aylarında Yüksek (sırasıyla %73 ve %68); Ekim ayında ise Orta (%82) tehlike sınıfına ait alanların çoğunlukta olduğu ve yangından daha fazla etkilendiği görülmüştür (Tablo 6.2). Yangın başına düşen yanan alan miktarı çok yüksek tehlike sınıfında Ağustos ve Temmuz (sırasıyla 3,39 ve 2,14) aylarında en yüksek değere sahiptir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2: Yangın Sezonu Aylık Yangın Tehlike Potansiyeli Karşılaştırma.

Ay	YTP	Toplam Orman Alanı		Yangın sayısı		Yanan Alan		Yangın Başına Düşen Yanan Alan
		ha	%	Adet	%	ha	%	ha
Mayıs	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	12516,8	1,1	–	–	–	–	–
	Orta	265291	22,9	27	14,3	6,3	9,4	0,23
	Yüksek	856018	73,8	149	78,8	56,7	84,3	0,38
	Çok Yüksek	25099,5	2,2	13	6,9	4,2	6,3	0,32
Haziran	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Orta	49672	4,3	4	1,1	0,121	0,1	0,03
	Yüksek	536444,2	46,3	139	37,3	66,962	43	0,48
	Çok Yüksek	572808,8	49,4	230	61,6	88,421	56,9	0,38
Temmuz	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	131,8	0,1	–	–	–	–	–
	Orta	20817,4	1,8	4	0,7	0,75	0,1	0,19
	Yüksek	387164,7	33,3	163	28,1	213,03	19,4	1,31
	Çok Yüksek	750811,1	64,8	413	71,2	883,88	80,5	2,14
Ağustos	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Orta	24836	2,1	8	1,2	0,63	0,1	0,08
	Yüksek	430776	37,2	216	32,4	472,535	23,9	2,19
	Çok Yüksek	703313,1	60,7	443	66,4	1501,694	76	3,39
Eylül	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	461,1	0,1	–	–	–	–	–
	Orta	75298,5	6,5	19	3,5	8,993	1,7	0,47
	Yüksek	788822,6	68,0	341	62,1	170,515	31,2	0,50
	Çok Yüksek	294342,7	25,4	189	34,4	367	67,1	1,94
Ekim	Çok Düşük	–	–	–	–	–	–	–
	Düşük	26812,3	2,3	5	1,3	0,52	0,2	0,1
	Orta	957338,5	82,6	308	80	151,042	70,7	0,49
	Yüksek	174774,2	15,1	72	18,7	62,055	29,1	0,86
	Çok Yüksek	–	–	–	–	–	–	–

Sağlam ve diğ. (2008a) tarafından Korudağ Orman İşletme Şefliğinde yapılan benzer çalışmada tehlike potansiyeli; tür kompozisyonu, meşcere gelişim çağı, meşcere kapalılığı, eğim ve bakı gibi değişkenler dikkate alınarak mekansal-zamansal ölçekte değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki orman oranı 1987'de %67,7 ve 2000'de %63,9' olduğu tespit edilmiştir. Yangın Tehlike Potansiyeli sonuçlarına göre; 1987 yılında çalışma alanının 3.068 ha alan Orta, 4.729 ha alan Yüksek, 4.728 ha alan Çok Yüksek tehlike sınıfını temsil ederken; 2000 yılına

gelindiğinde ise çalışma alanının 597 ha alan Düşük, 208 ha Orta, 4448 ha alan Yüksek, 6569 ha alan Çok Yüksek tehlike sınıfını temsil etmektedir. Çalışma alanında, yangın söndürme ve ağaçlandırma faaliyetleri ile birlikte ormanın büyüme ve gelişmesine, bitki örtüsü ve yanıcı madde birikimine, dikey ve yatay meşçere yapısında daha fazla sürekliliğe neden olmuş ve böylece 1987-2000 yılları arasında yangın tehlikesi potansiyelinin artmasına katkıda bulunduğu vurgulanmıştır. Meşçere özelliklerinin yangın tehlike potansiyeli üzerindeki etkisi bakımından bu tez çalışması ile benzerlik göstermekle birlikte bu değişkenlere ek olarak diğer önemli değişken olan meteorolojik parametreler de dikkate alınmıştır. Meteoroljik parametrelerden sonra en önemli ana değişken meşçere özellikleri olmuştur.

Laneve ve diğ. (2020) tarafından orman yangın tehlikesini tahmin etme olasılığı, bitki örtüsünün özellikleri (yani yanıcı madde yükü ve nem içeriği) ile yangın çıkma olasılığı arasında bir ilişki olduğu gözlemine dayanarak rüzgar hızı, topografya ve yerel solar radyasyon (bakı) etkisini basit bir sıcaklık düzeltmesiyle hesaba katarak Günlük Dinamik Yangın Tehlike Potansiyeli İndeksi hesaplama algoritmasını geliştirilmiş ve sonuçlar, bölgesel yönetim tarafından sağlanan resmi orman yangını kayıtları kullanılarak İtalya'nın Sardinia bölgesinde doğrulanmıştır. Yapılan sıcaklık düzeltmesinden sonra doğrulama sonuçları gösterdi ki çalışma alanın %17'si Çok Düşük, %39'u Düşük, %26'sı Orta, %13'ü Yüksek, %54'ü Çok yüksek tehlike sınıfına girmektedir. Yangıların %12'si Çok Düşük, %21'i Düşük, %31'i Orta, %13'ü Yüksek ve %23'ü Çok Yüksek tehlike sınıfına ait alanlarda gerçekleşmiştir. Yangın tehlike potansiyelini tahmin etmede kullanılan yanıcı madde özellikleri, topoğrafya, rüzgar ve sıcaklık değişkenleri bu tez çalışması ile benzerlik göstermektedir.

Sharples ve diğ. (2009a) tarafından yapılan çalışmada yangın tehlikesi indeksi oluşturmak için meteorolojik bilgileri yanıcı madde nem içeriği tahminleriyle birleştirilmiştir. Kullanımda olan diğer yangın tehlike indeksleri ile karşılaştırmalar yapılarak makul bir yangın tehlikesi derecesi ölçüsü sağladığını ve yangın tehlikesi ve yangın havası bağlamında yararlı bir araç olabileceğini göstermektedir. Yangın tehlike potansiyelini tahmin etmede kullanılan meteorolojik değişkenlerin kullanımı bu tez çalışması ile benzerlik göstermektedir. Bu tez çalışmasında, Sharples ve diğ. (2009a) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak topoğrafya ve yanıcı madde özellikleri de yangın tehlikesinin modellenmesinde değişken olarak kullanılmıştır ve özellikle yanıcı madde özelliklerinin yangın tehlikesini etkileyen ana değişkenlerden olduğu ortaya konulmuştur.

6.3. YANGIN GÖZETLEME KULELERİNİN GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ

Dünyada ve ülkemizde orman yangınlarının gözetlenmesi ve tespitinde uydu tabanlı sistemler (Giglio ve diğ., 1999; Nakau ve diğ., 2006; Aslan ve diğ., 2012), kamera tabanlı sistemler (Mathews, ve diğ., 2010) gibi gelişmiş yöntemler kullanılmasına rağmen halen yangın gözetleme kuleleri aralığıyla ormanların gözetlenmesi en çok kullanılan yöntemdir. Geleneksel olarak yangına hassas bölgelerde ormanların gözetlenmesi, çoğunlukla yangın gözetleme kulelerindeki gözeticiler aracılığıyla yapılmaktadır (Oğurlu, 1990). Gözetleme kulelerinde izleme yangın sezonu boyunca görev yapan yangın gözetleme personelleri tarafından dürbünlerle 24 saat aralıksız olarak orman alanlarının gözetlenmesi yapılmaktadır (Korkmaz, 2009). Bu yüzden yangın gözetleme kulelerinin etkinliğinin CBS teknikleri yardımıyla ortaya konulması son derece önemlidir. 285 nolu tebliğe (URL 3) göre; yangın gözetleme kulelerinin görüş alanı içinde bulunan ormanın; düz alanda %100, engebeli alanlarda asgari %70'ini görebilecek şekilde planlanması gerekmektedir. Fakat fazla engebeli alanlarda bu oran %20-40'a düşebilir (Çanakçıoğlu, 1985). Ayrıca dumanın 100 metre yükselmesi ile görünebilen alanlar da görülen alan olarak kabul edilir ve iki kule arasındaki mesafenin 25 km'yi geçmemesi gerekir.

Çalışma alanında yangınların ihbar şekillerine bakıldığında %54'ü Telefon İhbarı, %43'ü Kule, %2'si İlk Müdahale Ekibi, %1'i de Personel tarafından ihbar edilmiştir (Şekil 5.4). Bu sonuçlarda göstermiştir ki yangın kuleleri yangının tespitinde telefon ihbarlarından sonra en önemli unsur olmuştur. Bu yüzden kuleler tarafından görülebilir alanların belirlenmesi ve görülen alanın arttırılması yangınların erken tespiti için oldukça önemlidir. Kuleler ayrıca telefon ihbar hattı ile haber alınan yangınların teyit edilmesinde de kritik öneme sahiptir. Çalışma alanında yangınların tespit ve teyit çalışmalarında oldukça önemlidir. Mevcut yangın gözetleme kuleleri için yapılan görünürlük analizi sonucunda orman alanlarının %38,3'i kuleler tarafından görünürken, %61,7'lik kısmı görülememektedir. Yangın Gözetleme Kulesi ağına 10 yeni kule eklenip 1 kulenin de yerinin değiştirilmesi sonucunda orman alanlarının kuleler tarafından görünürlük oranı %38,3'den %47,5'e yükselecektir (Şekil 5.39). Çalışma alanın kırıklı (engebeli) arazi yapısı nedeniyle görünürlük oranın %70 seviyelerine çıkması çok zordur. Ormanların gözetlenmesinde yangın gözetleme kuleleri yanında diğer yöntemlerden de yararlanmakta fayda vardır. Özellikle yangın risk ve tehlike potansiyelinin çok yüksek olduğu çalışma alanında temmuz ve ağustos aylarında insansız hava araçları ve mobil yangın gözetleme kuleleri ile ormanların izlenmesi yangınların erken tespiti için yararlı olacaktır.

Küçük ve diğ. (2017) tarafından yapılan Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü'nde yapılan benzer çalışmada öncelikle yangın gözetleme kuleleri ağı üzerinde bir görünürlük analizi gerçekleştirilerek kuleler tarafından görünen ve görünemeyen alanlar tespit edilmiştir. Daha sonra, yangın tehlikesi haritası (çok yüksek, yüksek, orta, düşük, açık alan); tür kompozisyonu, gelişim çağı, kapalılık eğim ve bakıya göre oluşturulmuştur. Son olarak, yangın tehlikesi haritası, mevcut yangın gözetleme kulelerinin bir görünürlük haritası ile kesiştirilerek tehlike sınıflarına göre görünen orman alanları belirlenmiştir. Mevcut yangın gözetleme kuleleri tarafından görünür alanların yüzdesi %73 olarak bulunmuştur. Mevcut 2 yangın gözetleme kulesinin etkin olmadığı gerekçesiyle çıkarılması ve yeni önerilen 2 adet kulelerin eklenmesiyle %81'e yükselebileceği vurgulanmıştır.

Akay ve diğ. (2020) tarafından Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü'nde yapılan benzer çalışmada yangına hassas bölgelerde orman yangınlarının erken tespiti için en etkili yolun ormanlık alanların yangın gözetleme kulelerinden izlenmesi olduğu ve yangın kulelerinin gözetleme personelinin mümkün olduğu kadar fazla orman alanını izleyebileceği şekilde sistematik olarak yerleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma alanında bulunan gözetleme kulelerinin görünürlük yetenekleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı görünürlük ve uygunluk analizi ile değerlendirilmiştir. Görünürlük analizinin sonuçları, orman arazisinin %77,12'sinin mevcut kulelerden görülebildiğini göstermiştir. Mevcut yangın kulelerine 5 yeni yangın kulesi daha eklenilmesiyle görünür orman alanlarının %81,47'ye yükselebileceğini ortaya koymuşlardır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda ülkemizin de içinde yer aldığı Akdeniz havzası ormanları, orman yangınlarından ciddi şekilde etkilenmektedir. Yetkili makamların artan yangın önleme çabalarına rağmen, yıllık yangın sayısı ve bunun sonucunda ortaya çıkan hasar önemli ölçüde artmaktadır. Yangın risk potansiyeli ve çıkabilecek yangının mekânsal ve zamansal ölçekte tehlike derecesinin ortaya konması giderek önem kazanmaktadır. Bu yüzden yangın öncesi yangın yönetim planlamaları, yangınla mücadele ve yangın sonrası çalışmalarda yangın organizasyonlarına yardımcı olacak Yangın Risk ve Tehlike Potansiyelinin Modellenmesi ve Haritalanması, Yangın Gözetleme Kulelerinin Görünürlük Analizi çalışmaları yangına birinci derece hassas Orman Bölge Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Yangın risk ve tehlike modellenmesi ve haritalaması, hızlı ve kolay elde edilebilen yanıcı madde özellikleri, topoğrafya, meteorolojik parametreler ve insan aktivitesi gibi sabit ve değişken çevre faktörleri değişken olarak kullanılarak çok kriterli karar verme yöntemi (AHP) ve makine öğrenmesi (MaxEnt) tekniğinden yararlanarak yapılmıştır.

Yangın risk ve tehlike model ve haritalarının kullanılabileceği alanlar aşağıda verilmiştir;

- Yangın risk ve tehlike potansiyeli, sabit ve değişken çevre faktörlerine bağlı olarak istenilen belli bir alan için önceden kestirilebilecektir.

- Yangın risk ve tehlikesinin yüksek olduğu zamanlarda halkı çıkabilecek bir orman yangınına karşı uyarma ve orman içi faaliyetleri sınırlaması kararının verilmesine yardımcı olacaktır.

- Belirli bir bölgede çıkmış geçmiş yangınlara ilişkin değerlendirmeler ve analizler yapabilecektir.

- Yangın tehlike potansiyeli dikkate alınarak önleyici tedbirler kapsamında yangın emniyet yol ve şeritlerinin mekânsal planlamalarına katkı sağlayacaktır.

- Yangın öncesi önleyici tedbirler kapsamında yangın tehlike potansiyeli yüksek alanların belirlenmesi ile bu alanlarda aralama ve budama gibi silvikültürel faaliyetlerin planlanması çalışmalarında yöneticilere katkı sağlatacaktır.

- Yangın gözetleme kulelerinin etkinliğinin değerlendirilmesi ile gözetleme faaliyetlerinin başarısını arttırabilecektir.

- Uzun dönemli meteorolojik parametreler diğer çevresel değişkenler sayesinde aylık olarak yangın potansiyelini tahmin edebilecek, özellikle bölgeye yeni tayin olmuş dolayısıyla alanı henüz tanımayan karar vericilere (yangın yöneticilerine) rehber olacaktır.

- Yangın çıkma ihtimali ve çıkan yangının tehlike potansiyeli önceden kestirilebilecek ve buna göre etkin ve etkili bir mücadele planı hazırlanabilmesine yardımcı olacaktır.

- Yangın risk ve tehlike potansiyeli zamansal (aylık) olarak değerlendirilebilecek, risk tehlike potansiyeli yüksek alanlarda gerekli ek tedbirlerin alınmasıyla ilk müdahale süresinin düşürülmesi çalışmalarına yardımcı olabilecektir.

- Yangın tehlike potansiyeli dikkate alınarak kontrollü ve amaçlı yakma çalışmalarının zamansal ve mekânsal açıdan planlamalarına katkı sağlayacaktır.

- Geçmiş bir yangına ilişkin veriler kullanılarak, yangın risk ve tehlike potansiyeli analizleri gerçekleştirilebilecektir.

- Amenajman planlarına yangın risk ve tehlike potansiyeli haritalarına yer verilebilecek ve her plan döneminde güncellenebilecektir.

- Orman yangınlarından korunma çalışmalarında özellikle yangın risk potansiyelininyüksek olduğu bölgelerin belirlenmesi ile bu bölgelerde paydaşlara yangın hakkında bilgilendirici eğitimler gerçekleştirebilecektir.

Orman yangın risk ve tehlike potansiyeli haritalarının değişken çevre faktörlerine bağlı olarak her plan döneminde güncellenerek amenajman planında yer alması yangından korunma ve yangınlarla mücadele amaçları açısından oldukça yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Adab, H., Kanniah, K. D., and Solaimani, K., 2013, Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65(3), 1723-1743.

Akay, A. E., Wing, M., Büyüksakalli, H., and Malkoçoglu, S., 2020, Evaluation of Fire Lookout Towers Using GIS-based Spatial Visibility and Suitability Analyzes. *Šumarski list*, 144(5-6), 279-288.

Akyüz, T., 2019, *Bursa Orman Bölge Müdürlüğü'nde Yangın Tehlikesinin Modellenmesi Ve Haritalanması*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.

Alkhatib, A. A., Abdelal, Q., and Kanan, T. 2021, Wireless Sensor Network for Forest Fire Detection and behavior Analysis. *International Journal of Advances in Soft Computing & Its Applications*, 13(1).

Altan, G., Türkeş, M., ve Tatlı, H., 2011, Çanakkale ve Muğla 2009 yılı orman yangınlarının Keetch-Byram Kuraklık İndisi ile klimatolojik ve meteorolojik analizi, *In 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*, 27-29 April 2011, İstanbul, Istanbul Technical University, 263-274.

Altobellis A.T., 1983, A survey of rural population density and forest fire occurrence in the South, 1956–1970: *USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station*, Research Note SO-294, New Orleans

Amalina, P., Prasetyo, L. B., & Rushayati, S. B. 2016, Forest Fire Vulnerability Mapping in Way Kambas National Park, *Procedia Environmental Sciences*, 33, 239-252.

Arıcak, B., Enez, K. ve Küçük, Ö., 2011, Uydu Görüntüsü Kullanarak Yangın Potansiyelinin Belirlenmesi, *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 26-28 Ekim, Kahramanmaraş.

Aricak, B., Kucuk, O., and Enez, K., 2014, Determination of pumper truck intervention ratios in zones with high fire potential by using geographical information system, *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083598.

Aslan, Y. E., Korpeoglu, I. and Ulusoy, Ö., 2012, A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring, *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(6), 614-625.

Bachmann, A. and Allgöwer, B., 2001, A consistent wildland fire risk terminology is needed, *Fire Management Today*, 61(4), 28-33.

Beall, H.W., 1946, Forest Fire Danger Tables (Provisional), Forest Fire Research Note 12, *Dominion Forest Service*, Canada.

Bilgili, E., ve Küçük, Ö., 2001, Yanıcı Madde Durumunun Yangın Hassasiyet Sınıflarının Belirlenmesindeki Önemi, *I Ulusal Ormancılık Kongresi*, 19-20 Mart 2001. Ankara

Bilgili, E., Küçük, Ö., ve Sağlam B.,2002, Yangın davranışının tahmini ve yangınlarla mücadeledeki önemi, *Gazi Üniversitesi Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi 2* (2), 124-134.

Bilgili, E., Küçük, Ö., Sağlam B., ve Coşkuner K. A., 2021, Büyük Orman Yangınları: Sebepleri, Organızasyonu ve İdaresi, Orman Yangınları, In: Kavzoğlu, T. (ed), Bölüm 1, Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara, ISBN: 978-605-2249-79-6, 1-23.

Bilgili, E., Sağlam, B. ve Başkent, E., Z., 2001, Yangın Amenajmanı Planlamalarında Yangın Tehlike Oranları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2), 288-297

Brooke, C. T., 2017, *Identifying the Environmental Controls on Wildland Fire in the South-Central United States*, Thesis (MSc), The Office of Graduate and Professional Studies of Texas A&M University.

Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., and Dick, O. B., 2012, Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models, *Catena*, 96, 28-40.

Carmel, Y., Paz, S., Jahashan, F. and Shoshany, M. 2009, Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. *Forest Ecology and Management*, 257(1), 370-377.

Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. and Williams, D., 1983, Fire in Forestry, Forest Fire Behavior and Effects, *John Wiley & Sons*, 1, 36 s.

Chhabra, A., Rüdiger, C., Yebra, M., Jagdhuber, T. and Hilton, J., 2022, RADAR-Vegetation Structural Perpendicular Index (R-VSPI) for the Quantification of Wildfire Impact and Post-Fire Vegetation Recovery, *Remote Sensing*, 14(13), 3132.

Chuvieco E. and Congalton, R.G., 1989, Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping, *Remote Sens Environ*, 29, 147–159

Coşkuner, K. A., 2019, *Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Karar Destek Sistemi (Toytos)*, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Countryman, C., M., 1966, Rating Fire Danger by the Multiple Basic Index System, *Journal of Forestry*, 64, 8, 531-536.

Cumming, S. G., 2005, Effective fire suppression in boreal forests, *Canadian Journal of Forest Research*, 35(4), 772-786.

Çanakçıoğlu, H., 1985, *Orman Koruma*, İstanbul Üniversitesi, 479 s. İstanbul.

Çanakçıoğlu, H., 1993, *Orman Koruma*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 411, 633 s. İstanbul.

De Groot, W.J., 1993, *Examples of Fuel Types in the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. Forestry Canada*, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta.

Dickey, W., 2018, *Spatial Analysis of Human Activities and Wildfires in the Willamette National Forest*, Master's Thesis, University of Southern California.

Donoghue, L.R. and Main, W.A. 1985, Some factors influencing wildfire occurrence and measurement of fire prevention effectiveness. *Journal of Environmental Management,* 20(1):87–96

Elith, J. and Leathwick, J. R., 2009, Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677e697.

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. and Yates, C. J. 2011, A statistical explanation of MaxEnt for ecologists, *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57.

Ertürk, A., 2010, *Bartın İli ve Çevresinde Canis lupus L. 1758'in (Carnivora: Canidae)(kurt) CBS Tabanlı Habitat Uygunluğu Analizleri ve Tür Yayılış Modellemesi,* Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Esri, 2017, ArcMAP 10.5. Get started with ArcMap, https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.5/get-started/main/get-started-with-arcmap.html [Ziyaret Tarihi: 06.04.2022].

Eugenio, F.C., dos Santos, A.R., Fiedler, N.C., Ribeiro, G.A., da Silva, A.G., dos Santos, Á.B., and Schettino, V.R., 2016, Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil, *Journal of environmental management*, 173, 65-71.

Evcin, Ö., 2018, *Kastamonu ve Sinop'ta Karacanın (Capreolus Capreolus) Popülasyon Ekolojisi,* Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.

Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M. and Lampin, C., 2013, A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe, *Environmental management*, 51(3), 651-662.

Giglio, L., Kendall, J. D. and Justice, C. O. 1999, Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data, International Journal of Remote Sensing, 20(10), 1947-1985.

Gorski, C. J. and Farnsworth, A., 2000, *Fire weather and smoke management*, In Mountain Meteorology, Oxford University Press.

Göltaş, M., Demirel, T. and Çağlayan, İ., 2017, Visibility Analysis of Fire Watchtowers Using GIS; A Case Study in Dalaman State Forest Enterprise, *European Journal of Forest Engineering*, 3(2), 66-71.

Graham, C.H. and R.J., Hijmans, 2006, A Comparison of Methods for Mapping Species Ranges and Species Richness, *Global Ecology and Biogeography* 15:578–587.

Güney, C. O., Özkan, K. and Şentürk, Ö., 2016, Modelling of spatial prediction of fire ignition risk in the Antalya-Manavgat district, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2), 459-470.

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.

Haight, R.G., Cleland, D.T., Hammer, R.B., Radeloff, V.C. and Rupp, T.S., 2004, Assessing fire risk in the wildland-urban interface, *Journal of Forestry*, 102(7), 41-48.

Henderson, M., Kalabokidis, K., Marmaras, E., Konstantinidis, P. and Marangudakis, M., 2005, Fire and society: a comparative analysis of wildfire in Greece and the United States, *Human Ecology Review*, 12(2):169–182.

Holmes, T. P. and Calkin, D. E., 2012, Econometric analysis of fire suppression production functions for large wildland fires, *International Journal of Wildland Fire*, 22(2), 246-255.

Hudak, A. T., Rickert, I., Morgan, P., Strand, E., Lewis, S. A., Robichaud, P. R. and Holden, Z. A., 2011, Review of fuel treatment effectiveness in forests and rangelands and a case study from the 2007 megafires in central, Idaho, USA. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-252. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 60 p., 252.

İnan M., Çelik, İ., ve Öztürk, T., 2021, *İstanbul Adaları Yangınlarının Zamansal ve Mekânsal Karakteristikleri*, Orman Yangınları, In: Kavzoğlu, T., Bölüm 4, Türkiye Bilimler Akademisi, ANKARA, 253-274.

Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju, K.D. and Saxena, R. 2002,Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1-10.

Karacabey B., 2021, İklim Değişikliği Sürecinde Orman Yangınları Çalıştayı: Sonuç Bildirgesi ve Kararlar, Orman Yangınları, In: Kavzoğlu, T. (ed), Bölüm 17, Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara, ISBN: 978-605-2249-79-6, 401-420.

Keetch, J.J. and Byram, G.M., 1968, *A drought index for forest fire control* (Vol. 38), US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.

Kohavi, R., 1995, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection, *IJCAI*, 14(2), 1137-1145.

Krebs, C.J., 1998, Ecological Methodology, *Addison-Welsey Educational Publishers* Inc., USA.

Korkmaz, M., 2009, Küme Örtüleme Modeli Kullanılarak Optimum Yangın Gözetleme Noktalarının Belirlenmesi, *Turkish Journal Of Forestry*, 1, 37-49.

Küçük, Ö., Topaloglu, O., Altunel, A.O. and Cetin, M., 2017, Visibility analysis of fire lookout towers in the Boyabat State Forest Enterprise in Turkey, *Environmental monitoring and assessment*, 189(7), 1-18.

Küçük, Ö., ve Ünal, S. 2005, Yangın hassasiyet derecesinin belirlenmesi: Taşköprü orman işletme müdürlüğü örneği, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 6 (1-2), 28-34.

Küçük, Ö., Bilgili, E., ve Durmaz, B.D., 2005, Yangın Potansiyelinin Belirlenmesinde Yanıcı Madde Haritalarının Önemi, *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 6 (1), 104-116.

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

Laneve, G., Pampanoni, V. and Uddien Shaik, R., 2020, The Daily Fire Hazard Index: A Fire Danger Rating Method for Mediterranean Areas, *Remote Sensing*, 12(15), 2356.

Maselli, F., Romanelli, S., Bottai, L. and Zipoli, G., 2003, Use of NOAA-AVHRR NDVI images for the estimation of dynamic fire risk in Mediterranean areas, *Remote Sensing of Environment*, 86(2), 187-197.

Mathews, S., Ellis, P., and Hurle, J.H., 2010, *Evaluatuion of Three Systems,* Australia: Bushfire Cooperative Research Centre, Australia.

McArdle, R.E., 1935, A Visibility Meter for Forest Fire Lookouts, *Journal of Forestry*, 33(4), 385-388.

McArthur, A.G., 1966, Weather and grassland fire behaviour, Department of National Development, *Forestry and Timber Bureau Leaflet No: 100*, Canberra, Australia.

McArthur, A.G., 1967, Fire behaviour in eucalypt forests. Department of National Development, *Forestry and Timber Bureau Leaflet No: 107*, Canberra, Australia.

McArthur, A.G., 1977, Grassland Fire Danger Meter, Mk 5, *Country Fire Authority of Victoria*, Melbourne.

Merrill, D.F. and Alexander, M.E., 1987, *Glossary of Forest Fire Management Terms*, Canadian Committee on Forest Fire Management, National Research Council of Canada, Ottawa, 57 s.

Mol, T. and Küçükosmanoğlu, A., 1998, Forest fires in Turkey, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 48(1), 53-59.

Mohammad-Djafari, A., 2015, Entropy, information theory, information geometry and Bayesian inference in data, signal and image processing and inverse problems, *Entropy*, 17(6), 3989-4027.

Mutch, R.W., Arno, S.F., Brown, J.K., Carlson, C.E., Ottomar, R.D. and Peterson, J.L., 1993, Forest Healt in the Blue Mountains: A Management Strategy for Fire–Adapted Ecosystem, *USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR*-310. 14pp.

Nakau, K., Fukuda, M., Kushida, K., Hayasaka, H., Kimura, K. and Tani, H. 2006, Forest fire detection based on MODIS satellite imagery, and Comparison of NOAA satellite imagery with fire fighters' Information, *in IARC/JAXA terrestrial team workshop*, 18-23.

NWCG (National Wildfire Coordinating Group), 1996, *Glossary of wildland fire terminology*, PMS 205/NFES 1832, Boise, ID: National Interagency Fire Center.

OGM, 2020, Orman Genel Müdürlüğü, Resmi istatistikler, https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler [Ziyaret Tarihi: 06 Mayıs 2022]

Oğurlu, İ., 1990, Dursunbey Orman İşletme Müdürlüğü Ormanlarında Yangın Kulelerinin En Az İki Kuleden Görülebilme Esasına Göre Planlanması, *Turkish Journal Of Agriculture And Forestry*, 14, 78-93.

Pakdemirli, B., ve Küçük Ö., 2021, *Orman Yangınlarının Yönetiminde Kullanılan Yeni Teknolojiler, Orman Yangınlarının Yönetiminde Kullanılan Yeni Teknolojiler*, Ekoloji ve Ekonomi Ekseninde Türkiye'de Orman ve Ormancılık, In: Pakdemirli B., Küçük Ö., Bayraktar Z. Ve Takmaz S. (ed), Bölüm , Uzun Dijital Matbaa Sonçağ Akademi , ISBN:978-625-7456-10-4, 3 -21.

Parisien, M.A., Snetsinger, S., Greenberg, J.A., Nelson, C.R., Schoennagel, T., Dobrowski, S.Z. and Moritz, M.A. 2012, Spatial variability in wildfire probability across the western United States, *International Journal of Wildland Fire*, 21(4), 313-327.

Pew, K.L. and Larsen, C.P.S., 2001, GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rainforest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Managament*, 140, 1-18

Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E. 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.

Porwal, M.C., Meir, M.J.C., Hussin, Y.A. and Roy, P.S., 1997, Spatial modeling for fire risk zonation using remote sensing and GIS, *ISPRS Commission VII Working Group II Workshop on Application of Remote Sensing and GIS for Sustainable Development*, 24-25 November1997, Hyderabad.

Pourghasemi, H.R. 2016, GIS-based forest fire susceptibility mapping in Iran: a comparison between evidential belief function and binary logistic regression models, *Scandinavian journal of forest research*, 31(1), 80-98.

Pradhan, B., Suliman, M.D.H.B. and Awang, M.A.B. 2007, Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS), *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 16 (3), 344-352.

Preisler, H.K., Brillinger, D.R., Burgan, R.E. and Benoit, J.W. 2004, Probability based models for estimation of wildfire risk, *International journal of wildland fire*, 13(2), 133-142.

Prestemon J.P. and Butry D.T. 2005, Time to burn: modelling wildland arson as an autoregressive crime function, *American Journal of Agricultural Economics*, 87,756–770

Prestemon, J.P., Pye, J.M., Butry, D.T., Holmes, T.P. and Mercer, D.E. 2002,Understanding broadscale wildfire risks in a human-dominated landscape, *Forest science*, 48(4), 685-693.

Rego, F. C., and Catry, F. X., 2006, Modelling the effects of distance on the probability of fire detection from lookouts, *International Journal of Wildland Fire*, 15(2), 197-202.

Roy, D.P., Lewis, P.E., and Justice, C.O., 2002, Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data-A bi-directional reflectance model-based expectation approach, *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 263-286.

Saaty, T.L., 1990, How to make a decision: the analytic hierarchy process, *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.

Saaty, T.L., 2001, Fundamentals of the analytic hierarchy process. In The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making, *Springer, Dordrecht*, 15-35)

Saglam, B., Bilgili, E., Dincdurmaz, B., Kadiogulari, A.I., and Küçük, Ö., 2008, Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery, *Sensors*, 8(6), 3970-3987.

Saglam, B., Bilgili, E., Küçük, Ö., and Durmaz, B. D., 2008, Fire behavior in Mediterranean shrub species (Maquis). *African Journal of Biotechnology*, 7(22).

Sevinc, V., Kucuk, Ö., and Göltaş, M., 2020, A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes, *Forest Ecology and Management*, 457, 117723.

Shang, B.Z., He, H.S., Crow, T.R. and Shifley, S.R., 2004, Fuel load reductions and fire risk in central hardwood forests of the United States: a spatial simulation study, *Ecological Modelling*, 180(1), 89-102.

Sharma, L.K., Kanga, S., Nathawat, M.S., Sinha, S. and Pandey, P.C. 2012, Fuzzy AHP for forest fire risk modeling, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 21 (2),160-171.

Sharples, J.J., McRae, R.H., Weber, R.O. and Gill, A.M. 2009a, A simple index for assessing fire danger rating, *Environmental Modelling & Software*, 24(6), 764-774.

Sharples, J.J., McRae, R.H., Weber, R.O. and Gill, A.M. 2009b, A simple index for assessing fuel moisture content, *Environmental Modelling & Software*, 24(5), 637-646.

Sivrikaya, F. and 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, N., Saglam, B., Akay, A. and Bozali, N., 2014, Evaluation of forest fire risk with GIS, *Polish Journal of Environmental Studies*, 23.

Süel, H., 2014, *Isparta-Sütçüler yöresinde av türlerinin habitat uygunluk modellemesi*, Doktora Tezi , Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Thomason, A.C., 2015, Modeling Burn Probability: A Maxent Approach to Estimating California's Wildfire Potental, Master's Thesis, University of Southern California.

TOVAG, 2015, *Türkiye Orman Yangın Tehlike Oranları Sistemi (TOYTOS)'ne Doğru. Bölüm II: Meteorolojik Yangın İndeksi Sistemi* (TOVAG 112O809). Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Proje Sonuç Raporu.

URL1: https://muglaobm.ogm.gov.tr/SiteAssets/Lists/Duyurular/AllItems/2021%20Y%C4%B1l%C4%B1%20Orman%20Yang%C4%B1nlar%C4%B1%20De%C4%9Ferlendirme%20Raporu.pdf

URL 2: https://www.worldclim.org/

URL 3: https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/mevzuat/tebligler [Ziyaret tarihi: 01.03.2022]

Vadrevu, K. P., Eaturu, A. and Badarinath, K., 2010, Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study, *Environmental monitoring and assessment*, 166(1), 223-239.

Van Wagner, C.E. and Pickett, T.L., 1985, *Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index*, FTR–35, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ontario, 3-11

Van Wagner, C.E., 1987, *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*, Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario, 35 s.

Van Wagner, C.E., 1998, Modelling Logic and The Canadian Forest Fire Behavior Prediction System, *Forestry Chronicle*, 74, 1, 50-52.

Varol, T., and Ertuğrul, M., 2016, Analysis of the forest fires in the Antalya region of Turkey using the Keetch–Byram drought index, *Journal of Forestry Research*, 27(4), 811-819.

Vasilakos C., Kalabokidis K., Hatzopoulos J., Kallos G. and Matsinos J., 2007, Integrating new methods and tools in fire danger rating, Int J Wildland Fire 16(3):306–316

Vega-Garcı´a C., Woodard T. and Adamowicz W.L., Lee B. 1995, A logit model for predicting the daily occurrence of human caused forest fires, *International journal of wildland fire*, 5(2):101–111.

Yang J., He H.S., Shifley S.R. and Gustafson E.J. 2007, Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands, *Forest Science*, 53, 1–15

Yesilnacar E.K., 2005, The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Thesis (PhD), Department of Geomatics the University of Melbourne, p. 423.

You, W., Lin, L., Wu, L., Ji, Z., Zhu, J., Fan, Y., and 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

Zhang, B., and Wang, H. 2022, Exploring the advantages of the maximum entropy model in calibrating cellular automata for urban growth simulation: a comparative study of four methods, *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 71-95.

.