

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANA BİLİM DALI

URLA YARIMADASI GÜNEYDOĞUSUNDA
(SEFERİHİSAR-MENDERES) ORMAN YANGINI RİSK
MODELLEMESİ VE YANGIN SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. M. Taner ŞENGÜN
Prof. Dr. Şermin TAĞIL

HAZIRLAYAN
Enes KARADENİZ

ELAZIĞ-2020

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****Urla Yarımadası Güneydoğusunda (Seferihisar-Menderes) Orman Yangını Risk
Modellemesi ve Yangın Simülasyonu
Enes KARADENİZ**

**Fırat Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı
Elazığ 2020; Sayfa: XVII +140**

Doğal veya insan kaynaklı afetler olarak tanımlanan orman yangınları ekosisteme büyük zararlar veren, can ve mal kayıplarına neden olan, fauna ve flora üzerinde önemli zararlara yol açan olaylardır. Yangın sırasında müdahale planlı bir şekilde yapılmadığı takdirde ortaya çıkan kayıplar çok daha büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Afet risk çalışmalarında orman yangınlarının erken tespiti ve riskli alanların belirlenmesi, oluşacak yangının hareketinin modellenmesi hayati bir öneme sahiptir. Yangın simülasyon araştırmalarında, yangın alanlarından elde edilen gerçek verilerle oluşturulan modeller Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile görüntülenebilmekte ve afet risk karar destek sistemleri içerisinde değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada, 2019 yılında İzmir Urla bölgesinde meydana gelen orman yangını araziden elde edilen bitki yakıt özellikleri, topografik özellikler, peyzaj özellikleri, meteorolojik özellikler çerçevesinde değerlendirilerek, yangın risk modelleri oluşturulmuş ve elde edilen bulgular ışığında yangın simülasyonu yapılmıştır. Çalışma alanında var olan kızılçam ormanları ve kuru çalıların geniş yer kaplaması riski artırmaktadır. İklim ve hava şartlarının yaz aylarında kurak bir hal alması yangın riskinin artmasına sebep olmaktadır. Çalışma alanında var olan topografik özellikler ve yangın anında ulaşım yollarının engebeli arazide yer alması riski arttıran bir diğer etkidir. Urla yarımadası turizme uygun bir lokasyonda yer almasından dolayı, insan faktörü ve buna bağlı risk kendini göstermektedir. Tüm parametreler değerlendirildiğinde, oluşturulan yangın risk haritası verilerine göre, en riskli alanların %70’lik bir bölgeyi kapladığı, orta derece risk değerine sahip alanların

%28 ve riski düşük alanların %2’lik bir alanı kapladığı tespit edilmiştir. Üretilen bu model sayesinde 2008, 2009 ve 2019 yıllarında çalışma alanında meydana gelen yangınların riskin yüksek olduğu alanlarda meydana geldiği önemli bir bulgu olarak elde edilmiştir. Buna göre çalışma modeli ile gerçek yangın lokasyonları uyumluluk göstermektedir. Çalışmada ayrıca risk modelinin yanında alanda meydana gelecek bir yangına ait davranış ve yayılım özellik analizlerinin belirlenmesine yönelik simülasyon çalışmaları yapılmıştır. 2019 yılında meydana gelen yangının modelde tekrar simüle edilmesiyle, yangında hasar gören arazi verileri ile model verileri arasında %90 uyumluluk sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca simülasyonlarda farklı literatür modelleri kullanılarak, sistematik testler yapılmıştır. Bu sayede risk modeli çeşitli koşullar altında incelenmiştir. Araştırmada yangın risk tespitinde kullanılan parametrelerin belirlenmesinde en önemli unsurun farklı açılardaki ve değişkenlerin farklı koşullar altındaki testleri ile gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bir başka önemli bulgu ise, yangın model analizlerinin yapılması ile karar destek mekanizması içerisinde var olan afet riskinin önceden belirlenmesi veya afet zararlarını azaltma çalışmalarında önemli katkı sunacağı öngörülmesidir.

Anahtar Kelimeler: 2019 Urla Yangını, Yangın Risk Modelleme, Flammap, Yangın Simülasyonu, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

ABSTRACT**Master Thesis****Forest Fire Risk Modeling And Fire Simulation In The Southeast Of Urla****Peninsula (Seferihisar-Menderes)****Enes KARADENİZ****The University of Fırat****The Institute of Social Science****The Department of Physical Geography****Elazığ-2020; Page: XVII+140**

Forest fires, defined as natural or man-made disasters, cause great damage to the ecosystem, cause loss of life and property, and cause significant damage to fauna and flora. If the intervention is not carried out in a planned manner during the fire, the losses can reach much larger levels. In disaster risk studies, early detection of forest fires and determination of risky areas and modelling the movement of the fire will be vital. In fire simulation research, models implemented with real data obtained from fire areas can be viewed with the help of Geographic Information Systems (GIS) and evaluated within disaster risk decision support systems. In this study, the forest fire that occurred in the Urla region of Izmir in 2019 was evaluated within the framework of plant fuel properties, topographic features, landscape features, meteorological features. Accordingly, fire risk models were created, and fire simulations were constructed in the light of the findings obtained within the scope of the study. The large area of the red pine forests and dry bushes existing in the study area increases the risk. The dryness of the climate and weather conditions in summer leads to an increased risk of fire. Topographic features existing in the study area and the location of transportation roads in case of fire are another factor that increases the risk. Since the Urla peninsula is located in a suitable location for tourism, the human factor and associated risk manifests itself. According to the fire risk map data obtained following the evaluation of all parameters, it has been determined that the high risk areas cover an area of 70%, 28% of areas with medium risk value and 2%

of areas with low risk. In agreement with produced model, it was obtained as a significant finding that fires occurred in the study area in 2008, 2009 and 2019 were located in high risk areas. Accordingly, the actual fire locations are compatible with the study model. In the study, besides the risk model, simulation studies were also carried out to determine the behaviour and spread property analyses of a fire that will occur in the area. By simulating the 2019 fire in the model, it was observed that there was a 90% compatibility between the real fire damage and the model damage. In addition, systematic tests were conducted using different literature models in simulations. In this way, the risk model was examined under various conditions. In the research, it has been determined that the most important factor in determining the parameters used in fire risk determination can be realized by testing different perfectives and variables under different conditions. Another important finding obtained from the study is that it is predicted that it will make a significant contribution to the determination of disaster risk or disaster mitigation studies evaluating in the decision support mechanism.

Keywords: 2019 Urla Fire, Fire Risk Modelling, Flammap, Fire Simulation, Geographical Information Systems.

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	VI
TABLolar LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XII
HARİTALAR LİSTESİ.....	XIII
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....	XV
GRAFİKLER LİSTESİ.....	XVI
ÖNSÖZ.....	XVII

BİRİNCİ BÖLÜM

1.GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı.....	8
1.2.Çalışmanın Hipotezi.....	8
1.3.Araştırma Soruları.....	9
1.4.Araştırma Problemi	9
1.5.Literatür.....	9
1.6. Kavramsal Çerçeve	16
1.6.1.Orman Yangınları	16
1.6.2. Isı Transferi	17
1.6.3. Yanma Süreci.....	18
1.6.4. Orman Yangını Yayılımı	19
1.6.5. Yangın Çevresi.....	19
1.6.6. Orman Yangınlarının Gerçekleştiği Yerler ve Nedenleri	20

1.6.7. Orman Yangınları Tetiklenmesi.....	20
1.6.8. Yangın Oluşumunun Zamana Göre Dağılımı	20
1.6.9. Yangın Oluşumunun Mekânsal Dağılımı	21
1.6.10. Orman Yangın Tipleri ve Sınıflandırması	21
1.6.11. Yangınların Çıkış Sebepleri	23
1.6.12. Orman Yangınlarının Doğal Ekosistemlerdeki Rolü	24
1.6.13. Orman Yangınlarının İnsanlar Üzerindeki Etkileri.....	25
1.6.14. Orman Yangınlarının Bitkiler Üzerine Etkileri	26
1.6.15. Orman Yangınlarının Hayvanlar Üzerine Etkileri	26
1.6.16. Yangından Sonra Ormanların İyileşmesi.....	27
1.6.17. Orman Yangınlarını Etkileyen Faktörler	28
1.6.17.1. Topoğrafya Faktörü.....	28
1.6.17.2. İklim Faktörü.....	30
1.6.17.3. Yakıt Faktörü	31
1.6.18. Türkiye’de Orman Yangınları.....	32

İKİNCİ BÖLÜM

2.MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
2.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	36
2.2. Veri ve Örneklem.....	37
2.2.1. Orman Yangını Riski Model Tasarımı.....	38
2.2.1.1. Orman Yangını Karar Desteği	39
2.2.1.2. Orman Yangını Risk Alt Modelleri	39
2.2.1.2.1. Yakıt Riski Alt Modeli	40
2.1.2.2. Ateşleme Riski Alt Modeli	46
2.1.2.3. Hava Durumu Risk Alt Modeli.....	49
2.1.2.4. Tespit Riski Alt Modeli.....	50
2.1.2.5. Müdahale Riski Alt Modeli.....	52

2.1.2.6. Orman Yangını Risk Modeli Denklemleri	56
2.2.2. FlamMap: Orman Yangını Simülör Modeli.....	56
2.2.2.1. Simülör Modeli İçin Gerekli Veriler.....	59
2.2.2.1.1. Landscape Verileri.....	60
2.2.2.1.2. ASCII Verileri	64

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. YANGIN RİSK MODELİ BULGULARI.....	65
3.1. Çalışma Alanın Yakıt Riski	65
3.1.1. Bitki Yakıt Özelliğine Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	65
3.1.2. Eğime Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	70
3.1.3. Bakıya Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri.....	71
3.1.4. Güneşlenmeye Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	73
3.1.5. Arazi Engebelik Özelliklerine Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	74
3.1.6. Yüksekliğe Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri.....	75
3.1.7. Çalışma Alanın Genel Yakıt Risk Karakteri.....	76
3.2. Çalışma Sahasının Yangın Ateşleme Risk Karakteri.....	78
3.2.1. Tarım Alanlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	78
3.2.2. Doğal Otlak ve Çayır Alanlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	80
3.2.3. Yol Ağlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri.....	82
3.2.4. Yerleşme Alanlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri.....	84
3.2.5. Çalışma Alanının Genel Yangın Ateşleme Risk Karakteri.....	86
3.3. Çalışma Alanının Hava Durumuna Bağlı Risk Karakteri.....	87
3.3.1. Hava Sıcaklığına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri	88
3.3.2. Yağışa Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri.....	89
3.3.3. Çalışma Alanının Genel Hava Risk Karakteri	91
3.4. Çalışma Alanının Arazi Görünürlüğüne Bağlı Risk Karakteri	92
3.4.1. Yol Görünürlüğü Riskinin Mekânsal Karakteri.....	92
3.4.2. Yerleşim Görünürlüğü Riskinin Mekânsal Karakteri	94

3.4.3. Çalışma Alanının Genel Görünürlük Risk Karakteri.....	95
3.5. Çalışma Alanının Yangına Müdahale Risk karakteri	95
3.5.1. Çalışma Alanının Genel Müdahale Riski Karakteri	96
3.6. Çalışma Alanının Orman Yangını Risk Karakteri	97

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. YANGIN SİMÜLASYONU BULGULARI	102
4.1. Çalışma Sahasının Topografik Karakteri.....	103
4.2. Çalışma Sahasının Yakıt Karakteri	103
4.3. Çalışma Sahasının Orman Kanopi Durumu.....	105
4.4. Çalışma Sahasının Orman Kanopi Yüksekliği.....	107
4.5. Çalışma Sahasının Orman Taç Taban Yüksekliği	109
4.6. Çalışma Sahasının Orman Kanopi-Taç Yoğunluğu.....	111
4.7. 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının Simülasyon Analizi.....	113
SONUÇ.....	117
KAYNAKÇA	121
EKLER.....	137
Ek 1. Orijinallik Raporu.....	137
Ek 2. FM 40.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	140

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1:	Türkiye’de Yıllara Göre Orman Yangınlarının Çıkış Nedenleri	32
Tablo 2:	Türkiye’de Yıllara Göre Yanan Ormanlık Alan Miktarı (Hektar).....	33
Tablo 3:	Modelde kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	39
Tablo 4:	Yakıt Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.....	42
Tablo 5:	Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (IGBP) Arazi Örtüsü Sınıflandırması için Yakıt Türü Risk Endeksi.....	43
Tablo 6:	Eğim Risk Endeksi.....	44
Tablo 7:	Güneşlenme Risk Endeksi	45
Tablo 8:	Bakı Risk Endeksi.....	45
Tablo 9:	Arazi Sağlamlığı Risk Endeksi.	46
Tablo 10:	Yükseklik Risk Endeksi.....	46
Tablo 11:	Mesafe Risk Endeksi.....	48
Tablo 12:	Ateşleme Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.	48
Tablo 13:	Sıcaklık Risk Endeksi	49
Tablo 14:	Yağış Riski Endeksi.	49
Tablo 15:	Hava Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.	50
Tablo 16:	Yol Görünürlük Risk Endeksi.....	51
Tablo 17:	Yerleşim Alanları Görünürlük Risk Endeksi.	52
Tablo 18:	Tespit Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.....	52
Tablo 19:	Yükseklik Sürtünme Endeksi.....	53
Tablo 20:	Arazi Örtüsü Sürtünme Endeksi.	54
Tablo 21:	Eğim Sürtünme Endeksi.	54
Tablo 22:	Yol Sürtünme Endeksi.	55
Tablo 23:	Müdehale Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.....	55

Tablo 24: Orman Yangını Risk Modeli Ağırlık Oranları.....	56
Tablo 25: FlamMap’de kullanılan veriler ve özellikleri	59
Tablo 26: LANDFIRE programı orman örtüsü endeksi.....	61
Tablo 27: LANDFIRE programı orman yükseklik endeksi.	62
Tablo 28: LANDFIRE programı taç yükseklik endeksi.....	63
Tablo 29: LANDFIRE programı taç yoğunluğu endeksi.	63
Tablo 30: Çalışma Sahasında Yakıtların Kapladığı alan (km ²).	68



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Yangının oluşumu sağlayan 3 unsur.....	17
Şekil 2: Orman Yangınlarının Gelişimi (USDA).....	18
Şekil 3: Orman Yangınlarının Tipleri.....	22
Şekil 4: Orman Yangını Risk Modeli Tasarımı.....	38
Şekil 5: Yakıt Riski Alt Modeli Şeması.....	41
Şekil 6: Ateşleme Riski Alt Modeli Şeması.....	47
Şekil 7: Hava Durumu Riski Alt Modeli Şeması.....	49
Şekil 8: Tespit Riski Alt Modeli Şeması.....	51
Şekil 9: Müdahale Riski Alt Modeli Şeması.....	53
Şekil 10: FlamMap’de kullanılan veri katmanları.....	57
Şekil 11: Ağaç ve örtü özellikleri.....	63

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1: 2007 ve 2018 yılları arasında Türkiye’de orman yangınlarının bölge müdürlüklerine göre dağılımı.	34
Harita 2: 2007 ve 2018 yılları arasında Türkiye’de orman yangınlarının bölge müdürlüklerine göre toplam dağılımı.	35
Harita 3: Çalışma Alanı Konum Haritası ve Sınırları.	37
Harita 4: Çalışma Sahasının Yakıt ve Yüzey Endeksi Haritası.	67
Harita 5: Çalışma Sahasının Eğim Endeksi Haritası.	71
Harita 6: Çalışma Sahasının Bakı Endeksi Haritası.	72
Harita 7: Çalışma Sahasının Solar Radyasyon Endeksi Haritası.	73
Harita 8: Çalışma Sahasının Yüzey Engebeliği Endeksi Haritası.	75
Harita 9: Çalışma Sahasının Yükselti Endeksi Haritası.	76
Harita 10: Çalışma Sahasının Genel Yakıt Risk Karakteri Haritası.	77
Harita 11: Çalışma Sahasının Tarım Alanlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.	80
Harita 12: Çalışma Sahasının Doğal Otlak Alanlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası. ...	82
Harita 13: Çalışma Sahasında Yol Ağlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.	84
Harita 14: Çalışma Sahasında Yerleşim Alanlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.	86
Harita 15: Çalışma Alanının Genel Yangın Ateşleme Risk Karakteri Haritası.	87
Harita 16: Çalışma Sahasının Sıcaklık Endeksi Haritası.	89
Harita 17: Çalışma Sahasının Yağış Endeksi Haritası.	90
Harita 18: Çalışma Alanının Genel Hava Risk Karakteri Haritası.	91
Harita 19: Çalışma Sahasının Yol Görünürlük Endeksi Haritası.	93
Harita 20: Çalışma Sahasının Yerleşme Görünürlük Endeksi Haritası.	94
Harita 21: Çalışma Alanının Genel Görünürlük Risk Karakteri Haritası.	95
Harita 22: Çalışma Alanının Genel Müdahale Riski Karakteri Haritası.	97

Harita 23: Çalışma Alanının Orman Yangını Risk Karakteri Haritası.....	99
Harita 24: Çalışma Sahasının Yakıt Modeli Haritası.	105
Harita 25: Çalışma Sahasının Orman Kanopi Durumu Haritası.	107
Harita 26: Çalışma Sahasının Orman Kanopi Yüksekliği Haritası.	109
Harita 27: Çalışma Sahasının Orman Taç Taban Yüksekliği Haritası.....	111
Harita 28: Çalışma Sahasının Orman Kanopi-Taç Yoğunluğu Haritası.	112
Harita 29: 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının MTT Simülasyon Analizi.	115
Harita 30: 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının MAT Simülasyon Analizi.	116



FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Foto 1: Orman Yangınları Sonrası Yeni Filizlerin Çıkması.	28
Foto 2: Çalışma Sahasında Hâkim Bitki Örtüleri.	66
Foto 3: Çalışma Sahasında Yer Alan Yakıt Örnekleri.	69
Foto 4: Çalışma Sahasında Tarım Alanlarında Yapılan Anız Yakımı.	79
Foto 5: Çalışma Sahasında Yer Alan Doğal Kuru Otlaklar.	81
Foto 6: Çalışma Sahasında yer alan yollar ve yol kenarlarındaki kuru otlar.	83
Foto 7: Çalışma sahasında ormanların içerisinde yer alan yerleşmeler.	85
Foto 8: 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının Başlangıcından 15 dakika sonra.....	102
Foto 9: Çalışma Sahasında Kullanılan Yakıt Modeline Göre, Peyzajların Ait Olduğu Sınıflara Örnekler.	104
Foto 10: Çalışma Sahasında Orman Kanopi Durumu Örneği.....	106
Foto 11: Çalışma Sahasında Orman Kanopi Yükseliği Örneği.	108
Foto 12: Çalışma Sahasında Orman Taç Taban Yüksekliği Örneği.	110
Foto 13: Çalışma Sahasında Orman Kanopi Yoğunluğu Örneği.	112

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1: Çalışma Sahasında Yakıtların Kapladığı alan (%).....	68
Grafik 2: Orman Yangını Risk Modelini Oluşturan Alt Modellerin Ağırlık Yüzdeleri.....	98
Grafik 3: Çalışma Sahasının Orman Yangını Risk Karakteri Seviyelerinin Dağılımı.	100
Grafik 4: Çalışma Sahasında Orman Yangını Risk Seviyelerinin Yakıt ve Peyzaj Grupları Üzerindeki Dağılımı.	101



ÖNSÖZ

Sayırsız canlıya ve türe ev sahipliğı yapan, CO₂ gazını absorbe ederek dünyanın sıcaklığını dengeleyen, yağmur oluşumuna katıkıta bulunup sel ve taşkınlara karşı savunma görevi üstlenen, kirlı toğrağı temizleyerek erozyonu önleyebilen, havayı temizleyerek doğal bir ses kirliliğı bariyeri olan, canlılara besin kaynağı sağlayan ve ilaç üretimde kullanılarak tedavi sürecinde önemli bir yeri olan ve ekosistemlerin düzenli işleyişine daha birçok etkisi ormanlar, yangınlar nedeniyle yok olmaktadır.

Yaşama bu kadar katkısı olan ormanların tahribata uğrayarak yok olması beraberinde sayırsız sorunu ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlar ekosistemin işleyişini bozarak çevrenin yaşanılabilirliğine büyük bir hasar vermektedir. Bu nedenle yaşam kalitesini çok fazla arttıran ormanlara gereken önem verilmeli ve korunması için her türlü çaba harcanmalıdır.

Bu doğrultuda yola çıkarak çalışma, yangın riskinin fazla olduğu ve yangınlar nedeniyle büyük bir yıkıma uğrayan Türkiye ormanlarının, daha iyi korunmasına katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Bu amaç kapsamında oluşturan Urla Yarımadası Güneydoğusu'nun Orman Yangını Risk Modellemesi ve Yangın Simülasyonu adlı tez çalışmasında örnek olarak belirlenen ormanlık sahayı coğrafi bakış açısıyla ele alıp, birçok çevresel etkeni değerlendirerek, sahanın orman yangını risk durumunu ve sahadaki yangınların davranışlarının nasıl olacağı ortaya konulmuştur.

Oluşturulan bu tezin her satırında emeğı olan ve beni böylesine önemli bir konuya yönlendirerek düşüncelerimi şekillendiren değerleri hocalarım Prof. Dr. M. Taner ŞENGÜN'e ve Prof Dr. Şermin TAĞIL'a,

Tez'in yazım sürecinde desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Fatih SÜNBÜL, Arş. Gör. H. Mert ARSLAN'a ve jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Şevki DANACIOĞLU ile Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer SİLER'e

Bu süre zarfında beni her konuda destekleyen ve cesaretlendiren aileme sonsuz teşekkür ederim.

BİRİNCİ BÖLÜM

1.GİRİŞ

Ormanlar insan yaşantısının her safhasında ihtiyaç duyulan yapacak ve yakacak hammadde kaynağıdır. Bunun yanı sıra bitkisel nitelikli tohum, çiçek, kozalak vb. ile mineral nitelikli çakıl, kum vb. hammadde kaynaklarının bir kısmı da ormanlardan elde edilir ve hatta birçok tıbbi ilaç ormanlardaki bitkilerden üretilmektedir (Campos, ve diğ., 2005). Ormanların kuşkusuz ki en önemli faydası oksijen kaynağı olmasıdır. Hava'nın %21'lik kısmını oluşturan oksijenin yaklaşık olarak %56'sı ormanlar tarafından üretilmektedir ve 40 kişinin bir saatte havaya verdiği karbondioksiti yetişkin bir çam ağacı oksijene dönüştürebilmektedir (Ege Orman Vakfı, 2020).

Ormanlar, bitkiler ve hayvanlar için su şebekesi gibi olup hayat kaynağı teşkil ederken, kar ve yağmur biçiminde oluşan yağışları tutarak sel felaketlerini önler, bir anlamda su varlığını koruyan ve düzenleyen sistemler şeklinde değerlendirilir (Campos, ve diğ., 2005). Ormanlar ayrıca 1cm kalınlığındaki toprağın 400 yılda oluştuğu dünyada toprakları erozyondan koruyarak aşınmasını ve taşınmasını önlemektedir (Groot ve Meer, 2010). Ormanların bir diğer faydası ise insanlara eğlenme, dinlenme ve boş zamanlarını geçirmeleri için imkânlar vermesidir; havası, suyu ve doğal görünümüyle özellikle metropollerde yaşayan insanlara beden ve ruh sağlıkları üzerinde olumlu etkiler sağlar. Yerleşim alanlarına yakın ormanlar ses ve hava kirliliğini önleyerek insanların yaşam kalitelerini artırır (EOV, 2020). Bunların dışında, ormanlar insan yaşamında önemli bir hammadde olan odunun ana kaynağıdır. Ayrıca sağladığı birçok tomruk, tel direği, maden direği gibi birincil ürünler ve defne, reçine, çıra gibi ikincil ürünleriyle çoğu insan için geçim kaynağıdır (Shelton, ve diğ., 2001).

Dünya karalarının %30'unu kaplayan ormanlar bir milyardan fazla insana gıda, yakıt ve ilaç sağlamaktadır (Santiago ve Kheladze, 2011; Derouin, 2019). Böylesine büyük öneme sahip ormanlar insanoğlu var olduğundan beri yoğun baskı altındadır. Son yıllarda ise hızla artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak genişleyen tarım ve yerleşim alanlarının yanı sıra, insanların ekonomik nedenlerden kaynaklı olarak doğrudan ormanlardan yararlanması, ormanlık arazilerin giderek azalmasına yol açmaktadır. Dünyada artan insan nüfusunun besin ihtiyaçlarının karşılanması giderek zorlaştığından,

insanlar yeni tarım alanları açmak için ormanları geri dönüşü olmayacak bir şekilde yok etmektedir (Derouin, 2019). Ayrıca, insanlar aşırı otlatma, tomruk kesimi, yol açma, inşaat alanı açma ve yakıt ihtiyacı gibi nedenlerle ormanları yok etmektedir. Dünya bankasının tahminlerine göre 20. yüzyılın başlangıcından beri 10 km² orman alanı insanlar tarafından yok edilmiştir. Bugün insan baskısının en yoğun olduğu ormanlar tropikal bölgelerdedir. Mayland Üniversitesi bilim insanlarının yayınladığı rapora göre 2017 yılında tropik ormanların 158 bin km²'si kaybedilmiştir. Bu araştırmaya göre, ağaçların kesilip ormanların yok olmasında, dolayısıyla ormanlık alanların temizlenmesindeki en önemli nedenler tarım alanları ve otlak alanların açılmasıdır (Derouin, 2019). İkincil kaynaktan aldığı onun ilk kaynaktan aktardığını vurgulamalısın. Bunlara ek olarak ormanlara en fazla zarar veren unsurlardan bir diğeri de yangınlardır. Günümüzde özellikle orman yangınları, ormansızlaşma sürecini hızlandıran ana nedenlerden biri haline gelmiştir (Bui, ve diğ., 2018).

Orman yangınları doğal veya insan kaynaklı olsun, sonuçları itibariyle mutlaka yıkımlara neden olabilmektedir. İnsanlığın en önemli buluşlarından biri olan ateş, aslında, bir ocağın sınırları içinde uygun bir şekilde kullanıldığında ısı ve rahatlık verip karanlığı da ortadan kaldıran psikolojik bir kalkandır (Hudson, 2011). Ancak yanlış veya kasıtlı kullanıldığında ise orman yangınları oluşabilmektedir. Bu tür yangınlara karşı farkındalık artmakta ve insanlar konunun önemini her geçen gün daha da anlamaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı ormanların korunması, yangınların engellenmesi ve oluşan yangınların kısa sürede tespiti üzerine çalışmalar yapmaktadır (Chandler, ve diğ., 1983; Keane, ve diğ., 2001; Petras, 2014).

Orman yangınları bazı kişi ve kurumlarca insan kaynaklı afetlerden sayılırken (Yurttaş, 2019) bazıları tarafından ise doğal afet olarak kabul görmemektedir (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2019). Doğanay ve Doğanay (2004)'e göre dünyada meydana gelen orman yangınlarının %99'u insan kaynaklıyken %1'i ise doğal kaynaklı yangınlardır. Gerek doğal gerekse insan kaynaklı afetler olarak kabul edilsin, orman yangınları çevreye büyük zararlar verip, can ve mal kayıplarına neden olup, orman varlıklarına etki ederek fauna ve flora üzerinde önemli zararlara yol açmaktadır (Bilici, 2009). Türkiye'de ise son 20 yıllık sürece bakıldığında meydana gelen orman yangınlarının %89'u insan kaynaklıyken, %11'i doğal nedenlerin etkili olduğu yangınlardır (Orman Genel Müdürlüğü, 2019). Dünyada son 200 yıldan daha az bir sürede yaklaşık olarak 6 milyon km² orman alanı yanarak yok olmuştur (Dimopoulou ve Ioannis, 2002) Daha güncel raporlar var. Türkiye'de son 30 yılda meydana gelen

yangınlara bakıldığında ise yılda ortalama 10.000 hektar orman yanmaktadır (OGM, 2019).

Orman yangınları ekosistemlere büyük zararlar veren yıkımlardır (Omi, 2005). Hem bitki ve hayvan toplulukları hem de insan toplulukları orman yangınları nedeniyle ciddi kayıplar yaşamıştır. Dünyanın akciğerleri kabul edilen Brezilya Amazonlarında 2019 yılında 1 Ocak ile 1 Ağustos arasında yaklaşık olarak 74.155 orman yangını vakası gerçekleşmiş ve bu yangınlar Ocak ve Ağustos demışsin 7,5 milyon hektarlık bir ormanlık alanı etkilenmiştir (Dávalos, 2019).

Dünyanın en büyük biyoçeşitliliğine sahip Amazon ormanlarında meydana gelen yangınlar sonucu havaya yayılan solunum yollarında sıkışıp kaldığında ciddi sağlık sorunlarına neden olabilecek en küçük partikül madde olan PM2.5 Brezilya’da birçok şehri etkilemiş ve ciddi sağlık problemlerine yol açmıştır. Bu yangınlar sonucu birçok hassas ekosistem kalıcı hasar almış ve milyonlarca hayvan doğrudan alevlere veya dumanlara maruz kalarak telef olmuştur (Cardona, 2019). Yine 2019 yılının Eylül ayında başlayıp 2020 yılının ilk günlerine kadar devam Avusturalya kıtasındaki çalı yangınları 27 insanın ölümüne, 2.000 evin yıkımına ve yaklaşık bir milyar hayvanın ölmesine neden olmuştur (Resnick ve diğ., 2020).

İşte tüm bu nedenlere bağlı olarak orman yangınları daha fazla araştırılmaya başlanarak konu hakkındaki çalışmalar artmaktadır (Chandler ve diğ., 1983; Keane, ve diğ., 2001; Petras, 2014). Dünya genelinde orman yangınlarına müdahale için çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Ancak, orman yangınlarına müdahale etmek ciddi bütçe ve kaynak gerektirmektedir. Ayrıca müdahale planlı bir şekilde gerçekleşmezse ortaya çıkan kayıplar çok daha büyük boyutlara erişebilmektedir. Bazen aylarca kontrol altına alınamayan yangınlar bütün bir ormanın yok olmasına sebep olmaktadır. Afet tehlike çalışmalarında orman yangınlarının erkenden tespiti ve riskli alanların belirlenmesi hayati bir öneme sahiptir (Çanakçıoğlu, 1993). Fakat gelişmiş bir altyapı ve donanımına sahip olmayan ülkelerde yangına müdahale gecikmekte ve yangını söndürmeye yönelik harcamalar artmaktadır. Orman yangınları konusunda yeterli sistem ve model geliştirmeyen bu ülkeler, yangınlarla mücadele etmekte geç kaldığı için hem birçok insan kaynağına hem de birçok araç gerece ihtiyaç duymaktadır. Bu durum yangınla mücadele de maliyeti daha da arttırmakta ve maddi ve manevi kayıpların daha fazla olmasına yol açmaktadır. Hal böyle olunca araştırmacılar ve kurumlar potansiyel yangın alanlarının önceden belirlenmesi ve oluşacak bir yangının hareketinin nasıl olacağı konusuna yoğunlaşarak meydana gelecek kayıpları en aza indirmeye yoğunlaşmaktadır.

Orman yangını müdahale ve bertaraf çalışmaları kapsamında riskli alanların belirlenmesi ve erken tespitine yönelik araştırmalar için gerekli bütçeleri ayıran ülkeler ise yangınların zararını azaltabilmektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından oluşturulan LANDFIRE orman yangınları yönetim programı ülkede mevcut olan orman alanlarının coğrafi ve vejetasyon özelliklerine ait verileri toplayarak, orman yangınında riskli alanların belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu sayede olası bir orman yangınında yangının yönetimi, planlanması ve söndürme operasyonları daha uygun bir şekilde yapılmaktadır (Chuvieco, Kasischke, 2007). Bu sebeple yangın izleme ve yangın tespitine yeterli finansal kaynağı ayıramayan ülkelerde araştırmacılar tarafından belirlenen yangın riskli bölgeler, ülkelerin orman yangını yönetimi için faydalı olmaktadır (Akyüz, 2019).

Orman yangınlarının oluşumu ve yayılımı coğrafi parametreler, vejetasyon özellikleri ve bazı noktalara yakınlık durumuna göre şekillenmektedir (Carmel ve diğ., 2009). Yangını şekillendiren coğrafi parametreler genel olarak topografik ve klimatolojik olarak ayrılmaktadır. Topografik etmenlerden yükseklik, bakı ve eğim yangının şekillenmesinde rol alan önemli etmenlerdendir. Yangının yayılma durumu özellikle eğime göre değişmektedir. Eğimin dik olduğu yamaçlarda yangın diğer yamaçlara göre daha hızlı yayılmaktadır (Erten, ve diğ., 2005). Bakıya bağlı olarak güneş enerjisini daha fazla alan yamaçlarda, hava daha kuru olacağı için yanıcı maddeler daha fazla ısınır ve yangın bu alanlarda daha fazla yayılmaktadır. Yükseltiye bağlı olarak değişen nem sıcaklık ve yağış, yükseltinin yangın davranışını belirlemesindeki unsurlarındandır. Yangının hızını ve yayılma durumunu belirleyen klimatolojik etmenler ise rüzgâr, nem, yağmur ve hava sıcaklığıdır (Şahin, 2019). Özellikle rüzgâr yangının hızını ve yönünü belirleyen en önemli etmenlerdendir (Erten, ve diğ., 2005). Rüzgârın hızına bağlı olarak yangınlar kısa sürede yüzey yangınından örtü yangınına dönüşerek devasa boyutlara ulaşabilir. Ayrıca rüzgârın yangın sırasında yönünün değişmesi yangının da ilerleme yönünü büyük ölçüde değiştirmektedir. Bu nedenle rüzgâr yangının kontrolünü büyük ölçüde etkilemektedir. Hava nemi ve sıcaklığı ise yakıtların ısınma ve tutuşma durumunu doğrudan etkilediği için yangının yayılmasında önemli etmenlerdendir (Çanakçıoğlu, 1993).

Orman yangının karakterini etkileyen ana etmenlerden bir diğeri de yakıt özellikleridir. Ormanlar birbirlerinden farklı ekosistemler oluşturabilir ve farklı biyocoğrafik özelliklere sahip olabilmektedir. Bu nedenle orman yangınları biyocoğrafya özelliklerine göre farklılık göstererek yangınların davranışı da değişmektedir. Genel

olarak ormanları oluşturan bitkiler yakıt modeli olarak dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar çimenler, çalılar, kereste ve tahribe uğramış bitki kalıntılarıdır (Anderson, 1982). Bu dört grubun yanma özellikleri birbirlerine göre farklı olduğu için yangının şeklini büyük ölçüde etkilemektedirler. Ayrıca yakıt yani bitki topluluklarının birim alandaki yoğunluğu, yaprak türü ve yaprak yoğunluğu gibi örtü özellikleri, yakıt nemi, örtü yüksekliği ve genişliği, yakıtın partikül ve yanma şiddeti orman yangınının durumunu belirlemektedir (Scott ve Burgan, 2005).

İnsanlar ve faaliyetleri orman yangınlarını şekillendiren, yangın riskini belirleyen ve yangının davranışını etkileyen bir diğer etmendir. Yerleşmelere, yollara veya piknik alanlarına yakın alanlar orman yangın potansiyelinin fazla olduğu riskli alanlardır (Jaiswal ve diğ., 2002; Şahin, 2019). Bu faktörler göz önüne alındığında orman yangını riskli olan bölgeler ve potansiyel yangın alanları tahmin edilebilmektedir.

Kısacası orman yangınları: coğrafi özelliklere, yangının başlangıç noktası, beşeri faaliyetlerin yoğunluğu, hava şartları, geçmişteki yangınların bölgedeki davranışı, ormanın biokütlesi ve bitki yani yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi durumlara göre şekillenmektedir (Morgan ve diğ., 2014). Tüm bu unsurların kompleks bir şekilde birleşmesiyle meydana gelen orman yangınları insanlara, yerleşmelere, ormandaki canlılara ve bu canlılar üzerinde yapabileceği etkilere göre farklı kategoriler için farklı risk deseni ortaya koyar (Keane ve diğ., 2014). Bu nedenle her bir unsurun iyi bilinmesi orman yangınlarının hareketlerini önceden tahmin etmeye ve yangın yönetiminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesine katkı sağlayacaktır. Özellikle yangın oluşumuna hassas ormanlara sahip ülkeler, yangını şekillendiren bu etmenleri doğru bir şekilde analiz edebilirse, yangın tehlike yönetiminde daha başarılı kararlar alabilmeleri mümkün olacaktır.

Bir orman yangını meydana geldiğinde, gerekli analiz için parametreleri toplamanın kısıtlı olması nedeniyle yangının davranışını tahmin etmek zordur (Naderpour ve diğ., 2019). Bir orman yangını oluşumu ve ilerlemesi için gerekli olan büyük veri (big data) bütünü, bilgi teknolojileri vasıtasıyla konumsal destek sistemlerinden olan, sözel ve mekâna bağlı verileri entegre bir ortamda yönetme, analiz etme ve görüntüleme özelliklerine sahip CBS platformunda irdelenebilmektedir. Orman yangını üzerinde etkisi olan tüm kriterler CBS sayesinde kolayca depolanıp, sınıflandırılıp ve güncelleştirilerek hızlı ve etkili bir yangın yönetime imkân sağlamaktadır. CBS verileri yer referanslarına göre depolaması, çeşitli mekânsal analizler ve mekânsal sorgulamalara olanak sağlaması, elde edilen sonuçların harita, tablo ve grafik olarak sunulabilmesi, CBS'nin afet ve afet

yönetimi çalışmalarında kullanılacak en etkili sistem olmasını sağlamıştır (Yurdoğlu, 2008).

CBS’de modeller, haritalar ve veri tabanları kullanarak yangını simüle etmek ve ormanlarda yangın riski en yüksek olan alanlardan bilgi toplayıp analiz etmek mümkündür (Minas ve diğ., 2012). Bu yöntemi kullanarak ormanlarda yangın riskinin fazla olduğu alanları belirleyip bu alanlara gözetleme kuleleri yapılıp ve gözlemciler tahsis edilerek yangın yönetiminde daha fazla başarı elde edilebilmektedir (Sakellariou, 2018). Yüksek riskli alanlardaki tesislerin dağılımı ile ilgili olarak yangın tehlikesi seviyesi ve orman erişilebilirliği ile ilgili bilgileri birleştirmek de CBS sayesinde mümkündür (Zhang ve diğ., 2016). Bu teknolojiler sadece geleneksel ölçme yöntemlerinden daha verimli ve hassas olmakla kalmayıp, zaman ve insan yaşamı açısından da tasarruf sağlamaktadır (You ve diğ., 2012).

Bu bütünden bakıldığında, Türkiye ormanları yangına hassasiyetinin yüksek olduğu Akdeniz ekosistemi içerisinde yer almaktadır. Özellikle yazları sıcak ve kurak geçen Akdeniz ve Ege bölgesinde yer alan ormanlar yangın riskinin en fazla olduğu bölgelerdir (Küçük ve Ünal, 2005). Bilgili ve diğ. (2010) göre bu bölgelerde yer alan kızılçam (*Pinus brutia*) ve karaçam (*Pinus nigra*) ile maki topluluğundan oluşan bitkiler yangına riskli türler olup, yangın olaylarının en fazla meydana geldiği alanları oluşturmaktadır. Türkiye sahip olduğu konum, iklim ve jeomorfolojik özellikleriyle biyoçeşitliliğin fazla olduğu (Doğanay ve Doğanay, 2004) ve 3649 endemik bitki türü ile flora çeşitliliği olan çok zengin bir ülkedir (Güner ve diğ., 2012). Yüzölçümüne rağmen bu kadar fazla türe sahip olan Türkiye ormanlarında meydana gelen kontrolsüz yangınlar geri dönüşü olmayan ciddi vejetasyon kayıplarına yol açmaktadır. Bir yarımada özelliği gösteren Anadolu’da yangınlar sonucu tahribe uğrayan orman ekosistemini eski haline getirmek neredeyse maalesef imkânsızdır.

Türkiye ormanlarının özellikle %60’ını oluşturan 12 milyon hektarlık kısmı yangına çok hassas alanlardır (Akyüz, 2019). Ormanların yangın hassasiyetinin fazla olması yangının erkenden tespit edilmesi ve müdahale edilmesinde maliyeti arttırmaktadır (Taşel, 2003). Türkiye’de orman yangınlarını tespitine yönelik çalışmalar olmasına rağmen henüz bütünleşik bir sistem kurulmamıştır. Sadece Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından CBS tabanlı Orman Yangın Yönetim Sistemi (OYBS) orman yangınlarına hızlı, etkin müdahale etmek ve yangına en kısa sürede ulaşarak kontrol altına almak için geliştirilmiştir (Ün, 2009). Ormanlarının yangına karşı bu derece hassas olmasına rağmen ve henüz kapsamlı bir sistemin kurulmaması neticesinde ülke

ormanlarında çıkan yangınların yönetimini zorlaştırmakta dolayısıyla müdahale geciktiği için yaşanan kayıplar artmaktadır. Bu nedenle orman yangını zararlarını azaltmaya yönelik yapılacak çalışmalar orman ekosistemlerinin geleceği açısından önemlidir.

Tez çalışmasında CBS tabanlı orman yangını tehlike analizi ve yangın afet yönetimi çalışması yapmak üzere inceleme alanı olarak İzmir Urla Yarımadasının Güneydoğusu seçilmiştir. Urla Yarımadası Kahramanmaraş'tan başlayıp, Akdeniz, Ege'yi takiben İstanbul'a uzanan 1700 km'lik sahil şeridinin 160 km derinlikteki bölümünde var olan orman yangınları oluşumuna karşı son derece hassas bölge içerisinde yer almaktadır. Bu bölgenin coğrafi özellikleri incelendiğinde yazları kurak geçen, kuru hava ve şiddetli rüzgâr nedeniyle, orman yangınları oluşumu ve yayılması hızlı gerçekleşen, dolayısıyla orman yangını söndürülmesi zor olan Türkiye'nin en riskli bölgelerinden biri olan bir bölgede yer almaktadır.

İzmir'in batısında yer alan Urla yarımadasındaki ormanlar zaman zaman çıkan yangınlar sonucu büyük tahribata uğramıştır. Sahada 2008 yılı temmuz ayı ile 2009 ve 2019 ağustos aylarında büyük yangınlar meydana gelmiştir ve ciddi tahribata yol açmışlardır. Güncel olarak, Orman Derneği (2019) raporuna göre 2019 yılında Urla Yarımadasında yer alan Seferihisar ve Menderes mevkiinde yaklaşık olarak 6647 hektarlık ormanın yanmış ve yangının kontrol altına alınıp soğutulması 20 günden fazla sürmüştür. Bu yangında “237 arazöz, 29 ilk müdahale aracı, 25 dozer iş makinesi, 20 helikopter ile belediyeler ile diğer kurumlara ait 95 çeşitli araç ile 72 teknik eleman, 1.200 Orman Genel Müdürlüğü personeli ve 20 Jandarma aktif olarak katılmıştır.

Urla'daki orman yangınları için yapay sulama göletleri oluşturulmasına ve gerekli önlemlerin alınmasına rağmen yangına müdahale başarılı bir şekilde gerçekleşmemiş ve yangın yönetimi konusunda bazı eksiklikler yaşanmıştır. Yangın oluşum bakımından doğal olmayıp, insan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yangının büyümesi kolay bir şekilde gerçekleşmiştir. Bölgeye ait erken bir yangın uyarı sisteminin olmaması ve yangına riskli alanların önceden belirlenmemesi yüzünden yangın tespit ve müdahale sisteminin tekrar gözden geçirilmesi uygun olacaktır. 2019 Urla (Tınazlı) yangınıyla birlikte ekosistemde ciddi maddi ve manevi hasarlar oluşmuştur. Burada var olan tehdidin belirlenmesi ve yangın afet yönetiminin planlanması Türkiye'nin ekosistemi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma bu alanda yapılan analizler ve gerekli çözüm haritasını sunmaktadır.

Yarımada olmasından ötürü kendine has bir ekosistemi olan Urla'da yangın geri dönüşü olmayan zararlara yol açmıştır. Günlerce süren yangın hem ekosisteme büyük

kayıplar yaşatmış hem de kullanılan insan ve araç gücüne bakıldığında büyük bir finansal kayba yol açmıştır. Çalışma alanı olarak Urla'nın seçilmesi bu bölgede yer alan ormanların gerçekleşecek olası bir yangında korunmasına yardımcı olmak ve yangın yönetiminin daha planlı uygulamasını sağlamaktır. Böylece hassas bir ekosisteme sahip olan Urla ormanlarının yangınlardan göreceği zararlar azaltılarak, doğal zenginliklerinin korunmasına katkı sağlamak büyük önem kazanmaktadır.

1.1.Çalışmanın Amacı

Çalışma yangınlara karşı hassas ormanlara sahip Türkiye’de, orman yangınlarında meydana gelecek zararları en aza indirmek ve yangın yönetimi karar destek sürecine katkı sağlayacak CBS tabanlı risk modeli oluşturmak amacıyla yapılmıştır.

Henüz geniş kapsamlı bir yangın risk sistemi ve yangın tespit sistemi olmayan Anadolu'da endemik türün fazla olduğu, zengin bir ekosisteme sahip ormanlar yer almaktadır. Bu ormanların büyük bir kısmının yangına hassas olması özellikle yaz aylarında büyük bir endişe kaynağı olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Urla Yarımadası örneğinde bir yangın risk modeli ve olası bir yangında zararı en aza indirmek için simülasyon yapılması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, olabilecek yangınlarda müdahale hızının artırılması ve beşerî ya da doğal yangınların verebileceği zararların en aza indirilmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri CBS tabanlı bir orman yangın karar destek modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada yangın risk modeli tasarımı ile özelde Urla Yarımadasının Güneydoğusu olmak üzere Türkiye genelinde de uygulanabilecek bir model olması planlanmıştır. Çalışmada bölgede gerçekleşen geçmiş yangınlar da ele alınarak, olası bir yangının davranış ve yayılım simülasyonu hazırlanmıştır. Bu simülasyon ile ileride meydana gelecek yangınlara müdahalenin de hızlandırılması planlanmaktadır.

1.2.Çalışmanın Hipotezi

Bu çalışmada iki hipotez test edilecektir.

H1= Yangın risk modelleri olabilecek yangınları göstermede başarılıdır.

H2= Bir yangının doğru parametreler dikkate alınarak yapılan simülasyonla yayılımı doğru bir şekilde tespit edilebilir.

1.3.Araştırma Soruları

1. Yangın riskinin tespitindeki uygun fiziki ve beşerî coğrafi parametreler hangileridir?
2. Çalışma alanı için en uygun yangın risk modeli hangisidir?
3. Risk modelleri arasında farklılıklar nelerdir? Farklı risk modelleri mi denendi?
4. Yangın yayılımı hangi fiziki coğrafi faktörlerinin kontrolü altındadır.
5. Simülasyon ile gerçekleşen yangınların yayılımları ne kadar örtüşmektedir?
6. Yangın simülasyon modellerinin kısıtlılıkları nedir?

1.4.Araştırma Problemi

Türkiye bulunduğu konum, iklim özellikleri gibi doğal unsurların yanı sıra ormanlık alanlarındaki beşerî faaliyetler ile orman yangını riskinin fazla olduğu bir ülkedir. Özellikle kıyı bölgelerindeki yüksek nüfusa bağlı olarak orman yangını riskinin yüksek olduğu alanlar mevcuttur. Çalışma alanı olan Urla Yarımadasının Güneydoğusunda nüfus hareketlerinin yoğun olduğu ege kıyısında yer almaktadır. Bu nedenle Urla'da sık sık orman yangını meydana gelmekte ve bu yangınların tamamına yakını insan kaynaklı oluşmaktadır. Urla doğal hazinesi olan ormanlarını yangınlar sonucu kaybetmektedir. Bir yarımada olduğu için de kendine has karakteristik özellikleri olan Urla'daki ormanlar, ağaç dikimi faaliyetleriyle tekrar eski özelliğine kavuşamamaktadır. Bu nedenle meydana gelebilecek yangına en hızlı şekilde müdahale etmek, yangının zararını en aza indirmek Urla'nın doğal zenginliğini korumak için hayati bir öneme sahiptir. Urla'da meydana gelecek bir orman yangını yayılımını önceden tespit etmek, zararı en aza indirmeye yardımcı olacaktır. Ülkemizde bu konu hakkındaki çalışmalar çok kısıtlıdır. Çalışmada alana özgü fiziki ve beşerî coğrafi parametreler kullanılarak yangının yayılımını tespit edilip analizler modellerle sunulacaktır.

1.5. Literatür

Ormanların yangınlara karşı en hassas noktalarını belirlemek ve bu riskli alanları tespit edip yangın yönetiminin daha başarılı olmasını sağlama konusundaki çalışmalar kapsamlı bir şekilde Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Orman Servisi tarafından araştırılmış ve laboratuvarlar kurularak yangınların davranışı konusunda

deneyler yapılmıştır. Orman servisi çalışanı mühendisler 1950’li yıllarda orman yangınlarının davranışı konusuna yoğunlaşarak birkaç risk modeli ve yakıt modeli geliştirmişlerdir (Anderson, 1969). Orman servisi yangınların davranışı için model yasaları belirlemeyi amaç edinip, ormanda yangına hassas alanları oluşturan ve yangınların yayılımını bile etkileyen yakıtın türü, yakıtın yoğunluğu, yakıtın parçacık büyüklüğü, yakıtların arasındaki aralıklar, yakıtın uzunluğu, eğim, rüzgârın hızı ve hatta havanın nem ve sıcaklık değişkenleri üzerine yoğunlaşmıştır. Orman servisi araştırmacıları ayrıca yakıtlar üzerinde yangının yayılımını anlamak için çeşitli ağaçlar kullanarak farklı hava koşullarında deneyler yapıp, bu yakıtların içerdiği nem oranına ve yoğunluklarına göre yangının yayılımını tespit etmeye çalışmıştır (Fons, 1961).

Böylece ormanlarda yangına hassas ağaç türlerinin neler olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Orman servisi araştırmacıları laboratuvar ortamında orman yangınlarını anlamak için deneylere devam ederek yangın riskini ve davranışını etkileyen daha ayrıntılı değişkenleri (yaprak özellikler vb.) incelemişlerdir. Yapılan tüm araştırmalar “Forest Fire Detection” isimli kitapta toplanmıştır. Kitapta orman yangınlarını erken tespit etmenin önemine değinilerek, ilk olarak bu amaçta orman gözetleme kulelerinin kullanıldığını, 1920 yılından itibaren gözetleme uçaklarıyla yangınların erken tespit edilmeye çalışıldığından bahsedilmiştir. Yangınların çeşitli parametreler doğrultusunda ve gerçekleşme alanlarının sıklığına göre riskli alanlar oluşturduğu, kitabın yazıldığı dönemdeki yeni orman yangını tespit etme sistemlerinin de bu bölgelere yoğunlaştığı konusundaki çalışmalar anlatılmıştır.

Ormanların bütün kısımlarının eşit yangın riskine sahip olmadığı, daha kompleks bir yapının mevcut olduğu ve yangın hassasiyetinin yüksek olduğu alanların belirlenmesinin öneminden bahsedilmiştir. Kısıtlı olan yangını tespit etme sistemleri ve özellikle Uzaktan Algılama (UA) sistemleri daha hassas alanlara yönlendirilmesi için bu çalışmada yapılması gereken 3 adım vurgulanmıştır. Bunlar: risk analizi, tehlike analizi ve değer analizidir. Aynı kurumun Kuzey Orman Yangını Laboratuvarında çalışan Anderson ve diğ. (1966) orman yangınlarının fiziki ve yakıtların üzerine yoğun araştırmalar yapmıştır. Ekip yangınların yayılmasını anlama, tanımlama ve yangının yayılma oranının atmosferik, topografik ve bitki özellikleri gibi coğrafi parametrelere göre nasıl olduğunu belirlemek için birçok deney yapmıştır. Çalışmada nitel veriler yerine nicel veriler üzerine yoğunlaşıp coğrafi parametrelere bağlı olarak radyasyon ve ısı transferinin matematiksel analizlerle yangının yayılımını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Christianson ve diğ. (1969) yaptığı çalışmada insanların orman yangını riskini arttırdığı ve insanların bundan ne kadar haberdar oldukları konusunda 901 kişiyle görüşerek anket çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada insanların orman yangınları önleme konusundaki bilgileri ve görüşleri ele alınıp, ormanda nerelerin yangına sebep olacağı nedenleriyle birlikte ele alınmıştır. Ayrıca iyi bir yangın yönetimi için insanların yangınları erken tespit etmesi gerektiğine vurgu yapıp, yangınlar sırasında meydana gelecek zararın böylece azaltılacağı konusu hakkında bilgiler verilmiştir.

Ormanın yangın hassasiyeti konusunda önemli bir parametre olan yakıt unsurunu yine ABD Orman Servisine bağlı Yangın Bilimi Laboratuvarı'nda yürütülen araştırmalarda bitki türlerinin yanma özellikleri üzerine kapsamlı deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucu yakıt türlerinin birbirlerinden çok ayrı yanma özellikleri olduğu ve yakıt özelliklerinin yangının davranışını ve karakterini etkileyen en önemli unsurlardan biri olduğu bir kez daha ortaya koymuştur. Rothermel (1972) yaptığı deneyler sonucu hala yaygın olarak kullanılan Rothermel Yangın Yayılma Modelini geliştirmiştir. Model yangının fiziksel ve kimyasal süreçlerini matematiksel olarak tanımlamaya çalışmaktadır (Wells, 2008). Model orman yangınlarının yayılımını tespit etmede kantitatif olarak geliştirildiği için yangın yönetimi açısından büyük öneme sahiptir ve birçok yangın yönetim analizinde aktif olarak kullanılmaya devam edilmektedir (Wells, 2008).

Ormanların yangına hassasiyetini arttıran unsurlardan “yola yakınlık” kavramı Wilson (1979) tarafından ele alınmıştır. Ormanlardan geçen yolların kenarında insanlar tarafından yakılan ateşlerin veya taşıtla giderken atılan bir izmaritin yol kenarında kolay tutuşan yakıtları etkileyerek orman yangınlarına neden olan önemli bir risk olduğunu vurgulamıştır. Çalışmasında yolların kenar kısımlarının yakıtlardan temizlenmesini, bitkilerin yolun hemen kenarında olmamasını önererek birçok yangının önleneceğine değinmiştir.

Altobellis (1983) 1956-1970 yılları arasında ABD'nin güneyinde meydana gelen yangınları, kırsal yerleşmelerin yoğunluğuyla ilişkilendirerek incelemiş ve çalışmasını oluşturmuştur. Yaptığı araştırmalar sonucu kırsal yerleşmelere yakın olan ormanlarda daha fazla yangının meydana geldiğini tespit edip, beşeriyetin orman yangını riskini arttırdığını ortaya koymuştur.

Ormanlarda yangın riski potansiyelinin belirlenmesi hassas bir konudur. Bu nedenle araştırmacılar ve orman yangınlarıyla mücadele ekibin riskleri tespit etmek için kullandığı modeller ve değişkenler doğru seçilmelidir. Anderson (1982) hazırladığı raporda yakıt türlerini çimen, çalı, kereste ve kesilmiş odun olmak üzere 4 gruba ayırmış

ve 13 modele ayrılan bitki türlerinin fotoğraflarını envanter halinde sunmuştur. Böylece araştırmacıların raporda yayımlanan birçok bitkinin fotoğraflarına ve yanma özelliklerine bakarak araştırma alanları için en uygun yakıt modelini seçmeleri hedeflenmiştir.

Gelişen teknoloji, matematiksel modeller ve algoritmalar sayesinde ABD Orman Servisi araştırmacıları, orman yangınlarını etkileyen tüm bu değişkenlerin CBS'ye entegrasyonunu gerçekleştirerek bir yangın simülatör yazılımı oluşturmuşlardır (Finney, 1984). Bir küresel sorun olan orman yangınlarında, mekânsal bilgiyi elde etmek, işlemek ve görüntülemek için yeni tekniklerin zamanında ve uygun maliyetli bir şekilde kullanılmasını gerekmektedir. CBS yaklaşımının temel amacı da bu olduğundan araştırmalara birçok fayda sağlamıştır (Chuvieco ve Congalton, 1989). CBS mekânsal veriler üzerinde analizler yapmayı kolaylaştırıp maliyeti düşürdüğü için orman yangınlarında kullanımını yangın yönetimine önemli katkılar sağlamıştır.

Finney (1984) farklı yüzey yangını ve taç yangını gibi yangın türlerinin davranışlarını kurabilen ve bir noktadan çeşitli coğrafi değişkenlere göre yangının hangi yönde ve ne kadar hızda hareket edeceğini simüle edebilen CBS tabanlı Farsite yazılımını tanıtmıştır. Yazılımın önceki simülasyon programlarının aksine çeşitli modellerle yangın risklerinin belirlendiği bir ormanda yangın gerçekleşmeden önce olası bir yangının bu riskli noktalardan nasıl yayılacağını göstermesi, yangın yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Böylece çalışmacılar ve yangına müdahale ekipleri gerekli önlemleri yangın öncesinden doğru bir şekilde alarak yayılma riskine göre yangına daha başarılı bir şekilde müdahale etmeleri sağlanmıştır. Yazılımda kullanılan modeller yangın büyümesinin hem uzay hem de zaman ölçeğine göre vektör peri metrelerini üreterek yangının vereceği tahribatın da öngörülmesini sağlamaktadır.

Richards (1988) orman yangını risk ve yayılma modellerinin artmasına bağlı olarak yapılan araştırmalar hakkında bir inceleme yapmıştır. Bu çalışmaya göre modellerin kullanımları ve gelişen simülatör yazılımları ele alınarak farklı koşullar altında gelişen yangınların davranışları hakkında genel bir model oluşturmuştur. Reaksiyon teorisine dayandığı modelinde değişen hava koşulları ve diğer değişkenlerin yangına nasıl etki ettiğini göstermiştir.

Chuvieco ve Congalton (1989) çalışmalarında CBS ve UA'nın orman yangınları çalışmalarında kullanımın önemine değinip, yangına hassas olan İspanya ormanlarında bir yangın riski analizi yapmışlardır. Ayrıca Landsat programlarının gelişimiyle orman yangınına etki eden yakıt türü ve topografik özellikler gibi bazı katmanların kolayca üretilebileceğine değinmişlerdir. Daha sonra yangın riskini oluşturan ve yangının

karakterini etkileyen eğim, bakı, yükselti, bitki özellikleri, su durumu, hava şartları, güneşlenme, yol ve yerleşme özellikleri gibi değişkenleri katmanlar halinde analiz edip karşılaştırarak bir yangın riski haritası üretmişlerdir. Analize meydana gelmiş önceki yangınların da sıklaştığı alanları ekleyerek yangın riskleri sınıflarını haritalandırmışlardır. Böylece ormanları korumadaki planlamaya katkı sağlamışlardır.

90'lı yıllara gelindiğinde CBS tabanlı yangın yönetimine birçok yeni model ve simülatör eklenmiştir. Bu modeller yangına hassas ormanlara sahip birçok ülkeye yayılarak bilim insanları tarafından farklı sahalara uygulanıp ormanlar korunmaya çalışılmıştır. Fuller (1991) tarafından yazılan yangın davranışı ve yangınları önleme kitabında yangına neden olan riskler ve yangın zararını azaltmak için teknolojiden de yararlanarak alınacak tedbirlere değinilmiştir. Ayrıca küresel bir problem olan orman yangınlarında o dönemde alınan önlemlere, yapılan tartışmalar ve öneriler de incelenmiştir. Vasconcelos ve Guertin (1992) ise 1980 ve 1990 yılları arasında ABD orman servisi tarafından geliştirilen Behave adlı yangın simülatörüne (Anderson, 1982) eklenen CBS tabanlı bir modül olan FireMap yazılımını inceleyerek bu yazılımla yangın riski analizi yapmışlardır. Yangını şekillendiren değişkenleri katmanlar halinde işleyerek yazılıma aktarıp, yangının büyüme ve yayılma oranlarını saat ve mesafe olarak ortaya koyan analizlerini göstermişlerdir. Chuvieco ve Martin (1994) AVHRR görüntüleri kullanıp UA ve CBS sayesinde küresel yangın risk haritası ve yangın tehlikesi tahmininin üretilmesi hakkında çalışmışlardır. Veach ve diğ. (1994) çalışmalarında hücresel otomat tabanlı geliştirdikleri orman yangın davranışı simülatör yazılımı olan BURN'ü tanıtmışlardır. Aynı yıl içinde Vidal ve diğ. (1994) UA teknolojileriyle üretilen kızılötesi görüntüleri kullanıp yangına hassas olan Akdeniz ormanlarının sıcaklık ve buharlaşma değişkenlerine göre yangın riski analizini yapmışlardır. Kuntz ve Kartaris (1995) CBS ve UA ile yangını şekillendiren değişkenleri üretilip Yunanistan'da çam ormanlarını dikkate alarak bir yangın modeli oluşturmuşlardır. Bu model sonucunda yangın riski haritası da üreterek yangın yönetimine katkı sağlamışlardır. 1995 ve 2000 yılları arasında Farsite gibi yangın simülatörü yazılımlarının geliştirilmesi devam etmiş yangın yönetiminde CBS ile UA'dan giderek daha fazla yararlanılmaya başlanmıştır (Finney, 1995). Örneğin Chuvieco ve Salas (1996) CBS'den yararlanarak İspanya'da bir bölgenin orman yangını riskinin mekânsal dağılımını oluşturmuşlardır. Maselli ve diğ. (1996) orman yangını hassas olan Akdeniz Havzası içinde yer alan İtalya'nın Elba Adası ormanlarındaki yangın riskini oluşturan bazı değişkenleri Landsat Thematic Mapper (TM) kullanarak üretmişlerdir. Diğer değişkenleri de CBS üzerine aktararak adanın

yangına riskli alanlarını belirlemişlerdir. Jain ve diğ. (1996) gelişen CBS tabanlı yangın risk modellerini kullanarak Hindistan’da hassas bir ekosisteme sahip Rajaji Ulusal Parkı ormanlarını korumak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sahanın özelliklerine göre değişkenleri belirleyip, uygun bir model oluşturarak yangına riskli alanlar belirlenmiştir.

Orman yangınlarının davranışı konusuyla ilgili Quintiere (1998) yangın yayılma davranışlarının matematiksel ve fiziksel formülleri “Principles of Fire Behavior” adlı kitabında ayrıntılı bir şekilde ele almıştır. Perry ve diğ. (1999) ise Dünyada kendine has bir ekosisteme sahip olan Yeni Zelanda ormanlarının yangınlara karşı daha etkili korunması için CBS tabanlı yangın riski çalışması yapmışlardır. Çalışma Yeni Zelanda Cass havzası üzerine yapıp, sahaya uygun yangın riskini oluşturan değişkenler birbirleriyle ilişkilendirilerek havzanın yangına duyarlı alanlar belirlenmiştir. Ortaya çıkan yangın modeli önceki yangınlarla simüle edilerek %80 oranında bir doğruluğa ulaşılmıştır. Bu sayede havzada etkili bir yangın yönetimi gerçekleştirilmiştir. Weilin ve diğ. (2000) gelişen CBS tabanlı bu modellerin Çin ormanlarında da etkili bir şekilde kullanılabileceğini ve yangın yönetimde önemli faydalar sağlayacağını öne sürdükleri çalışmalarını yayımlamışlardır

2000 yılından günümüze kadar ise önemi iyice anlaşılan yangın yönetimi ve yönetim karar destek modellerin üretilmesinde kullanılan CBS, çalışmalarda önceki yıllara göre bir hayli daha fazla kullanılıp, yaygınlaşmıştır. Dünya’nın çeşitli bölgelerindeki insanlar ormanlarını korumak ve orman yangınlarının zararlarını azaltmak için sayısız çalışmalar yapmıştır. Çalışmaların çoğu CBS tabanlı olup, araştırmacılar yangınlarla mücadelede yeni modeller ve yeni simülasyonlar geliştirmişlerdir. Bu çalışmalara örnek olarak Jaiswal ve arkadaşları (2002) gelişen uydu görüntüleri teknolojilerini kullanarak Hindistan’da yer alan orman yangınlarına hassas bir bölge olan Gorna için CBS tabanlı bir yangın risk analizi yapmışlardır. Bringler ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada orman yangınlarıyla mücadelede harcama maliyetlerine değinerek Oregon bölgesine ait bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modelde CBS kullanarak yangın yönetimindeki masrafin azaltılacağı gösterilmiştir. Betanzos ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada Avrupa’nın orman yangınları sonucu oluşan yıkımı araştırarak İspanya’nın Galicia bölgesi için bir yangın modeli ve Fire Risk Predicter System adlı bir simülasyon geliştirmişlerdir. Hyun-An ve diğ. (2004) CBS yazılımlarından yararlanarak Güney Kore ormanlarının yangına hassas kısımlarını belirlemek için bir yangın risk analizi yapmışlardır. Setiawan ve diğ., (2004) Malezya’nın Pekan bölgesinde yer alan yangına hassas turba bataklık ormanları için CBS tabanlı çok

kriterli karar verme analizi ile yangına etki eden değişkenleri ilişkilendirerek bir yangın riski çalışması yapmışlardır. Casbeer ve diğ., (2005) ise gelişen teknoloji sonucu yaygın olarak kullanılan insansız hava araçlarının (İHA) orman yangınlarında kullanımına değinerek yangın yönetimindeki katkılarına değinmişlerdir. Scott ve Burgan (2005) ise Rothermel Modelinden yararlanarak yoğun şekilde kullanılan “Standart Fire Behavior Fuel Models” adlı bir yakıt modeli geliştirmişlerdir. Aynı yıl orman yangınlarında yangının hareketini tespit etmede kullanılan BehavePlus adlı simülasyon yazılımı oluşturulmuştur.

Bu tarihten sonra genel olarak yapılan çalışmalar yangın yayılımının CBS yardımıyla modellenmesi ve riskli alanların belirlenmesi üzerine şekillenmiştir (Moghaddas, ve diğ., 2010; Kanga ve Singh 2015; Sachdeva ve diğ., 2018). Bu çalışmaların yanı sıra son yıllarda makine öğrenme yöntemlerinin CBS ile entegrasi sağlanarak Orman yangınlarının yayılımını daha etkili tespit etmek için yeni modeller geliştirilmektedir. Bui ve diğ. (2018) geliştirdikleri model ve algoritmayla bu alan üzerinde çalışmışlardır.

Türkiye’de orman yangını riskli alanları belirlemek ve yangına daha etkili müdahale etme konusundaki çalışmalar 1980 ve 1990’lı yıllarda başlamıştır. Küçükosmanoğlu (1990) çalışmasında Türkiye’de yaygın olan kızılçamın yanma özelliklerine göre ülkede yangınların nasıl hareket ettiğine değinmiştir. Sonraki yıllarda Çanakçıoğlu ve Özkazanç (1997) Akdeniz’de orman yangınlarının azaltılması için yapılabilecek faaliyetler ve alınabilecek önlemleri araştırmışlardır.

Doğanay ve Doğanay (2004) ise ülkede meydana gelen orman yangınlarının nedenleri ve alınacak önlemler hakkında bir çalışma yaparak, Anadolu ormanlarının önemine değinmiştir. Bilgili ve arkadaşları (2001) CBS’nin yangın amenajmanı planlamalarındaki potansiyel rolünü incelemiştir. CBS’nin yangın yönetimine önemli katkıları olduğunu savunarak kullanım avantajlarından bahsetmişlerdir. Bilgili ve Sağlam (2003) Türkiye’de orman yangınlarının maki yakıt türüne göre davranışını konu alan çalışmalarını yayınlamışlardır. Birkaç yıl sonra Küçük ve diğ. (2005) yangınların davranışında lokal yanıcı maddelerin önemine değinen bir çalışma yapmışlardır. Özelkan (2008) ise hazırladığı tezinde uydu görüntülerinden yararlanarak orman yangını risklerinin belirlenmesi konusunu çalışmıştır.

Karabulut ve diğ. (2013) ise CBS yardımıyla Başkonuş Dağı ormanlarının yangına riskli alanlarını belirlemişlerdir. Duran (2014)’te 2001 ve 2013 yılları arasında Mersin’de gerçekleşen yangınların çıkış noktalarına göre mekânsal analizi CBS üzerinden

yapmıştır. Güney ve arkadaşları (2016) yangına hassas olan Manavgat yöresi ormanlarının CBS yardımıyla risk haritalarını üretmişlerdir. Esen ve Avcı (2018)'de CBS yardımıyla Kahramanmaraş ilinin orman yangınına duyarlı alanlarının belirlenmesi konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmalardan farklı olarak Yavuz ve diğ. (2018) orman yangınlarının davranışını tahmin etmede kullanılan, hassas bir CBS simülatörü olan FlamMap'i Batı Karadeniz ormanlarında kullanmışlardır. Ormana ait coğrafi değişkenleri işleyerek süre-mesafe değişkenleri üzerinden yangının hangi sürede ne kadar mesafeye yayılacağı hesaplamışlardır.

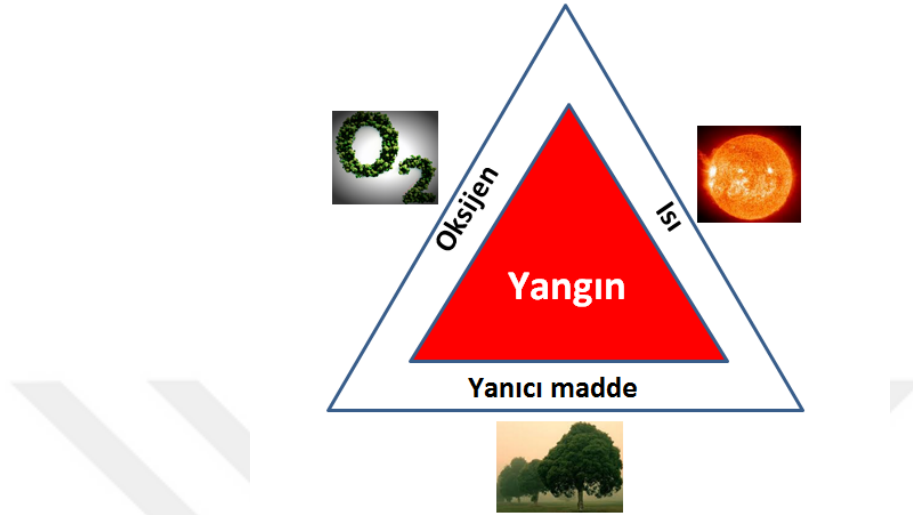
Türkiye'de orman yangını yönetime destek olmak ve oluşacak zararları en aza indirmek için yapılan çalışmalar genel olarak CBS ve UA yardımıyla yangın risk analizleri üzerinedir. Bu konuda son zamanlarda hazırlanan lisansüstü tezler şu şekilde kategorize edilmiştir: Taşel (2003) yüksek lisans çalışmasında Çetibeli örneği üzerinden Rothermel, Wagner ve Albini'nin yakıt modellerinden yararlanarak bir model oluşturmuştur. Oluşturduğu bu modeli ve yangına etki eden diğer değişkenleri Farsite yazılımı üzerinden simüle ederek yangınların davranışını tespit etmiştir. Hacısalihoğlu (2018) ÇKKVY analizi ile Karabük'ün orman yangınına riskli alanları belirlemiştir. Akyüz (2019) CBS yardımıyla Bursa orman müdürlüğünde yangına riskli alanları belirlemiştir. Şahin (2019) ise CBS teknikleri kullanılarak Bodrum orman işletme şefliği sınırları içinde yer alan bölgenin yangına hassas orman alanları için yanıcı madde haritalarının geliştirilmesi konusunda çalışmıştır. Dilekçi (2019), Analitik Hiyerarşi Yönetimini kullanarak Zonguldak Ereğli bölgesinde orman yangınına hassas noktaları çalışmasında belirlemiştir.

1.6. Kavramsal Çerçeve

1.6.1.Orman Yangınları

Orman yangını, bitki örtüsünde meydana gelen, yüksekliği 1,8 m'den fazla olan kontrolsüz yangınlardır. Bu yangınlar yüzey ve yer yangınlarından kaynaklanan yanma ve ısı ile başlayarak çoğunlukla büyük bir yangın oranına ulaşırlar. Büyük bir orman yangını hızla taçlanabilir, diğer bir ifadeyle çalılar veya orman zemini yangına dahil edilmeden önce ağaçların en üst dallarına alevler hızla yayılır. Orman yangınları sonucu ormanlarda şiddetli patlamalar ve yangın fırtınaları oluşabilmektedir (BA).

Yangının oluşması için üç unsurun etkileşime geçmesi gerekmektedir. Bu üç unsurun bir araya gelmesiyle oluşan yangın üçgenindeki tüm kenarlar kimyasal reaksiyonu başlatarak yangını meydana getirmektedirler (Şekil 1).

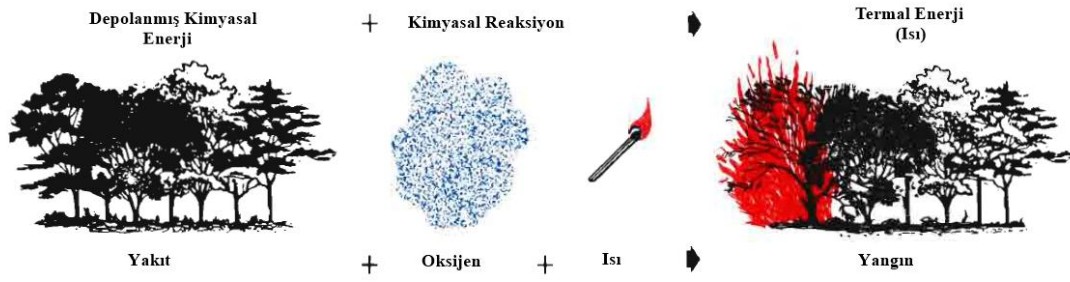


Şekil 1: Yangının oluşumu sağlayan 3 unsur.

En büyük orman yangını bile küçük bir kıvılcım olarak başlamaktadır. Bitki örtüsü yeterince kuru ise, kıvılcım hızla bir alev topuna dönüşmekte, alevler her yöne yayılmakta ve yollarındaki her şeyi yakmaktadır. Ormanda çıkan yangınlar, ağaçlara zarar vermekte ve hatta öldürmekte; orman tabanındaki bitkileri yakmakta ve yeraltındaki köklere bile zarar vermektedir. Hızlı hareket eden alevler arasında sıkışıp kalmış canlılar duman nedeniyle canlarını kaybedebilmektedirler. Ganeri (2012)'de belirttiği gibi alevler kaybolduğunda, arkasında orman yerine kömürleşmiş bir çöplük kalmaktadır.

1.6.2. Isı Transferi

Orman yangını hem kimyasal hem de fiziksel süreçleri içerir. Yangında yakıt tutuştuğunda depolanan kimyasal enerjisi, karmaşık kimyasal reaksiyonlar yoluyla termal enerjiye veya ısıya dönüştürülür. Reaksiyonların başlaması için ısı, bir yangın hattından yakıtı fiziksel olarak aktarılır. Eğer ateş yanmaya ve yayılmaya devam ederse, yanmamış yakıtı ısı transferi devam edebilir. Bir orman yangınının kontrolü ve söndürülmesi, kimyasal reaksiyonların kesintiye uğramasına bağlıdır. Bunu yapmanın tek yolu ısı transferini azaltmak veya ortadan kaldırmaktır (Countryman, 1976).



Şekil 2: Orman Yangınlarının Gelişimi (USDA).

Isı transferi olayını oluşturan faktörlerin üçü olan iletim, radyasyon ve konveksiyon, genellikle bir orman yangını ateşinde aynı anda çalışır. Radyasyon ve konveksiyon ısıyı sadece yakıt yüzeyine aktarabilirken, ısıнын ağaç yakıtları gibi opak malzemelerin içine girmesinin tek yolu iletimdir. Bu nedenle, yanma işleminde, özellikle daha büyük yakıtlar için ısı iletimi büyük önem taşımaktadır. Yanan bir kibrit gibi yanan bir odun parçasına yakından bakılırsa, alevlerin doğrudan ahşap yüzeye bağlı olmadığını, ancak ince bir buhar veya gaz tabakası ile ayrıldığı gözlemlenir. Bunun nedeni katı organik maddelerin doğrudan yanan yanmalarda yanmaması, ancak önce ısı ve kimyasal reaksiyonlarla çeşitli gazlara ayrıştırılması veya pirolize edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu gazların bazıları yanıcı iken bazıları da yanmamaktadır. Yanıcı gazlar yakıt yandığında, yanacak kadar oksijen içermediği için yanıcı bir karışım oluşmadan önce çevredeki hava ile karışması gerekir. Piroliz yavaşsa, fazla gaz üretilmez ve alevler kısa ve aralıklı oluşur. Ancak çok miktarda yakıt hızla yandığında, gaz hacmi büyüktür ve bazıları karışım yanıcı hale gelmeden önce yakıttan önemli bir mesafe kat eder. Bu işlemde uzun ve büyük alevler meydana gelir. Bu nedenle, yangın yoğunluğu büyük ölçüde pirolizin gerçekleşme hızına bağlıdır (Countryman, 1976).

1.6.3. Yanma Süreci

Orman yangınında yakıtlar çok karmaşık ve çeşitli bir kimyasal yapıya sahiptirler. Ayrıca yakıtlara ısı uygulandığında oluşan kimyasal reaksiyonları da karmaşıktır. Farklı sıcaklıklarda farklı reaksiyonlar meydana gelir. Isıtıldığında yakıtlar önce su buharı ve çoğunlukla yanıcı olmayan diğer gazları üretir. Yakıt sıcaklığı 200 °C veya daha fazla oluncaya kadar önemli miktarda yanıcı gaz ortaya çıkmaz. Yaklaşık bu sıcaklıkta da,

kimyasal reaksiyonların kendileri ısı üretmeye başlar. Isı kayıpları küçükse, piroliz kendi kendine devam edebilir ve sıcaklık bir dış ısı kaynağı olmadan yükselmeye devam eder. Nispeten düşük sıcaklıklarda bu ısı üreten reaksiyonlar, yakıtların kendiliğinden yanması için önemlidir. Bazı yakıtların çok az ısı kaybına izin veren koşullar altında çürümesi, aktif pirolizi başlatmak için yeterli ısı üretebilmektedir. Derin talaş katmanlarının bu şekilde tutuşması olağandır. Yakıtın sıcaklığı artmaya devam ettikçe, yanıcı gazlar daha hızlı üretilir ve kimyasal reaksiyonlar daha fazla ısı üreterek yaklaşık 300 °C'ye ulaşır. Yakıt yüzeyinde 400 °C civarında gözle görülür parıltılar görünmeye başlanır. 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yanıcı gazlar oluşmasına rağmen, hava ile karıştırıldığında bile sıcaklıkları 400 ° ila 450 ° C'ye ulaşana kadar alev almazlar. Alevli yanma için, piroliz, sıcaklığı gazların ateşleme noktasının üzerine çıkaracak kadar uzun süre devam etmeli veya onları ateşleyecek kadar sıcak bir şeyle temas etmelidir. Orman yangınlarında, yanan yakıttan çıkan alevler, ısıtılan diğer yakıtlar için bir ateşleme kaynağı olmaktadır (Countryman, 1976).

1.6.4. Orman Yangını Yayılımı

Bir yangının ürettiği ısı konveksiyon ve radyasyon ile hareket eder. Bu durum çevredeki yakıtı ateş alacak kadar sıcak yapar. Yakıtın önemli bir kısmını yanana kadar alevler çıkar ve sonra yakıt alevler olmadan içten yanar. Bu şekilde, alev cephesi adı verilen bir alev hattı ormanın içinde hareket eder ve yangının kaynağından her yöne yayılır (Ganeri, 2012).

1.6.5. Yangın Çevresi

Yangın, çevresini oluşturan belirli koşulların bir sonucu olarak ortaya çıkar. Doğada birkaç gün hatta haftalarca hazırlık süreci vardır. Uygun ortam oluşturulduğunda, herhangi nedenlerden biri, bir yangını tetikleyebilir. Uygun ortam oluşmazsa, yangının riski daha fazla artmaz ve büyük hasara neden olmadan kolayca söndürülebilir. Yangın, uygun ortam oluşturulduğunda meydana gelirse, büyük yangına neden olur ve mülkler ile çevreye ciddi hasar verir. (Rawat, 2003).

1.6.6. Orman Yangınlarının Gerçekleştiği Yerler ve Nedenleri

Orman yangınları genelde yoğun bitki örtüsünün sıcak yaz havaları nedeniyle kuruduğu yerlerde meydana gelmektedir. Orman yangınlarının artmasında kuraklığın etkili olduğu söylenilebilir. Kuru bitki örtüsü yangını kolaylaştırdığı gibi yangının hızla yayılmasında da etkili olur. Yangın hem iğne yapraklı ormanları hem de yaprak döken ormanları kolayca etkileyebilmektedir. Diğer yandan yangın sırasında otlaklar ve çalılık alanlar da kolayca tutuşabilmektedir. Çoğu orman yangını insanlar tarafından dikkatsizlikle başlatılırken, çok az bir kısmı doğal olarak yıldırımlarla başlamaktadır (Ganeri, 2012).

1.6.7. Orman Yangınları Tetiklenmesi

Bir orman yangınının başlaması için iki koşul gereklidir. İlk olarak, ağaçlar, diğer bitkiler ve orman tabanındaki ölü maddeler gibi orman yakıtı kuru olması; ikincisi olarak ise yakıtı ateşlemek ve ateşi başlatmak için bir ısı kaynağı olması gerekmektedir.

Orman yangınları genellikle Akdeniz İklimi gibi en çok kışların serin ve yağışlı, yazların sıcak ve kurak olduğu bölgelerde görülmektedir (Örn: İspanya, Fransa, İtalya, Yunanistan ve Türkiye'nin Akdeniz kıyıları). Bu tür iklimler, ağaçlar ve diğer bitkiler için iyi büyüme koşulları sağlamakta; bu nedenle de bol miktarda bitki örtüsü varlığına neden olmaktadır. Ancak yaz aylarının sıcak geçmesi nedeniyle bitki örtüsü kurumakta yangına uygun şartları ortaya çıkarmaktadır. Dünyanın orman yangınının en yoğun noktalarından ikisi, her yıl binlerce ateşin olduğu Batı Kuzey Amerika ve Güneydoğu Avustralya'dır. Bununla birlikte, şiddetli kuraklıklarda yangınlar, yangınların başlaması için normalde çok ıslak olan tropikal yağmur ormanlarında bile şiddetlenebilmektedir (Ganeri, 2012).

1.6.8. Yangın Oluşumunun Zamana Göre Dağılımı

Yangın oluşumu, çevresel koşullar ve bitki örtüsü fenolojisinin doğal döngülerini takip eden tipik zamansal desenler gösterir. Zamansal açıklıklar bir günden bir yıla kadar değişir ve yangın nedenleri göz önüne alındığında belirgin değişiklikler ortaya çıkar. Yıldırım kaynaklı yangınların meydana geldiği yerlerde yılın birkaç günü yoğunlaşma

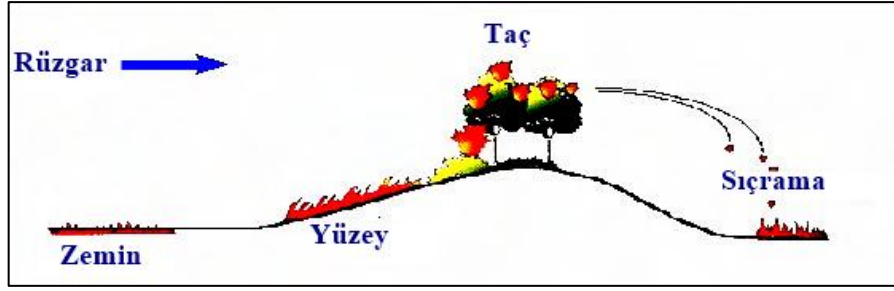
eğilimi gösterirken, antropojenik yangınlar yılda daha eşit bir şekilde yayılır (Vazquez ve Moreno 1998). Yangınların zamana göre dağılımı ele alındığında ortaya çıkan bir diğer konu da yangın sezonlarıdır. Orman yangınları normalde kuru yaz aylarında yanar, ancak ilkbahar ve sonbaharda da yanabilirler. Yangınların en muhtemel olduğu yılın belli dönemine yangın mevsimi denir. Kuraklık yangınları daha muhtemel hale getirir ve yağmur eksikliği bitki örtüsünü çok kuru bırakır. Kuraklık mevsim yağmurları gelmezse veya aylarca yağış azsa oluşan bir durumdur (Ganeri, 2012). Kuru olan bitkiler nem eksikliğinden daha kolay ısınacağı ve yangınlar daha kolay oluşacağı için, genellikle kurak dönemler yangın sezonunun olduğu dönemlerdir.

1.6.9. Yangın Oluşumunun Mekânsal Dağılımı

Orman yangınları dünya sisteminin yaygın ve kritik bir yönüdür (Bond ve Keeley, 2006). Yıllık yanan alan tahminleri 3 ile 3,5 milyon km² olup, Hindistan'ın büyüklüğü ile karşılaştırılabilir (van der Werf ve diğ., 2006; Flannigan ve diğ., 2013). Yanan küresel alanın %80' inden fazlası otlak ve savanlarda, özellikle Afrika ve Avustralya'da, aynı zamanda Güney Asya ve Güney Amerika'da meydana gelmektedir. Dünya genelinde seyrek bitki örtüsü alanları (örneğin: Kuzey Afrika) ve dönencelerin yakınındaki bölgeler sık sık yangınların meydana geldiği alanlardır (Mouillot ve Field, 2005; Flannigan ve diğ., 2013). Orman yangınları, yıl boyunca hem Kuzey hem de Güney olmak üzere iki yarım kürede sürekli gerçekleşen olaylardır.

1.6.10. Orman Yangın Tipleri ve Sınıflandırması

Orman yangınları tepe, örtü ve toprak yangınları olmak üzere 3 türe ayrılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 3: Orman Yangınlarının Tipleri.

- **Toprak yangınları;** orman zemininde veya zeminin altında yer alan çürümüş organik yakıtları ve bitki köklerini yakarak, için için yanan, az duman çıkaran yangınlardır. Çok derin organik malzeme ile, çorak toprakta, turba yataklarında ve bataklıklarda olduğu gibi, kuraklık koşullarında yangın yüzeyin birkaç metre altına nüfuz edebilir ve tamamen yeraltında çıkabilir. Toprak yangınları organik maddenin nem içeriğine bağlı olarak genellikle yüzey yangınına dönüşmektedir (Rawat, 2003). Bu yangınlar bitki örüsünü tamamen yok edeceği için yüzey yangınlarından daha tehlikelidirler.
- **Örtü yangınları;** orman toprağının hemen üst kısmında yer alan bitki kalıntıları, humuslar, ot ve diğer diri örtünün yanmasıyla alevler tarafından tutuşturulmasıyla oluşup, ormanda hâkim olan yaş ağaç türüne nadiren zarar veren yangınlardır (OGM, 1995; Taşel, 2003). Genellikle tüm yangınlar yüzey yangını olarak ortaya çıkar ve çalı toplulukları ile ağaçların alt dallarını yakarlar. Bu yangınlar rüzgarlardan güçlü bir şekilde etkilenip, hızla yayılır ve uygun koşulları bulduğunda taç yangınlarına dönüşürler (Taşel, 2003).
- **Tepe veya taç yangınları;** ormanı oluşturan ağaç türlerinin rüzgarında etkisiyle taç kısımlarına sıçrayan alevlerin hızla yayılarak diğer ağaçların taç kısımlarına da yayılmasıyla oluşmaktadır ve zemindekiler de dahil bütün bitki örtüsünün yanması anlamına gelmektedir. Bu yangınlar genellikle kozalaklı ormanlarda meydana gelmekte ve ateşin en yüksek seviyelere ulaştığı yangın türüdür (Ganeri, 2012).

1.6.11. Yangınların Çıkış Sebepleri

Yangınlarının çıkış nedeni temelde insan kaynaklı ve doğal kaynaklı nedenler olarak ikiye ayrılmaktadır. Çıkış nedenlerini ayrıntılı olarak incelediğinde ise 6 gruba ayrılmaktadır. Bunlar, bilinmeyen nedenler, doğal nedenler, kaza nedenleri, ihmal, kasıtlı yakma ve yeniden yanmadır (OGM, 2010).

- **Bilinmeyen yangınlar;** çıkış nedenleri saptanamamış orman yangınlarıdır. Bilinmeyen nedenlerle meydana gelen orman yangınlarının oranı doğal nedenlerle meydana gelen orman yangınlarının oranından fazladır.
- **Doğal yangınlar;** insan faaliyetleri sonucu oluşmayan, doğanın işleyişine bağlı olarak meydana gelen yangınlardır. Doğal yangınların oluşmasını sağlayan olaylar yıldırım düşmeleri, volkanik patlamalar ve gaz sıkışmasıdır. Diğerlerine göre özellikle yıldırım düşmeleri orman yangınlarının oluşmasını sağlayan en etkili doğa faaliyetidir. Günde yeryüzüne yaklaşık olarak 100.000 yıldırım isabet etmektedir (Ganeri, 2012). Yıldırımlar özellikle yaşam alanlarından uzak, tespit edilmesi zor olan ormanlık alanlara düştüğünde büyük yangınlara dönüşmektedir.
- **Kaza sonucu oluşan yangınlar;** istenmeyen nedenlerle ortaya çıkan yangınlardır. Bu tip yangınlarda insanların etkileri dolaylı olarak gerçekleşir (OGM, 2010). Kaza sonucu oluşan yangınların nedenleri elektrik hatları, demir yollarındaki elektrik akımı, silahlar, araç yangınları, makine ve araçların çalışırken çıkardığı kıvılcımlar, bitki ve atıkların kendiliğinden yanması ve diğer kazarlardır.
- **İhmal sonucu meydana gelen yangınlar;** insan kaynaklı olup ateş ve parlak nesne kullanımı olarak iki gruba ayrılmaktadır. İnsanların doğrudan ateş kullanarak neden olduğu ihmal yangınları; İnsanların doğrudan ateş kullanarak neden olduğu bitki örtüsü yönetiminde istenmeyen bitkilerin yakılmasıyla oluşan yangınlar, bitki atıklarının yakılmasıyla oluşan yangınlar, yasadışı çöplük veya atıkların yakılmasıyla oluşan yangınlar ve piknik faaliyeti sonucunda ve diğer nedenlerden (çoban ateşi, avcı ateşi vb.) oluşan yangınlardır (OGM, 2010). İnsanların kullandığı parlak eşyalardan çıkan ihmal yangınları ise, havai fişek ve işaret fişegi sonucu oluşan yangınlar, sigara ve tütün ürünleri kullanımı sonucu oluşan yangınlar, mangal külleri ve diğer sıcak küllerin söndürülmemesiyle oluşan yangınlardır (OGM, 2010).
- **Kasıtlı yangınlar;** kasten, isteyerek çıkarılmış yangınlardır. Bu tür yangınlara sebep olan insanlar bu tip yangınların bazılarında sorumlu tutulurken

bazılarından da sorumlu tutulmamaktadır (OGM, 2010). İnsanların sorumlu tutuldukları, kasten çıkardıkları yangınları oluşturan faaliyetler: rant, uyuşmazlık, vandalizm, heyecan duyma, suç gizlemesi, aşırılık ve bilinmeyen motivasyonlardır (OGM, 2010). İnsanların sorumlu tutulmadıkları kasti yangınlar ise akıl hastaları ve çocukların çıkardıkları yangınlardır.

- **Yeniden yanma ile oluşan yangınlar;** gizli kor ya da ısı nedeniyle söndürüldüğü düşünülen yangının tekrar canlanmasıdır (OGM, 2010).

1.6.12. Orman Yangınlarının Doğal Ekosistemlerdeki Rolü

Doğal yangınlar, periyodik olarak doğal ekosistemleri etkileyen dinamik faktörlerdir. Örneğin çam ormanı tohumlarının kozalaklardan ayrılıp filizlenmesi için gerekli olan ısı nedeniyle sporadik yangınlara ihtiyaç duymaktadır (Miller, 1999; Mahares, 2002). Yangının yayılımı ve farklı ısı yoğunluğu orman ekosistemlerini farklı bir şekilde etkilemektedir. Sadece dökülmüş bitki örtüsünü ve ölü biyokütleyi yakan yangınlar, değerli mineral besinlerini geri dönüştürür ve yanıcı ölü ağaç yaprakları ile dallarının birikmesini azaltarak ekosistemin canlılığına katkıda bulunur. Öte yandan yangın bitki örtüsünü öldürür; yangından zarar gören yangına dayanıklı ağaçlar bile böcek ve mantarların saldırısına karşı daha hassas olmaktadır. Yoğun yangınlar, bir bölgedeki tüm bitkileri öldürebilir ve birkaç saat içinde yıllarca süren büyümeyi yok edebilmektedir. Yangının etkisi, hızına ve yanma derinliğine bağlıdır. Genellikle, bir alanın bir orman yangından iyileşmesi için yıllar gerekir. Bitki örtüsünün yangınla tahrip edilmesi, özellikle dik yamaçlarda toprak erozyonuna neden olur, ayrıca heyelanlara ve su kütlelerinin taşmasına da yol açabilmektedir (FAO, 1993). Bu olayların birleşimi ile daha önce bozulmamış ormanların otlak veya çalı ekosistemlerine dönüşmesi yani arazi örtüsü değişikliğine yol açması kaçınılmazdır (Matricardi ve diğ., 2010; Eva ve Lambin 2000; Burges, 2011).

Bozulmuş araziler daha fazla yangın riski altında olmasına rağmen, arazi örtüsü değişikliği, bir yandan da iklim değişikliği sorununa katkıda bulunabilir. Örneğin, bölgesel ölçekte, Mölders ve Kramm (2007) bitki örtüsü kaybının yüzey pürüzlülüğünü ve albedoyu değiştirerek yüzey ve atmosfer arasındaki enerji akışını etkileyebileceğini gözlemlemiştir. Daha sonra bunun yerel hava modellerini değiştirerek bulut oluşumunu ve yağışları etkileyebileceğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca Amiro ve diğ. (1999), bir yangın

olayından sonra yanmış alanın bozulmamış ormandan daha sıcak kaldığını ve yangının yerel ölçekte iklimi etkileyebileceğini belirtmiştir.

Bunlara ek olarak, aşırı hava koşullarında “taç yangınları” olarak adlandırılan yangınlar, dünyanın birçok ekosisteminde büyük felaket olaylarına yol açmaktadır. Bu yangınlar, büyük miktarda canlı ve ölü biyokütle birikiminin yaşandığı yoğun ormanlarda meydana gelmektedir. Böyle bir yangın çıktığında söndürülmesi çok zordur ve önemli miktarda orman kaybı meydana gelmektedir. Orman yangınlarının neden olduğu orman tahribatı, farklı iklim koşulları ve bitki örtüsü türlerine sahip tüm dünyadaki ülkeleri etkileyen küresel bir olgudur. Her yıl dünya ormanlarının milyonlarca hektarı tropik bölgelerden Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzey bölgelerine ve Sibirya'nın geniş ormanlık alanlarından Avustralya'nın subtropikal bölgesine kadar yangınla yok edilmektedir. (Mahares, 2002). Odunsu bitki örtüsünün kuru biyokütlesinin yaklaşık yüzde 50'si karbondan oluşmaktadır (Brown ve Lugo 1982). Ormanlar yandığında, karbonun büyük bir kısmı karbondioksit ve diğer sera gazları olarak atmosfere salınır. Gazların atmosferik seviyelerinin artması, küresel iklim değişikliğini etkileyen bir diğer faktördür (Rawat, 2003).

1.6.13. Orman Yangınlarının İnsanlar Üzerindeki Etkileri

Dünyanın birçok bölgesinde artan ısınma ve kuraklık nedeniyle orman yangınlarının sıklığını ve şiddeti artmaktadır. Orman yangınları özellikle yangın bölgesinin yakınında bulunan yerleşmelere zarar vererek ciddi oranda can ve mal kaybına yol açmaktadır. Örneğin 2019 yılının son aylarında gerçekleşen Avusturalya çalı yangınları sonucunda 27 insan hayatını kaybedip 2500 ev ise ağır hasar almıştır (Resnick ve diğ., 2020). Yangının açtığı maddi zarar halen hesaplanmakta olup milyarlarca lirayı aştığı tahmin edilmektedir.

Artan orman yangınlarının etkileri, yalnızca yangına eğilimli bölgelerde bulunan yaşam alanlarını doğrudan etkilemekle kalmaz, aynı zamanda binlerce kilometre rüzgarla taşınan dumanın solunması yoluyla çevre yaşam alanlarını da etkileyebilir. Orman yangını dumanının bileşimi öncelikle karbondioksit, su buharı, karbon monoksit, partikül madde, hidrokarbonlar ve diğer organik kimyasallar olan azot oksitler ve birçok eser elementten oluşur. Bununla birlikte, duman bileşimi yakıt türüne, yangın sıcaklığına ve rüzgâr koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bu kirleticiler arasında, çok küçük boyutlara sahip olan ve akciğerlerce derinden solunabilme kabiliyetleri göz önüne alındığında,

partiküler madde (PM) en insan sağığına tehdit eden bir unsurdur. Yangınlardan kaynaklanan PM'ye maruz kalma birçok sağılık sorununa neden olmakta ve ölüme sebebiyet verebilmektedir (Moy, 2017).

1.6.14. Orman Yangınlarının Bitkiler Üzerine Etkileri

Yangın, bitki topluluklarını evrimsel dönemler boyunca etkileyen doğal güçlerden biridir. Yangınların sık olduğı ılıman ve kurak bölgelerde, ormanlar ve ormanlık alanlar, hayatta kalmayı sağılamak veya yangına dayanıklı türlerle rekabet edebilmek için özelliklerle gelişmişlerdir (Rawat, 2003).

Yangının orman ağaçlarını nasıl etkilediğı, yangının türüne ve ağaçların özelliklerine bağılıdır. Bir yüzey yangını genç ağaçların yere yakın dallarını yakarak, ölümlerine sebep olmaktadır. Çıplak alt gövdeleri ve kronları yüksek olan daha uzun ağaçlar normalde yüzey yangınlarında hayatta kalır, çünkü kalın kabukları iç kısımdaki hassas kambiyumu (büyüyen katmanı) korur. Bununla birlikte, ağaçlarda meydana gelen hafif kabuk hasarı bile zararlı hastalıklara ve böceklerle neden olabilir. Yoğun taç yangınları ise daha yaşlı, daha büyük ağaçları öldürme eğilimindedir, ancak bu ağaçlar kronlarının üçte birine kadarını kaybedebilir ve hayatta kalabilir. Toprak yangınları genç ve yaşlı ağaçları köklerine zarar vererek öldürebilmektedir (Ganeri, 2012; Jhariya ve Raj, 2014).

1.6.15. Orman Yangınlarının Hayvanlar Üzerine Etkileri

Orman yangınları, hayvan habitatının kompozisyonunu, yapısını ve arazi düzenini daima etkilemiştir. Yaban hayatı hem doğrudan ölüm hem de habitat değışikliğı yoluyla yangından etkilenebilir (Lyon ve diğ., 2000; Jhariya ve Raj, 2014). Yangınlar, yaşamak ve üremek için gerekli tüm kaynakları mekânsal olarak düzenleyen, vahşi hayvanlar için barınak ve gizleme örtüsü görevi gören ormanların bitki örtüsü yapısını değıştirmektedir. Yerdeki ölü odunlar bile, birçok kuş, küçük memeli ve hatta ayılar da dahil olmak üzere büyük memeliler için vazgeçilmez bir habitat bileşenidir (Bull ve Blumton, 1999; Jhariya ve Raj, 2014).

Yangın boyunca ateşler orman zemininde yer alan, birçok omurgasız, karınca, küçük memeliler, amfibiler ve sürüngenler için barınak olan ölü kütükleri ve dalları yakarak bu canlılara zarar verir. Orman zeminine yuvalayan kuşlar, yangının kuşatmasıyla öldürülebilir (Reinking, 2005). Yumurta veya larva aşamalarındaki orman

tabanı eklem bacaklıları yangına karşı daha savunmasızdırlar (Niwa ve Peck, 2002; Jhariya ve Raj, 2014). Birçok kuş türünün yaşamı uzun vadeli olarak, yangın şiddetinden etkilenen bitki örtüsünün yapısal değişikliklerinden veya gıda kaynaklarındaki değişikliklerden ciddi oranda değiştiği düşünülmektedir (Huff ve Smith, 2000; Kirkpatrick ve ark. 2006). 2019 yılının sonunda meydana gelen Avusturalya çalı yangınlarında yaklaşık olarak 1,25 milyar hayvanın öldüğü tahmin edilmektedir. Diğer hayvanlar yangınlara doğrudan maruz kalarak ölmeseler bile, yaşadıkları doğal ortamları kaybedip, besin problemi yaşadıkları için ölümle yüz yüze gelmektedir.

1.6.16. Yangından Sonra Ormanların İyileşmesi

Bir orman yangını tarafından geride kalan kararmış, için için yanan manzara cansız görüntüsüyle herhangi bir bitki veya hayvanın orada tekrar yaşayabileceğine inanmayı zorlaştırmaktadır. Ancak yangın ne kadar yıkıcı olursa olsun, ormanlar tamamen eskisi gibi olmasa da iyileşebilmektedir. Yangından birkaç ay sonra, topraktan yeşil filizler yükselmeye başlayabilir. Bitkiler ve hayvanlar yavaş yavaş geri döner ve 10 ila 20 yıl içinde yangının izleri kaybolabilmektedir. Orman yangınları milyonlarca yıldır yeryüzünde sürmekte ve ormanlar doğal olarak iyileşebilmektedir. Orman yangını sonucu ateşten geriye kalan kül, bitkilere besin sağlar ve bu nedenle yeni bitkilerin büyümeleri genellikle hızlıdır. Yabani otlar ve otlar gibi küçük bitkiler yanan alana ilk dönen topluluklardır. Bunlar öncü bitkiler olarak bilinir. Bazıları toprakta kalan tohumlardan büyür.

Yanmış alanı çevreleyen ormanlık veya diğer bitkilerin olduğu alanlardan da ilk olarak otsu bitkiler yanmış alana doğru yayılmaktadır. Daha sonra çalılar ve ağaçlar gelmektedir. Ateşten kurtulan bitkiler de tekrar büyümeyi başarabilmektedir (Fotoğraf 1). Işığı seven bitkiler toparlanarak ağaçlar orman zeminine düşen ışığı engellemeye başlayana kadar tekrardan gelişebilmektedir. Yeni büyüyen bitkiler üzerinde yaşayan hayvanlar, daha büyük, yırtıcı hayvanlardan önce ormana geri döner ve yaşam tekrardan filizlenebilmektedir (Ganeri, 2012).



Foto 1: Orman Yangınları Sonrası Yeni Filizlerin Çıkması.

1.6.17. Orman Yangınlarını Etkileyen Faktörler

Yangın riskine katkıda bulunan faktörleri anlamak için yangın ortamını incelemek gerekir. Countryman (1972) yangın ortamını şekillendiren ve bir yangının davranışını belirleyen unsurları "çevre koşulları, etkileme ve değiştirme kuvvetleri" olarak tanımlar. Topografya, yakıt ve hava durumu yangını şekillendiren çevre koşulu, etkileme ve değiştirme gücüne sahip üç önemli özelliştir ve "yangın ortamı üçgeni" nin üç köşe noktasını oluşturur. Yangın ortamı, yakıt miktarının azaltılması gibi insan faaliyetlerinden de önemli ölçüde etkilenebilir (Burgess, 2011).

1.6.17.1. Topoğrafya Faktörü

Topografya, potansiyel yangın davranışı üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkilerle yangın ortamının önemli bir yönünü oluşturur. Genel anlamda, topoğrafya ya da arazi özellikleri sadece 'kanallar' ve 'oluklar' varlığı ile yangın davranışını teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda göller, çıplak toprak ya da kayaların varlığıyla yangının yayılmasına engeller de sunmaktadır. Daha spesifik olarak, yangın davranışı eğim, yükseklik ve bakı tarafından kontrol edilir.

- **Eğim**, yükseklikteki değişim oranı olarak tanımlanır. Genellikle derece veya yüzde olarak ölçülen eğim, yangının yayılma hızı ve alev uzunluğu üzerindeki etkisinden dolayı yangın davranışını doğrudan etkileyebilir (Finney 1998). Yaklaşan alevlerden gelen radyan ısı bitişik yakıtın nem içeriğini azaltarak ateşleme sıcaklığına yükseltirken yangın hızla yokuş yukarı yayılmaktadır (Rothermel 1972). Yangın tarafından salınan termal enerji, yükselen hava da bir konveksiyon sütunu oluşturur ve bu da yangının yukarı eğim yönünde hareketine yardımcı olur. Konveksiyon kolonu ayrıca, yangın uzantılarının atmosfere salınmasına katkı sağlar ve diğer orman bölgelerinin tutuşmasına yol açabilecek bir süreç olan 'lekelenme' riskini artırır (Burgess, 2011). Topoğrafik faktörler arasında yangını etkileyen en önemli faktör eğimdir. Eğim açısına ve rüzgâr hızına bağlı olarak, yangının yayılma oranını belirlemede bazen eğim rüzgardan daha önemli olabilmektedir (Rawat, 2003).
- **Yükselti**, Deniz seviyesinden itibaren değişerek genel iklim özelliklerini etkilemektedir. Düşük yükseltiye genel olarak yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem ile karakterize edilir. Yüksek rakımlar ise orografik yağışların etkisiyle de bağıl nemin ve yakıt neminin daha yüksek olduğu alanlardır, bu da yangının tutuşma veya yayılma kabiliyetini kısıtlamaktadır (Romme ve Knight 1981). Yükseldikçe kalıcı kar sınırına yaklaşıldığı ve karın yerde kalma süresi arttığı için yakıtlar neme daha doygun olmaktadır. Bu durum da yakıtların tutuşmasını engellemektedir.
- **Bakı**, bir eğimin baktığı yöndür ve 0 ° (kuzey), 180 ° (güney) ile 360 ° (kuzey) arasında derece cinsinden ölçülür. Düz yüzeylere -1 ° değer verilir. Kuzey yarımkürede en fazla güne radyasyonuna maruz kalan yamaçlar, güneye bakan yamaçlardır. Ayrıca kuzey yarımkürede güney ve güneybatı cepheli yamaçlar hâkim rüzgarlara maruz kalmaktadır. Bu ikisinin kombinasyonu ile güneye bakan yamaçlarda daha yüksek sıcaklıklar ve daha düşük bağıl nem görülmektedir. Bunun sonucu olarak bu yamaçlarda bitki örtüsü yakıt miktarı daha fazladır (Heyerdahl ve diğ., 2001; Pyne ve diğ., 1996; Burgess, 2011). Kuzeye bakan yamaçlarda ise sıcaklık daha düşük ve nem miktarı daha fazla olduğu için yangının tutuşma kabiliyeti daha düşüktür.

1.6.17.2. İklim Faktörü

Hava, yangın ortamındaki en dinamik unsurdur ve belirli bir günde yangın riskinin derecesini belirleyen baskın faktördür. Atmosfer koşullarında günlük değişimler olan hava ile uzun vadeli hava koşullarından sorumlu iklim arasında ayırım yapmak önemlidir. Yangını etkileyen atmosferik koşullar sıcaklık, yağış, rüzgâr ve nemdir. Bu dört unsur yangının birçok özelliğini etkilemektedir.

Nem: Hâkim sıcaklıktaki havanın su buharına doygunluk yüzdesinin bir göstergesidir. Bu nedenle, bağıl nem yüksekse, havada yüksek miktarda nem olduğu anlamına gelir. Havadaki nem miktarı yakıttaki nem miktarını da etkilemektedir. Nemli yakıtlar ve çoğu yeşil yakıtlar kolayca yanmamaktadır (Santiago ve Kheladze, 2011). Havadaki bağıl nem %30'un altına düştüğünde yangının oluşma riski fazladır. Aynı zamanda bağıl nem %60'ın altına düştüğü zamanda yangın oluşma riski artmaktadır (Brown ve Davis 1973; Artsybashev 1983; Antoninetti 1993).

- **Yüzey sıcaklığı:** yakıt sıcaklığını kontrol ettiği için yangın riskini doğrudan etkileyebilmektedir. Yüksek sıcaklıklar yakıtın tutuşma noktasına daha yakın olduğu anlamına gelir. Bu nedenle yangının yayılma oranı, yüksek sıcaklık ile karakterize edilen bir ortamda daha büyük olmaktadır.
- **Rüzgarlar:** yangın davranışını belirlemede en önemli faktörlerdendir. Bir yakıtın kuruma hızını etkileyip, oksijen arzını artırarak yakıtların ön ısıtmasını etkiler. Ayrıca rüzgarlar yanan parçaları veya közleri taşıyarak sıçrama yangınlarına veya leke yangınlarına neden olabilir. Aşırı rüzgâr basıncı, konveksiyon hareketini zemine doğru bükerek, yakıtların yangından önce hızlı bir şekilde ön ısıtmasına, kurummasına ve yangının bu yönde hızla yayılmasına yol açabilir. Rüzgâr ayrıca yakıtın nem içeriğini de etkileyebilmektedir. Rüzgâr hızı yüksekse, orman yakıtındaki nem daha çabuk kurur ve yangının yayılımı kolaylaşır. Rüzgârın orman yangınları üzerindeki temel etkileri, yangının yayılma hızını ve yönünü etkilemesidir (Santiago ve Kheladze, 2011).
- **Yağışlar:** yakıtları ıslatarak tutuşma riskini azaltabilir veya halihazırda yanmakta olan yangınları bastırabilirler. Bitki örtüsüne ve toprağa düşen su, yakıtın nem içeriğini arttırmaktadır. Yüksek nem miktarına sahip yakıtlarda, buharlaşmayı hızlandırmak ve ateşlemek için önemli miktarda ısı gerekmektedir. Bu nedenle uzun süren kuraklık benzeri koşullar, yangın sıklığına ve ateşin yaktığı alanların önemli ölçü de zarar görmesine neden olmaktadır (Burgess, 2011).

1.6.17.3. Yakıt Faktörü

Yakıtlar, yüzeyin altında, yüzeyde veya üzerinde yanabilen, alev alabilen canlı ve ölü organik maddelerdir. Daha önce de belirtildiği gibi, yakıt yangın üçgeni modelindeki unsurlardan birini içerir. Yakıt yangının oluşmasında, davranışında ve yayılmasında etkili olan temel unsurlardandır. Orman yangınlarının oluşumda ve davranışında etkili olan yakıt özellikleri: Yakıtın boyutu, dizilişi, hacmi, tipi, şekli ve kondisyon durumudur (Santiago ve Kheladze, 2011).

- **Yakıt Boyutu** yanma oranını etkileyen bir faktördür. Küçük nesneler, büyük nesnelerden daha düşük bir ateşe dayanıklılık orana sahiptir. Örneğin, kuru ot, dallar, küçük çalılar, çam iğneleri gibi hafif yakıtlar, nemi fazla büyük yakıtlardan daha hızlı tutuşma ve yanma eğilimindedir.
- **Yakıt Dizilişi** ormandaki tüm yanıcı maddelerin yatay ve düşey düzlemlerdeki ilişkileri olarak tanımlanan bir diğer fiziksel özelliktir. Yakıtın dizilişi nemin buharlaşma hızını, oksijen tedarikini, yanma hızını ve yangının yayılma hızını doğrudan etkilemektedir.
- **Yakıt Hacmi** hektar başına yanacak olan mevcut yakıtın hacmidir ve yangının yanma yoğunluğunu etkilemektedir. Hektar başına yakıt hacmi ne kadar büyük olursa, yangın o oranda daha yoğun olur ve yangın tarafından üretilen toplam ısı da buna paralel olarak artmaktadır.
- **Yakıt Tipi ve Modeli** genellikle bölgenin ekosistemini yansıtan bitki örtüsünün genel bir sınıflandırmasını ifade etmektedir. Yakıt türlerine, yakıtın zaman ve mevsime göre değişimine bağlı olarak orman yangınların davranışları ve yayılma durumları önemli ölçüde değişmektedir.
- **Yakıt Durumu** genellikle yakıtlardaki nem içeriğini ifade eder ve yanma kapasitesinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden birini oluşturur. Nem içeriği, yakıttaki suyun, yakıtın kuru ağırlığındaki oranının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Yakıtlar nemlerini havadan, yağıştan ve topraktan almaktadır. Yakıt nemi içeriği yüksek olduğunda, yanma ve ateşleme yavaşça gelişir ve yangın yayılımı daha yavaş gerçekleşir (Santiago ve Kheladze, 2011).

1.6.18. Türkiye’de Orman Yangınları

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle orman yangınları ile yakın bir ilişki içindedir. Bir Akdeniz ülkesi olması sebebi ile Türkiye’deki orman yangınları gerek çıkan yangın adedi açısından gerekse de yanan alan büyüklüğü yönünden yüksek istatistiklere sahiptir. Ancak ülkemizde de son yıllarda tüm teknolojik gelişmelere ve gelişmiş araç ve ekipman desteğine rağmen orman yangınları istatistiklerinde fazla bir değişiklik olmadığı da gözlenmektedir (Özkazanç ve Ertuğrul, 2011).

Türkiye’de 1997 yılından 2018 yılına kadar toplam 48.339 yangın gerçekleşmiştir ve bu yangınlar neticesinde 191.329 ha ormanlık alan yanmıştır. Bu dönem aralığında, yılda ortalama 2301 yangın meydana gelmiştir ve 9110 ha ormanlık alan yanmıştır. Yangınlar çıkış nedenlerine göre en fazla ihmal-kaza olayları sonucunda meydana gelmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: Türkiye’de Yıllara Göre Orman Yangınlarının Çıkış Nedenleri (OGM, 2019)

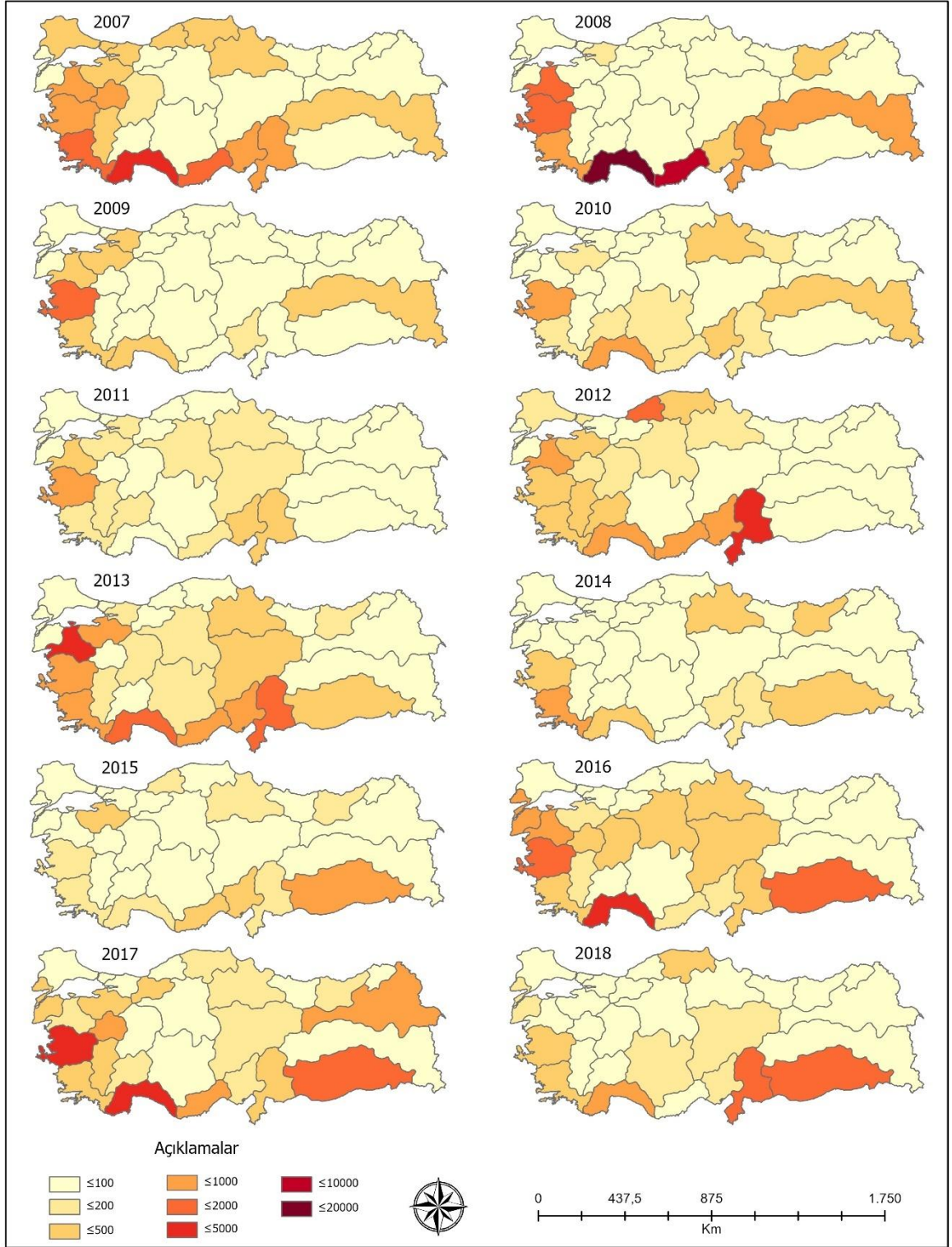
Yangınların Çıkış Nedenleri					
Yıl	Kasıt	İhmal-Kaza	Doğal	Faili Meçhul	Toplam Yangın Sayısı
1997	193	696	78	372	1 339
1998	249	1 163	53	467	1 932
1999	279	1 151	203	442	2 075
2000	410	1 384	132	427	2 353
2001	251	1 629	188	563	2 631
2002	218	809	181	263	1 471
2003	258	1 317	120	482	2 177
2004	242	1 033	128	359	1 762
2005	272	867	140	251	1 530
2006	166	1 315	330	416	2 227
2007	292	1 642	407	488	2 829
2008	377	1 018	330	410	2 135
2009	231	884	333	345	1 793
2010	146	861	281	573	1 861
2011	153	1 067	130	604	1 954
2012	197	936	373	944	2 450
2013	260	1 419	258	1 818	3 755
2014	127	801	328	893	2 149
2015	138	794	257	961	2 150
2016	157	990	310	1 731	3 188
2017	151	721	259	1 280	1 131
2018	92	693	413	969	2 167

1997 ve 2018 yılları arasında Türkiye’de yangınlar sonucu en fazla orman kaybının olduğu yıllar 2000 ve 2008 yıllarıdır (Tablo 2). Bu yangınlar ihmal-kaza sonucu olarak ortaya çıkmış ve büyük hasara yol açmıştır.

Tablo 2: Türkiye’de Yıllara Göre Yanan Ormanlık Alan Miktarı (Hektar). (OGM, 2019)

Çıkış Nedenlerine Göre Yanan Orman Alanları Miktarı (Hektar)					
Yıl	Kasıt	İhmal-Kaza	Doğal	Faili Meçhul	Toplam Alan
1997	923	3 389	37	1 968	6 317
1998	1 655	3 713	20	1 376	6 764
1999	1 926	2 808	126	944	5 804
2000	4 417	19 017	167	2 752	26 353
2001	651	4 247	735	1 761	7 394
2002	509	7 287	261	457	8 514
2003	665	4 520	694	765	6 644
2004	748	3 093	233	802	4 876
2005	402	2 084	48	288	2 821
2006	206	5 873	543	1 139	7 762
2007	1 705	7 994	243	1 722	11 664
2008	797	26 283	699	1 970	29 749
2009	792	3 082	105	700	4 679
2010	526	1 851	69	871	3 317
2011	283	2 368	39	922	3 612
2012	1 615	5 780	334	2 725	10 454
2013	1 478	4 051	138	5 789	11 456
2014	85	1 682	77	1 273	3 117
2015	167	1 198	95	1 759	3 219
2016	240	5 222	170	3 524	9 156
2017	619	7 146	84	4 144	703
2018	148	2 216	141	3 139	5 644

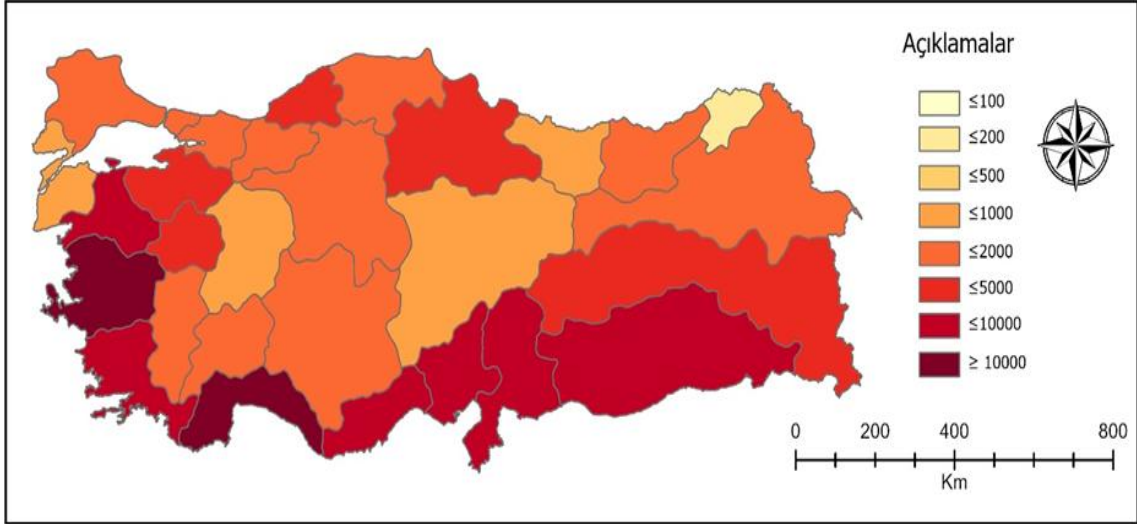
2007 ve 2018 yılları arasında Türkiye’de orman yangınlarının orman bölge müdürlükleri yetki alanlarına göre dağılımına bakıldığında ise yangından en fazla zarar gören bölgelerin ülkenin kıyı ve güney kesiminde yer aldığı görülmektedir (Harita 1).



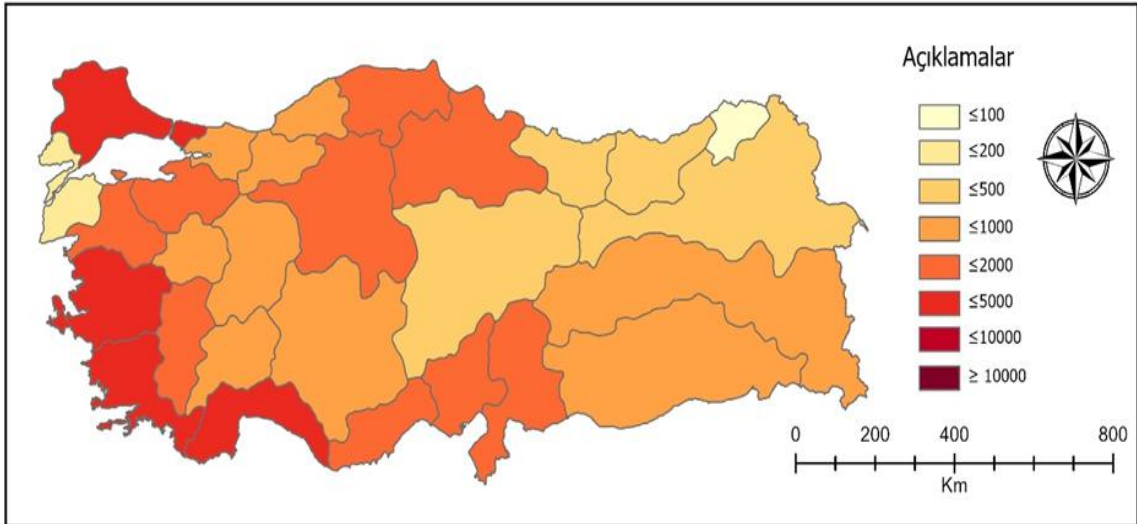
Harita 1: 2007 ve 2018 yılları arasında Türkiye’de orman yangınlarının bölge müdürlüklerine göre dağılımı. (OGM, 2019)

Türkiye’de 2007 yılından 2018 yılına kadar meydana gelen yangın sayısı ve yanan alan miktarına bakıldığında en fazla olayın ve ormanlık alan kaybının İzmir ile Antalya orman müdürlüğü yetki bölgelerinde gerçekleştiği görülmektedir (Harita 2).

Türkiye’de 2007 - 2018 Yılları Arasında Yanan Ormanlık Alanların Bölge Müdürlüklerine Göre Dağılımı (ha)



Türkiye’de 2007 - 2018 Yılları Arasında Çıkan Orman Yangınlarının Bölge Müdürlüklerine Göre Dağılımı (Adet)



Harita 2: 2007 ve 2018 yılları arasında Türkiye’de orman yangınlarının bölge müdürlüklerine göre toplam dağılımı (OGM, 2019)

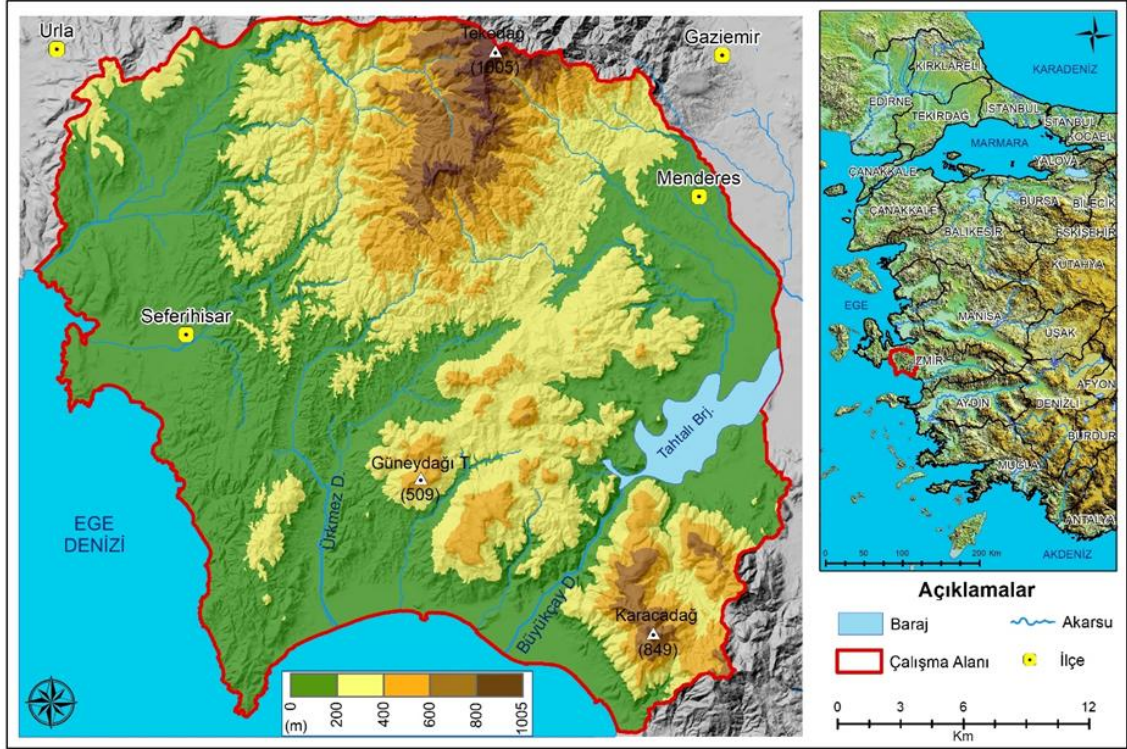
İKİNCİ BÖLÜM

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma Alanı Ege Bölgesi'nin Batı Ege Bölümünde yer alan İzmir ilinde, İzmir Orman Bölge Müdürlüğü, Gaziemir Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer almaktadır. Büyük çoğunluğu Menderes ve Seferihisar ilçe sınırları içerisinde yer alan çalışma alanının bir kısmı, batıda Urla, kuzeyde Güzelbahçe ve Karabağlar ilçe sınırları içerisinde bulunmaktadır (Harita 3). Alan kabaca, 29°19'55.35" – 38°01' 47.93" K koordinatları ile 26°45' 19.91" – 27°10' 01.76' D koordinatları arasında olup toplamda 874 km² alanı kaplayarak Büyükçay Deresi ve Ürkmez Deresi ve Seferihisar derelerinin su toplama havzalarından oluşmaktadır. Çalışma alanının seçiminde 18-20 Ağustos 2019 tarihleri arasında Menderes Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde meydana gelen orman yangını etkili olmuştur. Yangın bu havzalardaki ormanları etkilediği için çalışma alanının sınırlandırılmasında havzalar dikkate alınmıştır.

Çalışma alanının büyük kısmını oluşturan batı kesimi, Türkiye'nin en büyük yarımadası olan Urla Yarımadası içerisinde yer almaktadır (Özzengi, 2004). Doğu kesimi ise, Menderes masifi ile İzmir-Ankara yapısal kuşağı arasında yer almaktadır. Çalışma alanının en yüksek noktasını kuzeyde bulunan Tekedağ (1005 m), en alçak noktasını güneyinde bulunan Azmak Ovası ve Kuşadası Körfezi kıyıları oluşturmaktadır (Akartuna, 1962). Paleozoik dönemde oluşan Batı Anadolu'nun en eski kayaçlarından olan Menderes masifi genel olarak, altta gnays mikaşist, üstte ise mermer tabakadan oluşmaktadır. Alanda en yaygın görülen litolojik formasyon kretase döneminde oluşan flişlerdir. Çalışma alanı Alp kıvrımı hareketlerine bağlı olarak son şeklini oligosen sonlarına doğru alırken, deniz kıyılarında ve vadi kenarlarında terasların bulunması, Alpin hareketlerinin halen devam ettiğinin ve çalışma alanının halen hareketli olduğu göstermektedir (Akartuna, 1962).



Harita 3: Çalışma Alanı Konum Haritası ve Sınırları.

Akdeniz ikliminin, Asıl Akdeniz iklimi alt kuşağında bulunan çalışma alanında kışlar ılık ve yağışlı yazlar ise yağışsız ve sıcak geçmektedir. Ortalama sıcaklığın $16,7^{\circ}$ çalışma alanında ortalama yağış miktarı 685 mm'dir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020) ve bu yağışların büyük bölümü kasım ile mayıs ayları arasındaki cephe faaliyetlerinin yoğunlaştığı dönemde düşmektedir. Yazın kuzeyden gelen etezyen rüzgârları çalışma alanını etkisi altına almaktadır (Atalay, 2011). Akdeniz iklim bölgesinde yer alan çalışma alanının klimaks ağacı, yaz aylarında kuraklığa dayanıklı olan kızılçam ile doğal olarak kızılçam ormanlarının çalı katmanını oluşturan maki vejetasyonudur. Bunların tahrip edilmesiyle yazın sararan ve garig denilen diz boyu yüksekliğindeki topluluklarda alan da genişçe yer kaplamaktadır (Atalay 2011).

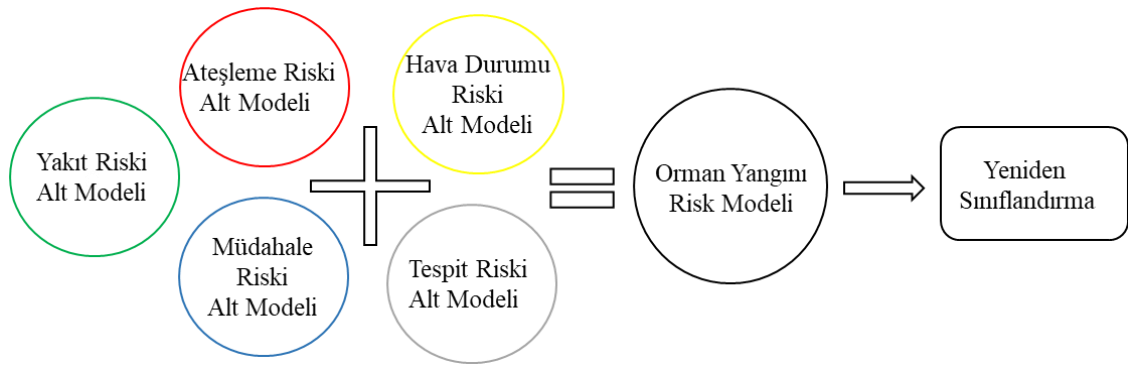
2.2. Veri ve Örneklem

“Urla Yarımadası Güneydoğusunda (Seferihisar-Menderes) Orman Yangını Risk Modellemesi ve Yangın Simülasyonu” adlı çalışmanın veri ve örneklem bölümünde orman yangını risk modellemesi ve simülasyonu için literatürden iki yöntem kullanılmıştır. Bu iki yöntemin uygulanması için gerekli olan yazılımlar ve veriler

farklılık göstermektedir. Çalışma için gerekli olan yazılımlar ve veriler yangın risk modeli ve simülasyonu model tasarımına göre belirlenip aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.2.1. Orman Yangını Riski Model Tasarımı

Santiago ve Kheladze (2011), Chuvieco ve Congalton (1989), Rathaur (2006), Orozco ve diğ., (2009) ve Burguess (2009)'ın çalışmaları dikkate alınarak oluşturdukları orman yangını risk modeli tasarımı, çalışma alanına uygun bir hale getirilerek analizler için uygulanmıştır. Ayrıca Santiago ve Kheladze (2011) modeli oluştururken Remote Sensing of Large Wildfires (Chuvieco, 1999), Wildland Fire Danger (Chuvieco, 2003) ve Wildland Fire Management: Handbook for Trainers (Heikkila ve diğ., 2010) ve Towards Integrated Fire Management (Sande ve diğ., 2010) adlı çalışmalardan da yararlanıp, modeli daha kapsamlı hale getirmişlerdir. Oluşturulan modelin yaklaşımı, orman yangını riski faktörlerini tanımlamakta ve bunları önce ayrı ayrı ele alarak alt modellere ayrılmaktadır. Geliştirilen alt modellerin yapısı statiktir ve çalışma alanı için uygun olması beklenmektedir. Bu nedenle alt modellerde kullanılan veriler çalışma alanına uygun olacak şekilde değiştirilmiştir. Alt modeller beş gruba ayrılmakta olup, bunlar; Yakıt Riski, Ateşleme Riski, Hava Durumu Riski, Tespit Riski ve Müdahale Riski alt modelleridir (Şekil 4).



Şekil 4: Orman Yangını Risk Modeli Tasarımı.

Alt modellerin ve ana modelin oluşturulmasında gerekli olan ham veriler ArcGIS 10.6.1, ArcPro 2.5, Google Earth, Note Pad ++7.8.4, ENVI, SASPlanet ve ERDAS 16.5 yazılımlarında işlenerek kullanım amacına uygun hale getirilmiştir. Modellerde kullanılan veriler ise Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3: Modelde kullanılan malzemeler ve özellikleri.

Veri	Kaynak	Özellik	Amaç
Klimatolojik Veriler	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	2019-2020 arası aylık ortalama sıcaklık, yağış, nem	- Hava durumu risk alt modelini oluşturmak - Yakıt risk alt modelini kullanmak
Topografya Haritası	Harita Genel Komutanlığı	1/25000 ölçekli dijital vektör formatı	- Sayısal yükseklik eğim ve bakı haritaları oluşturmak - Yakıt risk alt modelinde kullanmak - Müdahale risk alt modelinde kullanmak
Uydu Görüntüleri	Earth Data (NASA)	2019 yılı 30 m çözünürlüklü	Orman yangını riski alt modellerinde kullanmak
Arazi Örtüsü Verileri	Orman Genel Müdürlüğü ve CORINE	Orman amenajmanları ve MODIS yanan alan görüntüleri	- Yakıt risk alt modelinde kullanmak - Ateşleme risk alt modelinde kullanmak
Vejetasyon Örtüsü	İzmir Orman Bölge Müdürlüğü	İzmir meşcere haritaları	- Yakıt risk alt modelinde kullanmak - Ateşleme risk alt modelinde kullanmak
Ulaşım ve Yerleşme Verileri	GEOFABRIK	Dijital ortamda vektör formatlı	- Tespit risk alt modelinde kullanmak

2.2.1.1. Orman Yangını Karar Desteği

Genel anlamda Karar Analizi, sınırlı bir dizi alternatifi seçmek veya değerlendirmek için kullanılan bir disiplin ve uygulamadır. Çoğu zaman, en iyi yolu saptamak için, öncelikleri ve ölçütleri belirlemek, çeşitli araçlar ve prosedürler kullanmak gerekir. Bu kararlar genellikle ilgili bir hedef için potansiyel tahmin katkılarına göre listelenir ve bir tablo veya hiyerarşi ağaçları biçiminde gösterilir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Çok Kriterli Yardımcı Analiz gibi teknikler sıklıkla kullanılır. Bu teknikler, yöneticilerin gerçekleri önceliklerden ve tercihlerden ayırmasına yardımcı olur ve sorunu yapısal olarak anlamalarını netleştirir. Bu sayede hedefe daha iyi odaklanıp amaca uygun çözümler elde etmek kolaylaşır.

2.2.1.2. Orman Yangını Risk Alt Modelleri

Tüm alt modellerin ve genelin oluşumu, Çok Kriterli Karar Verme Analizlerinden biri olan Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntem ile ağırlıklar oluşturulmadan önce faktörler derecelendirilerek birbirleriyle karşılaştırılır. Daha sonra faktörler yeniden sınıflandırılarak önem derecelerine göre yeni değerler almaktadır. Bir faktörün başka bir faktöre göre ne kadar az ya da çok önemli olduğunu gösteren

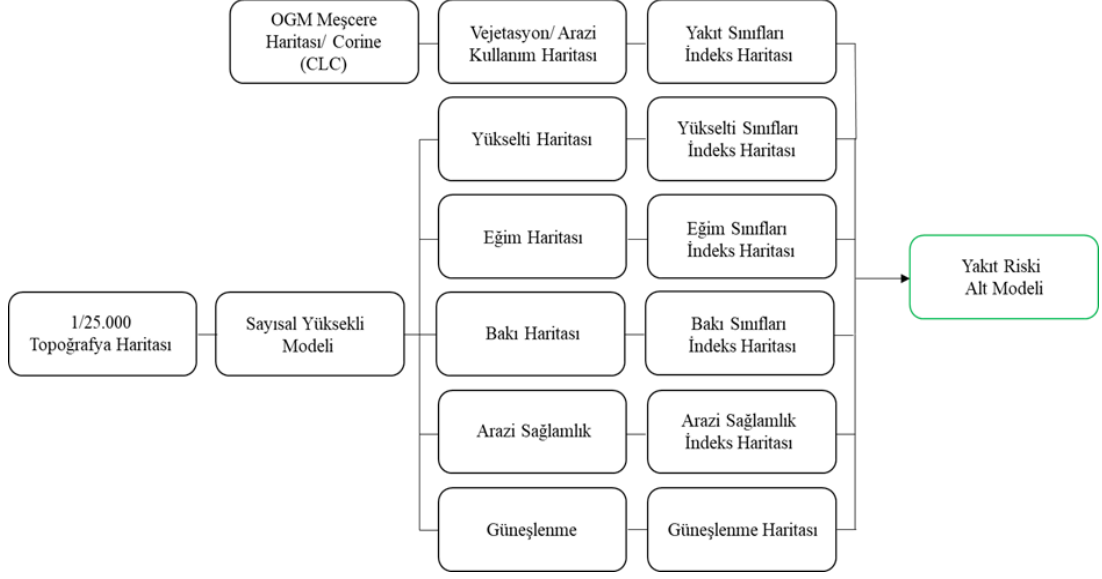
derecelendirme sistemi, yangın ile ilgili literatürden elde edilen bulgulara dayanarak işlenmiştir.

2.2.1.2.1. Yakıt Riski Alt Modeli

Orman yangınının gelişimi için önemli unsurlardan biri yakıt varlığıdır. Önemi, yangınların ortaya çıkışını, yayılmasını ve yoğunluğunu etkilemektedir (Anderson 1982). Bu nedenle, mevcut yakıtın özelliklerine bağlı olarak, yangın çıkma olasılığı artar veya azalır. Orman yangınlarında CBS tekniğiyle risk değerlendirme çalışmaları bu parametreyi genellikle yakıt türünü veya yakıtın göreceli risk değerlerini gösteren bir model şeklinde sunar.

Orman Yangını Yakıt Riski Alt Modelini oluşturmak için gerekli olan topografik veriler, Harita Genel Komutanlığı'nın oluşturduğu 1/25:000 ölçekli L17b3, L17b4, L17c1, L17c2, L17c3, L17c4, L18a3, L18a4, L18d1, L18d2, L18d3, L18d4 sayısal topografya verilerinden üretilen 10 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden oluşturulmuştur. Çalışma alanı için mevcut olan Orman Genel Müdürlüğü meşcere haritaları ve CORINE 2018 arazi örtüsü verileri kullanılarak bir yakıt riski değişkeni oluşturulmuştur. Aynı zamanda değişkenlerin oluşturulmasında GEOFABRIK tarafından sağlanan arazi örtüsü katmanından yararlanılmıştır.

Bu alt model için kullanılan değişkenler: Arazi Örtüsü / Bitki Örtüsü, Eğim, Yükseklik, Bakı, Güneşlenme ve Arazi Sağlamlığıdır. Bu faktör haritalarının risk endeksleri literatür taramasına dayalı olan yeniden sınıflandırma değerlerine göre belirlenmesi beklenmektedir. Sonuç olarak Yakıt Riski Alt Modelini elde etmek için birleştirilecek altlıklar hazırlanarak işlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Yakıt Riski Alt Modeli Şeması.

Alt modelin oluşturulması için yukarıda belirtilen katmanlar belirli bir önem derecelerine göre işleme tabi tutularak bir araya getirilmiştir. Bu önem derecesinin ortaya çıkmasının nedeni ise katmanların orman yangınları üzerindeki etkileri arasında farklılıkların olmasıdır. Yani her katmanın yangın üzerindeki etki oranı bazı katmanlara göre daha fazlayken bazı katmanlara göre ise daha azdır. Bu nedenle katmanlar bir araya getirilirken veya birleştirilirken, yangın üzerindeki etkilerine göre önem değerleri almaktadır. Çalışmacılar, gerçekleşen önceki yangın örneklerini inceleyerek veya laboratuvarında deneyler yaparak hangi parametrenin yangının oluşmasında ve gelişmesinde ne kadar etkisinin olduğunu hesaplamaktadır. Bu alt modelde önem dereceleri olarak modeli oluşturan Santiago ve Kheladze'nin (2011) hesaplamış oldukları değerler kullanılmıştır. Çünkü bu değerler çalışmacılar tarafından daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi literatürdeki uzmanların oluşturdukları, yangın risk modelleri ve katmanlarının etki derecelerinin bir kombinasyonu olarak üretilmiştir. Ayrıca bu değerlerin çalışma sahasına uygunluğu hem arazi çalışmaları üzerinden hem de dijital veriler üzerinden kontrol edilmiştir ve saha için uygun bulunmuştur. Kullanılan önem veya ağırlık değerleri tablo 4'de belirtilmiştir.

Tablo 4: Yakıt Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.

Katman	Ağırlık oranı
Yakıt	0.459
Eğim	0.273
Güneşlenme	0.115
Bakı	0.069
Yükselti	0.048
Arazi Sağlamlığı	0.036

Ağırlık değerleri belirlendikten sonra alt model şu denklem ile oluşturulmuştur:

Yakıt Risk Haritası Denklemi (Santiago, Kheladze, 2011) =

$(Yakıt \times 0.459) + (Eğim \times 0.273) + (Güneşlenme \times 0.115) + (Bakı \times 0.069) + (Yükselti \times 0.048) + (Arazi Sağlamlığı \times 0.036)$

Yakıt risk denklemindeki girdi katmanları:

a. Yakıt: Yakıt riski alt modeli için hazırlanması gereken yakıt türü haritası ile uygun bir yakıt türü risk endeksi belirlemek için literatür taranmış ve modeli oluşturan Santiago ve Kheladze'nin (2011) çalışmalarında değişiklik yaparak kullandıkları "Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (IGBP) Arazi Örtüsü Sınıflandırması için Yakıt Türü Risk Endeksi" kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile arazi örtüsü sınıfları belirlenip arazi oluşturan vejetasyon özellikleri için yeni değerler atanmıştır. Tablo 5'e bakıldığında, yakıt türü olarak en yüksek riski gösteren alan çayırlar, en düşük riski gösteren alanlar ise su yüzeyleri ve kar ve buzun olduğu alanlardır. Çalışma alanındaki ormanların büyük bir bölümünü oluşturan Kızılçam ise en yüksek risk grupları arasında yer almaktadır.

Tablo 5: Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (IGBP) Arazi Örtüsü Sınıflandırması için Yakıt Türü Risk Endeksi.

IGBP Arazi Örtüsü Riski		
Risk Endeksi	Doğal Bitki Örtüsü	
11	Yaprak dökmeyen iğne ormanları	Yüzde 60'dan fazla alan kaplayan ve yüksekliği 2 metreyi aşan odunsu bitki örtüsünün hâkim olduğu alanlar ya da ormanlar. Hemen hemen tüm ağaçlar bütün yıl yeşil kalır. Gölgelelik asla yeşil yapraklar olmadan olmaz.
-	Yaprak dökmeyen geniş yapraklı ormanlar	Yüzde 60'dan fazla alan kaplayan ve yüksekliği 2 metreyi aşan odunsu bitki örtüsünün hâkim olduğu alanlar. Hemen hemen tüm ağaçlar ve çalılar yıl boyunca yeşil kalır. Gölgelelik asla yeşil yapraklar olmadan olmaz.
15	Yaprak döken ormanlar	Yüzde 60'dan fazla alan kaplayan ve yüksekliği 2 metreyi aşan odunsu bitki örtüsünün hâkim olduğu alanlar. Yıllık yaprak dökümü ve yaprak dökümü dönemlerine sahip mevsimsel ağaç yapraklarından oluşur.
12	Yaprak döken geniş yapraklı ormanlar	Yüzde 60'dan fazla alan kaplayan ve yüksekliği 2 metreyi aşan odunsu bitki örtüsünün hâkim olduğu alanlar. Yıllık yaprak dökümü ve yaprak dökümü dönemleri olan geniş yapraklı ağaç topluluklarından oluşur.
10	Karışık ormanlar	Yüzde 60'dan fazla alan kaplayan ve yüksekliği 2 metreyi aşan ağaçların hâkim olduğu alanlar. Diğer dört orman türünün serpiştirilmiş karışımları veya mozaikleri olan ağaç topluluklarından oluşur. Orman türlerinin hiçbirisi peyzajın %60'ını aşmamaktadır.
15	Kapalı çalılıklar	2 metreden daha kısa odunsu bitki örtüsüne sahip ve çalı gölgelelik alanları %60'dan fazla olan çalılıklar. Çalı yaprakları yaprak dökmeyen veya yaprak döken olabilir.
14	Açık çalılıklar	2 metreden daha kısa odunsu bitki örtüsüne ve %10-60 arasında çalı örtüsüne sahip topraklar. Çalı yaprakları yaprak dökmeyen veya yaprak döken olabilir.
9	Odunsu savanlar	Otsu ve diğer alt sistemlere ve orman gölgelelikli araziler %30-60 arasındadır. Orman örtüsü yüksekliği 2 metreyi aşmaktadır.
8	Savanlar	Otsu ve diğer alt sistemlere ve orman gölgelelikli araziler %10-30 arasındadır. Orman örtüsü yüksekliği 2 metreyi aşmaktadır.
16	Çayırlar	Otsu örtü türlerine sahip topraklar. Ağaç ve çalı örtüsü %10'dan azdır.
1	Kalıcı sulak alanlar	Kalıcı su ve otsu bitki karışımına sahip topraklar. Bitki örtüsü tuz, acı veya tatlı suda bulunabilir.
Gelişmiş ve Mozaik Alanları		
15	Ekim alanları	Geçici mahsullerle kaplı topraklar, ardından hasat ve çıplak toprak dönemi. Çok yıllık odunsu bitkilerin uygun orman veya çalılık arazi örtüsü tipi olarak sınıflandırılacaktır.
3	Kentsel ve yerleşik araziler	Binalar ve diğer insan yapımı yapılar tarafından kapsanan arazi.
5	Tarla / doğal bitki örtüsü mozaikleri	Hiçbir bileşenin peyzajın %60'ından fazlasını içermediği ekin arazileri, ormanlar, çalılıklar ve otlaklardan oluşan bir mozaik olan topraklar.
Bitki Örtüsü Olmayan Araziler		
0	Kar ve buz	Yıl boyunca kar / buz örtüsü altında topraklar.
2	Çorak	Açıktaki kalan toprak, kum, kaya veya kar bulunan ve yılın herhangi bir döneminde hiçbir zaman %10'dan fazla bitkisel örtüsü bulunmayan topraklar.
0	Su oluşumları	Okyanuslar, denizler, göller, rezervuarlar ve nehirler. Tatlı veya tuzlu su kütleleri olabilir.

b. Eğim: Alt model için gerekli olan eğim riski haritası ile eğim riski endeksi orman yangını davranışı ve diğer ilgili çalışmalarda kullanılan risk değerleri göz önüne alınarak bazı temel kurallara göre oluşturulmuştur. Eğimin fazla olduğu yerler yakıt yakma oranını arttırdığından, düz yüzeylere veya daha düşük eğim gradyanlarına kıyasla daha yüksek risk değerleri verilecektir. Chuvieco ve Congalton (1998), eğim sınıflarını 0-12°, 12-40° ve >40° arasında üç kategoride (düşük, orta, yüksek) kullanırken, Brass ve diğ., (1983), 40° eşik değerinin orman yangını için kritik önemde olduğunu vurgulanmaktadır. Dong (2005) ve Rathaur (2006) ise eğim endeksi için 5° artış aralıklarını kullanmaktadır. Bu çalışma da Santiago ve Kheladze'nin (2011) hem yukarıdaki örnek çalışmaların eğim sınıflarını dikkate alarak hem de Heikkilä ve diğ. (2010) ile Orozco ve diğ. (2008)'nin eğim sınıflarını dikkate alarak oluşturdukları eğim riski endeksleri kullanılmıştır. Oluşturulan sınıflar 40° eşik ve 5° eğim artışlarına uygun hale getirilerek eğim riski endeksleri belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6: Eğim Risk Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Özel Aralıklar).

Eğim (%)	Yangın Riski	Yangın Risk Endeksi
%0-5	Çok düşük	1
%6-10	Düşük	2
%11-15	Orta düşük	3
%16-20	Orta	4
%21-25	Orta yüksek	5
%26-30	Yüksek düşük	6
%31-35	Yüksek orta	7
%36-40	Yüksek	8
> %40	Çok yüksek	9

c. Güneşlenme: Yine alt model için gereken Güneşlenme haritası Harita Genel Komutanlığı'nın oluşturduğu 1/25:000 ölçekli dijital topoğrafya verilerinden 10 metre çözünürlüklü sayısal yüksekli modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Her piksel, varsayılan parametreler kullanılarak yaz saati arasındaki zamansal güneşlenme değişimi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kullanılan zamansal varyasyon, 06:00-18:00 saatleri arasında, 3 ay (Temmuz, Ağustos ve Eylül) için her 6 saatte bir doğrudan güneşe maruz kalma durumundan oluşmaktadır. Bu faktörün dahil edilmesi diğer topografik değişkenler arasındaki açık ilişkiye dayanmaktadır. Örneğin, aynı yangın gün içinde zaman geçtikçe

davranışını değiştirebilir. Günü saati rüzgâr hızlarını, bağıl nemi ve sıcaklığı etkiler. Ayrıca, en büyük yangın tehlikesinin nemin azalması ve rüzgâr hızının ve sıcaklığının artması nedeniyle kabaca 10:00-18:00 arasında meydana geldiğine dair bir kanı vardır. Diğer yandan bağıl nem, rüzgâr hızı ve sıcaklık düşük olduğundan düşük yangın tehlikesi 02:00–06:00 arasındadır (Nunez-Regueira ve diğ., 2000; Millington 2005; Santiago ve Kheladze,2011). Buna göre güneşlenme riski endeksi değerleri hesaplanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7: Güneşlenme Risk Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Quintile)

Güneşlenme	Yangın Riski	Yangın Risk Endeksi
162.082 – 347.535	Düşük	1
347.535 – 388.746	Orta düşük	2
388.746 – 418.968	Düşük	3
418.968 – 445.069	Düşük yüksek	4
445.069 – 512.382	Yüksek	5

d. Bakı: Alt model de kullanılacak bakı haritası, orman yangını modellemesinde topografik bileşen için kullanılan en önemli veya sabit değişkenlerden biridir. Güneşlenme değişkenine benzer şekilde, bakı değişkeni rüzgâr koşullarını, hava nemini etkiler ve yakıtın kuruma oranı ve yangının yayılması ile çok ilgilidir (Chuvieco ve Salas 1994). Bakı oranı beş gruba ayrılmaktadır: kuzey ($-1 - 45^\circ$), doğu ($46 - 135^\circ$), güney ($136 - 225^\circ$), batı ($226 - 315^\circ$) ve kuzey ($316 - 360^\circ$) (Tablo 8).

Tablo 8: Bakı Risk Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Özel Aralıklar.

Bakı Derecesi	Yangın Riski	Yangın Risk Endeksi
Kuzey ($316-45^\circ$)	Düşük	1
Batı ($226-315^\circ$)	Orta	2
Doğu ($46-135^\circ$)	Yüksek	3
Güney ($136-225^\circ$)	Çok Yüksek	4

e. Engebelilik: Yakıt riski alt modelinde kullanılan arazi engebelik haritası, Arazi heterojenliği ve dağlık alandaki tür çeşitliliğini tanımlamak için kullanılan önemli bir parametredir. Arazi Engebelik Endeksi (TRI), topografik heterojenitenin nesnel bir niceliksel ölçümünü sağlar ve sayısal yükseklik modelinden (SYM) ölçülür (Riley, 1999). Arazi engebelilik bir hücrenin değerleri ile onu çevreleyen sekiz komşu hücrenin

ortalaması arasındaki farktır. Arazi sağlamlığı literatürde 6 sınıfa ayrılmıştır: Seviye, Seviyeye yakın, Hafif sağlam, Orta dayanıklı, Orta dayanıklı, Son derece sağlam (Tablo 9).

Tablo 9: Arazi Sağlamlığı Risk Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Riley ve diğ.,1999).

Arazi Engebelik Endeksi	Arazi Engebelik Endeks Sınıfı	Yangın Risk Endeksi
0-80	Seviye	1
81-116	Seviyeye yakın	2
117-162	Hafif sağlam	3
163-240	Orta dayanıklı	4
241-498	Orta dayanıklı	5
> 499	Son derece sağlam	6

f. Yükseklik: Son olarak alt model önemli parametrelerinden olan yükseklik risk haritasının oluşturulması için Harita Genel Komutanlığı'nın oluşturduğu sayısal topografya verilerinden üretilen 10 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Yükseklik değişkeninin dahil edilmesi aşağıdaki varsayımlara dayanır. Birincisi, daha yüksek rakımlar daha fazla yağmur mevcudiyeti ile ilgilidir. İkincisi, bitki örtüsü tipi, nem ve sıcaklığın rakım ile doğrudan ilişkisi vardır (Santiago ve Kheladze, 2011). Çalışma alanına ait yükseklik modelinin Histogram değerlerinin gözlemlenmesi ile 5 risk sınıfı oluşturulmuştur. Amaç, dağlar ve vadiler gibi bölgeleri ayırt eden unsurları dikkate alarak yükseklik değerlerindeki doğal frenleri tanımlayabilmektir.

Tablo 10: Yükseklik Risk Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Doğal Aralıklar).

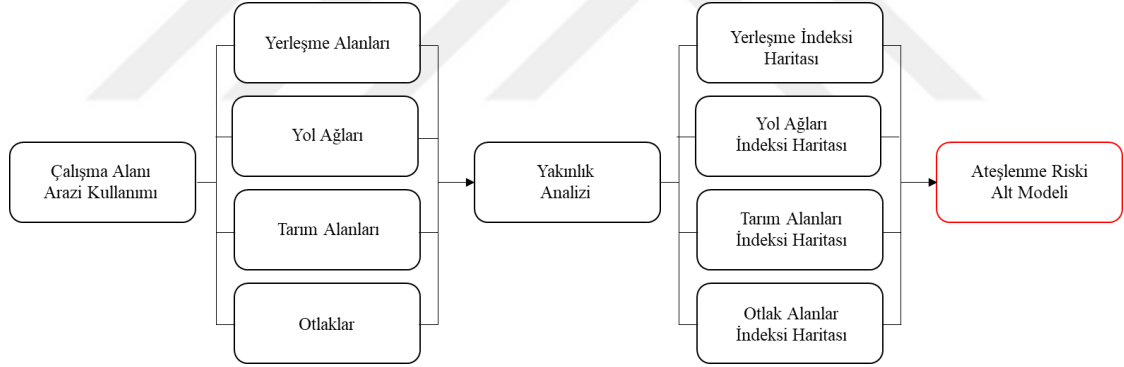
Yükseklik (m)	Yangın Riski	Yangın Risk Endeksi
0-200 m	Yüksek	5
201-400 m	Orta yüksek	4
401-600 m	Yüksek	3
601-800 m	Yüksek düşük	2
> 801 m	Düşük	1

2.1.2.2. Ateşleme Riski Alt Modeli

Yangın önleme planlamasının bir kısmı, yangın riski ve nedenlerinin bir analizini yapmaktır. Orman yangını önleme analizinde bölgedeki çeşitli risk ve tehlikeler göz önünde bulundurulmalıdır. Yangın sıklığı arazi örtüsü türleri arasında büyük farklılıklar

göstermektedir. Bazı toprak örtüsü türleri, yangınların rastgele meydana gelmesi durumunda olduğundan daha sık yanar. Ayrıca, ateşleme olasılığı genellikle sosyal, ekonomik ve kültürel etmenlerle bağlantılıdır. Kentsel ve tarımsal sınıflardaki orantısız olarak yüksek yangın oluşumu, büyük ölçüde, çoğu Avrupa bölgesinde en büyük yangın tutuşma kaynağını temsil eden yüksek insan varlığından kaynaklanmaktadır. Nüfus yoğunluğu, yollara olan mesafe ve yükseklikte yangın ateşlerinin meydana gelmesinin önemli yordayıcılarıdır (Silva ve diğ., 2010; Santiago ve Kheladze, 2011).

Bu model için Öklid uzaklık fonksiyonları birkaç katmana uygulanmıştır. Bu alt modelin geliştirilmesinde dikkate alınan parametreler şunlardır: karayolu ağı, yerleşim yerleri, kentsel alanlar, tarım, mahsul ve otlaklar (bkz. Şekil 6). Çalışma alanı için mevcut olan veriler Orman Genel Müdürlüğü meşcere haritaları ve CORINE 2018 arazi örtüsü verileri kullanarak bir ateşleme riski alt modeli oluşturulmuştur. Aynı zamanda değişkenlerin oluşturulmasında GEOFABRIK tarafından sağlanan arazi örtüsü katmanından yararlanılmıştır. Sonuçlar ikili istatistiklere göre toplanmış ve ağırlıklandırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: Ateşleme Riski Alt Modeli Şeması.

Ateşleme riski endeksi literatürdeki mesafeler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Endekse göre karayolu ağına, yerleşim yerlerine, kentsel alanlara, tarım alanlarına, mahsul ve otlaklara 100 metre mesafede olan ormanlık alanlar yangın çıkması bakımından en riskli alanları oluştururken, 5 bin metre mesafeden sonrası alanlar en düşük yangın çıkma riskine sahip alanlar olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 11).

Tablo 11: Mesafe Risk Endeksi.

Mesafe (m)	Ateşleme Risk Endeksi
0-100	7
101-200	6
201-300	5
301-400	4
401-2000	3
2001-5000	2
> 5000	1

Çalışma sahasında orman yangınlarının başlama riskine bakıldığında yollar, yerleşimler, tarım ve çayır alanları ile yakın kesimleri ateşlenmenin başlangıcı olarak en muhtemel yerler olarak belirlenmiştir. Orman yangınlarını başlatmada en büyük etken olan insanlar neredeyse zamanlarının tamamını bu alanlarda geçirdikleri için, belirtilen yerlerin yangın çıkışı bakımından risk değerleri yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Bu dört unsura göre yapılan yakınlık analizleri sonucunda elde edilen katmanlar asıl orman yangını risk modelinin bir parçası olan ateşlenme riski katmanı için belli bir önem derecesine göre bir araya getirilmiştir. Katmanlar için belirlenen önem dereceleri, Santiago ve Kheladze'nin (2011) modellerinde kullandıkları derecelerin, çalışma sahasına entegresine göre değiştirilerek hesaplanmıştır. Belirlenen önem ve ağırlık değerleri Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12: Ateşleme Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.

Katman	Ağırlık oranı
Tarım Alanı	0.517
Çayır ve Otlak Alanlar	0.277
Yerleşim Alanları	0.147
Yollar	0.109

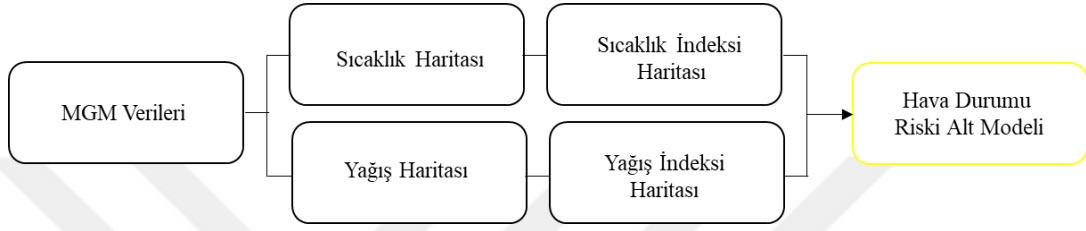
Ağırlık değerleri belirlendikten sonra alt modeli ifade eden harita şu denklem ile oluşturulmuştur:

Ateşlenme Risk Haritası Denklemi =

$(\text{Tarım Alanı} \times 0.517) + (\text{Çayır ve Otlak Alanlar} \times 0.277) + (\text{Yerleşim Alanları} \times 0.147) + (\text{Yollar} \times 0.109)$

2.1.2.3. Hava Durumu Risk Alt Modeli

Önceki bölümlerde, hava unsurlarının genellikle orman yangını değerlendirme çalışmalarına dâhil edildiğini ve yangın davranışları üzerindeki büyük etkileri nedeniyle bu parametrelerin ne kadar önemli olduğundan bahsedilmişti. Yangın modelleri için tipik olan önemli hava değişkenleri sıcaklık, yağış, nem, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve yönüdür. Ancak araştırma hedeflerine, veri kullanılabilirliğine, uzamsal veya zamansal ölçeğe bağlı olarak daha fazla veya daha az değişkenin dâhil edilmesi mümkündür.



Şekil 7: Hava Durumu Riski Alt Modeli Şeması.

Bu çalışma ile ilgili olarak, hava alt modelinde sadece iki değişken kullanılmıştır: sıcaklık (°C) ve yağış (mm). Her iki değişkenin verileri MGM ve TrClimateData üzerinden alınmıştır. Alt model için gereken haritaların üretilmesinde Santiago ve Kheladze (2011) 'nin sıcaklık ve yağış endeksleri kullanılmıştır (Tablo 13, 14).

Tablo 13: Sıcaklık Risk Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Quintile).

Sıcaklık (C°)	Hava Durumu Riski	Hava Durumu Risk Endeksi
13,5-14,5	Düşük	1
14,6-15,5	Orta düşük	2
15,6-16,5	Orta	3
16,6-17,2	Yüksek	4

Tablo 14: Yağış Riski Endeksi (Sınıflandırma Yöntemi: Quintile).

Yağış (mm)	Yağış Sınıfı	Hava Durumu Risk Endeksi
661-685	Düşük	5
685,1-710	Orta düşük	4
710,1-735	Orta	3
735,1-760	Orta yüksek	2
760,1-792	Yüksek	1

Sıcaklık ve yağış değerlerinin hesaplanması ile alt model için gerekli paternler oluşturulmuştur. Bu iki unsurun orman yangınları üzerindeki etkilerine bakıldığında sıcaklığın daha baskın olduğu görülmektedir. Çünkü sıcaklık bir yandan yakıtlarının ateşlenme durumunu belirlerken bir yandan da diğer hava olaylarını önemli ölçüde etkilediği için yangınlarda yağış unsurundan daha baskın bir etmen olmaktadır. Örneğin hem hakim rüzgarların hem de yerel rüzgarların yönü ve şiddetleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle iki mekânsal patern bir araya getirilirken sıcaklık katmanının ağırlık veya önem değeri daha fazla olarak belirlenmektedir.

Çalışmada kullanılan önem dereceleri Santiago ve Kheladze'nin (2011) literatürde konuyla ilgili önem derecelerini belirleyen çalışmacıların hesaplamış oldukları değerlerin ortalamasını alarak oluşturdukları oranlar kullanılmıştır. Belirlenen önem dereceleri Tablo 15 de belirtilmiştir.

Tablo 15: Hava Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.

Katman	Ağırlık oranı
Sıcaklık	0.7375
Yağış	0.2625

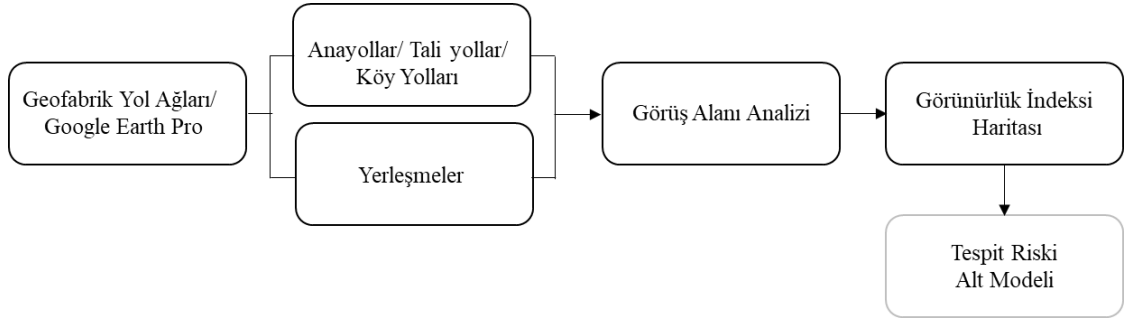
Bu önem dereceleri doğrultusunda alt modeli ifade eden hava riski haritası şu denkleme göre oluşturulmuştur:

$$\text{Hava Riski Haritası Denklemi} = (\text{Sıcaklık} \times 0.7375) + (\text{Yağış} \times 0.2625)$$

2.1.2.4. Tespit Riski Alt Modeli

Yangın tespiti, yangın söndürme yöntemlerinin önemli bir parçasıdır çünkü yangının keşfi ve yeri olmadan etkili bir söndürme faaliyeti yürütülemez. Yangın hala küçükken söndürme faaliyetlerine başlamak için orman yangını oluşumu gözlemlenmeli ve mümkün olan en kısa sürede bildirilmelidir. Orman yangınlarında iki tür tespit yaklaşımı yaygın olarak bilinmektedir, genel ve organize tespit. Bu alt model, yerleşimlerden ve yol ağından çıkan bir yangının görünürlüğünü, genel tespit yöntemiyle doğrudan bir ilişki olarak değerlendirecektir. Bu amaçla, görünür alanlar üzerinde

kümülatif değerler biçiminde CBS yazılımı kullanılarak bir görüş alanı analizi yapılmıştır. Elde edilen kümülatif değişkenlik, bir görünürlük endeksi olarak yorumlanıp ve Boole yöntemi hesaplamasının (görünür ve görünmez) sonuçlarını artırması amaçlanmıştır (Santiago ve Kheladze, 2011) (Şekil 8).



Şekil 8: Tespit Riski Alt Modeli Şeması.

a. Yol Ağları: Alt model için gerek olan yol görünürlüğü risk haritası daha doğru sonuca ulaşmak için kullanılan modelde olduğu gibi yolların nokta verisine dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. Literatür incelemesine dayanarak yollar boyunca her 1 km mesafe için bir nokta eklemeye karar verilmiştir (Rathaur, 2005; Orozco 2008; Burgess, 2011; Santiago ve Kheladze, 2011). Daha sonra her nokta kümesi ENVI yazılımı üzerinden yerden 1,5 metre yükseklikte ve 5 km'lik bir görüş alanı yarıçapı ile hesaplanmıştır. Her bir bireysel yol seviyesi için tüm bölümler hesaplandıktan sonra, kümülatif görüş alanı oluşturmak için bir birleştirme ve toplama işlemleri yapılmıştır (Tablo 16).

Tablo 16: Yol Görünürlük Risk Endeksi.

Tespit Riski	Görüş Alanı
1	0
0	0,1 - 53

b. Yerleşmeler: Alt modelde kullanılan yerleşim görünürlüğü risk haritası için CORINE arazi örtüsü kullanılmıştır. Yerleşim alanlarından görünürlüğü hesaplamak için mevcut olan arazi sınıfları içerisinde yerleşmelere ait olan poligonları ayırıp yeni bir katman oluşturulmuştur. Daha sonra poligonlar üzerine görünürlük analizleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlar yerleşme görünürlük endeksine göre işlenerek yeniden sınıflandırılmıştır.

Görünürlük endeksi değerleri, görünürlük riskinin uygun bir temsili için ters çevrilmiştir. Görünürlüğü daha az olan alanlara diğerlerinden daha yüksek değerler verilmiştir (Santiago ve Kheladze, 2011) (Tablo 17).

Tablo 17: Yerleşim Alanları Görünürlük Risk Endeksi.

Tespit Riski	Görüş Alanı
1	0
0	0,1 - 53

Görünürlük risk katmanı, çalışma sahasında yer alan yerleşmeler ve yollara göre çevrenin görünürlüğünü ifade etmektedir. Görünürlük analizleriyle üretilen haritaların, önem derecelerine göre bir araya getirilmesiyle alt modeli temsil eden katman oluşturulmuştur. Önem dereceleri Santiago ve Kheladze'nin (2011) modelindeki değerlerin kullanılmasıyla belirlenmiştir. Yollar arazide daha yoğun olması ve daha fazla çevrenin görünmesini sağladığı için yerleşmelere göre daha büyük bir önem derecesine sahiptir. Girilen ağırlık değerleri Tablo 18'de belirtilmiştir.

Tablo 18: Tespit Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.

Katman	Ağırlık oranı
Yollar	0.64
Yerleşmeler	0.36

Bu önem dereceleri doğrultusunda alt modeli ifade eden hava riski haritası şu denkleme göre oluşturulmuştur:

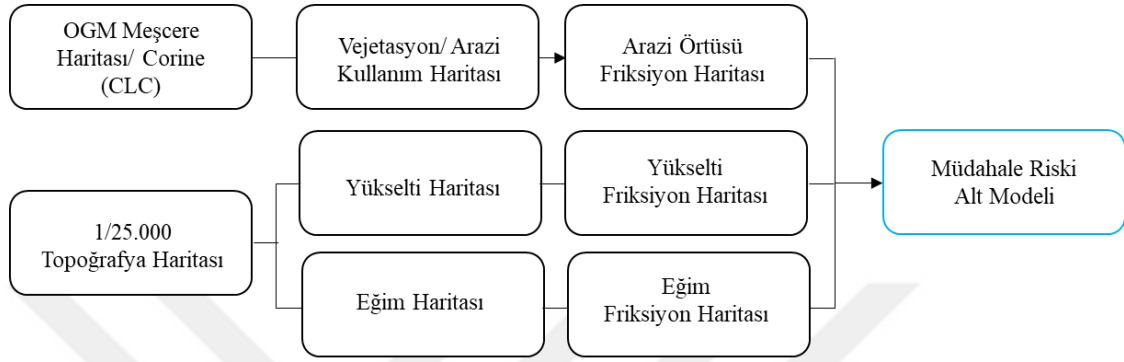
Görünürlük Riski Haritası Denklemi =

$(Yollar \times 0.64) + (Yerleşmeler \times 0.36)$

2.1.2.5. Müdahale Riski Alt Modeli

Bir yangın tespit edildiğinde, sadece yangına ulaşmak için değil, aynı zamanda kontrol altına alınması, söndürülmesi ve uygun müdahale işlemlerini gerçekleştirmek için önlemler alınmalıdır. Yangının algılanması ile kontrol altına alınması arasındaki süre, tepki süresi olarak bilinir. Yangın durumuna müdahale, eylemlerin gerçekleştiği arazi şekinden ve arazi örtüsünden etkilenir. Araziyi oluşturan unsurlar farklı friksiyon

özelliklerine sahip olduğu için müdahale şartlarını etkileyerek ayrı bir risk oluşturmaktadır. Arazide çıkan bir yangına müdahale yol dışında ve yol kenarında olmak üzerine iki farklı duruma ayrılmaktadır. Bu modeldeki her bir katman için literatür incelemesinden çıkarılan göreceli sürtünme değerleri kullanılıp bir sürtünme alt modeli (Şekil 9) ve endeksi oluşturulmuştur (Santiago ve Kheladze, 2011).



Şekil 9: Müdahale Riski Alt Modeli Şeması.

a. Yol dışı müdahalelerinden yükseklik, yangına müdahaleyi etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Oksijen arzını azalttığı için olumsuz fizyolojik etkilere neden olabilir. Bu nedenle, yükselmeler friksiyon sınıflarına (Tablo 19) göre yeniden sınıflandırılarak sürtünme değerleri haritasına dönüştürülmüştür.

Tablo 19: Yükseklik Sürtünme Endeksi.

Yükseklik (m)	Sürtünme Endeksi
0-200 m	1
201-400 m	2
401-600 m	3
601-800 m	4
> 801 m	5

b. Yolların yokluğunda yangınlara ulaşmak, doğal bitki örtüsünden geçmeyi gerektirir. Bunu göz önünde bulundurarak arazi örtüsü, Santiago ve Kheladze'nin (2011) oluşturduğu endeksi çalışma alanına göre değiştirilip uygun hale getirilerek bir arazi sürtünme haritası üretilmiştir (Tablo 20).

Tablo 20: Arazi Örtüsü Sürtünme Endeksi.

Arazi Örtüsü	Sürtünme Endeksi
Su	16
Yaprak dökmeyen iğne yapraklı orman	11
Yaprak döken iğne yapraklı orman	11
Yaprak döken geniş yapraklı orman	12
Karışık orman	13
Kapalı çalılıklar	10
Açık çalılıklar	8
Odunsu savanlar	9
Savanlar	6
Otlaklar	3
Kalıcı sulak alanlar	13
Ekim alanları	4
Kentsel ve yerleşik alan	1
Tarla ve doğal bitki örtüsü mozaïği	5
Çorak ve seyrek bitki örtüsü	2

c. Yol dışı müdahalelerinden olan eğim arttıkça yüksek alanlardaki yangına ulaşma çabası da artmaktadır (Tablo 21). Bu gerçek göz önüne alınarak eğim indeksine göre bir eğim sürtünme haritası üretilmiştir (Santiago ve Kheladze, 2011).

Tablo 21: Eğim Sürtünme Endeksi.

Eğim (%)	Sürtünme Endeksi
%0-10	1
%10,1-25	2
%25,1-40	3
%40,1-55	4
%55,1-65	5
%65,1-75	6
%75,1-85	7
%85,1-95	8
%95,1-105	9
%105,1-110	10
%110,1-115	11
> %115,1	16

d. Yolda müdahalede, ilk olarak itfaiyeciler genellikle araçlar vasıtasıyla yangına yaklaşırlar. Bu nedenle yollar, tepki süresinde kilit bir rol oynamaktadır. Çalışma alanında

yer alan yollar verisi Geofabrik üzerinden alınmış olup, bu yolların yangınlara ulaşımı etkileri arasındaki farklar literatürden belirlenmiştir (Santiago ve Kheladze, 2011). Yangına müdahale de önemli bir konu olan hızlı yanıt vermede, yolların kalitesi ve kullanım yoğunlukları çok etkilidir. Otoyollar, kentsel yollardan, asfaltsız yollardan ve diğer yollardan daha yüksek hızlarda sürmek için tasarlanmış asfalt yollardır. Kentsel yollar daha dardır ve genellikle otoyollardan daha fazla trafik gösterir. Asfaltsız yollar ve diğer yollar daha yerel bir kullanıma sahiptir ve bakımları daha fazla geçiş yapılan yollardan daha azdır. Özellikle asfaltsız yollar için, yüksek hızlarda sürmek zordur. Son olarak patikalar, bitki örtüsünün kaldırıldığı ve sadece insanlar ve hayvanlar tarafından kullanılan yollardır. Bu durumlar göz önüne alındığı yol endeksine (Tablo 22) göre yol sürtünme haritası üretilmiştir.

Müdahale riski alt katmanını oluşturmak için kullanılan eğim, yükselti ve arazi kullanımı katmanları müdahaleye etkilerine göre önem dereceleri almaktadır. Bu önem dereceleri ve ağırlık derecelerine göre katmanlar bir araya getirilerek alt modeli temsil eden harita oluşturulmuştur. Ağırlık değerleri literatürden örnek olarak alınan Santiago ve Kheladze'nin (2011) modelindeki değerlerin çalışma alanına göre yorumlanmasıyla oluşturulmuştur. Ağırlık değerleri tablo 23'de belirtilmiştir.

Tablo 22: Yol Sürtünme Endeksi.

Yol Sürtünmesi	Yeni Yol Sınıfı	Yol Tipi
1	Karayolu	Büyük karayolu
		Ana yol
		Diğer karayolu
2	Sokaklar	Konut 1
		Servis yolları
		Konut 2
3	Asfaltsız yollar	Kaldırımsız yol
		Geçit
4	Kaldırımlar	Parkur
		Merdivenler
		Yaya

Tablo 23: Müdahale Riski Alt Modeli Ağırlık Oranları.

Katman	Ağırlık oranı
Arazi Kullanımı	0.724
Eğim	0.193
Yükselti	0.083

Bu önem dereceleri doğrultusunda alt modeli ifade eden müdahale riski haritası şu denkleme göre oluşturulmuştur:

Müdahale Riski Haritası Denklemi =

$$(\text{Arazi kullanımı} \times 0.724) + (\text{Eğim} \times 0.193) + (\text{Yükselti} \times 0.083)$$

2.1.2.6. Orman Yangını Risk Modeli Denklemi

Çalışma sahasının orman yangınlarına karşı riski gösteren ve ana model olan orman yangını risk modeli beş alt modelin belirli bir önem derecesine göre bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Önem veya ağırlık değerleri, çalışma alanına uygunluğundan dolayı, literatürden örnek olarak alınan Santiago ve Kheladze'nin (2011) modelindeki değerlerin kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Ana modelin oluşturulması için belirlenen ağırlık değerleri tablo 24'de belirtilmiştir.

Tablo 24: Orman Yangını Risk Modeli Ağırlık Oranları.

Katman	Ağırlık oranı
Yakıt Riski Alt Modeli	0.511
Ateşleme Riski Alt Modeli	0.267
Hava Riski Alt Modeli	0.118
Tespit Riski Alt Modeli	0.065
Müdahale Riski Alt Modeli	0.039

Bu önem dereceleri doğrultusunda ana modeli ifade eden müdahale riski haritası şu denkleme göre oluşturulmuştur:

Orman Yangını Risk Modeli =

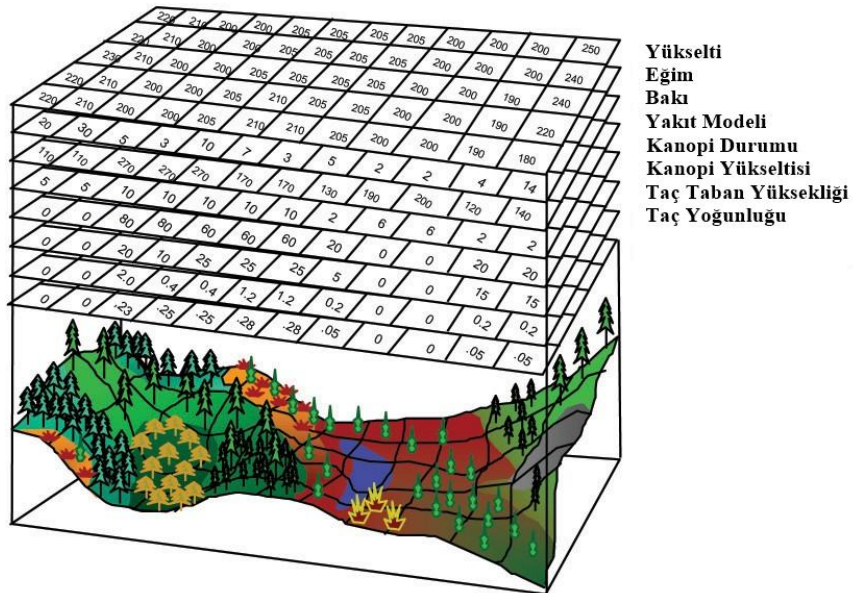
$$(\text{Yakıt Riski} \times 0.511) + (\text{Ateşleme Riski} \times 0.267) + (\text{Hava Riski} \times 0.118) + (\text{Tespit Riski} \times 0.065) + (\text{Müdahale Riski} \times 0.039)$$

2.2.2. FlamMap: Orman Yangını Simülatör Modeli

Orman yangınlarının davranışını modellemek için bilgisayarlı ve manuel sistemler uzun zamandır kullanılmaktadır (Rothermel 1983, Andrews 1986). Bu sistemler tek boyutlu davranışlara odaklanır ve yangın geometrisinin yayılan bir hat ateşi olduğunu varsayar (nokta veya alan kaynağının aksine). Bu sistemlere dahil edilen modeller yangın

yayılma oranını (Rothermel 1972, Albini 1976), yangın şeklini (Anderson 1983; Alexander 1985), spot ateşi (Albini 1979; 1983) ve taç yangını yayılma oranını (Van Wagner, 1977) hesaplamak için geliştirilmiştir. FlamMap programı, bu modellerin desteğini, CBS kullanarak gerekli girdilerin haritalandırılıp yangınların yatay bir düzlemde hareketlerini belirlemek için geliştirilmiştir (Finney, 2006). FlamMap, Huygens'in dalga yayılımı prensibine dayalı heterojen arazi, yakıtlar ve hava koşulları altında yangınların mekansal ve zamansal olarak yayılmasını ve davranışını modellemek için tasarlanmış deterministik bir bilgisayar tabanlı program olan FARSITE (Finney, 1998; 2004) yazılımının entegrasyonu ile geliştirilmiş bir programdır.

FlamMap yangın haritalama ve analiz sistemi sabit çevre koşulları (hava ve yakıt nemi) için potansiyel yangın davranışını hesaplayabilmektedir (Finney, 2006). Yangın davranışı, araziye oluşturan her katmandaki pikseller için bağımsız olarak hesaplanmaktadır (Şekil 10). Program potansiyel yangın davranışı hesaplamaları, yüzey yangın yayılımı, alev uzunluğu, taç yangını aktivite türü, taç yangını başlatma ve taç yangınının yayılmasını içerir. Ayrıca eğim, baki, yükselti ile hava şartlarına göre farklılık gösteren ölü yakıtlar ve ölü yakıt nem oranlarını her piksele göre ayrı koşullandırmaktadır. FARSITE'in dahil edilmesiyle FlamMap orman yangını büyümesini ve davranışını ayrıntılı hava koşulları dizileriyle hesaplayabilmektedir.



Şekil 10: FlamMap'te kullanılan veri katmanları (Finney, 2019).

FlamMap yangın haritalama ve analiz sistemi FARSITE'in yanı sıra (Finney 1998, 2004) ve FlamMap BASIC (Finney 2006), Minimum Seyahat Süresi (MTT, Finney 2002, 2006), Davranış Optimizasyon Modeli'ni (Finney 2001, 2006, 2007) ve Koşullu Yanmayı olasılığı modelini içermektedir (Finney 2005, 2006).

FlamMap yazılımı, potansiyel yangın davranışı özelliklerinin (örneğin yayılma oranı, alev uzunluğu, taç yangın aktivitesi) ve çevresel koşulların (ölü yakıt nemleri, rüzgâr hızları ve güneş ışıınımı) çeşitli vektör ve raster haritalarını oluşturmaktadır. Bu çıktı haritaları FlamMap'te veya bir CBS programında görüntülenebilir. Ayrıca yangın simülasyonu için gereken arazi ve çevresel katmanların işlenmesi ArcGIS gibi CBS programlarından yapılmaktadır.

FARSITE'in entegrasi ile FlamMap yangın haritalama ve analiz sisteminin en uygun ve yaygın uygulama alanı yangın planlama faaliyetleridir. Örneğin, yangın yönetiminde alternatiflerini analiz etmeyi, çeşitli yerlerde veya hava senaryolarında başlayan yangınlar için söndürme faaliyetlerini incelemeyi mümkün kılmaktadır. Farklı yerlerdeki potansiyel yangınlar, çeşitli yakıt ve hava koşulları altında incelenebilir (Finney ve Andrews, 1999). Bir alanın gerçek şartları ve kayıtlarıyla meydana gelecek olası bir yangının kapsamını ve davranışını simüle etmek için kullanılabilir (Finney, 2003). Yangın söndürme sırasında, farklı hava senaryoları altında farklı stratejilerin etkinliğinin karşılaştırılması ve yakıt arıtma programlı veya yakıtsız programlara yönelik söndürme çalışmaları yazılım tarafından yapılabilir. Son olarak, söndürme stratejilerinin maliyetini tahmin etmede kullanılmaktadır (Finney, 2003; Taşel, 2003).

Yazılım için gerekli olan mekânsal girdiler, bir Landscape (LCP) dosyasında birleştirilen, yakıtları ve topografyayı (Şekil 10) tanımlayan sekiz CBS tabanlı katmanı içermektedir. Bu katmalar da herhangi bir raster çözünürlüğü (raster hücrelerin X ve Y boyutları) kullanılabilir, ancak tüm katmanların çözünürlüğü ve alanı aynı olup birlikte kaydedilmiş olmalıdır. Kullanıcının, her bir yüzey yakıt modeli için başlangıç yakıt nemi koşullarını ve mevcut tüm özel yüzey yakıt modelleri için yakıt modeli parametrelerini girmesi gerekmektedir (Finney, 2006).

Tınazlı orman yangını simülasyonu için gerekli olan ham verilerin işlenmesi ve dönüştürülmesinde FlamMap 6.0, ArcGIS 10.6.1, ArcPro 2.5, ArcFuels10, Google Earth, Note Pad ++7.8.4, Microsoft Excel, SASPlanet ve ERDAS 16.5 yazılımları kullanılmıştır.

2.2.2.1. Simülatör Modeli İçin Gerekli Veriler

FlamMap ve içerisindeki diğer uygulamaların çalışması için CBS ortamında tasarlanmış birkaç tür veri dosyası gerekmektedir. Yakıt ve topografya gibi mekânsal katmanlar CBS tabanlı raster temaları olarak gerekirken hava durumu verileri ise ASCII formatlı değerler olarak gereklidir. Yazılımda mekânsal girdiler sekiz hücre bazlı katman olan; yükseklik, eğim, bakı, kanopi örtüsü, yakıt modeli (Anderson, 1982), taç taban yüksekliği, taç yığın yoğunluğu ile ağaç yüksekliği veya kanopi yüksekliğinden oluşmaktadır. (Finney, 1998, 2006).

FlamMap ve uygulamaları ASCII formatı olarak mekansal veri temaları oluşturmak, yönetmek ve sağlamak için CBS desteğine ihtiyaç duyar ve bunlar yazılım içinde tek bir Landscape (.LCP) dosya formatında birleştirilir. Aynı referans noktasına, projeksiyona ve birimlere sahip olmak için tüm temalar birlikte kaydedilmelidir. Raster verilerin çözünürlüğü aynı olmalı ve son olarak tüm raster veri setleri aynı ölçüde olmalıdır (Finney, 2004). Yani program için gerekli olan veri dosyaları Landscape ve ASCII olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Tablo 25).

Tablo 25: FlamMap’de kullanılan veriler ve özellikleri (Finney, 2004).

Dosya Adı	Dosya Ext.	Dosya Tipi	Gereken	Alternatifi
Landscape	.LCP	Raster	Yakıt modeli Eğim Bakı Yükseklik Kanopi Örtüsü	Taç yoğunluğu, Taç taban yüksekliği, Ağaç yüksekliği, Kaba odunsular
Hava	.WTR	Metin	En az bir dosya	Bir simülasyonda en fazla 5 .WTR dosyası kullanılır.
Rüzgâr	.WND	Metin	En az bir dosya	Bir simülasyonda en fazla 5 .WTR dosyası kullanılır
Ayarlama	.ADJ	Metin	Gerekli olmasına rağmen, bu dosya tüm sıfırlardan oluşabilir.	Sıfır dışındaki ayar faktörleri isteğe bağlıdır
İlk yakıt nemi	.FMS	Metin	Simülasyonun başlamasından en az bir gün önce nemlendirmeye ihtiyaç duyar	Yok
Yakıt modeli dönüşümü	.CNV	Metin	Yok	Evet
Özel yakıt modelleri	.FMD	Metin	Yok	13 standart NFFL modeli dışındaki yakıt modelleri için
Yangın Hızlandırma	.ACL	Binary İkili-çift	Yok	Evet
Yangına Hava müdahalesi Kaynakları	.AIR	Metin	Yok	Hava müdahalesi işlevlerini uygulamak için gereklidir.
Kaba Odun Profilleri	.CWD	Metin	Yok	Post Frontal Yanma Modeli tarafından kullanılan Kaba Odunsu CBS teması için> 3 "yakıtları belirtir.
Yanma Süreleri	.BPD	Metin	Yok	Tarihe göre günlük yanma süresini belirtir
Izgaralı Hava ve Rüzgarlar	.ATM	Metin	Yok	Bunları sağlamak için bir hava durumu modeli mevcutsa izgaralı hava durumu dosyalarını kullanır
Yangına Kara Saldırısı Kaynakları	.CRW	Metin	Yok	hava saldırısı işlevlerini uygulamak için gerekli

2.2.2.1.1. Landscape Verileri

Landscape dosyası, uzantısı .LCP olan ve CBS yazılımlarında işlenerek FlamMap te kullanılan raster formata dönüştürülmüş veri temalarıdır. Dosya, gerekliliği zorunlu yükselti, eğim, bakı, yakıt modeli ve kanopi örtüsü olmak üzere 5, isteğe bağlı kanopi yüksekliği, taç yüksekliği ve taç yoğunluğu olmak üzere 3, toplamda 8 katmandan oluşmaktadır. İsteğe bağlı parametreler kullanılmadan da analiz yapılabilir (Finney, 2019). Farklı CBS yazılımlarıyla oluşturulan Landscape dosyaları FlamMap üzerinden düzenlenebilmektedir.

a. Yakıt modeli katmanı: Yakıtlar, bir sahada meydana gelen canlı ve ölü bitki örtüsünün çeşitli bileşenlerinden oluşur. Yakıtların türü ve miktarı toprağa, iklime, coğrafi özelliklere ve alanın yangın geçmişine bağlıdır. Yangın davranışının matematiksel modeli, yangın davranışının hesaplanmasında girdi olarak yakıt özelliklerinin tanımlanmasını gerektirir. Yakıt özelliklerinin toplanması yakıt modelleri olarak bilinir ve çim, çalı, kereste ve ormanda hasar görmüş alanlardaki bitki toplulukları olarak dört gruba ayrılır. Bu gruplar arasındaki yangın davranışındaki farklılıklar temel olarak yakıt yükü ve yakıt parçacık boyutu sınıfları arasındaki dağılımı ile ilgilidir (Anderson, 1982). Yakıt modelleri, kullanıcının yangın davranışını gerçekçi bir şekilde tahmin etmesine yardımcı olan araçlardır (Taşel, 2003).

Simülâtörde yakıt modeli olarak, Scott ve Burgan (2005) tarafından geliştirilen “A Comprehensive Set for Use with Rothermel’s Surface Fire Spread Model” adlı model kullanılmıştır. Model her bir bitki formasyonu ve özelliklerini ayrı değerlere göre kodlayarak kullanıma sunmaktadır. Ayrıca Scott ve Burgan (2005) orman yangınlarında yanmayacak olan su yüzeyleri ve çıplak araziler gibi peyzaj özelliklerini de standartlaştırarak değerler atamışlardır. Model hakkında ayrıntılı bilgi Ek A’da verilmiştir.

b. Eğim katmanı: Yazılımda kullanılacak olan eğim katmanının değerleri mutlaka tamsayı şeklinde olmalıdır. Eğim yangının yayılışında ve güneş ışınmasında doğrudan değişikliğe neden olduğu için kullanılmaktadır. Ayrıca yangını şekillendiren en önemli çevre kuvvetlerinden olan rüzgâr eğim özelliklerine göre kanalize olduğundan eğim katmanı gereklidir (Finney, 2019).

c. Bakı katmanı: Topoğrafyanın önemli özelliklerinden olan bakı, güneş ışınmasının açılarını belirler ve bunun sonucu olarak arazide sıcaklıkta, yağışta, nem de ve

bitki örtüsünden farklılıklar meydana getirir. Bu nedenle analizde kullanılan bakı katmanı, azimuth şeklinde olmalıdır (Finney, 2019).

d. Yükseklik katmanı: Analizde kullanılan yükselti katmanı adiyabatik nemi ve sıcaklığı doğrudan etkilediği için deniz seviyesinden itibaren metre (m) veya fit (ft) birimlerinde kullanılmaktadır (Finney, 2019).

e. Orman kanopi örtüsü katmanı: Analiz için zorunlu katmanlardan olan kanopi örtüsü zemin üzerinde gölge etkisi ve rüzgârın şiddetini azalttığı için bu isimle adlandırılmıştır. Kanopi örtüsü Ağaç katmanının dikey izdüşümü ile kaplanan orman tabanının oranıdır. Bu katman OGM'den alınan meşcere ve arazi çalışmaları sonucunda oluşturulan verilerin simülasyon yazılımıyla uyumlu olan Amerika Birleşik Devletleri Orman Servisi ve Amerika Birleşik Devletleri İçişleri Bakanlığının ortak programı olan LANDFIRE (2019) standartlaştırılmasına göre oluşturulmuştur (Tablo 20).

Tablo 26: LANDFIRE programı orman örtüsü endeksi

Değerler	Orman Örtüsü Durumu (%)
0	Otsu, çalı sistemleri, kentsel, çorak, kar, buz ve tarım alanları gibi yanıcı olmayan tipler dahil olmak üzere tüm orman dışı değerler.
5	Orman Örtüsü 5% $\leq$ CC < 10%
15	Orman Örtüsü 10% $\leq$ CC < 20%
17	Orman Örtüsü 10% $\leq$ CC < 25%
25	Orman Örtüsü 20% $\leq$ CC < 30%
35	Orman Örtüsü 30% $\leq$ CC < 40%
42	Orman Örtüsü 25% $\leq$ CC < 60%
45	Orman Örtüsü 40% $\leq$ CC < 50%
55	Orman Örtüsü 50% $\leq$ CC < 60%
65	Orman Örtüsü 60% $\leq$ CC < 70%
75	Orman Örtüsü 70% $\leq$ CC < 80%
80	Orman Örtüsü 60% $\leq$ CC < 100%
85	Orman Örtüsü 80% $\leq$ CC < 90%
95	Orman Örtüsü 90% $\leq$ CC < 100%

Bu değerler ile oluşturulan kanopi örtüsü yazılımda diğer katmanların nasıl kullanıldığını kontrol ettiğinden simülasyonu çalıştırmak için önemli ve gerekli bir katmandır.

f. Orman kanopi yüksekliği katmanı: İsteğe bağlı mekânsal veri katmanlarından biri olan kanopi yüksekliği, ortalama ağaç yüksekliklerini ifade

etmektedir (Şekil 11) ve çalışma alanı için metre cinsinden hesaplanmıştır. Katman tespit mesafelerini, ortalama alev yüksekliğini, rüzgâr azaltmayı ve taç yangın özelliklerini hesaplamak için kullanılır (Finney, 2019). Katman OGM'den alınan meşcere ve arazi çalışmaları sonucunda oluşturulan verilerin simülasyon yazılımıyla uyumlu olan LANDFIRE (2019) standartlaştırılmasına göre oluşturulmuştur (Tablo 27).

Tablo 27: LANDFIRE programı orman yükseklik endeksi.

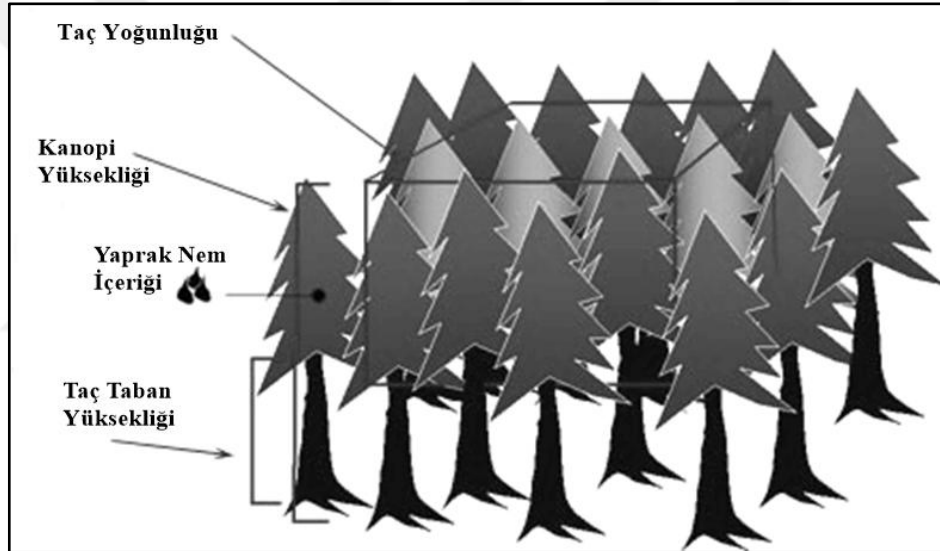
Değerler	Orman Yükseklik Durumu (m)
0	Otsu, çalı sistemleri, kentsel, çorak, kar, buz ve tarım alanları gibi yanıcı olmayan tipler dahil olmak üzere tüm orman dışı değerler.
30	Orman Yüksekliği 1.8 ila 5 metre arası
70	Orman Yüksekliği 5 ila 9 metre arası
110	Orman Yüksekliği 9 ila 13 metre arası
150	Orman Yüksekliği 13 ila 17 metre arası
190	Orman Yüksekliği 17 ila 21 metre arası
230	Orman Yüksekliği 21 ila 25 metre arası
270	Orman Yüksekliği 25 ila 29 metre arası
310	Orman Yüksekliği 29 ila 33 metre arası
350	Orman Yüksekliği 33 ila 37 metre arası
390	Orman Yüksekliği 37 ila 41 metre arası
430	Orman Yüksekliği 41 ila 45 metre arası
470	Orman Yüksekliği 45 ila 49 metre arası
510	Orman Yüksekliği > 50 metre

g. Taç taban yüksekliği katmanı: İsteğe bağlı mekânsal veri katmanlarından biri olan taç taban yüksekliği yerden orman taç örtüsünün tabanına kadar olan ortalama yüksekliğini ifade etmektedir (Şekil 11). Taç taban yüksekliğine bağlı olarak yangınların zemin yangınından taç yangınlarına dönüşmesinde önemli bir parametredir. Orman yangınlarının dikey davranışlarında ve hareketlerinde etkili olan bu katman simülasyon yazılımıyla uyumlu olan LANDFIRE (2019) standartlaştırılmasına göre oluşturulmuştur (Tablo 28).

Tablo 28: LANDFIRE programı taç yükseklik endeksi.

Değerler	Taç Yükseklik Durumu (m)
0	Otsu, çalı sistemleri, kentsel, çorak, kar, buz ve tarım alanları gibi yanıcı olmayan tipler dahil olmak üzere tüm orman dışı değerler.
1-99	0-9.9 metre
100	Değer $\geq$ 10 metre ve bazı geniş yapraklıların örtüleri

h. Taç yoğunluğu katmanı: İsteğe bağlı mekânsal veri katmanlarından biri olan taç yoğunluğu bir ormandaki mevcut örtü yakıtının yoğunluğunu ifade eder. Örtü hacmi, birim başına mevcut örtü yakıtının kütlesi olarak tanımlanır (Şekil 11). Katmanda kullanılan ölçü birimi $\text{kg m}^{-3} * 100$ şeklindedir.

**Şekil 11:** Ağaç ve örtü özellikleri (Finney, 2005)

Taç yoğunluğu katmanı simülasyon yazılımıyla uyumlu olan LANDFIRE (2019) standartlaştırılmasına göre oluşturulmuştur (Tablo 29).

Tablo 29: LANDFIRE programı taç yoğunluğu endeksi.

Değerler	Taç Yoğunluk Durumu (m^3)
0	Otsu, çalı sistemleri, kentsel, çorak, kar, buz ve tarım alanları gibi yanıcı olmayan tipler dahil olmak üzere tüm orman dışı değerler.
1- 45	$0.01 - 0.45 \text{ kg / m}^3$.
>45	$0.45 =$ tüm değerlerin tematik sınıfı $> 0.45 \text{ metre}$

2.2.2.1.2. ASCII Verileri

Simülasyon çalışma sahasındaki yangın gününe ait hava şartlarını ve yangın davranışındaki diğer ayarlamaları ASCII formatında istemektedir. Bir text formatı olan ASCII formatına çalışma alanının hava durumunu (.WTR), rüzgâr durumu (.WND), yakıt dosyası ile düzeltmeleri (.ADJ), yakıt nemi durumu (.FMS), dönüşüm durumu (.CNV), özel modelleri (.FMD), kaba odunsularını (.CWD) dönüştürülmelidir. Bunlardan hava durumu, rüzgâr durumu, yakıt dosyası ile düzeltmeleri ve yakıt nemi analiz için gereklidir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. YANGIN RİSK MODELİ BULGULARI

Yangın risk modeli oluşturulurken beş adet alt risk modelinden bahsedilebilir. Bunlar a) Yakıt riski, b) Ateşleme riski, c) Hava riski, d) Tespit riski, e) Müdahale riski modelleridir.

3.1. Çalışma Alanın Yakıt Riski

Yakıt riski alt modeli için gerekli olan katmanlar çalışma alanının genel arazi yüzeyini ve peyzajını içermektedir. Parça parça olan her bir özellik katmanı bir araya gelerek çalışma alanının yüzeyini şekillendirmektedir. Yakıt, yükselti, eğim, bakı, güneşlenme ve topografik engebelik olan bu paternler, içlerinde farklı parametrelere ayrılarak oluşabilecek yangınların özelliğini ve yayılımını büyük ölçüde kontrol etmektedir. Kısacası orman yangınları bağlı olduğu bu katmanların sahip olduğu özelliklere ve dünyayı oluşturan atmosfer gibi diğer kürelerin etkisinde değişimlere uğrayarak yayılmaktadırlar.

3.1.1. Bitki Yakıt Özelliğine Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Yangınlar oluştukları ve yayıldıkları sahada yüzeyde var olan bitki türlerini yakıt olarak kullanmaktadır. Bu nedenle arazideki yakıt türleri belirlenerek yangın hassasiyetine göre sınıflandırılmaktadır. Yakıtların yangına karşı duyarlılıkları literatürden yararlanarak hesaplanmıştır ve bu doğrultuda derecelendirilmiştir. Çalışma alanının sahip olduğu peyzaj tipleri, yakıt tipleri veya bitki türleri özellikleri ise Orman Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu meşcere ve arazi çalışmaları sonucu belirlenmiştir. Kullanılan meşcere ve arazi çalışmaları ile üretilen bitki özellikleri verisi ile bunların sahadaki sınırları haritalandırılarak analiz için kullanıma uygun hale getirilmiştir. Çalışma sahasına ait yakıt özellikleri, arazi yüzeyini kaplayan peyzajların türleri ve bu peyzajlardan bazılarını oluşturan otlaklar, çalılık ve ormanlar oluşturulan harita üzerinden, detaylı olarak incelenmiştir. Buna göre arazide en fazla alan kaplayan

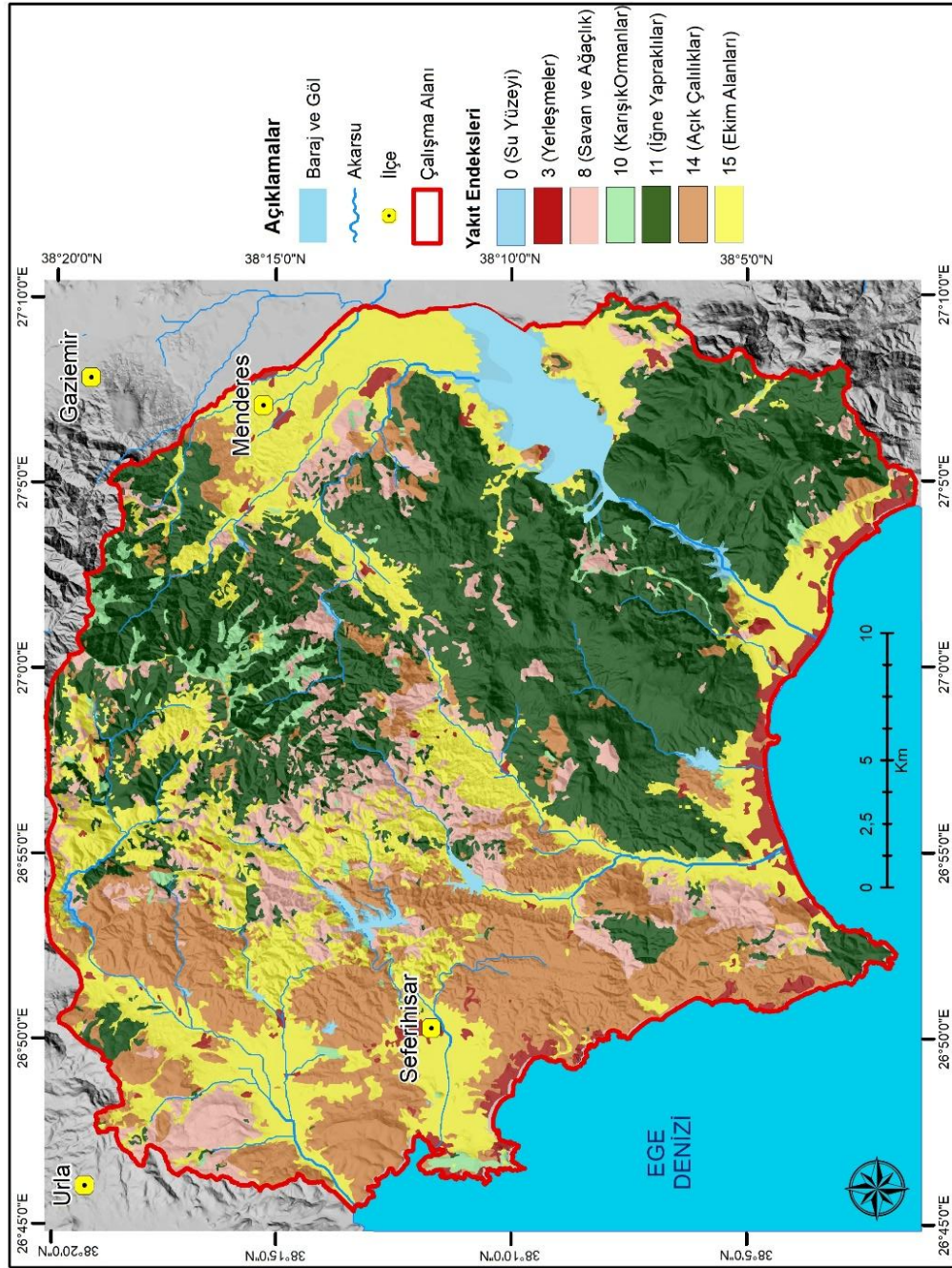
peyzaj türleri, büyük çoğunluğunu kızılçamların oluşturduğu iğne yapraklı ormanlar, açık çalılar ve tarım alanlarıdır. Sahada en fazla alan kaplayan doğal bitki örtüsü ise, klimaks tür olan kızılçamlardan, bunların tahribiyle oluşmuş makilerden ve gariglerden oluşmaktadır (Fotoğraf 2). İğne yapraklı ormanların büyük bir kısmı çalışma alanının doğu yarısında yer almaktadır. Açık çalılıklar ve tarım alanlarının çoğunluğu ise sahanın batı yarısında yer almaktadır. Ayrıca orman yakıtları yüksek ve engebeli kesimlerde yayılış gösterirken çalı, otlak ve tarım alanlarının oluşturduğu diğer yakıt tipleri yükseltinin daha düşük olduğu ve engebenin az olduğu yerlerde yayılış göstermektedir (Harita 4).



Foto 2: Çalışma Sahasında Hâkim Bitki Örtüleri.

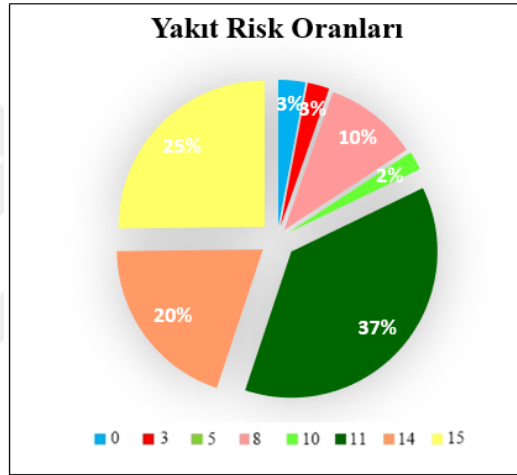
Araziyi oluşturan yakıt tipleri yangına hassasiyet özelliklerine göre Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı'nın risk endeksine göre yeniden sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucu arazide yangın riski değerinin en yüksek olduğu yakıt sınıfları sırasıyla; 15 değeri ile tarım alanları, 14 değeriyle açık çalılıklar, 11 değeriyle iğne yapraklı ormanlar ve 10 değeri ile karışık orman alanları ile makilerin oluşturduğu alanlardır. Ekim alanlarının en riskli değere sahip olmasının nedeni tarlalarda bitki kalıntılarından kurtulmak için yakılan ateşlerin kontrol dışına çıkması ve ormanlara tehdit oluşturmasıdır. Meydana gelen bu tip yangınlar, bitki örtüsü kuru ve nem oranı azken yakıldığı için kontrol altına alınması zordur ve yayılması hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Açık çalılıkların riskli olmasının sebebi ise sahadaki çalı tiplerinin

yaz dönemi kuraklığıyla kurumaları ve olası bir ateşlenmede kolayca yangına dönüşebilmeleridir. Yangın risk değerinin yüksek olmasında, sahanın klimaks bitkisi olan kıvılcamların oluşturduğu ormanların zeminlerinde biriktirdiği kuru ibrelerin küçük bir alevlenme ile devasa yangınlara dönüşmesi etkili olmuştur. Bu kuru ibreler zeminde meydana gelen küçük bir kıvılcımla yangınlara dönüşmesinin yanı sıra, ağaçlar üzerinde de bolca birikerek yangının yayılmasını ciddi oranda kolaylaştırmaktadır.



Harita 4: Çalışma Sahasının Yakıt ve Yüzey Endeksi Haritası.

Sahayı oluşturan yakıt türlerinin alan bakımından dağılımı incelendiğinde %37 oran ve 324 km² ile en fazla alana sahip yakıt tipinin ibre yapraklı ormanlar olduğu görülmektedir (Tablo 29 ve Grafik 1). Bu da ormanların çalışma alanında hâkim peyzaj olduğunu gösteren bir durumdur. Ormanları %25 oranla ekim alanları ve %20'lik oranla açık çalılık alanlar takip etmektedir. Açık çalılık alanlar çoğunlukla kızılçamların tahrip edilmesiyle oluşan makilerin bozulmasıyla meydana gelen garig topluluklarından oluşmaktadır. Bu yakıt tipinden sonra ise sahada %10'luk bir alan kaplayan “savanlar ve ağaçlar” yakıt tipinin oluşturduğu alanlar gelmektedir. Bu ağaçların çoğu zeytin gibi maki türlerinden oluşmaktadır. Bu sınıfları %3 oran ile yerleşmeler, %3 oran ile su yüzeyleri ve %2 oran ile meşelerin görüldüğü karışık ormanlar takip etmektedir (Grafik 1).



Grafik 1: Çalışma Sahasında Yakıtların Kapladığı alan (%).

Peyzaj alanlarının toplanması ile çalışma sahasının toplamda 869 km² olduğu gözlemlenmektedir (Tablo 24).

Tablo 30: Çalışma Sahasında Yakıtların Kapladığı alan (km²).

Peyzaj Tipi	Risk Değeri	Alan (km2)
Su Yüzeyi	0	26
Yerleşmeler	3	21
Savan ve Ağaçlık	8	90
Karışık Ormanlar ve Makilik	10	18
İğne Yapraklılar	11	324
Açık Çalılıklar	14	171
Ekim Alanları	15	219
Toplam		869

Çalışma sahasında yer alan yakıt (bitki) ve peyzaj örnekleri Fotoğraf 3 üzerinden gösterilmektedir. A kısmında açık yüzeylere, B’de bodur çalılara, C’de doğal otlaklara, D’de tarım alanlarına, E’de makilere ve F kısmında kızılçamlara çalışma alanından çekilen fotoğraflarla örnek verilmiştir.

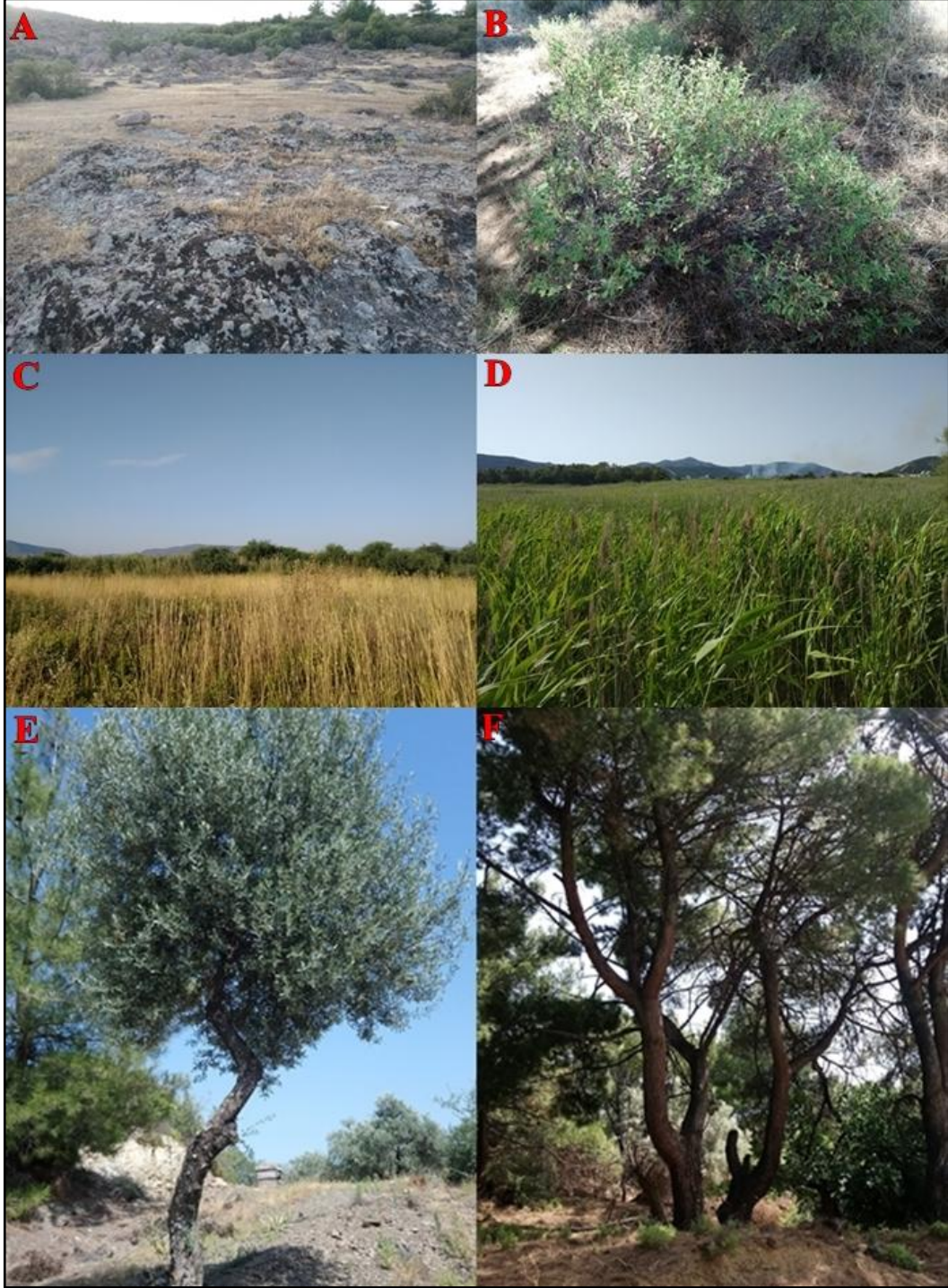


Foto 3: Çalışma Sahasında Yer Alan Yakıt Örnekleri.

3.1.2. Eğime Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

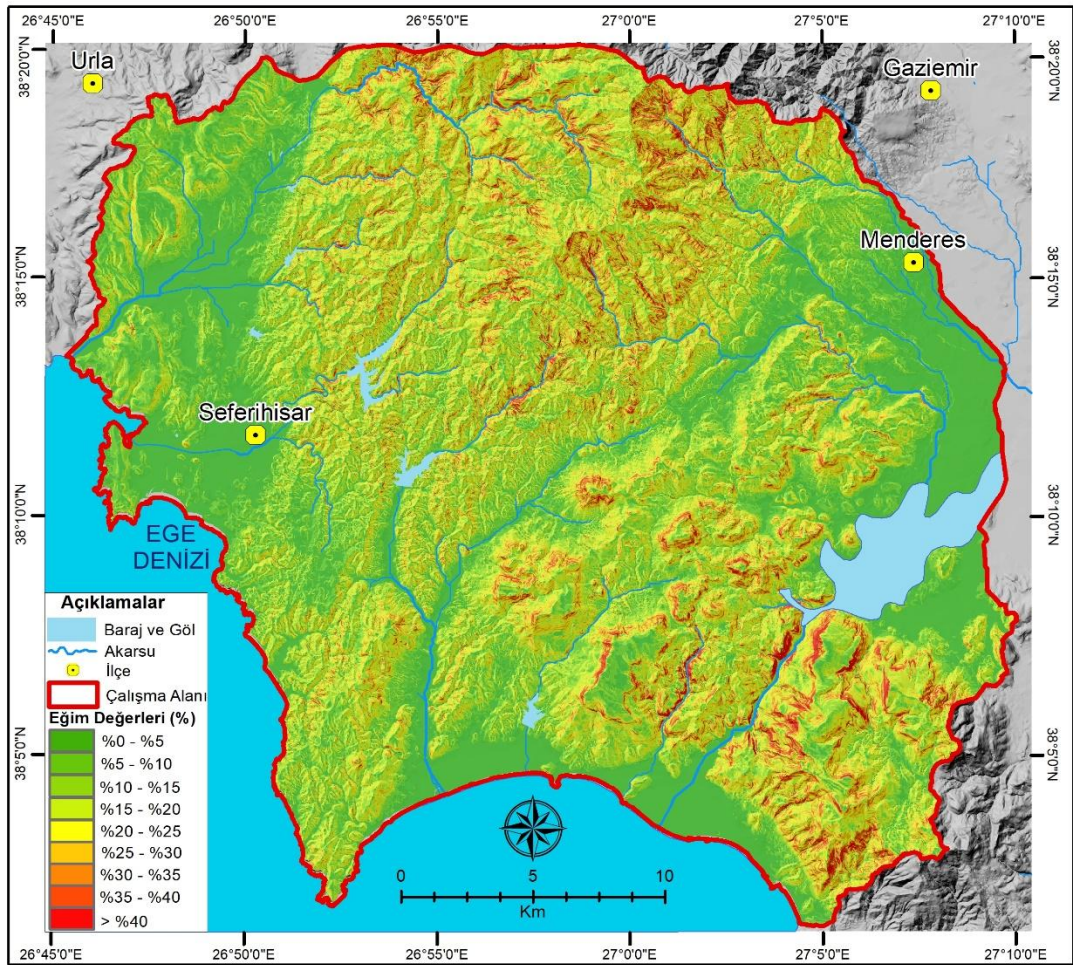
Orman yangınları topografyanın temel bileşenlerinden olan eğim özellikleriyle doğrudan ilişkilidir ve bu ilişki hemen hemen diğer topografik faktörlerle olan ilişkilerden daha etkilidir. Yangını şekillendiren havanın akışı ve hareketi, yüzeyin düzlüğüne ve engebesine göre kanalize olmaktadır. Gündüzleri düz alanlarda ısınan hava, yoğunluğun azalmasıyla eğim doğrultusunda yükselmeye başlamaktadır. Isınıp yükselen havanın yerini ise yoğunluğu daha fazla olan soğuk hava doldurmaktadır. Eğim doğrultusunda yükselen hava, yerel rüzgarları meydana getirerek eğim boyunca yer alan yakıtların nemlerinin azalmasına ve bu yakıtların daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Radyant ısı ve konvektif ısının eğim boyunca artması ile ısınan yakıtların alevlenmesi ve tutuşması daha kolay hale gelmektedir. Hatta bu hava hareketi ile yangınların yayılımı, eğimin fazla olduğu yerlerde daha hızlı olmaktadır. Bunun bir diğer nedeni ise yakıttan çıkan alevler yukarı doğru yükseldikleri için eğim boyunca yukarıya doğru daha hızlı ve daha kolay ilerlemektedir. Alevler yokuş yukarı olan yakıtlara daha yakın olduğu için ısınma daha fazla olur ve bu nedenle yukarıya doğru daha etkili olurlar. Rüzgârın da esmesiyle yakıtlar tutuşma sınırlarına daha çabuk ulaşır ve daha çabuk alevlenirler. Ormanların üzerinde yer aldığı alana ait hâkim rüzgarlar bu iki kuvvetin üstesinden gelecek kadar güçlü olmadıkça, yakıtın ön ısınması ve yokuş yukarı çekişi nedeniyle yangın yokuş yukarı yayılmaktadır.

Bu durumun tam tersi ise gece saatleri için geçerlidir. Hava hareketi geceleri tam tersi yönde olacağı için yangınların yokuş aşağı yayılmaları daha kolay olacaktır. Fakat alevler yukarı doğru yükseldikleri ve rüzgarlar yokuş yukarı yönünde daha hızlı oldukları için, gece süresince yangının yayılımı gündüze oranla daha yavaştır. Kısacası yangınların eğimin fazla olduğu yerlerde ilerlemesi ve yayılması düzlük alanlara göre daha kolaydır.

Topografik bir sırtın altında başlayan yangınlar yukarılara doğru daha hızlı yayıldıkları için sırtın tepesine kadar yangınları söndürmek zorlaşmakta ve daha fazla risk ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan eğim risk endeksinde ve literatürdeki risk endekslerinde eğimin fazla olduğu yerlerin risk değerleri daha fazladır.

Çalışma alanına ait eğim değerleri örnek alınan modeldeki gibi 5'er derece aralıklarla 9 sınıfa ayrılarak model için haritalandırılmıştır. Arazi gözlemleri ile oluşturulan harita incelendiğinde eğimin fazla olduğu yerler çalışma sahasında yükseltinin arttığı KD ve GD kısımlarına denk gelmektedir. Bu kısımlar eğim bakımından

yangın riskinin daha yüksek olduğu alanlardır. Bunun dışında arazide genel olarak eğim az olup Seferihisar ve Menderes ilçe merkezilerinin çevresi ile kıyı kesimleri düzlüklerden oluşmaktadır. Buralar ise eğime göre yangın risk değerinin en düşük olduğu yüzeylerdir. Çalışmada incelenen 18 Ağustos 2019 tarihli orman yangını, çalışma alanının kuzeyinde yer alan yamaçlarda hızlıca yayılmış ve en fazla hasara buralarda yol açmıştır. Sahada meydana gelen yangın eğim doğrultusunda ilerleyerek eğim katmanının risk modeli hesaplamalarında önemli bir parametre olduğunu ortaya koymuştur (Harita 5).



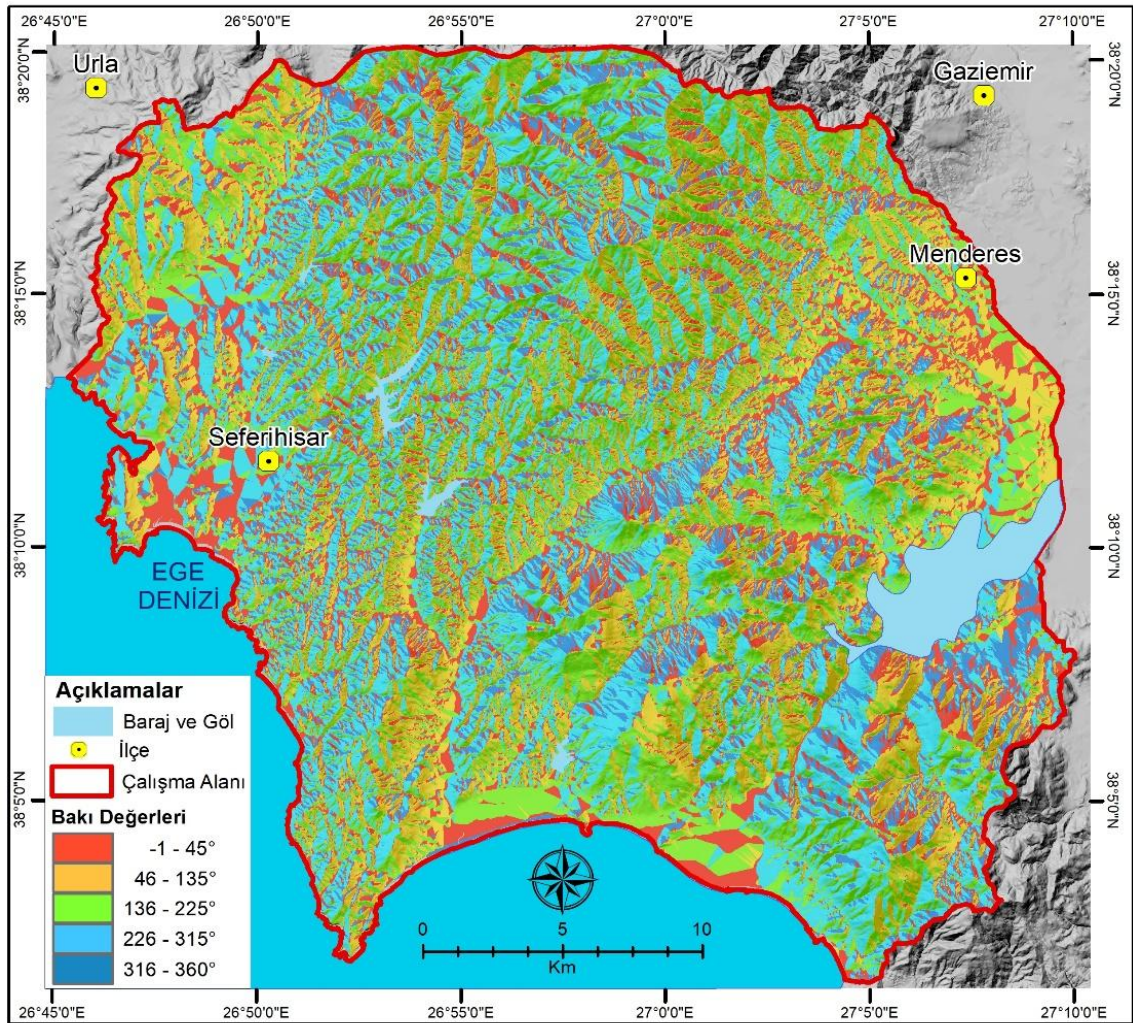
Harita 5: Çalışma Sahasının Eğim Endeksi Haritası.

3.1.3. Bakıya Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Orman yangınlarının oluşumunu ve sürecini etkileyen topografik unsurlardan bakı katmanı yüzeyin veya eğimin yönüne göre güneş ışınlarına maruz kalma durumunu ifade etmektedir. Güneş ışınlarının daha dik geldiği yamaçlarda, ısıtım diğer yamaçlara oranla

daha fazla olacağı için yangın riski daha fazla olmaktadır. Ayrıca bu yamaçlarda bağıl nemin düşük olması ile nem oranı az olan daha kuru yakıtların yer alması nedeniyle tutuşma ve alevlenme olayı daha kolay meydana gelmektedir. Dolayısıyla yangınlar bahsi geçen alanlarda daha hızlı gelişim göstermektedir.

29°19'55.35" – 38°01'47.93" K koordinatları arasında kalan çalışma alanına güneş ışınları güneye bakan yamaçlara daha dik açılarla gelmektedir. Bu sebeple bu yamaçlarda ısınım daha fazla olup, yakıtlar diğer yamaçlardaki yakıtlara göre daha fazla ısınmaktadır. Isınma nedeniyle yakıtlar daha kolay tutuşma eşik değerlerine ulaştığı için güneye bakan yamaçlar daha yüksek risk değerine sahiptir. Kuzeye bakan yamaçlarda ise durum tam tersi olduğu için risk değeri bakımından en düşük değerler bu kısımları oluşturmaktadır. Bu doğrultuda çalışma alanının bakı katmanı oluşturularak model için kullanılabilir hale getirilmiştir (Harita 6).

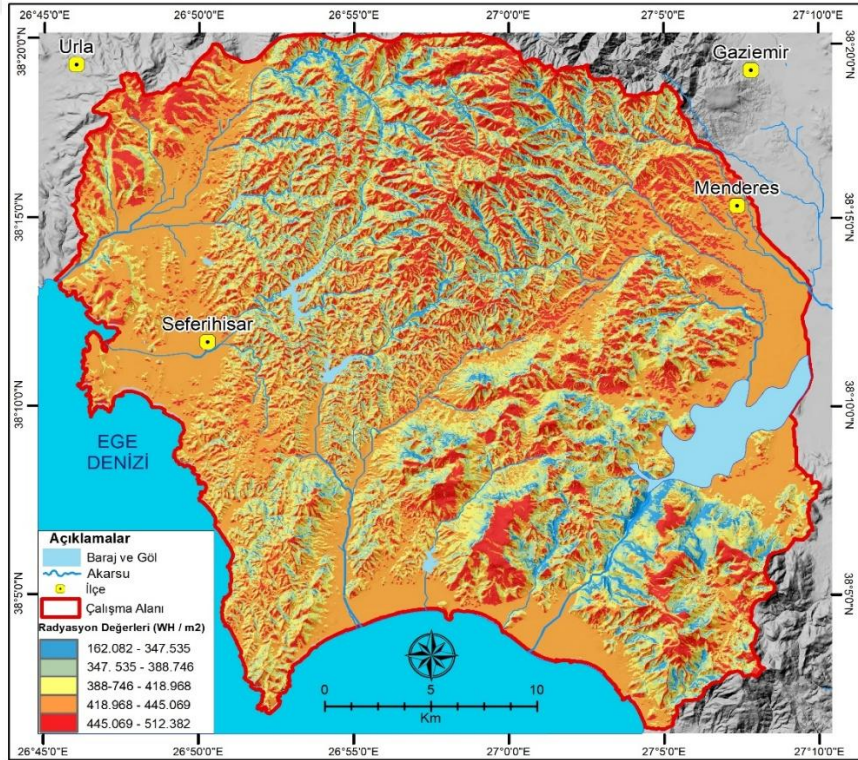


Harita 6: Çalışma Sahasının Bakı Endeksi Haritası.

3.1.4. Güneşlenmeye Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Bakı katmanında olduğu gibi güneşlenme katmanı da yüzeyin engebelik durumu ve arazi içindeki unsurların güneşe olan dönüklüğüne göre meydana gelen farklı ışıınım durumu üzerinden orman yangınlarını etkilemektedir. Sahayı oluşturan topografik unsurlar güneşe olan açılara göre farklı radyasyon dalgalarına maruz kalmaktadır. Bunun neticesi olarak arazide enerji ve ısı bakımından farklılıklar oluşmaktadır. Arazide bu dalgaları en fazla dik açıyla alan yerler daha fazla ısınırken diğer kısımlar daha az enerji ve daha az ısıya sahiptir. Sonuç olarak gelen enerjinin en fazla olduğu yerler yakıtların tutuşma derecesine daha kolay ulaşmasına ve yangınlara dönüşmesine imkan sağlamaktadır.

Orman yangını mevsiminin Temmuz ile Eylül ayı arasında olduğu Türkiye’de çalışma sahasının 3 aylık süreçte, gün içinde 6’şar saat aralıkla güneşin farklı açılara göre ışıınım değerleri m^2 başına Wh birimiyle haritalandırılarak model için hazırlanmıştır. Oluşturulan haritada çalışma alanında toplam radyasyon değerlerinin Tahtalı barajı civarında en düşük değerlere düştüğü, geri kalan alanlarda ise engebenin değişimine göre değerler farklılaşmaktadır (Harita 7).

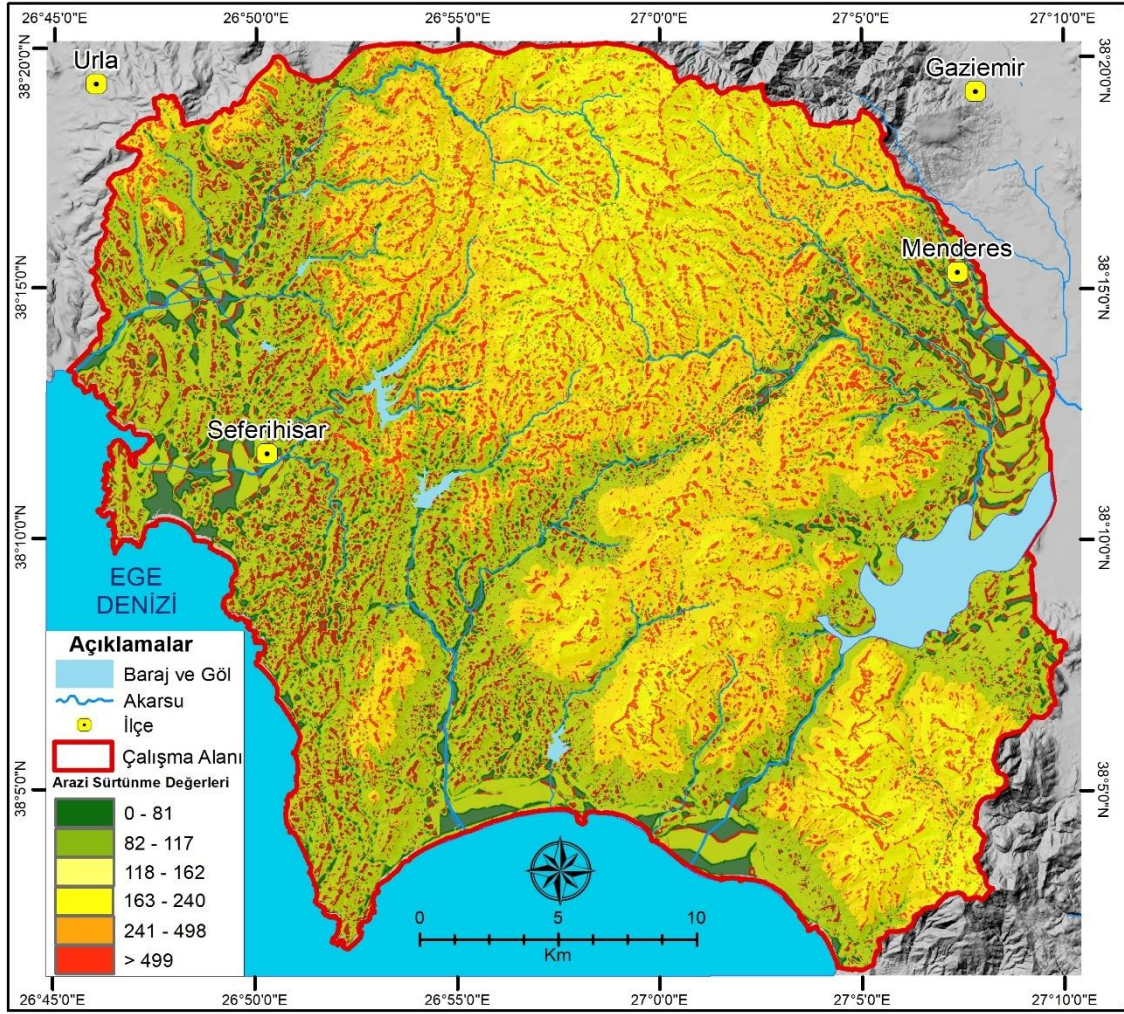


Harita 7: Çalışma Sahasının Solar Radyasyon Endeksi Haritası.

3.1.5. Arazi Engebelerik Özelliklerine Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Topoğrafyayı oluşturan yüzeyin heterojenlik durumuna göre orman yangınlarının durumu farklılıklar göstermektedir. Bu durum Harita 8’de gösterilmiştir. Sayısal yükseklik modelinden oluşturulan bu katmanda bir hücrenin değerleri ile onu çevreleyen 8 hücrenin değerlerinin ortalaması arasındaki fark hesaplanır ve topoğrafyanın sağlamlığı üretilmiş olunur. Bu işlem sonucunda arazi heterojenliği ne kadar fazla olursa yangınların gelişimi ve yayılımı homojen topoğrafya özelliklerine oranla daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni tek bir değere veya yapıya sahip olan yüzey, yangınlara karşı daha fazla direnç oluştururken, farklı topografik özelliklere sahip olan yüzeyler ise daha az direnç oluşturmaktadır.

Sahanın engebelerik bağli risk karakteri incelendiğinde, sırtların tepe kısımları daha heterojen yapıya sahip olduğu için yangın riski değeri yüksek iken, baraj ve göl kenarındaki düzlük alanlar ise heterojenliğin az olması nedeniyle daha düşük risk değerlerine sahiptir (Harita 8). Bu açıdan incelendiğinde araştırma alanının engebelerik riski karmaşık bir dağılışa sahiptir. Doğal olarak engebelerik açısından eğimin azaldığı ve buna bağli olarak arazi pürüzlülüğün de azaldığı D ve B taraflarındaki saha daha düşük risk karakteri göstermektedir. Yükseltinin artması ile birlikte, eğimin ve dolayısıyla yanma derecesinin arttığı sahanın orta kısımları risk açısından yüksek karakterdedir.

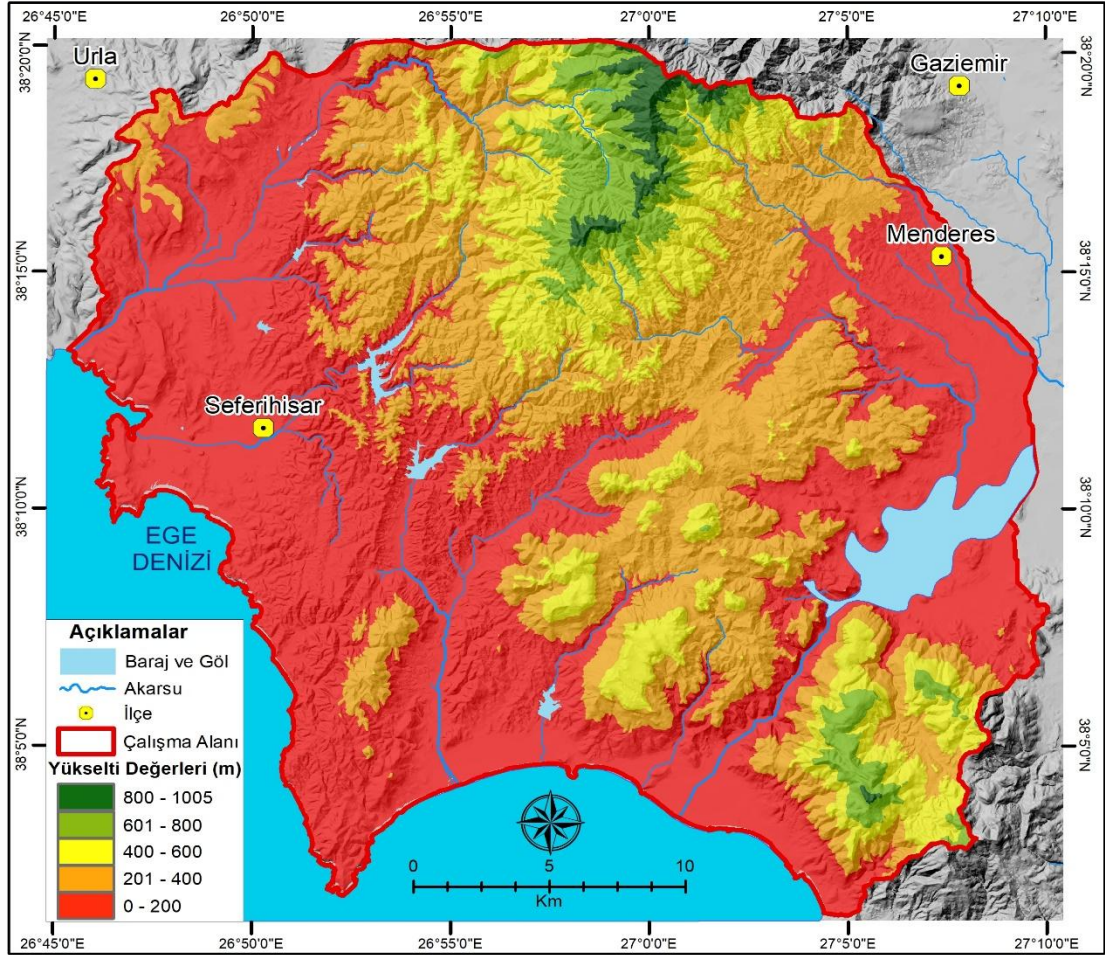


Harita 8: Çalışma Sahasının Yüzey Engabeliği Endeksi Haritası.

3.1.6. Yüksekliğe Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Yüksekliğe bağlı olarak değişen hava koşulları ve yakıt özellikleri nedeniyle orman yangınları farklı yüksekliklerde farklı şekillerde gelişmektedir. Arazide yükseldikçe sıcaklığın düşmesi ve bunun tersi olarak yağış değerlerin artması yakıtları farklı etkilemektedir ve hatta yakıt türlerini belirlemektedir. Yüksekliğin az olduğu alçak kesimlerdeki yakıtlar sıcaklığın fazla olması nedeniyle daha fazla ısınırken yüksek kesimlerdeki yakıtlar daha az ısınmaktadır. Bu da alçak kesimlerde yer alan yakıtların tutuşma eşik değerlerine daha çabuk ulaşmasına yol açmaktadır. Ayrıca yüksek kesimler yağışları daha fazla aldığı için daha nemli olmaktadır ve bu kesimlerde yer alan yakıtlar alçak kesimlerdeki yakıtlara göre nem özelliklerini daha iyi muhafaza etmektedir. Bu nedenle arazide yükseklik değerleri farklı yangın risk dereceleri oluşturmaktadır.

En alçak yeri 0 m ile en yüksek yeri 1005 m olan çalışma alanında kuzeyde ve güneydoğuda yer alan yüksek kesimler yükselti açısından yangın riski bakımından en düşük değerlere sahipken kıyı kesimler ise yangın riski değerlerinin fazla olduğu alanlar olarak dikkati çekmektedir. (Harita 9).



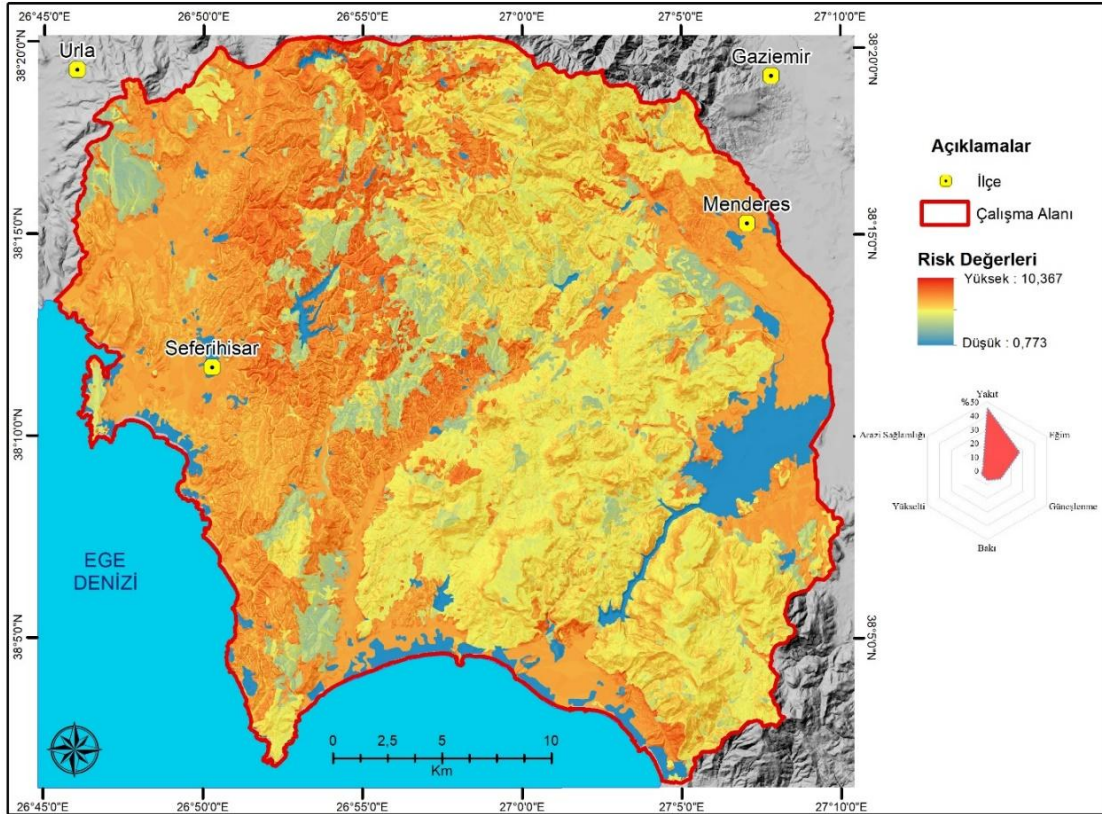
Harita 9: Çalışma Sahasının Yükselti Endeksi Haritası.

3.1.7. Çalışma Alanının Genel Yakıt Risk Karakteri

Yukarıda karakteristik özellikleri tanıtilan altı parametre (Yakıt, Eğim, Bakı, Güneşlenme, Engebe ve Yükseklik) ışığında Harita 10'daki sahanın genel yakıt risk özellikleri elde edilmiştir. Bölüm 2'de bu katmanların ağırlık değerleri ayrıntılı şekilde belirtilmiştir. Harita 10 incelendiğinde çalışma sahasının, sahip olduğu yakıt özellikleri nedeniyle yangına hassasiyetinin fazla olduğu görülmektedir. Özellikle Seferihisar tarafının yakıt riski değerinin fazla çıkmasının nedeni bölgede yer alan doğal otlakların varlığıdır. Öyle ki, Seferihisar'da meydana gelen 2009 yangınında Doğanbey

Körfezindeki otlak alanda ortaya çıkan yangın rüzgarlar vasıtasıyla hızlı bir şekilde ormanlık alana sıçramıştır. Hatta yangının yayılma hızı fazla olduğundan bölgede yer alan 1 köy ve 3 tatil köyü boşaltılmıştır. Otlak alanda çıkan bu yangınlar sonucu ormanlar ciddi oranda tahribe uğramıştır. Bu nedenle haritada otlak alanların olduğu kısımlar yangın hassasiyeti bakımından en riskli alanlardır.

Diğer yandan çalışma alanının doğusunu oluşturan Menderes yerleşkesi ve çevresi de yakıt riskinin yüksek olması ile dikkati çekmektedir. Bunun nedeni bu çevrede hem yakıt riski yüksek olan tarım alanlarının olması hem de güneşlenmenin daha yüksek olmasıdır. Aynı zamanda otlaklar yükseltinin az olduğu kısımlarda yer aldığı için diğer alanlara göre sıcaklığın fazla olması nedeniyle daha fazla ısınmaktadır. Bu da bu kısımların yakıt risk değerini arttıran bir diğer nedendir (Harita 10).



Harita 10: Çalışma Sahasının Genel Yakıt Risk Karakteri Haritası.

3.2. Çalışma Sahasının Yangın Ateşleme Risk Karakteri

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere orman yangınlarının meydana gelmesi olayı birçok unsur çerçevesinde gerçekleşmektedir. Bunlardan birisi de yangının başlangıcı olan ateşlenme olayıdır. Yakıtların belirli bir ısı miktarına ulaşmaları ve ateşlenme kaynakları çok çeşitli olmakla birlikte genel olarak insan kaynaklı ve doğa kaynaklı olarak ikiye ayrılmaktadır. İnsan kaynaklı ateşlemeler sonucu oluşan yangınlar %89'luk bir orana sahipken doğa kaynaklı oluşan yangınları ise sadece %11'lik bir orana sahiptir ve bunların neredeyse tamamı yıldırımlardan kaynaklanmaktadır (OGM, 2019). Dünya üzerinde yıldırımlar sabit bir noktaya düşmediği için sahada bu durumun riskli olduğu noktaları belirlemek pek mümkün değildir. Fakat insan kaynaklı meydana gelen yangınlar, insanların yaşam çevrelerinde gerçekleştiği için sahada nerelerin ateşlenme, yani yangın başlaması konusunda riskli olduğu belirlenebilmektedir.

Çevresini şekillendiren ve çevresiyle yaşamını şekillendiren insanoğlu ormanlarla sürekli etkileşim halindedir. İnsanlar ormanlar ve çevrelerinde yapmış oldukları faaliyetlerle bir ateşleme olayı başlatabilmekte ve bu da büyük yangınlara dönüşebilmektedir. Bu nedenle yangın risk çalışmalarında insanların ormanlara veya diğer bitki örtülerine yakın olduğu kesimler ateşleme riskinin yüksek olduğu alanlar olarak belirlenmektedir. Bu doğrultuda insanların yoğun olarak mekanda kullandığı alanlar olan yerleşmeler, yollar, otlaklar, rekreasyon ve tarım alanlarının çevresi yangın ateşlenme riskinin yüksek olduğu yerlerdir. Bu nedenle orman yangınlarının çıkmasında en büyük neden olan insanların hareket ettiği bu alanlar farklı katmanlar halinde oluşturularak ateşlenme riski alt modeli için bir araya getirilmiştir. Her bir katman çevrelerine olan mesafelere göre analiz edilerek ateşlenme riski alt modeli oluşturulmuştur.

3.2.1. Tarım Alanlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

İnsanların yoğun olarak üzerinde hareket ettikleri tarım alanları çeşitli ihtiyaçlardan dolayı yakılan ateşler nedeniyle yangınlara kaynaklık etmektedir. Bu ihtiyaçları gidermek için ateşler kimi zaman ısınma, beslenme, temizlik ve hatta keyfi nedenlerden dolayı yakılmaktadır. Bunlara ek olarak tarlada mahsulden geriye kalan kuru bitki artıklarının yakılıp toprağa kazandırılması, yani anız olayı için yakılan ateşler (Fotoğraf 4), rüzgarlar vasıtasıyla taşınarak orman yangınlara neden olmaktadır. Bu

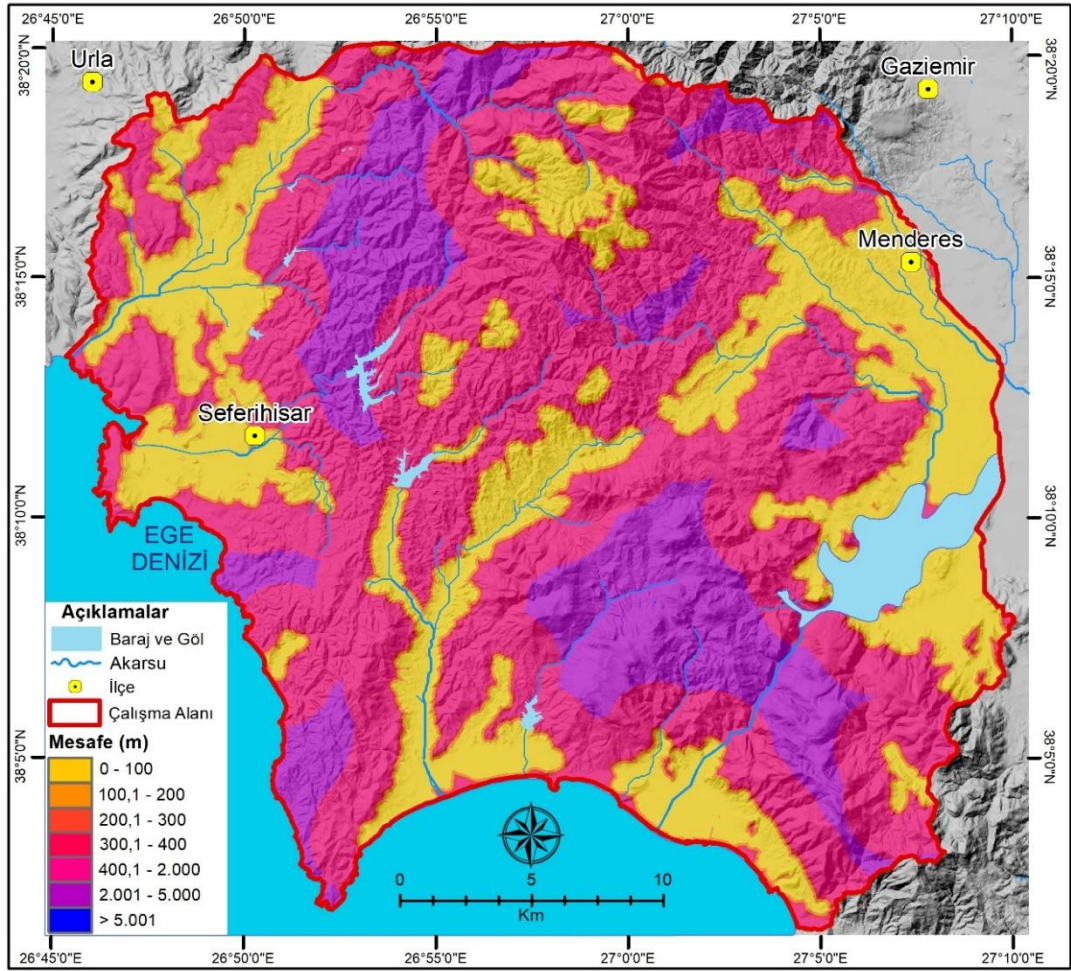
nedenler insanların tarım faaliyetlerini sürdürdüğü alanların çevresi ve yakınları ateşlenme riskinin yüksek olduğu yerler olarak sınıflandırılmaktadır.



Foto 4: Çalışma Sahasında Tarım Alanlarında Yapılan Anız Yakımı.

Özellikle anızların yakılması sonucu tutuşan kuru otlaklar hızlı bir şekilde ilerleyerek kontrol dışına çıkabilmektedir. Dolayısıyla yangınlar, bünyesine kattığı yakıtlarla beslenerek daha da büyük bir hale gelir ve ormanları çabucak alevlerin sarmasına neden olur. Ayrıca kuru ve nem miktarları az olan bu yakıtlar ateşlenmeye karşı dirençleri düşük olduğu için tarımsal alanda bırakılan parlak bir nesnenin güneşle olan etkileşime bağlı olarak alevlenebilmektedir.

Tarımsal alanların çevresine olan mesafelerine göre risk değerleri örnek modeldeki sınıflandırmaya göre belirlenmiştir. Bu doğrultuda üretilen tarım alanları risk karakteri incelendiğinde sahada tarımın yapıldığı alçak da kalan kıyı kesimler ile vadi alanlarının çevresi risk değerinin en yüksek olduğu yerler olmuştur. Çalışma alanının kuzeyinde yer alan tepenin riskli çıkmasındaki neden ise o bölgede yer alan bağ ve bahçelerdir. Harita üretilirken bağlar ve bahçeler dikkate alınarak sahanın risk durumu belirlenmiştir (Harita 11). Tarımsal alanların en az olduğu sahanın GD kısmındaki tepelik alanlar ise risk değerlerinin en düşük olduğu bölgedir.



Harita 11: Çalışma Sahasının Tarım Alanlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.

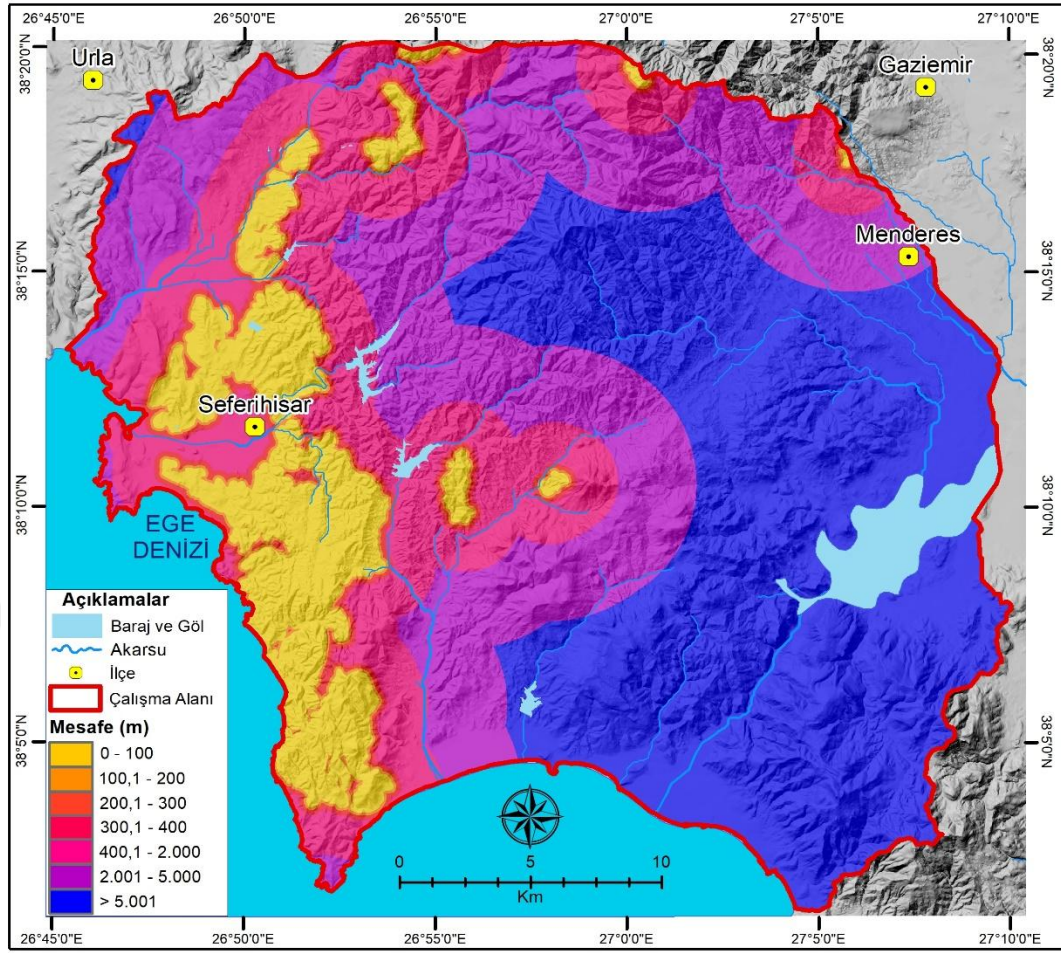
3.2.2. Doğal Otlak ve Çayır Alanlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Doğal otlak alanlar yangınlara karşı savunmasız bitki örtüsünden meydana geldiği için küçük bir ateşlenme bile devasa yangınlara neden olabilmektedir. Ayrıca otlak alanlar hayvancılık faaliyetleri nedeniyle yoğun olarak insanların hareket alanları içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle bahsi geçen alanlar ateşleme riskinin yüksek olduğu yerler olarak sınıflandırılmaktadır. Örneğin bir çobanın gıda, koruma ve beslenme nedeniyle yakmış olduğu bir ateş, rüzgarlar vasıtasıyla taşınabilmekte ve hatta geride bırakılan közler tekrar alevlenmeye neden olmaktadır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi Seferihisar'da 2009 yılında gerçekleşen orman yangınları doğal otlakların tutuşmasıyla başlamıştır. Seferihisarda yer alan doğal otlaklara ait görüntü Fotoğraf 5'de gösterilmektedir.



Foto 5: Çalışma Sahasında Yer Alan Doğal Kuru Otlaklar.

Çalışma kapsamında oluşturulan bu katmanda otlak alanların çevresi ateşlenme riskinin yüksek olduğu alanlar olarak belirlenmiştir. Otlak ateşlenme riski haritası incelendiğinde Seferihisar çevresi riskin en fazla olduğu alanlardır. Doğal otlaklar bu bölgede yer aldığı için alanda meydana gelen yangınların başlangıç noktası genel olarak bu kısımlar ve çevresidir. Çalışma alanının doğu kesiminde ise otlak alanların yer almamasından ötürü ateşlenme riski düşüktür (Harita 12).



Harita 12: Çalışma Sahasının Doğal Otlak Alanlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.

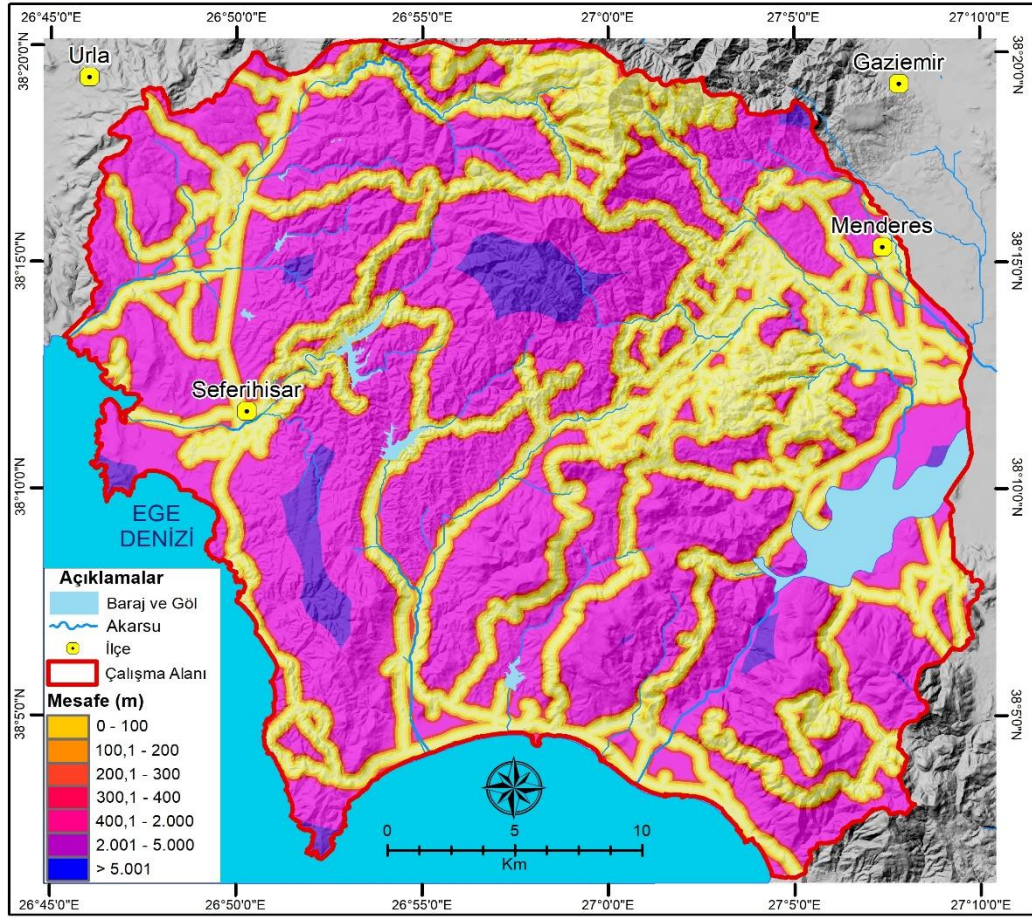
3.2.3. Yol Ağlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

İnsanların en aktif olarak kullandığı beşerî alanlardan olan yollar ve çevresi orman yangınlarının ateşlenme durumu bakımından riskli alanlardır. İnsanların seyahat ederken yol kenarındaki ormanlık alanlarda yaptığı konaklamalar esnasında ve yollara yakın yerlerde yaptıkları rekreasyon faaliyetlerinde yaktıkları ateşler orman yangınlarını başlatabilmektedir. Bu aktivitelerde yakılan ateşler tamamıyla söndürülmediği için alevler tekrardan canlanarak ormanları sarabilmektedir (Fotoğraf 6).



Foto 6: Çalışma Sahasında yer alan yollar ve yol kenarlarındaki kuru otlar.

Bunların yanı sıra insanların yol kenarındaki konaklamaları sırasında kullandıkları tütün ürünleri veya arabayla geçerken attıkları sönmemiş tütün ürünleri ateşlenmeye neden olarak bir yangını başlatabilmektedir. Bu nedenlerle ulaşım ağları ve çevresi orman yangınları için ateşlenme riskinin yüksek olduğu alanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle çalışma sahasına ait ulaşım ağlarının çevresi yangın ateşlenme riskinin en yüksek olduğu alanlar olarak belirlenirken yollara uzak kısımlar ise riskin düşük olduğu yerler olarak belirlenmiştir (Harita 13).



Harita 13: Çalışma Sahasında Yol Ağlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.

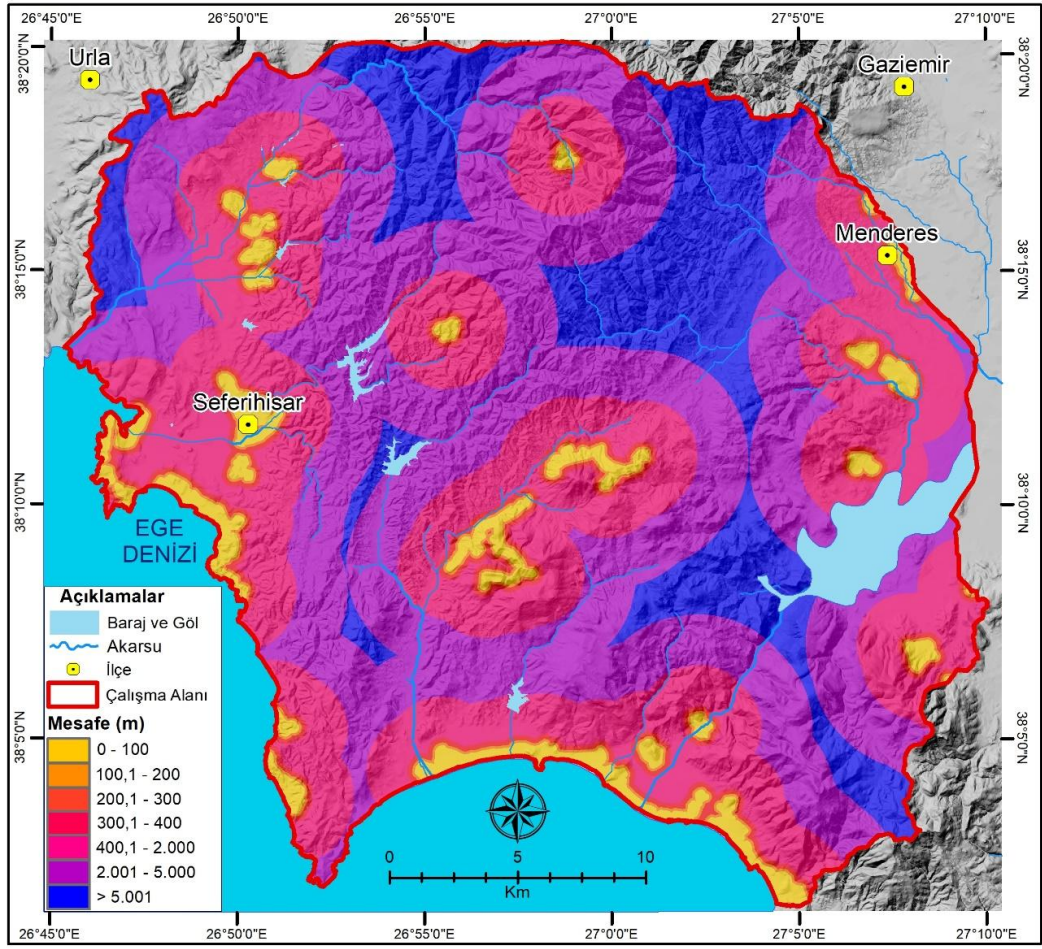
3.2.4. Yerleşme Alanlarına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

İnsanların yaşamlarını sürdürdükleri ve kullandıkları en yoğun yerler olan konutlar, iş yerleri ve diğer yerleşim alanlarının çevresinde yer alan ormanlar ateşlenme oranının fazla olması nedeniyle yangın riskinin yüksek olduğu alanlardır. Yaşamlarının en çok zamanını yerleşim alanları ve çevrelerinde geçiren insanlar önceki bölümlerde örnek verildiği üzere birçok ihtiyacında ateşi kullanmaktadır. Kullanılan ateşler bilmeden veya kasıtlı olarak yangınlara dönüşebilmekte ve ormanları sarabilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar meydana gelen yangınları da inceleyerek yerleşim yerlerine yakın olan alanlarda ateşlenme riskinin fazla olduğunu tespit etmişlerdir (Fotoğraf 7).



Foto 7: Çalışma sahasında ormanların içerisinde yer alan yerleşmeler.

Çalışmada sahayı oluşturan Urla Yarımadası ve çevresindeki yerleşmelerin yakın olduğu alanlar ateşlenme riskinin yüksek olduğu alanlar olarak belirlenmiştir. Yerleşim alanlarına uzak olan kısımlar ise ateşlenme riskinin düşük olduğu alanlar olarak sınıflandırılmıştır (Harita 14).



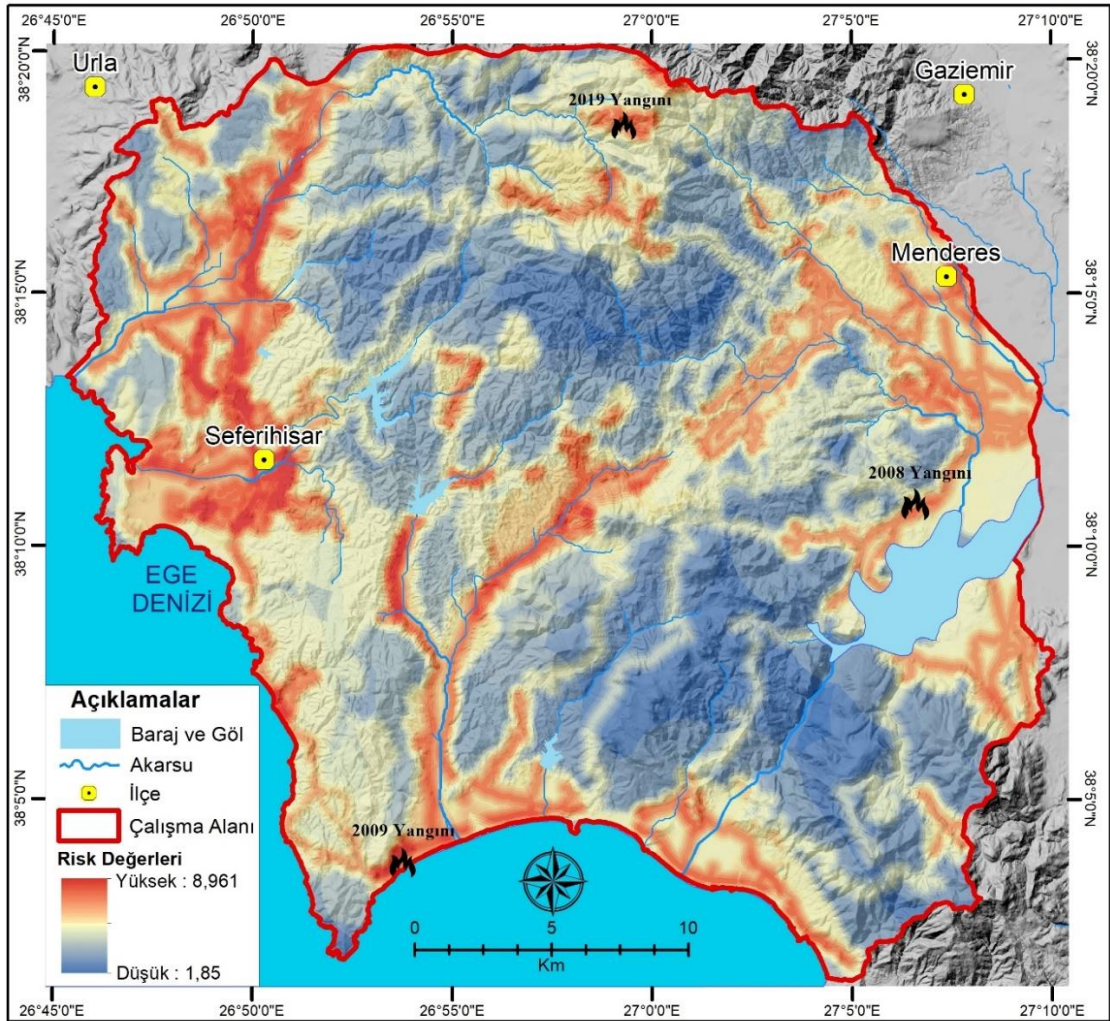
Harita 14: Çalışma Sahasında Yerleşim Alanlarına Bağlı Risk Endeksi Haritası.

3.2.5. Çalışma Alanının Genel Yangın Ateşleme Risk Karakteri

Analiz sonucunda üretilen tek bir harita üzerinden arazide yangın başlangıcı bakımından en riskli yerler ve en düşük riskli yerler belirlenmiştir. Oluşturulan harita incelendiğinde çalışma sahasının özellikle orta bölümlerinde ve yükseltinin arttığı K ve GD kesimlerinde yangın başlangıcı riskinin düşük olduğu görülmektedir. Ateşlenme riskinin yüksek olduğu yerler ise özellikle Seferihisar ilçe merkezi ve Menderes ilçe merkezi civarı ile çalışma alanının güney kesimini oluşturan kıyı alanlarıdır (Harita 15).

Çalışma alanında meydana gelen orman yangınlarının başlangıç noktaları incelendiğinde, tümünün ateşlenme riskinin yüksek olduğu alanlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir (Harita 15). Bu da kullanılan altlıkların ve belirlenen ağırlık değerlerinin araziye uygun olduğunu kanıtlamaktadır. Üretilen bu harita ile sahada meydana gelebilecek yangınların çıkacağı yerlere dair önemli bilgiler elde edilmiştir. Bu nedenle oluşturulan bu alt modelin asıl orman yangını risk modelinde bir altlık olarak kullanılması

önemlidir. Böylece arazide orman yangınları birçok açıdan ele alınmış olup daha doğru bir risk modeli ortaya konulmaktadır.



Harita 15: Çalışma Alanının Genel Yangın Ateşleme Risk Karakteri Haritası.

3.3. Çalışma Alanının Hava Durumuna Bağlı Risk Karakteri

Orman yangınlarının gelişiminde ve davranışlarında önemli bir rolü olan hava şartları yangın riskini etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Genel olarak Akdeniz ikliminin etkisi altında olan çalışma alanında kara ve denizlerin dağılışı ile topografik unsurların farklılık göstermesi nedeniyle hava şartları da buna paralel olarak değişmektedir. Çalışma alanında bu farklılıklar nedeniyle yerel rüzgarlar oluşmakta ve bunların yönü aylara ve hatta belirli günlere göre değişmektedir. Sahada genel olarak rüzgâr KD-GB yönlüdür. Bunun nedeni sahanın kuzeyinde yer alan yüksek kesim ile güneyinde kıyısının

bulunduğu Ege Denizi arasındaki farklı ısınma durumudur. Yangın mevsimi olan Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında ise rüzgarlar genel olarak kuzey-kuzeydoğudan güney-güneybatıya doğru esmektedir.

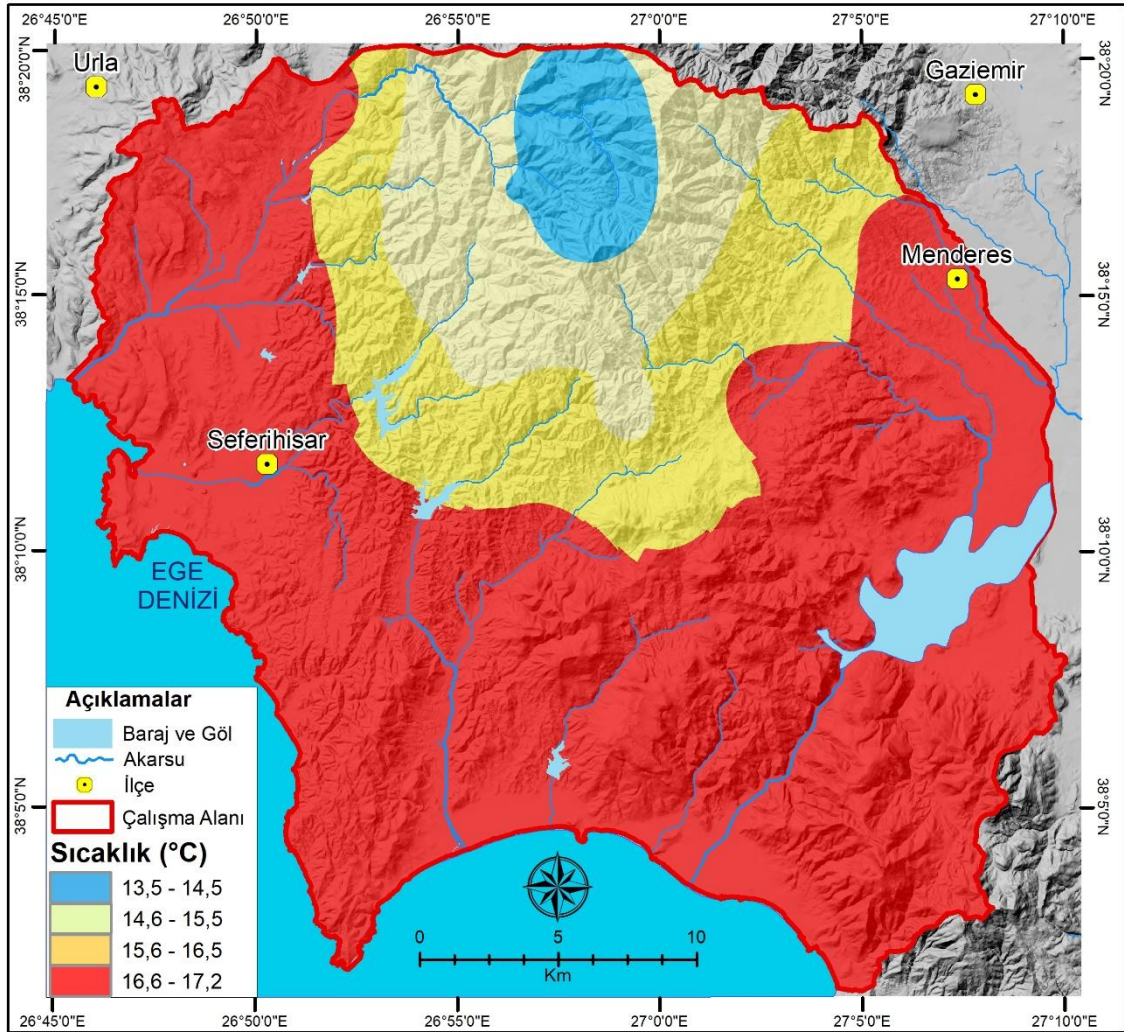
Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi sıcaklık hem yakıt üzerindeki etkisi hem de rüzgarlar üzerindeki etkisi nedeniyle yangın riski bakımından büyük etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra sahaya düşen yağmurlar bitki nemini ve sıcaklıkla birlikte havadaki nemi önemli ölçüde etkilediği için ele alınması gereken bir diğer önemli unsurdur.

Bu nedenle çalışmada hava riski karakterini oluşturmak için parametre olarak sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Bu iki unsurun ilişkisi ile yangınların başlangıç noktaları da dahil yayılma özellikleri değişmektedir. Çalışma sahasında sıcaklığın en fazla yağışın ise en az olduğu yaz ayları kuraklık nedeniyle en fazla yangının olduğu dönemdir. Sıcaklık nedeniyle kuruyan otlak alanlar ve nem oranlarını ciddi oranda kaybeden bitkiler olası bir ateş ile tutuşma derecelerine daha çabuk ulaşmaktadır. Yağışın fazla olduğu kış aylarında ise bitkilerdeki nem oranı daha fazla olduğu için yangının gelişimi çok daha zordur. Yangının hem mekânsal hem de zamansal olarak ortaya çıkmasını etkileyen bu iki hava unsuruna ait veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Urla, Seferihisar, Güzelbahçe, Karabağlar ve Menderes istasyonlarından alınmıştır. İstasyonların bulunduğu yükseklikler ve çevresel şartlar göz önüne alınarak yapılan enterpolasyon analizi ile çalışma alanının bütün yüzeyine ait yağış ve sıcaklık değerleri üretilmiştir. Yıllık ortalama değerlerine göre ele alınan sıcaklık ve yağış değerleri yükseltiye bağlı olarak çalışma alanında özellikle K-G yönlü değişiklik göstermektedir. Alt modeli oluşturmak için iki parametre risk değerlerine göre yeniden sınıflandırılarak haritalandırılmıştır.

3.3.1. Hava Sıcaklığına Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

Akdeniz ikliminin Asıl Akdeniz iklim sınıfında yer alan çalışma sahasında yükseltiye ve karasallığa bağlı olarak yıllık sıcaklık güneyden kuzeye doğru azalmaktadır. Sıcaklığın yükseltiye bağlı olarak değişmesi ile buna paralel olarak bitki türlerindeki nem oranları da değişmektedir. Çalışma alanının güney ve batı kesimlerini oluşturan alçak kesimler ortalama sıcaklığın en fazla olduğu yerlerdir. Ayrıca buraların alçak ve düz alanlar olması nedeniyle tarım alanlarına dönüştürülmesi sonucu ekilen tahıl ve pamuk gibi bitkilerin kurumalarıyla yangın riski daha da artmaktadır. Bu alanlarda sıcaklık isteği fazla olan bitkilerin ekilmesi ve kuru otlakların yer alması nedeniyle

yangınların ortaya çıkması ve gelişimi daha kolay olmaktadır. Sahanın yıllık ortalama sıcaklığına bakıldığında uç değerler arasında yaklaşık 4 °C fark olduğu gözlemlenmektedir. Bu da yakıt nemlerini önemli ölçüde etkileyerek orman yangını bakımından farklı risk değerleri oluşturmaktadır. Bu doğrultuda sıcaklığın fazla olduğu yerler riskin fazla olduğu yerler olarak sınıflandırılmış ve haritalandırılmıştır (Harita 16).

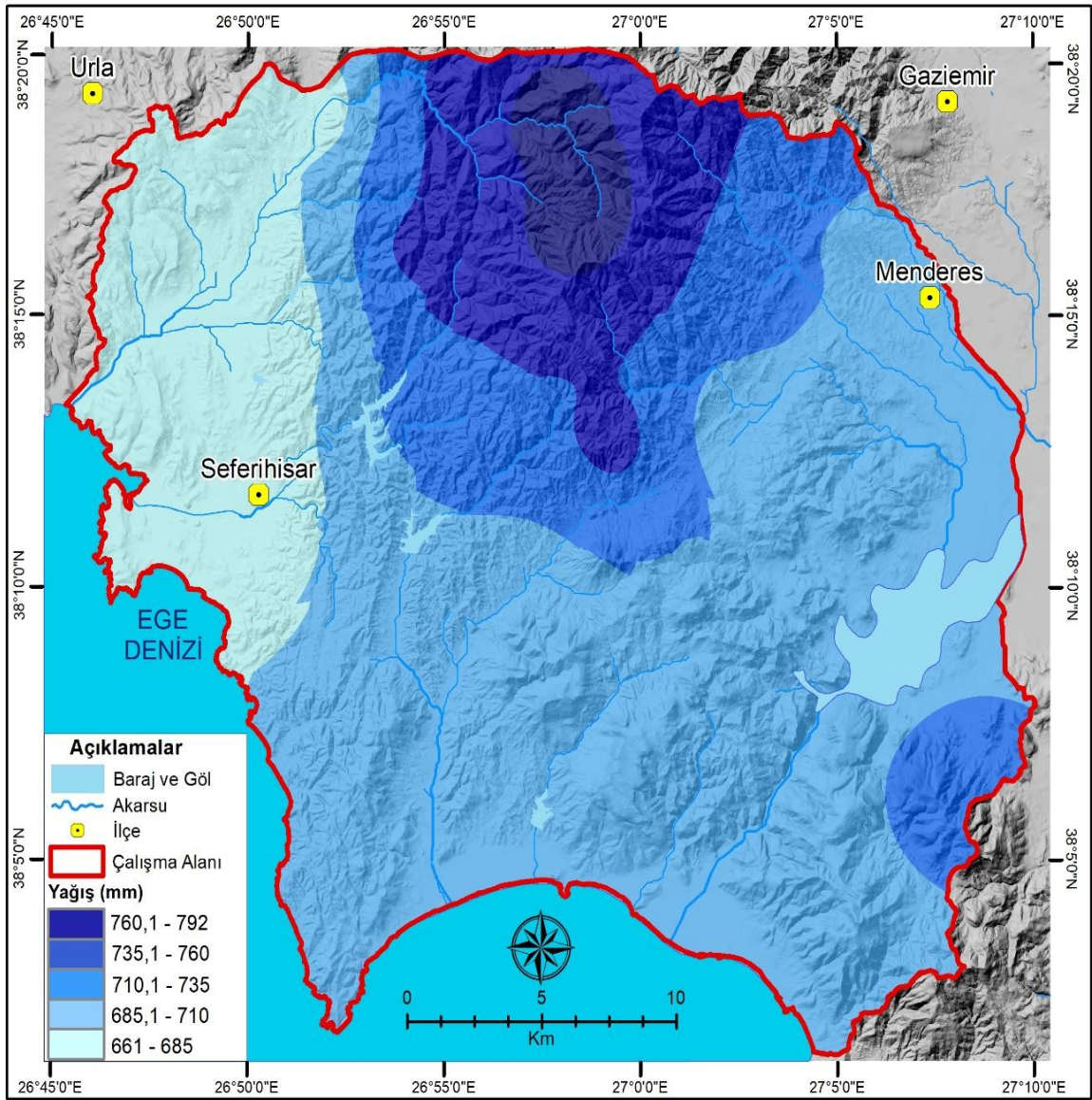


Harita 16: Çalışma Sahasının Sıcaklık Endeksi Haritası.

3.3.2. Yağışa Bağlı Riskin Mekânsal Karakteri

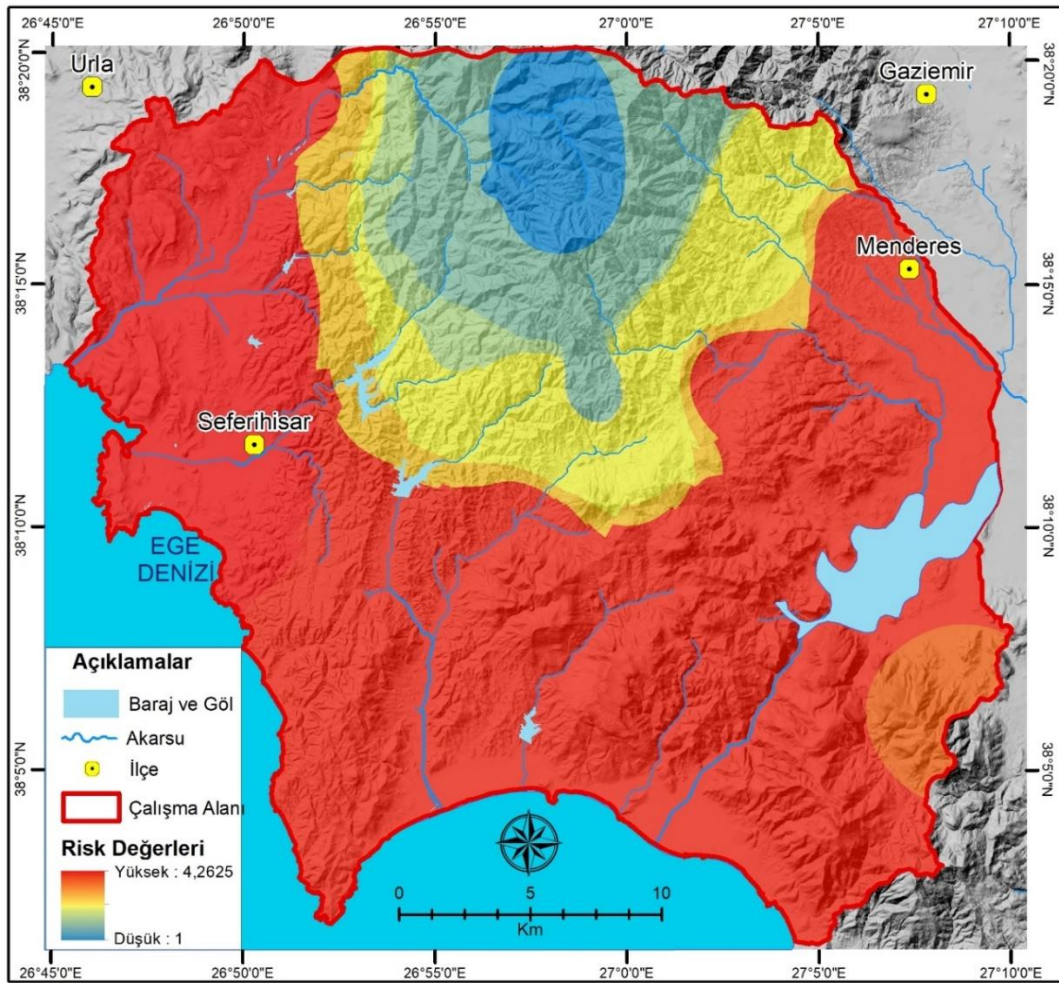
Bitki örtülerinin nem miktarlarını belirleyen unsurlardan biri olan yağışlar yangın riskini etkileyen önemli hava olaylarındandır. Bitkilerin ateş karşısında adeta savunması olan ve dayanma direncini arttıran nem miktarı arazinin konumuna ve yapısına göre büyük ölçüde değişmektedir. Bulunduğu konum ve iklim özellikleri ile ortalama yağış

miktarı 726 mm olan çalışma alanında sıcaklığa ters olarak yağışlar güneyden kuzeye doğru artmaktadır. Çalışma alanının kuzeyini oluşturan yüksek kesimler sıcaklığın azalmasına bağlı olarak ve denizden gelen nemli hava kütlelerini karşılaması nedeniyle yağışın fazla olduğu yerlerdir. Arazide yağış miktarlarının uç değerlerine bakıldığında 131 mm'lik bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Bu da sahadaki bitki örtüsünde nem bakımından büyük farklılığa yol açmaktadır. Bu nedenle yağışın fazla olduğu yerler risk değeri düşük, yağışın az olduğu yerler ise risk değeri yüksek olarak sınıflandırılıp haritalanmıştır (Harita 17).



3.3.3. Çalışma Alanının Genel Hava Risk Karakteri

Üretilen harita incelendiğinde hava şartları bakımından en düşük riske sahip alan yükseltinin arttığı kuzey kesimler iken, geriye kalan bütün alanlarda risk yüksektir (Harita 18). Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi yaz aylarının kurak ve sıcak geçtiği iklim tipleri orman yangınları bakımından dünyanın en hassas ve en riskli bölgelerini oluşturmaktadır. Çalışma sahasının içinde yer aldığı Akdeniz iklimi de sıcaklığın fazla olduğu, yağış rejiminin ise düzensiz olduğu bir iklim tipidir. Yağışların çoğu cephe faaliyetlerine bağlı olarak kış aylarında düştüğü için yazları kurak geçmektedir. Sıcaklığın 8-10 °C'nin altına düşmediği çalışma alanında ortalama sıcaklık değerleri yüksektir. Bu bağlamda sıcaklığın en fazla olduğu ve yağışın en az olduğu doğu, batı ve güney kesimleri hava şartları bakımından yangın riskinin yüksek olduğu alanlardır.



Harita 18: Çalışma Alanının Genel Hava Risk Karakteri Haritası.

3.4. Çalışma Alanının Arazi Görünürlüğüne Bağlı Risk Karakteri

Orman yangınlarının başladığı yerler insanlar tarafından fark edilmediğinde herhangi bir müdahaleye veya baskıya uğramadığından ötürü daha iyi gelişebilmektedir. Böyle bir alanda ortaya çıkan yangınlar yayılmak için yeterli güce daha kolay ulaştığından meydana getireceği hasarlar da artmaktadır. Özellikle zemin ve kök yangınları insanlar tarafından kolayca fark edilmediği için orman altı örtüsünü ve ağaçların köklerini yakarak ormanlara büyük hasarlar vermektedir. Hatta bu yangınlar sonucunda ağaçların kökleri yandığı için ormanın kendini toparlaması diğer yangınlara göre daha zor olmaktadır. Bu şekilde ortaya çıkan yangınlara müdahale geciktiği için risk artmaktadır.

Çalışma sahasında yer alan ormanlar geniş bir alan kaplamalarının yanı sıra bazı yerlerde yollardan ve yerleşim alanlarından oldukça uzakta yer almaktadır. Genellikle yüksek ve engebenin fazla olduğu yerlerde bulunan ormanlarda bu tür yangınları tespit etmek için gözetleme kuleleri yer almaktadır. Kuleler sayesinde yangınlara mücadele de en önemli adımlardan birisi olan erken tespit adımı sağlanarak hasar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle Seferihisar ve Menderes ilçelerindeki ormanları gözetlemek için çalışma alanının yüksek kesimlerine gözetleme kuleleri inşa edilmiştir. Yine de bunların yetersiz kaldığı durumlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin yol ve yerleşmelerden görünen ormanlık alanlarda meydana gelen yangınlar, gözlemleyen insan sayısının çokluğu nedeniyle, daha kolay tespit edilebilmektedir.

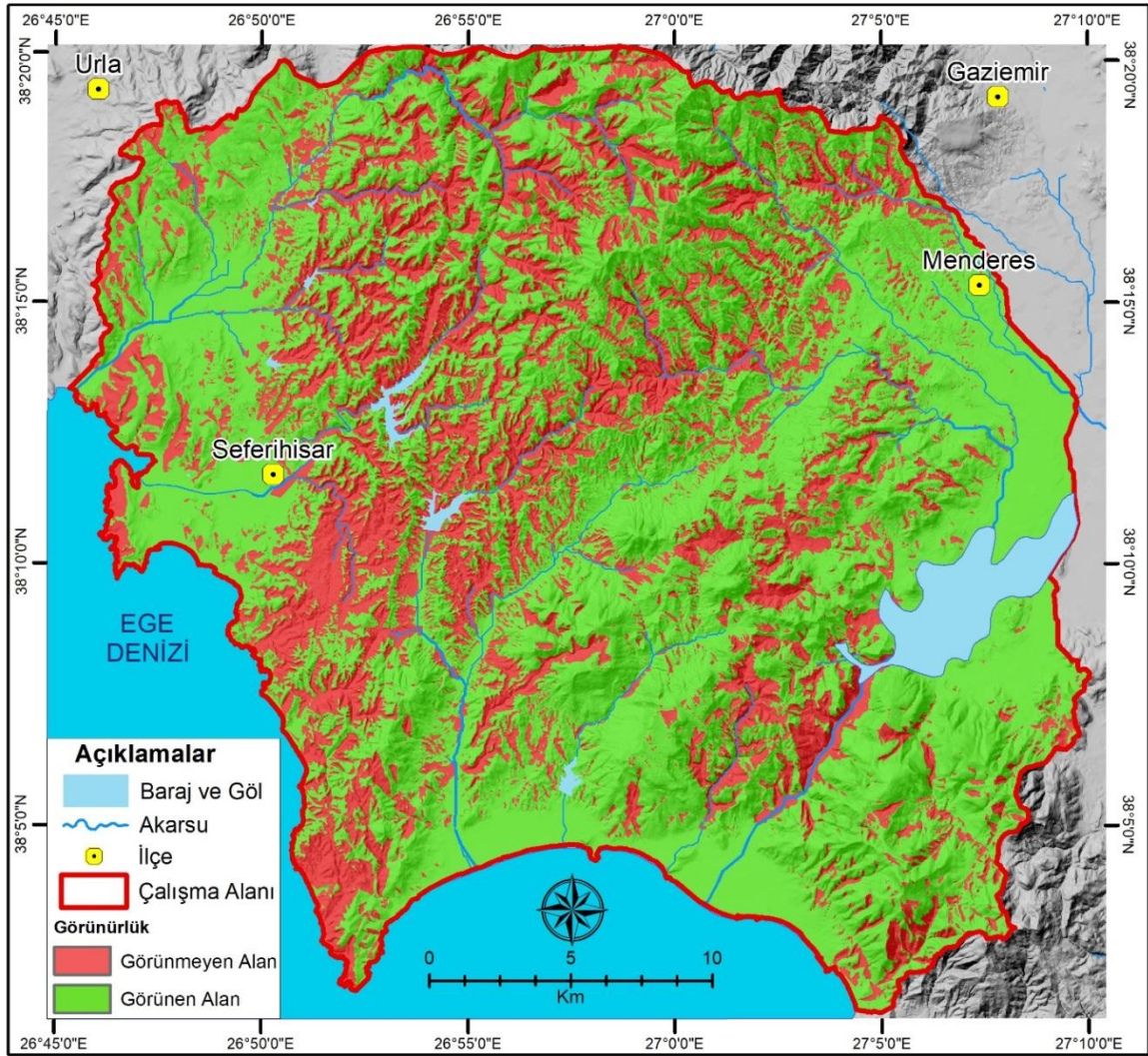
Bu nedenle görünürlük analizi için çalışma alanında yer alan yerleşmeler ve yollar arazinin sayısal yükseklik modeliyle birlikte görünürlük analizlerinde kullanılmıştır. Geofabrik ve Corine üzerinden alınan yerleşim ve yollara göre arazide görünen alanlar ve görünmeyip kör noktada kalan alanlar belirlenmiştir. Bu doğrultuda yollardan ve yerleşmelerden görünen alanlar yangınlarda görünürlük riski bakımından düşük risk sınıfını oluştururken, görünmeyen alanlar ise yüksek risk sınıfını oluşturmaktadır.

3.4.1. Yol Görünürlüğü Riskinin Mekânsal Karakteri

Türkiye'nin 3. büyük şehrinde yer alan ve 44 bin nüfuslu Seferihisar ile 97 bin nüfuslu Menderes ilçelerinin arasında bulunan çalışma alanı yol bakımından zengin bir yapıya sahiptir. Ayrıca Türkiye'nin turizm bölgelerinden biri olmasının yanı sıra diğer turistik bölgelerle olan bağlantısı nedeniyle de sahada birçok yol ağı mevcuttur. Yoğun

yol ağı olsa da çalışma alanında engebeye ve ormanların sıklığına bağlı olarak arazide görünmeyen yani kör noktalar mevcuttur.

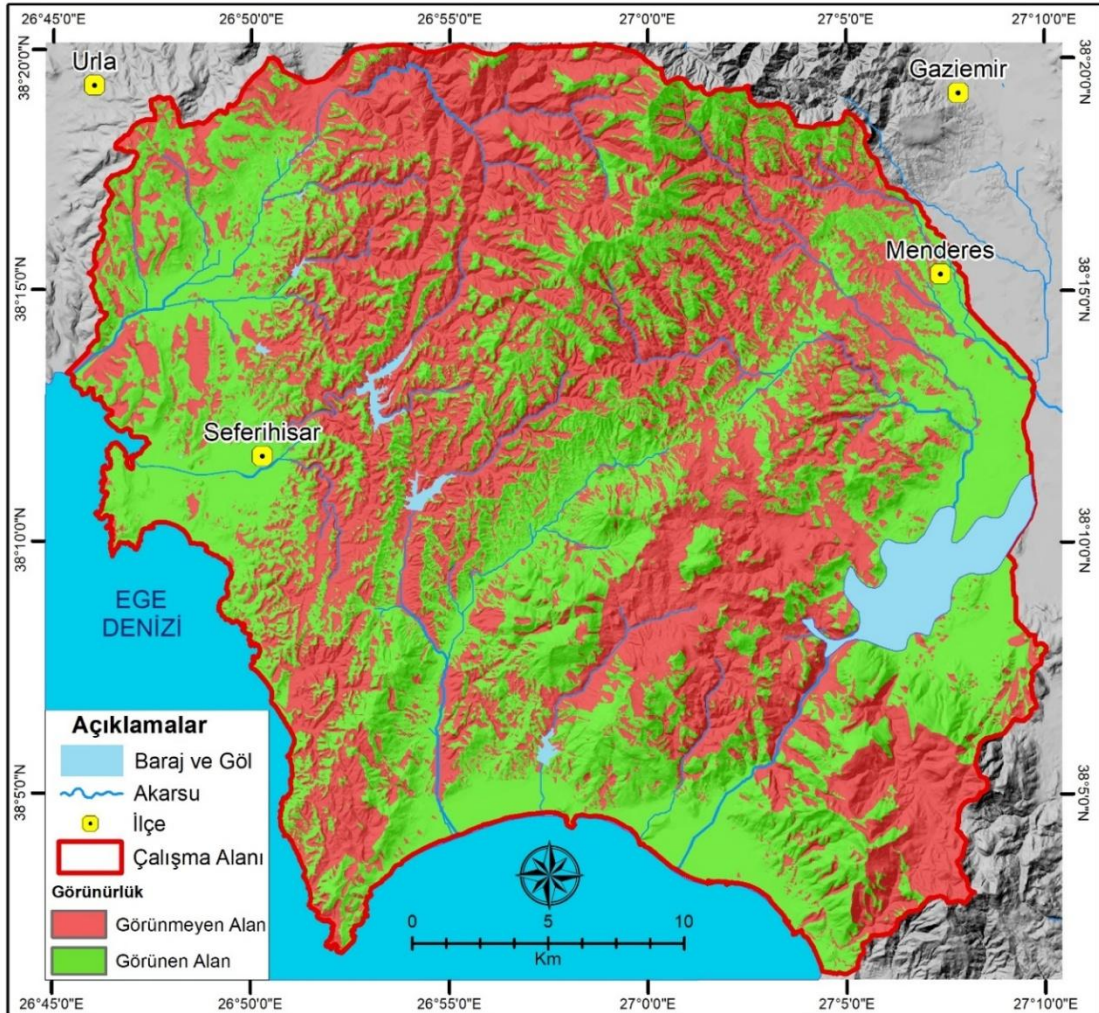
Araziyi oluşturan yollar ve SYM üzerinden yapılan görünürlük analizi ile üretilen harita incelendiğinde sahanın doğu ve batı kesimleri görünürlüğün fazla olduğu, özellikle Seferihisar ilçe merkezinin güneyi ve sahanın orta kesimleri görünürlüğün az olduğu kısımlara denk gelmektedir. Görünürlüğün az olduğu yerler genel olarak engebeyin fazla olduğu, çukurluk alanlar ve ormanların yoğun olduğu alanlara denk gelmektedir (Harita 19).



Harita 19: Çalışma Sahasının Yol Görünürlük Endeksi Haritası.

3.4.2. Yerleşim Görünürlüğü Riskinin Mekânsal Karakteri

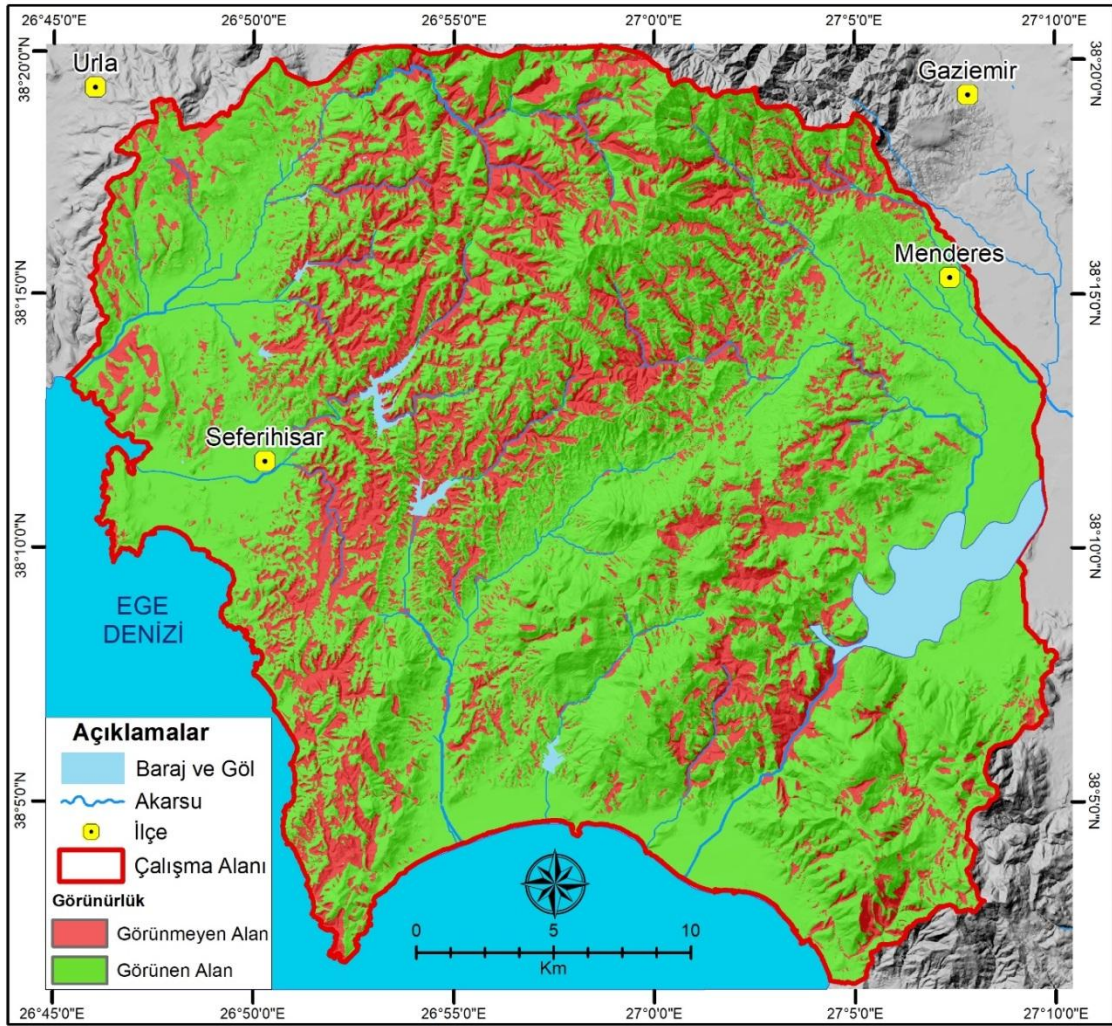
İnsanların en yoğun oldukları ve en fazla vakit geçirdikleri yerleşim alanları orman yangınlarının tespiti için önemli noktaları oluşturmaktadır. Çalışma alanında yer alan yerleşmeler genel olarak sahanın doğu, batı ve kıyı kesimlerinde yer almaktadır. Ayrıca vadi içlerinde de yerleşmeler bulunmaktadır. Bu alanların arazide gördüğü yerler yangın tespitinin daha kolay olduğu alanlardır. Çalışma sahasının K ve GD kesimi ise yerleşmelere göre kör noktalarda kaldığı için yangın tespitinin zor olduğu alanlardır. Sahadaki yerleşmeler ve SYM ile yapılan görünürlük analizi ile üretilen haritada, görünen yerler tespit riskinin düşük olduğu görünmeyen yerler ise tespit riskinin yüksek olduğu yerler olarak sınıflandırılmıştır (Harita 20).



Harita 20: Çalışma Sahasının Yerleşme Görünürlük Endeksi Haritası.

3.4.3. Çalışma Alanının Genel Görünürlük Risk Karakteri

Analiz sonucunda üretilen harita incelendiğinde, çalışma sahasının orta kesiminde K-G yönlü uzanan ve engebenin fazla olduğu alan, görünürlüğü olmadığı yerlerdir. Bu alanda yer alan çukurlar, çanaklar ve vadi gibi topografik şekiller kapalı oldukları için çevrelerinden görünmemektedir. Bu nedenle tespit riskinin fazla olduğu alanlar olarak sınıflandırılmıştır (Harita 21).



Harita 21: Çalışma Alanının Genel Görünürlük Risk Karakteri Haritası.

3.5. Çalışma Alanının Yangına Müdahale Risk karakteri

Orman yangınlarında risk oluşturan bir diğer etmen ise müdahalenin hızı ve kolaylığıdır. Yangınlara ulaşmada bazen topografik engellerden bazen ise arazi kullanım şartlarından dolayı zorluklar çıkmaktadır. Bu da erken müdahaleyi geciktirdiği için

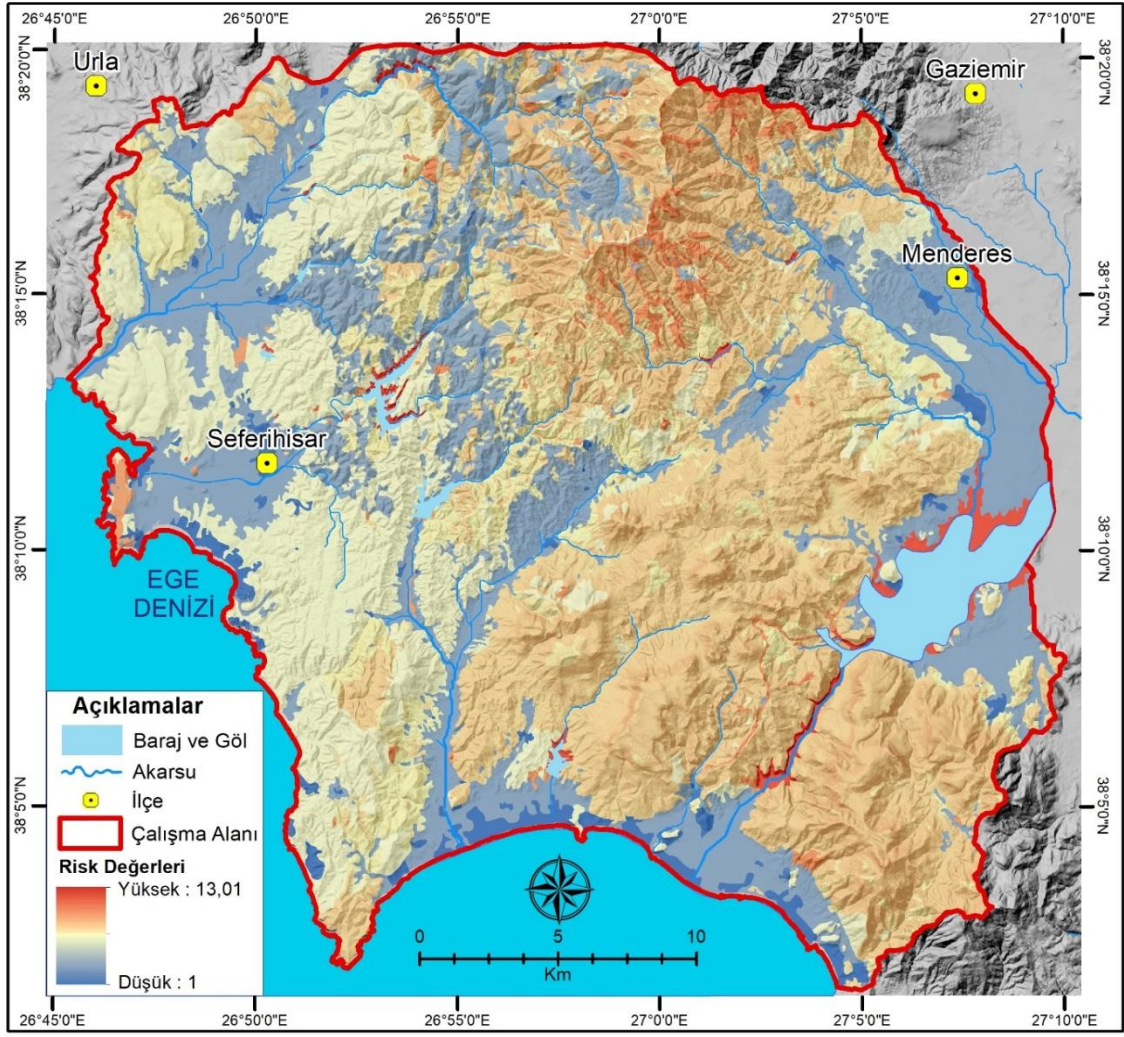
yangınların daha iyi gelişip büyümesine ve güçlenmesine neden olmaktadır. Müdahalenin geciktiği bir yangını kontrol altına almak daha zor olduğu için çevrenin ve insanların gördüğü zararlar büyük oranda artmaktadır. Özellikle engebenin fazla olduğu ve ormanların yoğun olduğu arazilerde yangını söndürmek için kullanılan iş makinalarının hareketleri kısıtlandığı için yangınlar kontrol dışına çıkabilmektedir.

Arazide bulunan dik yamaçlar, uçurumlar, vadiler ve zirveler gibi engebeli topografik yüzeyler ile akarsu ve göller gibi ulaşımı kısıtlayan doğal unsurlar yangınların zamana bağlı büyümesine neden olmaktadır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi yangınla mücadelede en önemli unsurlardan biri olan erken tespit etme durumu, müdahalenin hızına göre şekillenmektedir. Fakat yangınlar erken tespit edilse bile yangına ulaşımın zor olduğu alanlarda müdahalenin gecikmesinden dolayı, bu alanlarda devasa yangınlar oluşabilmektedir. Bu nedenle ulaşılması zor yerlerde meydana gelen yangınlar daha yüksek risk taşımaktadır.

3.5.1. Çalışma Alanının Genel Müdahale Riski Karakteri

Müdahale riski alt modelini oluşturmak için çalışma sahasına ait eğim, yükselti ve arazi örtüsü verileri kullanılmıştır. Topografik olarak eğim değerlerinin ve yükseltinin fazla olduğu yerler riskin en yüksek olduğu alanlardır. Bunun yanında arazi kullanımı bakımından su yüzeyleri ve ormanlar ise risk değerlerinin en yüksek olduğu diğer ünitelerdir.

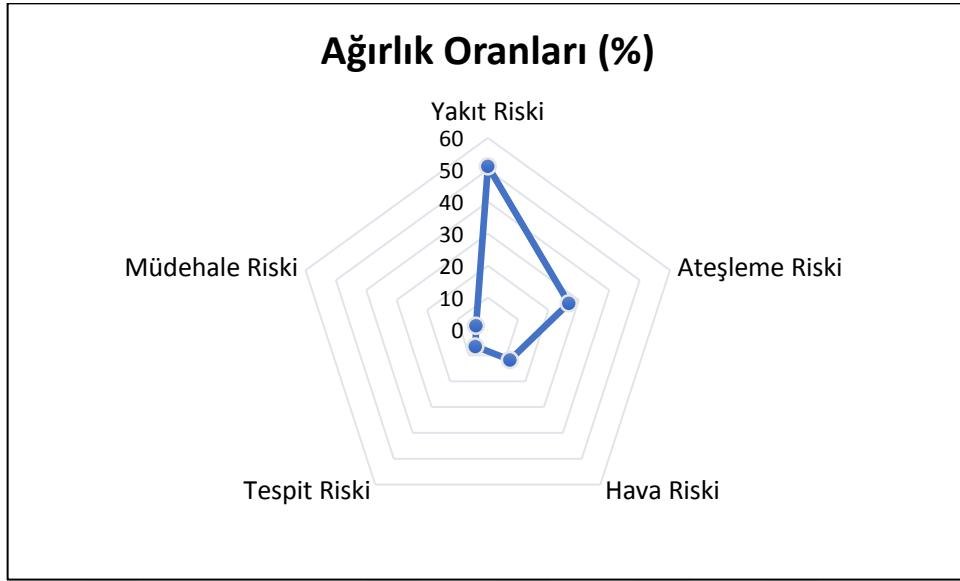
Üretilen harita incelendiğinde yükseltinin ve eğimin fazla olduğu alanlar ile engebeli akarsu vadilerinin bulunduğu alanlar müdahale riskinin yüksek olduğu yerlerdir. Yol ağlarının yoğun ve daha geniş olduğu kıyı kesimi ile ilçe merkezlerinin olduğu alanlar riskin en düşük olduğu yerler olarak gözlemlenmektedir. Çalışma sahasının kuzeydoğusunda bulunan yüksek kesimler aynı zamanda eğimin artması ve yoğun ormanlarla kaplı olması nedeniyle riskin en yüksek olduğu yerlerdir (Harita 22).



Harita 22: Çalışma Alanının Genel Müdahale Riski Karakteri Haritası.

3.6. Çalışma Alanının Orman Yangını Risk Karakteri

Orman yangını risk modeli, yukarıda belirtilen Yakıt, Ateşlenme, Hava, Tespit ve Müdahale alt modellerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Alt modelleri temsil eden çıktı haritaları, arazinin birçok karakteristik özelliğine bağlı olarak oluşturulmuş olup nihai yangın riskini oluşturmak için temel görevi görmüşlerdir. Çeşitli parametrelere göre ve risk değerlerine göre üretilen alt model haritaları, ana model için yöntem bölümünde belirtilen ağırlık derecelerine göre bir araya getirilmiştir. Bu ağırlık dereceleri sırasıyla %51,14 ile Yakıt Riski, %26,70 ile Ateşleme Riski, %11,77 ile Hava Riski, %6,51 ile Tespit Riski ve %3,88 ile Müdahale Riski olarak dağılım göstermektedir (Grafik 2).

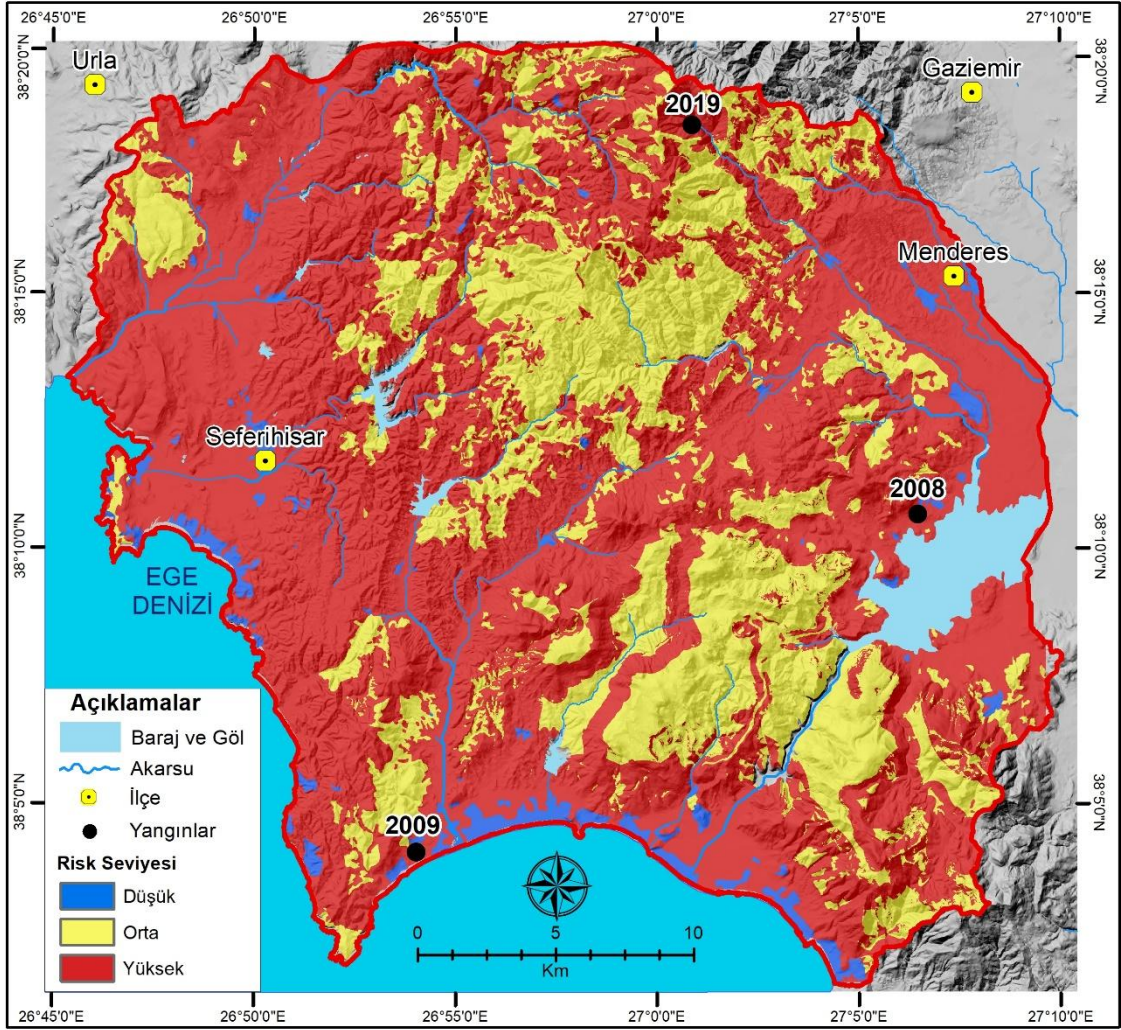


Grafik 2: Orman Yangını Risk Modelini Oluşturan Alt Modellerin Ağırlık Yüzdeleri.

Yapılan tüm işlemler sonucunda elde edilen çalışma sahasının yangın riski haritası, üç sınıf olarak eşit aralıklara göre risklendirilmiştir. Harita 23'teki renklendirme, kırmızı (yüksek risk), sarı (orta risk) ve mavi (düşük risk) olarak lejant halinde sunulmuştur. Harita 23 incelendiğinde alanın büyük çoğunluğunda riskin yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Riskin yüksek olduğu (kırmızı renk) kesimler, yüksekliği az olan alanların neredeyse tamamını kaplıyor iken, yükseltinin fazla olduğu yerlerde de önemli bir miktarda alan kaplamıştır. Özellikle yükseltinin az olduğu kesimlerde riskin fazla çıkmasının sebebi hemen hemen bütün alt modellerde o kesimlerin risk değerinin yüksek olmasıdır. Örneğin yakıt bakımından en riskli sınıf olan doğal otlakların bu alanlarda yer alması, ortalama sıcaklığın bu alanlarda daha fazla olması ve yerleşmeler ile ulaşım ağlarının bu alanlarda daha yoğun olması yangın riskini yükselten etkenlerdir. Risk değerinin orta olduğu sarı renk ile gösterilen kesimler ise, insan faaliyetlerinden uzak olan, sıcaklığın fazla, yağışın az olduğu, ormanların sıklaştığı alanlardır. Özellikle karışık ormanların olduğu alanlar ve savanlarla karışık olan ağaçlık alanların neredeyse tamamı risk derecesi orta seviyede olan yerlerdir. Yangın riski modeli sahada yangınların oluşabileceği ve gelişebilme ihtimalinin daha yüksek olduğu alanları gösterdiği için bu alanlar orta derecede riske sahiptir. Bu durum orta riskli alanlarda veya düşük riskli alanlarda yangınların daha küçük veya zararsız olacağı anlamına gelmemektedir. Modelde karışık ormanların ve kızılçamların önemli bir bölümünün yer aldığı kesimlerin orta derecede riskli elde edilmesinin sebebi; yağışın fazla, sıcaklık ile radyasyonun az

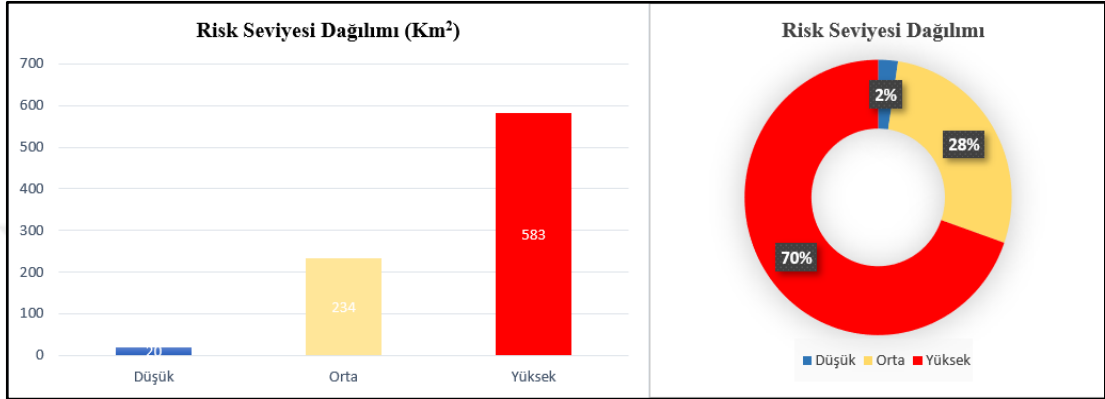
olması ve ulaşım ağları gibi insan etkinliklerinin bu bölgelerde olmamasından kaynaklanmaktadır. Bir diğer etken ise karışık ormanların yangınlara karşı daha dirençli olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum yangınların yayılım ve davranış özellikleriyle ilişkili olup simülasyon kısmında ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Örneğin 2019 yılında meydana gelen yangın, riskin yüksek olduğu bir alandan başlayarak orta derece risk özelliğine sahip yoğun ormanlık alana ilerleyerek devasa bir yangına dönüşmüştür.

Düşük risk değerine sahip alanlar ise yerleşmelere bağlı olarak yapıların yer aldığı kesimler ve açık yüzeyleri kapsamaktadır. Bu alanların dağılımı ise genel olarak kıyıya paralel uzanmaktadır. Ayrıca sahada 2008, 2009 ve 2019 yılında meydana gelen yangınların başlangıç noktalarına bakıldığında, bunların tamamının risk değerinin yüksek olduğu yerlerde oluştuğu gözlemlenmektedir. Bir diğer husus bu yangınlardan 2008 ve 2009 yılında gerçekleşen yangınların yerleşim birimlerine olan yakınlığıdır (Harita 23).



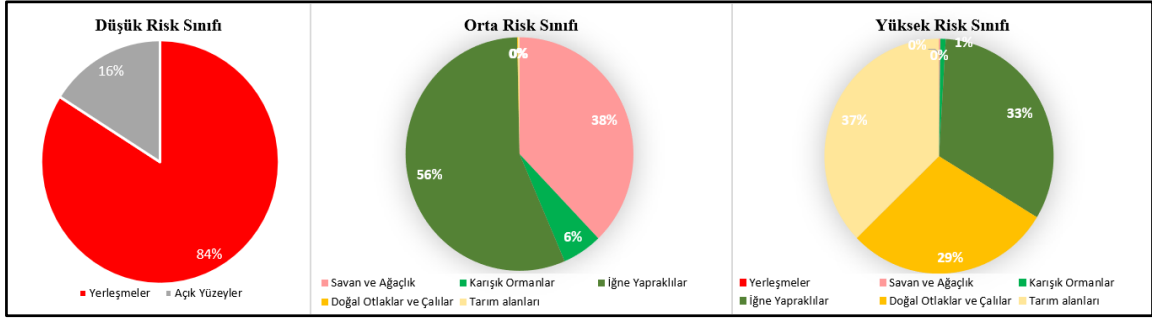
Harita 23: Çalışma Alanının Orman Yangını Risk Karakteri Haritası.

Üç sınıfa ayrılan risk değerlerinin alansal dağılımına bakıldığında %70 oranla ve 583 km² ile yüksek risk sınıfına giren yerler en fazla alan kaplamaktadır. Bu durum çalışma sahasının yangına ne kadar hassas olduğunu ve genel olarak riskli bir alan olduğu göstermektedir. Orta derece riske sahip alanlar ise %28 oranla ve 234 km² ile geniş bir alan kaplamaktadır. Düşük risk sınıfa sahip yerler ise %2'lik bir oranla ve 20 km² ile en az alan kaplayan sınıftır.



Grafik 3: Çalışma Sahasının Orman Yangını Risk Karakteri Seviyelerinin Dağılımı.

Alt modellerin belirli ağırlık değeriyle bir araya getirilmesiyle oluşturulan orman yangını risk karakteri haritasında, en yüksek orana sahip yakıt alt modeli risk seviyelerini şekillerinden en önemli etmendir. Bu nedenle risk seviyelerinin kapladıkları alanlarda hangi yakıt türlerinin yer aldığı hesaplanmıştır. Düşük riske sahip alanlarda yüzeyin %84'ü yerleşmeler ile kaplıyken, %16'sı açık yüzeyler ve kayalıklarla kaplıdır. Orta riske sahip yüzeylerin peyzaj özelliklerine bakıldığında sırasıyla en fazla alanı %56 ile iğne yapraklılar, %38 ile savan ve ağaçlık alanlar, %6 ile karışık ormanlar kaplamaktadır. Yüksek riske sahip yüzeyler ise %37 ile tarım alanları, %33 ile iğne yapraklılar, %29 ile doğal otlaklarla kaplıdır.



Grafik 4: Çalışma Sahasında Orman Yangını Risk Seviyelerinin Yakıt ve Peyzaj Grupları Üzerindeki Dağılımı.

Çalışmada orman yangını risk modelinin oluşturulmasındaki amaç, hem sahanın yangın riski durumunu ortaya koymak hem de simülasyon için bir altlık olarak kullanılmaktadır. Risk yönetimi analizlerinde karar vericiler Harita 23 sayesinde riskli bölgeleri tespit ederek bu alanlarda değişkenler üzerinden sayısız yangın simülasyonları elde edebilirler. Böylece hazırlanan bu model sayesinde çalışma sahasında yangınlar meydana gelmeden önce birçok anahtar fikir elde edebilmektedirler. Bu fikirler doğrultusunda yangınların davranışları ve hareketleri belirlenerek daha uygun müdahalelerle, daha hazırlıklı olunması beklenmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. YANGIN SİMÜLASYONU BULGULARI

Bu bölümde çalışma sahasında 2019 yılının ağustos ayında meydana gelen Tınazlı Yangınının, yangından önceki çevre şartları ve yakıt özelliklerine göre FlamMap yazılımı üzerinden simülasyonu ele alınmıştır. Simülasyon sonucu çıkan yangın alanı ve yayılma özellikleri ile Tınazlı Yangınının özellikleri karşılaştırılarak, orman yangınlarında simülasyonların doğruluğu incelenmiştir. Bu doğrultuda çalışma sahasına ait eğim, bakı ve yükselti gibi topografik parametreler ile yakıt durumu, kanopi durumu, kanopi yüksekliği, kanopi yoğunluğu ve kanopi başlangıç yüksekliği oluşturulmuştur. Bunlara ek olarak sahanın yangın sırasına ait hava durumu değerleri, rüzgâr yönü ile hızı ve yakıtların nem özellikleri gibi parametreler de modelde yer almıştır. Ayrıca simülasyonda da yangın gerçek başlangıç noktasından başlatılmıştır (Fotoğraf 8). Tüm bu parametlerin kombinasyonu ile 2019 yangını tekrar canlandırılmıştır.



Foto 8: 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının Başlangıcından 15 dakika sonra (OGM).

4.1. Çalışma Sahasının Topografik Karakteri

Simülasyon modeli için arazinin eğim, bakı ve yükselti özellikleri sırasıyla derece, açı ve metrik olarak ele alınmıştır. Bu parametrelerin orman yangınlarının gelişimini ve yayılımında en etkili faktörlerden olduğu önceki bölümlerde açıklanmıştır. Çalışma sahasının bu karakteristik yapıları önceki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alındığı için bu bölümde bulgular üzerinden açıklanmıştır.

4.2. Çalışma Sahasının Yakıt Karakteri

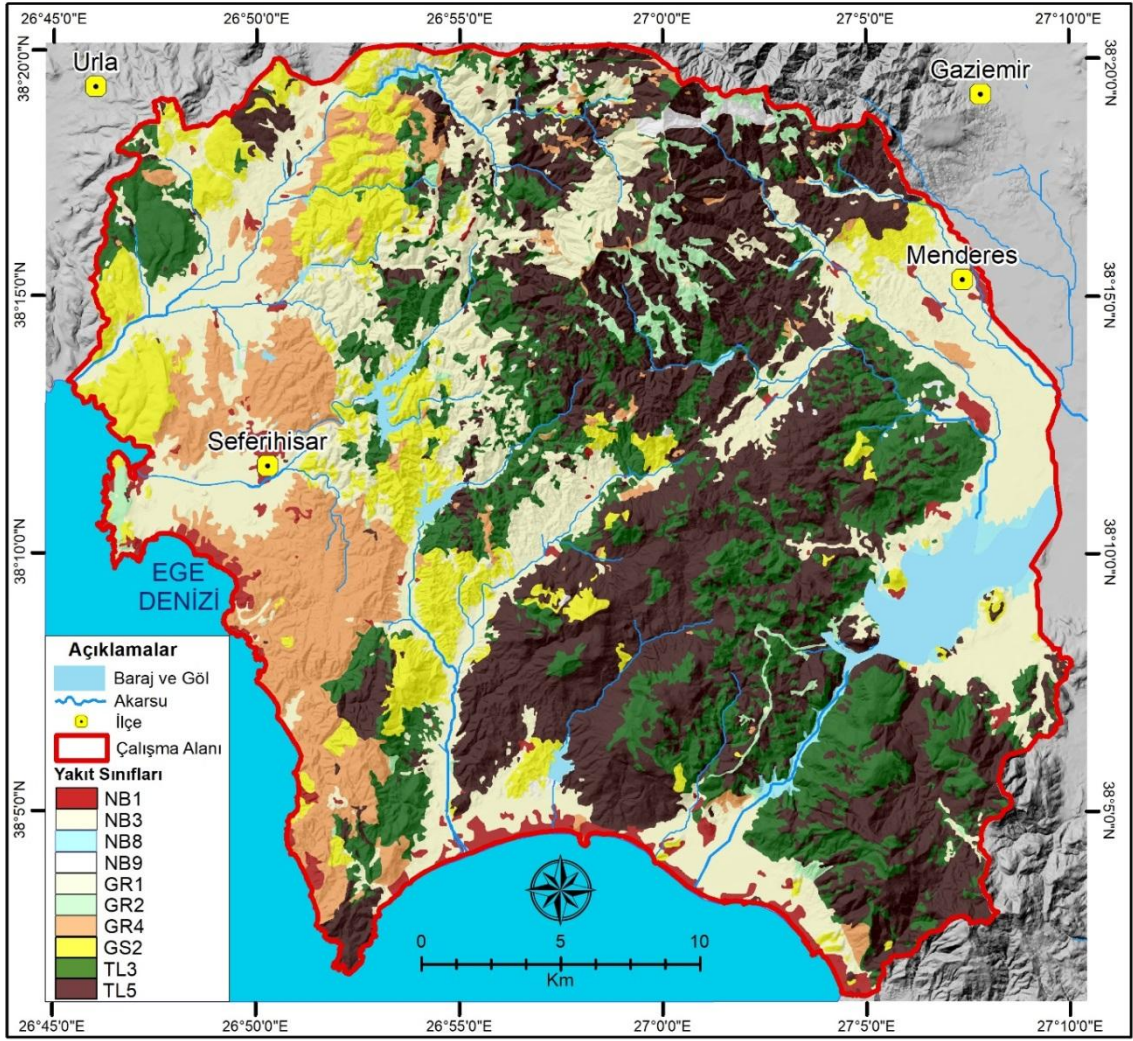
Genel olarak ot, çalı ve orman olmak üzere üç formasyondan oluşan bitkiler yangınlara farklı şekillerde tepki vermekte ve etkilenmektedir. Bu nedenle bu formasyonların homojen veya heterojen olarak bulunduğu alanlar yangınların yayılma ve alev özelliklerine göre farklı gruplara ayrılmıştır. Bu çalışmada yakıt özelliklerinin yangınlar karşısındaki durumu Scott ve Burgan (2005)'in hazırlamış oldukları “Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model” adlı deneysel çalışmadan belirlenmiştir. Çalışmada araştırmacılar yakıtları, ana formasyonlarına, iklim tiplerine, yoğunluklarına, yükselti ve yaprak özelliklerine göre gruplandırmışlardır. Yedi gruptan oluşan yakıt türleri İngilizce isimlerinin baş harflerine göre kodlanmıştır. Kısacası NB (Nonburnable Fuel Type Models) kodu ile başlayan alanlar yanmayan alanları, GR (Grass Fuel Type Models) ile başlayan alanlar otlakları, GS (Grass-Shrub Fuel Type Models) ile başlayanlar otlak ve çalı karışımını, SH (Shrub Fuel Type Models) ile başlayanlar çalı tiplerini, TU (Timber-Understory Fuel Type Models) ile ağaçlar ve ağaç altı örtü karmaşığını, TL (Timber Litter Fuel Type Models) ile başlayanlar orman yakıtlarını ve son olarak SB (Slash-Blowdown Fuel Type Models) ile başlayan yakıtlar kesilmiş zarar görmüş bitkisel alanları ifade etmektedir. Örneğin çalışma sahasında yer alan kızılçamlar, yakıt yoğunluklarına ve diğer özelliklerine göre TL3 ve TL5 sınıfında yer almaktadır. Sınıflandırmalarla ilgili ayrıntılı bilgi Ek A'da sunulmuştur.

Çalışma sahasında yer alan yakıtlara ve ait oldukları sınıflara ait örnekler Fotoğraf 9 üzerinden gösterilmiştir.



Foto 9: Çalışma Sahasında Kullanılan Yakıt Modeline Göre, Peyzajların Ait Olduğu Sınıflara Örnekler.

Çalışma sahasının yakıt karakterleri Scott ve Burgan (2005)'nin standart değerlerine göre oluşturulup, simülasyonda altlık olarak kullanılmak için sahanın yakıt özelliklerine göre 10 sınıf olmak üzere haritalandırılmıştır. Oluşturulan harita incelendiğinde yakıt yükünün fazla olduğu kozalaklı iğne yapraklı sınıf olan TL5, yakıt yükünün orta seviyede olduğu kozalaklı iğne yapraklı TL3, yakıt yükünün orta seviye olduğu otlaklar ve tarım alanları olan NB3 sınıfı arazide en fazla alan kaplayan sınıflarıdır (Harita 24). Sahada yer alan yakıt özellikleri kuru iklim şartları altında oluştukları için bazı özellikleri birbirleriyle aynıdır ve genel olarak bütün sınıfların yayılma oranları ve alev yükseklikleri düşüktür. Bu oranlar araştırmacılar tarafından iklim, çevre şartları ve yakıt özellikleri dikkate alınarak meydana gelmiş önceki yangınlar ve deneyler sonucunda üretilmiştir.



Harita 24: Çalışma Sahasının Yakıt Modeli Haritası. NB1: Yerleşme; NB3: Tarım; NB8: Su Yüzeyi; NB9: Açık Yüzey; GR1: Kısa Kuru Otlar; GR2: Düşük Yükte Kuru Otlar; GR4: Orta Yükte Kuru Otlar; GS2: Orta Yükte Kuru Ot ve Çalılar; TL3: Orta Yükte Kozalaklı Ağaçlar; TL5: Yüksek Yükte Kozalaklı Ağaçlar.

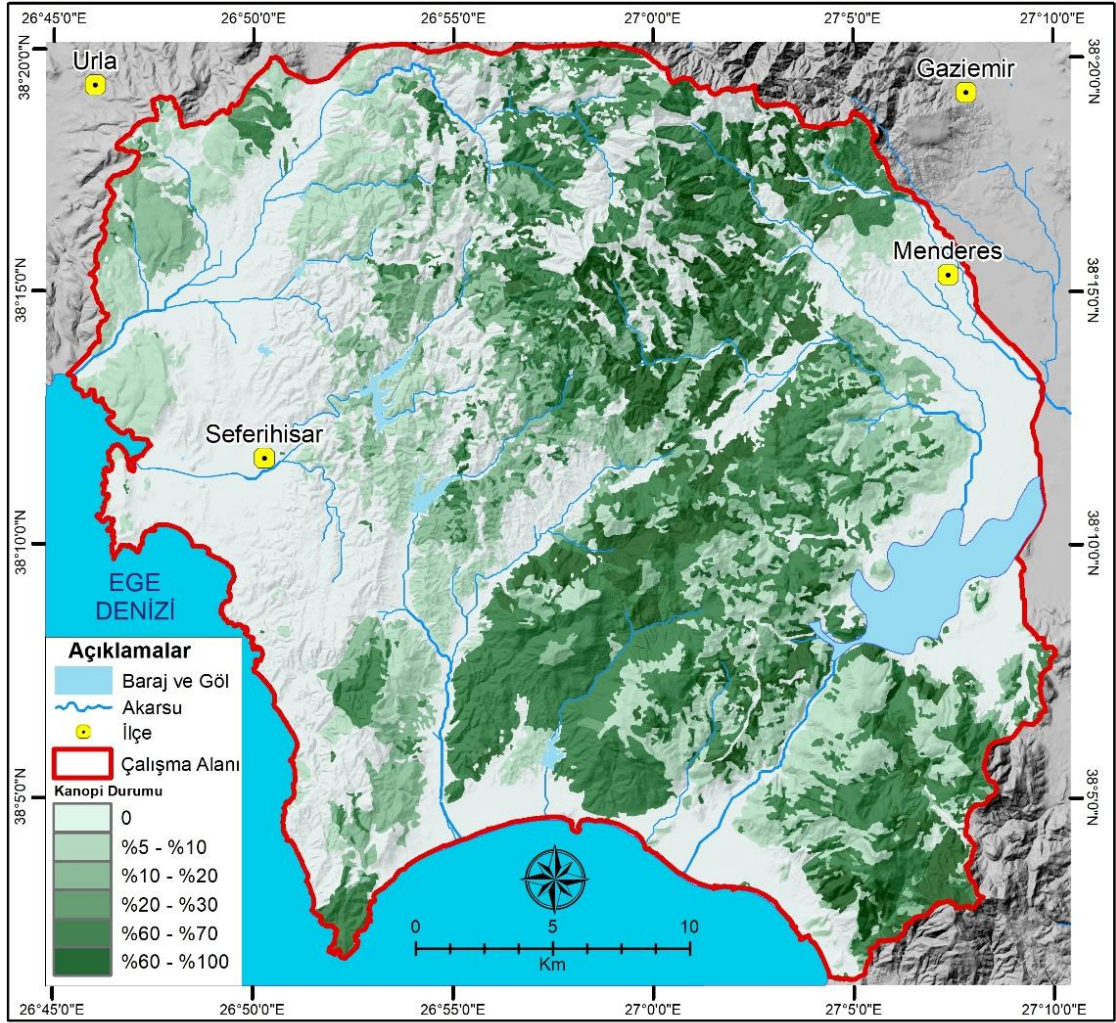
4.3. Çalışma Sahasının Orman Kanopi Durumu

Yakıt türlerinden ormanlar kanopi yani örtü durumlarına göre yangınlardan farklı oranlarda etkilenmektedir. Ayrıca bu özelliğe göre orman yangınlarının yayılma ve davranış durumları önemli ölçüde değişmektedir. Kapalılık durumunu ifade eden bu parametre simülasyon yazılımında yangının yayılımını ve diğer özelliklerini doğru bir yansıtabilmesi için gerekli olan önemli girdilerden biridir. Bu nedenle çalışma sahasında yer alan ormanların kapalılık durumu, OGM tarafından hazırlanan meşcerelerden ve LANDFIRE standart değerlerinden yararlanılarak üretilmiştir. Çalışma alanında yer alan ormanlara ait kanopi durumuna örnek, Fotoğraf 10'da gösterilmiştir.



Foto 10: Çalışma Sahasında Orman Kanopi Durumu Örneği.

Simülasyonda girdi olarak kullanılmak amacıyla üretilen kanopi durumu incelendiğinde, değerlerin sahada heterojen bir dağılım içinde oldukları gözlemlenmektedir. Genel olarak ormanların yarısından fazlasında kapalılık durumu %50'nin üzerindedir. Kanopi durumu ormanların olmadığı alanlarda %0 olarak gösterilmektedir (Harita 25).



Harita 25: Çalışma Sahasının Orman Kanopi Durumu Haritası.

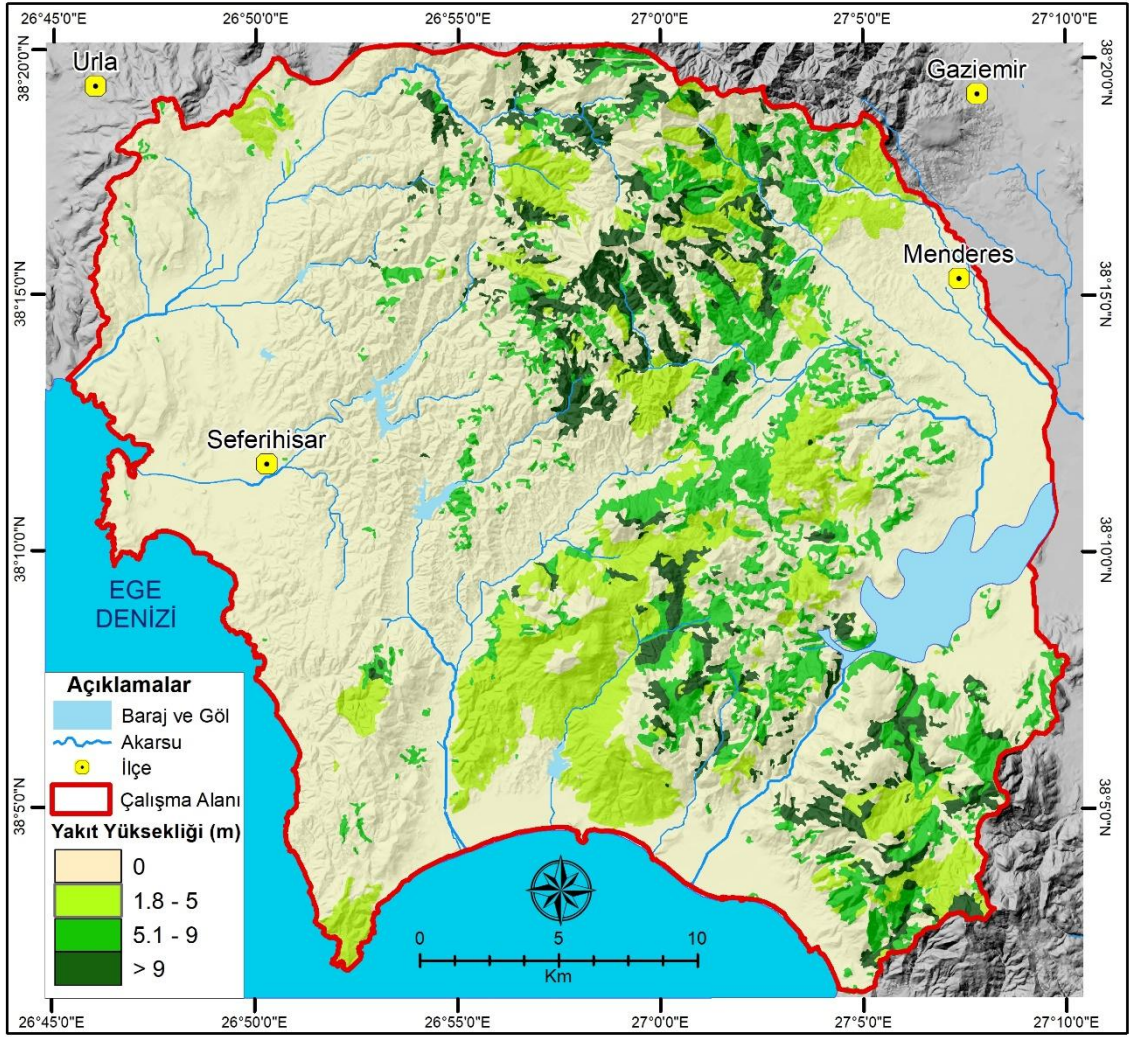
4.4. Çalışma Sahasının Orman Kanopi Yüksekliği

Orman yangınlarında, yangınların davranışlarını ve yayılma özelliklerini etkileyen önemli özelliklerden bir tanesi de kanopinin tepe yüksekliğidir. Alevlerin uzunluğunu ve sıçrama değerlerini etkileyen kanopi yükseltisi orman yangınların karakterini etkileyen temel fonksiyonlardan bir tanesidir. Yakıtın kanopi yükseltisi taç yangınlarını belirleyen önemli bir etken olmasının yanı sıra, çevresindeki yakıtların ısınma ve tutuşma oranını da etkilemektedir (Fotoğraf 11). Örneğin kızılçam gibi kozalıklı ağaç türleri yanmaya başladıkları zaman ısınan veya yanan kozalaklarını çevrelerine fırlatmaktadır. Kanopinin yükseltisine bağlı olarak çevreye saçılan yanan parçalar daha da uzaklara giderek yangının yayılımını hızlandırmaktadır.



Foto 11: Çalışma Sahasında Orman Kanopi Yükseliği Örneği.

Çalışma sahasındaki yangını daha doğru simüle etmek için mescere verileri ve LANDFIRE değerleri kullanılarak kanopi yüksekliği haritası üretilmiştir. Bu harita yazılımın önemli girdilerinden birini oluşturmaktadır. Harita 26 incelendiğinde, çalışma sahasında ormanların kanopi yükseklikleri heterojen bir dağılım göstermektedir. Kanopi yükseltisinin en fazla olduğu yerler, genel olarak yükselti ve eğimin fazla olduğu, insanlardan korunmuş ormanlık alanlardır. Çalışma sahasının güneyinde yer alan daha genç ormanlarda kanopi yükseltisi düşüktür.



Harita 26: Çalışma Sahasının Orman Kanopi Yüksekliği Haritası.

4.5. Çalışma Sahasının Orman Taç Taban Yüksekliği

Orman yangınlarının davranışlarını ve yayılma durumlarını etkileyen önemli parametrelerden birisi de taç taban yüksekliğidir. Yangınların yüzeyden ağaçların taç kısmına yani örtü kısmına geçmesini belirleyen durum bu parametre sayesinde belirlenmektedir (Fotoğraf 12). Ağaçların taç kısımları düşük seviyelerden başlıyorsa, yangınlar taç kısımlarına daha çabuk ulaşır, yanma hızını arttırmaktadır. Fakat taç kısımları yüksek seviyelerden başlıyorsa, yangınların bu kısımlara ulaşması daha zor olacağından yayılma hızı düşecektir. Ağaç örtülerinin kalın gövdelere oranla daha kolay tutuşması ve alevlere karşı daha dayanaksız olması bu durumu belirleyen unsurdur. Aynı ağaç türlerinde bile ağaçların yaşına ve yetiştirme ortamlarına bağlı olarak değişen bu unsur, yangınların doğru simüle edilmesi için gereken katmanlardan birisidir.

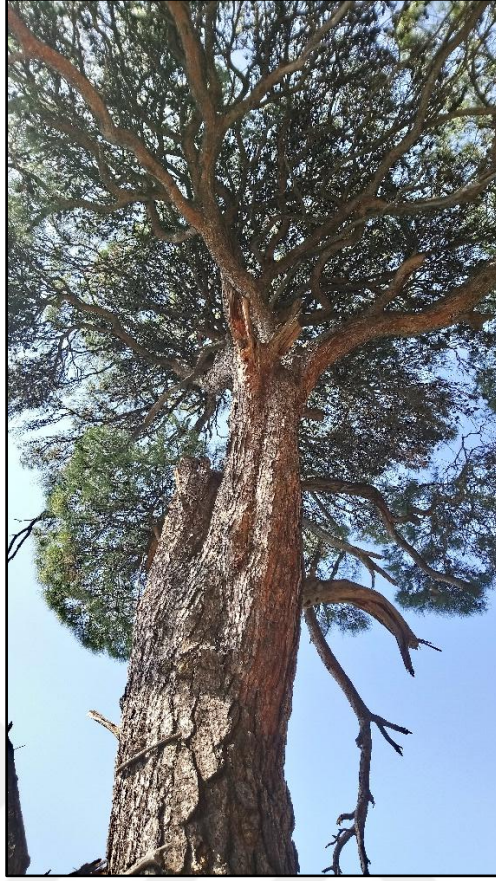
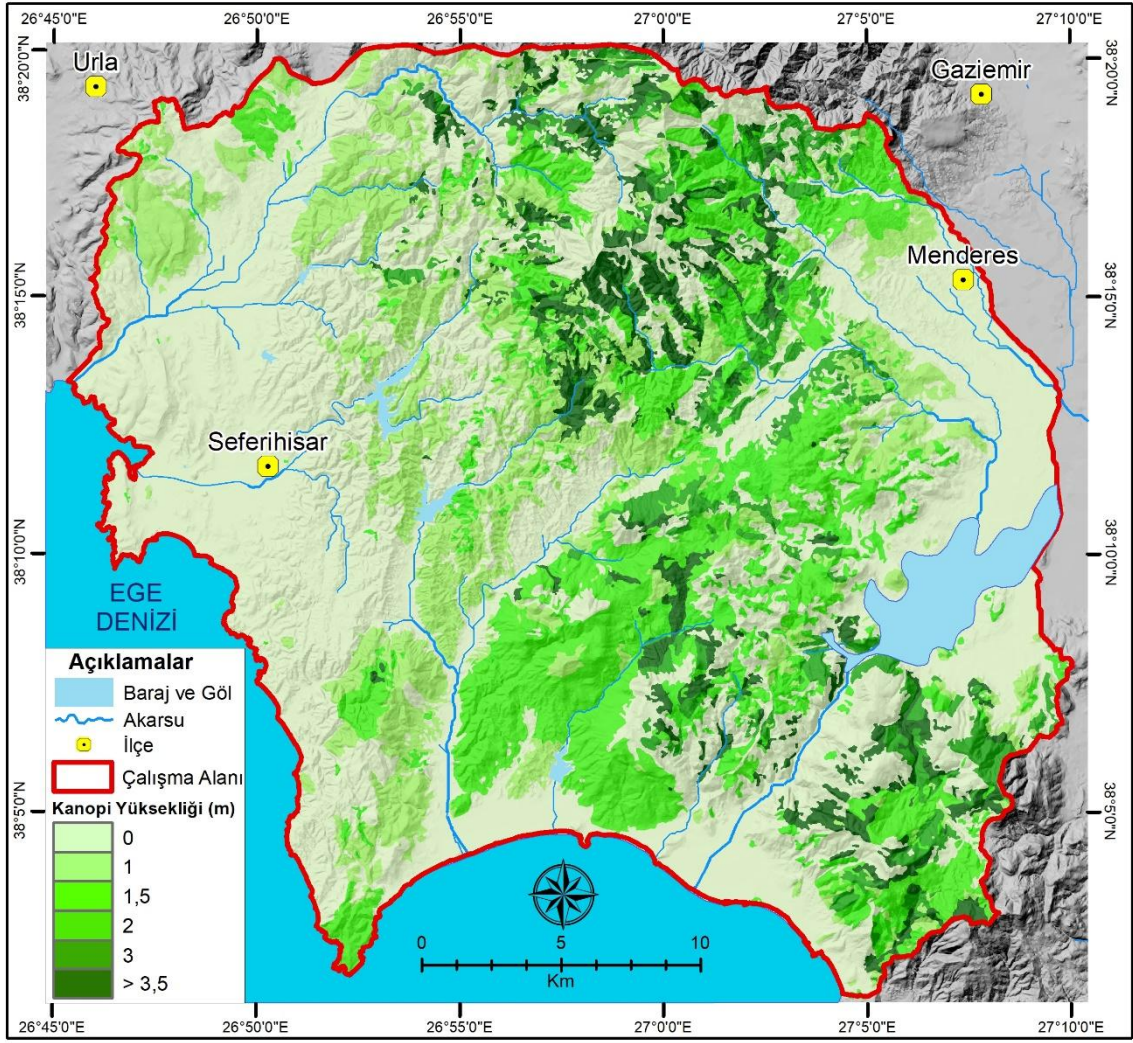


Foto 12: Çalışma Sahasında Orman Taç Taban Yüksekliği Örneği.

Çalışma sahasında 2019 Ağustos yangınına daha iyi simüle edebilmek için, arazideki ormanların taç taban yükseklikleri de haritalandırılmıştır. Analizin önemli bir parametresi olan bu katman OGM mescere verilerinden ve LANDFIRE değerlerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Harita 27 incelendiğinde taç taban yüksekliğin en fazla olduğu alanlar, genel olarak insan faaliyetlerinden uzak, eğimin, yükseltinin ve buna bağlı olarak engebenin fazla olduğu yerlerde büyüyen yetişkin ağaçların bulunduğu alanlardır.



Harita 27: Çalışma Sahasının Orman Taç Taban Yüksekliği Haritası.

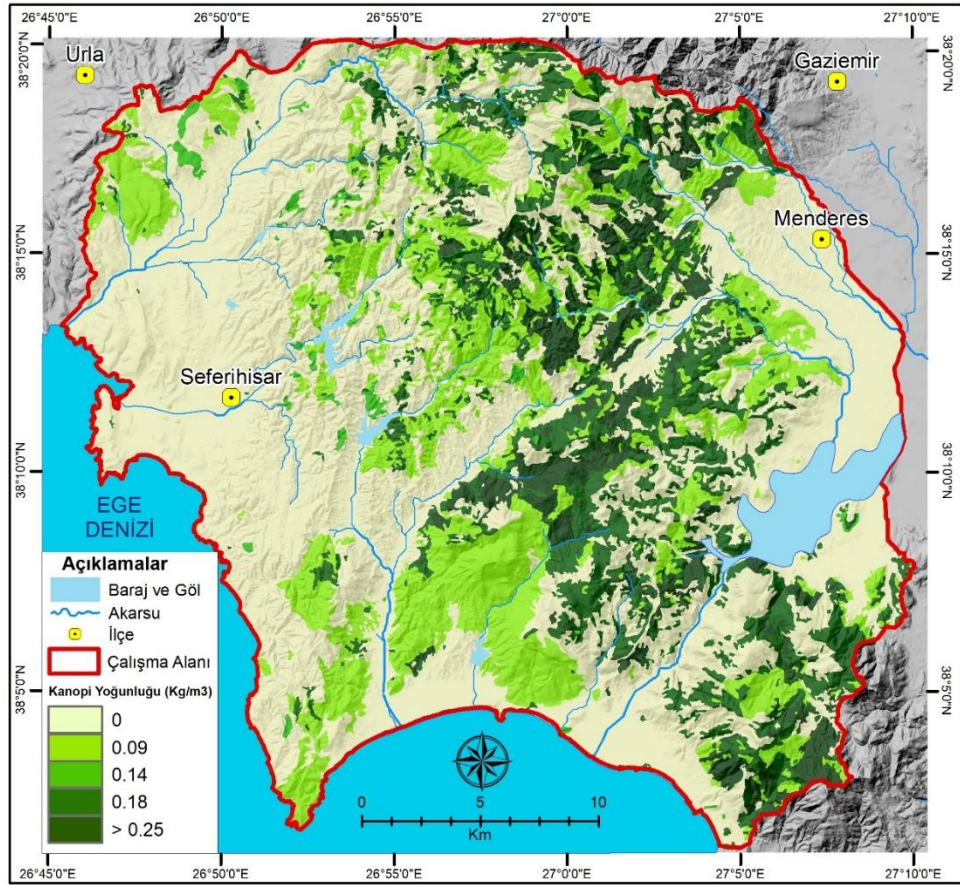
4.6. Çalışma Sahasının Orman Kanopi-Taç Yoğunluğu

Orman yangınlarında yakıtların hacmini ve bir yandan da yakacak durumunu etkileyen taç yoğunluğu, yangınların davranışlarını ve hareketlerini etkileyen önemli unsurlardandır. Taç yoğunluğuna bağlı olarak alev özellikleri değişmekte ve yangının yayılma hızında ve şiddetinde farklılıklar meydana gelmektedir (Fotoğraf 13). Örneğin yoğunluğun artmasına bağlı olarak artan yakıt miktarı ile alevler daha da kuvvetlenerek yükseklikleri artmaktadır. Bunun sonucu olarak sıçrama ve yayılma durumları hızlanmaktadır.



Foto 13: Çalışma Sahasında Orman Kanopi Yoğunluğu Örneği.

Çalışma sahasında meydana gelen orman yangınına daha iyi simüle etmek için taç yoğunluğu durumu, yazılımda girdi olarak kullanılması için haritalandırılmıştır. Harita 29 incelediğinde taç yoğunluğu durumu heterojen bir dağılım göstermektedir.



Harita 28: Çalışma Sahasının Orman Kanopi-Taç Yoğunluğu Haritası.

4.7. 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının Simülasyon Analizi

Çalışma alanında meydana gelen 2019 Tınazlı Yangınının gerçekleşmesi sırasındaki araziye ait gerçek yüzey, çevre, peyzaj ve hava şartları parametreleri kullanılarak, sahaya ait yangın simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon analizi için gerekli olan yüzey veya peyzaj verileri olan eğim, bakı, yükselti, yakıt, kanopi durumu, kanopi yükseltisi, örtü yoğunluğu ve taç taban yüksekliği katmanları 10 m çözünürlükte hazırlanmış olup, gerekli işlemlere tabi tutulmuşlardır. Bunların yanı sıra yangının başlangıcından, kontrol altına alındığı sürece kadar olan mevcut hava koşulları değerleri de analizde zorunlu girdiler olarak kullanılmıştır.

Yangın sırasındaki rüzgâr yönü ve hızı MGM' den saatlik ölçekte alınarak günlere göre ortalama değerler hesaplanmıştır. Buna göre yangın sırasındaki rüzgarlar K-KD yönlü olup hızları saatte ortalama 60-80 km'dir. Yine yangın sırasındaki sıcaklık ve nem değerleri de MGM' den saatlik ölçekte alınarak günlük ortalamalar halinde analizde kullanılmıştır. Bunların yanı sıra analiz için gerekli en önemli girdilerden bir tanesi olan yakıt nemi değerleri literatürden yararlanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu veriler FlamMap ve ArcGIS ASCII formatına çevrilerek analize uygun hale getirilmiştir.

Yangını doğru simüle etmek için gereken verilerden bir tanesi olan yangının başlangıç noktası, OGM İzmir Karşıyaka Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır (Fotoğraf 8). Ayrıca simülasyon için zorunlu verilerden bir tanesi olan yangının süresi de OGM'den alınmıştır. Yangının 75-80 saat sürdükten sonra kontrol altına alınabildiği ve soğutma işleminin ise yaklaşık bir ay sürdüğü öğrenilmiştir. Bu veriler ışığında yangın başlangıç anından itibaren toplamda yaklaşık 5 bin dakika olarak simüle edilmiştir. Son olarak da önceki bölümlerde bahsedilen ve literatürden alınan yakıt modelleri ile kızılcamlara ait ateş sıçrama oranları da simülasyonda girdi olarak kullanılmıştır.

Son olarak Tınazlı Yangının gerçekte etkili olduğu alan yani gerçekte yanmış olan alan sınırları MODIS görüntüleri üzerinden ve OGM İzmir Karşıyaka Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınan veriler doğrultusunda üretilmiştir. Bu veri sayesinde gerçekte yanan alanlar ile simülasyon sonucu yanan alanlar karşılaştırılabilmiştir.

Simülasyonun başlangıcında yangın süresince mevcut hava şartları bütün zamanın ortalaması olarak ele alınmıştır. Fakat bu şekilde simüle yangın ile gerçek yangın arasındaki tutarlılık oranı %90 olarak elde edilmiştir. İstenilen sonuca bu şekilde ulaşamayınca rüzgâr ve hava şartları verileri gridler şeklinde günlük ortalamaya göre hesaplanmıştır. Ayrıca yakıt katmanı gibi ormana ait tüm parametreler tekrar gözden

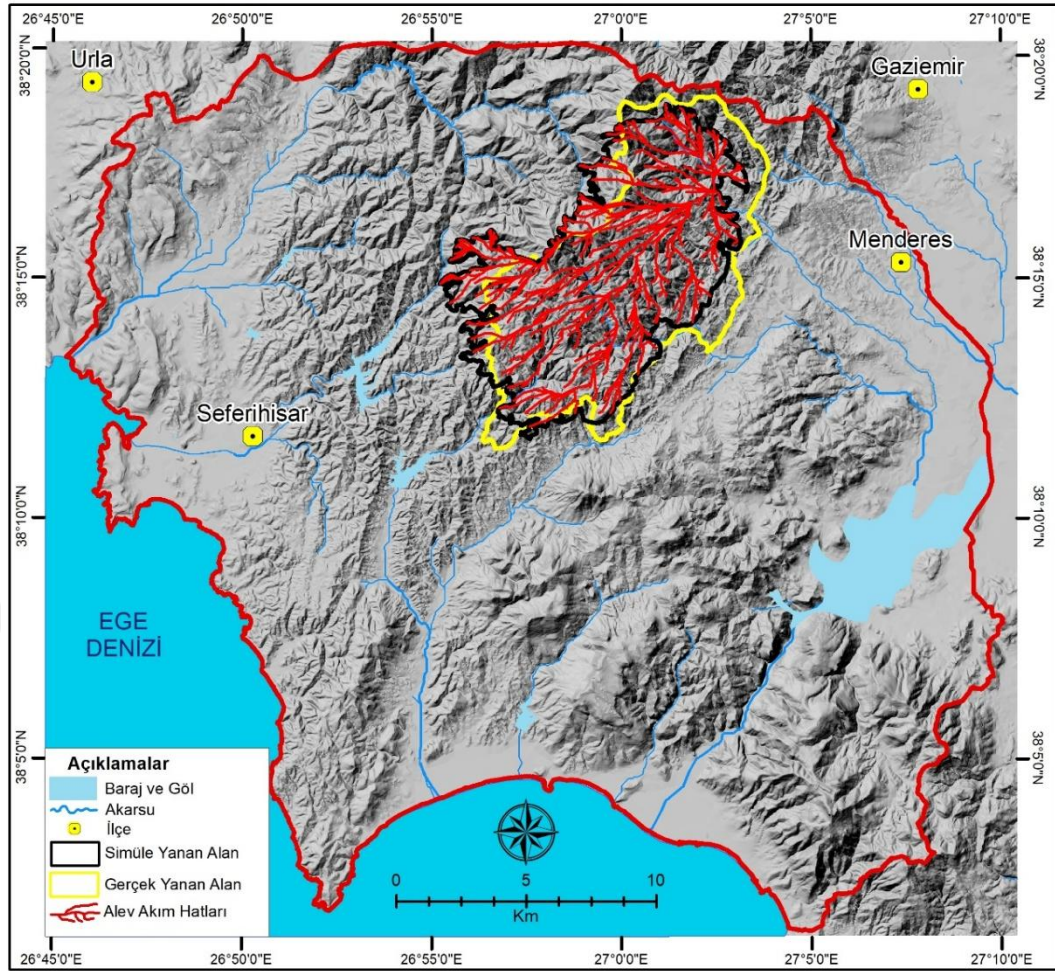
geçirilerek hata payları minimuma indirilmiştir. Bu işlemler sonucunda Tınazlı Yangını simülasyon analizi son şeklini almıştır.

Orman yangını için yapılan MTT (Minimum Travel Time) analizi sonucu elde edilen çıktı, yangının başlangıcından itibaren akım kollarını yani hareketini ve yönünü göstermektedir. MTT çıktısı yakıt modeli haritası üzerine alınarak gerçekte yanan alanla kıyaslanmıştır. Harita 30 incelendiğinde yangının tarım ve ormanlık alan sınırından başlayıp, rüzgâra uyumlu olarak KD' dan GB yönüne doğru ormanlık alanda etkili olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca yangının başlangıç noktasının kuzeyinde yer alan yer yer açık alanlar, alevlerin kuzeye doğru yayılmasını yavaşlatmıştır (Fotoğraf 8).

Simülasyonda yanan alan ile gerçekte yanan alan kıyaslandığında büyük bir uyumun olduğu gözlemlenmektedir. Bu da simülasyonun arazi parametreleri kullanıldığında istenilen sonucu verdiği ve bir karar destek yöntemi olarak kullanılabileceğini teyit etmektedir. Alan bakımından incelendiğinde ise gerçekte yanan alan 80 km² civarındayken simülasyon sonucu yanan alanlar 75 km² alanı kaplamaktadır.

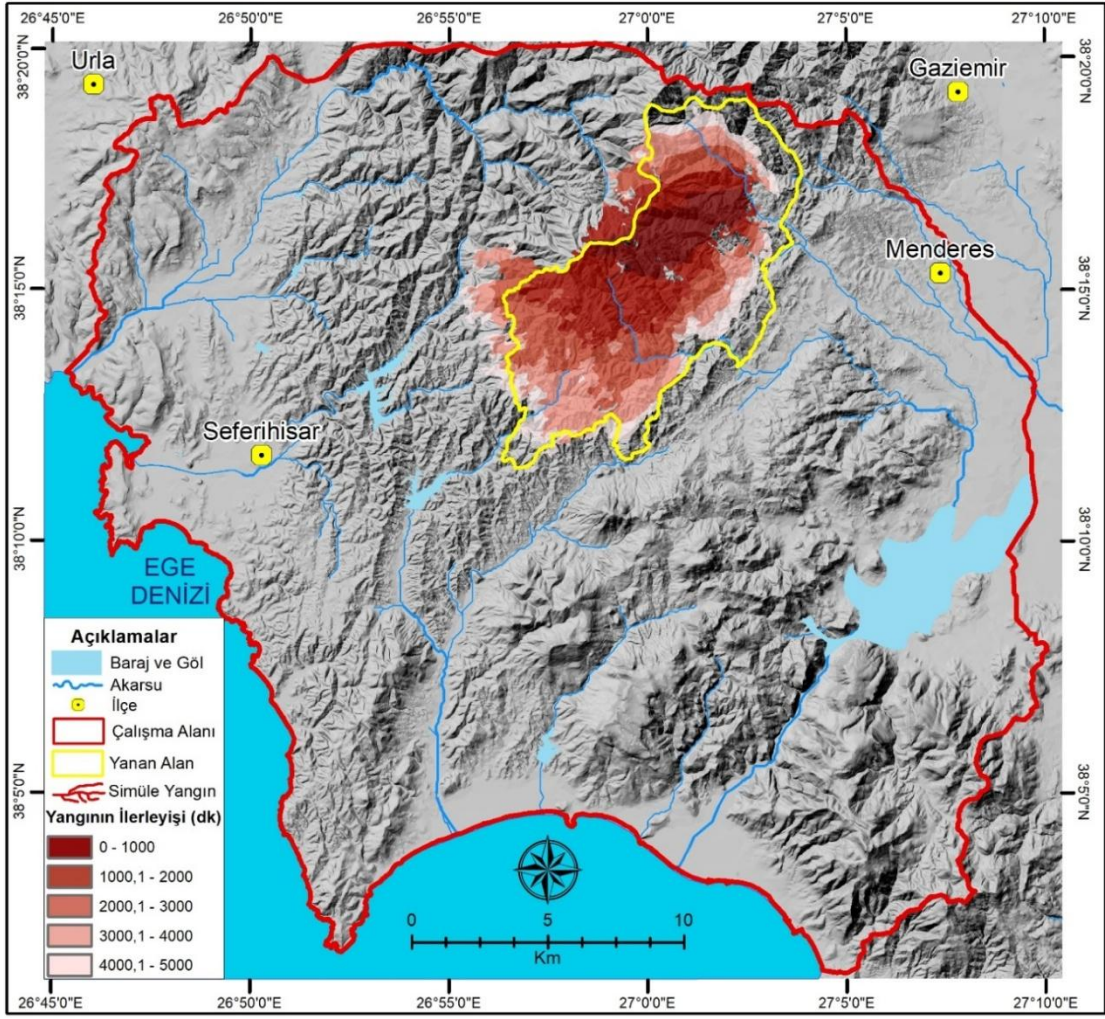
İki alan arasındaki fark ayrıntılı olarak incelendiğinde simülasyon sonucu ortaya çıkan alev hatlarının gerçekte yanan alanlarının GD kısmındaki sınırına tam olarak yetişemediği görülmektedir. Ayrıca simülasyon sonucu oluşturulan alev hatları gerçekte yanan alanın KB sınırından dışarıya doğru taşmaktadır. Bitki durumu yani yakıt özellikleri incelendiğinde, gerçekte yanan alan ile simülasyon yangının taşıdığı alandaki çevresel şartlar ve ağaç özelliklerinin hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir (Harita 30). Gerçekte bu alanların yanmamasının bir sebebi olarak yangına olan müdahale durumları gösterilebilmektedir. Yangına müdahalenin yangın sırasında hangi noktalardan başladığına ve simülasyonlardan elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla Tez çalışması esnasında İzmir Karşıyaka Orman Bölge Müdürlüğü'nde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yetkili orman mühendisleri ile görüşülerek yangın yeri ve müdahale noktası tespit çalışması yapılmıştır. Görüşmeden elde edilen bilgilere göre simülasyonda taşan yangın kısmında bir müdahale olmadığı tespit edilmiştir.

Tespit edilen bu farklılıklara rağmen, alansal hesaplamalar ışığında, simülasyon yangın ile gerçek yangın arasındaki uyum %90 oranındadır. Çalışma sahasında yer alan bitkilerin doğrudan nem oranları gibi özellikler hesaplandığında tutarlılığın daha fazla olacağı düşünülmektedir. Çünkü orman yangınlarının davranışını etkileyen en önemli unsurlardan biri olan yakıt nemleri, literatürden yararlanılarak oluşturulmuştur. Araziden elde edilecek doğrudan bir ölçüm ile sonucun daha güvenilir olacağı düşünülmektedir.



Harita 29: 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının MTT Simülasyon Analizi.

Orman yangınlarında bir karar destek modeli olması için oluşturulan simülasyon analizinde, yangına olan müdahalenin daha başarılı olması için yazılımın sağladığı çıktılardan biri olan MAT (Minimum Arrival Time) modeli de üretilmiştir. Bu analiz sayesinde yangınların veya yangın hatlarının, başlangıçtan itibaren hangi süre zarfında nerede meydana gelebilecekleri veya nereye yayılabilecekleri hesaplanabilmektedir. Bu bağlamda üretilen harita incelendiğinde, simülasyon için girdilerden bir tanesi olan yangın süresine uyumlu olarak alevlerin dakika bazında ilerleyiş cepheleri gösterilmiştir (Harita 31). Harita 1000'er dakika arayla 5 sınıf olarak ele alınan yangın yayılımı her dakikaya göre hesaplanabilmektedir. Bu sayede karar vericiler, yangınlara nerede ve ne zaman hangi müdahalenin uygulanacağını daha doğru tespit edebilmektedirler.



Harita 30: 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangınının MAT Simülasyon Analizi.

SONUÇ

Bu çalışmada yangınlara karşı hassas ormanlara sahip Türkiye’de, orman yangınlarında meydana gelecek zararları en aza indirmek ve yangın risk yönetimi karar destek sürecine katkı sağlayacak Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı yangın risk modeli oluşturmak amacıyla 2019 Tınazlı Yangını analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Türkiye’nin batı kısmında yer alan Ege bölgesi gerek topografik ve peyzaj özellikleri gerekse iklim koşulları bakımından dönem dönem yangınlara maruz kalarak devasa tahribatlara uğramıştır. İnceleme alanını oluşturan Urla yarımadası ve çevresi üzerinde 2008, 2009 ve son olarak 2019 yıllarında önemli yangınlar meydana gelmiştir. Bölgenin yangınlara karşı hassasiyeti göz önüne alındığında, gelecek yıllarda da bu bölgede yangın oluşma ihtimali yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle, tez çalışmasında, bu alana ait orman yangını risk modeli ve simülasyon analizi, yangınlar karşısında sahanın daha iyi korunmasına yardımcı bir kaynak olması nedeniyle hazırlanmıştır. Dolayısıyla örnek alınan modeller ve yazılımlar ile sahaya uygun olarak seçilen parametreler sayesinde bu karar destek modelleri üretilebilmiştir. Yapılan analizler ve üretilen çıktılar sayesinde, çalışma sahasının orman yangınları kapsamındaki hassasiyeti ve karakteristik özellikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma sahasında meydana gelebilecek orman yangınlarının davranışlarını ve hareketlerini tespit edebilmek için FlamMap yazılımı tercih edilmiştir. Bu tercihin en önemli nedeni, yazılımın uzun yıllar boyunca Birleşik Devletler Orman Servisi çalışanlarının yangın afetleri sonucunda elde ettikleri tecrübeleri sonucunda geliştirilmesi ile birlikte dünya üzerinde kullanılan en güvenilir yazılımlardan bir tanesi olmasıdır (Finney, 2019). Yazılımda orman yangını simüle etmek için gerekli bütün veriler, Tınazlı Yangının başlangıç aşamasındaki bütün çevre şartlarına uygun bir şekilde düzenlenmiştir. Yakıt özelliklerinden rüzgâr durumuna kadar yangının davranışını etkileyecek bütün unsurlar o anın şartlarına uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra yazılımdan daha iyi bir sonuç alabilmek için, çalışma sahasına ait verilerin kalibrasyonu konusunda Amerika Orman Servisinde çalışan araştırma grupları ile e-mail üzerinden iletişime geçilmiştir. Gerekli düzenlemeler

tamamlandıktan sonra yapılan MTT analizi ile Tınazlı Yangını %90 uyumluluk oranıyla doğru bir şekilde canlandırılmıştır. Bu da seçilen yazılımın çalışma sahası için uygun ve kullanılabilir olduğu göstermiştir. Ayrıca yazılımda üretilen MAT (Minimum Arrival Time) çıktısıyla orman yangınlarında, müdahale konusunda karar vericilere önemli destekler sunulmaktadır. Bu çıktılar sayesinde karar vericiler müdahalenin nerede ve ne zaman yapılacağını belirleyerek, yangınların vereceği zararı en aza indirebilirler.

Örnek alınan modeller, yöntemler ve kullanılan doğru parametreler sayesinde Türkiye'nin Ege kıyı kesimde yer alan çalışma sahasının yangın riski bakımından yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Riskin fazla olmasında sahada var olan neredeyse tüm yangın risk unsurları etkili olmuştur.

Bitki özellikleri bakımından sahada yangınlara karşı hassas olan doğal otlakların (Santiago ve Kheladze, 2011), homojen bir yapıda olan kızılçam ormanlarının ve kuru çalılarının geniş yer kaplaması riskin fazla olmasında etkilidir. İklim ve hava şartları bakımından yazların kurak ve yağışsız geçmesi ve ayrıca sıcaklık değerlerin yaz aylarında, yani yangın mevsiminde yüksek olması riski arttıran bir diğer unsurdur. Topoğrafya bakımından yükseltinin genel olarak az olması ve buna bağlı olarak sıcaklığın fazla düşmemesi ile bakı özellikleriyle sahada dulda da kalan alanların az olması etkilidir. Ayrıca sahada geniş yer kaplayan eğimin fazla olduğu alanlar yangına müdahaleyi zorlaştırdığı için riski arttırmaktadır. Güneş radyasyonunun fazla olduğu çalışma alanının da yağış rejimin düzensiz olması yani büyük çoğunluğunun kış aylarında düşmesi yangın riskini arttırmaktadır (Atalay, 2011).

Sahada insan faaliyetlerin yoğun olması, tarım alanları, otlaklar, yerleşme ve yol ağlarındaki yoğunluğa bağlı olarak yangın riski artmaktadır. Bölgenin ayrıca bir turizm merkezi olması ve buna bağlı olarak yapılan faaliyetlerin yoğunluğu nedeniyle sahanın yangın risk değerleri yükselmektedir. Çünkü bu faaliyetlerin büyük çoğunluğunda ateşli araç gereçler kullanılmaktadır. Çalışma alanında ormanların büyük çoğunluğunun engebeli ve ulaşımın güç olduğu yerlerde bulunmasına bağlı olarak olası yangınların tespiti ve müdahalesinin geciktiği gözlemlenmiştir. Söz konusu olan bu durum da yangın riskini arttıran bir diğer unsurdur.

Yukarıda bahsi geçen tüm unsurlar bir araya geldiğinde sahanın yangınlara karşı hassasiyeti tespit edilmektedir. Parametrelerin modelde yer almasıyla üretilen yangın risk

durumu haritasında, en riskli alanların %70'lik bir bölgeyi kapladığı gözlemlenmiştir. Orta derece risk değerine sahip alanlar ise sahanın %28'ini kaplamaktadır. Riskin düşük olduğu alanlar ise sahanın %2'lik bir kesimini kaplamaktadır ve bu alanlar genel olarak çıplak kayalıkların ve betonarme yapıların olduğu kesimlere denk düşmektedir. Üretilen bu çıktı ile sahanın yangınlar karşısındaki hassasiyetinin ne kadar fazla olduğu somut bir şekilde ortaya konulmuştur. Ayrıca sahada 2008, 2009 ve 2019 yılında meydana gelen büyük yangınların başladıkları ve geliştikleri alanlara bakıldığında riskin yüksek olduğu alanlar ile tamamen uyumlu oldukları görülmektedir. Bu da üretilen modelinin gerçek yangın lokasyonları ile uyumluluk gösteren unsurlardan bir tanesidir.

Çalışmada sahanın yangın risk modeli üretilmesinin yanında, alanda meydana gelecek bir yangına ait davranış ve yayılım özellik analizlerinin belirlenmesine yönelik simülasyon analizi yapılmıştır. Bu sayede kapsamlı bir şekilde üretilen risk haritasından elde edilecek fayda maksimum seviyeye çıkarılmıştır. Çalışma sahasında simüle edilen 18 Ağustos 2019 Tınazlı Yangını, sahanın belirli bir kısmını kaplamaktadır. Fakat karar vericiler tarafından risk modeli incelenerek, riskin fazla olduğu alanların tespit edilmesiyle, bu alanlarda girdi parametreler değiştirilerek sayısız yangın simülasyonları kapsamında, çok çeşitli koşullar altında yangınlarının hareketleri gözlemlenebilir. Bu sayede çalışmada uygulanan risk modeli, simülasyon çalışmalarında karar destek yöntemlerini güçlendiren önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmada alınan sonuçların gerçeğe yakın olması nedeniyle bu tür modeller sadece çalışma sahasında değil, yangınlar konusunda çok fazla zarar gören Türkiye'nin diğer bölgelerinde de kullanılabilir olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın bulgular bölümünde elde edilen çıktılar sayesinde çalışmanın hipotezlerine ve araştırma sorularına cevaplar bulunabilmiştir. Araştırmada yangın risk tespitinde kullanılan parametrelerin belirlenmesinde en önemli unsurun çok yönlü bir açıdan bakmak olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle çalışma alanına ait en uygun risk modelinin üretilmesi için literatürden böyle bir model aranmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde de bahsedildiği gibi Santiago ve Kheladze (2011)'nin, literatürde önemli ölçüde kabul görmüş çalışmaların yangın riski konusunda sentezlerini yaparak oluşturdukları model, yangınlarının gelişimini çok yönlü bir açıdan ele almıştır. Kısacası yangınlar üzerinde etkili olan bütün parametreler işlenerek, yangın riski daha doğru tespit edilebilmektedir. Bu nedenle çalışma

sahasında yer alan bütün fiziki ve beşeri parametreler risk çalışmalarında daha doğru sonuçlar alabilmek için kullanılmalıdır.

Bir önceki paragrafta belirtilen bulgular doğrultusunda çalışma için en uygun modelin, Santiago ve Kheladze (2011)' nin modeli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca risk modelleri arasındaki farklar incelendiğinde bunların: Seçilen parametreler, parametrelerin sayısı ve özellikleri ile modellerin genele veya özel bir alana uygun olma durumları görülmüştür. Orman yangınlarında, yangınları kontrol eden fiziki çevre şartlarından en etkili olanlarının eğim, bakı, yükselti, engebelik durumu, su yüzeyleri gibi doğal barikatların oluşturduğu yüzey özellikleri ile rüzgar yönü, rüzgarın şiddeti, sıcaklık, yağış ve nem özellikleriyle birlikte bitki topluluklarının özelliklerinin olduğu anlaşılmıştır.

Araştırma sonucunda simülasyon analizlerinin daha doğru sonuçlar verebilmesi için sahanın hem yakıt özelliklerinin hem de çevresel özelliklerinin belirli aralıklarla güncellenmesi gerekmektedir. Özellikle hızlı gelişen bitki topluluklarının olduğu bir alanda hazırlanan yakıt modelleri kısa aralıklarla güncellenmelidir. Bu durumda ayrı bir iş gücü gerektirdiği için çalışma sahası sık sık gözlemlenmelidir.

Çalışma başlangıcında oluşturulan 3 hipotez yapılan analizler kapsamında değerlendirilmiştir. Hipotez 1 Yangın risk modelleri olabilecek yangınları göstermede yapılan çalışma başarılı olmuştur. Hipotez 2 Bir yangının gerçek arazi verileri kullanıldığında yapılan simülasyonlarda gerçek arazi verileri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Hipotez 3 yayılımı doğru bir şekilde tespit edilen yangına planlı bir şekilde müdahale işlemi yapılan model çalışmasında tespit edilememiş, bu tespit için en güvenilir verinin çalışma sahasında oluşturulacak kontrollü bir yangın ile tespit edilebileceği ortaya konmuştur. Bu işlemin resmi makamlar tarafından gerçekleştirilebileceği yapılan resmi görüşmeler neticesinde anlaşılmıştır.

Yapılan simülasyon analizi sonucunda, simüle yangın alanı ile gerçek yangın alanının tutarlılık oranı %90 olarak bulunmuştur.

KAYNAKÇA

- Akartuna, M. (1962). İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla Bölgesinin Jeolojisi Hakkında. MTA Derg, 59, 1-19.
- AKYÜZ, T. (2019). Bursa Orman Bölge Müdürlüğü'nde Yangın Tehlikesinin Modellenmesi ve Haritalanması (Doctoral dissertation, Kastamonu Üniversitesi).
- Akyüz, T. (2019). Bursa Orman Bölge Müdürlüğü'nde Yangın Tehlikesinin Modellenmesi ve Haritalanması. (Yüksek lisans Tezi). Ulusal Tez Merkezi. (596045).
- Albini, F. A. (1983). Potential spotting distance from wind-driven surface fires (Vol. 309). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Albini, F. A., 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-30.
- Albini, F. A., 1979. Spotfire distance from burning trees-a predictive model. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-56.
- Alexander, M. E. (1985, April). Estimating the length-to-breadth ratio of elliptical forest fire patterns. In Proceedings of the eighth conference on fire and forest meteorology (Vol. 29, pp. 85-04). Soc. Am. For Bethesda, MD.
- Alexandridis, A., Russo, L., Vakalis, D., Bafas, G. V., & Siettos, C. I. (2011). Wildland fire spread modelling using cellular automata: evolution in large-scale spatially heterogeneous environments under fire suppression tactics. *International Journal of Wildland Fire*, 20(5), 633-647.
- Alonso-Betanzos, A., Fontenla-Romero, O., Guijarro-Berdiñas, B., Hernández-Pereira, E., Andrade, M. I. P., Jiménez, E., ... & Carballas, T. (2003). An intelligent system for forest fire risk prediction and fire fighting management in Galicia. *Expert systems with applications*, 25(4), 545-554.
- Altobellis, A. T. (1983). A survey of rural population density and forest fire occurrence in the South, 1956-1970 (Vol. 294). US Dept. of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.

- Amiro, B. D., MacPherson, J. I., & Desjardins, R. L. (1999). BOREAS flight measurements of forest-fire effects on carbon dioxide and energy fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 96(4), 199-208.
- An, S. H., Lee, S. Y., Won, M. S., Lee, M. B., & Shin, Y. C. (2004). Developing the forest fire occurrence probability model using GIS and mapping forest fire risks. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 7(4), 57-64.
- Anderson HE (1969) Heat transfer and fire spread. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-69. (Ogden, UT)
- Anderson, H. E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. *Gen. Tech. Rep. INT-122. Ogden, Utah: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 22p., 122.*
- Anderson, Hal E., A. P. Brackebusch, R. W. Mutch, and R. C. Rothermel. 1966. Mechanisms of fire spread, research progress report 2. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-28, 29 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- Andrews, P. L. (2014). Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. *International Journal of Wildland Fire*, 23(1), 21-33.
- Andrews, P. L. 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system- BURN subsystem, Part 1. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-194.
- Antoninetti, M., Elisabetta. B., Rampini. A., D. Angelo., 1993. The integrated used satellite and topog- raphic data fir forest fire hazard mapping, Remote Sensing for Monitoring the Changing Envi- ronment of Europe, Winkler, and Rotterdam.
- Artsybashev, E. S. (1983). Forest fires and their control: published for the U.S. Dept. of Agriculture and the National Science Foundation by Amerind Pub.
- Atalay, İ. (2011). Türkiye iklim atlası. İnkılap.
- Balık, S., Ustaoglu, M. R., Taşdemir, A., Özdemir Mis, D., Aygen, C., Özbek, M., & Topkara, E. T. (2004). Birgi Göletleri (Urla, İzmir) ve Sazlıgöl (Karaburun, İzmir)'ün sucul faunası hakkında bir ön araştırma. *EÜ Su Ürünleri Dergisi*, 21(1-2), 29-30.
- Ball, G. L., & Guertin, D. P. (1992). Improved fire growth modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 2(2), 47-54.
- Bhandary, U., & Muller, B. (2009). Land use planning and wildfire risk mitigation: an analysis of wildfire-burned subdivisions using high-resolution remote sensing

- imagery and GIS data. *Journal of Environmental Planning and Management*, 52(7), 939-955.
- Bilgili, E., & Saglam, B. (2003). Fire behavior in maquis fuels in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 184(1-3), 201-207.
- Bilgili, E., Durmaz, B. D., Alexander, M. E., Saglam, B., Kucuk, O., & Baysal, I. (2010, November). The effect of pruning on crown fire behavior in a calabrian pine plantation, northeastern Turkey. In *Abstracts of the VI International Conference on Forest Fire Research* (pp. 15-18).
- Bilgili, E., Sağlam, B., & Başkent, E. Z. (2001). Yangın Amenajmanı Planlamalarında Yangın Tehlike Oranları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2), 288-97.
- Bilici, E. (2009). Orman Yangın Emniyet Yolları ve Şeritleri ile Orman Yol Şebekelerinin Entegrasyonu, Planlamaları ve Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma (Gelibolu Milli Parkı Örneği). *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 59(2), 85-101.
- Bond, W.J., Keeley, J.E., 2006. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* 20, 387–394.
- Brass, J. A., Likens, W. C., and Thomhill, R. R. (1983), Wildland inventory for Douglas and Carson City Counties, Nevada, using Landsat and digital terrain data, NASA Technical Paper 2137, Washington, DC.
- Brillinger, D. R., Preisler, H. K., & Benoit, J. W. (2003). Risk assessment: a forest fire example. *Lecture Notes-Monograph Series*, 177-196.
- Brown, A.A., and Davis, K.P., 1973. *Forest Fire: Control and Use*, Second edition, McGraw Hill, New York.
- Brown, P., Lugo.,1982. Biomass density studies in tropical forests from lowland to Montane and from wet to very dry zones. www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e04.htm
- Bui, D. T., Hoang, N. D., & Samui, P. (2019). Spatial pattern analysis and prediction of forest fire using new machine learning approach of Multivariate Adaptive Regression Splines and Differential Flower Pollination optimization: A case study at Lao Cai province (Viet Nam). *Journal of environmental management*, 237, 476-487.

- Bui, D. T., Van Le, H., & Hoang, N. D. (2018). GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method. *Ecological Informatics*, 48, 104-116.
- Bull, E.L. and Blumton, A.K. (1999). Effect of fuels reduction on American martens and their prey. Res. Note PNW-RN-539. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 9 pp.
- Burgess, R. (2011). Development of a spatial, dynamic, fuzzy fire risk model for Chitwan District, Nepal. (Yüksek lisans Tezi). University of Twente, Faculty ITC (The Netherlands).
- Burgess, R. G. (2011). Development of a spatial, dynamic, fuzzy fire risk model for Chitwan district, Nepal. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enschede.
- Calkin, D. E., Thompson, M. P., Finney, M. A., & Hyde, K. D. (2011). A real-time risk assessment tool supporting wildland fire decisionmaking. *Journal of Forestry*, 109(5), 274-280.
- Campos, J. J., Alpizar, F., Louman, B., & Parrotta, J. A. (2005). An integrated approach to forest ecosystem services. in Mery, G., Alfaro, R., Kanninen, M. and Lovobikov, M.(Eds.)“*Forests in the Global Balance–Changing Paradigms*”. IUFRO World Series Volume 17. Vienna, Austria: International Union of Forest Research Organizations, 185, 97-116.
- Carmel, Y., Paz, S., Jahashan, F., & Shoshany, M. (2009). Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. *Forest Ecology and Management*, 257(1), 370-377.
- Casbeer, D. W., Beard, R. W., McLain, T. W., Li, S. M., & Mehra, R. K. (2005, June). Forest fire monitoring with multiple small UAVs. In Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005. (pp. 3530-3535). IEEE.
- Castro, R., & Chuvieco, E. (1998). Modeling forest fire danger from geographic information systems. *Geocarto International*, 13(1), 15-23.
- Chafer, C. J., Santín, C., & Doerr, S. H. (2016). Modelling and quantifying the spatial distribution of post-wildfire ash loads. *International Journal of Wildland Fire*, 25(2), 249-255.

- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., & Williams, D. (1983). *Fire in forestry. Volume 1. Forest fire behavior and effects. Volume 2. Forest fire management and organization*. John Wiley & Sons, Inc.
- Christianson, J. D. (1969). The effects of fire on hardwood tree species in New Jersey. New Brunswick, NJ: Rutgers University, Department of Botany. 86 p (Doctoral dissertation, Dissertation).
- Chuvieco, E. (1999). Remote sensing of large wildfires in the European mediterranean basin + CD- ROM. Berlin etc.: Springer-Verlag.
- Chuvieco, E. (2003). Wildland fire danger: estimation and mapping: the role of remote sensing data (Vol. 4). World Scientific.
- Chuvieco, E., & Congalton, R. G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2), 147-159.
- Chuvieco, E., & Congalton, R. G. (1989). Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 29.
- Chuvieco, E., & Kasischke, E. S. (2007). Remote sensing information for fire management and fire effects assessment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112 (G1).
- Chuvieco, E., & Martin, M. P. (1994). Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(5), 563-570.
- Chuvieco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3), 333-345.
- Chuvieco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(3), 333- 345. doi: citeulike-article-id:2850122
- Countryman, C. M. (1976). Heat: its role in wildland fire. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.

- Çanakçioğlu, H., Özkazanc, O., 1997. What can we do to reduce forest fires in Mediterranean Region? In: Proceedings of the XXI IUFRO World Congress 2000, Forests and Society: The Role of Research. Vol. 1, p. 240.
- Çanakçioğlu, H. (1993). Orman Koruma. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın*, (411), 633.
- De Groot, R. S., & van der Meer, P. J. (2010). Quantifying and valuing goods and services provided by plantation forests. In *Ecosystem goods and services from plantation forests* (pp. 32-58). Routledge.
- De Vasconcelos, M. J. P., Pereira, J. M. C., & Zeigler, B. P. (1995). Simulation of fire growth in GIS using discrete event hierarchical modular models. *EARSeL advances in remote sensing*, 4, 54-62.
- Dilekçi, S. (2019). Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. (Yüksek lisans Tezi). Ulusal Tez Merkezi. (550197).
- Dimopoulou, M, Ioannis G, "Towards an integrated framework for forest fire control", Eur. J. Oper. Res, vol. 152, pp. 476- 486, 2002.
- Doğanay, H., & Doğanay, S. (2004). Türkiye’de Orman Yangınları ve Alınması Gereken Önlemler. *Doğu Coğrafya Dergisi*.
- Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169-174. doi: 10.1007/bf02856809
- DURAN, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(1 A), 38-49.
- Duran, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(1 A), 38-49.
- Erten, E., Kurgun, V., & Musaoğlu, N. (2005). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sisteminin Kurulması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Esen, F., & Avcı, V. (2018). Forest Fire Susceptibility Analysis Of Kahramanmaraş Province. *Journal of Social Sciences Institute/Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(16).

- Eva, H., & Lambin, E. F. (2000). Fires and land- cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale. *Journal of Biogeography*, 27(3), 765-776.
- F. Maselli, A. Rodolfi, L. Bottai & C. Conese (1996) Evaluation of forest fire risk by the analysis of environmental data and TM images, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1417-1423.
- FAO, 1993. Elements of Forest Fire Control.
- FARSITE, F. M. (2004). Fire area simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP, 4.
- Finney, M. A. (1985). Description and Uses of Farsite. *Landscape Fire Modeling—Challenges And Opportunities*, 16.
- Finney, M. A. (1995). FARSITE: a fire area simulator for fire managers. In In: Weise, David R.; Martin, Robert E., technical coordinators. *The Biswell symposium: fire issues and solutions in urban interface and wildland ecosystems*; February 15-17, 1994; Walnut Creek, California. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-158. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, US Department of Agriculture; p. 55-56 (Vol. 158).
- Finney, M. A. (1998). FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Revised 2004. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p., 4.
- Finney, M. A. (2002). Fire growth using minimum travel time methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(8), 1420-1424.
- Finney, M. A. (2005). The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), 97-108.
- Finney, M. A. (2006). An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In In: *Andrews, Patricia L.; Butler, Bret W., comps. 2006. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 213-220 (Vol. 41).*
- Finney, M. A. and Andrews, P. L., 1999. FARSITE – A Program for Fire Growth Simulation. *Fire Management Notes*, United States Department of Agriculture Forest Service, Vol. 59 No. 2: 13 – 15

- Finney, M.A., 1998. FARSITE: Fire Area Simulator — model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.
- Flannigan, M., Cantin, A. S., De Groot, W. J., Wotton, M., Newbery, A., & Gowman, L. M. (2013). Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management*, 294, 54-61.
- Fons, W. L. (1961). Use of models to study forest fire behavior.
- Fuller, M. (1991). *Forest fires: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ganeri, A. (2007). Forest Fire!. Minnesota. Britannica Digital Learning.
- Güner, Ş. T., Çömez, A., & Özkan, K. (2012). Predicting soil and forest floor carbon stocks in Western Anatolian Scots pine stands, Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 7(28), 4075-4083.
- Hacısalıhoğlu, M. (2018). Çok Kriterli Karar Analizi ile Orman Yangını Risk Haritalarının Oluşturulması: Karabük Örneği. (Yüksek lisans Tezi). Ulusal Tez Merkezi. (522727).
- Heikkilä, T. V., Grönqvist, R., & Jurvélius, M. (2010). *Wildland fire management: handbook for trainers*: FAO.
- Heyerdahl, E.K., Brubaker, L.B. and Agee, J.K., 2001. Spatial controls of historical fire regimes: A multiscale example from the interior west, USA. *Ecology*, 82(3), 660-678.
- Hudson, M. (2011). *Fire management in the American West: forest politics and the rise of megafires*. University Press of Colorado.
- Huff, M. H., & Smith, J. K. (2000). Fire effects on animal communities. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah, USA, 35-42.
- Jain, A., Ravan, S. A., Singh, R. K., Das, K. K., & Roy, P. S. (1996). Forest fire risk modelling using remote sensing and geographic information system. *Current Science*, 928-933.
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & 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.

- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & 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.
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & 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.
- Kalabokidis, K. D., Konstantinidis, P., & Vasilakos, C. (2002, November). GIS analysis of physical and human impact on wildfire patterns. In *Proceedings of the IV international conference on forest fire research & wildland fire safety, Coimbra. Millpress, Rotterdam*.
- Kanga, S., & Singh, S. K. (2015). Forest Fire Simulation Modeling using Remote Sensing & GIS. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5).
- Kanga, S., & Singh, S. K. (2017). Forest Fire Simulation Modeling using Remote Sensing & GIS. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5).
- Kanga, S., & Singh, S. K. (2017). Forest Fire Simulation Modeling using Remote Sensing & GIS. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5).
- Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., & Kızılelma, Y. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24), 171-179.
- Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., & Kızılelma, Y. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24), 171-179.
- Kaufman, M. M., & Rosencrants, T. (2015). GIS method for characterizing fire flow capacity. *Fire Safety Journal*, 72, 25-32.
- Keane RE, Drury SA, Karau EC, Hessburg PF, Reynolds KM (2010) A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling* 221, 2–18.
- Keane, R. E., Burgan, R., & van Wagendonk, J. (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 10(4), 301-319.

- Khaemba, W. M., & Stein, A. (2000). Use of GIS for a spatial and temporal analysis of Kenyan wildlife with generalised linear modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(8), 833-853.
- Kirkpatrick, C., Conway, C. J., & Jones, P. B. (2006). Distribution and relative abundance of forest birds in relation to burn severity in southeastern Arizona. *The Journal of Wildlife Management*, 70(4), 1005-1012.
- Kuntz, S., & Karteris, M. (1995). Fire risk modelling based on satellite remote sensing and GIS. *EARSeL Advances in Remote Sensing*, 4, 39-46.
- Küçük, Ö., & Ünal, S. (2005). Yangın hassasiyet derecesinin belirlenmesi: Taşköprü orman işletme müdürlüğü örneği.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., & Durmaz, B. D. (2005). Yangın Potansiyelinin Belirlenmesinde Yanıcı Madde Haritalarının Önemi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 6(1), 104-116.
- Küçükosmanoğlu, A. (1990). Kızılçam-orman yangınları ilişkisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40(4), 67-84.
- Lyon, L.J., Telfer, E.S. and Schreiner, D.S. (2000b). Direct effects of fire and animal responses. In: Smith, J.K., ed. *Wild land fire in ecosystems: effects of fire on fauna*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 1. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 17–23 pp.
- Mahdavi, A. (2012). Forests and rangelands? wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 43-52.
- Maheras, G. (2002). Forests fires in Greece. The analysis of the phenomenon affecting both natural and human environment. The role of sustainable development in controlling fire effects (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis).
- Matricardi, E. A., Skole, D. L., Pedlowski, M. A., Chomentowski, W., & Fernandes, L. C. (2010). Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 114(5), 1117-1129.
- Miller, G. Tyler, 1999 (11th edition). *Living in the Environment. Principles, Connections, and Solutions*. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, Calif.
- Millington, J. D. A. (2005). Wildfire risk mapping: considering environmental change in space and time. *Journal of Mediterrean Ecology*, 6(1), 10.

- Minas, J. P., Hearne, J. W., & Handmer, J. W. (2012). A review of operations research methods applicable to wildfire management. *International Journal of Wildland Fire*, 21(3), 189-196.
- Moghaddas, J. J., Collins, B. M., Menning, K., Moghaddas, E. E., & Stephens, S. L. (2010). Fuel treatment effects on modeled landscape-level fire behavior in the northern Sierra Nevada. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(9), 1751-1765.
- Morgan, P., Keane, R. E., Dillon, G. K., Jain, T. B., Hudak, A. T., Karau, E. C., ... & Strand, E. K. (2014). Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modelling. *International Journal of Wildland Fire*, 23(8), 1045-1060.
- Mouillot, F., Field, C.B., 2005. Fire history and the global carbon budget: A 11 fire history reconstruction for the 20th century. *Global Change Biol.* 1° x1°, 398–420.
- Mölders, N., & Kramm, G. (2007). Influence of wildfire induced land-cover changes on clouds and precipitation in Interior Alaska—A case study. *Atmospheric Research*, 84(2), 142-168.
- Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N., & Pradhan, B. (2019). Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 106558.
- Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N., & Pradhan, B. (2019). Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 106558.
- Niwa, C.G. and Peck, R.W. (2002). Influence of prescribed fire on carabid beetle (Carabidae) and spider (Araneae) assemblages in forest litter in southwestern Oregon. *Environmental Entomology*, 31(5): 785-796.
- Noonan, E. K. (2003, November). A coupled model approach for assessing fire hazard at point Reyes national seashore: FlamMap and GIS. In *Second international wildland fire ecology and fire management congress and fifth symposium on fire and forest meteorology*, Orlando, FL. American Meteorological Society (pp. 127-128).
- Núñez-Regueira, L., Rodríguez-Anón, J. A., & Proupin-Castineiras, J. (2000). Design of risk index maps as a tool to prevent forest fires in the humid Atlantic zone of Galicia (NW Spain). *Thermochimica acta*, 349(1-2), 103-119.

- OGM. (2010). Orman ve Kırsal Alan Yangınlarına Müdahale. Orman Genel Müdürlüğü. Modül Bilgi Sayfası.
- Omi, P. N. (2005). *Forest fires: a reference handbook*. ABC-CLIO.
- Orozco, S. J., Hussin, Y. A., Weir, M. J. C., & Mas, J. F. (2009). Modeling fire hazard and control for Michoacán state, Mexico. In: EOGC 2009: Proceedings of the 2nd international conference on earth observation for global changes, May 25-29, 2009, Chengdu, Sichuan, China / ed. by. Qingxi Tong and Deren Li. Beijing; Peking University, 2009. pp. 2148-2158.
- Özelkan, E. (2008). Uydu Görüntüleri Kullanarak Yangın Riski Değerlendirilmesi Kas Örneği (Doctoral dissertation, Bilişim Enstitüsü).
- Özkazanç, N. K., & Ertuğrul, M. (2011). Orman Yangınlarının Fauna Üzerine Etkileri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13(19), 128-135.
- Özzengi, Ö.S. (2004). Seferihisar'ın Turizm Coğrafyası. (Yüksek lisans Tezi). Ulusal Tez Merkezi. (146270).
- Perry, G. L., Sparrow, A. D., & Owens, I. F. (1999). A GIS- supported model for the simulation of the spatial structure of wildland fire, Cass Basin, New Zealand. *Journal of Applied Ecology*, 36(4), 502-518.
- Petras, V. (2014). Wildfire modeling in GRASS GIS, *Geospatial Modeling and Analysis* North Carolina State University.
- Prieto Herráez, D., Asensio Sevilla, M. I., Ferragut Canals, L., Cascón Barbero, J. M., & Morillo Rodríguez, A. (2017). A GIS-based fire spread simulator integrating a simplified physical wildland fire model and a wind field model. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(11), 2142-2163.
- Pyne, S. J., Andrews, P.L. and Laren, R.D., 1996. Introduction to wildland fire - second edition. John Wiley and Sons Inc, USA, pp 5-6.
- Quintiere, James G. 1998. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, Albany, New York.
- Raj, A., & Jhariya, M. K. (2014). Impact of forest fire on the ecosystem and environment. *Reader shelf*, 10(8), 4-6.
- Rathaur, S. (2006). Fire risk assessment for tiger prey - base in Chilla range and vicinity : Rajaji national park using remote sensing and GIS. ITC, Enschede.

- Rawat, G. S. (2003, November). Fire Risk Assessment for Forest Fire Control Management in Chilla Forest Range of Rajaji National Park, Uttaranchal, India. ITC.
- Richards, G. D. (1988). Numerical simulation of forest fires. *International journal for numerical methods in engineering*, 25(2), 625-633.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of sciences*, 5(1-4), 23-27.
- Romme, W. H., & Knight, D. H. (1981). Fire frequency and subalpine forest succession along a topographic gradient in Wyoming. *Ecology*, 62(2), 319-326.
- Rothermel, Richard C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115, 40 p. Intermt. For. And Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- Rothermel, Richard C.; Anderson, Hal E. 1966. Fire spread characteristics determined in the laboratory. Res. Pap. INT-30. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 34 p.
- Sachdeva, S., Bhatia, T., & Verma, A. K. (2018). GIS-based evolutionary optimized Gradient Boosted Decision Trees for forest fire susceptibility mapping. *Natural Hazards*, 92(3), 1399-1418.
- Sakellariou, S. (2018). *Spatiotemporal analysis of forest fire risk models: a case study for a greek island* (Doctoral dissertation).
- Salis, S., Arca, B., Bacciu, V., Duce, D., & Spano, D. (2009, October). Assessment of fire severity in a Mediterranean area using FlamMap Simulator. In *Eighth Symposium on Fire and Forest Meteorology* (pp. 13-15).
- Santiago, I. T., & Kheladze, N. (2011). GIS wildland fire hazard modeling in Georgia. *MATRA project report, Caucasus Environmental NGO Network*, 98p.
- Santiago, I. T., & Kheladze, N. (2011). GIS wildland fire hazard modeling in Georgia. MATRA, Caucasus Environmental NGO Network.
- Satir, O., Berberoglu, S., & Donmez, C. (2016). Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5), 1645-1658.
- Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-*

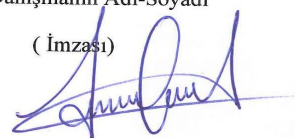
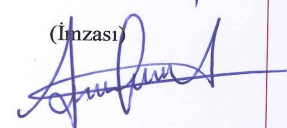
153. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p., 153.
- Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-153.(Fort Collins, CO).
- Setiawan, I., Mahmud, A. R., Mansor, S., Shariff, A. M., & Nuruddin, A. A. (2004). GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.
- Shelton, D., Cork, S., Binning, C., Parry, R., Hairsine, P., Vertessy, R. and Stauffacher, M. (2001) 'Application of an ecosystem services inventory approach to the
- Silva, J. S., Rego, F. C., Fernandes, P., & Rigolot, E. (2010). Towards integrated fire management-Outcomes of the European project Fire Paradox. European Forest Institute.
- Sousa, F. A., dos Reis, R. J., & Pereira, J. C. (2012). Simulation of surface fire fronts using fireLib and GPUs. *Environmental Modelling & Software*, 38, 167-177.
- Stratton, R. D. (2006). Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 15 p., 183.*
- Şahin, H. (2019). CBS Teknikleri Kullanılarak Yangına Hassas Orman Alanları İçin Yanıcı Madde Haritalarının Geliştirilmesi. (Yüksek lisans Tezi). Ulusal Tez Merkezi. (580465).
- Taşel, E. (2003). *GIS-based spatial model for wildfire simulation: Marmaris-Çetibeli fire* (Doctoral dissertation, METU).
- Urbano, F., Cagnacci, F., Calenge, C., Dettki, H., Cameron, A., & Neteler, M. (2010). Wildlife tracking data management: a new vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550), 2177-2185.
- Ün, C. (2009). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Orman Yangınlarında Kullanımı, 1. Orman Yangınları Sempozyumu, Antalya: Ocak 7-10.

- van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S., Arellano Jr., A.F., 2006. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmos. Chem. Phys.* 6, 3423–3441.
- Vasconcelos, M. J., & Guertin, D. P. (1992). FIREMAP-simulation of fire growth with a geographic information system. *International Journal of Wildland Fire*, 2(2), 87-96
- Vasconcelos, M. J., & Guertin, D. P. (1992). FIREMAP-simulation of fire growth with a geographic information system. *International Journal of Wildland Fire*, 2(2), 87-96.
- Vázquez, A., & Moreno, J. M. (1998). Patterns of lightning-, and people-caused fires in peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 8(2), 103-115.
- Veach, M. S., Coddington, P., & Fox, G. C. (1994). BURN: A simulation of forest fire propagation.
- Vidal, A., Pinglo, F., Durand, H., Devaux-Ros, C., & Maillet, A. (1994). Evaluation of a temporal fire risk index in Mediterranean forests from NOAA thermal IR. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 296-303.
- Wagner, C. V. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23-34.
- Weilin, L., Buo, X., & Yu, L. (2000). Applications of RS, GPS and GIS to Forest Management in China. *Journal of forestry research*, 11(1), 69-71.
- Weinstein, D., Green, K., Campbell, J., & Finney, M. (1995, May). Fire growth modeling in an integrated GIS environment. In *Proc. Environmental System Research Institute User Conference*.
- Wells, G. (2008). The Rothermel Fire-Spread Model: still running like a champ.
- Wilson, C. C. (1979). Roadsides--Corridors with High Fire Hazard and Risk. *Journal of Forestry*, 77(9), 576-580.
- Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18(2), 171-188.
- Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black

- Sea Region, Turkey. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 18(2), 171-188.
- Yuan, M. (1994). Wildfire conceptual modeling for building GIS space-time models. In *proceedings of GIS/LIS* (Vol. 94, pp. 860-869).
- Zhang, Q., Xu, J., Xu, L., & Guo, H. (2016, January). Deep convolutional neural networks for forest fire detection. In *2016 International Forum on Management, Education and Information Technology Application*. Atlantis Press.
- Zimmerman, E. W. (1969). Forest fire detection (Vol. 38). US Dept. of Agriculture.
<http://usclimateandhealthalliance.org/wildfires-public-health-view-front-lines/>, Erişim: 05 Ocak 2020.
- Cardona, A. (2019).
[https://news.mongabay.com/2019/09/fires-in-brazils-amazon-havedevastating-consequences /](https://news.mongabay.com/2019/09/fires-in-brazils-amazon-havedevastating-consequences/), Erişim: 05 Ocak 2020.
- <https://www.livescience.com/27692-deforestation.html>, Erişim: 07 Ocak 2020.
- <https://www.sektorundergisi.com/yangin-dogal-afet-midir/>, Erişim: 07 Ocak 2020.
- Resnick, B., Irfan, U., Samuel, S. (2020).
<https://www.vox.com/science-and-health/2020/1/8/21055228/australia-fires-map-animals-koalas-wildlife-smoke-donate>, Erişim: 12 Şubat 2020.

EKLER

Ek 1. Orijinallik Raporu

	T.C. FIRAT ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU	FORM 30
ÖĞRENCİ BİLGİLERİ		
Adı-Soyadı	Enes KARADENİZ	
Öğrenci Numarası	181202103	
Anabilim Dalı	COĞRAFYA	
Programı	Yüksek Lisans	
Danışmanın Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. M. Taner ŞENGÜN	
Tez Başlığı (Türkçe)	URLA YARIMADASI GÜNEYDOĞUSUNDA (SEFERİHİSAR-MENDERES) ORMAN YANGINI RİSK MODELLEMESİ VE YANGIN SİMÜLASYONU	
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE		
Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 157 sayfalık kısmına ilişkin, 30/06/2020. tarihinde Sosyal Bilimler Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1 'dir.		
Uygulanan filtrelemeler:		
1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç, 2- Kaynakça hariç 3- Alıntılar hariç/dâhil 4- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç		
Yukarıda bilgileri verilen öğrencinin yüksek lisans tezi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen azami benzerlik oranlarını aşmadığını ve tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.		
Gereğini saygılarımla arz ederim.		
Prof. Dr. M. Taner ŞENGÜN	Prof. Dr. Saadettin TONBUL	
Danışmanın Adı-Soyadı	Anabilim Dalı Başkanı	
(İmzası)	(İmzası)	
		
Lisansüstü tezler, savunma öncesinde intihal program raporu ile birlikte enstitüye teslim edilir.		
İntihal raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dâhil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).		
Firat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 23119 – Elazığ / TÜRKİYE	http://sosbe.firat.edu.tr/	Telefon : +90 424 241 5480 Fax: +90 424 233 2180 e-posta : sosbilenst@firat.edu.tr

Ek 2. FM 40

FBFM	Görüntü özelliği. FBFM Açıklaması, Yakıt Modeli Açıklaması
NB1	Kentsel
NB2	Kar/Buz
NB3	Tarım
NB8	Su
NB9	Çorak
GR1	Kısa, seyrek kuru iklim otları, doğal veya ağır otlatma, tahmini yangın yayılma oranı ve alev uzunluğu düşüktür
GR2	Düşük yük, kuru iklim otu, az miktarda ince, ölü yakıtlı çimler, herhangi bir çalı yangın davranışını etkilemez
GR3	Düşük yük, çok kaba, nemli iklim otu, kaba nemli iklim otu, herhangi bir çalı yangın davranışını etkilemez
GR4	Orta yük, kuru iklim otu, sürekli, kuru iklim otu, yakıtı yaklaşık 2 feet
GR5	Düşük yük, nemli iklim otu, yakıt yatağı derinliği yaklaşık 1-2 feet
GR6	Orta yük, sürekli nemli iklim otu, GR5 kadar kaba değil
GR7	Yüksek yük, sürekli kuru iklim otu, ot yaklaşık 3 metre yüksekliğinde
GR8	Sert ot, yüksek yük, çok kaba, sürekli, nemli iklim otu, yayılma oranı ve alev uzunluğu aşırı olabilir
GR9	Çok yüksek yük, yoğun, uzun, nemli iklim otu, yaklaşık 6 feet uzunluğunda, yayılma oranı ve alev uzunluğu, eğer ot tamamen iyileşirse aşırı olabilir
GS1	Düşük yük, kuru iklim ot-çalı yaklaşık 1 feet yüksekliğinde, ot yükü düşük, yayılma oranı orta ve alev uzunluğu düşük
GS2	Orta yük, kuru iklim ot-çalı, çalılar 1-3 feet yüksekliğinde, ot yükü orta, yayılma oranı yüksek ve alev uzunluğu orta
GS3	Orta yük, nemli iklim çim-çalı, orta çim / çalı yükü, çim / çalı derinliği 2 metreden az, yayılma oranı yüksek ve alev uzunluğu orta
GS4	Yüksek yük, nemli iklim ot-çalı, ağır ot / çalı yükü, derinlik 2 metreden fazla, yayılma oranı yüksek ve alev uzunluğu çok yüksek
SH1	Düşük yük kuru iklim çalı, odunsu çalılar ve çalı çöp, yakıt yatağı derinliği yaklaşık 1 feet, bazı otlar olabilir, yayılma oranı ve alev düşük
SH2	Orta yükte kuru iklim çalı, odunsu çalılar ve çalı çöp, yakıt yatağı derinliği yaklaşık 1 feet, ot yok, yayılma oranı ve düşük alev
SH3	Orta yük, nemli iklim çalıları, odunsu çalılar ve çalı çöpleri, olası çam aşırı, yakıt yatağı derinliği 2-3 feet, yayılma oranı ve düşük alev
SH4	Düşük yük, nemli iklim kereste çalı, odunsu çalılar ve çalı çöp, düşük ila orta yük, olası çam aşırı, yakıt yatağı derinliği yaklaşık 3 feet, yayılma oranı yüksek ve alev ılımlı
SH5	Yüksek yük, nemli iklim çim-çalı kombine, derinliği 2 metreden büyük, yayılma oranı ve alev çok yüksek
SH6	Düşük yük, nemli iklim çalı, odunsu çalılar ve çalı çöp, yoğun çalılar, otu yakıt az veya hiç yok, yaklaşık 2 feet derinlik, yayılma oranı ve alev yüksek

SH7	Çok yüksek yük, kuru iklim çalı, odunsu çalılar ve çalı çöp, çok ağır çalı yükü, derinlik 4-6 feet, yayılma oranı SH6'dan biraz daha düşük ve alev çok yüksek
SH8	Yüksek yük, nemli iklim çalıları, odunsu çalılar ve çalı çöpleri, yoğun çalılar, otsu yakıt az veya hiç yok, yaklaşık 3 feet derinlik, yayılma oranı ve alev yüksek
SH9	Çok yüksek yük, nemli iklim çalı, odunsu çalılar ve çalı çöp, ince ölü yakıtlı yoğun ince dallı çalılar, 4-6 feet boyunda, otsu olabilir, yayılma oranı ve alev yüksek
TU1	Düşük yük kuru iklim kereste çim çalı, düşük yük çim ve / veya çöp, yayılma oranı ve düşük alev ile çalı
TU2	Orta yük, nemli iklim kereste-çalı, bazı çalılar ile ılımlı çöp yükü, orta ve alev düşük yayılma oranı
TU3	Orta yük, nemli iklim kereste çim çalı, bazı çim ve çalı ile orta orman çöp, yayılma oranı yüksek ve alev ılımlı
TU4	Orman altı örtü ile cüce kozalaklı, ot veya yosun altında kısa kozalaklı ağaçlar, yayılma oranı ve orta derecede alev
TU5	Çok yüksek yük, kuru iklim çalı, çalı veya küçük ağaç alt, ağır orman çöp, yayılma oranı ve orta ateş
TL1	Düşük yük kompakt kozalaklı çöp, kompakt orman çöp, hafif ila orta yük, 1-2 inç derinlik, yakın zamanda yanık, yayılma oranı ve düşük alev gösterebilir
TL2	Düşük yük, geniş yapraklı çöp, geniş yapraklı, parke çöp, yayılma oranı ve düşük alev
TL3	Orta yük kozalaklı çöp, orta yük kozalaklı çöp, hafif kaba yakıt yükü, yayılma hızı ve düşük alev
TL4	Küçük alçaltılmış kütükler orta derecede ince çöp ve kaba yakıt yükü, küçük çaplı alçaltılmış kütükler, yayılma oranı ve düşük alev
TL5	Yüksek yük kozalaklı çöp, hafif eğik çizgi veya ölü yakıt, yayılma oranı ve düşük alev
TL6	Orta yük geniş yapraklı çöp, yayılma oranı ve alev orta
TL7	Büyük alçaltılmış kütükler, ağır yük orman çöpleri, daha büyük çaplı alçaltılmış kütükler, yayılma oranı ve düşük alev
TL8	Uzun iğne çöpi, orta yükte uzun iğne çamı çöpi, az miktarda otsu yakıt, orta derecede yayılma oranı ve alev düşük olabilir
TL9	Çok yüksek yük geniş yapraklı çöp, ağır iğne örtüsü, yayılma oranı ve alev orta olabilir

ÖZGEÇMİŞ



1995 Yeşilyurt/Malatya doğumluyum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Malatya’da tamamladım. 2014 yılında Fırat Üniversitesi, İnsani ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü’ne başladım ve 2018 yılında bu bölümden mezun oldum. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Coğrafya Bölümünde yüksek lisans öğrenimime başladım. 2019 yılından itibaren İzmir Bakırçay Üniversitesi, Coğrafya Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.