



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**CBS TABANLI AHP YÖNTEMİYLE ORMAN YANGINI RİSK HARİTASININ
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet DEMİR

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2023

T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**CBS TABANLI AHP YÖNTEMİYLE ORMAN YANGINI RİSK HARİTASININ
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet DEMİR
20278035007
ORCID: 0009-0004-6816-1174

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY
ORCID: 0000-0001-6558-9029

TEMMUZ 2023

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır. Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 220Y010 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



ÖNSÖZ

Dünyadaki canlılar için olmazsa olmaz en büyük yaşam kaynaklarından birisi ormanlardır. Ormanlar çeşitli nedenlerle çoğu zaman tehlike altındadır. Bu tehlikelerden biri her yıl binlerce hektar ormanların yok olmasına sebep olan orman yangınlarıdır. Ülkemizde güneyi ve doğusu Akdeniz, Ege ve Marmara'ya uzanan kıyı boyunca Akdeniz ikliminin hâkim olması ve kızılçam ormanlarının bulunması nedeniyle her yıl binlerce hektar orman alanları zarar görmektedir. Bu nedenle orman yangınlarının zararını azaltacak tedbirlerin alınması önemlidir. CBS tekniklerinin ormancılık sektöründe kullanılmaya başlamasıyla orman yangınları ile ilgili birçok çalışmada da CBS tekniklerinden uygulandığı görülmüştür. Bu çalışmalardan en önemlileri yangın risk haritalarının oluşturulmasıdır. Yangın risk haritaları ile yangın yönetiminde karar vericiler için doğru, kolay ve hızlı kararlar alınabilmekte ve yangın yol haritası oluşturulabilmektedir. Bu amaçla her yıl yüzlerce hektar orman alanının yangından zarar gördüğü Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nün yangın risk haritaları oluşturulması için yüksek lisans tezi hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan ve katkılarını esirgemeyen, çok değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Abdullah Emin AKAY'a teşekkürlerimi sunarım. Yine tez ile ilgili bana katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA'ya, tez ile ilgili değerli görüşlerinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Burak ARICAK'a ve tez aşamasında çalışma alanının verileri ile ilgili katkı sağlayan Mersin Orman Bölge Müdür Yardımcısı sayın Mehmet FULİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, bana inanan ve desteklerini esirgemeyen değerli eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Temmuz 2023

Ahmet DEMİR
(Orman Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Orman Yangınları.....	4
1.1.1 Yangın türleri	5
1.1.2 Yangın çıkış sebepleri	5
1.2 Yangını Etkileyen Faktörler	8
1.2.1 Yanıcı madde	9
1.2.2 Hava halleri	9
1.2.3 Topografik koşullar	9
1.3 Yangın Riski.....	9
1.3.1 Eğim	10
1.3.2 Bakı	10
1.3.3 Bağıl nem	10
1.3.4 Sıcaklık.....	10
1.3.5 Yağış	11
1.3.6 Rüzgâr	11
1.3.7 Ağaç türü.....	11
1.3.8 Kapalılık ve çağ sınıfı	11
1.3.9 Yerleşim yerlerine yakınlık.....	12
1.3.10 Su kaynaklarına yakınlık.....	12
1.3.11 Yol yoğunluğu ve yola mesafe.....	12
1.3.12 Ziraat alanlarına yakınlık	12
1.4 Yangın Tehlikesi	12
1.5 Yangın Hassasiyeti	13
1.6 Orman Yangınlarında Hassas Ormancılık Yaklaşımları	14
1.7 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	15
2. LİTERATÜR ÖZETİ	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	18
3.1 Çalışma Alanı	18
3.1.1 Çalışma alanı tanıtımı	18
3.1.2 Coğrafi özellikler ve iklim	19
3.1.3 Orman varlığı	19
3.2 CBS Veri Tabanı	19

3.2.1 Meşcere özellikleri	19
3.2.2 Topografik faktörler	20
3.2.3 Bazı noktalara yakınlık	20
3.2.4 Yangın noktaları veri katmanı	20
3.3 AHP Yöntemi	20
3.4 Risk Haritasının Değerlendirilmesi	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
4.1 CBS Veri Tabanı Bulguları	24
4.1.1 Meşcere özellikleri	24
4.1.2 Topografik faktörler	27
4.1.3 Bazı noktalara yakınlık	29
4.1.4 Yangın noktaları	31
4.2 AHP Yöntemi Bulguları	32
4.3 Riski Haritasının Validasyonu	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
BTÜ	: Bursa Teknik Üniversitesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
MOBM	: Mersin Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
ORAJ	: Gök gürültüsü + şimşek
OT	: Orman toprağı
OYBS	: Orman yangın yönetim sistemi
ROC	: Receiver Operating Characteristic
SYM	: Sayısal yükseklik modeli

SEMBOLLER

ha	: Hektar
km	: Kilometre
m	: Metre
m³	: Metreküp
°C	: Santigrat derece
sa	: Saat



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1 : 2011-2021 yılları arasında çıkan yangınların nedenleri (OGM, 2022).	6
Çizelge 2 : Yangın hassasiyet derecesi (Çanakçıoğlu, 1993).	13
Çizelge 3 : AHP uygulamasında kullanılan kriterler ve alternatifler.	21
Çizelge 4 : AHP yönteminde görece önem ölçüğü.	22
Çizelge 5 : Arazi kullanım tiplerinin alansal dağılımı.	25
Çizelge 6 : Ağaç türleri ve tür kompozisyonları.	26
Çizelge 7 : İşletme müdürlüklerine göre yangın verileri (2023-2022).	31
Çizelge 8 : Yıllara göre meydana gelmiş yangın verileri (2003-2022).	32
Çizelge 9 : Ağaç türlerine göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	33
Çizelge 10 : Kapalılığa göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	33
Çizelge 11 : Meşcere çağlarına göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri... 34	
Çizelge 12 : Eğim sınıflarına göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	34
Çizelge 13 : Bakıya göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	34
Çizelge 14 : Yola yakınlığa göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	35
Çizelge 15 : Yerleşime yakınlığa göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	35
Çizelge 16 : Ormana sınır ziraat alanlarına göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	35
Çizelge 17 : Ana kriterlere göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.	36
Çizelge 18 : Yangın riski sınıflarının alansal dağılımı.	37
Çizelge 19 : İşletme Müdürlüklerine göre yangın riski sınıflarının alansal (%) dağılımı	37
Çizelge 20: 2003-2022 yılları arası çıkan yangınların risk sınıflarına göre dağılımı. 38	

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yangın üçgeni (Asri ve diğ., 2015).	5
Şekil 1.2 : Kaza nedenleri ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).....	6
Şekil 1.3 : İhmal ve dikkatsizlik nedeni ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).	7
Şekil 1.4 : Kasıt nedeni ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).....	7
Şekil 1.5 : Yıldırım nedeni ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022). ..	8
Şekil 1.6 : Yıllara göre nedeni bilinmeyen orman yangınları (OGM, 2022).....	8
Şekil 1.7 : Yangın hassasiyet haritası (OGM, 2013).	14
Şekil 3.1 : Çalışma alanı.	18
Şekil 4.1 : Arazi kullanım tipleri haritası.....	24
Şekil 4.2 : Çalışma alanına ait ormanlık alanlar haritası.	25
Şekil 4.3 : Yangın risk derecesine göre ağaç türleri.	26
Şekil 4.4 : Kapalılık haritası.	27
Şekil 4.5 : Meşcere çağları haritası.	27
Şekil 4.6 : Eğim sınıfları haritası.	28
Şekil 4.7 : Bakı haritası.....	28
Şekil 4.8 : Yol ağı haritası.	29
Şekil 4.9 : Yol ağı tampon zon haritası.	30
Şekil 4.10 : Yerleşim alanı tampon zon haritası.	30
Şekil 4.11 : Ziraat alanları tampon zon haritası.	31
Şekil 4.12 : Çalışma alanında çıkan orman yangınlarının konumları.....	32
Şekil 4.13 : Yangın risk haritası.	36
Şekil 4.14 : Yangın riski haritasının ROC eğrisi.	38

CBS TABANLI AHP YÖNTEMİYLE ORMAN YANGINI HARİTASININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Ülkemiz, özellikle güney ve batı kıyılarının Akdeniz iklimi, bitki örtüsü ve topografik yapısı sebebiyle orman yangınlarına hassas bölgede yer almaktadır. Her yıl çeşitli sebeplerle çıkan orman yangınları binlerce hektar orman alanının kül olmasına neden olmaktadır. Yangınlar ekosisteme zarar verdiği gibi ekonomik sonuçları da olmaktadır. Orman yangınlarıyla etkin mücadele için ilk olarak yapılacak iş yangın riski bulunan alanların tespit edilmesidir. Akdeniz ikliminin ve yangına karşı hassas ağaç türlerinin hâkim olduğu Akdeniz, Ege ve Marmara kıyıları orman yangınlarına karşı birinci derecede tehlike altında iken, Karadeniz ikliminin hâkim olduğu Karadeniz kıyılarında bulunan ormanlar yangın açısından daha düşük risklidir. Yangın riski çeşitli parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Orman yapısı, topografik özellikler, iklim, çeşitli noktalara (yol, yerleşim yeri, ziraat alanları gibi) yakınlık gibi parametreler analiz edilerek risk haritası oluşturulabilmektedir. Yangın risk verileri, yangına karşı alınabilecek tedbirlere ışık tutacaktır. Bu çalışmada, yangına hassas ormanlara sahip Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nün yangın risk haritasının oluşturulması amacıyla CBS (Coğrafi Bilgi sistemleri) tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra, Bölge Müdürlüğünde daha önce çıkan yangınlar dikkate alınarak yangın riski haritasının doğruluğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çalışma alanının %13,87'si çok yüksek, %25,87'si yüksek, %24,68'i orta, %22,44'ü düşük ve %13,14'ü çok düşük riskli alanlar olarak belirlenmiştir. Sonuçlar ağaç türlerinin orman yangınlarında en etkili risk faktörü olduğunu, meşcere çağlarının da ikinci sırada geldiğini göstermiştir. Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde 2003-2022 yılları arasında 0,5 hektardan büyük çıkan ve orman alanlarına zarar veren toplam 562 yangına ait konum bilgileri kullanılarak, AHP yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritasının doğruluğu değerlendirilmiştir. Yangın risk haritasının doğruluğunun belirlenmesi için ArcGIS ortamında ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak AUC (Area Under Curve) değeri yaklaşık %74 bulunmuş olup, bu değer Mersin Orman Bölge Müdürlüğü için geliştirilen yangın risk haritasının orta düzeyde güvenilir olduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak kısa zamanda güvenilir yangın risk haritası üretiminin mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Orman yangını, CBS, Yangın risk haritası, AHP, Mersin.

DEVELOPMENT OF FOREST FIRE RISK MAP WITH GIS BASED AHP METHOD

SUMMARY

Our country is located in a region sensitive to forest fires due to the Mediterranean climate, vegetation and topography of the south and west coasts. Every year, forest fires for various reasons cause thousands of hectares of forest area to be ash. Fires damage the ecosystem as well as have economic consequences. The first thing to do for an effective fight against forest fires is to identify areas with fire risk. While the Mediterranean, Aegean and Marmara coasts, where the Mediterranean climate and fire-sensitive tree species are dominant, are at primary risk against forest fires, the forests located on the Black Sea coasts where the Black Sea climate is dominant are less risky in terms of fire. The fire risk varies according to various parameters. A risk map can be created by analyzing parameters such as forest structure, topographic features, climate, proximity to various points (such as roads, settlements, agricultural areas). Fire risk data will shed light on the measures that can be taken against fire. In this study, GIS (Geographic Information Systems) based Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used to create the fire risk map of Mersin Regional Directorate of Forestry, which has fire sensitive forests. Then, the accuracy of the fire risk map was evaluated by taking into account the previous fires in the regional directorate. As a result, 13.87% of the study area was determined as very high, 25.87% high, 24.68% medium, 22.44% low and 13.14% very low risk areas. The results showed that tree species are the most effective risk factor in forest fires, and stand age comes second. The accuracy of the fire risk map created by the AHP method was evaluated by using the location information of a total of 562 fires in Mersin Regional Directorate of Forestry between 2003-2022 that damaged forest areas. In order to determine the accuracy of the fire risk map, ROC (Receiver Operating Characteristic) curve method was used in ArcGIS environment. As a result, the AUC (Area Under Curve) value was found to be approximately 74%, and these values showed that the fire risk map developed for Mersin Regional Directorate of Forestry was moderately reliable. With this study, it has been demonstrated that it is possible to produce reliable fire risk maps in a short time using the GIS-based AHP method.

Keywords: Forest fire, GIS, Fire risk map, AHP, Mersin.

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde ekolojik dengeyi sağlayan en önemli ekosistemlerin başında ormanlar gelmektedir. Ormanlar sadece ağaç topluluğu olmayıp, canlı organizmalarla fiziksel çevre faktörlerinin birbirleriyle iletişim halinde olduğu bir ekosistemdir. Ormanlar iklim üzerindeki etkileri, odun hammaddesi ile odun dışı orman ürünlerinin sağlanabilmesi, rekreasyon faaliyetlerinin yerine getirilmesi, görsel ve sağlık açısından zengin hizmet sağlayan ve en önemlisi yaşamın devam edebilmesi için atmosfer döngüsünün sağlanarak binlerce canlıya ev sahipliği yapan, yenilenebilir özellikte olan doğal kaynaklardır (Baysal, 2014).

Dünyanın toplam ormanlık alanı 4 milyar ha'dan biraz fazla olup, toplam karasal alanın %30'u ormanlarla kaplıdır. Ormanlık alan açısından dünyanın en zengin beş ülkesi (ABD, Brezilya, Çin, Kanada ve Rusya Federasyonu) aynı zamanda dünya orman alanlarının yaklaşık yarısına sahiptir. 10 ülke ve bölgenin hiç ormanlık alanı olmayıp, bu ülkelere ilaveten 54 ülkenin de ormanlık alanları ülke alanlarının %10'undan daha azdır (Demirci, 2010).

Yaklaşık olarak 78 milyon ha alanıyla ekolojik olarak zengin bir biyoçeşitliliğe sahip ülkemizde ormanlar bu zenginlik içerisinde önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de 22,9 milyon ha orman alanı bulunmakta olup, ülke genel alanının %29,4'ü orman alanlarıyla kaplıdır (OGM, 2020). Dünyada orman varlığını arttıran nadir ülkeler arasında yer alan Türkiye, son yıllardaki artış ile orman alanları itibarıyla dünya ortalamasını yakalamıştır. 1973 yılından günümüze gelen süreçte koru ve verimli orman miktarlarının arttığı istatistiklerde görülmektedir. Genel orman alanı ise yaklaşık 2,7 milyon ha artış göstermiştir. Orman alanlarımızın %94'ü koru, kalan miktar ise baltalık ormanlardır. Ayrıca ormanların %58'i verimli, kalan kısım ise bozuk ve boşluklu ormanlardır (OGM, 2020). Ülke ormanlarımızın %59'u saf, %41'i karışık ormanlardır. Yine ormanlarımızın %48'i ibreli, %32'si yapraklı, %20'si ise ibreli ve yapraklı karışık ormanlardır. Ağaç türlerine baktığımızda %29,42 ile meşe birinci sırada olup, bunu kızılçam (%22,74), karaçam (%18,31), kayın (%8,19), ardıç

(%6,42), sarıçam (%6,15), göknar (%2,23), sedir (%1,75), ladin (%1,60) ve diğer türler (%3,19) takip etmektedir (OGM, 2020).

Ormanlar toprak ve suların korunması, kirli havayı temizleme, biyolojik çeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi gibi önemli görevleri bulunmaktadır (Akbulak ve Özdemir, 2008). Ormanların bu görevlerini devamlı olarak yerine getirebilmesi için sosyal, çevresel, ekonomik, sağlık, sosyokültürel öğeleri değerlendirerek planlanması böylece gelecek nesillere de aktarılması gerekmektedir (Wilkie ve diğ., 2003). Son zamanlarda hızla artan nüfusun istekleri yenilenebilir özelliğe sahip ormanlar üzerindeki baskıyı arttırmıştır. Orman alanlarının açılarak daraltılması, ekonomik kazanç elde etme ve ısınma amacıyla ağaçların kesilmesi ve orman yangınları orman kaynakları üzerindeki baskıyı göstermektedir (Ertuğrul, 2005). Bu etkilerin başında gelen ve ormanları büyük ölçüde tahrip ederek orman kaynaklarının devamlılığına etki eden orman yangınlarının %95 oranında insan kaynaklı çıktığı düşünülmektedir (Bilici, 2008).

Akdeniz Bölgesinin doğusu Kahramanmaraş'tan başlayarak Marmara Bölgesine kadar devam eden kıyı şeridi boyunca, yaklaşık 12 milyon ha orman alanı orman yangınları açısından hassas alanlar içerisinde bulunmaktadır. Ülkemiz genel orman alanlarının %58'i hassas orman alanlarını oluşturmakta olup, bu alanların %35'i birinci, %23'ü ikinci, %22'si üçüncü, %15'i dördüncü ve %5'i ise beşinci derece yangına hassas alanlar içerisinde yer almaktadır (OGM, 2014). Orman Genel Müdürlüğü 2004-2021 yılları orman yangınları istatistik sonuçlarına göre alansal bazda yıllık ortalamalara göre Antalya (5027,90 ha), Muğla (3086,26 ha), İzmir (1257,65 ha), Mersin (1088,95 ha) ve Kahramanmaraş (941,09 ha) Orman Bölge Müdürlükleri sıralamalarda ilk beşte bulunmaktadır (OGM, 2022).

Orman yangınları başladığı anda zaman kaybetmeden en kısa zamanda ulaşılarak yangına müdahale edilmesi orman yangınları ile etkin mücadele edilebilmesi için büyük önem taşımaktadır (Çanakçıoğlu, 1993). Orman yangınları büyümesi halinde doğal afete dönüşmektedir. Son zamanlarda gelişen teknoloji ile birlikte uygulanan yeni teknik ve uygulamaların kullanılmasıyla çıkan orman yangın sayısı ve zarar verdiği orman alanında azalma olduğu görülmüştür (Küçük, 2004).

Orman yangınları ile etkin mücadele için meşcere yapısı, topografik durum, belirli noktalara yakınlık, iklim gibi risk faktörlerine bağlı olarak değişen yangın riski

bulunan alanların belirlenmesi gerekmektedir (Carmel ve diğ., 2009). Yangını riskini belirleyen meşcere özellikleri; ağaç türü, meşcerenin kapalılığı ve meşcere çağlarıdır (Gao ve diğ., 2011). Yangın riskini etkileyen en önemli faktörlerden birisi ağaç türleridir. İğne yapraklı ağaçlar içerdiği reçine ve nem oranının az olmasından dolayı hızlı bir şekilde tutuşarak yanabilmektedir. Yapraklı türlerin içerdiği nem oranının yüksek olmasından dolayı yangına karşı daha dirençlidir (Gazzard, 2012). Meşcerenin kapalılığı arttıkça yanıcı madde yoğunluğu da artmakta, çıkabilecek yangının kolayca tepe yangınına dönüşerek hızlıca yayılmaktadır. Bu nedenle yüksek kapalılığa sahip meşcereler yangın açısından daha risklidir (Küçük ve diğ., 2009). Meşcere özelliklerinden bir diğeri meşcere çağlarıdır. Genç meşcereler orman yangınları açısından yüksek riskli iken, yaşlı ormanlar daha düşük risklidir (Bilgili, 2003; Sağlam ve diğ., 2008)

Topografik yapı orman yangınlarını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Arazi şekli eğim, bakı, yükseklik gibi topografik yapının özelliğinin bilinmesi yangının çıkması, yayılma hızı ve yangın yönü üzerinde bilgiler vermektedir (Şakar, 2010). Eğimin fazla olduğu alanlar yangın açısından yüksek risklidir. Bakı faktörü sıcaklık ve nem oranı üzerinde etkili olduğundan yangın riskini etkilemektedir. Güney bakılarda nem oranı düşük olduğundan yangın riski daha yüksektir (Lin ve Rinaldi, 2009).

Orman yangınlarını etkileyen faktörlerden biri de iklim koşullarıdır. Sıcaklık değerleri, yağış miktarı ve rüzgâr yönü ve şiddeti gibi iklim unsurları orman yangını riskini etkilemektedir. Hava sıcaklığının artmasıyla yanıcı maddeler ısınarak tutuşma sıcaklık değerine hızlıca ulaşır. Bu durumda orman yangınları hızlı yayılma eğilimi gösterir (Çanakçıoğlu, 1993). Yağışlar yanıcı maddelerde bulunan nem oranını etkilediğinden yağışın az olduğu yaz mevsimi orman yangınları açısından çok yüksek oranda risklidir. Yanıcı maddelere yangın esnasında oluşan ısıyı ve gazları hızlıca ulaştıran rüzgarlar (Küçük ve diğ., 2009) yangını riskini etkileyen diğeri bir iklim parametresidir. Rüzgâr şiddetinin fazla olması alevlerin uzak mesafelere taşınarak yangının geniş alanda ve hızlı bir şekilde yayılmasına neden olmakta, yangından etkilenen alanı da arttırmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

Yol ağlarına, yerleşim yerlerine ve tarım alanlarına yakın alanlarda insan faaliyetleri fazla olduğundan bu orman alanları yangın açısından daha risklidir (Jaiswal ve diğ., 2002). Ayrıca, su kaynaklarına yakınlık orman yangınlarını etkileyen diğeri bir faktördür. Su, orman yangınlarının söndürülmesi çalışmalarında en büyük rolü

oyunmaktadır. Bu nedenle su kaynağına yakın olan alanlarda yangınlara kısa süre içerisinde müdahale edilebildiğinden yangın riski azdır. Su kaynaklarına uzak alanlar yangınlardan daha fazla etkilenmektedir (Çanakçıoğlu, 1993).

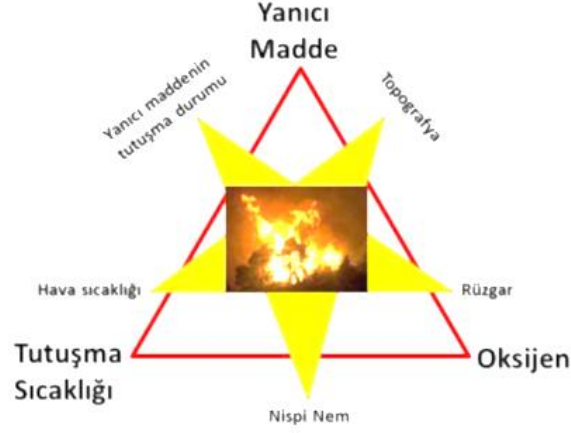
Orman yangınlarının yol açtığı ekolojik ve ekonomik olumsuzluklarını asgari düzeye indirmek için, mekânsal olarak yangın riski alanları belirlenerek bu alanlarda yangın çıkmadan ya da yangın çıktığı anda büyümeden müdahale etmek için önlemler alınmalıdır (Akay ve Erdoğan, 2017). Günümüzde her alanda gelişen ve kullanılan teknolojilerin orman yangınlarında kullanılması son derece önemlidir. Uzaktan algılama, yapay zekâ, coğrafi bilgi sistemleri, karar destek sistemleri dünyada yangın kuruluşları tarafından kullanılmaktadır (Bilgili ve Küçük, 2002). Bu sistemlerin kullanılması yangın çıkmadan önce ve yangın anında en etkin mücadeleyi yapmak için verilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri, çeşitli veri tabakalarının kısa zamanda değerlendirmesini sağlayarak büyük alanlara ait yangın risk haritaları oluşturulmasını sağlamaktadır (Erten ve diğ., 2005). Zaman içerisinde yangın risk haritalarının hızlı ve etkili olması amacıyla CBS teknikleri, Çok Kriterli Karar Verme Analizi (MCDA) ile bütünleştirilmiştir (Carmel ve diğ., 2009). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), orman alanlarındaki karmaşık mekânsal bilgileri çözümlmek için kullanılan en yaygın MCDA yöntemlerindedir.

Bu çalışmada, ağaç türleri, kapalılık, meşcere çağı, eğim, bakı ile yollara, yerleşim yerlerine ve ziraat alanlarına yakınlık gibi faktörler dikkate alınarak orman yangın riski haritasını üretmek amacıyla CBS teknikleri ile birlikte AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, orman yangınlarına hassas olan Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarında gerçekleştirilmiştir.

1.1 Orman Yangınları

Orman yangınları orman içerisinde bulunan canlı ve cansız bütün varlıkları kısmen veya tamamen yakabilen, açık alanda olmasından dolayı çeşitli faktörlere göre serbest yayılma özelliği gösteren yangınlardır (Eroğlu, 2009). Yanma olayının gerçekleşebilmesi için gerekli üç unsur oksijen, sıcaklık ve yanıcı maddedir. Yanma olayını meydana getiren bu üç unsurun oluşturduğu üçgene 'Yangın Üçgeni' denmektedir. Bu üç unsurdan birinin olmaması halinde veya yeterli düzeyde bulunmaması halinde yanma olayı gerçekleşmez. Orman yangınlarının hangi yangın türü olduğunu, büyüklüğünü, yayılma derecesini ve yangın şiddetini yangın üçgeni

unsurlarının miktarı ve niteliği belirler (Sepetçi, 2014). Orman yangınları, mekân, yanıcı madde ve topografik faktörlere göre değişken davranışlar gösterir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Yangın üçgeni (Asri ve diğ., 2015).

1.1.1 Yangın türleri

Orman yangınları; örtü, tepe ve toprak yangını olarak üç şekilde görülmektedir (OGM, 1995). Ülkemizde meydana gelen orman yangınları örtü ve tepe yangınlarıdır. Yangın davranışlarına bakıldığında genel olarak orman yangınları örtü yangını olarak başlar daha sonra yangın parametrelerine bağlı olarak tepe yangınına dönüşür ve geniş alana yayılmış olur (Şahin, 2019).

Toprak yangınları toprak yüzeyi altındaki kalın organik madde tabakalarının yanmasıyla meydana gelir (Çanakçıoğlu, 1993). Ülkemizde kalın humus tabakası ve turbalıkların çok az olmasından dolayı bu tür yangınlar görülmemektedir. Örtü yangını orman toprağı yüzeyinde bulunan ölü ve diri örtünün yanmasıdır (OGM, 1995). Örtü yangının yayılma hızı ve şiddeti, yanan alan içerisinde bulunan ölü ve diri örtünün durumuna göre değişkenlik gösterir. Örtü yangını devam ederken ağaç ve ağaççıkların tepelerinin de yanmasıyla meydana gelen tepe yangını en tehlikeli yangındır (OGM, 1995). Hızlı bir şekilde ilerleyen tepe yangınları, ağaçların büyük oranda zarar göresine ve meşcerelerin yok olmasına neden olmaktadır.

1.1.2 Yangın çıkış sebepleri

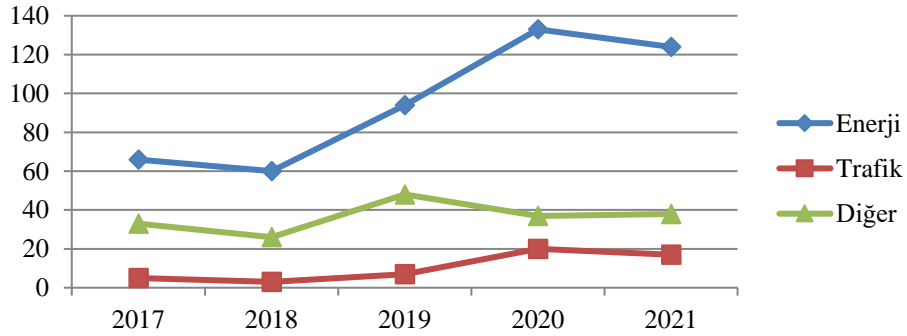
Ülkemizdeki orman yangınları çıkış sebeplerine göre; kaza, ihmal ve dikkatsizlik, kasıt, doğal nedenler (Yıldırım) ve nedeni bilinmeyen yangınlar olarak gruplandırılmıştır. Yangınların çıkış sebeplerine ilişkin istatistiki bilgilere göre;

yangınların %5'i kasıt, %36'sı ihmal ve kaza, %12'si yıldırım nedeniyle çıkmış olup, %46'sının nedeni ise belirlenememiştir (OGM, 2022) (Çizelge 1.1).

Çıkış nedeni kaza olan orman yangınları başta çoğunluğu enerji nakil hattı olmak üzere trafik ve diğer kaza sebeplerinden meydana gelmektedir (Şekil 1.2). Enerji nakil hatlarının kopması, kuşların kısa devre yaparak yanması ve ağaçların büyüyerek nakil hattına temas etmesi sonucu oluşan kısa devre ile ağaçların yanması yangın çıkış sebeplerindedir. Trafik kazalarının da orman yangınlarına sebep olduğu OGM istatistiklerinden görülmektedir (OGM, 2022).

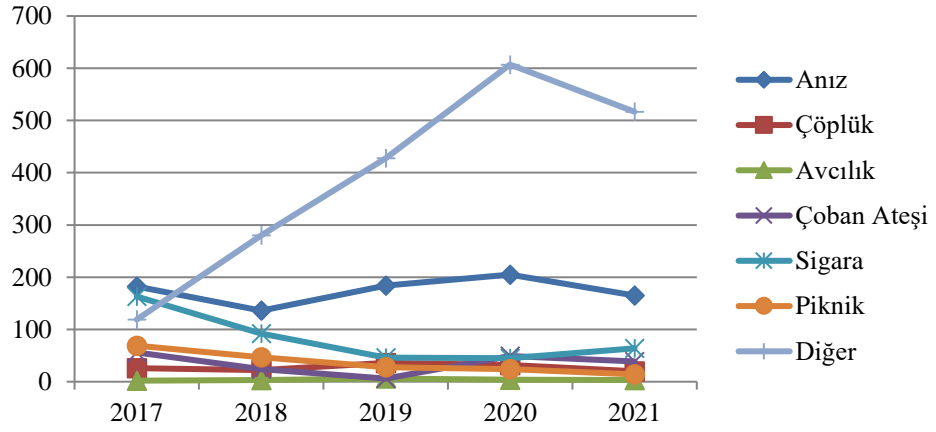
Çizelge 1 : 2011-2021 yılları arasında çıkan yangınların nedenleri (OGM, 2022).

Toplam Yanan Alan		Yangın Çıkış Sebepleri							
		Kasıt		İhmal-Kaza		Doğal Sebepler (Yıldırım)		Faili Meçhul	
Yıl	Adet	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
2011	1 954	153	8	1 067	55	130	7	604	31
2012	2 450	197	8	936	38	373	15	944	39
2013	3 755	260	7	1 419	38	258	7	1 818	48
2014	2 149	127	6	801	37	328	15	893	42
2015	2 150	138	6	794	37	257	12	961	45
2016	3 188	157	5	990	31	310	10	1 731	54
2017	2 411	151	6	721	30	259	11	1 280	53
2018	2 167	92	4	693	32	413	19	969	45
2019	2 688	124	5	883	33	372	14	1 309	49
2020	3 399	72	2	1 156	34	312	9	1 859	55
2021	2 793	110	4	1 001	36	353	13	1 329	48



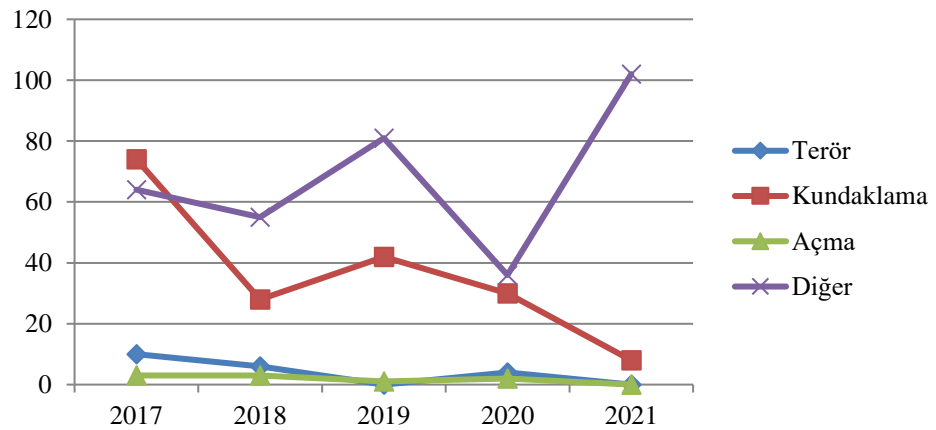
Şekil 1.2 : Kaza nedenleri ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).

İhmal ve dikkatsizlik sonucu çıkan orman yangınları dikkate alındığında yangına sebep olan ana unsurlar sigara, anız, piknik, çoban ateşi ve avcılık vd. olarak karşımıza çıkmaktadır (OGM, 2022). 2017-2021 yıllarında ihmal ve dikkatsizlik nedeniyle çıkan yangınlardan anız yangınları birinci ve sigara nedenli yangınlarsa ikinci sırada yer almaktadır (Şekil 1.3). Yangına hassas alanlarda piknik ateşinin yakılması, gerekli önlemin alınmaması ve ateşin tamamen söndürülmeden bırakılması da orman yangınlarına sebebiyet vermektedir.



Şekil 1.3 : İhmal ve dikkatsizlik nedeni ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).

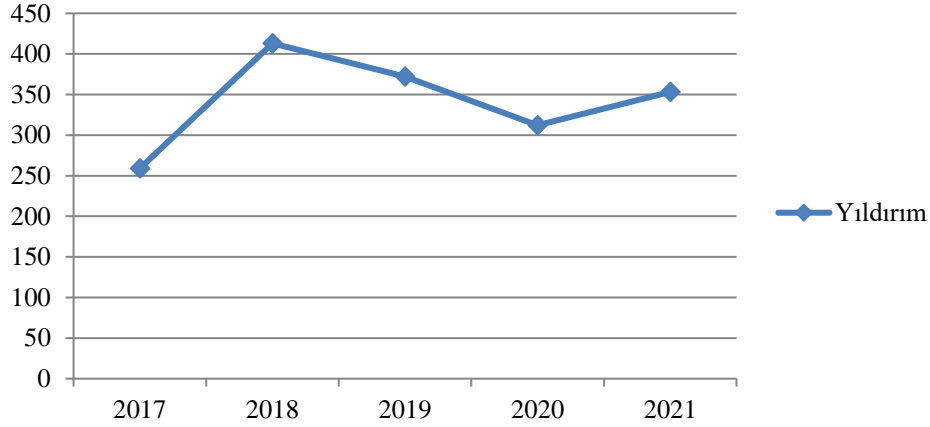
Kasıt sebebiyle çıkan yangınlar; terör, kundaklama, açma ve diğer nedenler olarak belirtilebilir (OGM, 2022). Kasıt yangınlarında en çok kundaklama şeklinde çıkmaktadır. Tarım arazisine dönüştürme amacıyla da yangınlar çıkarılabilmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 : Kasıt nedeni ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).

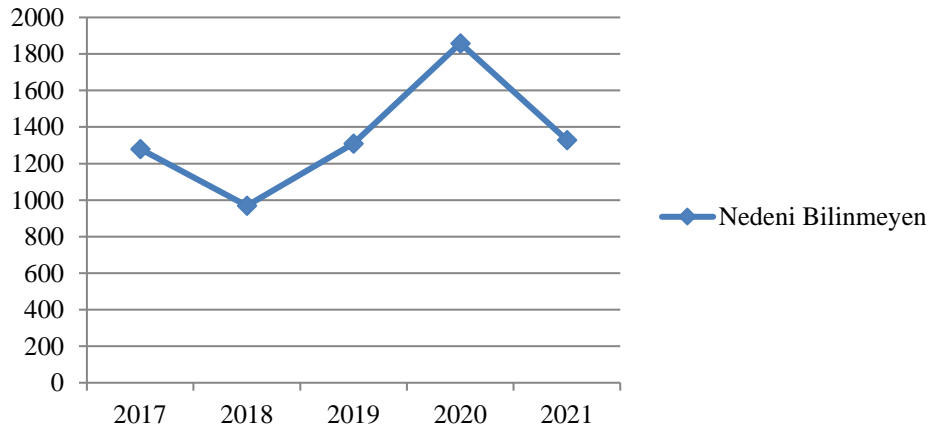
Yıldırım sebebiyle orman yangınlarının meydana gelmesi ORAJ (gök gürültüsü + şimşek) ile olabilmektedir (Avcı ve diğ., 2009). 2017-2021 yıllarında sebebi yıldırım

olan yangınların istatistik bilgileri Şekil 1.5’de görülmektedir. Yıldırım olayları ülkemizde en çok Muğla ve Denizli’de yıldırım yangınları görülmektedir (Karaca ve diğ., 2000). Ülkemizde yıldırım ve şimşek olayları en çok ilkbahar, yaz başlangıcı ve sonbahar aylarında görülmektedir (Öztopal, 2017).



Şekil 1.5 : Yıldırım nedeni ile çıkan orman yangınları (2017-2021) (OGM, 2022).

Yangın olay yerinin incelenmesi ve araştırılmasına rağmen yangın çıkış nedeni bulunamayan yangınlar nedeni bilinmeyen yangınlar olarak kayıt altına alınmıştır. 2017-2021 yılları arasında çıkan ve nedeni belli olmayan orman yangınlarına dair sayısal veriler Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6 : Yıllara göre nedeni bilinmeyen orman yangınları (OGM, 2022).

1.2 Yangını Etkileyen Faktörler

Orman yangınlarının geniş alanlara yayılarak tehlikeli bir durum oluşturmasına sebep olan tüm risk faktörleri tespit edilmelidir. Yangınları etkileyen unsurların tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması yangınla mücadelenin daha başarılı sonuç

vermesini sağlamaktadır. Yangını etkileyen en önemli faktörler yanıcı madde, hava halleri ve topografik koşullardır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.2.1 Yanıcı madde

Bir alanda çıkan orman yangınının tehlikesi yanıcı maddenin özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Orman yangınının çıkması, büyümesi ve yayılması davranışı, meteorolojik ve topografik faktörlerin yanında en fazla yanıcı madde özelliklerine bağlıdır (Topaloğlu, 2013). Ormanda bulunan yanıcı maddelerin yayılışları farklı olabilmektedir. Yanıcı maddelerin dikey yayılışları ve genel özellikleri dikkate alındığında, yüksek boylu, toprak üstü ve toprak altı orman yanıcı maddeleri olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Yangınla mücadele eden her bireyin yanıcı madde türlerini, yanma koşullarını iyi bilmesi gerekir. Aksi halde yangınla mücadele sırasında tehlikelerle karşılaşma ihtimali yüksektir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.2.2 Hava halleri

Orman yangınının meydana geldiği alanlarda hava durumu devamlı olarak takip edilmesi gereken önemli bir etkidir. Hava hallerinin değişiklik göstermesi, yangınların nasıl, ne zaman ve nerede çıkacağını önemli şekilde etkilemektedir. Hava sıcaklığı ile bağıl nem genellikle ters orantılı bir şekilde olmakta, nem oranı sabah ve akşam saatlerinde yüksek, öğle saatlerinde ise düşüktür. Havada bulunan bağıl nem azaldığında yanıcı maddelerde de nem oranı düştüğünden yangınlar açısından yüksek risk oluşmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.2.3 Topografik koşullar

Yangını etkileyen diğer önemli bir faktör yangın alanınının topografik özellikleridir. Özellikle yangın yörelerinin engebeli olması yangın davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca farklı arazi yapısında yanıcı madde özellikleri ve hava halleri değişiklik göstermektedir. Bakı, yükseklik, eğim gibi topografik yapının durumu yangının şiddeti, yayılma durumu ve yangının yönü üzerinde önemli bilgiler verir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3 Yangın Riski

Yangın riski, bir orman alanında orman yangınlarının çıkışına sebep olan faktörlerin olması ve etkisine bağlı olarak o alanda yangının başlama olasılığıdır. Eğim, bakı,

yükseklik gibi bazı topografik özelliklerle beraber sıcaklık, yağış, nem miktarı ve rüzgâr etkisi, yerleşim yeri, yol ağı, tarım arazileri ve su kaynağına yakınlık, ağaç türü, yaşı ve kapalılığı gibi meşcere özelliklerinin yangın riski üzerinde çok önemli etkileri bulunmaktadır. Yanıcı madde miktarının aynı olduğu bir orman alanında insan yoğunluğunun fazla olması durumunda, yangın tehlikesi aynı derecede olmasına rağmen yangın riskinin daha yüksek olacağı söylenebilmektedir (Çanakçıoğlu, 1993). Orman yangınları ile mücadele risk analizi yapılarak yüksek risk alanlar tespit edilmelidir.

1.3.1 Eğim

Arazi yapısının engebelik derecesini belirten eğim faktörünün orman yangınlarında önemli risk derecesi vardır. Eğimli arazide yangınlar daha çabuk yayılma eğilimi gösterdiğinden eğim artışı ile yangın riski doğru orantılıdır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.2 Bakı

Bakı bir arazinin eğim yönünü belirtir. Arazilerin hangi yöne baktıklarına göre sekiz bakı şekli ifade edilse de hiçbir yöne bakmaya arazileri de düz bakı olarak değerlendirilebilmektedir. Bakılar orman yangınlarında risk değerlerine etki eden faktörlerdendir. Güney ve güneydoğu bakılar, daha fazla direkt güneş ışığı alarak hava ve yanıcı madde sıcaklıklarının da artmasına sebep olduğundan yangın için daha riskli alanlardır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.3 Bağıl nem

Havada bulunan nem oranı zamana göre farklılıklar göstermektedir. Nem oranları yangının çıkması ile ters orantılıdır. Nem oranı düştükçe tutuşma hızı artmaktadır. Havanın bağıl nemi azaldıkça yangın riski artmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.4 Sıcaklık

Hava sıcaklığı arttıkça yanıcı maddelerdeki nem oranı azalır, yanıcı maddeler ısınmaya başlar. Bu nedenle yanıcı maddeler daha kolay tutuşma sıcaklığına ulaşmaktadır. Bu durum yangının yayılma hızını da arttıracaktır. Yanıcı maddeler yüksek ısıda daha hızlı bir şekilde yayılma eğilimi göstermektedir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.5 Yağış

Yağışlar nem oranı ile ilişkili olduğundan yangın riskini doğrudan etkiler. Sonbahar ve kış aylarında mevsimin kurak geçmesi yaz dönemi için orman yangınlarını riskli hale getirir (Çanakçıoğlu, 1993). İlkbahar ve yaz ayı başlarında yağışların uzun sürmesi ilk başta yangın riski açısından olumlu görünse de arazide çoğalan otların yaz aylarında kurumasıyla yangın riski artacaktır.

1.3.6 Rüzgâr

Yangın davranışlarını etkileyen önemli etkenlerden biri de rüzgarlardır. Rüzgar hızının artmasıyla alevlerin bir yerden bir yere taşınması gerçekleşir. Daha fazla alana yayılmasına sebep olarak yangın söndürme işlerini de güçleştirmektedir. Ayrıca denizden esen rüzgarlar nem oranını artırırken karadan esen rüzgarlar nem oranını düşürür. Böylece rüzgâr yangın riskini arttıran bir etki gösterir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.7 Ağaç türü

Orman yangınlarıyla ilgili olarak ağaç türleri kendi karakteristik özelliklerine ve bulunduğu coğrafik özelliklere göre yangın riskine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Kızılcım gibi ibreli, özellikle Akdeniz iklim kuşağında bulunan, nem oranı düşük, yanma özelliğini arttıran yüksek reçineye sahip ağaç türleri hızlıca yanabildiğinden yangın açısından yüksek risk taşımaktadır. Diğer taraftan, geniş yapraklı yüksek nem oranı bulunan türler yangına karşı daha dayanıklıdır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.8 Kapalılık ve çağ sınıfı

Yangın açısından kritik önem taşıyan bir faktör de kapalılık durumudur. Ormanlar, %70 ve üzeri kapalılığa sahip olan sıklık çağındaki ağaçlardan oluştuğunda, kolaylıkla tutuşabilen ince yanıcı madde açısından yüksek bir yoğunluğa sahip olurlar ve bu da yangınların hızla tepe yangınına dönüşerek hızlıca yayılmasına neden olabilir. Öte yandan, %40'dan düşük kapalılığa sahip olan kalın ağaçlık çağındaki ormanlarda, yangının tepe yapması zor ve ilerlemesi güç olur. Bu tür alanlarda genellikle örtü yangını olarak devam eden orman yangınları kısa sürede söndürülebilir. Yangın riskinin belirlenmesinde kapalılık ve çağlar birlikte değerlendirilmelidir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.9 Yerleşim yerlerine yakınlık

Orman yangınlarının %95'inin insan kaynaklı çıktığı düşünüldüğünde yerleşim yerine yakınlık ile orman yangınları arasında doğrudan bir ilişki olduğu belirtilebilir. Yerleşim yerine yakın alanlar yangın açısından daha risklidir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.10 Su kaynaklarına yakınlık

Su, ormanın yangınlarıyla mücadelede kullanılan en önemli araçtır. Su kaynaklarına yakın olmak, arazöz, sun tankeri gibi kara araçları ile helikopter ve uçak gibi hava araçlarının suyu kısa sürede alarak yangına hızlı bir şekilde müdahalesini sağlar. Yangınlar daha kısa sürede kontrol altına alınacağından yangın riski su kaynaklarına yakın yerlerde daha az olacaktır. Büyük su kaynaklarının bulunduğu alan ve çevresinde oluşacak mikroklima bağıl nemin artmasına sebep olacağından yangın riski azalacaktır (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.11 Yol yoğunluğu ve yola mesafe

Yol yoğunluğu orman yangınlarını etkileyen önemli bir faktördür. Otoyol, karayolu ve köy yolları gibi taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda çeşitli sebeplerle orman yangınları çıkabileceğinden yollara olan yakınlık yangın riski yönünden önemli bir etkidir (Çanakçıoğlu, 1993).

1.3.12 Ziraat alanlarına yakınlık

İhmal ve dikkatsizlik sebebiyle çıkan orman yangınlarının büyük çoğunluğunun anız yangınları olduğu düşünüldüğünde, özellikle orman alanına sınır ziraat alanlarının orman yangınlarına önemli etkisi olduğu görülmektedir. Ziraat alanlarına yakın yerlerde artan yangın riski, uzaklaştıkça düşmektedir.

1.4 Yangın Tehlikesi

Yangın tehlikesi, söndürülme zorluğu bulunan kolay tutuşabilen kuru ve ince ya da kalın yanıcı maddelerin oluşturduğu olay olarak tanımlanabilmektedir (Saribaşak, 2000). Orman yangınlarına etki eden yanıcı madde niteliği ve niceliği, topografik yapı ve hava halleri gibi faktörler de yangın tehlikesi olarak tanımlanmaktadır (OGM, 1995).

Bir ormanda yanıcı madde miktarı, boyutu ve devamlılığı gibi özelliklerin homojen olduğunu varsaydığımız durumda, sıcaklık, yağış, nispi nem, rüzgâr yönü ve hızı ile topografik koşullar gibi değişkenlerle yangının ilerleme hızı arasında bir ilişki kurularak 1-100 arasında değişen bir "Yangın Tehlike İndeksi" (YTİ) geliştirilmiştir (Neyişçi ve diğ., 1996). En yüksek YTİ değeri olan "100" yangının hızla başlayacağını ve şiddetli bir yanma olayının hızla gerçekleşeceğini gösterir. Bu tür yangınlar dehşetli bir şekilde gelişir ve normal yöntemlerle kontrol edilemeyecek kadar hızlı ilerler. Kıvılcım ve tepe yangını, bu tür yangınların tipik özellikleri arasındadır. Doğrudan söndürme yöntemleri nadiren yangının hemen başında uygulanabilir, aksi takdirde son derece tehlikeli olabilir (Çanakçıoğlu, 1993).

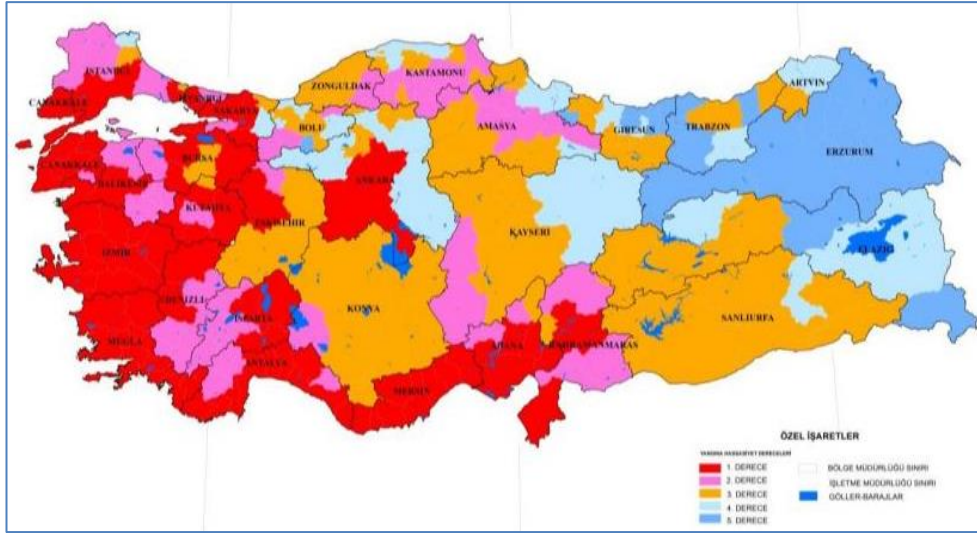
1.5 Yangın Hassasiyeti

Orman alanlarında yangın hassasiyet oranının belirlenmesinde, çıkan yangın sayısı, yanan alanın işletmenin orman alanına oranı ve yangın sabitesi kullanılmaktadır (Mol, 1994). Orman yangınlarıyla etkili mücadele yapılabilmesi için hassaslık oranı bilinen bir işletmenin diğer işletmelere göre durumunu göstermek ve yangına hassaslık sıralamasını yapmak için yangına hassaslık derecesi kavramı geliştirilmiştir. Çıkan orman yangınlarının ayrıntılı arşiv bilgilerinin bulunması, hassaslık derecesinin doğru yapılabilmesi için en önemli etkidir (Küçük ve Ünal, 2005).

Belli bir hassasiyete sahip işletmeleri temsil eden yangına hassasiyet derecesi, aynı zamanda hassasiyet sınıfını oluşturmaktadır (Mol, 1994). Yangına hassasiyet derecesi, yanan alan miktarına ve birim alana düşen yangın sayısına bağlıdır. Yıllık yangın sayısı azaldıkça hassasiyeti azalmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993). Yangın sabiti değerleri, işletmelerin yangına hassasiyet düzeylerini belirlemek için kullanılmaktadır (Tablo 1.2). Türkiye’de Orman İşletme Müdürlüklerine göre yangın hassasiyet derecesi haritası Şekil 1.7’de verilmiştir.

Çizelge 2 : Yangın hassasiyet derecesi (Çanakçıoğlu, 1993).

Hassasiyet Derecesi	Yangın Sabiti
1	$\geq 0,35$
2	0,20 – 0,35
3	0,10 – 0,20
4	0,05 – 0,10
5	$< 0,05$



Şekil 1.7 : Yangın hassasiyet haritası (OGM, 2013).

1.6 Orman Yangınlarında Hassas Ormancılık Yaklaşımları

Hassas ormancılık yaklaşımında analizler modern teknikler ve analitik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda en yaygın kullanılan yöntemler ise CBS ve bilgisayar destekli karar destek sistemleridir. Orman yangınları ile mücadelede başarılı olmak için kaynakların hem etkin hem de ekonomik bir şekilde kullanılması ve gelişmiş teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Günümüzde her alanda gelişen ve kullanılan teknolojinin orman yangınlarında da kullanılması son derece önemlidir. Uzaktan algılama (UA), CBS, karar destek sistemleri ve yapay zekâ dünyada yangın kuruluşları tarafından kullanılmaktadır (Bilgili ve Küçük, 2002). Bu sistemlerin kullanılması yangın çıkmadan önce ve yangın anında en etkin mücadeleyi yapmak için verilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu verilerin toplanması, analiz edilmesi ve çıkan sonuçların kullanıcılara verilmesi için teknolojinin etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. CBS kullanılarak verilere daha hızlı, daha kolay ve daha ekonomik şekilde ulaşılabilmektedir. Bu bize hem yangın öncesinde hem yangın anında ve hem de yangın sonrasında faydalı bilgilere ulaşmamızı sağlamaktadır (Küçük ve Bilgili, 2006). Bu bilgiler; yangının tehlike durumu ve riski, hava durumu, istatistik, yerleşim yerleri, yollar, yangına varış süresi, çevresel etkiler, yangın söndürme organizasyonu ve kapasitesi gibi verilerdir (Küçük, 2004). CBS sayesinde basit haritalar üretilebileceği gibi daha karmaşık haritalar da üretilebilmekte ve böylece karar vericilere destek sağlanmaktadır. Orman yangınları ile mücadele kapsamında CBS ve Uzaktan Algılama teknikleri kullanılarak, yangın öncesinde yangının tahmin ve erken tespit edilmesi, modelleme, yangın oluşumu, organizasyon ve yangın sonucu meydana

gelen hasarın tespit edilme çalışmaları yapılabilmektedir (Erten ve diğ., 2005). Orman yangınlarında CBS gibi karar destek sistemlerinin kullanılması, planlama yapılması, yönetme ve karar verme sürecinden oluşan yangın başarısını ve ekonomisini etkileyen önemli bir faktördür (Bilgili ve diğ., 2001).

Orman yangınlarına karşı daha etkin mücadele edilmesi için OGM'nin ilgili birimlerince Orman Yangın Bilgi Sistemi (OYBS) geliştirilmiştir. Bu sistem CBS tabanlı olup, sistem ile yangında görevli tüm araçlar konumları itibarı ile gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte, CBS ortamındaki Ağ Analizi yöntemleri kullanılarak yangınlara ilk müdahale ekiplerinin yangın alanına en kısa süre içerisinde nerden ulaşabileceği belirlenebilmekte ve yönlendirilebilmektedir (Ün, 2009).

OYBS ortamında CBS verileri kullanılarak yangın davranışını tespit etmek amacıyla yangın modelleri geliştirilebilmektedir (Ün, 2009). Ayrıca, orman alanlarının yangın ihtimallerinin bilinmesi için yangın risk haritaları üretilmektedir. Buna ilave olarak yangın kulelerinin görünürlük analizleri yapılarak optimum şekilde konumlandırılması sağlanabilmektedir.

1.7 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, orman yangınlarıyla etkin mücadele yapılabilmesi için CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak yangın risk haritası geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda orman yangınları açısından riskli alanların belirlenebilmesi için ağaç türü, kapalılık, çağ, eğim, bakı, yollara, yerleşim yerlerine ve ziraat alanlarına yakınlık gibi faktörler dikkate alınmıştır. Uygulama alanı olarak yangına karşı hassas alanlar bulunan Mersin Orman Bölge Müdürlüğü seçilmiştir. Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde 2003-2022 yılları arasında çıkan orman yangınlarına ait konum bilgileri kullanılarak, AHP yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritasının doğruluğu değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Son yıllarda her alanda kullanımını artan CBS tabanlı yöntemler ormancılık alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. CBS ile birçok faktörün birlikte değerlendirilerek analiz edilmesi sonucunda yangınların olumsuzluklarını azaltacak sonuçlar elde edilmektedir. Ülkemizde CBS kullanılarak orman yangınları ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu bölümde bu çalışmalarında bazılarının yer verilmiştir.

Erten ve diğ. (2005) yapmış oldukları bir çalışmada Gelibolu Yarımadasının yangın risk haritasını oluşturmak ve 25 Temmuz 1992 tarihinde Gelibolu yarımadasında meydana gelen orman yangınının etkilerini değerlendirmek amacıyla çeşitli yangın parametrelerini (bitki örtüsü, topografik yapı, arazi kullanım şekilleri gibi) CBS ortamında analiz etmiştir. Yangın parametreleri ArcGIS ortamına aktarılarak yangın haritalar oluşturulmuştur. Çalışmada iklim verileri sorgulamada dikkate alınmamıştır.

Başaran ve diğ. (2007) yapmış oldukları çalışmada meteorolojik verileri kullanarak yangın risk ve tehlike haritası oluşturmuştur. Çalışmada, Antalya Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme müdürlüklerinin 1978-2004 yılları arası yangın verileri ile 1980-2000 yılları arasındaki meteorolojik veriler kullanılmıştır. Rüzgâr hızı, nispi nem ve sıcaklık değerleri meteorolojik faktörler olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Serik Orman işletme Müdürlüğü'nün yangın konusunda en yüksek risk ve tehlike değerine sahip olduğu, daha sonra Manavgat ve Taşagül Müdürlüklerinin takip ettiği, Elmalı, Akseki ve Korkuteli İşletmelerinin ise düşük risk alanında olduğu tespit edilmiştir. Kuru hava kütlelerini taşıyan kuzey bakılı rüzgarlar havadaki ve yanıcı maddedeki nem oranlarını düşürdüğünden yangınların kısa sürede büyümesine sebep olduğu belirtilmiştir. Manavgat bölgesinin arazi yapısı gereği kuzey rüzgarlarını aldığı, Korkuteli ve Elmalı bölgeleri de nemli güney rüzgarlarını aldığından yangın tehlikesi azaldığı ifade edilmiştir.

Benzer bir çalışmada Karabulut ve diğ. (2013), CBS tekniklerini kullanarak Kahramanmaraş ilinde yer alan Başkonuş ormanlarında yangın risk alanlarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada, sahaya ait bitki örtüsü, topografik yapı ve arazi kullanım verileri kullanılmıştır. Tüm parametrelere yangın oluşturma potansiyeline

göre risk değerleri atanmıştır. Yüksek riskli olanlara “5”, risksiz olanlara “1” değerleri verilmiştir. Çalışma sonucunda Başkonuş ormanlarının %75’inde Karaçam ve Kızılçam gibi türlerin yayılış gösterdiği, %26’sının güney bakılarda olduğu, arazi eğiminin yüksek olduğu, %39’un yola yakın olduğu ve çalışma alanda yerleşim olduğu belirlenmiştir. Tüm bu koşullar değerlendirildiğine Başkonuş ormanlarının büyük bir kısmının yangın riski taşıdığı tespit edilmiştir.

Duran (2014) bir çalışmada Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizini yapmıştır. Çalışma ile Mersin Orman Bölge Müdürlüğü 2001-2013 yılları arasında çıkan 1038 adet yangın başlangıç noktaları esas alınarak mekânsal dağılımı belirlemiştir. Çıkan yangınların koordinatları sayısal haritalar üzerine aktarılmıştır. Verilerin analizi için yükseklik, meşcere ve topografik haritalardan faydalanılmıştır. Altı adet mekânsal faktör (meşcere tipleri, tarım ve iskân alanları ile yollara uzaklık, yükseklik, eğim ve bakı) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Mersin ilindeki ormanların yangına karşı mekânsal hassasiyet düzeylerini belirleyen haritalar üretilmiştir. Kızılçam meşcerelerinin hâkim olduğu Anamur Silifke, Erdemli Gülek ile maki ve sert yapraklı örtünün hâkim olduğu Limonlu Kızkalesi bölgeleri yangına karşı en hassas alanlar olarak tespit edilmiştir.

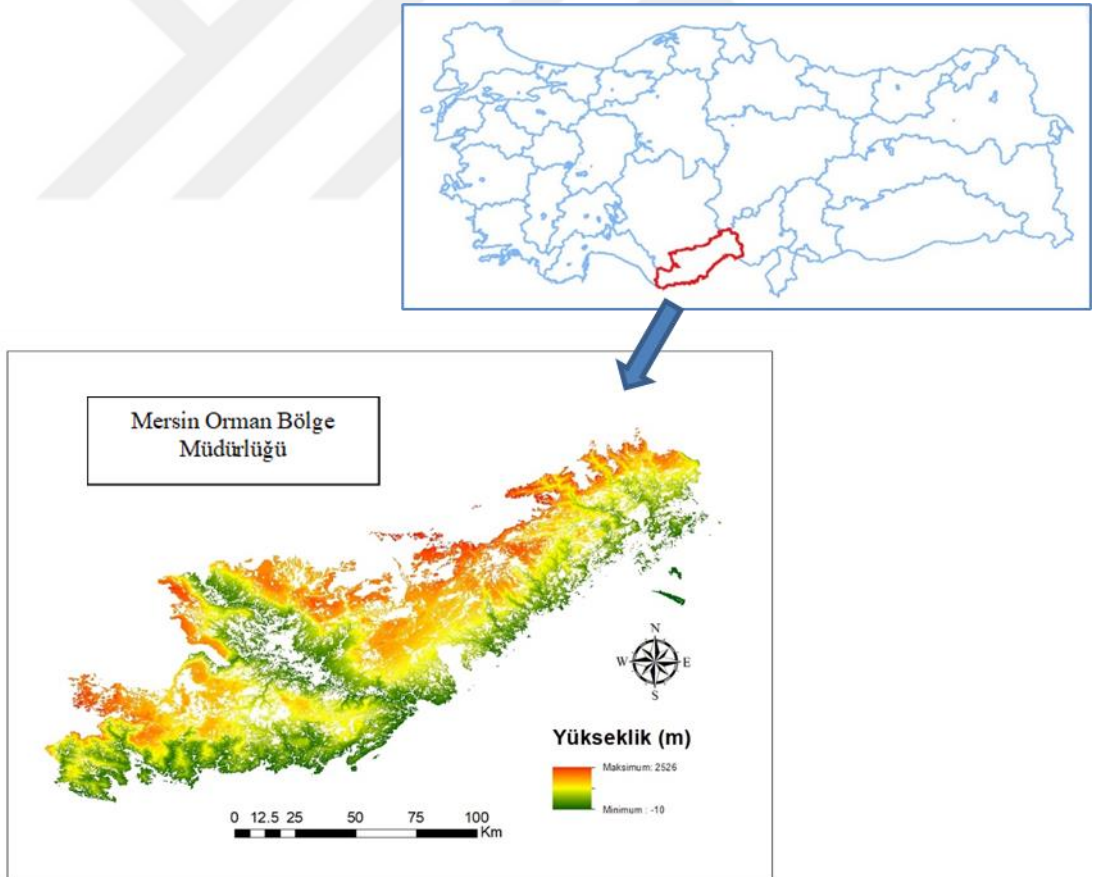
Şahin (2019) CBS teknikleri ve AHP yöntemi kullanarak yürüttüğü bir çalışmada, Bodrum İşletme Şefliğinin hassas orman alanları için yangın risk haritasını oluşturmuştur. Çalışmada yangın riskini etkileyen meşcere yapısı, topografik özellikler ile bazı noktalara yakınlık gibi parametreler kullanılmıştır. AHP yöntemiyle risk haritaları oluşturulmuş, bölgede çıkmış olan geçmiş yangınlar analiz edilmiştir. Yangından zarar gören alanların risk haritasında %66 oranında çok yüksek ve yüksek riskli alanda olduğu tespit edilmiştir. Yangın riski taşıyan alanların GIS tabanlı AHP yöntemiyle kolay ve hızlı bir şekilde tespit edilebileceğini ortaya koymuştur.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı

3.1.1 Çalışma alanı tanıtımı

Çalışma, Mersin ilini kapsayan Mersin Orman Bölge Müdürlüğü (MOBM) sınırları içerisinde yapılmıştır (Şekil 3.1). Güneyi tamamen Akdeniz olan Bölge doğuda Adana, kuzeyde Konya, batıda Antalya Orman Bölge Müdürlükleri komşudur. MOBM'ye bağlı Anamur, Bozyazı, Mut, Gülnar, Silifke, Erdemli, Mersin, Tarsus ve Çamlıyayla olmak üzere 9 adet Orman İşletme Müdürlüğü ve bu müdürlüklere bağlı 66 adet Orman İşletme Şefliği bulunmaktadır.



Şekil 3.1 : Çalışma alanı.

3.1.2 Coğrafi özellikler ve iklim

MOBM alanının %87'si engebelidir. En yüksek noktası 3524 m ile Medetsiz Tepesidir. Mersin sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Yaz ayları sıcak ve nemli, kış ayları ılık ve yağışlı geçer. Yıllık ortalama yağış 1095 mm'dir. Mersin'in ortalama sıcaklığı 22 °C derece civarındadır. Bu değerlerle, Mersin ülkemizin ve Avrupa'nın en sıcak bölgelerindedir. Yaz mevsimi aşırı nemli geçer. Yağışlar genellikle Aralık - Ocak ayları arasında gerçekleşir.

3.1.3 Orman varlığı

Mersin Orman Bölge Müdürlüğü 468.129 ha normal koru, 367.405 ha bozuk koru olmak üzere toplam 835.534 ha orman alanına sahiptir. Orman toprağı dahil toplam açıklık alan 727.534 hektardır. Genel alanın yarısından fazlası (yaklaşık %54'ü) ormanlarla kaplı olan Mersin, dünya ve Türkiye ortalamasının çok üzerinde bir orman alanına sahiptir.

3.2 CBS Veri Tabanı

Orman yangını risk haritası, yangın risk faktörlerini esas alarak mekânsal veri katmanlarından oluşturulan CBS veri tabanı kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan orman yangını risk faktörleri; ağaç türü, kapalılık, meşcere çağları, eğim, bakı ve yollara, yerleşim yerlerine ve Ziraat alanlarına yakınlıktır. İklim parametreleri yangın riski değerlendirmelerinde direkt olarak kullanılmamış, iklim etkisi sınırlı da olsa çalışmadaki bazı faktörlerle (bakı, ağaç türü) temsil edilmiştir. CBS analizlerinin gerçekleştirilmesinde ArcGIS 10.8 programı kullanılmıştır.

3.2.1 Meşcere özellikleri

Orman yangın riskine etki eden meşcere özelliklerinden ağaç türü, kapalılık ve meşcere çağı verileri değerlendirilmiştir. Meşcere özelliklerine ilişkin faktörlere ait sayısal veri katmanları, MOBM'den temin edilen sayısal meşcere haritası (1:25000) esas alınarak oluşturulmuştur. Çok fazla sayıda ağaç türü ve meşcere tipi bulunduğundan risk derecesine göre ağaç türleri gruplandırılarak ağaç türü haritası oluşturulmuştur: 1) Çz, ÇzÇf; 2) Çf, ÇzÇk, ÇkÇz, ÇzAr, ArÇz; 3) Çk, ÇkS, ÇzS, SÇz, Ar, ÇkAr, ArÇk; 4) S, SÇk, SAr, ArS, ÇzG, GÇz, ÇzM, ÇkM, ÇzDy, DiÇz; 5) ArG, GAR, ÇkG, GÇk, ArM, MÇz, MÇk, HrÇz; 6) GS, SG, MAr, Df, Hr, DfHr; 7) G, HrDy,

SM, MS, SDy, SDy, Sr; 8) M, Dy, Mak, Ok, ÖA. Meşcere kapalılığı dört grupta değerlendirilmiş ve kapalılık haritası üretilmiştir; boşluklu kapalı (Bozuk Ormanlar) (%0-10), gevşek (%11-40), orta (%41-70) ve tam (>%70) kapalı alanlar. Meşcere çağları ise altı grupta kategorize edilmiş ve çağ sınıfları haritası üretilmiştir; gençlik ve sıklık (a çağı), sıklık ve direklik (b çağı), ince ağaçlık (c çağı), orta ağaçlık (d çağı), kalın ağaçlık (e çağı) ve çağ grubuna girmeyen bozuk sahalar.

3.2.2 Topografik faktörler

MOBM'den temin edilen eşyüksele eğrileri haritası (10 m) kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiş, sonrasında çalışılan alana ait eğim ve bakı haritaları Sayısal Yükseklik Modeli baz alınarak üretilmiştir. Eğim haritası, %0-5, %5-15, %15-25, %25-35 ve %35'ten büyük olmak üzere beş sınıfta değerlendirilmiştir. Bakı haritası da Düz, K, KB, B, GB, G, GD, D ve KD olarak dokuz sınıfa ayrılmıştır.

3.2.3 Bazı noktalara yakınlık

Ormanların yangın risk oranlarını tespit edebilmek için yollara, yerleşim yerlerine ve ormana sınır ziraat alanlarına olan yakınlıkları dikkate alınmıştır. Yol ağlarına ait veri katmanı MOBM'den temin edilmiştir. Yerleşim yerlerinin ve ziraat alanlarının sayısal veri katmanlarını elde etmek için bölge müdürlüğüne ait meşcere tipi haritası kullanılmıştır. Daha sonra, ArcGIS 10.8 programı içerisinde bulunan "Buffer" komutu ile yol, yerleşim ve ormana sınır ziraat alanlarının çevresinde 100m, 200m, 300m, 400m ve >400m olmak üzere beş adet tampon zon oluşturulmuştur.

3.2.4 Yangın noktaları veri katmanı

Çalışma kapsamında geliştirilen yangın riski haritasının doğruluğunu değerlendirmek için MOBM sınırlarında 2003-2022 yılları arasında 0,5 ha ve daha büyük alanlarda gerçekleşen yangınlarla ilgili koordinat bilgileri bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Daha sonra bu bilgiler ışığında yangın noktalarını gösteren sayısal veri katmanı üretilmiştir.

3.3 AHP Yöntemi

Çalışmada, AHP yöntemiyle ArcGIS 10.8 programı kullanılarak orman yangını risk haritası geliştirilmesi hedeflenmiştir. Aşamalı yapıyı oluşturan öğelerin her bir kümesi AHP yönteminde farklı bir hiyerarşi seviyesini tanımlamaktadır (Saaty, 1977). Bu

yapıda en üst düzeyde asıl amaç, bir alt katmanda bu amacın gerçekleşmesini sağlamak için gerekli üst ve alt ölçütler ve en alt düzeyinde alternatifler bulunmaktadır.

AHP uygulamasında, ağaç türü, meşcere kapalılığı, meşcere çağları, eğim, bakı, yollara, yerleşim yerlerine ve tarım alanlarına yakınlık gibi ölçütler ana kriter olarak değerlendirilmiştir. Orman alanların yangın risk seviyelerinin tespit edilmesi için en düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak beş alternatif risk grubu dikkate alınmıştır (Çizelge 3.1).

Hiyerarşik sistemde bileşenlerin birbirleri üzerindeki etki dereceleri kriterlerin içerisinde ikili karşılaştırma yapılarak belirlenmektedir. İkili karşılaştırmada faktörlerin önem derecelerinin sayısal olarak belirtilebilmesi için görece önem ölçeği kullanılmaktadır. Bu çalışmada da en çok tercih edilen ve iyi sonuçlar veren 1-9 görece önem ölçeği kullanılmıştır (Saaty, 1977) (Çizelge 3.2).

Çizelge 3 : AHP uygulamasında kullanılan kriterler ve alternatifler.

Ana Amaç							
Yangın Risk Haritasının Geliştirilmesi							
Ana Kriterler							
Ağaç Türü	Kapalılık	Meşcere Çağları	Eğim (%)	Bakı	Yollara Yakınlık (m)	Yerleşim Yerlerine Yakınlık (m)	Ziraat Alanlarına Yakınlık (m)
Alt Kriterler							
(1) Çz, ÇzÇf	Boşluklu	Gençlik, sıklık	0-5	Düz	100	100	100
(2) Çf, ÇzÇk, ÇkÇz, ÇzAr, ArÇz	Gevşek	Sırlıklık, direklik	5-15	K	200	200	200
(3) Çk, ÇkS, ÇzS, SÇz, Ar, ÇkAr, ArÇk	Orta	İnce ağaçlık	15-	KD	300	300	300
(4) S, SÇk, SAr, ArS, ÇzG, GÇz, ÇzM, ÇkM, ÇzDy, DiÇz	Tam	Orta ağaçlık	25-	D	400	400	400
(5) ArG, GAR, ÇkG, GÇk, ArM, MÇz, MÇk, HrÇz		Kalın ağaçlık	25-	GD			
(6) GS, SG, MAr, Df, Hr, DfHr		Bozuk alanlar	35	G			
(7)G, HrDy, SM, MS, SDy, SDy, Sr			>35	GB			
(8) M, Dy, Mak, Ok, ÖA				B			
				KB			
Alternatifler							
Çok Düşük Risk	Düşük Risk	Orta Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk			

Çizelge 4 : AHP yönteminde görece önem ölçeği.

Önem Derecesi	Açıklama
1	Eşit derecede önemli
3	Biraz daha fazla önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesinlikle önemli
2, 4, 6, 8	İki yakın ölçek arasında kullanılan ara değerler

İkili karşılaştırmalar, çalışılan konu ile ilgili araştırma yapan uzman ya da uzmanların görüşleri ile yapılmaktadır. Karar verenler tek ya da daha fazla kişi olabilmektedir (Özden, 2008). Çok sayıda kişinin karar verici olduğu durumlarda tutarlılık yönünden bazı sakıncalar olabileceğinden, tek kişinin karar verici olması kararların daha kolay ve tutarlı alınmasını sağlamakta ve daha olumlu sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, ikili karşılaştırmalar tek kişi tarafından yapılmıştır.

Karar vericiler tarafından yapılan ikili karşılaştırmaların gerçekçiliği tutarlılık oranı (CR - Consistency Ratio) hesaplanarak değerlendirilirken CR değerinin 0,10'dan küçük olması durumunda karar vericinin tutarlı olduğunu, 0,10'dan büyük olması durumunda ise tutarsız olduğunu göstermektedir. AHP'de son aşamada genel amaç açısından alternatiflerin görece önem değerleri belirlenmiştir. Karar aşamasında ise alternatiflerin görece önem değerleri karşılaştırılarak, orman yangın riski düzeyi belirlenmiştir. Çalışmada değerlendirilen risk düzeyleri; çok düşük risk, düşük risk, orta risk, yüksek risk ve çok yüksek risk olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, ArcGIS 10.8 ortamında AHP uygulamasına imkân sağlayan "extAhp 2.0" uzantısı kullanılmıştır.

3.4 Risk Haritasının Değerlendirilmesi

Son aşamada, yangını risk haritasının doğruluğunu değerlendirmek için ROC ("Receiver Operating Characteristic"-Alıcı işlem karakteristikleri) eğrisi yöntemi kullanılmıştır. ROC eğrisi yöntemi ilk olarak 1950'lerde elektronik sinyal tanımlamaları ve radar problemlerine yönelik çalışmalarda kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda çok farklı disiplinlerde etkin olarak kullanılan ROC eğrisi yöntemi çeşitli risk haritalarının doğruluğunu değerlendirilmesinde de uygulanmıştır (Satır ve diğ., 2016; Sivrikaya ve Küçük, 2022). Grafikselsel bir yaklaşım olan ROC eğrisi yönteminde, x eksenini yanlış pozitif oranını (1- özgüllük) ve y eksenini gerçek pozitif oranını

(duyarlılık) göstermektedir. ROC eğrisi özgülük ve duyarlılık arasındaki ilişkiyi yorumlamak için kullanılan bir grafik tekniğidir. ROC eğrisinin altında kalan alanın (“Area Under Curve” - AUC) büyük olması tahmin yeteneğinin istatistiksel açıdan başarısını göstermektedir. AUC değerinin bir olması mükemmel bir tahmine işaret etmektedir. Eğri altındaki alanların yorumlanmasında AUC değeri beş kategoriye ayrılmaktadır; zayıf (0,5–0,6); orta (0,6–0,7); iyi (0,7–0,8); çok iyi (0,8–0,9); ve mükemmel (0,9–1,0) (Yeşilnacar, 2005; Gheshlaghi ve diğ., 2020). Çalışma kapsamında, geliştirilen yangın riski haritasının doğruluğunu test etmek için MOBM sınırlarında gerçekleşen orman yangınlarının sayısal veri katmanı dikkate alınarak, ArcGIS 10.8 ortamında ROC eğrisi uygulamasına imkân sağlayan “ROC_ArcSDM” uzantısı kullanılmıştır.

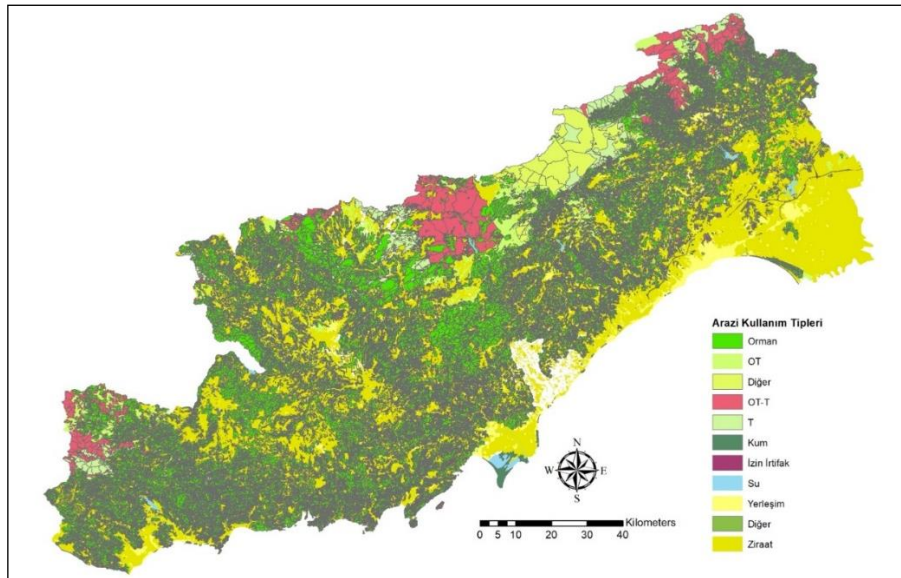


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

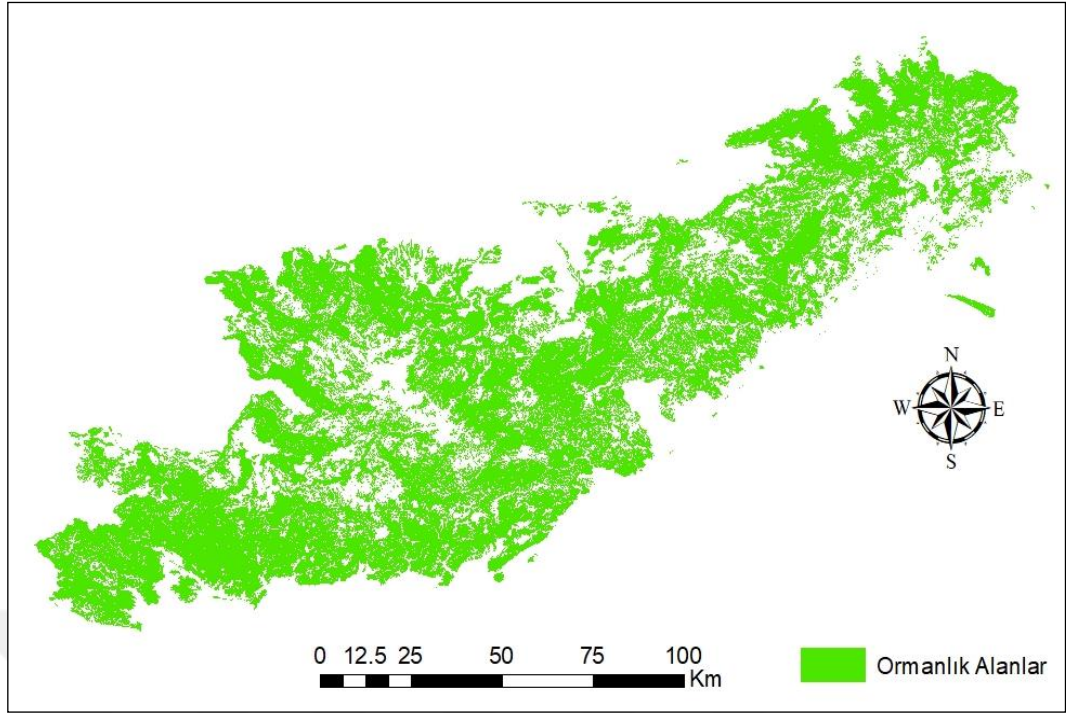
4.1 CBS Veri Tabanı Bulguları

4.1.1 Meşcere özellikleri

Mersin Orman Bölge Müdürlüğü meşcere haritası kullanılarak ArcGIS 10.8 ortamında arazi kullanım tipleri haritası ve çalışma alanı sınırını teşkil eden orman alanlarını veri katmanı üretilmiştir (Şekil 4.1; 4.2). Bölge Müdürlüğünde en geniş olan arazi kullanım tipi orman alanları (%53,5) olup, bunu ziraat alanları (% 27,90) ve orman toprağı-taşlık (OT, OT-T, T) alanları (% 12,39) takip etmektedir (Çizelge 4.1). Ağaç türleri açısından bakıldığında MOBİM'nün çok geniş bir tür sayısı ve kompozisyonuna sahip olduğu görülmektedir. Çalışma alanında bulunan ve meşcere oluşturan Kızılcım, Karaçam, Sedir, Gökmar, Ardıç, Meşe, Fıstık Çamı, Okalıptus, Makilik, Servi ve Sahil çamı gibi diğer ibreli türler ile Defne, Harnup, Ceviz, Çınar, Yalancı Akasya, Badem gibi diğer yapraklı türler bulunmaktadır. Ayrıca Çz-Çk, Çz-S, Çz-G, Çz-Ar, Çz-M, Çk-S, Çk-Ar, G-S, G-Ar gibi ağaç türlerinin birbirleriyle oluşturduğu karışık meşcere bulunmaktadır. Ağaç türlerinin toplam orman alanındaki oranına bakılacak olursa; Kızılcım %35,25 ile birinci sırada, Sedir %4,45 ile ikinci sırada ve Ardıç ise %4,31 ile üçüncü sırada yer almıştır.



Şekil 4.1 : Arazi kullanım tipleri haritası.



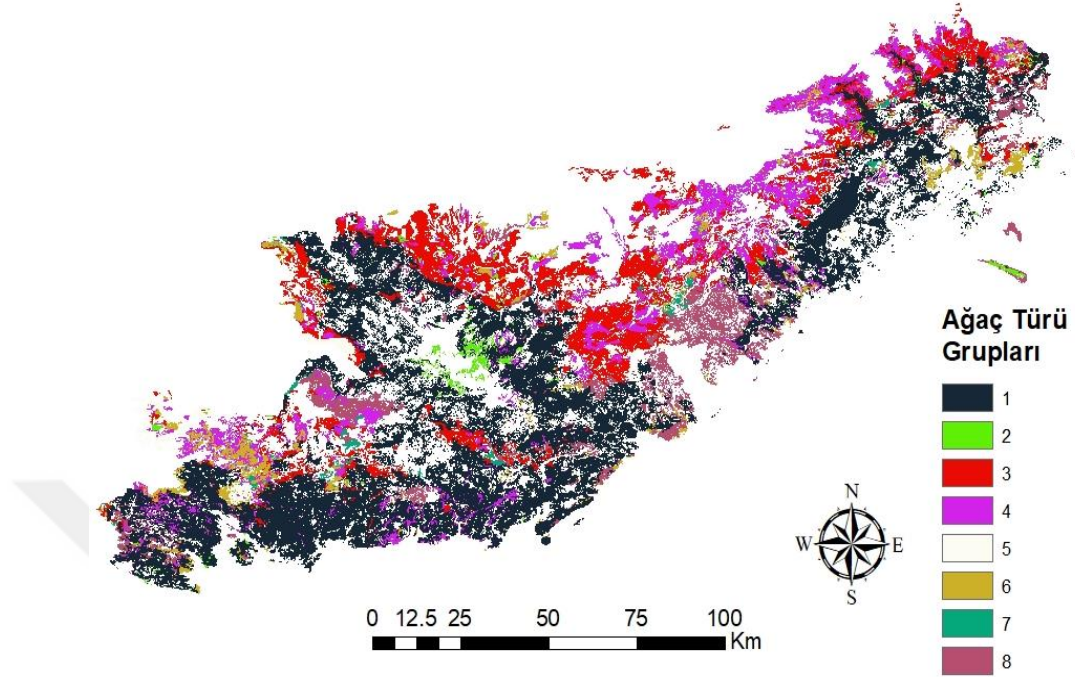
Şekil 4.2 : Çalışma alanına ait ormanlık alanlar haritası.

Çizelge 5 : Arazi kullanım tiplerinin alansal dağılımı.

Arazi Kullanım Tipi	Alan (%)
Orman	53,54
Ziraat alanı	27,90
Yerleşim	2,34
Orman Toprağı-Taşlık	5,49
Kum	0,30
Taşlık	2,79
Orman Toprağı	4,11
İzin İrtifak	0,18
Su	0,38
Özel Ağaçlandırma	0,25
Mera	2,38
Diğer	0,33

Çalışmada, yangın risk derecesine göre ağaç türleri sekiz gruba ayrılmış ve meşcere tipi haritası kullanılarak ağaç türü haritası oluşturulmuştur. Sonuçlara göre %48,7 ile çalışma alanındaki en geniş alana sahip grup saf kızılçam ve kızılçam-fistikçamı

karışımından oluşan birinci gruptur. Bunu %19,4 ve %12,9 ile sırasıyla üçüncü ve dördüncü grup takip etmektedir (Şekil 4.3, Çizelge 4.2).

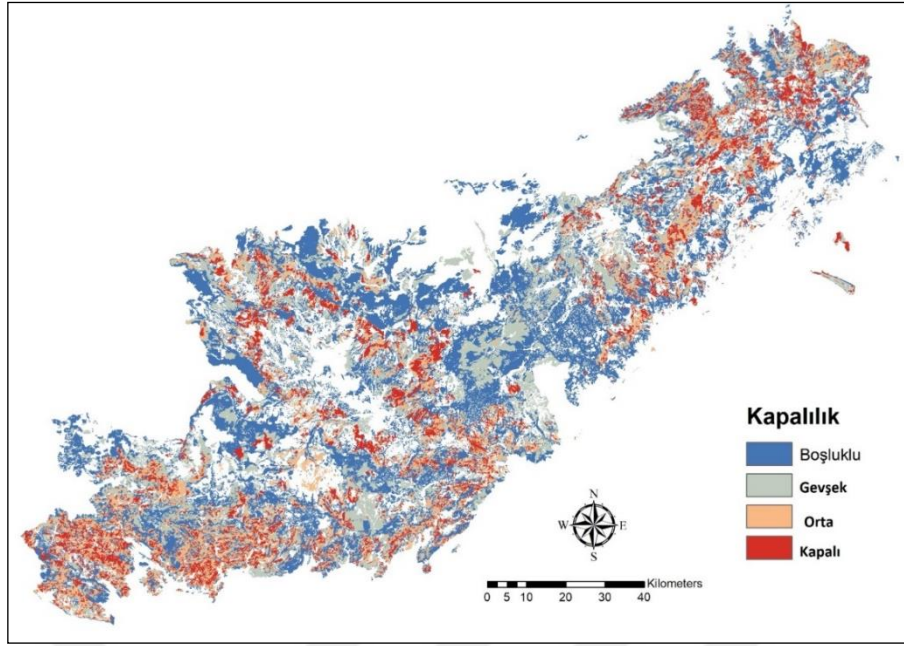


Şekil 4.3 : Yangın risk derecesine göre ağaç türleri.

Çizelge 6 : Ağaç türleri ve tür kompozisyonları.

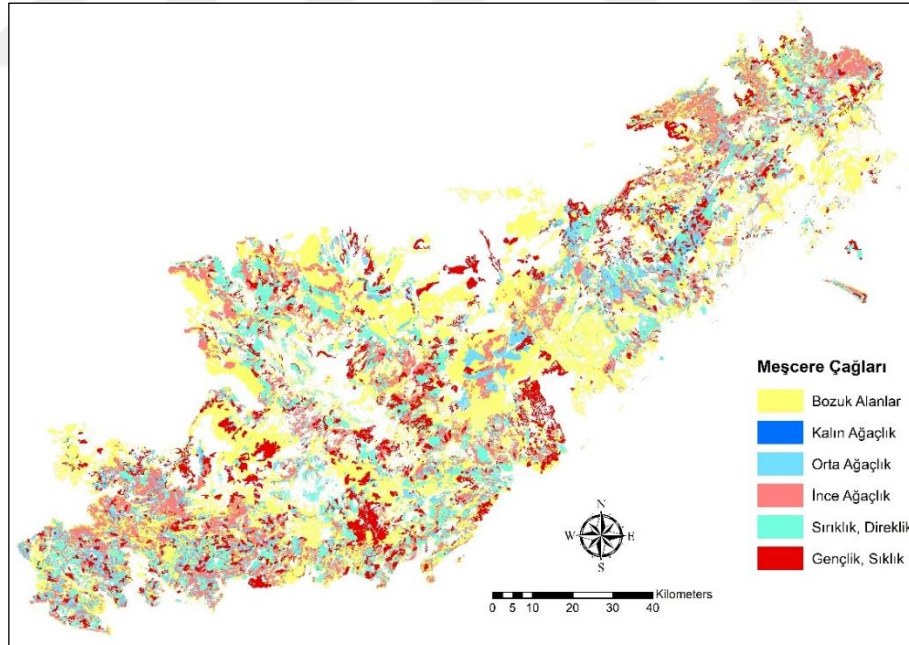
Ağaç Türleri ve Kompozisyonları	Alan (%)
1) Çz, ÇzÇf	48,7
2) Çf, ÇzÇk, ÇkÇz, ÇzAr, ArÇz	1,5
3) Çk, ÇkS, ÇzS, SÇz, Ar, ÇkAr, ArÇk	19,4
4) S, SÇk, SAr, ArS, ÇzG, GÇz, ÇzM, ÇkM, ÇzDy, DiÇz	12,9
5) ArG, GAr, ÇkG, GÇk, ArM, MÇz, MÇk, HrÇz	3,6
6) GS, SG, MAr, Df, Hr, DfHr	4,3
7) G, HrDy, SM, MS, SDy, SDy, Sr	0,9
8) M, Dy, Mak, Ok, ÖA	8,7

Meşcere özelliklerinden kapalılığa ait sayısal veri katmanı üretilmiştir. Çalışma alanındaki meşcerelerin kapalılık değerlerine bakıldığında, orman alanının %44,21'ini boşluklu kapalı meşcerelerin, %26,26'sının gevşek kapalı, %15,67'sinin orta kapalı ve %13,86'sının tam kapalı olduğu görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Kapalılık haritası.

Çağ sınıfları haritası incelendiğinde ise orman alanının %12,82'sinin gençlik-sıklık, %19,57'sinin sırkılık-direklik, %10,79'unun ince ağaçlık, %12,52'sinin orta ağaçlık ve %0,10'unun ise kalın ağaçlık olduğu bulunmuştur (Şekil 4.5).

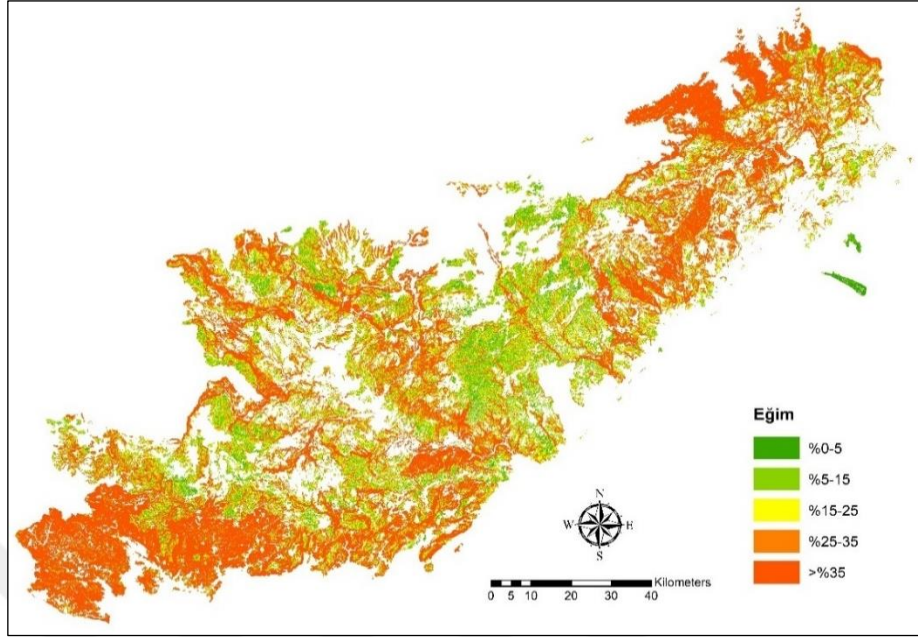


Şekil 4.5 : Meşcere çağları haritası.

4.1.2 Topografik faktörler

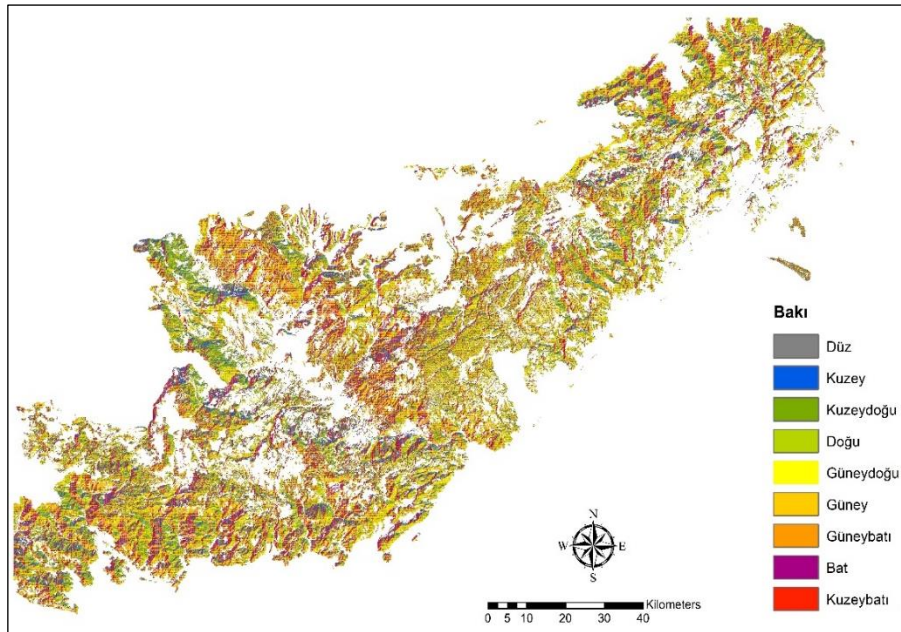
Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli kullanılarak geliştirilen eğim haritasına göre orman alanının %3,42'si %0-5, 18,32'si %5-15, %19,11'i %15-25, %15,71'i

%25-35, %43,44'ü ise %35 üzeri eğim sınıflarından oluşmaktadır. Alanda eğimin yüksek olduğu ve ortalama eğimin ise %36,53 olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Eğim sınıfları haritası.

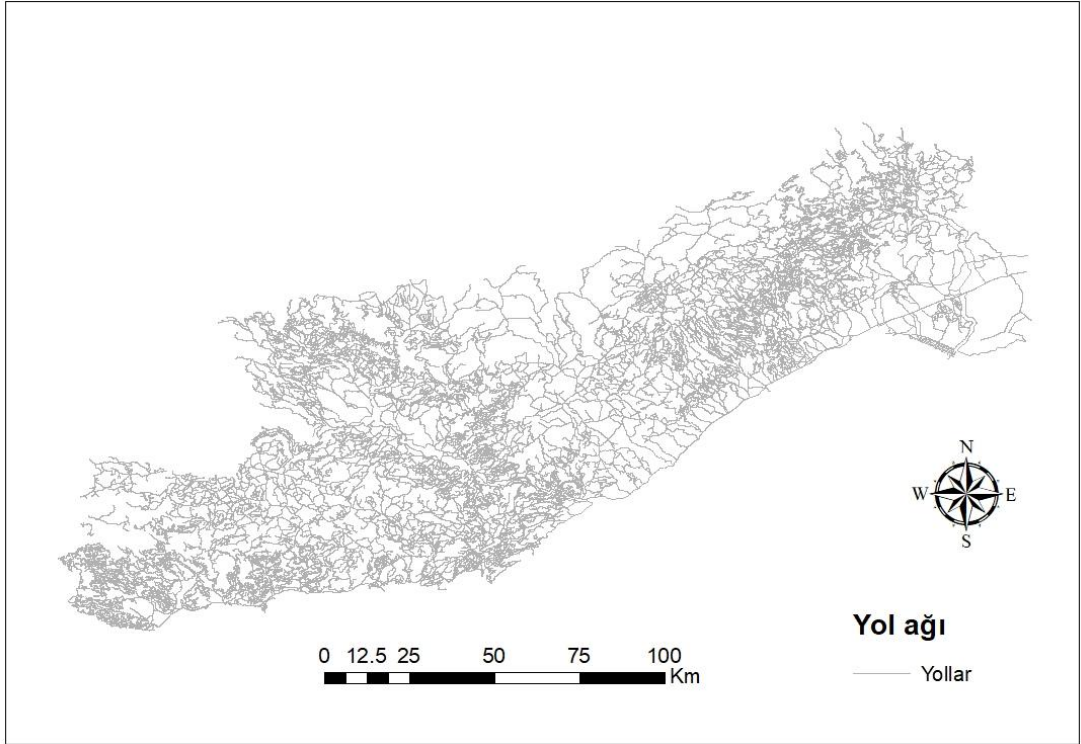
Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli kullanılarak geliştirilen bakı haritasına göre orman alanının %20,20'sinin güney ve %15,68'inin doğu bakıda olduğu görülmüştür. Alanın %18,91'i ise düz bakıda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7). Güney ve güneydoğu bakılarda nem oranı azaldığından yangın riski yüksek olarak kabul edilmektedir (Lin ve Rinaldi, 2009).



Şekil 4.7 : Bakı haritası.

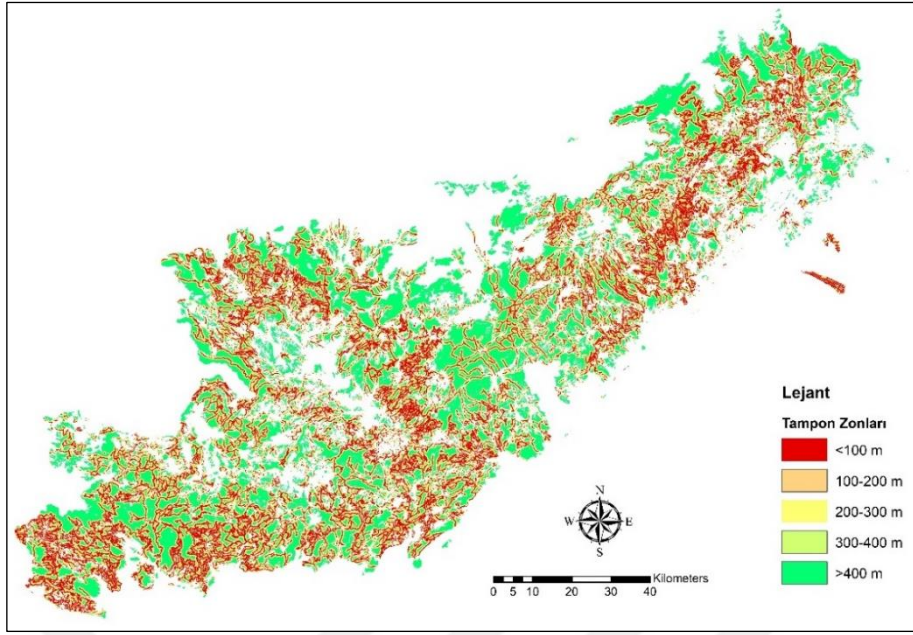
4.1.3 Bazı noktalara yakınlık

Yolların, yerleşim ve ormana sınır ziraat alanlarına yakınlıklarına göre orman alanlarında orman yangın riskini belirlemek için bu alanlarda tampon bölgeler oluşturulmuştur. İlk olarak MOBM'den temin edilen orman yolu veri katmanı boyunca her iki yönde tampon zonlar oluşturulmuştur (Şekil 4.8). Sonuçlara göre, orman alanının %19,38'i yollara 0-100 m, %18,70'i 100-200 m, %13,34'ü 200-300 m, %9,74'ü 300-400 m uzaklıkta olduğu ve %32,99'unun 400 m'den daha uzakta olduğu görülmüştür (Şekil 4.9).

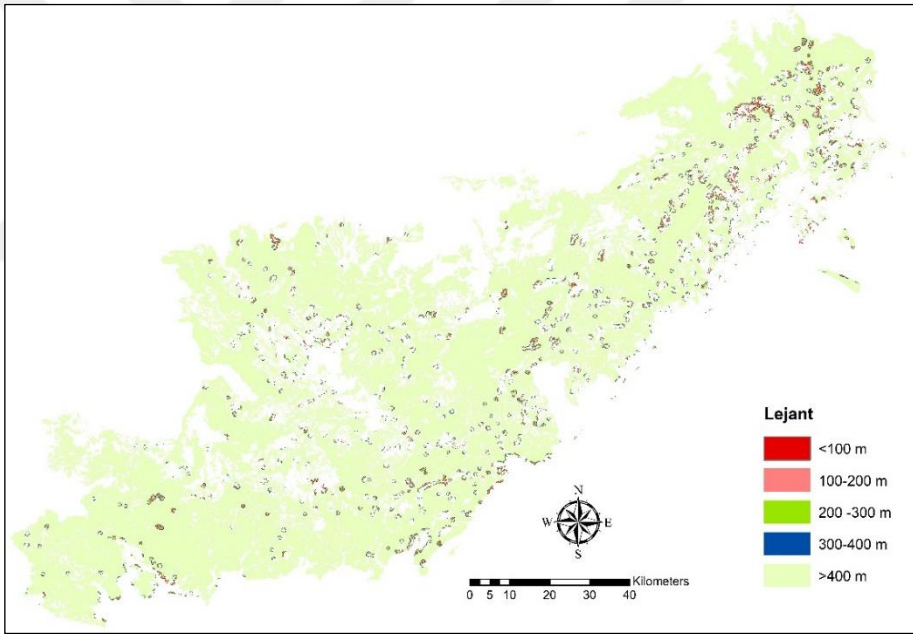


Şekil 4.8 : Yol ağı haritası.

Yerleşim yerlerine yakınlık faktörü için geliştirilen veri katmanına göre, çalışma alanında bulunan orman alanlarının %95,25'inin yerleşim yerlerine 400 m'den daha uzakta olduğu görülmüştür (Şekil 4.10). Bu verilere göre orman alanlarının genelde yerleşim yerlerinden uzakta olduğu tespit edilmiştir.

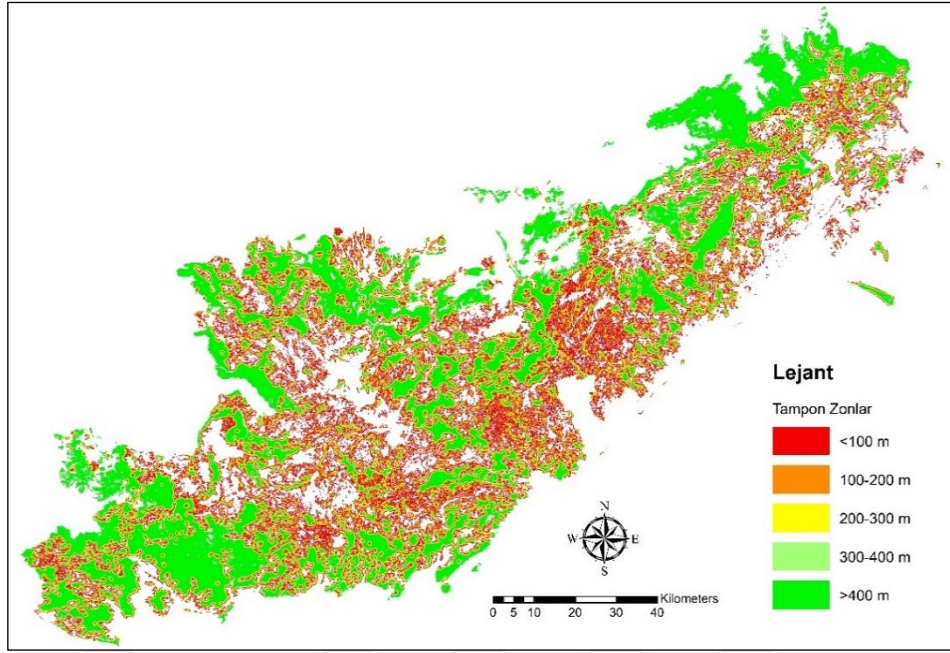


Şekil 4.9 : Yol ağı tampon zon haritası.



Şekil 4.10 : Yerleşim alanı tampon zon haritası.

Meşcere tipi haritasında ziraat alanları belirlendikten sonra ArcGIS 10.8 ortamında orman alanlarına sınır olan ziraat alanlarına ait veri katmanı üretilmiştir (Şekil 4.11). Sonuçlar orman alanlarının %27,39'u ziraat alanlarına 100 m, %15,51'i 100-200 m, %10,76'sı 200-300 m, %8,03'ü 300-400 m ve %38,31'inin de 400 m'den daha uzakta olduğu belirlenmiştir. Ziraat alanlarında insan etkileşimi fazla olduğundan ve yangınların büyük bir kısmının insan kaynaklı olduğu düşünüldüğünde ziraat alanlarına yakın alanlarda yangın riskinin fazla olduğu tespit edilmiştir (Jaiswal ve diğ., 2002; Sivrikaya ve diğ., 2013).



Şekil 4.11 : Ziraat alanları tampon zon haritası.

4.1.4 Yangın noktaları

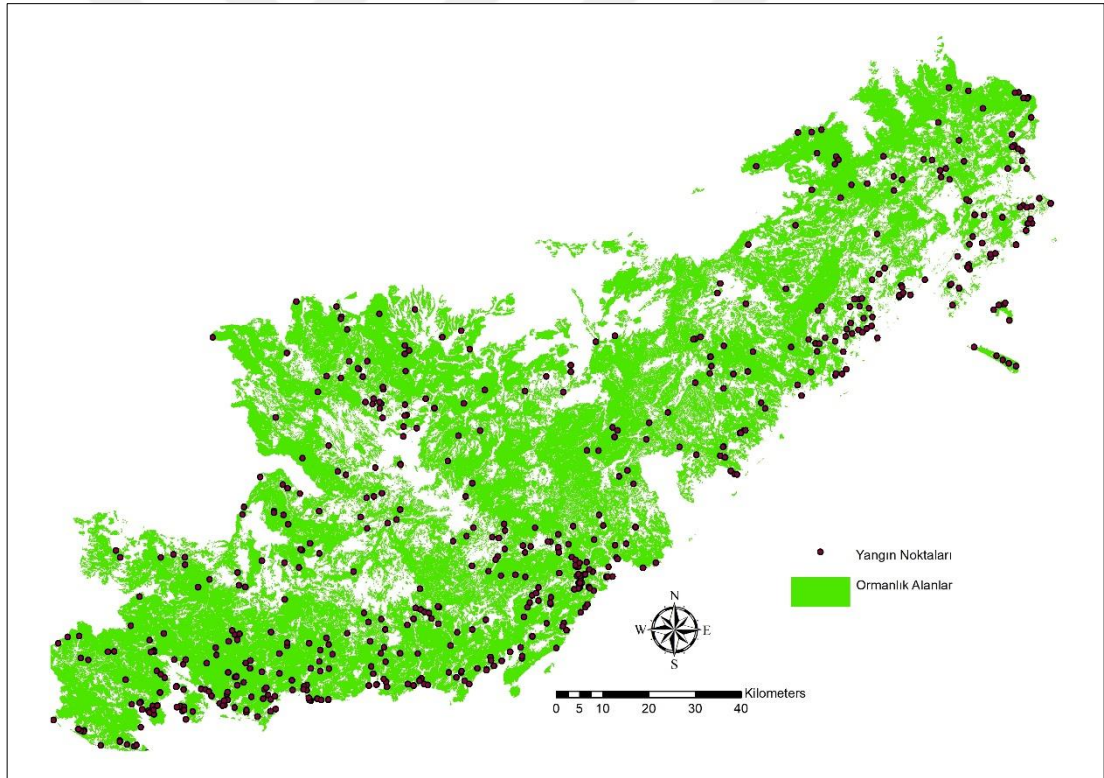
Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde 2003-2022 yılları arasında ($\geq 0,5$ hektar) çıkan 562 adet orman yangınlarında toplam 21.682,83 ha alan yangında etkilenmiştir. Çizelge 4.3. çıkan yangınların işletmelere göre dağılımını, Çizelge 4.4. yıllar itibarıyla dağılımını göstermektedir. Yangın çıkış noktalarını gösteren veri katmanı Şekil 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 7 : İşletme müdürlüklerine göre yangın verileri (2023-2022).

İşletme Müdürlüğü	Adet	Zarar gören alan (ha)
Anamur	64	1.715,07
Bozyazı	60	401,90
Erdemli	37	153,45
Gülнар	92	14.402,97
Mersin	48	100,38
Mut	62	156,11
Silifke	113	4.468,56
Tarsus	86	284,39
Toplam	562	21.682,83

Çizelge 8 : Yıllara göre meydana gelmiş yangın verileri (2003-2022).

Yılı	Adet	Zarar gören alan (ha)
2003-2014	336	7610,59
2015	34	278,45
2016	34	188,48
2017	16	921,99
2018	23	64,80
2019	38	353,40
2020	37	502,13
2021	25	9.652,42
2022	19	2.110,56
Toplam	562	21.682,83



Şekil 4.12 : Çalışma alanında çıkan orman yangınlarının konumları.

4.2 AHP Yöntemi Bulguları

AHP verileri, kızılçam ve kızılçam-fıstıkçamı meşcerelerinde ardından kızılçamın fıstıkçamı, karaçam ve ardıç türleriyle yaptığı karışık meşcerelerde potansiyel orman

yangını risk değerinin en yüksek olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.5). Maki ve diğer yapraklı türlerin bulunduğu meşcereler en az risk değerine sahiptir.

Çizelge 9 : Ağaç türlerine göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Ağaç Türleri	Önem Dereceleri
Çz, ÇzÇf	0,33
Çf, ÇzÇk, ÇkÇz, ÇzAr, ArÇz	0,23
Çk, ÇkS, ÇzS, SÇz, Ar, ÇkAr, ArÇk	0,16
S, SÇk, SAr, ArS, ÇzG, GÇz, ÇzM, ÇkM, ÇzDy, DiÇz	0,11
ArG, GAr, ÇkG, GÇk, ArM, MÇz, MÇk, HrÇz	0,07
GS, SG, MAr, Df, Hr, DfHr	0,05
G, HrDy, SM, MS, SDy, SDy, Sr	0,03
M, Dy, Mak, Ok, ÖA	0,02

Akay ve Erdoğan (2017) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, en yüksek yangın risk değerleri iğne yapraklı ormanlarda görülürken, meşe ve diğer yapraklı türlerin düşük yangın riskine sahip olduğu bildirilmiştir. Kapalılık için ağırlıklı olarak tam kapalı ormanların en yüksek risk değerine sahip olduğu, boşluklu meşcerelerde ise riskin en düşük seviyede olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6). Ağaç çağları bakımından, sııklık ve direklik dönemi ile gençlik ve sıklık dönemi önem dereceleri yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Orta ve kalın ağaçlık döneminde ise önem dereceleri değerleri çok düşüktür (Çizelge 4.7).

Çizelge 10 : Kapalılığa göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Kapalılık	Önem Dereceleri
Boşluklu	0,05
Gevşek	0,10
Orta	0,28
Tam	0,57

Çizelge 11 : Meşcere çağlarına göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Meşcere çağları	Önem Dereceleri
Gençlik, sıklık	0,27
Sırlıklık, direklik	0,40
İnce ağaçlık	0,19
Orta ağaçlık	0,07
Kalın ağaçlık	0,03

Eğim için önem derecelerine bakıldığında, %35 üstü eğime sahip orman alanlarının en yüksek risk değerine sahip olduğu görülmüştür. Eğim azaldıkça risk değerinin düştüğü görülmektedir (Çizelge 4.8). Bakı yönünden güney ve güneybatı bakılar en yüksek değerlerde iken, kuzey ve kuzeydoğu bakıların ve düz alanların en düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Yollar, yerleşim yerleri ve ziraat alanları için üretilen tampon zonların yangın riskine göre önem dereceleri Çizelge 4.10, 4.11, 4.12'de verilmiştir. Bu üç alan için de ormanlara olan mesafeler azaldıkça tampon zonlarda yangın riskinin arttığı görülmüştür.

Çizelge 12 : Eğim sınıflarına göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Eğim Sınıfları	Önem Dereceleri
0-5	0,03
5-15	0,07
15-25	0,13
25-35	0,26
>35	0,50

Çizelge 13 : Bakıya göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Bakı	Önem Dereceleri
Düz	0,03
K	0,03
KD	0,03
D	0,06
GD	0,10
G	0,31
GB	0,31
B	0,06
KB	0,06

Çizelge 14 : Yola yakınlığa göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Yola Yakınlık	Önem Dereceleri
<100 m	0,51
100 – 200 m	0,28
200 – 300 m	0,12
300 – 400 m	0,06
>400 m	0,04

Çizelge 15 : Yerleşime yakınlığa göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Yerleşim Yerlerine Yakınlık	Önem Dereceleri
<100 m	0,50
100 – 200 m	0,26
200 – 300 m	0,13
300 – 400 m	0,07
>400 m	0,03

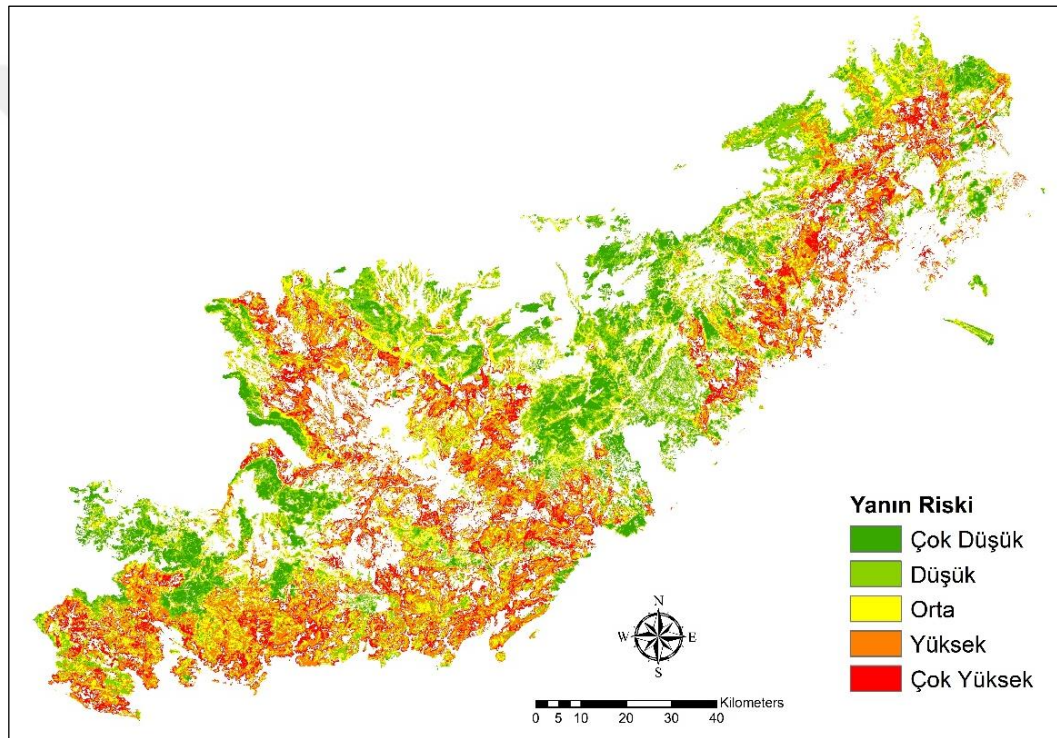
Çizelge 16 : Ormana sınır ziraat alanlarına göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Ziraat Alanlarına Yakınlık	Önem Dereceleri
<100 m	0,45
100 – 200 m	0,30
200 – 300 m	0,15
300 – 400 m	0,07
>400 m	0,04

Son olarak, ArcGIS programı içerisinde “extAhp 2.0” eklentisi kullanılarak kriterlerin ağırlıklı ortalamalarını birleştirilip yangın riski haritası oluşturulmuştur (Çizelge 4.13, Şekil 4.13). Orman yangını üzerinde en etkili birinci kriterin ağaç türü, ikinci kriterin ise meşcere çağları olduğu belirlenmiştir. Kapalılık, eğim, yerleşim yerlerine ve ormana sınır ziraat alanlarına olan yakınlık kriterleri orman yangını riski üzerinde benzer değerler verirken, yollara yakınlık ve bakının yangın riski üzerinde daha düşük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 17 : Ana kriterlere göre potansiyel yangın riski için önem dereceleri.

Kriterler	Önem Dereceleri
Ağaç türü	29,173
Kapalılık	10,551
Meşcere çağları	18,668
Eğim	10,551
Bakı	3,916
Yola yakınlık	6,040
Yerleşim alanlarına yakınlık	10,551
Ziraat alanlarına yakınlık	10,551



Şekil 4.13 : Yangın risk haritası.

CBS tabanlı AHP yönteminin sonuçları incelendiğinde, çalışma alanı ormanlarının yaklaşık %40'ının çok yüksek ve yüksek orman yangını riski taşıdığı, %35,5'inin çok düşük ve düşük yangın riski taşıdığı görülmüştür (Çizelge 4.14).

Çizelge 18 : Yangın riski sınıflarının alansal dağılımı.

Yangın Riski	Alan (%)
Çok düşük	13,14
Düşük	22,44
Orta	24,68
Yüksek	25,87
Çok yüksek	13,87

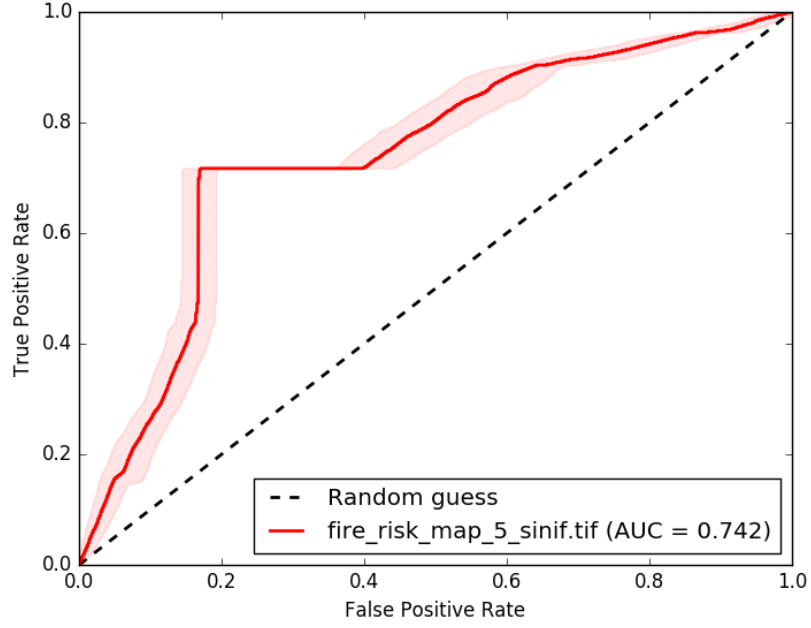
Orman İşletme Müdürlüklerine göre riskli alanları değerlendirdiğimizde, Gülnar Orman İşletme Müdürlüğü ormanlarının yaklaşık yarısının (%50,42) yüksek ve çok yüksek risk gruplarına girdiği belirlenmiştir. 2003-2022 yılları arasında yanan alan açısından İşletme Müdürlükleri karşılaştırıldığında, en fazla yanan alan miktarının Gülnar İşletme Müdürlüğü'nde gerçekleştiği görülmüştür. Gülnar Orman İşletme Müdürlüğü'nden sonra Bozyazı Orman İşletme Müdürlüğü'nde ormanların %47,53'ünün yüksek ve çok yüksek risk gruplarına girdiği tespit edilmiştir (Çizelge 19).

Çizelge 19 : İşletme Müdürlüklerine göre yangın riski sınıflarının alansal (%) dağılımı

İşletme Müdürlüğü	Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Anamur	16,55	21,34	21,24	25,67	15,20
Bozyazı	8,95	12,68	30,84	34,89	12,64
Erdemli	22,36	35,34	22,49	12,81	6,99
Gülnar	9,14	16,50	23,94	33,29	17,13
Mersin	8,13	21,78	23,60	27,24	19,24
Mut	9,70	19,86	28,10	27,89	14,45
Silifke	17,54	22,49	21,67	25,26	13,05
Tarsus	11,70	28,40	27,04	20,92	11,94

4.3 Riski Haritasının Validasyonu

Yangını risk haritasının validasyonu aşamasında ROC eğrisi yöntemi kullanılarak haritanın doğruluğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar AUC değerinin %74 olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlara göre Mersin Orman Bölge Müdürlüğü için geliştirilen yangın risk haritasının orta düzeyde güvenilir bulunmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Yangın riski haritasının ROC eğrisi.

Son aşamada, çalışma alanının 2003-2022 yılları arasında 0,5 hektar ve daha büyük alanlarda gerçekleşen yangın verileri oluşturulan risk haritası ile karşılaştırılmıştır. Toplam 562 adet orman yangınının risk haritasında %36,65'i çok yüksek, %35,05'i yüksek, %18,68'i orta, %5,87'si düşük ve %3,74'ü çok düşük yangın riski taşıyan alanlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 20 : 2003-2022 yılları arası çıkan yangınların risk sınıflarına göre dağılımı.

Yangın Riski	Çıkan Yangın Adedi
Çok düşük	21
Düşük	33
Orta	105
Yüksek	197
Çok yüksek	206
Toplam	562

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Orman yangınları bakımından riskli alanda bulunan Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nün CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak risk haritası oluşturulmuştur. Yangın risklerini belirleyen ağaç türü, kapalılık, çağlar gibi meşcere özellikleri, eğim ve bakı gibi topografik yapılar ve yollara, yerleşim yerlerine ve ormana sınır ziraat alanlarına yakınlık yangın risk faktörleri AHP yönetimiyle değerlendirilmiştir. AHP uygulamasında yangın risk faktörleri ana kriter olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki orman alanlarının yangın risk düzeyini belirlemek için çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek riskli alan olarak beş alternatif risk grubu dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda oluşturulan risk haritasına göre çalışma alanındaki ormanların yaklaşık yarısının yangın açısından çok yüksek ve yüksek alanlarda kaldığı belirlenmiştir.

Yangın riski haritasının doğruluğunun tespit edilebilmesi için ArcGIS 10.8 ortamında ROC eğrisi geliştirilmiştir. Yapılan analiz sonucu AUC değeri 0,74 olarak bulunmuştur. Ayrıca, MOBM'de kayıtlı 2003-2022 yılları arasında çıkan yangınların çıkış noktalarının sayısal verileri ve AHP yöntemiyle oluşturulan çalışma alanına ait yangın risk haritası ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, alanda daha önce çıkan yangınların yaklaşık %71,71'inin çok yüksek ve yüksek riskli alanlarda çıktığı tespit edilmiştir. ROC eğrisi analizi ve yangınların mekânsal analizi sonucunda ortaya çıkan bulgular, çalışma alanı için AHP yönteminin doğru ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Orman yangınları risk değerlerinin bilinmesi, yangın öncesi, yangın anı ve yangın sonrasında nasıl bir yol izleneceği hakkında karar vericilere yol gösterir. Yangına karşı yüksek riskli alana sahip olan Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde yapılan bu çalışma ile belirlenen risk sınıflarına göre gerekli tedbirler alınarak en etkin bir şekilde orman yangınlarıyla mücadele edilebilecektir. Orman yangınları ile mücadele için yangın eylem planları gözden geçirilerek, risk sınıfları da dikkate alınarak yangın organizasyonu yapılmalıdır. Risk alanlarına göre arazöz ekiplerinin konuşlandırılması ve ekip sayısının belirlenmesi, riskli alanlarda yol ağının yeterli düzeyde olması, çok yüksek ve yüksek riskli alanlardaki su kaynaklarının yeterliliği ve yakınlığı, özellikle

riskli alanları geniş bir şekilde görebilecek kulelerin yerlerinin belirlenmesi, yine riskli alanlarda yerleşim yerleri ile ziraat alanları arasında tampon bölge oluşturulması gibi birçok yangın önleme faaliyetleri yapılmasında yangın risk haritasından faydalanılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akay, A. E., & Erdoğan, A.** (2017). GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire risk mapping. *In 4Th International Geoadvances Workshop-Geoadvances 2017: Isprs Workshop on Multi-Dimensional & Multi-Scale Spatial Data Modeling*. Turkey: Safranbolu, October 14-15.
- Akbulak, C., & Özdemir, M.** (2008). The Application of the visibility analysis for fire observation towers in the Gelibolu Peninsula (NW Turkey) Using GIS. *In Proceedings of the Conference on Water Observation and Information System for Decision Support: BALWOIS (Balkan Water Observation and Information System)* (pp. 27-31).
- Asri, G., Çorumluoğlu, Ö., & Özdemir, E.** (2017). CBS destekli Orman Yangını Risk Dağılım Analizi; Antalya Örneği. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Avcı, M., Korkmaz, M., & Alkan, H.** (2009). Türkiye’de Orman Yangınlarının Nedenleri Üzerine Bir Değerlendirme. *1. Orman Yangınları Sempozyumu*, 7-10 Ocak, Antalya.
- Başaran, M., A., Sarıbaşak, H., Çamalan, İ.** (2007). Yangın Risk ve Tehlike Sınıflarının Belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi Tekniğinin Kullanılması. *Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler Sempozyumu*, 17-19.
- Baysal, İ.** (2014). *Orman yangınlarının orman amenajman planlarına entegrasyonu*. (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bilgili, E.** (2003). Stand development and fire behavior. *Forest Ecology and Management*, 179(1-3), 333-339.
- Bilgili, E., & Küçük, Ö.** (2002). Orman Yangınlarının Uzaktan Algılama Tekniği ile Belirlenmesi. *GAP IV. Mühendislik Kongresi*. Türkiye: Şanlıurfa. Haziran 06-08.
- Bilgili, E., Sağlam, B., & Başkent, E. Z.** (2001). Yangın amenajmanı planlarında yangın tehlike oranları ve coğrafi bilgi sistemleri, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 4(2), 288-297.
- Bilici, E.** (2008). *Orman yangın emniyet yolları ve şeritleri ile orman yol şebekelerinin entegrasyonu, planlamaları ve uygulamaları üzerine bir araştırma*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- Çanakçıoğlu, H.** (1993). *Orman Koruma*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.

- Demirci, M.** (2010). *Ormanların planlanmasında yeni yaklaşımlar ve Türkiye'deki uygulamalar ile karşılaştırılması (İzmir-Gölcük plan ünitesi örneği)*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duran, C.** (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1,38-49.
- Eroğlu, E.** (2009). Orman Yangınları Konusunda Bilinçlendirme Faaliyetleri. *1. Orman Yangınları Sempozyumu*. Türkiye: Antalya, Ocak 7-10.
- Erten, E., Kurgun, V., & Musaoğlu, N.** (2005). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sistemleri Kurulması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası. 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. 28 Mart - 1 Nisan.
- Ertuğrul, M.** (2005). Orman yangınlarının Dünyadaki ve Türkiye'deki durumu. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 43-50.
- Gao, X., Fei, X., & Xie, H.** (2011). Forest fire risk zone evaluation based on high spatial resolution RS image in Liangyungang Huaguo Mountain Scenic Spot. *International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Service*, (pp. 593-596). China: Fuzhou.
- Gazzard, R.** (2012). Risk management control measure: Toolkit for practitioners and advisors. *UK Vegetation Fire Risk Management*, 24.
- Gheshlaghi, H. A., Feizizadeh, B., & Blaschke, B.** (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Manag: J. Environ. Plan. Manag.* 63 (3).
- Gheshlaghi, H. A., Feizizadeh, B., & Blaschke, T.** (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3), 481-499.
- 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.
- 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.
- Karaca, M., Deniz, A., & Tayanç, M.** (2000). Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(10), 1225-1236.
- Küçük, Ö.** (2004). *Yanıcı madde tipleri ve yangın davranışına bağlı yangın potansiyelinin belirlenmesi ve haritalanması*. (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Küçük, Ö., & Ünal, S.** (2005). Yangın hassasiyet derecesinin belirlenmesi: Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü Örneği. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi* 6(1-2), 28-34.

- Küçük, Ö., Bilgili, E., Durmaz, B. D., Sağlam, B., & Baysal, İ.** (2009). Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 9(2), 80-85.
- Lin, J., & Rinaldi, S.** (2009). A derivation of the statistical characteristics of forest fires. *Ecological Modelling*, 220(7), 898-903.
- Mol, T.** (1994). Türkiye’de orman işletmelerinin yangına hassaslık sıralaması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A*, 44(2), 17-33.
- Neyişçi, T., Ayaşlıgil, Y., Ayaşlıgil, T., & Sönmezşık, S.** (1996). Yangına dirençli orman kurma ilkeleri. TUBİTAK-TOGTAG-1342, TMMOB Orman Mühendisleri Odası Yayını 21, Ankara. 140 s.
- OGM.** (1995). Orman yangınlarının önlenmesi ve söndürülmesinde uygulama esasları. *Orman Bakanlığı, OGM Yayınları Tebliğ*, (285).
- OGM.** (2014). Yanan Orman Alanlarının Rehabilitasyonu ve Yangına Dirençli Ormanlar Tesisi Projesi (YARDOP). Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM.** (2020). Türkiye’de Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM.** (2022). Türkiye’de Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özden, Ü. H.** (2008). Analitik hiyerarşi yöntemi ile ilkokul seçimi. *Marmara Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi*, 24(1), 299-320.
- Öztopal, A.** (2017). Türkiye’nin yıldırım ve şimşek gözlemlerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(56), 308.
- Saaty, T. L.** (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J Math Psychol.* 15, 234-281.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Durmaz, B. D., Kadioğulları, A. İ., & Küçük, Ö.** (2008). Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery. *Sensors*, 8(6), 3970-3987.
- Sarıbaşak, H.** (2000). *Batı Akdeniz (Antalya) yöresinde orman yangınlarının topografik, meteorolojik, ekolojik ve sosyo-ekonomik açılardan değerlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Satır, O., Berberoğlu, S., & Dönmez, C.** (2016). Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics Nat. Hazards Risk*, 7(5), 1645-1658.
- Sepetçi, V.** (2014). *Coğrafi bilgi sistemi yardımıyla orman yangınlarına ilk müdahale sürelerinin değerlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö.** (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68(2022) 101537.
- Şahin, H.** (2019). *CBS teknikleri kullanılarak yangına hassas orman alanları için yanıcı madde haritalarının geliştirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Şakar, D.** (2010). *CBS tabanlı karar destek sistemi kuulanılarak yangın sahasına en kısa sürede ulaşımı sağlayacak optimum güzergahının belirlenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Topaloğlu, M. Ö.** (2013). *Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü'nde yanıcı madde ile topoğrafik özelliklere göre yangın tehlikesinin haritalanması ve yangın gözetleme kulelerinin görünürlük analizi.* (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Ün, C.** (2009). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Orman Yangınlarında Kullanımı. *1. Orman Yangınları Sempozyumu*, 7-10 Ocak, Antalya. s: 72-82.
- Wilkie., V. A.** (2003). Sustainable Forest Management And The Ecosystem Approach: Two Concepts, One Goal. FAO, Rome: Forestry Departman.
- Yeşilnacar, E. K.** (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey. Melbourne: Dissertation. Department of Geomatics, The University of Melbourne.