



**KARABÜK'TE ORMAN YANGINI MEYDANA  
GELEN ALANIN MİKROBİYOLOJİK  
ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Hakimullah FARZAN**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Kamil SARP KAYA**

**KARABÜK'TE ORMAN YANGINI MEYDANA GELEN ALANIN  
MİKROBİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**Hakimullah FARZAN**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Kamil SARP KAYA**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Kasım 2023**

Hakimullah FARZAN tarafından hazırlanan “KARABÜK’TE ORMAN YANGINI MEYDANA GELEN ALANIN MİKROBİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Kamil SARP KAYA .....  
Tez Danışmanı, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İşletme Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 23/11/2023

**Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)** **İmzası**

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Kamil SARP KAYA (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Ufuk COŞGUN (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halit Seyfettin ATLI (SİÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans Tezi derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Hakimullah FARZAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KARABÜK’TE ORMAN YANGINI MEYDANA GELEN ALANIN MİKROBİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**Hakimullah FARZAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Kamil SARP KAYA**

**Kasım 2023, 87 sayfa**

Orman ekosistemi içinde orman topraklarının biyolojik yapısı oldukça önemlidir. Orman yangınları bu biyolojik yapı üzerinde önemli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Orman yangınları sonucu değişen bitki örtüsü ve yanan alanlara bağlı olarak mikrobiyolojik çeşitlilik değişebilmektedir. Toprak mikrobiyomunun bitki florasının gelişiminde etkileri göz önüne alındığında önemi oldukça fazladır.

Bu çalışmada, Karabük ili merkeze bağlı Ödemiş Köyü içerisinde 5 Ağustos 2021 yılında meydana gelen orman yangın alanlarından ve hemen yanındaki benzer karakteristiğe sahip yanmamış alanlardan toprak örnekleri alınarak toprak verimliliği ve mikrobiyolojik açıdan incelenmiştir. Örnekler yangından 8 ay sonra Nisan 2022’de ve 15 ay sonra Kasım 2022’de alınmıştır.

Toprak verimlilik analizlerinde Nisan 2022 döneminde yanmamış alanlarda organik madde miktarının %5,36 ve yanmış alanlarda ise %2,31 olduğu görülmüştür. Kasım 2022 döneminde ise yanmamış alanlarda organik madde miktarı %6,97 olarak belirlenmiş ve yanmış alanlarda ise organik madde miktarının %2,45 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre yanmış alanlarda organik madde miktarının yanmamış alanlara göre yarıdan fazla azaldığı görülmüştür. Topraktaki fosfor açısından yanmış alanlarda zamana bağlı olarak artışlar olduğu tespit edilmiştir. Yanmış alanlarda potasyum miktarı yanmamış alanlardan iki katından fazla bir değerde olduğu belirlenmiştir.

Toprak mikrobiyomu açısından yanmış alanlarda bakteriyel faunanın %99,99, yanmamış alanlarda ise %99,42 oranında kapladığı görülmüştür. Bakteriyel faunanın farklı iki dönemde bulunma durumlarının değiştiğini, bununla birlikte yanmış alanlarda çalışma sonunda en yaygın grupların Planctomycetota (%25,65), Proteobacteria (%19,97), Acidobacteriota (%15,09) ve Actinobacteriota (%13,94) olduğu tespit edilmiştir.

Yangın sonrası toprak mikrobiyomunun incelenmesi açısından ülkemizde ele alınan bu ilk çalışma ile karmaşık toprak yapısının değişimi araştırılmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Biyolojik çeşitlilik, Mikroflora, Mikrobiyom, Orman yangını, Toprak.

**Bilim Kodu** : 120511

## **ABSTRACT**

**Master's Thesis**

### **DETERMINING THE MICROBIOLOGICAL DIVERSITY OF THE AREA AFFECTED BY A FOREST FIRE IN KARABUK**

**Hakimullah FARZAN**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Forest Engineering**

**Thesis Advisor**

**Assist. Prof. Dr. Kamil SARP KAYA**

**November 2023, 87 page**

The significance of the biological composition of forest soils within the forest ecosystem cannot be overstated. Forest fires, however, have notable adverse effects on this biological structure. The microbiological diversity undergoes alterations due to shifts in vegetation and the impact of fire in burned areas. Given the substantial influence of the soil microbiome on the development of plant flora, its importance is highly considerable.

This research focused on soil samples obtained from areas affected by a forest fire on August 5, 2021, in Ödemiş Village at the center of Karabük province. Comparative analysis was conducted on adjacent unburned areas with similar characteristics. Soil fertility and microbiology were examined in samples collected eight months after the fire in April 2022 and fifteen months later in November 2022.

In the analysis of soil fertility, it was noted that the organic matter content in unburned areas was 5.36% in April 2022, whereas in burned areas, it was 2.31%. By November 2022, organic matter in unburned areas increased to 6.97%, while in burned areas, it decreased to 2.45%. Consequently, the organic matter in burned areas exhibited a reduction of more than half compared to unburned areas. Over time, there was an observed increase in phosphorus in burned areas, and the potassium content was more than double that of unburned areas.

Concerning the soil microbiome, bacterial fauna occupied 99.99% in burned areas and 99.42% in unburned areas. Although the presence of bacterial fauna fluctuated in two different periods, the final results in burned areas highlighted Planctomycetota (25.65%), Proteobacteria (19.97%), Acidobacteriota (15.09%), and Actinobacteriota (13.94%) as the most prevalent groups.

This study represents the first attempt in our country to investigate the post-fire changes in the complex soil structure, shedding light on the intricate dynamics of soil microbiome following a forest fire.

**Keywords:** Biological diversity, Microflora, Microbiome, Forest fire, Soil.

**Science Code :** 120511



## TEŞEKKÜR

Bu alıŐmayı “KBÜBAP-22-YL-013 No’lu Proje” ile maddi olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde akademik bilgi ve deneyimiyle beni yönlendiren, destekleyen değerli danıŐman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kamil SARP KAYA’ya teşekkür ederim. Bu günlere gelebilmem için benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme en içten ve samimi duygularıyla teŐekkürü bir borç olarak görürüm.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	8
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARDA ELDE EDİLEN BULGULAR .....	8
2.2. TÜRKİYE’DE ORMAN VARLIĞI .....	22
2.3. ÜLKEMİZDE GÖRÜLEN YANGINLAR.....	23
2.3.1. Yangın İstatistikleri.....	24
2.4. KARABÜK İLİ, ORMAN ALANLARI VE YANGINLAR .....	26
2.4.1. Coğrafi Konum .....	26
2.4.2. Karabük İlinin Ormanlar Açısından Değerlendirilmesi.....	26
2.4.3. Karabük İli ve İlçelerinde Görülen Son 10 Yıllık Yangınlar.....	29
2.5. MİKROORGANİZMALAR .....	30
2.5.1. Mikroorganizmaların Ormanda Ağaçlar İle Ortak Yaşamı .....	31
2.5.2. Mikrobiyom Üç Alanı Sistem .....	33
2.5.2.1. Mantarlar: Morfolojik ve Yapısal Özellikler .....	34
2.5.2.2. Bakteriler ve Türleri.....	37
2.5.2.3. Protistler .....	47
2.5.2.4. Virüsler.....	50

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.5.3. Mikrobiyomun Yaşam Tarzları.....	51
2.5.3.1. Saprotrof Olarak Mantarlar .....	51
2.5.3.2. Endofit Olarak Mantarlar .....	52
2.5.3.3. Karşılıklı Olarak Mantarlar (Mikoriza).....	53
2.5.3.4. Bakterilerin, Arkelerin ve Protistlerin Yaşam Tarzları .....	54
2.5.4. Yangının Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkileri.....	57
2.5.4.1. Yangının Kısa Vadeli Etkileri.....	59
2.5.4.2. Yangının Orta ve Uzun Vadeli Etkileri.....	60
2.5.4.3. Yangın Vejetasyon İlişkisi .....	61
2.5.4.4. Yangın Böcek İlişkisi.....	65
2.5.4.5. Yangın ve Hastalık Arasındaki İlişki .....	65
2.5.4.6. Yangın Mikro-İklim İlişkileri .....	66
BÖLÜM 3 .....	68
MATERYAL VE YÖNTEM.....	68
3.1. MATERYAL VE YÖNTEM .....	68
3.1.1. Çalışma Alanının Konumu.....	68
3.1.2. Toprak Örneği Alım Metodu .....	68
3.1.3. Toprak İçerik Analiz Yöntemi .....	69
3.1.4. Örnek Topraklarından Mikrobiyal İzolasyon Yöntemi.....	69
3.1.5. Bakterilerden Dna İzolasyonu.....	70
3.1.6. Genomik DNA için Kullanılan Primerler ve PCR Yöntemi.....	70
3.2. Metagenom Analiz Yöntemi .....	71
BÖLÜM 4 .....	73
BULGULAR.....	73
4.1. TOPRAK ANALİZ SONUÇLARI.....	73
4.2. EurX GeneMATRIX Bacterial & Yeast DNA İZOLASYON KİTİ SONUÇLARI.....	74
4.3. METAGENOM ANALİZ SONUÇLARI.....	75
4.3.1. Yanmamış ve Yanmış Alanların Analiz Sonuçları .....	75
4.3.1.1. Mikrobiyal Faunanın Âlem Seviyesinde Sonuçları .....	75

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3.1.2. Yanmamış Alanlardan Elde Edilen Mikrobiyal Faunanın Şube Düzeyinde Dağılımı .....	76
4.3.1.3. Yanmış Alanlardaki Mikrobiyal Fauna Şube Dağılımı .....	77
BÖLÜM 5 .....	79
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	79
KAYNAKLAR .....	84
ÖZGEÇMİŞ .....	87

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 1.1. Türkiye orman varlığı haritası. ....	2
Şekil 2.1. Türkiye orman yangın haritası. ....	24
Şekil 2.2. Orman yangınlarının 1937-2018 yılları arasındaki dağılımı. ....	25
Şekil 2.3. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanı haritası. ....	27
Şekil 2.4. Filosfer, rizosfer ve endosfer mikrobiyomu. (Çizim: Artin Zarsav.).....	32
Şekil 2.5. Orman mikrobiyotasının bileşenleri. ....	33
Şekil 2.6. Bakteriler Âlemi.....	39
Şekil 2.7. Beyaz çürüme.....	52
Şekil 2.8. Kahverengi çürüme.....	52
Şekil 3.1. Yangın Sahasının Uydu görüntüleri (A) Yangın öncesi, ( B) Yangın sonrası. ....	68
Şekil 5.1. Karabük İlinde 2021 yılında meydana gelen orman yangınında etkilenen meşcerelerin uygu görüntüsü.....	80
Şekil 5.2. Karabük İlinde 2021 yılında meydana gelen orman yangınının gerçekleştiği meşcere haritası. ....	80

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Ormanlık alanların asli ağaç türlerine göre dağılımı. ....	1
Çizelge 1.2. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde toplam orman alanları. ....	3
Çizelge 1.3. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde bulunan ağaç dağılımları. ....	3
Çizelge 1.4. Türkiye'deki orman yangınlarının 2008-2018 yılları arasındaki dağılımı. ....	4
Çizelge 1.5. Karabük ve ilçelerin görülen son 10 yıllık yangınlar. ....	5
Çizelge 2.1. Orman yangınlarının 2008-2018 yılları arasındaki dağılımı. ....	24
Çizelge 2.2. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde toplam orman alanları miktarı. ....	29
Çizelge 2.3. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde orman varlığı. ....	29
Çizelge 2.4. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde bulunan ağaç türleri. ....	29
Çizelge 2.5. Karabük ve ilçelerin görülen son 10 yıllık yangınların dağılımları. ....	30
Çizelge 2.6. Orman ekosistemlerinde bulunan bazı temsili Protista gruplarının dağılımı. ....	49
Çizelge 3.1. Toprak analizleri ve kullanılan yöntemler. ....	69
Çizelge 3.2. Moleküler çalışmalarda kullanılan primerler ve gen dizilimi. ....	70
Çizelge 3.3. PCR çalışmalarında kullanılan solüsyon bileşenleri. ....	70
Çizelge 3.4. PCR koşulları. ....	71
Çizelge 4.1. Yanmamış alanlarda yapılan toprak analiz sonuçları. ....	73
Çizelge 4.2. Yanmış alanlarda yapılan toprak analiz sonuçları. ....	74
Çizelge 4.3. Yanmamış alanlardan elde edilen izolatların adları ve taksonomik durumları. ....	74
Çizelge 4.4. Yanmış alanlardan elde edilen izolatların adları ve taksonomik durumları. ....	75
Çizelge 4.5. Yanmamış ve yanmış âlem seviyesi için taksonomi tablosu. ....	76
Çizelge 4.6. Yanmamış alanlarda mikrobiyal faunanın şube seviyelerine göre dağılımları. ....	76
Çizelge 4.7. Yanmış şube seviyesi için taksonomi tablosu. ....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### KISALTMALAR

**M** : Metre

**CM** : Santimetre

**MM** : Milimetre

**NO** : Numara

**DE** : Dar Eliptik

**M** : Mızrak

**ORT** : Ortalama

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Ormanlar; insanlığa gıda, yakıt, barınak, temiz hava ve su, ilaç, gelir kaynağı, istihdam, dinlenme, peyzaj gibi maddi-manevi birçok ekolojik, ekonomik ve sosyokültürel faydalar sunan tabii bir kaynaktır. Bir ekosistem olarak orman, belirli bir kapalılıkta ağaçlar, hayvan ve diğer bitki topluluğu ile topraktaki gözle görünmeyen diğer organizmaların cansız çevreyle belli bir denge içinde karşılıklı olarak birbirleriyle etkileşimde bulunduğu canlı bir sistem ve topluluktur. Bu paha biçilemeyen tabii kaynağın maddi ve manevi faydalarının ve hizmetlerinin kıyamete kadar sürmesi, tabiatına uygun olarak sürdürülebilirlik ilkesi ile idare edilmesine bağlıdır (Yılmaz 2021).

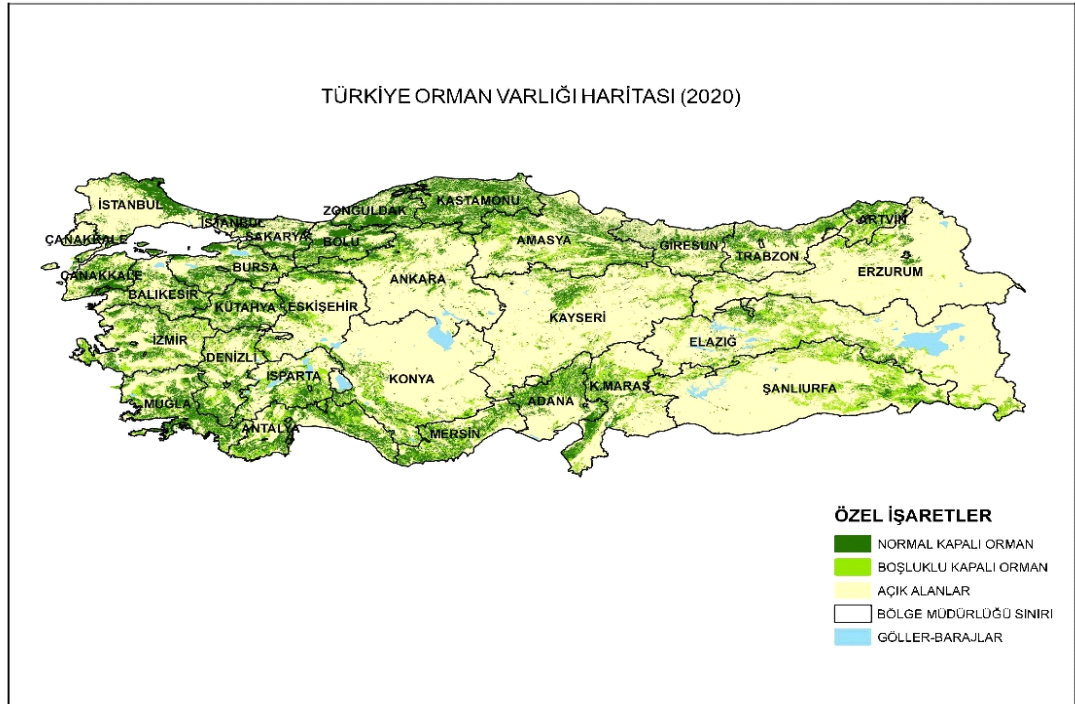
Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %27'si ormanlarla kaplıdır. Bu ormanlar, biyolojik çeşitlilik açısından zengindir. Ülkemizde 5 çam, 4 göknar, 2 fındık, 2 kayın, 3 karaağaç, 3 dişbudak, 2 gürgen, 20 dolayında meşe, 10 akçaağaç, 4 huş türü, ayrıca çok sayıda alt tür ve çeşit doğal olarak yetişmektedir (Bünyamin, 2020). Ormanlık alanların asli ağaç türlerine göre dağılım Çizelge 1.1'de ve Türkiye orman varlığı haritası Şekil 1.1'de sunulmuştur (Türkiye Orman Varlığı, 2020).

Çizelge 1.1. Ormanlık alanların asli ağaç türlerine göre dağılımı.

Ağaç Türü	Normal Kapalı (ha)	Boşluklu Kapalı (ha)	Toplam (ha)	%
<b>Meşe</b>	2.666.577	4.080.863	6.747.440	29,42
<b>Kızılçam</b>	3.407.368	1.807.924	5.215.292	22,74
<b>Karaçam</b>	2.830.566	1.369.057	4.199.623	18,31
<b>Kayın</b>	1.611.436	266.613	1.878.049	8,19
<b>Ardıç</b>	402.522	1.070.466	1.472.988	6,42
<b>Sarıçam</b>	890.238	519.939	1.410.177	6,15
<b>Göknar</b>	393.504	118.199	511.703	2,23



<b>Sedir</b>	268.140	134.179	402.319	1,75
<b>Ladin</b>	273.032	92.813	365.845	1,60
<b>Fıstıkçamı</b>	152.066	23.312	175.378	0,76
<b>Kızılağaç</b>	100.434	25.097	125.531	0,55
<b>Kestane</b>	67,382	13.850	81.232	0,35
<b>Gürgen</b>	45.069	10.585	55.654	0,24
<b>Sahilçamı</b>	50.182	5.136	55.498	0,24
<b>Kavak</b>	9.042	13.483	22.525	0,10
<b>Fındık</b>	12.236	700	12.936	0,06
<b>Defne</b>	5.660	6.524	12.184	0,05
<b>Dişbudak</b>	9.344	1.054	10.398	0,05
<b>Diğer Türler</b>	69.631	108.597	178.228	0,78
<b>Toplam</b>	13.264.429	9.668.571	22.933.000	100



Şekil 1.1. Türkiye orman varlığı haritası.

Türkiye'deki orman ekosistemi 21.188.747 hektar alanı kaplar, Türkiye ormanları; ekosistem niteliğine göre nemli, yarı-kurak ve kurak alanlarda ormandan stepe geçiş bölgesindeki ormanlar; ekolojik bölgeler temelinde, Akdeniz, Doğu aradeniz ve Batı Karadeniz ormanları, orman tipine göre ise, geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık ormanlar olarak gruplandırılabilir (Bünyamin, 2020).

Yüzölçümü 4.145 km<sup>2</sup> olan ve Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Karabük ili, 40° 57' ve 41° 34' kuzey enlemleriyle 32° 04' ve 33° 06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Karabük ilinde bulunan ormanlar, Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı kontrolü sağlanmaktadır. Karabük'ün toplam alanının 93.020 hektarını tarım toprakları, 287.761 hektarını ormanlar, kalan kısmını ise mera, yerleşim yeri ve diğer alanlar oluşturmaktadır, verilere göre Karabük ilinin %65.48'i ormanlarla kaplıdır (Türkiye Orman Varlığı, 2020).

Çizelge 1.2. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde toplam orman alanları.

	<b>Toplam Alan</b>	<b>Normal</b>	<b>Boşluklu</b>
<b>Zonguldak</b>	201 521	176 947	24 574
<b>Karabük</b>	287 761	242 242	45 519
<b>Bartın</b>	135 437	119 895	15 542

Karabük ormanlarında Kızılçam, Karaçam, Sarıçam, Gökmar, Kayın, Meşe, Gürge, sahilçamı, kestane, dişbudak ve Çınar gibi pek çok ağaç türleri bulunmaktadır. Karabük ormanlarındaki ağaç türlerini aşağıdaki tabloda görebilir ve Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde bulunan ağaç dağılımları Şekil 1.3'te sunulmuştur (Zonguldak OBM, 2023).

Çizelge 1.3. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde bulunan ağaç dağılımları.

	<b>Zonguldak</b>	<b>Karabük</b>	<b>Bartın</b>
<b>Kızılçam</b>	19,9	6544.3	960
<b>Karaçam</b>	22548,6	105679.6	633906
<b>Sarıçam</b>	48	10443.4	56
<b>Gökmar</b>	309,9	33257	3890,3
<b>Kayın</b>	142338	81989.2	81067,1
<b>Meşe</b>	23205,9	58449.9	13879,7
<b>Gürge</b>	566,2	160.6	8736,3
<b>Sahil çamı</b>	3139.3		2084,5
<b>Kestane</b>	422,7		4226,7
<b>Dişbudak</b>	1068,3		
<b>Çınar</b>	354,5	103.2	33

Ormansızlaşma ve hatta ormanların yok olmasına neden olan faktörlerden biri de yangındır. Orman yangını sadece ormanı yok etmekle kalmaz, aynı zamanda hayvanları ve mikroorganizmaları da yok etmektedir. Ülkemizdeki yangınların son 10 yıllık periyodu incelendiğinde yılda ortalama 2365 orman yangını çıktığı ve ortalama 8.763 hektar alanın yangından zarar gördüğü anlaşılmaktadır.

Yangın başına düşen birim alan 3,7 hektardır. Ülkemizde ilk orman yangını kayıtları 1937 yılında tutulmaya başlanmıştır. Bu kayıtlara göre 1937 yılından 2018 yılı sonuna kadar ülkemizde toplam yanan alan 1.679.670 hektardır. Türkiye’deki orman yangınlarının 2008-2018 yılları arasındaki dağılımı Çizelge 1.4’te sunulmuştur (Zonguldak OBM, 2023).

Çizelge 1.4. Türkiye’deki orman yangınlarının 2008-2018 yılları arasındaki dağılımı.

Yıllar	Adet	Alan (ha)	Yangın başına düşen alan (ha)
2008	2135	29749	13,9
2009	1793	4679	2,6
2010	1861	3317	1,8
2011	1954	3612	1,8
2012	2450	10454	4,3
2013	3755	11456	3,1
2014	2149	3117	1,5
2015	2150	3219	1,5
2016	3188	9156	2,9
2017	2411	11993	5,0
2018	2167	5644	2,6
10 yıllık ortalama	2364,	8763,3	3,7

Son on yılda, Karabük ormanlarında 174 yangın olayı görüldü, 147,461 dönüm arazi yandı, bu Zandgadek orman yönetiminin de dâhil olduğu komşu Karabük bölgelerinde çok nadir görülen bir durumdur. 10 yılda bir ortalama 17,4 yangın olayı meydana geldiğini ve ortalama 14.7461 hektar alanın yandığı bildirilmiştir (Çizelge 1.5; Zonguldak OBM, 2023).

Çizelge 1.5. Karabük ve ilçelerin görülen son 10 yıllık yangınlar.

İller		Karabük		Safranbolu		Yenice		Eskipazar	
Yıllar	Alan	Sayı	Alan	Sayı	Alan	Sayı	Alan	Sayı	
2013	35,2	45	5,45	9	0,024	2			
2014	6,17	24	1,6	6	4,45	2			
2015	3,59	11	45,37	8	0	0			
2016	9,529	19	9,06	8	1,63	3			
2017	29,55	28	26,6	13	0,31	3			
2018	1,38	12	0,52	3	1	1			
2019	3,93	7	2,1	2	0	0			
2020	6,972	17	20,73	13	0,6	2			
2021	50,515	9	0,08	2	0	0			
2022	0,725	2	0,12	2	0	0	0,478	5	
<b>10 Yıllık Toplam</b>	147,461	174	111,63	66	8,014	13	0,478		
<b>10 Yıllık Ortalama</b>	14,7461	17,4	11,163	6,6	0,8014	1,3	0,0478		

Yangının toprak mikroorganizmaları üzerindeki doğrudan etkisi, yangının yoğunluğuna, yani ilk toprak ısınması ve neminin neden olduğu sıcaklık ve süreye bağlıdır (Certini, 2005). Bununla birlikte, yangın etkilerine ilişkin çoğu çalışma, verilerin yorumlanmasında bu faktörleri dikkate almaz çünkü bu veriler yalnızca kontrol koşulları altında kaydedilebilir. Son zamanlarda, laboratuvar çalışmaları, mikrobiyal toplulukların toprak ısınma süreçlerine tepkisinde başlangıçtaki su içeriği ve yangın yoğunluğunun (sıcaklık, zaman) belirleyici olduğunu açıkça göstermiştir (Barreiro ve diğerleri, 2020).

Toprağın yüksek sıcaklıkta (>120 °C) ısıtılması, olumsuz etkilere ve/veya toprak mikroorganizmalarının ölümüne neden olur (Carballas ve diğerleri, 2009). Yangının mikrobiyota üzerindeki etkisi tüm mikrobiyal gruplar için aynı değildir (Diaz Ravina ve diğerleri, 2010).

Genel olarak, birkaç yazar tarafından yapılan araştırmalar, C döngüsü mantarlarının ve mikroorganizmalarının, N döngüsü bakteri ve mikroorganizmalarına göre ısıya daha duyarlı olduğunu göstermiştir (Bárcenas-Moreno ve diğerleri, 2013).

Son zamanlarda yangının mikroorganizmaların kütlesi, aktivitesi ve çeşitliliği üzerindeki olumsuz etkisi rapor edilmektedir. Beklendiği gibi, bu etkinin büyüklüğü yangının ciddiyeti ile ters orantılıydı (Barriero ve diğerleri, 2020).

İlk mikrobiyal aktivite düştükten sonra, yangın sonrası koşulları destekleyen artık (yüksek sıcaklığa dayanıklı) mikroorganizmalar, kararsız C ve ölü (yüksek sıcaklığa duyarlı) mikroorganizmalardan gelen besinlerden türeyerek hızla büyür ve bir substrat olarak kullanılmıştır. Bu nedenle kısa vadede mikrobiyal aktivitede hızlı bir artış gözlemlenebilir ve bu yoğunlukla yangın şiddeti ile ters orantılıdır. Bu artış geçicidir ve C ve besinlerin mevcudiyeti azaldıkça kaybolmaktadır. Bazı durumlarda, bu davranış gözlenmez ve yüksek yoğunluklu yangınlardan sonra çok az mikrobiyal aktivite gözlenmektedir. Dolayısıyla yangının şiddetine, yangın sonrası şartlara ve yangından sonraki süreye bağlı olarak değişken sonuçlar gözlemlenebilmektedir (Bariro ve Ravina, 2021).

Yangının mikrobiyal topluluklar üzerindeki kısa vadeli olumsuz etkileri zamanla azalabilir veya mikrobiyal parametreler yangın öncesi değerlere (toprak geri kazanımı) ulaştığından ve bu nedenle mikrobiyal parametreler daha düşük değerler gösterdiğinden orta ve uzun vadede devam edebilmektedir. Yanmamış toprakta, toprağın toparlanma süreci yangının yoğunluğuna, toprağın dayanıklılığına ve yangın sonrası koşullara bağlıdır. Toprağı stabilize eden ve C ve besin sağlayan bitki örtüsünün düşük veya orta dereceli yangınlardan sonra düzeldiği alanlarda, yangının etkisi 1 veya 2 yıl sonra kaybolmaktadır. Bununla birlikte, dolaylı toprak etkileri devam ettiğinde ve C ve besinlerin uzun vadeli mevcudiyeti önemli ölçüde azaldığında, örneğin bitki örtüsünün yavaş yenilendiği şiddetli yangınlarda veya erozyon sonrası eğilimli alanlarda Yangın, toprak mikroorganizmaları üzerindeki olumsuz etkide bulunarak yararlı mikroorganizmaların azalmasına neden olmaktadır (Pereira ve Tomaz, 2021).

Yangının bitki örtüsüne ve özellikle ağaçlara verdiği en önemli zararlardan biri de yangından zarar gören ağaçların çeşitli hastalıklara ve mantarlara karşı çoğalmasındır. Araştırma sonucunda ölü veya ölmekte olan ağaçların kök ve taç kısımlarına çeşitli hastalık ve mantarların yerleştiği tespit edilmiştir. Bu açıdan zararlı olan mantar türleri

genellikle Agaricaceae, Polyporaceae ve Thelephoraceae familyalarındandır (Baş, 1965).

Bilindiği gibi bir yerdeki küçük bir iklim değişikliği, bazı koşullar altında tüm bitki örtüsünün değişmesine yol açmaktadır, ormanın hava ve toprak sıcaklığına etkisi Orman, tepenin çatısından gelen güneş ışınlarının çoğunu emmektedir. Bir kısmı fotosentez ve terleme için kullanılır. Örneğin Kaliforniya'da yapılan bir araştırmaya göre çam ağacının tepesi yani iğne yaprakları tarafından emilen güneş enerjisinin yaklaşık 1,3 g Cal/cm<sup>2</sup>/dk olduğu ve bunun %61'inin büyüme kısımlarına iletiildiği bulunmuştur (Chappell, 1975).

Bu çalışmanın amacı, Karabük İli Ödemiş Köyü Karaçam meşceresinde 2021 yılında görülen orman yangını sonrası toprakta mikrobiyolojik faunanın yıllara göre değişiminin izlenmesi ve benzer koşullarda yangın görülmeyen alanlar ile karşılaştırılması amacıyla ele alınmıştır.

## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

#### 2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARDA ELDE EDİLEN BULGULAR

Çalışmanın bu kısımda orman yangınları konusunda yapılmış olan çalışmaların bulguların neler olduğu sunulmuştur.

Zhou vd (2019) tarafından yapılan çalışmada orman yangınları sonucu kuzey ormanlarında yüzeye yakın donmuş toprakları erittiği ve önceden donmuş organik maddeleri mikropların kullanımına sunduğu belirtilmiştir. Orman yangınından sonra kısa vadeli mikrobiyal stokiyometrik dinamikler, permafrost çözülmesinde toprak elementlerindeki değişiklikleri anlamak için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, yangının toprak kimyası, toprak mikrobiyal üzerindeki etkisini araştırmak için, son yangının 3, 25, 46 ve 100 yıldan daha uzun bir süre önce (kontrol olarak) meydana geldiği permafrost alanında doğal bir yangın araştırılmış, mikrobiyal biyokütle oranının belirli yaş sınıflarında sabit kaldığını gözlemlenmiştir. Mikrobiyal stokiyometrinin mantarların bakterilere oranındaki değişikliklere her zaman yanıt vermediği ve ateşin neden olduğu permafrost erimesinin mikrobiyal solunumu hızlandırmadığı sonucuna varılmıştır.

Nancy (2008) tarafından yapılan çalışmalarda orman yangınları ve hasat, orman ekosistemleri için önemli rahatsızlıkları olduğu, ancak bunların toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkileri iyi tanımlanmamış ve henüz doğrudan karşılaştırılmamış olduğu belirtilerek, Kanada, Alberta'da ladin ağırlıklı bir boreal ormanda benzer toprak, iklim ve diğer özelliklere sahip sitelerde araştırmayı amaçlamışlardır. Toprak mikrobiyal toplulukları dört bölümde incelenmiştir: kontrol, hasat, yakma ve yakma artı odun kurtarma (yanma-kurtarma). Uygulamalar, Mayıs 2001'de büyük bir orman yangınından etkilenen yerlerde yapıldı ve yangından bir yıl sonra

topluluklardan örnekler alınmıştır. Mikrobiyal biyokütle karbonu, hasat, yakma ve yakma işlemlerinde sırasıyla %18, %74 ve %53 oranında tasarruf edilmiştir. Mikrobiyal biyokütle azotu, hasat uygulamasında %25 oranında azalmış, ancak muhtemelen yanma nedeniyle mevcut olan artan miktarlarda  $\text{NH}_4^+$  ve  $\text{NO}_3^-$ 'ün mikrobiyal alımından dolayı yanık tedavilerinde artmıştır. Bakteriyel topluluk bileşimi, ribozomal intergenik aralayıcı analizinden (RISA) 119 örneğin moleküler parmak izi verilerinin parametrik olmayan sıralaması ve denatüre edici RNA gen gradyan jel elektroforezi ile analiz edildi. Çoklu yanıt permütasyon yöntemlerine dayalı olarak, topluluk kompozisyonu, iki yanmış ve iki yanmamış tedavi arasındaki en büyük farklarla, tüm tedaviler arasında önemli ölçüde farklıydı. RISA parmak izlerinden DNA bantlarının dizilimi, tedaviler arasında bakteri bölünmelerinin belirgin bir dağılımını ortaya çıkardı. Gamma ve alfa proteobakteriler yanmamış tedavilerin oldukça karakteristik özelliğiyle, beta proteobakteriler ve Bacillus üyeleri yanık tedavilerinin yüksek oranda karakteristiği idi. Hasatla karşılaştırıldığında, ateşin toprak mikrobiyal topluluğu üzerinde daha belirgin etkileri oldu. Ormanlar her zaman en önemlisi yangın olan doğal rahatsızlıklarla karşı karşıya kalmıştır. Bu tür bozulmaların orman ekosistemleri üzerinde önemli ve çoğu durumda uzun vadeli faydalı etkileri vardır. Besin maddelerinin ayrışmasına ve döngüsüne aracılık eden mikrobiyal topluluklar, ormanların bozulmalara karşı dayanıklılığında ve yenilenme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Yönetilen ormanlarda hasat en önemli rahatsızlık haline gelmiştir. Orman yönetimi için önerilen yaklaşımlardan biri, doğal rahatsızlıkları taklit etmektir. Bu yaklaşımı ve daha genel olarak sürdürülebilir orman yönetimini doğru bir şekilde değerlendirmek için, toprak mikrobiyal toplulukları da dâhil olmak üzere orman ekosistemleri üzerindeki etkileri açısından yangın ve hasat arasındaki farkları anlamak çok önemlidir. Yangının orman ekosistemleri üzerinde derin etkileri vardır. Yüzeysel sıcaklıklarının  $1000^\circ\text{C}$ 'ye ulaştığı rapor edilmiş ve bir dizi toprak fizikokimyasal özelliği etkilenmiştir. Bitki örtüsü ve altlıkların uzaklaştırılması albedoyu azaltır ve yüzeysel sıcaklığını artırır. Toprağın yoğun ısı mineral hammaddelerin yapılarını bozar ve toprak yapısını kararsız hale getirir. Yangın, toprak yapısında hidrofobik tabakalar oluşturarak su sızmasını azaltır ve toprak erozyonunu artırır. Toprağa aşırı ısı uygulandığında besinlerin dönüşümü gerçekleşir. Fosfor, potasyum ve magnezyum konsantrasyonu artarken, amonyum ve nitrat konsantrasyonu üzerindeki etkiler değişkendir. Son olarak, çoğu çalışma, yanma



sırasında bazik katyonların salınması ve bunların toprak yüzeyinde birikmesi nedeniyle yangının ardından toprak pH'ında bir artış olduğunu bildirmektedir. Toprak pH'ındaki bu artış, fosfor, kalsiyum, magnezyum ve potasyum mevcudiyetini arttırmaktadır.

Tahmin edilebileceği gibi, yangın ve hasat, orman toprağı mikrobiyal topluluklarının biyokütlesini ve bileşimini etkiler. Biyokütle genellikle bu rahatsızlıkların bir sonucu olarak azalır ve bu etki uzun yıllar devam edebilir.

Dooley ve Treseder (2012) yangın, toprak mikrobiyal topluluklarını ve dolayısıyla ekosistem karbon dinamiklerine katkılarını etkileyebilen küresel değişimin bir unsurudur. Yangının yer altı topluluklarını nasıl etkilediğine dair anlayışımızı geliştirmek için, yangına karşı yayınlanmış 42 mikrobiyal tepkinin bir meta-analizini gerçekleştirdik. Genel olarak mikrobiyal biyokütlenin ve özellikle mantar biyokütlesinin yangından sonra değişeceğini varsaydık. Tüm araştırmalarda yangın, mikrobiyal bolluğu ortalama %33,2 ve mantar bolluğunu ortalama %47,6 azalttı. Bununla birlikte, yangına karşı mikrobiyal tepki, biyom ve yangın türleri arasında önemli ölçüde farklılık gösterir. Ayrıca orman yangınları, mikrobiyal biyoküttele tahmin edilen yanıklardan daha fazla azalmaya yol açar. Bu farklılıklar muhtemelen biyomlar ve yangın türleri arasındaki yangın yoğunluğundaki farklılıklara atfedilebilir. Mikrobiyal bolluktaki değişiklikler, toprak CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki değişikliklerle önemli ölçüde ilişkilidir. Toplu olarak, bu sonuçlar, yangının mikrobiyal bolluğu önemli ölçüde azaltabileceğini ve toprak CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde etkileri olabileceğini göstermektedir.

Hart vd (2018) çalışmalarında, inceltme ve reçeteli yangının toprak biyokimyası ve ponderoza çamı (*Pinus ponderosa*) ile ilişkili mikorizal mantarlar üzerindeki uzun vadeli etkilerini değerlendirmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, bu ormanların restorasyon tedavileriyle ilişkili rahatsızlıklara karşı direncini göstermekte ve amaç sağlıklı topraklar için bol ve istikrarlı mantar topluluklarını sürdürmekse yöneticilere daha fazla esneklik sağlamaktadır.

Olejniczak vd (2019) yapılan çalışmada yangınlar, herhangi bir ekosistemdeki, özellikle ormandaki toprakların önemli unsurları olan toprak mikroorganizmalarının ve toprak mezofonlarının bolluğunu ve biyolojik çeşitliliğini önemli ölçüde etkilemiştir. Toprak organizma topluluklarının yenilenmesi farklı hızlarda yapılır ve yangının şiddetine bağlıdır. Bu araştırmanın amacı, eski bir çam ormanında farklı yoğunluktaki insan yangınları tarafından yakılan alanlarda mikroorganizma ve mezofauna bolluğunun geri kazanım derecesini belirlemektir. Araştırma, Polonya'nın merkezindeki Varşova yakınlarındaki bir milli parkta 200 yıllık bir çam meşceresinde gerçekleştirildi. Bu çalışmada, mikrobiyal toplulukların ve mezofauna topluluklarının restorasyonunun birbirleriyle ilişkili olduğu, yangın sonrası toprağın çevresel koşullarından da etkilendiği, özellikle toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yoğunluğunun neden olduğu tespit edilmiştir.

Pereg vd (2018) yüksek şiddetli yangın ve yangın sonrası yönetim, topluluk bileşimi ve bolluğu dâhil olmak üzere biyolojik, kimyasal ve fiziksel toprak özelliklerini etkilemektedir. Kurtarma günlüğü, bir yangından sonra kömürleşmiş odunların yerden kaldırılmasını içeren bir yangın sonrası yönetim stratejisidir. Bu çalışmanın temel amacı, yangından sonra tomrukçuluk ve mikrobirikimin toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkisini, özellikle nitrojen döngülerinin sıklığını ve dolayısıyla toprağın mikrobiyal nitrojen döngüsü potansiyelini araştırmaktır. Kontrol toprağındaki nitrojen döngüsünün farklı aşamalarındaki mikrobiyal gen havuzları, yangın sonrası restorasyon sistemine maruz kalan topraktan daha büyüktü ve organik madde, fosfor, nitrojen ve agregaların stabilitesi ile önemli ölçüde ilişkiliydi. Daha yüksek organik karbonla ilişkili ince taneli toprak fraksiyonunun, özellikle tomruk koşullarında nitrojen döngüleri için bir sıcak nokta olduğu gösterilmiştir. Yangın sonrası yönetim stratejilerinin topraktaki mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkisi, ekosistem üretkenliğini, direncini ve iklim değişikliği üzerindeki potansiyel etkiyi sürdürmeyle ilişkili olarak değerlendirilmelidir.

Moya ve diğerleri (2021) orman toprağı ekolojisi bilgisi, yangın gibi rahatsızlıklara duyarlılığı değerlendirmek ve mikrobiyal çeşitliliği ve fonksiyonel değeri iyileştirmek için gereklidir. Toprak mikrobiyotası, orman toprak süreçlerinde önemli bir rol oynamakta ve yangın sonrası toparlanmanın ana itici güçtür, ancak ısıya karşı oldukça

hassas olduğu belirtilmiştir. Bir Akdeniz karışık am ormanında reçeteli yakmanın toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Düşük yoğunluklu yangının toprak mikroorganizmalarının işlevsel çeşitliliğini etkilemeyeceğini, ancak yanma mevsiminin kırılganlıktaki mevsimsel değişiklikler nedeniyle bu tepkiyi etkileyebileceğini varsayılmıştır. Biolog EcoPlate sistemini, toprağın biyolojik göstergelerini kaydetmek ve tahmin edilen yanma mevsiminin (erken veya geç mevsim) toprak ve orta bitki fazı dâhil bakteri toplulukları üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanmıştır. Toprak mikrobiyom tepkisi, bitki örtüsü ile önemli ölçüde değişti, ancak tahmin edilen yanma mevsimi doğrudan ilişkili olmadığı belirlenmiştir. Yakma, toprak organik maddesini ve toprak organik karbon oranını artırırken, bahar yakma işleminden sonra katyon değişim kapasitesi ve toplam fosfor oranını artırmıştır. Bununla birlikte, çıplak yamalar yakıldıktan sonra mikrobiyal zenginlik artmıştır. Yanmamış ve geç yanık bölümlerinde karboksilik asitler, amino asitler ve karbonhidratlar daha fazla kullanılırken, erken yanık bölümlerinde amino asitler baskın değildir.

Wang vd (2020) alışmasında kesik yakmanın, subtropikal plantasyonlarda orman hasadı kalıntılarının giderilmesi için yaygın ve etkili bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, az sayıda saha çalışması, yangında biriken kömürün toprak mikrobiyal topluluklarının çeşitliliği ve bileşimi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Bu çalışmada, subtropikal Çin'de bir *Pinus massoniana* plantasyonundaki yakma sonrası kesim alanlarındaki artık kömür miktarını manipüle ettik. Toprak rnekleri, kömür uygulaması veya çıkarılmasından bir yıl sonra 0 ila 10 cm derinlikten toplanmıştır. Yüksek verimli dizileme ile toprak bakteri ve mantar topluluklarının çeşitliliğini ve bileşimini araştırdık. Sonuçlar, bir yıllık ateşten elde edilen odun kömürü kullanımından sonra cins düzeyinde bakteri ve mantarların göreceli bolluğunda taksona özgü bir değişimin gözlemlendiğini, ancak toprak bakteri ve mantar çeşitliliğinin etkilenmediğini göstermiştir. Toprak pH'ı, operasyonel taksonomik birimlerin bolluğunu ve toprak bakterilerinin çeşitliliğini belirlemede baskın bir role sahipti, ancak toprak mantar topluluğunda değil. Toprak pH'ına ek olarak, topraktaki fosfor miktarı da toprak mikrobiyal topluluklarının yapısında önemli bir rol oynamıştır. Birlikte ele alındığında, bulgularımız, subtropikal kesme ve yakma

alanlarındaki toprak bakteri ve mantar toplulukları üzerinde yangında biriken kömürün önemini vurgulamaktadır.

Day vd (2019) çalışmasında toprak mantar toplulukları, yangından sonra bitki büyümesi ve besin döngüsü için önemlidir, ancak yangının mantar toplulukları, yangın yoğunluğu ve boreal ormanlarındaki meşcere türleri üzerindeki etkisi hakkında çok az bilgi bulunduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, mantar topluluğu bileşimi, özellikle mikoriza ve alt bitki bileşimi arasındaki ilişkileri anlamak, gelecekteki yangın rejimlerinin bitki örtüsünü nasıl etkileyeceğini tahmin etmede önemli olduğu vurgulayarak mantar topluluklarının sürücülerini test etmek ve bitki topluluklarıyla ilişkileri değerlendirmek için Kanada Kuzeybatı Toprakları ormanındaki şiddetli bir yangın olayını incelemiştir. Yangından bir yıl sonra 39 parsel ve 8 yanmamış parselin toprağından numune alınmıştır. Sonuçlar, yüksek güçlü bir mantar operasyonel sınıflandırma birimi göstermiştir. Toprak pH'ını ve yangın yoğunluğunu bulduk ve bu etkenler arasındaki etkileşim mantar topluluğu yapısı (bileşim, zenginlik, çeşitlilik, fonksiyonel gruplar) için önemli görülmüştür. Yangın yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda, düşük pH'lı örnekler, yüksek yangın yoğunluğuna göre mantar, mikoriza ve saprotroflardan daha zengin olduğu ve yangın yoğunluğunun artması mantar, mikoriza ve saprotrofların toplam zenginliğinde ve tüm mantar ve mikoriza çeşitliliğinde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Mikoriza bitkisi ve topluluğunun bileşimi, zenginliği ve çeşitliliği zayıf ama anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu ve bu zayıf ilişkiler ve mantarların dağılımı, mantar topluluk yapısının ana itici gücünün, yangın yoğunluğu ile değiştirilen pH olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, mantar topluluk yapısını büyük ölçeklerde belirlemede edafik faktörlerin önemini göstermekte, ancak bu modellerin yangın ve orman meşcere bileşimi arasındaki etkileşimler tarafından aracılık edildiğini öne sürmektedir.

Raviña vd (2018) çalışmalarında, toprak erozyonunu azaltmak için iki yangın sonrası restorasyon tekniğinin (tohumlama ve malçlama) etkinliğini ve ayrıca toprak kalitesi üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Bu nedenle arazide yanmamış toprak, yanmış toprak, yanmış toprak artı tohum ve yanmış toprak artı malçlama deneme parselleri oluşturulmuştur. A horizonundan toprak örnekleri toplandı ve toprak kalitesini değerlendirmek için çok çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak

özellikleri analiz edilmiştir. Yangının bitki örtüsü üzerindeki etkisi bir yıl sonra gözlemlenmiş ve toprak özelliklerindeki değişimler dört yıl sonra bile devam etmiştir. Fosfolipid yağ asitlerinin modeli, orta vadede (yangından sonra 8-48 ay), yangının, toprak ortamında bitki kaynaklı değişiklikler yoluyla bitki topluluğunu değiştirerek toprak mikrobiyal topluluklarını değiştirebileceğini göstermiştir. Tohumlama veya malçlamanın bitki örtüsü üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır. Yangından sonraki 8 ila 12 ay arasında toprak erozyonunun önlenmesinde ve tedavilerin uygulanmasında ortalama etkinlik, tohumlama için %11 ve malçlama için %65 olmuştur. Bu stabilizasyon uygulamalarının orta vadede (48 ay) yangın sonrası toprak kalitesi üzerinde küçük bir etkisi olmuştur. Bu nedenle, toprak erozyonunu azaltmadaki etkinliği göz önüne alındığında, yangın sonrası en iyi stabilizasyon yöntemi olarak malçlama uygulaması önerilmektedir.

Qin ve Liu (2021) çalışmasında yangın, toprakta ve ortam sıcaklığında dramatik değişikliklere yol açabileceği ve toprak mikropları üzerinde ani, kısa vadeli veya uzun vadeli etkilere sahip olabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, nispeten az araştırma, yangın rahatsızlığının, toprak derinliğinin, zamansal değişikliklerin ve bunların etkileşimlerinin nemli koşullar altında toprak mikrobiyal topluluklarını nasıl etkilediğini göstermiştir. Bu çalışma, benzer yağışlardan sonra ve tam olarak yağışlı mevsimde dört toprak derinliğinde (0-5, 5-10, 10-15 ve 15-20 cm) bakteri ve mantar topluluklarının etkisi altında şiddetli yangını araştırmayı amaçlamıştır. Toprak örnekleme, Çin'deki yapay bir Pinus tabulaeformis ormanındaki bozulmamış bitişik bir alana göre yanmış bir bölgede gerçekleştirildi. Sonuçlar, yangının, yangından sonraki ilk dönemde yüzeydeki mineral toprak (0-5 cm) üzerindeki en büyük etkileri ve alttaki topraklar üzerindeki küçük etkileri (20-5 cm) ikinci dönem de dâhil olmak üzere bakteri ve mantar zenginliği üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bozulmamış topraklardaki mikrobiyal zenginlik ve bazı baskın türler zamanla ve derinlikle değişti, bu da yağışın etkilerinin azalmasına rağmen toprak mikrobiyal topluluklarında uzay-zamansal varyasyonu gösterdi. Yanmış ve dokunulmamış topraklar arasındaki mikropardaki bu farklılıklar, esas olarak toprak pH'ından kaynaklanırken, mevcut organik madde ve potasyum, sırasıyla derinlik ve zaman boyunca mikrobiyal toplulukların dağılımına aracılık etmektedir. Ayrıca mantar topluluğu, bakteri topluluğuna göre ateşe ve zamana karşı daha duyarlıydı,

ancak tam tersi sonuç derinlemesine bulunmuştur. Ancak toprak mikropları ateşe uyum belirtileri gösterdi. Bu çalışma, kuraklık durumunda yangın veya düşük yoğunluklu su dolumu sonrası kısa vadede herhangi bir müdahale düşünülmemesi gerektiğini desteklemektedir.

Brown vd (2019) çalışmalarında Güney Appalachia'da rekor kıran 2016 yangın sezonunun ardından, yangının toprak kimyası ve yer altı toplulukları (Mantarlar ve Bakteriler - Illumina MiSeq) üzerindeki etkileri benzer bitki topluluklarına sahip iki bitişik yer arasında karşılaştırma yapmayı amaçlamıştır. Farklı yangın yoğunluğu topluluk kompozisyonunu değiştirmiş ve yangın yoğunluğu, bakteri topluluklarının yapısında mantar topluluklarının yapısından daha güçlü bir role sahip olduğu belirlenmiştir. Birlikte ele alındığında, ekosistem düzeyinde iyileşme tahminleri yapmak için yangına mikrobiyal tepkilerin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Miera vd (2020) tarafından yapılan çalışmada yangının canlı organizmalar üzerindeki etkisini ölçmek için çeşitli göstergeler önerilmiştir. Bu yangın şiddeti endeksleri geleneksel olarak ekosistemlerin bitkisel bileşenlerine verilen hasarın nicelleştirilmesine dayandırılmıştır. Bununla birlikte, bakteri topluluklarının şiddet göstergeleri olarak kullanılması daha az ilgi görmüştür. Burada, büyük bir orman yangınından iki ay sonra, ikisi çalılık ve biri ağaçlık olan üç farklı Akdeniz ekosistemindeki bakteri toplulukları arasındaki farkları araştırılmıştır. İki yoğunluk seviyesi yanmamış kontrol toprağı ile karşılaştırılma yapılmış çalışma sonucuna göre yangın yoğunluğunun toprak bakteri topluluklarının çeşitliliğini azalttığını göstermiştir. Yüksek yoğunluklu yangınlarda bu azalma yüzde 40,6'dan yüzde 58,6'ya ulaşmaktadır. Ayrıca topluluklar arasındaki farklılıkların çoğunun ilk olarak yangının ciddiyetine ve ikinci olarak da yangının kaynaklandığı ekosisteme atfedilebileceği bulunmuştur. Önemli olarak, sadece beş bakteri familyasından türler: Oxalobacteraceae, Micrococcaceae, Paenibacillaceae, Bacillaceae ve Planococcaceae, her üç ekosistemde de baskındır. Bazı türler için ortalama frekans artışı 100 kat olmuştur. Ancak, kontrolsüz rastgele faktörler nedeniyle, her toplulukta baskın hale gelen türler her zaman aynı olmadığı belirlenmiştir.

Zhang vd (2019) yaptığı çalışmada yangının sulak alan ekosistemlerini bozduğundan toprak mikrobiyal toplulukları ile bitki büyümesi ve ekosistem işlevi üzerindeki büyük etkileri arasındaki ilişkinin hala tam olarak anlaşılamadığını vurgulamıştır. Bu kapsamda çalışmada *Carex brevicuspis* topluluklarının hakim olduğu alanda yanan alanlar, yanmayan alanlar ve yangın yoğunluğunun düşük olduğu geçiş alanları araştırılmıştır. Sonuçlar, farklı bölgelerde toprak özellikleri, mikrobiyal biyokütle, mikrobiyal karbon kullanım modeli ve bitki büyümesinde önemli bir fark olduğunu göstermektedir. Ortalama olarak en düşük karbon, azot içeriği ve toprak nemi miktarı yanmış alanlarda, en yüksek ise yanmamış alanlarda meydana gelmiştir. Ayrıca yanmış alanların altındaki toprak mikropları en yüksek biyokütle, ortalama gelişme değeri ve zenginlik indeksine sahipti. Bitki büyümesi şu sırayla azaldı: yanmış > transfer > yanmamış alanlar. Analiz, bu çeşitliliğin çoğunlukla toprak mikroplarının karbon kullanım modellerindeki farklılıkla açıklanabileceğini gösterdi. Analiz, toprak mikrobiyal metabolizmasının bu çalışmada test edilen bitki büyüme değişkenleri ile önemli bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir. Genel olarak, sonuçlarımız ateşin toprak ortamını değiştirdiğini ve Poyang Gölü Sulak Alanında toprak mikrobiyal metabolik modellerini ve bitki büyümesini değiştirdiğini göstermektedir.

Pressler vd (2019) iklim ve arazi kullanımı değişikliği nedeniyle küresel yangın rejimleri değiştiğini belirtmiştir. Yeraltı topluluklarının yangına tepkisini anlamak, düzenledikleri ekosistem süreçlerindeki değişiklikleri tahmin etmenin anahtarı olduğunu vurgulamışlardır. Ateşin toprak ve mezofaunal mikroorganizmalar üzerindeki etkisini araştırmak için 131 deneysel çalışmadan 1634 gözlemin kapsamlı bir meta-analizini gerçekleştirilmiştir. Ateşin toprak biyokütlesi, bolluğu, zenginliği, düzgünlüğü ve çeşitliliği üzerinde güçlü bir olumsuz etkisi olduğu, yangının biyokütleyi ve mikroorganizmaların bolluğunu %96 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Bakteriler ateşe mantarlardan daha dirençliy olduğu, ateş mantalarının nematod bolluğunu %88 oranında azalttığı, ancak toprak eklembacaklıları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Gana yangını, toprak ve mezofunik mikroorganizmaların homojenliğini ve çeşitliliğini %99 oranında azaltmıştır. Toprak topluluğunun yangına karşı çok az dirençli olduğunu gösterilmiş, yangın maruziyetinden sonraki 10 yıl boyunca iyileşmeye yönelik geçici eğilimlere dair çok az kanıt bulunmuştur. Biyom, yangın türü ve derinlik arasındaki etkileşimler, bu

olumsuz eğilimlerin az bir kısmını açıkladı. Yangın ekolojisi ve toprak biyolojisinin kesiştiği noktada gelecekteki araştırmalar, değişen küresel yangın rejimleri altında toprak topluluk yapısını ekosistem süreçleriyle bütünleştirmeyi amaçlaması gerektiği belirtilmiştir.

Pereira vd (2018) topraklar önemli bir doğal sermaye olduğunu ve yüksek yoğunluklu yangınlardan etkilendiğini belirtmiştir. Toprağın yangından etkilenme kapasitesi, yangın geçmişine, kül özelliklerine, topografyaya, yangın sonrası iklime, bitki örtüsünün yenilenmesine ve yangın sonrası yönetime bağlıdır. Bu faktörler birbirine bağlıdır ve yüksek yoğunluklu yangının toprak bozulması üzerindeki etkilerini artırabilmekte veya azaltmaktadır. Tipik olarak, ekosistemler yangına karşı dayanıklıdır ve müdahalenin olmadığı bir senaryo düşünülmelidir. Yangın sonrası yönetim, yıkıma daha açık olan belirli alanlarda yapılmalıdır. Malçlama gibi yangın sonrası müdahaleler, toprak bozulmasını azaltmak için önemlidir, tomruklama ise kurtarma oranını arttırmaktadır. Genel olarak, seçtiğimiz yönetim seçenekleri, toprak üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri desteklemekte veya azaltmaktadır.

Stavi (2019) derleme çalışmasında kurak topraklara odaklanmaktadır. Çayırları ve çalılıkları karakterize eden nispeten düşük ila orta dereceli yakıt yükleri, nispeten orta şiddette yangınlar üretir ve orta derecede yanma şiddeti ile sonuçlanmaktadır. Bununla birlikte, yanmayı takiben toprak tanelerinin stabilitesinin azalması nedeniyle, yangından kısa bir süre sonra yanan araziye ulaşan çiftlik hayvanlarının hareketinin, toprak yüzeyinden minerallerin sızmasını arttırdığı görülmektedir. Bu, olası arazi bozulmasını hızlandırma riskiyle birlikte toprağın aşınabilirliğini artırmaktadır. İnceleme, sürdürülebilirlik ve ekolojik sağlık için genel etkilerin bir değerlendirmesiyle sona erdiği, mera yangın kontrolü ve yanmış arazi restorasyonu için öneriler gerektiği belirtilmiştir.

Hrelja vd (2020) yangınların, toprak ve ekosistem değişikliklerinin temel itici güçleri olarak değerlendirmiştir. Yangın sırasında elde edilen sıcaklık, toprak sisteminde yangın sonrası değişiklikleri büyük ölçüde belirlemektedir. Ek olarak, yangının süresi ve yoğunluğu, çeşitli toprak özellikleri (toprak organik maddesi veya nem içeriği gibi) ile birlikte yangın sonrası değişikliklerin yönü ve doğası üzerinde önemli bir rol



oyunmaktadır. Yangınlar toprağı ısıtarak ve daha sonra üst toprağa kül ekleyerek etkiler. Yangının yoğunluğu, bitki örtüsünün ve substratın yanmasının derecesini ve toprağın fiziksel ve kimyasal değişikliklerini de belirlemektedir. Topraktaki yangın sonrası değişiklikler ve hidrolojik süreçleri, genellikle toprak organik maddesindeki nicel ve nitel değişikliklerle ilişkilendirilen toprağın yüzey tabakasındaki erozyonu artırmaktadır. Toprak organik maddesinin geri kazanılması, yangından sonra toprak kalitesinin genel olarak geri kazanılmasının anahtarıdır. Toprak özelliklerindeki değişiklikler yangının yoğunluğuna bağlıdır. Yangın yoğunluğu, örneğin bitki örtüsünün miktarı ve türü, sıcaklık ve toprak nemi, rüzgar hızı ve topografya gibi çeşitli çevresel faktörlere bağlıdır. Çalışmada, yangının toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerine ilişkin çeşitli çalışmaları gözden geçirilmiş ve küresel ekosistemin su değişikliklerine uyum mekanizmalarını anlamada giderek kritik bir bileşen haline geldiği belirtilmiştir.

Lombaoa vd (2020) çalışmasında yangınları, Akdeniz orman ekosistemlerinde her yıl aynı alanı etkileyen önemli bir sorun olarak görmektedir. Kısmen iklim değişikliği nedeniyle yoğunlukları artıyor ve bu nedenle zaman zaman yüksek yoğunluklu orman yangınları bölgeyi kasıp kavurduğu vurgulanmaktadır. Bu kapsamda çalışmada, yangının (tekrar, yoğunluk) toprak mikrobiyal topluluğunun yapısı üzerindeki etkisini fosfolipid yağ asidi (PLFA) analizi ve mikrobiyal çeşitlilik ile yüzey fizyolojik tekniğini (CLPP) değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yangın yoğunluğunu simüle etmek için yüksek yoğunluklu yangından etkilenen toprak ve düşük yoğunluklu deneysel yangından etkilenen toprak örnekleri laboratuvar koşullarında farklı sıcaklıklarda ısıtılmıştır. Yangın tekrarını simüle etmek için, bir aylık inkübasyondan sonra ısıtma işlemi tekrarlanmıştır. Yangın yoğunluğu, derece-saat yöntemiyle numunelere sağlanan ısı miktarı olarak tahmin edilmiştir. Yangının toprak mikroorganizmaları üzerinde önemli bir etkisi tespit edildi. Mikrobiyal topluluğun tepkisi, önceki yangın geçmişine bağlı olarak farklıydı ve PLFA ve CLPP modelindeki değişikliklerin miktarı, numunelere sağlanan ısı miktarı ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Yangınların mikrobiyal topluluk yapısı üzerinde laboratuvarında daha sonra toprak ısıtmasından daha büyük bir etkisi olduğu saptanmıştır. Toplam biyokütle ve belirli mikroorganizma gruplarının biyokütlesi, yangın sonucunda önemli ölçüde azalmış ve laboratuvar koşullarında deneysel yangın ve toprak ısıtması nedeniyle küçük

değişiklikler tespit edilmiştir. Sonuçlar, yangın rejimlerinin etkisini ve toprak mikroorganizmaları ve toprak kalitesindeki ilgili doğrudan ve dolaylı değişiklikleri araştırmak için PLFA modelinin yararlılığını açıkça göstermiştir. Veriler ayrıca maksimum sıcaklık yerine derece-saat yönteminin yangın yoğunluğunu simüle etmek ve termal şokun toprak ekosistemi üzerindeki etkisini değerlendirmek için yeterli olduğunu göstermiştir.

Pérez-Izquierdo vd (2020) tarafından yapılan çalışmada Akdeniz ormanlarında, ekosistem dinamikleri için gerekli olan ağaçlar ve ektomikorizal mantarlar (ECM) arasındaki karşılıklı geri bildirimler, sık sık çıkan yangınlarla oluşturulabileceği belirtilmiştir. *Pinus pinaster* ve *Pinus halepensis*'in ECM mantar topluluklarının yapısının ve işlevinin, Akdeniz ekosistemlerinde yüksek ve düşük yangın frekansına maruz kalan popülasyonlar arasında nasıl farklılık gösterdiğini test etmek amacıyla çevrenin (iklim, toprak özellikleri) ve ağacın (serotonin) göreceli katkısını analiz edilmiştir. Faktörler her iki çam türü için, yerel ve bölgesel ECM mantar çeşitliliği, yangın sıklığı düşük olandan yüksek olan alanlarda daha düşük olduğu, ancak ilkinde belirli mantar türleri tercih edildiği saptanmıştır. Sonuç olarak, ECM mantar topluluğu değişikliklerinin, yangına meyilli Akdeniz kuru ormanlarında yangının tekrarlaması ile ilişkili olduğu ve bu ekosistemlerdeki ağaçlar, karşılıklı mantarlar ve çevredeki çevre arasındaki karmaşık geri bildirimleri ortaya çıkardığını göstermiştir.

Taudièreab (2017) tarafından yapılan birkaç saha çalışması, kısmen biyoçeşitlilik ve yangın riskinin ortak coğrafyasını yansıtan sınırlı bir coğrafi alanda yangının ortakyaşarlar üzerindeki etkisini doğrudan ele almadığını belirtmiştir. Analiz edilen veriler, yangından sonra mantar topluluklarının bileşimindeki uzun vadeli değişiklikleri uzlaşarak rapor edilmiştir. Öte yandan, yangınların yerel ölçekte mantarların çeşitliliği ve zenginliği üzerindeki etkileri araştırmacılar arasında hala tartışıldığı belirtilerek belgelenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Syaufina ve Ainuddin, (2011) orman yangınları, belirli türleri baskı altına alarak ve diğerlerini teşvik ederek bitki örtüsünü etkiler, bitki örtüsü yapısında ve ardışık düzende değişikliklere neden olduğu ve Tropikal çamları da canlandırdığı belirtilmiştir. Ateş, toprak makro organizmalarının çeşitliliğini azaltmakta ve toprak

bakteri bileşimini değiştirmektedir. Yangının biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkilerinin bilinmesi orman yöneticileri için faydalı olabileceği ve yangına adapte olmuş bitki örtüsü, yanmış alanların restorasyonunda önemli bir tür olarak kullanılacağı vurgulanmıştır.

Bárcenas ve Torres (2009), toprak mikrobiyolojisinin toprak sisteminin işleyişi için çok önemli olduğunu, ateşin toprak mikroplarını doğrudan ısıtma yoluyla ve dolaylı olarak toprak özelliklerini değiştirerek etkileyeceği belirtmiştir. Mikroorganizmalar ayrıca yangın ve bitki örtüsünün yeniden kurulmasından sonra çevresel faktörlerden de etkilenmektedir. Toprak mikroplarını etkileyen en önemli faktörün, genellikle mikrop sayısını azaltan yangın yoğunluğu, süresi ve toprak özellikleri gibi faktörler tarafından kontrol edilen yanma yoğunluğu olduğu görüldüğü bildirilmiştir. Üst toprakta ulaşılan sıcaklıklar, yangından sonra mikrobiyal yeniden kolonizasyonla ilgili toprak mikroorganizmalarını ve diğer toprak özelliklerini etkilemek için genellikle yeterlidir. Aşırı durumlarda, üst toprak tam sterilizasyona uğramaktadır. Mantarlar, ıslak toprak koşullarında bildirilen daha büyük bir etkiyle, bakteri ve aktinomisetlere göre ısıya daha duyarlı görünmektedir. Arbusküler mikoriza oluşturan mantarlar söz konusu olduğunda, hemen hemen tüm çalışmalar üreme sayısında azalmaya yol açan olumsuz bir etki göstermektedir. Önemli bir faktör, yeni bitkileri kolonize etmek için yeni misellerin kaynaklandığı sklerotia gibi mantara dirençli yapıların varlığıdır. Organik maddenin kalitesindeki değişiklikler nedeniyle toprak mikroorganizmalarının aktivitesi azalmaktadır. Kısa vadede, çoğunlukla etkilenen topraklarda artan çözülmüş karbon ve besinler nedeniyle, heterotrofik bakteri popülasyonlarının bazal solunumunda bir artış gözlenmektedir. Organik bileşiklerin tükenmesinden sonra, bazal mikrobiyal solunumdaki bu ilk artışı genellikle bir azalma izlemektedir. Çünkü karbon ve azotun kalan formları mikrobiyal saldırılara karşı daha dirençlidir. Artan pH (kül birikimine bağlı olarak) gibi toprak özelliklerindeki diğer bazı değişikliklerin, bakteri-mantar oranındaki yangın sonrası artışın nedeni olduğu ileri sürülmüştür. Öncü türler olarak, orta ve yüksek yoğunluklu yangınlardan sonra fotoototrofik mikroorganizmalar (algler gibi) tarafından hızlı toprak yeniden kolonizasyonu bildirilmiştir. Mikroorganizma çeşitliliği yangınla çeşitli şekillerde değiştirilebilmekte, bu da ısı duyarlılığında, hayatta kalma stratejilerinde, kolonizasyon mekanizmalarında ve toprak ve mikro iklim değişikliklerine duyarlılıkta

farklılıklara neden olmaktadır. Yeni ekolojik aşamaların yok edilmesi ve yaratılması ve toprak üstü bitki türlerinin biyokütlesi ve bileşimindeki değişiklikler de mikroflora çeşitliliğini etkilemektedir.

Certini (2005) tarafından yangınların, organik maddenin önemli ölçüde uzaklaştırılmasına, yapının ve gözenekliliğin tahrip olmasına, buharlaşma yoluyla önemli miktarda besin kaybına, külün duman bulutlarında tutulmasına, yıkamaya ve erozyona neden olduğu ve türlerin spesifik miktarları ve bileşimi önemli bir değişikliğe uğrattığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, yaygın inanışın aksine, bitkiler yanmış alanı yeniden kolonize etmeyi başarır, çoğu mülkün yangın öncesi seviyesi geri kazanılabileceği ve hatta artırılabilirliği belirtilmektedir.

Barreiro ve Raviña (2021) tarafından ekosistemin yangına tepkisi, genellikle, yer üstü ve yer altı süreçlerinde potansiyel olarak büyük etkileri olan yangının yoğunluğu ve tekrarı ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Yangının etkisini anlamak, iklim değişikliği nedeniyle rahatsızlık rejimlerinde son zamanlarda meydana gelen değişiklikler nedeniyle giderek daha önemli hale gelmiştir. Yer üstü bitki örtüsü ve toprak altı fizikokimyasal özellikler üzerindeki etkiler iyi belgelenmiş olmasına rağmen, yangının mikro ölçekli mikroorganizmaları nasıl etkilediği belirsizliğini korumaktadır. Mikrobiyal topluluklar, temel ekosistem süreçlerini yürütmekten sorumludur ve yangın veya yangın rahatsızlıklarının neden olduğu toprak kalitesindeki değişikliklere özellikle duyarlıdır. Çalışma, ateşin A horizonundan toprak mikroorganizmalarının kütlesi, aktivitesi ve çeşitliliği üzerindeki etkileri olduğu belirlenmiştir.

Amiro ve Quideau (2005), mineral toprak solunumu, toplam toprak solunumunun büyük bir bölümünü (% 62-83) oluşturduğu, kök biyokütlesindeki varyasyonun genç ormanlarda yangın sonrası toprak solunumundaki varyasyon üzerinde farklı orman zemini organik katmanlarından daha büyük bir etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir.

DeBano (2000), ısı transfer mekanizmalarının her iki (doğal ve öngörülen yangınlar) sırasında sıcaklık gradyanları boyunca toprakta ısı aşağı doğru hareket ettiğinde çalıştığı belirtilmiştir. Toprağın üst kısmında aşağıya doğru ısı transferi, suyun ve organik bileşiklerin buharlaşması ve hareketi ile artmaktadır.

Kathleen vd (2004) Reed'n arbusküler mikorizal mantarların düşük yüzey çöp birikimi olan ekosistemlere hâkim olması gerektiği ve ektomikorizal mantarların organik maddenin iyi geliştiği yerlerde çoğalması gerektiğine dair hipotezini test etmek için Alaska'da bir zaman dizisi kullanmıştır. Ektomikorizal mantarlar, organik bileşikleri mineralize etmede arbusküler mikorizal mantarlardan daha büyük bir kapasite gösterir. Alanlar Alaska, Delta Junction yakınlarındaki yayla ormanlarında bulunmakta ve yangından sonraki 3, 15, 45 ve 80 yıllık aşamaları temsil etmektedir. Toprak organik maddesi zamanla 2,8 kat birikmiştir. Ateş, arbusküler mikorizal mantarların bolluğunu önemli ölçüde azaltmamıştır. Buna karşılık, ektomikorizal kolonizasyonun yangın öncesi seviyelere dönmesi 15 yıl kadar sürdüğü belirtilmiştir. Sonuç olarak, baskın mikorizal gruplar, art arda ilerledikçe arbuskülerden ektomikorizal mantarlara kaymıştır. Bakterilerin fonksiyonel çeşitliliği eski yerleşim yerlerinde daha yüksekti. Genel olarak, organik bileşikleri (yani, ektomikoriza ve bakteriler) mineralize edebilen mikroplar, yapamayan mikroplardan (yani, arbusküler mikorizalar) daha yavaş iyileşti. Ayrıca, glomalin birikintileri, zaman dizisinde erken zirve yapan arbusküler mikoriza ile pozitif korelasyon göstermiştir. Mikrobiyal ardılığın, yangından sonraki ilk birkaç yılda, organik bileşik mineralizasyonunu inhibe ederken glomalin karbon depolamasını artırarak toprak karbon ve azot dinamiklerini etkileyebileceğini gösterilmiştir.

## **2.2. TÜRKİYE'DE ORMAN VARLIĞI**

Türkiye'deki kuruluşlardaki orman varlıklarına ilişkin hakların korunması, ilk kez 1963-1972 yılları arasında tüm ormanları yönetme şekilde düzenlenmiştir ve 1980 yılında yayınlanan Orman Amenajman Planlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Türkiye orman varlığı 20,2 milyon hektara yükselmiştir. 1963-1972 döneminde 21.1 milyon hektar, 2004 yılında 21.7 milyon hektar, 2012 yılında 21.7 milyon hektar ve 2018 yılı boyunca göre 22.3 milyon hektara ulaşmıştır. Aynı dönemde orman manzarasına bakıldığında orman bölgesi oranı %26,1'den %28,6'ya yükselmiştir. Buna göre son 44 yılda ormanlık alanları yaklaşık 2,1 milyon hektarlık gelişim göstermiştir. Birinci plan döneminde verimli ormancılık oranı %43 iken, son dönemde %52 olmuştur. Ormanlarımızın %50'si ekonomik, %42'si ekolojik, %8'i sosyokültürel işlevlere göre planlanmıştır.

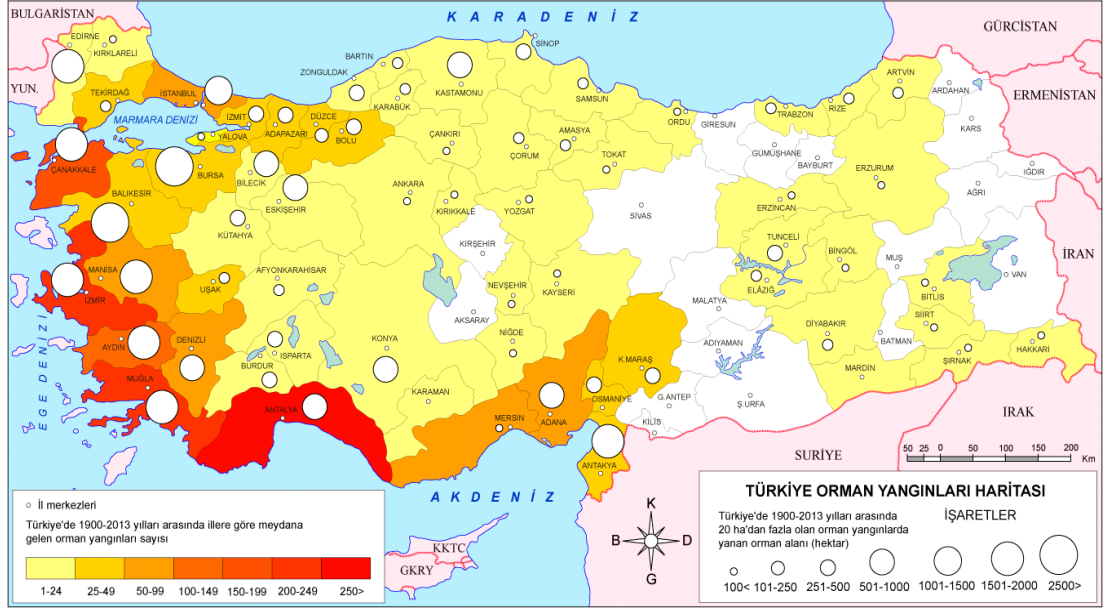
### 2.3. ÜLKEMİZDE GÖRÜLEN YANGINLAR

Türkiye'de iki tür orman yangını vardır: örtü ve tepe. Örtü yangınları, orman toprağını, ölü ve canlı örtüyü yakan yangınlardır. Tepe yangınları ise ağaçların ve çalılarının tepelerini yakarak ilerleyen yangınlardır. Tepe ateşinde; Orman örtüsü, ağaçların gövdeleri ve tepeleri çeşitli yoğunluklarda yandığından, genellikle ağaçlar kurur ve canlılığını kaybeder. Bu nedenle daha tehlikeli bir yangın türüdür.

Türkiye'de orman yangınlarının ilk kayıtları 1937 yılında tutulmaya başlandı. Bu kayıtlara göre Türkiye'de 1937 ile 2018 yılları arasında 1.679.670 hektar alanyandı. Türkiye'de yangınların son 10 yıllık döneminde yılda ortalama 2365 orman yangını çıktığı ve yangından ortalama 8763 hektar alanın zarar gördüğü anlaşılmaktadır. Yangın başına ortalama 3,7 hektarlık bir alan yanıyor.

Türkiye'deki orman yangınlarının %41'i Ege'de, %24'ü Akdeniz'de çıkıyor. %22'si Marmara'da, %13'ü ise diğer bölgelerde meydana geldi. Orman yangınlarının %97'si yaz kuraklığının yaşandığı Haziran ve Ekim ayları arasında meydana gelmektedir. Bunların %32'si 12:00 ile 15:00 arasında başlıyor. %88'i gündüz, %12'si gece meydana gelir. Bu verilerden hareketle Türkiye'de orman yangınlarının insan faaliyetlerinin en yoğun olduğu dönemlerde meydana gelmesi nedeniyle bu yangınların büyük oranda insan kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

Türkiye'de 10 Ağustos 2021'e kadar toplam 175.773 hektar alan yandı. 2008'den 2020'ye kadar yıllık ortalama yanan alan miktarı 38 bin 780 hektar. Ege ve Akdeniz bölgelerindeki orman yangınlarında Bodrum'da 12 bin 600 hektar, Manavgat'ta 30 bin, Marmaris'te 8 bin ve Güzelbağ çevresinde yaklaşık 6 bin 500 hektar alan zarar gördü. Yanan alanlar yaklaşık olarak 85.000 futbol sahası büyüklüğündedir. Yetkililer tarafından yapılan açıklamalarda hasarın bu rakamlardan çok daha büyük olduğu belirtiliyor (6). 2020'de çıkan 1.859 yangının %55'inin nedeni bilinmiyor. Orman yangınlarının 312'sine yıldırım düşmesi neden olmuş; anız yakma, avlanma, çoban ateşi, sigara, piknik ve çöp ateşi gibi ihmallerden 607; 30'u kundakçılık, 4'ü terör ve 2'si kasten yer açmaktan; insan sebeplerinden ortaya çıkmıştır (Abay ve diğerleri, 2022).



Şekil 2.1. Türkiye orman yangın haritası.

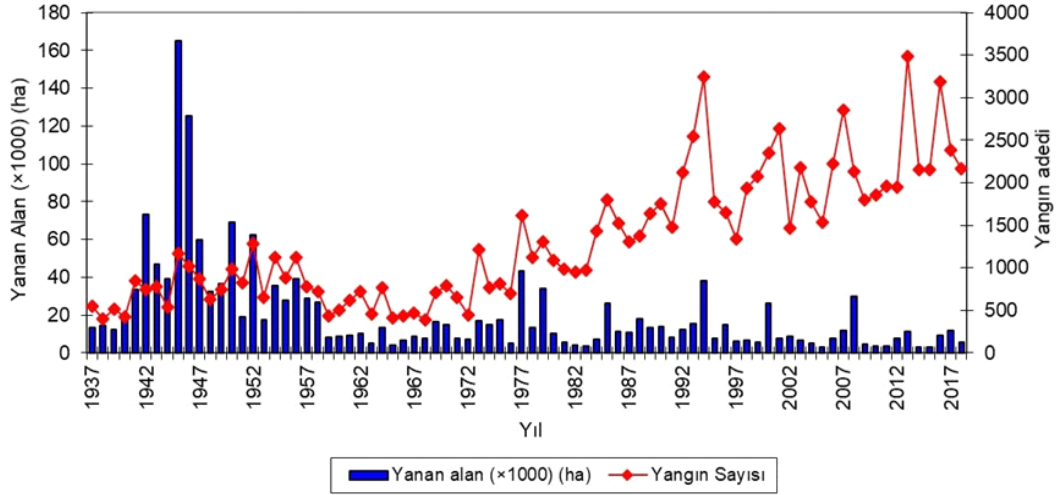
### 2.3.1. Yangın İstatistikleri

Ülkemizde ilk orman yangını kayıtları 1937 yılında tutulmaya başlanmıştır. Bu kayıtlara göre 1937 yılından 2018 yılı sonuna kadar ülkemizde toplam yanan alan 1.679.670 hektardır.

Çizelge 2.1. Orman yangınlarının 2008-2018 yılları arasındaki dağılımı.

Yıllar	Adet	Alan (ha)	Yangın başına düşen alan (ha)
2008	2135	29749	13,9
2009	1793	4679	2,6
2010	1861	3317	1,8
2011	1954	3612	1,8
2012	2450	10454	4,3
2013	3755	11456	3,1
2014	2149	3117	1,5
2015	2150	3219	1,5
2016	3188	9156	2,9
2017	2411	11993	5,0
2018	2167	5644	2,6
10 Yıllık Ortalama	2364,	8763,3	3,7

Ülkemizdeki yangınların son 10 yıllık periyodu incelendiğinde yılda ortalama 2365 orman yangını çıktığı ve ortalama 8.763 hektar alanın yangından zarar gördüğü anlaşılmaktadır. Yangın başına düşen birim alan 3,7 hektardır. Orman yangınlarının 1937-2018 yılları arasındaki alan ve adet olarak dağılımı Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Orman yangınlarının 1937-2018 yılları arasındaki dağılımı.

Orman yangınlarının büyük çoğunluğu insan kaynaklıdır. Son 10 yıllık verilere göre yangınların %63,2'si ihmal, dikkatsizlik ve kaza, %7'si kasıtlı, %2'si doğal sebeplerden (yıldırım) kaynaklanmıştır. %27,8'inin ayrılma nedeni belirlenememiştir. Orman yangınlarının nedenleri incelendiğinde, ihmal ve dikkatsizlikten kaynaklanan yangınların %30'unun anız, %24'ünün sigara yangını, %16'sının piknik ateşi ve %8'inin çoban yangını olduğu dikkat çekmektedir.

Yangın çıkış sebeplerindeki değişkenlik, yangınların çıkış yerlerini ve zamanlarını da etkileyebilmektedir. Örneğin, araç sayısındaki artışa bağlı olarak trafik kazaları veya araç yangınlarından kaynaklanan orman yangınlarında artış olurken, lokomotiflerin modernizasyonu sonucunda demiryolu kaynaklı yangınlarda azalma görülmektedir(Abay ve diğerleri, 2022).



## **2.4. KARABÜK İLİ, ORMAN ALANLARI VE YANGINLAR**

### **2.4.1. Coğrafi Konum**

Yüzölçümü 4.145 km<sup>2</sup> olan ve Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Karabük ili, 40° 57' ve 41° 34' kuzey enlemleriyle 32° 04' ve 33° 06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 4.145 km<sup>2</sup> olup, kuzeyde Bartın (80 km.), kuzeydoğu ve doğuda Kastamonu (120 km.), güneydoğuda Çankırı (195 km.), güneybatıda Bolu (130 km.), batıda Zonguldak (170 km.) illeriyle komşudur. Ankara'ya 230 km., İstanbul'a 400 km. uzaklıktadır. İl merkezinin rakımı 278 metre, merkez ilçenin yüzölçümü ise 704 km<sup>2</sup>'dir. İl'de coğrafi yapı engebeli olup büyük düzlükler görülmemektedir. Vadi tabanları da geniş olmamakla birlikte tarıma müsait araziler bulunmaktadır. Nüfusun büyük kısmı vadi tabanlarına yakın alanlarda kümelenmiştir.

İlçeler itibariyle en önemli yükseltiler; Merkez ilçede Keltepe (2.000 m.), Eskipazar'da Hodulca Dağı (1.700 m.), Eflani'de Tepe Dağ (1.043 m.), Ovacık'ta Kıraç Tepesi (1.400 m.), Safranbolu'da Sarıçiçek Tepesi (1.750 m.) ve Yenice'de Keçikıran Tepesi (1.400 m.)'dir. Karabük'ün toplam alanınının 93.020 hektarını tarım toprakları, 271.403 hektarını ormanlar, kalan kısmını ise mera, yerleşim yeri ve diğer alanlar oluşturmaktadır. Bu verilere göre il'in %65.48'i ormanlarla kaplıdır.

### **2.4.2. Karabük İlinin Ormanlar Açısından Değerlendirilmesi**

Karabük Orman Müdürlüğü, 1967 yılında Bolu Bölge Orman Müdürlüğü'nden ayrılan Zonguldak Bölge Orman Müdürlüğü'ne bağlıdır. Bu işletmelere Bartın, Devrek, Dirgine, Ereğli, Karabük, Ulus, Yenice ve Zonguldak olmak üzere 8 Orman İşletme Müdürlüğü bağlıdır, Ayrıca Safranbolu Orman İşletme Müdürlüğü 2011 yılında kurulmuştur, 2021 yılı sonunda Eskipazar Orman İşletme Müdürlüğü Ankara Bölge Orman Müdürlüğü'nden ayrılarak Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü katıldı, 2022 yılında Eflani ve Ovacık Orman İşletme Müdürlüklerini, 2023 yılında ise yeni kurulan Alaplı ve Çaycuma Orman İşletme Müdürlüklerini kurmuş ve Şube sayısı 14'e



Keltepe, Karabük'ün en yüksek yeri olan bitki örtüsü açısından özellikleri. Yüksekliğin az olduğu yerlerde Kızılcıam, 700-800 metre yükseklikten sonra yerini Göknara bırakmaktadır. Karışık şekildeki ormanlar 1600-1700 metreye kadar çıkabilmektedir. Kayın, meşe, gürgen, akçaağaç, dişbudak, kavak yaygın olan türlerdir. Dere içlerinde lokal olarak çınar, söğüt, ıhlamur, şimşir gibi türler ortaya çıkmaktadır. 1700 metreden daha yukarıda yüksek dağ çayırları yer alır. Burada kekik ve ada çayı en çok göze çarpan bitki türüdür.

Keltepe'deki bu durum bütün il genelini yansıtmaktadır. Karasal ikliminin daha fazla hissedildiği alanlarda meşe ön plana çıkarken, Eflani çevresinde çayır ve otlakların geniş yer kapladığı görülmektedir.

Yenice ormanlarının Türkiye'de eşi benzeri yoktur. Çok sayıda ağaç türünü barındıran bu ormanlardan, bilinen altı ana ağaç türüne 30 önemli ağaç türünü eklemek mümkündür. Gökpınar mevkiinde dört hektarlık bir alan arberetum (Açık Hava Orman Müzesi) olarak belirlenmiştir.

Yenice ırmağı vadisinde lokal bir Akdeniz ikliminin mevcudiyeti buralarda ladin, sandal, erguvan, menengiç gibi maki türlerinin yetişmesini sağlamıştır.

Yenice ormanları, çok çeşitli bu ağaç türlerinin yanında, bazı ağaçlarının olağanüstü çap ve boyutlara ulaşan örneklerini de barındırır. Bu anıt ağaçlarla birlikte orman altı bitkileri ve yaban hayvanları ile eşsiz bir ekosistem ortaya çıkmaktadır.

Yenice ve Keltepe ormanlarında yaygın olarak bulunan şimşir ve porsuk ayrı bir öneme sahiptir. Topraklarının yüzde 71'ini oluşturan ormanlarında dünyada pek az yerde görülebilecek kadar çok sayıda ağaç ve bitki türünü bünyesinde barındıran Karabük, şelaleleri, gölleri, yaylaları, kanyonları ve kamp alanlarıyla yerli ve yabancı turistlerin tercihleri arasında yer almaktadır.

Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde toplam orman alanları miktarı Çizelge 2.2'de, orman varlığı Çizelge 2.3'te ve ağaç türleri Çizelge 2.4'te sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde toplam orman alanları miktarı.

	<b>Toplam Alan</b>	<b>Normal</b>	<b>Boşluklu</b>
<b>Zonguldak</b>	201 521	176 947	24 574
<b>Karabük</b>	287 761	242 242	45 519
<b>Bartın</b>	135 437	119 895	15 542

Çizelge 2.3. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde orman varlığı.

	<b>Normal Orman</b>	<b>Bozuk Orman</b>	<b>Toplam Orman</b>	<b>Ormansız</b>	<b>Genel Alan</b>
<b>Zonguldak</b>	180172.4	13848.9	194021.3	158684.1	352705.4
<b>Karabük</b>	223891	72736.2	296627.2	139637.5	436264.7
<b>Bartın</b>	110690.2	10646.5	121136.7	88227.1	209563.8

Çizelge 2.4. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı illerde bulunan ağaç türleri.

	<b>Zonguldak</b>	<b>Karabük</b>	<b>Bartın</b>
<b>Kızılcım</b>	19,9	6544.3	960
<b>Karaçam</b>	22548,6	105679.6	633906
<b>Sarıçam</b>	48	10443.4	56
<b>Gökmar</b>	309,9	33257	3890,3
<b>Kayın</b>	142338	81989.2	81067,1
<b>Meşe</b>	23205,9	58449.9	13879,7
<b>Gürgen</b>	566,2	160.6	8736,3
<b>Sahilçamı</b>	3139.3		2084,5
<b>Kestane</b>	422,7		4226,7
<b>Dişbudak</b>	1068,3		
<b>Çınar</b>	354,5	103.2	33

### 2.4.3. Karabük İli ve İlçelerinde Görülen Son 10 Yıllık Yangınlar

Karabük ili ve ilçelerinde görülen son 10 yıllık yangınların dağılımları Çizelge 2.5'te sunulmuştur.

Çizelge 2.5. Karabük ve ilçelerin görülen son 10 yıllık yangınların dağılımları.

ZONGULDAK OGM		Karabük		Safranbolu		Yenice		Eskipazar	
<u>Yıllar</u>	<u>Alan</u>	<u>Sayı</u>	<u>Alan</u>	<u>Sayı</u>	<u>Alan</u>	<u>Sayı</u>	<u>Alan</u>	<u>Sayı</u>	
2013	35,2	45	5,45	9	0,024	2			
2014	6,17	24	1,6	6	4,45	2			
2015	3,59	11	45,37	8	0	0			
2016	9,529	19	9,06	8	1,63	3			
2017	29,55	28	26,6	13	0,31	3			
2018	1,38	12	0,52	3	1	1			
2019	3,93	7	2,1	2	0	0			
2020	6,972	17	20,73	13	0,6	2			
2021	50,515	9	0,08	2	0	0			
2022	0,725	2	0,12	2	0	0	0,478	5	
<b>10 Yıllık Toplam</b>	<b>147,461</b>	<b>174</b>	<b>111,63</b>	<b>66</b>	<b>8,014</b>	<b>13</b>	<b>0,478</b>		
<b>10 Yıllık Ortalama</b>	<b>14,7461</b>	<b>17,4</b>	<b>11,163</b>	<b>6,6</b>	<b>0,8014</b>	<b>1,3</b>	<b>0,0478</b>		

## 2.5. MİKROORGANİZMALAR

Toprak mikroorganizmaları, toprak sürecinin %80-90'ını gerçekleştirdikleri ve toprak verimliliği ve kalitesinden sorumlu ana faktörler oldukları için edafik ekosistemin temel bileşenleridir (Saccá ve diğerleri, 2017). Yangının toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkisi, yangından sonra toprağın toparlanmasını büyük ölçüde belirleyecektir. Bu etki, canlı hücre sayımlarının klasik sayısından biyokütlesi, aktivitesi ve çeşitliliği ile ilgili çeşitli parametrelerin belirlenmesine kadar farklı yöntemlerle analiz edilebilir (Raviña ve diğerleri, 2010). Önceki çalışmalar, mantar biyokütlesi üzerinde daha yüksek etkiye sahip olan ve iyileşmesi aylar hatta yıllar sürebilen bir yangın olayından sonra mikrobiyal biyoküttelede bir azalma tanımlamıştır (Syaufma ve Ainuddin, 2011). Ektomikorizal mantar topluluklarının bileşimindeki uzun vadeli değişiklikler, orman yangınları ve öngörülen yangınlardan sonra tanımlanmıştır (Taudière ve diğerleri, 2017). Yangının toprağa etkisi ve yangın sonrası mikrobiyotanın geri kazanımı yangının tekrarına göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, yangın tekrarındaki değişikliklerin bir sonucu olarak, ektomikorizal mantar

çeşitliliğinde bir azalma veya mikrobiyal topluluk yapısında bir değişiklik ve mikrobiyal biyokütle üzerinde hiçbir etki olmaması açıklanmıştır (Izquierdo ve diğerleri, 2020).

Yangının mikrobiyal özellikler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, yanmış toprağın karşılık gelen yanmamış toprakla karşılaştırılmasını gerektirir; bu, yangın etkilerini çevresel koşullar üzerindeki etkilerden ayırmak için gereklidir (uzaysal ve zamansal değişkenlik) (Díaz-Raviña ve diğerleri, 2010)). Son zamanlarda, farklı araştırmalar yangının toprağın fizikokimyasal özellikleri, bitki örtüsü, toprak, hidroloji ve jeomorfoloji üzerindeki etkisini ve bunun tortu ve besin ihracatı üzerindeki etkisini ele almıştır (Klimas ve diğerleri, 2020). ve orman yangınlarının yangın sonrası toprak yönetimi üzerindeki etkileri (Pereira ve diğerleri, 2018).

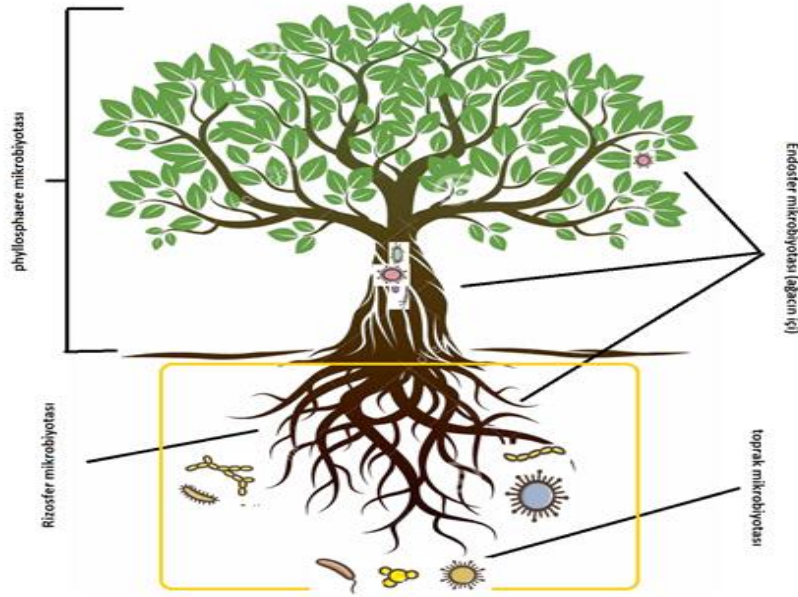
Mikrobiyal toprak özellikleri, esas olarak mülkün türüne, yangınların şiddetine ve sıklığına ve yangın sonrası iklim koşullarına bağlı olarak ani, kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli veya kalıcı yangın kaynaklı değişiklikler yaşayabilir (Bárcenas-Moreno) ) ve Díaz-Raviña, 2013. Yangınlar canlı organizmaları doğrudan etkiler (ölümlerine neden olur) ve dolaylı olarak yaşam alanlarını dönüştürür (gıdanın mevcudiyetini ve miktarını, ortamın heterojenliğini ve pH artışını etkiler). Doğrudan etkiler yangından hemen sonra (ilk yağmur olaylarından önce, <1e3 ay) ve dolaylı etkiler kısa vadede (1/3 ay ila 1 yıl), orta vadede (1/3 ay ila 3/5 yıl) ve uzun vadeli (>3-5 yıl) (Borgogni ve diğerleri, 2019).

### **2.5.1. Mikroorganizmaların Ormanda Ağaçlar İle Ortak Yaşamı**

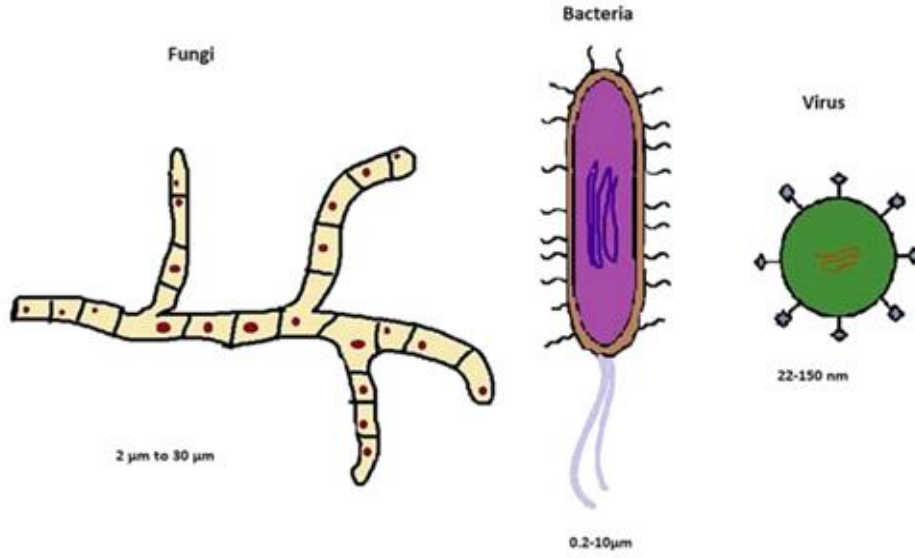
“Simbiyoz” sözcüğü ilk kez 1879 yılında Alman mikolog Antoine de Barry tarafından “farklı organizmaların birlikte yaşamasını” tanımlamak için kullanılmıştır (Sapp, 2010). Simbiyoz birlikteliğinde, ortaklara ortakyaşarlar veya konucu ve ortakyaşarlar denir. İkinci Bu durumda, konakçı makroorganizmadır ve ortakyaşam mikroorganizmadır. Simbiyozun doğası karmaşık ve çeşitli olabilir ve karşılıklılık, kommensalizm veya asalaklık olabilir. Karşılıklı simbiyozda her iki taraf da fayda sağlar ve kommensalizmde bir simbiyoz fayda sağlarken diğeri etkilenmez. Bununla birlikte, parazit birlikteliğinde, bir ortakyaşam fayda sağlarken diğeri zarar görür.

"Parazit" terimi ayrıca hem bir patojeni hem de bir ortakyaşamı tanımlamak için sıklıkla kullanılmıştır. Bitki parazitik mikroplar ayrıca saprotrofi, nekrotrofi veya biyotrofi gibi çeşitli beslenme biçimleri yoluyla karbon elde etme yeteneğine de sahiptir (Koide ve diğerleri, 2008).

Bununla birlikte, genetik özellikler ve çevresel koşullar tarafından belirlenebilen, saprotrofiden biyotrofiye olası beslenme modlarının bir sürekliliği olduğundan, bu kategoriler birbirini dışlamaz (Cooke ve Whipps, 1993). Tanım olarak, nekrotroflar, sonraki saprotrofik kolonizasyon için canlı hücreleri öldürebilirken, saprotroflar ölü organik madde üzerinde yaşarlar (Cooke ve Rayner, 1984). Zorunlu saprotrofik ağaç çürütücülerin, nekrotrofik muadilleriyle aynı tipte konakçı reaksiyonları tetiklemesi beklenmez. Evrimsel olarak, bir nekrotrof, potansiyel bir konağın direncinin üstesinden gelme yeteneği nedeniyle bir saprotroftan daha uzmanlaşmış kabul edilir (Isaac, 1992). Uroz ve ark. (2019), simbiyontların bitki mikrobiyom kompozisyonunun yapılandırılmasında ve işleyişinde çok önemli bir rol oynadığını bildirmiştir. Mikrobiyom etkileşimi sırasında salgılanan metabolitler (örneğin bakterimantarlar) bitki hastalıklarının akıbetini etkileyebildiği gibi takson oluşumuna ve fitomikrobiyom oluşumuna da katkıda bulunabilir.



Şekil 2.4. Filosfer, rizosfer ve endosfer mikrobiyomu. (Çizim: Artin Zarsav.).



Şekil 2.5. Orman mikrobiyotasının bileşenleri.

### 2.5.2. Mikrobiyom Üç Alanı Sistem

Neredeyse evrensel olarak kabul edilen görüşe göre, tüm hücreli organizmalar artık habitatları olarak bilinen üç ana gruba ayrılmıştır: Bakteriler, Archaea ve Eukarya (Woese ve diğerleri, 1990).

Hem Bakteriler hem de Archaea, zara bağlı çekirdeklerden yoksundur. Her iki grubun üyeleri ağırlıklı olarak tek hücreli mikroskobik organizmalardır; ancak bazı bakteriler (örn. streptomisetler, siyanobakteriler ve miksobakteriler) daha karmaşık yapısal organizasyon geliştirmiştir. Küçük fiziksel boyutlarına rağmen Bakteriler ve Archaea, besin döngüsünde ve hem karasal hem de sucul ekosistemlerin işleyişinde önemli roller oynarlar. Yüzeysel olarak benzer olmalarına rağmen, Bacteria ve Archaea, ribozomal RNA (rRNA) dizilerinde, RNA transkripsiyonunun organizasyonunda ve protein translasyon mekanizmalarında ve biyokimyada (örneğin, membran lipitlerinin bileşiminde) temel farklılıklar gösterirler. Bazı açılardan Archaea, aslında, Bakterilerden çok Eukarya'ya benzer (Zillig, 1991).

Bazı Arkean grupları, diğer habitatların üyelerinin az olduğu veya bulunmadığı zorlu koşullara (yüksek sıcaklıklar, çok asidik veya alkali pH, yüksek tuzluluk) sahip aşırı



habitatlara uyum sağlamıştır. Eşsiz metabolik kapasiteleri, diğer canlı organizmalar için kolayca elde edilemeyen enerji kaynaklarını kullanmalarına izin verir. Ancak Archaea, son zamanlarda çok çeşitli habitatlarda bulunduğu ve bazı Archaea'ların ortak hayvan ve bitki ortaklarına sahip olduğu için yalnızca aşırı ortamlarla sınırlı değildir (Moissl ve diğerleri, 2018).

Eukarya alanı, zarla çevrili çekirdeklere sahip tüm hücresel yaşam formlarını içerir. Ökaryotlar, basit tek hücreli formlardan karmaşık çok hücreli organizmalara kadar muazzam bir çeşitlilik gösterir. Hayvanları, bitkileri, mantarları ve protistleri içerir. Eukarya, karasal habitatlarda ana üreticileri oluşturan bitkilerle birlikte, Dünya'nın birçok ekosistemini şekillendirir. Karasal mikrobiyomların bileşenleri olarak Mantarlar, biyojenik polimerlerin (özellikle bitki hücre duvarı bileşenlerinin) parçalanmasında olağanüstü bir rol oynar. Ayrıca birçoğu önemli bitki patojenleridir. Bitkilerle ilişkili mikrobiyal topluluklarda önemli bir role sahip olan bir diğer Eukarya grubu Oomycota'dır. Mantarlara yüzeysel olarak benzeyen, ancak yakından ilişkili olmayan iplikli mikroorganizmaları içerir. Bu grup, Phytophthora türleri gibi bazı önemli bitki patojenlerini içerir. Ormanlar, çok çeşitli diğer protist gruplarına ev sahipliği yapar, ancak orman ekosistemlerinin işleyişindeki rollerini anlamaya yeni başlıyoruz. Yaşamın üç alanının da temsilcileri, orman mikrobiyomlarının her yerde bulunan bileşenleridir. Orman topraklarında ve su kütlelerinde yaşarlar, bitki yüzeylerinde ve üzerinde bulunurlar. Hayatın üç alanı arasındaki ilişkileri gösteren diyagram metinde bahsedilen seçilmiş temsili üst düzey gruplar tasvir edilmiştir. Dalların uzunluğu ölçülü değildir ve tek tek bitki dokuları arasındaki evrimsel mesafeleri yansıtmaz ve birçoğu bitki konukçuları ile değişen sonuçlarla yakın etkileşim içindedir. Bu etkileşimlerin çeşitli yönleri bu kitapta tartışılmaktadır (Baldrian, 2017).

### **2.5.2.1. Mantarlar: Morfolojik ve Yapısal Özellikler**

Mantarlar tek hücreli veya çok hücreli organizmalardır. Mantarlar, mayaları, küfleri ve mantarları içeren geniş bir ökaryotik organizma grubuna aittir. Moleküler kanıtlar, mantarların hayvanlarla bitkilerden daha yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Hem ekonomik hem de ekolojik rolleri açısından çevremizdeki en önemli

organizmalardan biridir. Hawksworth'a (1991) göre, 70.000'den fazla mantar türünün tespit edildiği ve 1.5 milyondan fazla türün tanımlanamadığı tahmin edilmektedir. Yeni nesil sıralama teknolojisindeki (NGS) mevcut gelişmelerle birlikte, bu sayının çok daha yüksek olması muhtemeldir. Çok hücreli iplikli mantarlar polarize apikal büyüme gösterirler ve hif adı verilen dallanan iplik benzeri filamentlere sahip olmaları ile karakterize edilirler. Mantarın bu vejetatif kısmının apikal büyümesi ve uzaması, miselyum adı verilen dallanan iplik benzeri bir hif kütlesi oluşturur.

Uzun ince ip benzeri hif lifleri, alt mantarlarda bulunmayan septa adı verilen çapraz duvarlarla uzunlukları boyunca bölünür. Mantarlar tipik olarak hareketsizdir ve sporlar, aseksüel veya cinsel süreç yoluyla çoğalırlar. Tek hücreli mantarlar çoğunlukla tek hücreli mikroskobik mayalardır. Mayada, vejetatif büyüme çoğunlukla, ana hücreden bir yavru hücrenin geliştiği tomurcuklanma adı verilen bir süreçle eşeysiz üreme yoluyla gerçekleşir. Bazı mantarlar da dimorfiktir ve büyüme morfolojilerini maya benzeri fazdan iplikli veya misel formlarına değiştirir. Mantarlar, bitkilerden farklı olarak, avaskülerdirler, organik maddeleri ayrıştırabilmenin yanı sıra besinleri doğrudan hücre zarları ve duvarları yoluyla emebilirler.

Heterotroflar olarak mantarlar kendi besinlerini karbondioksitten sentezleyemezler, bu nedenle beslenmeleri için mevcut organik karbon kaynaklarına bağımlıdır. Besinler için bitki veya hayvan kaynaklarında yaygın olan organik maddelere erişmek için mantarlar, karmaşık substratların ayrışması için çok çeşitli hücre dışı enzimler üretir. Mantarların bitkilerden farklı olarak hücre duvarlarında selüloz yoktur, bunun yerine duvar esas olarak üç bileşenden (kitin, glukanlar ve ilgili proteinler) oluşur (Money, 2016). Mantar krallığı yedi "Phyla"dan oluşur: Basidiomycota, Ascomycota, Glomeromycota, Neocallimastigomycota, Blastocladiomycota, Chytridiomycota ve Microsporidia. Bu yeni sınıflandırma kısmen son çalışmalara dayanmaktadır (Hibbett ve diğerleri, 2007).

Bunlardan ikisi ana filum veya daha yüksek mantarlar (Ascomycota, Basidiomycota) olarak kabul edildi ve her ikisi de "Dikarya" alt krallığında bulunuyor. Basidiomycota filumunun üyeleri, basidiomycota'nın maya benzeri formları dışında liflidir. Basidia olarak bilinen çubuk şeklindeki meyve hücreleri ile karakterize edilirler. Basidium,

basidiospor adı verilen özel cinsel sporlar üretir. Bu filum, yenilebilir mantarların çoğunun yanı sıra pas ve isli mantarlar ve insan patojenik mayaları (örn. *Cryptococcus* spp.) gibi bazı önemli bitki patojenlerini içerir. Ascomycota filumu, genellikle ascomycetes veya sac-fungi olarak bilinen üyeleri içerir. Bu filumun üyelerinin tipik özelliği, askospor adı verilen uyku halindeki eşeyssel sporları içeren askus oluşumudur. Bu grubun birçok üyesi biyoteknolojik ve ticari öneme sahiptir (James ve diğerleri, 2006).

Örnekler arasında şarap fermantasyonu, unlu mamuller (örn. mayalar), peynir ve antibiyotik üretimi (örn. *Penicillium* spp.) yer alan türler yer alır. Yenilebilir kese mantarı kuzugöbeği ve yer mantarı da bu filumun tanınmış üyeleridir. Glomeromycetes olarak da adlandırılan Glomeromycota filumu, birçok bitki türünün kökleri ile karşılıklı olarak simbiyotik bir ilişki oluşturan türleri içeren yeni kurulmuş bir filumdur. Bu grubun üyeleri arbüsküler mikorizal mantarları içerir. Neocallimastigomycota simbiyontlardır ve filum çoğunlukla otçul hayvanların sindirim sisteminde bulunan anaerobik mantarlardan oluşur. Bu mantarlar, geniş getiren hayvanlarda besin kaynağı olarak görev yapan karmaşık polisakkaritleri daha basit karbonhidratlara parçalamaya yardımcı olan enzimler üretir. Blastocladiomycota, yeni tanınan yedi mantar şubesinden biridir. Blastocladiomycota filumunun üyeleri, Neocallimastigomycota ve Chytridiomycota ile birlikte kamçılı zoosporların varlığı ile karakterize edilir (Watson ve diğerleri, 2016).

Blastocladiomycota üyeleri saprotroflardır ve hayvan kalıntılarının ve bitki çöplerinin ayrışmasını kolaylaştırdıkları toprak ve tatlı su ortamlarında yaşadıkları bilinmektedir (Naranjo-Ortiz ve Gabaldón, 2019). Chytridiomycota veya chytrids, zoosporik mantarlardır. Bu grubun üyeleri tipik olarak saprotroflardır, sporları kırbaç etkisine sahiptir ve hücre duvarları kitinden yapılmıştır. Hem su hem de karasal ortamlarda bulunurlar. *Batrachochytrium dendrobatidis* gibi bazı kitridler, amfibilerin kitridomikozuna neden olan parazitlerdir (Longcore ve diğerleri, 1999).

Chytridiomycota üyeleri ayrıca kitin (eklembacaklıların dış iskeletinin bir bileşeni) ve keratini (omurgalıların saçlarında bulunan bir skleroprotein) parçalama yeteneğine de sahiptir. Microsporidia filumu, spor oluşturan tek hücreli parazitleri içerir. Balıklar,

insanlar ve eklembacaklılar (böcekler, kabuklular) dahil olmak üzere çok çeşitli konakçıları enfekte ettikleri bilinmektedir.

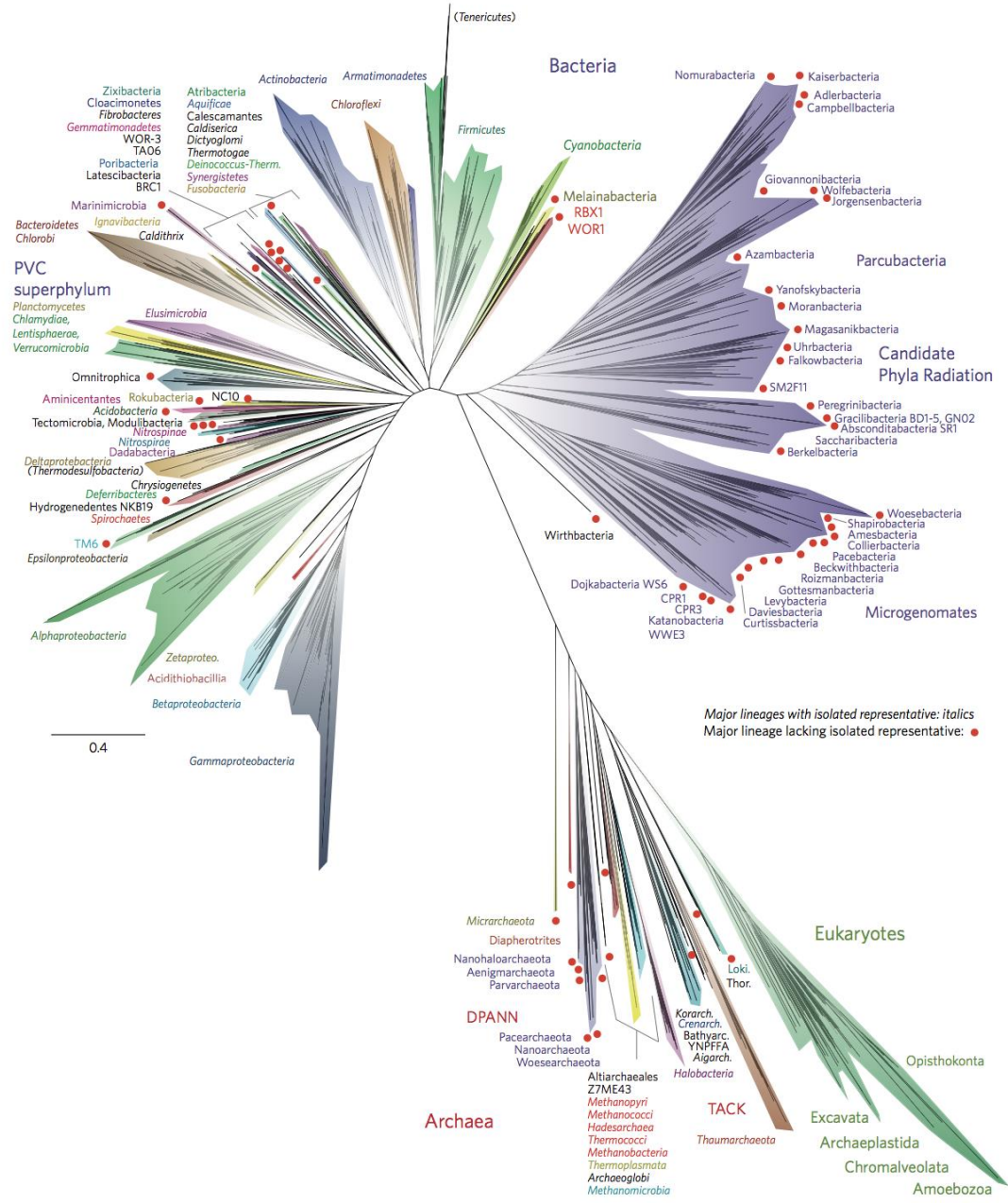
### **2.5.2.2. Bakteriler ve Türleri**

Bakteriler, prokaryotik, ağırlıklı olarak zara bağlı çekirdekleri olmayan tek hücreli mikroorganizmaları içerir. Bakteriler, orman ekosistemleri de dahil olmak üzere bilinen habitatların çoğunda yaygın ve bol miktarda bulunur. Ilıman bir ormandan alınan bir gram toprak, yaklaşık 107-109 bakteri hücresi içerir. Çoğu bakteri nispeten basit morfolojik organizasyona sahiptir ve tek küresel, çubuk şekilli veya spiral hücreler olarak bulunur. Birçok bakteri türü, flagellaları olduğu için aktif olarak hareket etme yeteneğine sahiptir. Bazı durumlarda, bakteri hücreleri değişen karmaşıklıkta çeşitli kümeler oluşturabilir. Özellikle Actinobacteria arasında daha karmaşık morfoloji örnekleri vardır. Örneğin, Streptomyces cinsinin türleri, psödohifa oluşumuyla sonuçlanan iplikli büyüme ve bazı durumlarda bu hifa benzeri yapıların substrat ve hava miselyumuna daha fazla farklılaşması ile karakterize edilir. Bakteriyel hücreler genellikle ökaryotik hücrelerden çok daha küçüktür. Çoğu bakteri hücresi sert bir peptidoglikan hücre duvarı ile çevrilidir ve Gram-negatif bakteriler söz konusu olduğunda, ayrıca bir dış lipit tabakası (dış zar) vardır. Bakteri hücrelerinin iç organizasyonu oldukça basittir, hücre içi organeller yoktur. Bununla birlikte, fotosentetik bakteriler (örneğin, siyanobakteriler) söz konusu olduğunda, plazma zarı, ışık toplayan komplekslerin olduğu çoklu istilalar oluşturabilir (Baldrian, 2017).

Bakteriler hakkındaki mevcut bilimiz, büyük ölçüde in vitro olarak büyütülebilen türlerin incelenmesine dayanmaktadır. Bununla birlikte, moleküler tekniklerin uygulamaları ve çevresel örneklerin doğrudan dizilimi, bakteri türlerinin yalnızca küçük bir bölümünün saf kültürlerde büyüebileceğini ve bunların gerçek çeşitliliğinin büyük ölçüde hafife alındığını göstermektedir. Şimdiye kadar yaklaşık 10.000 Bakteri türü resmi olarak tanımlanmıştır, ancak mevcut tahminler 10 milyondan fazla bakteri türünün varlığını göstermektedir. Bakteri alanı ayrıca filum adı verilen büyük sistematik gruplara ayrılır. Bakterilerin modern sınıflandırması, öncelikle bakteriyel ribozomal RNA'yı kodlayan genlerin dizilerini hesaba katan moleküler sistematik çalışmaların sonuçlarına dayanmaktadır. Şu anda, kültürlenebilir türler de dahil olmak

üzere 30 bakteri filumu tanınmaktadır. Ek olarak, birkaç düzine sözde aday filum önerilmiştir. Aday sınıfların üyeleri saf kültürde izole edilmedi ve karakterize edilmedi, ancak bunların varlığı, çeşitli çevresel numunelerin sıralama analizinden çıkarıldı.

Bakteriler, organik maddenin ayrıştırıcıları olarak besin döngüsünde önemli bir rol oynarlar. Metabolik kapasiteleri, çok çeşitli organik bileşikleri parçalamalarına izin verir. Bazı bakteri taksonları moleküler nitrojeni sabitleyebilir ve bu nedenle bitkilere nitrojen sağlanmasına ve genel olarak toprak verimliliğine katkıda bulunur. Azot sabitleyen bakteriler arasında hem serbest yaşayan hem de simbiyotik türler bilinmektedir. İkincisi genellikle yüksek derecede konak özgüllüğü gösterir (örneğin, bazı Rhizobiales türleri baklagil bitkileriyle simbiyotik ilişkiler içindedir). Nitrojen sabitleyici bakterilerle simbiyoz, nitrojen bakımından fakir koşullarda büyüyen bitkiler için önemli bir faktör olabilir (örneğin, Frankia cinsinin aktinobakterileri ile deniz iğdesi ve kızılbaş ağaçları arasındaki etkileşimler). Bazı bakteri türleri iyi bilinen bitki patojenleridir ve bitki hastalıklarına neden olabilir. Ağaçlar söz konusu olduğunda, bakteriyel hastalıklar genellikle mantar hastalıkları kadar şiddetli değildir. Bununla birlikte, *Xylella fastidiosa* bakterisinin neden olduğu düşünülen bazı yıkıcı bakteriyel hastalık örnekleri vardır; örneğin, şu anda İtalya'da ve Akdeniz bölgesinin başka yerlerinde zeytin tarlalarını tehdit eden zeytinin hızlı düşüşü gibi. Bitki dokularındaki bakteri hücrelerinin bolluğu, mantarlardan daha az olsa bile, bakteriler bitki mikrobiyomunun önemli bir bileşeni oluşturur. Rizosferde özellikle çokturlar, ancak endosfer ve fillosferde daha azdır (Agrios, 2005). En çok kabul gören bakteri filumunun üyeleri, bitki mikrobiyal topluluklarından rapor edilmiştir. Bununla birlikte, bitki mikrobiyomundaki bakteri çeşitliliği genellikle çevredeki topraktakinden daha azdır ve bitkiyle ilişkili bakteri topluluklarının bileşimini yönlendiren belirli seçim mekanizmaları yürürlükte gibi görünmektedir. Mevcut veriler, dört bakteri filumunun (Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes ve Firmicutes) bitki mikrobiyomunda açıkça aşırı temsil edildiğini göstermektedir. Tam genom dizilerinin mevcudiyeti, manipülasyon kolaylığı ve iyi izlenebilirlik nedeniyle, sentetik mikrobiyal toplulukların yeniden oluşturulmasına ilişkin deneysel çalışmalarda bir dizi bakteri türü kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, mikropsuz bitki fidelerinde yalnızca birkaç (Bulgarelli ve diğerleri, 2013).



Şekil 2.6. Bakteriler Âlemi.

**Proteobacteria:** Proteobakteriler (Proteobacteria), bakteriler üstaleminin ana gruplarından birisini meydana getiren ve önemli cins ve türleri içeren şubesidir. Çeşitli hastalık etmenleri (*Escherichia*, *Salmonella*, *Vibrio*, *Helicobacter* gibi) ve başka çok bilinen cinsler bu gruba dahildir (Servin, 2018). Ayrıca doğada serbest yaşayan türleri ve azot fiksasyonundan sorumlu pek çok bakteri türünü de içerir. Bu grup ribozomal RNA (rRNA) dizinlerine göre tanımlanmıştır. Bakteri biçimlerinin çeşitliliğinden dolayı grup, ismini Yunan mitolojisinde yer alan, her şekle girebilen tanrı Proteus'tan

almıştır. (Proteus aynı zamanda Proteobakterilerde yer alan bir cinsin de adıdır.) (Ghai ve diğerleri, 2011).

Proteobakteriler Gram-negatif özelliklidir, dış zarları başlıca lipopolisakkaritlerden oluşur. Çoğu flagella ile hareket eder ama bazıları hareketsizdir veya bakteriyel kayma kullanırlar. Bu sonuncu yöntemi kullananlar arasında bulunan Miksobakteriler, kümeleşerek çok hücreli "meyve gövdeleri" oluştururlar. Metabolizma tipleri bakımından da bu grupta büyük bir çeşitlilik vardır. Çoğu seçmeli veya zorunlu anaerobik ve heterotroftir ama pek çok istisna da mevcuttur. Birbiriyle yakın ilişkisi olmayan bazı cinsler fotosentez yoluyla ışığı enerjiye dönüştürürler. Bunlar kırmızımsı pigmentlerini kullanan mor bakterilerdir (Hogan, 2010).

**Acidobacteriota:** Acidobacteriota Gram negatif bakterilerin bir şubesidir. Bu filumun üyeleri, toprak habitatlarında toplam bakteri topluluğunun %52'sini oluşturur. Bu grubun üyeleri fizyolojik olarak oldukça farklılık gösterir ve özellikle toprakta ve çürümekte olan odunlar üzerinde yaygın olarak bulunur (Barns diğerleri, 2007). Asidobakterilerin çoğunluğu aerob olarak kabul edilir, ancak az da olsa anaerob olan bazı türleri de içermektedir. pH dengelenmesi, besin maddeleri oluşumu ve parçalanması gibi çevresel faktörler Acidobacteriota türü bakterilerin faaliyeti sonucu olduğu görülmüştür. Acidobacteriota üyesi bakteriler genellikle asidofiliktir, yani asitli ortamlarda faaliyet gösterirler (Quaiser ve diğerleri, 2003). Acidobacteriota, toprakta en yaygın olarak bulunan bakteriler olmasına rağmen, çoğunlukla kültüre alınmalarında sorun yaşandığı için uzun yıllar tanımlanamamıştır. Son yıllarda gelişen tanımlama teknolojileri ile bu gruba ait daha fazla tür tanımlanmıştır. Acidobacteriota hakkında hem form hem de fonksiyon açısından bilinmeyen birçok şey bulunmaktadır. Yangın ekolojisi açısından bu gruba ait bazı türlerin düşük konsantrasyonlarda besin maddelerinin yüksek miktarlarda CO<sub>2</sub> ile birlikte kullanılmasıyla çoğaltma konusunda yakın zamanda bir başarı elde edilmesi nedeniyle, özellikle düşük karbondioksit oranlarında bu bakterilerin önemi rol oynayabileceklerini göstermiştir. Acidobacteriota grubu bakterilerin çoğunun henüz tam olarak karakterize edilmediğinden taksonomik isimleri yoktur. Bu çalışma alanı oldukça güncel bir konudur ve yeni bilgiler ortaya çıktıkça bilimsel anlayışın da gelişmesi ve değişmesi beklenmektedir. Bu bakteriler özellikle toprakta bol miktarda bulduklarından

ekosistemlere önemli bir katkıda bulunabileceği bildirilmiştir. Acidobacteriota filumunun üyeleri, düşük organik karbonlu ortamlardaki yüksek bolluklardan dolayı oligotrofik bakteriler olarak kabul edilmiştir (Kielak ve diğerleri,2016).

**Chloroflexota:** Takson adı, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology kitabının 1. Cildinin 2001 baskısında oluşturulmuştur ve yaygın bir uygulama olan filumun tür cinsinin adı olan Chloroflexus adının Latince çoğuludur (Brenner diğerleri, 2005). 1987 yılında, moleküler filogeni devriminin öncüsü olarak kabul edilen Carl Woese, Eubacteria'yı 16S ribozomal RNA (SSU) dizilerine dayanarak 11 bölüme ayırdı ve Chloroflexus, Herpetosiphon ve Thermomicrobium cinslerini "yeşil kükürt içermeyen bakteriler ve akrabaları" olarak gruplandırdı (Holland diğerleri, 1990). Bergey'nin Sistematik Bakteriyoloji El Kitabı'nın Birinci Cildinde geçici olarak "Chloroflexi" olarak yeniden adlandırıldı (Woese diğerleri, 1987).

Tam olarak açıklanan ilk tür, Moe ve diğerleri tarafından Dehalogenimonas lykanthroporepellens'tir (Moe ve diğerleri, 2009). Ancak bu türün tanımında sınıf resmileştirilmemiş, aileler veya takımlar belirlenmemiştir çünkü iki tür yalnızca %90 16S ribozomal RNA kimliğini paylaşmaktadır, bu da bunların farklı ailelere ve hatta takımlara girebileceği anlamına gelmektedir. Chloroflexi'nin son filogenetik analizi, şu anda filumun bir parçası olan farklı sınıfların bir arada gruplandırılması için çok zayıf bir destek buldu (Gupta ve diğerleri, 2012). Filumu oluşturan altı sınıf, büyük protein veri kümeleri için birleştirilmiş dizilere dayalı filogenetik ağaçlarda tutarlı bir şekilde iyi desteklenen bir dal oluşturmadı ve tüm filum tarafından benzersiz bir şekilde paylaşılan hiçbir korunmuş imza indel'i tanımlanmadı. Bununla birlikte, Chloroflexi ve Thermomicrobia sınıflarının, hem olağan filogenetik yollarla hem de 50S ribozomal protein L19 ve UDP-glikoz 4-epimeraz enzimidaki paylaşılan korunmuş imza indellerinin tanımlanmasıyla tutarlı bir şekilde birlikte gruplandırıldığı bulundu(Gupta ve diğerleri, 2012). Chloroflexi sensu stricto filumunun yalnızca Chloroflexi ve Thermomicrobia sınıflarını içermesi gerektiği ve diğer dört sınıfın ("Dehalococcoidetes," Anaerolineae, Caldilineae ve Ktedonobacteria) Chloroflexi civarında bir veya daha fazla bağımsız filum dallanmasını temsil edebileceği öne sürülmüştür (Gupta ve diğerleri, 2012).



**Actinobacteria:** Actinobacteria (İngilizce: Actinobacteria), DNA'sında yüksek guanin ve sitozin bulunan Gram pozitif bakterilerin bir dalıdır. Actinobacteria'dan farklı olarak Firmicutes'ta daha fazla adenin ve timin bulunur (Goodfellow diğerleri, 2012). Actinobacteria bir Gram-pozitif bakteri şubesi. Toprakta ve suda bulunabilirler (Servin diğerleri, 2008). Toprak sistemine yaptıkları katkıdan ötürü insanlar için tarım ve orman yönünden önem ifade eder. Toprakta, daha çok mantar gibi davranıp organik maddenin bir bitkinin alımı için parçalanmasını sağlarlar. Bu rolde koloniler mantarlarında yaptığı gibi genişçe miselyumlar oluştururlar. İçerdiği Actinomycetales takımının yıllarca bir mantar grubu olduğu düşünülmekteydi ve bu yüzden isminde miselyum anlamını barındıran "mycetales" vardır. Bazı toprak actinobacteria üyeleri(Frankia gibi) bitkilerle simbiyotik ilişki içinde yaşarlar. Bitki kökleri ile bakterinin bulunduğu toprağı işgal eder, bakteri nitrojeni tutar ve kullanabileceğı bitkinin kullanabileceğı biçimde bitkiye sunar. Bunun yanında bitki bakteriye bazı sakkaritler sağlar. Mycobacterium'un birçok üyesi gibi diğer türleri önemli patojenlerdir (Goodfellow diğerleri, 2012).

Topraktaki görevinden dolayı Actinobacteria' ya duyulan ilgiye karşın şu anda hakkında pek bir bilgi mevcut değildir. Şu ana kadar bu gruptaki canlılar başlıca toprak canlıları olarak bilinselerde, taze sulardaki miktarları daha çok olabilir (Ghai diğerleri, 2011). Actinobacteria baskın şubelerden biridir ve en büyük cinslerden biri olan Streptomyces'ı içerir (Hogan diğerleri, 2010). Streptomyces ve diğer actinobacteria üyeleri toprağı tamponlamakta doğanın ana işçileridir. Aynı zamanda birçok antibiyotiğın eldesine olanak sağlarlar. Actinobacteria en büyük ve en karmaşık hücreleri içeresi ile bilinse de bir grup suda barınan Actinomarinales üyeleri en küçük-bağımsız prokaryotik hücre olarak açıklandı (Ghai diğerleri, (2013).

**Planctomycetota:** Planctomycetes (Planctomycetota, eski adıyla Planctomycetes ), tatlı, acı ve deniz suyunda bulunan, en az bir hareketli faz ile kamçılı Gram negatif suda yaşayan bakterilerin bir filumudur. Hücre duvarının olmaması nedeniyle oval veya küre şeklindedirler (Sagulenko ve diğerleri, 2014). Bu gruba ait organizmaların hücre duvarlarında murein yoktur. Murein, hücre duvarı iskeletinde koruyucu bir bileşen olarak görev yapan çoğı bakteri hücre duvarında bulunan önemli bir heteropolimerdir. Bunun yerine duvarlar glutamattan zengin bir glikoproteinden

oluşur. Planctomycetota, tipik prokaryotların geri kalanında bulunanlardan daha karmaşık içyapılara sahiptir. Klasik ökaryotik anlamda bir çekirdeğe sahip olmasalar da, nükleer materyal bazen bir çift zar içinde bulunur. DNA'yı içeren nükleer vücut bölmesine ek olarak, zarla ayrılmış iki bölme daha vardır: biri, ilişkili proteinlerle birlikte ribozomlar içeren riboplazma (veya pirelülözom) , diğeri ise ribozom içermeyen parifoplazmadır (Glockner ve diğeri, 2003). RNA dizilimi, Planctomycetota'nın diğeri bakterilerle uzaktan ilişkili olduğunu gösterir. Bazı temel zincirler, bir bakteri için alışılmadık olan operonlar halinde organize olmazlar (Glockner ve diğeri, 2003). Dizi karşılaştırmaları yoluyla, ökaryonların sahip olduklarına benzer bazı genler keşfedilmiştir. Bunun bir örneği, ökaryotlarda zar ötesi sinyal iletimi için önemli bir protein olan integrin alfa-V ile Gemmata obscuriglobus'tan gelen bir genetik dizinin önemli homolojisidir. Cavalier-Smith, Planctomycetota'nın Planctobacteria kladına ve bunun da Gracilicutes klavuzuna dâhil edilebileceğini düşünüyor (Jenkins ve diğeri, 2002).

**Bacteroidota:** Bacteroides (bilimsel adı: Bacteroidetes), bakteri alanının bir dalının adıdır. Bu bakteriler zorunlu anaerob, gram negatif, sporsuz ve silindirikdir. Bu bakteriler toprak, su gibi çevreye dağılmış durumda oldukları gibi canlıların cilt ve bağırsaklarının doğal florasında da bulunurlar (Buckley ve diğeri, 2003). Bacteroidetlerin birçok rolü vardır ancak öncelikle proteinler ve kompleks şekerler gibi büyük organik maddeleri daha küçük moleküllere ayırırlar (Thomas ve diğeri, 2011). Bacteroidetes üyeleri insanlara, insanlara ve bitkilere hem yararlı hem de yararsız olabilir. Bazı üyeler metabolizma ve yiyeceklerin parçalanmasıyla ilgilendir. Öte yandan bazı üyeleri patojendir, insanlarda hastalığa neden olurlar. Bacteroides cinsinin üyeleri fırsatçı patojenlerdir. Nadiren diğeri iki sınıfın üyeleri insanlar için patojendir. Flavobacteria ve Sphingobacteria sınıflarının üyeleri gibi Bacteroidetes üyeleri de toprakta bulunur (Thomas ve diğeri, 2011). Çiftlik toprağı, sera toprağı ve el değmemiş toprak dâhil olmak üzere birçok farklı toprak türünde bulunmuştur (Kim ve diğeri, 2006). Bacteroidetes, rizosferde bulunan en yaygın bakterilerden biridir; burası bitkinin köklerini çevreleyen alandır (Uyenco ve diğeri, 1977). Ayrıca yaprakların yüzeyinde de bulunabilirler (Liao ve Wells, 1986).

Bacteroidetes'in bitkilerde de benzer bir rolü vardır. Bitkinin köklerini çevreleyen proteinler gibi organik maddeleri, bitki tarafından alınabilecek ve enerji olarak kullanılabilir daha basit formlara parçalarlar (Thomas ve diğerleri, 2011). İnsanlarda olduğu gibi Bacteroidetes bitkilerde de hastalığa neden olabilir. *Flavobacterium johnsoniae*, bitki ve sebzelerde çürümeye neden olan Bacteroidetes grubunun bir üyesidir (Buckley ve diğerleri, 2003). *Flavobacterium*'un bazı türleri kırmızı bitkilerde ve alglerde hastalığa neden olur (Redford ve diğerleri, 2010). Bacteroidetes ayrıca hücre duvarlarını parçalayarak bitkilere zarar verebilir (Fernández ve diğerleri, 2013)

**Verrucomicrobiota:** Verrucomicrobiota, yalnızca birkaç tanımlanmış türü içeren Gram-negatif bakterilerin bir şubesidir. Tespit edilen türler tatlı su, deniz ve toprak ortamlarından ve insan dışkılarından izole edilmiştir. Protistlerin ekstrüzyif patlayıcı etkosembiyoz ortakları ve gametlerinde yaşayan nematodların endosembiyoz ortakları da dâhil olmak üzere, ökaryotik konakçılarla ilişkili olarak henüz yetiştirilmemiş bir dizi tür tanımlanmıştır (Oren ve Garrity,2021). Verrucomicrobiota nispeten aktif olmasa da çevrede bol miktarda bulunur (White ve diğerleri, 2016). Bu filumun iki kardeş filumu olduğu kabul edilir: PVC süperfilumu içinde Chlamydiota (eski adıyla Chlamydiae) ve Lentisphaerota (eski adıyla Lentisphaerae) (Cho ve diğerleri, 2004). Verrucomicrobiota filumu, birkaç korunmuş imza indelinin (CSI) varlığıyla PVC grubu içindeki komşu filumlardan ayırt edilebilir Gupta ve diğerleri, 2012). Bu CSI'lar, Verrucomicrobiota içinde ortak bir ata ve diğer bakteriler arasında bağımsız bir soy olduğunu düşündüren benzersiz, sinapomorfik özellikleri temsil etmektedir (*Gupta RS (2016)*). Ayrıca Verrucomicrobiota ve Chlamydiota tarafından diğer tüm bakterilerle özel olarak paylaşılan CSI'lar da bulunmuştur (Wagner ve Horn, 2006). Bu CSI'lar Chlamydiota'nın Verrucomicrobiota'ya en yakın akraba olduğuna ve birbirleriyle Planctomycetales'ten daha yakın akraba olduğuna dair kanıt sağlıyor. Verrucomicrobiota, daha büyük olan Gracilicutes dalının Planctobacteria soyuna ait olabilir (Wagner ve Horn, 2006). 2008 yılında *Metilacidiphilum infernum*'un tüm genomu (2,3 Mbp) yayınlandı. Tek dairesel kromozomda, 731'inin tespit edilebilir homologu olmayan 2473 öngörülen protein bulundu. Bu analizler ayrıca Pseudomonadota ile birçok olası homolojiyi de ortaya çıkardı (Lei ve Maqsoodul, 2008).

**Gemmatimonadota:** Hem aerobik hem de anaerobik solunumla çoğalabilen Gram negatif bir bakteridir (Fawaz ve Mariam, 2013). Kültürden bağımsız çalışmalardan elde edilen veriler Gemmatimonadota'nın birçok doğal yaşam ortamında yaygın olarak bulunduğunu göstermektedir. Toprak bakteri topluluklarının yaklaşık %2'sini oluştururlar ve toprakta bulunan ilk dokuz filumdan biri olarak tanımlanırlar; ancak şu anda yalnızca altı kültürlenmiş izolat bulunmaktadır (Bruyn ve diğerleri, 2011). Gemmatimonadota, otlak, kır ve mera toprağı gibi çeşitli kurak toprakların yanı sıra ötrofik göl çökeltileri ve dağ topraklarında da bulunmuştur. Gemmatimonadota'nın bulunduğu bu geniş ortam yelpazesi, düşük toprak nemine adaptasyon olduğunu göstermektedir (Fawaz, 2013). Yapılan bir çalışma, Gemmatimonadota'nın topraktaki dağılımının, topraklanmadan ziyade nem mevcudiyetine bağlı olduğunu gösterdi ve bu da bu filumun üyelerinin daha kuru toprakları tercih ettiğini inancını güçlendirdi (Fawaz, 2013). Tatlı sular ve çökeltiler gibi çeşitli su ortamlarında da daha küçük sayılar bulundu (Bruyn ve diğerleri, 2011).

**Bacillota:** Firmicutes bir bakteri dalıdır. Bunların çoğu gram pozitif bakterilerdir ancak Megasphaera, Pectinatus ve Selenomonas gibi birkaçı gram negatiflerle aynı hücre duvarına sahiptir. Bazıları çubuk şeklindedir (basil), bazıları ise küreseldir (kok). Bu grubun DNA'sında çok az guanin ve sitozin bulunur. (Actinobacter'den farklı olarak daha fazla adenin ve timin içerirler) (Oren ve Garrity2021). 2021'de filumların Firmicutes gibi yeniden adlandırılması mikrobiyologlar arasında tartışmalı olmaya devam ediyor ve bunların birçoğu literatürde uzun süredir var olan eski isimleri kullanmaya devam ediyor (Robitzki, 2022).

"Firmicutes" adı, bu filumdaki bakterilere özgü kalın hücre duvarına atıfta bulunarak Latince "sert cilt" kelimelerinden türetilmiştir. Bilim adamları bir zamanlar Firmicutes'leri tüm gram-pozitif bakterileri kapsayacak şekilde sınıflandırmışlardı, ancak yakın zamanda bunları Actinomycetota'nın aksine düşük G+C grubu adı verilen ilgili formların çekirdek bir grubu olarak tanımladılar. Kok (tekil kok) adı verilen yuvarlak hücrelere veya çubuk benzeri formlara (basil) sahiptirler (Wolf ve diğerleri, 2004). Megasphaera, Pectinatus, Selenomonas ve Zymophilus gibi birkaç Firmicutes, gram negatif lekelenmelerine neden olan gözenekli bir sözde dış zara sahiptir (Ciccarelli, 2006).

Birçok Bacillota (Firmicutes), kurumaya karşı dirençli ve zorlu koşullarda hayatta kalabilen endosporlar üretir. Çeşitli ortamlarda bulunurlar ve grup bazı önemli patojenleri içerir (Wolf ve diğerleri, 2004). Heliobakteriler adı verilen bir ailede bulunanlar, anoksijenik fotosentez yoluyla enerji üretirler. Bacillota bira, şarap ve elma şarabının bozulmasında önemli bir rol oynar (Wolf ve diğerleri, 2004). Grup tipik olarak anaerobik olan Clostridia ve zorunlu veya fakültatif aerob olan Basiller olarak ikiye ayrılır. Filogenetik ağaçlarda ilk iki grup, ana cinsleri Clostridium ve Bacillus gibi parafiletik veya polifiletik olarak ortaya çıkar Ciccarelli, 2006). Ancak Bacillota'nın bir bütün olarak genellikle monofiletik veya Mollicutes hariç parafiletik olduğuna inanılır (Euzéby, 2019).

**Cyanobacteria:** Siyanofitler olarak da bilinen siyanobakteriler (İngilizce: Cyanobacteria), gram-negatif bakterilerin bir dalıdır. Siyanobakteriler veya mavi-yeşil algler (Cyanobacteria), besinini fotosentez yolu ile elde eden bir bakteri dalıdır (Cyanophyceae, 2019). Adı, bakterinin renginden gelir. (Yunanca: κυανός [kyanós]; "mavi" demektir.) Denizdeki azot çevriminin önemli bir bileşeni ve okyanusun pek çok yerinde özbesilenendir. Ayrıca, karada da bulunmaktadır (Oren, 2004). Oksijen üreten siyanobakterilerin 2,8 milyar yıl öncesine ait fosilleşmiş stromatolitleri bulunmuştur (Schaffner,1909). Siyanobakterinin karbondioksit ile fotosentez gerçekleştirmesi yeteneğinin, Dünya üzerindeki yaşamın çarpıcı bir biçimde değişmesine ve yaşam çeşitliliğinin patlamasına neden olacak biçimde, erken dönem dünya atmosferinin oksijenle dolmasına yol açtığı düşünülmektedir (Dyer ve diğerleri, 2003).

Genellikle ototrofiktirler ve karotenoidler, fikobilin ve farklı klorofil türleri dâhil olmak üzere farklı fotosentetik pigmentlere sahiptirler ve Bu pigmentlerin yardımıyla ışığı emerler, emerler ve sonunda fotosentez yaparlar. Bu bakteriler enerji üretebilmek için ışığa ve suya ihtiyaç duyarlar. Anaerobiktirler, yani oksijene ihtiyaç duymazlar ve genellikle hareketlidirler. Siyanobakteriler alg olmasalar da bazen kelimenin tam anlamıyla mavi-yeşil alg olarak da adlandırılırlar (Olson, 2006). Diğer prokaryotlardan farklı olarak bu bakterilerin bir iç zar sistemi vardır. Bu zar ağı, fotosentez yeri olarak küçük keseler veya tilakoidler oluşturur. Yeşil bitkiler, siyanobakterilerin aksine, fotosentezlerini kloroplast, lökoplast veya etioplast gibi plastlarda (disklerde)

gerçekleştirirler. Plastların evrimsel kökeninin, simbiyoz sürecinde bitki hücrelerine giren ve bitki için fotosentez yapan siyanobakteriler olduğu düşünülmektedir (Dyer ve diğerleri, 2003).

**Myxococcota:** Myxococcota, meyve veren kayan bakteriler olarak bilinen bir bakteri filumudur. Bu grubun tüm türleri Gram negatiftir. Bunlar ağırlıklı olarak elverişsiz ortamlarda mikosporları serbest bırakan aerobik türlerdir (Redford ve diğerleri, 2010).

### 2.5.2.3. Protistler

Protistler veya Protista, tarihsel olarak ne hayvan, ne bitki ne de mantar olan tüm ökaryotik organizmaları içeriyordu. Modern çalışmalar, Protista'nın birbiriyle bağlantılı bir dizi evrimsel soy da dâhil olmak üzere geleneksel anlamda yapay bir grup olduğunu açıkça göstermiştir. Dolayısıyla "protistler" terimi artık taksonomik bir kategori olarak uygulanamaz. Bununla birlikte, geniş tanım, mikroskopik tek hücreli (veya tek hücreli-kolonyal) ökaryotları tanımlamak için kullanımda kalır. On binlerce protist türü resmi olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, diğer mikroorganizmalara benzer şekilde, çevresel örneklerden elde edilen dizileme verileri, çok sayıda tanımlanamayan taksonun varlığını göstermektedir. Geleneksel olarak, protistler genel morfolojilerine ve beslenme tarzlarına göre protozoanlar (fagositozu birincil gıda alım modu olarak benimseyen heterotrofik organizmalar arasında flagellatlar, siliatlar ve amip bulunur), "dip mantarları" (absorptif modu olan heterotrofik protistler) ve algler (ototrofik protistler) olarak sınıflandırılmıştır. (Geisen ve diğerleri, 2018). Protistlerin modern sınıflandırma şemaları, moleküler sistematik ilkeleri üzerine inşa edilmiştir ve geleneksel grupların çoğu büyük ölçüde yeniden düzenlenmiştir. Monofiletik olduğu kanıtlanmış ve geleneksel anlamıyla korunabilen tek yüksek rütbeli grup, Siliatlardır. Farklı evrimsel soyları temsil eden yapay organizma toplulukları gibi diğer tüm protist gruplarının polifilik olduğu gösterilmiştir. Protistlerin geleneksel sınırlaması, şimdi süpergruplar olarak adlandırılan tüm ana ökaryot soylarını kapsar: Archaeplastida, Excavata, Amoebozoa, Opisthokonta ve SAR grubu (Stramenopiles, Alveolata ve Rhizaria'dan oluşur). Bu sınıflandırma, Ökaryotların büyük çoğunluğunu kapsar, ancak bazı küçük grupların ilişkileri hala tartışma konusudur. Bu sınıflandırmada

bitkiler Archaeplastida üst grubuna atanır, hem hayvanlar hem de mantarlar Opisthokonta üst grubuna aittir, oysa protistler beş süper grubun hepsini kapsamaktadır (Geisen ve diğerleri, 2018).

Protistlerin heterojenliği, onların büyük yapısal çeşitliliğine yansır. Çoğu, mikroskopik tek hücreli formlarla temsil edilir, ancak bazıları (örneğin, balçık kalıpları), çıplak gözle kolayca tespit edilebilen daha büyük koloniler veya yığınlar oluşturabilir. Protistler doku organizasyonundan yoksundur. Bazı (hepsi değil) protistlerin hücreleri, değişen bileşime sahip sert bir hücre duvarı ile çevrilidir. Birçok protist, kamçı veya kirpiklerin varlığından dolayı hareketlidir veya amipli hareket etme yeteneğine sahiptir. Oomycetes gibi diğerleri, yaşam döngülerinin yalnızca belirli aşamalarında hareketli formlara sahiptir (Howe ve diğerleri, 2009).

Orman ekosistemlerinde çeşitli tek hücreli ökaryot grupları yaşar. Bir gram orman toprağında on binlerce protist bulunabilir (Geisen ve diğerleri, 2018). Protistler, bakteri ve diğer mikroplarla beslenerek besin döngüsüne (özellikle nitrojen) katkıda bulunan toprak besin ağlarının önemli bileşenleri olarak kabul edilir. Bununla birlikte, orman ekosistemlerindeki ekolojik rolleri hala tam olarak anlaşılamamıştır. Geçmişte önemli ilgi gören birkaç protist gruptan biri Oomycota veya oomycetes'tir. Oomycota'nın pek çok üyesi, yüzeysel olarak mantarlara benzeyen (ve dolayısıyla eski literatürde genellikle "su kalıpları" olarak anılan) iplikli saprotrofik mikroorganizmalardır, ancak ökaryotik organizmaların büyük ve heterojen bir topluluğu olan Stramenopila (Heterokonta) diğerleri arasında kahverengi algler ve diatomlar soyuna aittir. Bazı oomycetes (örneğin, Phytophthora ve Pythium türleri), tarım ve ormancılık için önemli ekonomik öneme sahip kötü şöhretli bitki patojenleridir. Orman ekosistemlerinde yaşayan diğer protist grupları, oldukça az keşfedilmiş durumda. Son sıralama çabaları, Cercozoa ve Ciliophora üyelerinin toprak örneklerinde en bol bulunan protistler arasında olduğunu göstermektedir (Howe ve diğerleri, 2009). Oldukça şaşırtıcı bir şekilde, Apicomplexa grubundan hayvanların zorunlu parazit bölgeleri, neotropik ormanlarda en bol protist grubu olarak bulundu (Mahé ve diğerleri, 2017). Protistler nitrojenin yeniden harekete geçirilmesine katkıda bulunur ve bakteri ve küçük ökaryotları avlayarak mikrobiyal toplulukların bileşimini ve dinamiklerini etkiler (Flues ve diğerleri, 2017); asalak protistler, toprak

omurgasızlarının popülasyonlarının dinamiklerini etkiler; ancak, ekolojik etkileşimlerinin birçok önemli yönü tam olarak anlaşılammıştır(Howe ve diğerleri, 2009). Orman ekosistemlerinde bulunan bazı temsili Protista gruplarının dağılımı Çizelge 2.6'da sunulmuştur.

Çizelge 2.6. Orman ekosistemlerinde bulunan bazı temsili Protista gruplarının dağılımı.

Sıralanmamış grup	Filum(şube)	Alt şube/sınıf	Temsilciler
<b>Amoebozoa</b>			Çıplak ve vasiyetli amipoid organizmalar (cins Chaos, Entamoeba, Pelomyxa, Amip, vb.); heterotrofik; özgür yaşam, parazit veya simbiyotik
<b>Excavata</b>	Euglenozoa	Euglenoida	Serbest yaşayan fotosentetik protistler (cins Euglena, Trachelomonas); tür açısından zengin grup
<b>Rhizaria</b>	Cercozoa	Filosa	Çıplak ve vasiyetsiz amoeboid protistleri (Euglypha cinsi) filose edin, bazı üyeler kamçılıdır (örn. Cercomonas); çoğunlukla heterotrofik; çeşitli toprak türlerinde çok yaygın ve bol miktarda bulunan serbest yaşam
<b>Rhizaria</b>	Cercozoa	Phytophycea	Plazmodia (çok çekirdekli hücreler) oluşturan bitki parazitleri (cins Plasmodiophora, Spongospora, vb.)



<b>Alveolata</b>	Ciliophora		Protistler, çok sayıda silyanın (cins Paramecium, Tetrahymena, Vorticella, vb.) varlığı ile karakterize edilir; heterotrofik, özgür yaşam; ıslak habitatlarda çok yaygın
<b>Stramenopiles/ Heterokonta</b>		Oomycota	Hif oluşturan iplikli organizmalar (cins Phytophthora, Pythium, Albugo, Peronospora, vs.); heterotrofik, parazitik veya özgür yaşam; yaygın, bazı önemli bitki patojenlerini içerir

#### 2.5.2.4. Virüsler

Virüsler, yalnızca canlı hücrelerin içinde üreyen mikroskobik enfeksiyöz ajanlardır (Şekil 1.2). Virüsler, bakteri ve arkelerden bitki ve hayvanlara kadar hemen hemen her canlı organizmayı enfekte edebilir. Konak hücrenin dışında virüsler, viral genetik materyalden (nükleik asitler, DNA veya RNA) ve nükleik asitleri çevreleyen koruyucu bir protein kılıfından (kapsid) oluşan ayrı parçacıklar (viryonlar) ile temsil edilir. Ek olarak, bazı virüs türlerinin bir dış lipit tabakası vardır (Howe ve diğerleri, 2009). Virüsler, nükleik asit tipine (DNA veya RNA), sarmallığa (tek sarmallı veya çift sarmallı molekül), duyuya (sense veya anlamsız molekül) ve replikasyon mekanizmasına göre birkaç büyük gruba ayrılır. Alt düzey taksonomik kategoriler (takımlar, familyalar ve cinsler), sekans benzerliği seviyelerine göre tanınır. Virüsler, tüm ekosistemlerin ayrılmaz bileşenleridir; ancak ekolojik rolleri tam olarak bilinmemektedir. Virüslerin kendi metabolizmaları olmadığı için ekolojik etkileri her zaman dolaylıdır. Viral enfeksiyonlar nadiren orman ağaçları üzerinde yıkıcı bir etkiye sahiptir. Ancak virüsler, orman mikrobiyomunun diğer bileşenleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Örneğin, toprak sistemindeki bakteriyofajların bolluğu çok

yüksek olabilir ve bakteriyel ölümü etkileyerek toprak mikrobiyal topluluklarının bileşiminde önemli değişikliklere neden olabilir (Mahé ve diğerleri, 2017). Virüsler ayrıca patojenik mikroorganizmaların virülansını da etkileyebilir. En iyi bilinen örneklerden biri, mikovirüs varlığının neden olduğu kestane yanıklığı mantarı *Cryphonectria parasitica*'nın azaltılmış patojenitesidir. Bazı böcek virüslerinin otçul böceklere karşı biyokontrol ajanları olarak kullanılması da önerilmiştir. Ayrıca, birçok virüs şifrelidir ve görünüşe göre konak uygunluğu üzerinde çok az etkiye sahiptir (Howe ve diğerleri, 2009).

### **2.5.3. Mikrobiyomun Yaşam Tarzları**

#### **2.5.3.1. Saprotrof Olarak Mantarlar**

Saprotroflar olarak mantarlar, ölü organik maddenin hücre dışı sindirimi ile besin elde edebilirler. Saprotrofik mantarlar, odun artıklarının ve bitki çöplerinin ayrışmasında önemli bir ekolojik rol oynar ve böylece besin döngüsünü kolaylaştırır. Odun çürümesi, üç ana kimyasal bileşenin (lignin, selüloz, hemiselüloz) başta mantarlar olmak üzere mikroorganizmaların enzimatik aktiviteleriyle parçalanmasıdır (Clay, 2009). Ahşap çürümesi mantar türleri, neden oldukları çürümenin türüne bağlı olarak üç ana gruba ayrılır: beyaz çürüklük, kahverengi çürüklük veya yumuşak çürüklük mantarları. Beyaz çürüklüğün başlıca etkenleri mantar şubesi Basidiomycota'ya aittir (örneğin, *Rigidoporus microporus*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Heterobasidion annosum*). Çürümenin doğası öyledir ki, tüm ana ahşap bileşenler (lignin, selüloz, hemiselüloz) ağartılmış veya lifli dokulu beyaz bir renk bırakarak bozulur (Daniel, 2016). Kahverengi çürümeye ayrıca Basidiomycota grubunun üyeleri (örneğin, *Serpula lacrymans*, *Fomitopsis pinicola*) aracılık eder. Kahverengi çürümede, ahşabın polisakkarit (selüloz, hemiselüloz) bileşenleri tercihen bozulur. Çürümüş odun kahverengimsi bir renk değişikliğine çatlama desenine veya kübik bir görünüme sahiptir ve lifli dokusu yoktur (Terhonen ve diğerleri, 2019). Yumuşak çürüklük çürümesine Ascomycota mantar filumunun üyeleri neden olur (örn. *Ceratocystis* spp., *Chaetomium* spp.). Yumuşak çürümede, karbonhidratlar tercihen bozulur ve çürümüş ahşabın rengi kahverengi veya ağartılır (Clay, 2009).

Yumuşak çürüklük mantarları genellikle daha düşük lignin içeriğine ve daha yüksek neme sahip ahşaba saldırır (Goodell ve diğerleri, 2008). Kahverengi çürüklük ve beyaz çürüklükten farklı olarak, yumuşak çürüklük çürütücülerin parçalayıcı enzim sistemleri hakkında pek bir şey bilinmiyor (Daniel, 2016).



Şekil 2.7. Beyaz çürüme.



Şekil 2.8. Kahverengi çürüme.

### 2.5.3.2. Endofit Olarak Mantarlar

Wilson'a (1995) göre, "Endofitler, yaşam döngülerinin tamamı veya bir kısmı boyunca canlı bitkilerin dokularını istila eden ve tamamen bitki dokularında belirgin olmayan ve asemptomatik enfeksiyonlara neden olan ancak hiçbir hastalık belirtisine neden

olmayan mantarlar veya bakterilerdir. ” Endofitler, çalışılan hemen hemen tüm bitki türlerinde bulunmuştur (Saikkonen ve diğerleri, 2004). Endofitler ve bitki konukçuları arasındaki ilişkilerin doğası hala tam olarak anlaşılamamıştır. Endofitler, biyotik ajanlara (fitopatogenler, otçullar, böcekler) karşı bitki direncini artırarak, besin alımı yoluyla bitki büyümesini teşvik ederek ve ayrıca abiyotik stresörlere karşı toleransı artırarak yararlı ve koruyucu roller oynarlar (Arnold ve diğerleri, 2003).

Terhonen ve ark. (2014), önemli bir kök endofiti olan *Phialocephala sphaeroides*'in, *Picea abies*'in fide köklerini kozalaklı ağaç patojeni *Heterobasidion parvi porum*'un neden olduğu enfeksiyonlardan koruyabildiğini göstermiştir. Bir yaprak endofiti olan *Phialocephala scopiformis*, doğu ladin tomurcuk kurdu *Choristoneura fumiferana*'nın otçul ve zararlı etkisini önemli ölçüde azaltmıştır (Miller ve diğerleri, 2008). Mantar endofiti *Neotyphodium coenophialum* ile yem otu, uzun çayır (*Festuca arundinacea*) arasındaki karşılıklı ilişkinin, bitkinin asidik, besin açısından fakir topraklarda büyümeye uyum sağlama kabiliyetinin yanı sıra kuraklık ve aşırı otlatma gibi diğer streslere karşı aracı toleransı kolaylaştırdığı bildirilmiştir. (Siegel ve Bush, 1997).

### **2.5.3.3. Karşılıklı Olarak Mantarlar (Mikoriza)**

Mutualizm, iki biyolojik organizma arasında, her iki partnerin de fayda sağladığı bir simbiyotik birliktelik biçimidir. Mikorizaların bitki büyümesinde ve beslenmesinde hayati roller oynadığı gösterilmiştir (Read ve Perez-Moreno, 2003). Tipik bir örnek, mikorhizal mantarlar ve vasküler bitkiler arasındaki ekolojik karşılıklı ilişkidir (Terhonen ve diğerleri, 2019). Bitki-mikorhizal birlikteliklerin iki ana türü endomikoriza ve ektomikorizadır. Endomikorhiza birlikteliğinde, mantar ortağının hifleri konuğu hücre duvarına nüfuz edebilir ancak hücre zarına giremez. Orkide, arbutoid, erikoid, monotropoid ve arbusküler mikorizalar dâhil olmak üzere birkaç farklı endomikoriza türü vardır (Rodriguez ve diğerleri, 2009). Arbusküler mikorizalar, esas olarak Glomeromycota mantar filumunun üyeleri tarafından oluşturulur. Arbusküler mikorizalar, konuğu bitki ile besin alışverişini kolaylaştıran özel yapıların, veziküllerin ve arbusküllerin üretimi ile karakterize edilir (Li ve diğerleri, 2006). Ektomikorizalar, birçok odunsu bitki (kozalaklı ağaçlar, okaliptüs, meşe, huş ağacı) ile çoğunlukla Basidiomycota ve Ascomycota mantar filumlarına ait

mantarlar arasında oluşan karşılıklı ilişkidir. Endomikorizalardan farklı olarak ektomikorizaların hifleri konağın kök hücrelerine nüfuz etmez. Hiflerin hücrelere nüfuz edebildiği durumlarda buna ektendomikoriza denir (Terhonen ve diğerleri, 2019). Ektomikoriza, bir manto ve Hartig ağından oluşur. Bir manto, kök ucunu çevreleyen kılıf benzeri bir hif kütesidir, Hartig ağı ise kök korteksinin hücreler arası boşlukları içindeki hiflerdir. Ekstramatrik miselyum olarak adlandırılan ektomikorizadan kaynaklanan kökün dışındaki geniş filamentli hif ağı, besinlerin taşınmasını ve karbon döngüsünü daha da kolaylaştırır (Lindahl ve Tunlid, 2015).

Ağaç patojenleri olarak mantarlar (nekrotroflar, biyotroflar veya hemibiyotroflar) Konuçularıyla uzun birlikte evrim sırasında, ağaç patojenleri, bitki savunma bariyerlerini aşmak ve bitki dokularına nüfuz eder. Nekrotroflar, konuçu hücrelerini hızla öldürebilir ve ölü hücrelerin içerikleriyle saprotrofik olarak beslenebilir (örn. *Heterobasidion annosum*) (Asiegbu ve diğerleri, 2005). Biyotrofik patojenler, aksine, canlı konak hücreler tarafından uzun süre sağlanan besinlerle beslenirler ve bu nedenle bütünlüklerine bağlıdırlar (örneğin, pas mantarı *Melampsora larici-populina*). Hemibiyotroflar (örn., *Phytophthora* spp.) (Moore ve diğerleri, 2011). Enfeksiyonun ilk aşamalarında biyotrof olarak beslenirler, ancak daha sonra davranışlarını nekrotrofik bir yaşam tarzına dönüştürürler (Horbach ve diğerleri, 2011). Yaşam tarzları ve bulaşma biçimleri ne olursa olsun, bitki patojenleri, bir veya birkaç konukçu üzerinde hastalığa neden olmak veya virülansı artırmak için gerekli olan genlere sahiptir (Agrios, 2005).

#### **2.5.3.4. Bakterilerin, Arkelerin ve Protistlerin Yaşam Tarzları**

Büyük evrimsel bakteri toplulukları, yaşam tarzlarının yapılarına yansır. Orman yerleşimlerinde yaşayan birçok bakteri, besinlerini çılgın organik ayrışmalarından alan, serbest yaşayan saprotroflardır. Bu özellikle çok sayıda toprakta yaşayan bakteri için geçerlidir. Nispeten küçük bir bakteri grubu (örn. *Myxobacteria*, *Bdellovibrio*, *Cytophaga*), diğer mikroorganizmaları öldüren ve onları bir besin kaynağı olarak tüketen avcılar olarak cezalandırılabilir. Bakterilerin önemli bir kısmı ökaryotik organizmalarla (her şeyden önce bitkiler ve hayvanlar) iletişim kurar. Bu etkileşimlerin sınırlarından aşırı kommensalizme ve asalaklığa kadar, kalıcı ve kalıcı

(zorunlu) veya geçici (isteğe bağlı) olabilirler. Bakteriler ve bitkiler arasındaki kapsamlı etkileşimlerin en iyi bilinen örneklerinden biri, baklagil bitkileriyle nitrojen sabitleyici rhizobia simbiyozudur. Not olarak, rhizobia nitrojeni yalnızca konakçılarını kolonize ederken sabitleyebilirken, serbest yaşayan rhizobia hücreleri nitrojen içeriği için gerekli genleri ifade etmez. Bakterinin konakçılarını nitrojen bitkilerinden ve bitki örtüsüne karbon kaynaklarından bakıldığında, bu etkileşim her iki ortağa yöneliktir.

Birçok bitki bitki endofiti, rehberleri olarak kaldıkları ve konakçılarını net faydalar veya zararlar sağlamadıkları için kommensal olarak kabul edilebilir. Ayrıca konakçılarını parazite eden ve çeşitli hastalıklara neden olan bitki patojenik bakteriler de vardır. Fitoplazma gibi birkaç üretici bitki patojeni, canlı bir konakçının büyümesi için yeterli işitmeye sahip olan ve yapraktaki besin ortamları in vitro (konakçılarının dışında) muhafaza edilemeyen zorunlu biyotroflardır. Bununla birlikte, bilinen bitki patojen organizmalarının büyük çoğunluğu, yaşayan bir konakçının dışında büyüeyebilen fakültatif parazitlerdir (Agrios, 2005).

Bazı bitki patojenik bakteriler (*Agrobacterium*, *Ralstonia* veya bitki *Streptomyces* gibi) toprak mikrobiyal topluluk gruplarına aittir. Çevredeki diğer bitki patojenlerinin bolluğu, belirli toprak saprotrofları ve konukçu dokulardan salındıktan sonra mevcut olan miktar ile verimli bir şekilde rekabet edemedikleri için mücadele için yetersizdir. Bazı bitki patojenik bakteriler (örn. *Erwinia*, *Xylella* ve *phytoplasma*) otçul istila ile yakın bir ilişki geliştirmiş ve bunları konaktan konakçıya bulaşma için vektörler olarak kullanarak kalıcılıklarını en aza indirmiştir (Orlovskis ve diğerleri, 2015).

Hastane laboratuvarları ölçeklendirilemediğinden ve gerçek yapının yalnızca küçük bir kısmı in vitro çalışıldığından, arkelerin yaşam tarzları ve işlevsel rolleri hala tam olarak görülmeyi bekliyor. Arkea kümelerinin serbest yaşayan saprotroflar olduğu varsayılır, ancak çok azı ortak yaşam olarak bilinen (mide-bağırsak sisteminde oldukça yerleşik) bitki endofitleridir. Bugüne kadar arkeler arasında hiçbir patojen veya parazit tespit edilmemiştir. Birkaç evrimsel soy içeren heterojen bir grup olarak protistler, son derece çeşitli yaşam tarzları sergilerler (Geisen ve diğerleri, 2018). Birçoğu (örneğin, Cercozoa, Ciliophora, Amoebozoa'nın temsilcileri) bakteri ve küçük ökaryotlarla beslenen serbest yaşayan avcılardır. Birincil besin alım modu fagositozudur.

Saprotroflar, katı hücre duvarlarına (örneğin, serbest yaşayan Oomycota) sahip, fagositik besin alımından aciz olan ve bunun yerine emici beslenme modunu seçen protistler arasında ortaya çıkar. Aynı zamanda, çok sayıda serbest yaşayan fotosentetik protist vardır (örneğin, Euglenozoa ve mikroskobik algler) (Orlovskis ve diğerleri, 2015).

Fotosentetik protistler su kütlelerinde daha bol bulunur, ancak aynı zamanda en üst toprak katmanlarında da bulunurlar. Fotosentetik protistlerin çoğu miksotroftir, örneğin ışığa maruz kaldıklarında atmosferik karbondioksiti sabitlerler, ancak yeterli ışık olmadığında heterotrofik beslenme moduna geçebilir ve organik karbon kaynaklarına güvenebilirler (Orlovskis ve diğerleri, 2015).

Çok sayıda protist, hayvanlar, bitkiler, mantarlar ve diğer protistler ile etkileşime girer. Bu etkileşimler, karşılıklıktan asalaklığa kadar değişebilir ve zorunlu veya isteğe bağlı olabilir. Örneğin kamçılı protozoanlar (Parabasalia sınıfı), böceklerin (özellikle termitler ve hamamböcekleri) karşılıklı ortakyaşamlarıdır ve böceklerin gastrointestinal kanalındaki selülozun parçalanmasında önemli bir rol oynar. Aynı zamanda, çok sayıda protozoan (tripanozomlar, Plasmodium (sıtmaya neden olan maddeler), (Entamoeba, vb) insan ve hayvanların kötü şöhretli parazitleridir. Çevresel örneklerin analizi, toprak omurgasızlarının parazitleri olarak önemli bir rol oynamalarının muhtemel olduğu neotropik orman topraklarında parazitik Gregarinlerin (Apicomplexa) beklenmedik bolluğunu ortaya çıkardı (Mahé ve diğerleri, 2017).

Önemli bitki patojenleri Oomycota ve Phytomyxea gruplarında bulunabilir. Pythium, Phytophthora, Peronospora, Plasmodiophora ve Spongospora cinslerinin çok sayıda türü zorunlu bitki patojenleridir ve bunlardan bazıları fidelerin kuruması, patates yaprağı yanıklığı, ani meşe ölümü ve okaliptüs ölümü gibi önemli ekonomik öneme sahip hastalıklara neden olur. Sadece birkaç tane. Ayrıca, bazı Pythium türleri (örneğin, P. oligandrum), fitopatogenik mantarlara ve oomisetlere karşı biyolojik kontrol ajanları olarak kullanılan mikoparazitlerdir. Genel olarak, oomisetlerin yaşam tarzları, zorunlu biyotrofik parazitlerden fakültatif patojenlere ve zorunlu saprotroflara

kadar değişebilir. Ek olarak, birçok fitomisit, yaşam döngülerinin en azından bir kısmı için asemptomatik bitki endofitleri olarak var olabilir (Dumack ve diğerleri, 2017).

Bitki patojenleri ekonomik önemleri nedeniyle çok dikkat çekmiş olsalar da, protistlerin patojenik olmayan bitki simbiyontları olarak rolü hakkında çok az şey bilinmektedir. Son zamanlarda yapılan yüksek verimli çalışmalar, protistlerin bitki mikrobiyomunun ayrılmaz bir parçasını oluşturduğunu ikna edici bir şekilde göstermiştir. Tanımlanan dizilerin çoğu, yetersiz karakterize edilmiş ve hatta tanımlanamayan protist soylarına aittir. Aynı zamanda, toprakta bol miktarda bulunan büyük ve çeşitli bir protist grubu olan Cercozoa'nın üyeleri, bitki fillosferinde defalarca bulunmuştur (Ploch ve diğerleri, 2016).

Fillosferden izole edilen bir dizi yeni Cercozoa türü, ekolojik nişlerine özel adaptasyonlar gösterir, bu da onların gerçekten fillosfer mikrobiyal topluluklarının yerleşik bileşenlerini oluşturabileceklerini düşündürür (Dumack ve diğerleri, 2017).

Bitki ile ilişkili protistler üzerine yapılan araştırmalardaki son gelişmelere rağmen, ekolojilerinin birçok yönü, fonksiyonel rolleri ve bitki mikrobiyomunun diğer bileşenleri ile etkileşimleri hala tam olarak anlaşılammıştır ve daha fazla araştırmayı beklemektedir (Flues ve diğerleri, 2018).

Tüm virüsler, konakçı hücrelerinin dışında çoğalamayan zorunlu hücre içi parazitlerdir. Üreme için tamamen konakçılarına bağımlıdırlar ve viral parçacıkların tüm yapı taşları enfekte hücrelerde üretilir (Dumack ve diğerleri, 2017).

#### **2.5.4. Yangının Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkileri**

Yangının toprak mikroorganizmaları üzerindeki doğrudan etkisi, yangının yoğunluğuna, yani ilk toprak ısınması ve neminin neden olduğu sıcaklık ve süreye bağılıdır (Certini, 2005). Bununla birlikte, yangın etkilerine ilişkin çoğu çalışma, verilerin yorumlanmasında bu faktörleri dikkate almaz çünkü bu veriler yalnızca kontrol koşulları altında kaydedilebilir. Son zamanlarda, laboratuvar çalışmaları, mikrobiyal toplulukların toprak ısınma süreçlerine tepkisinde başlangıçtaki su içeriği



ve yangın yoğunluğunun (sıcaklık, zaman) belirleyici olduğunu açıkça göstermiştir (Barreiro ve diğerleri, 2020).

Toprağın yüksek sıcaklıkta (>120 °C) ısıtılması, olumsuz etkilere ve/veya toprak mikroorganizmalarının ölümüne neden olur (Carballas ve diğerleri, 2009). Yangının mikrobiyota üzerindeki etkisi tüm mikrobiyal gruplar için aynı değildir (Diaz Ravina ve diğerleri, 2010).

Genel olarak, birkaç yazar tarafından yapılan araştırmalar, C döngüsü mantarlarının ve mikroorganizmalarının, N döngüsü bakteri ve mikroorganizmalarına göre ısıya daha duyarlı olduğunu göstermiştir (Moreno ve diğerleri, 2013). Son zamanlarda yangının mikroorganizmaların kütlesi, aktivitesi ve çeşitliliği üzerindeki olumsuz etkisi rapor edilmektedir. Beklendiği gibi, bu etkinin büyüklüğü yangının ciddiyeti ile ters orantılıydı (Barriero ve diğerleri, 2020).

Öngörülen bir yangın veya orman yangınından bir ve on sekiz gün sonra enzim aktivitesinde bir azalma gözlemlendi. Toprağın ısınmasına ilişkin laboratuvar deneyleri, bakteriyel aktivitenin yanı sıra enzim aktivitesinde ve N-sabitleyen bakterilerde bir düşüş, ancak ısınmadan sonra mikrobiyal C kullanımında hafif bir artış gösterdi (Fairbanks ve diğerleri, 2020). Benzer şekilde (Armas-Herrera ve diğerleri, 2018). Tahmini olarak bir yangından hemen sonra mikrobiyal biyokütle ve toprak solunumunun azaldığı bulunmuştur (Herrera ve diğerleri, 2018).

Laboratuvar koşullarında, yüksek sıcaklıklarda toprağın ısıtılması özellikle mikrobiyal biyokütleyi azaltırken, düşük sıcaklıklarda (50 °C) herhangi bir etki gözlenmedi (Kazeev ve diğerleri, 2020). Toprak mikroorganizmalarının çeşitliliği ile ilgili olarak orman yangınından üç gün sonra bakteri ve mantar çeşitliliğinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Laboratuvar koşullarında, düşük sıcaklıktan (<100 C) sonra bakteri bileşiminde ve yüksek sıcaklıklarda (150-400 C) mikrobiyal topluluk yapısında değişiklikler gözlemlendi. Çam ağaçlarıyla ilişkili mantarlar üzerinde yangının eski etkileri tespit edilmemiştir (Beck ve diğerleri, 2020).

#### 2.5.4.1. Yangının Kısa Vadeli Etkileri

İlk mikrobiyal aktivite düştükten sonra, yangın sonrası koşulları destekleyen artık (yüksek sıcaklığa dayanıklı) mikroorganizmalar, kararsız C ve ölü (yüksek sıcaklığa duyarlı) mikroorganizmalardan gelen besinlerden türeyerek hızla büyür ve bir substrat olarak kullanılır (Guez diğerleri, 2018). Bu nedenle kısa vadede mikrobiyal aktivitede hızlı bir artış gözlenebilir ve bu çoğunlukla yangın şiddeti ile ters orantılıdır. Bu artış geçicidir ve C ve besinlerin mevcudiyeti azaldıkça kaybolur. Bazı durumlarda, bu davranış gözlenmez ve yüksek yoğunluklu yangınlardan sonra çok az mikrobiyal aktivite gözlenir. Dolayısıyla yangının şiddetine, yangın sonrası şartlara ve yangından sonraki süreye bağlı olarak değişken sonuçlar gözlemlenebilmektedir (Bariro ve Ravina, 2021). Bu nedenle çalışma yangından bir ay sonra toprak solunumunun arttığını gösterse de, diğer yazarlar yangın olayından yaklaşık bir ay hatta bir veya iki yıl sonra toprak solunum değerlerinin düştüğünü bulmuşlardır (Alam ve diğerleri, 2020). Enzimatik aktiviteye ek olarak, iki yıl sonra orman yangınlarını olumsuz etkileyebilir (Semenenko ve diğerleri, 2020). Bu gerçek, iki ana farklı mikrobiyal grubun (mantarlar ve bakteriler) bolluğuna atfedilir, çünkü mantarlar yangın sonrası koşullarda biyokütle bakterilerden daha fazla katkıda bulunur, ihmal edilir (Wasis ve diğerleri, 2019). Buna göre tropikal bir iklimde orman yangınından 1-2 ay sonra bakteriyel biyokütlenin arttığı ve fungal biyokütlenin azaldığı tespit edilmiştir (Zhang ve diğerleri, 2019). Benzer şekilde, Akdeniz iklimi altındaki toprakta yangından bir ay sonra ve Cezayir ormanında orman yangınından iki yıl sonra toplam mikrobiyal biyokütlede azalma gözlenmiştir (Alam ve diğerleri, 2020).

Mikrobiyal çeşitlilik, yangının kısa vadeli etkilerine karşı çok hassastır. Yangının şiddeti, yangından iki ay sonra devam eden üç farklı Akdeniz ekosistemindeki toprak bakteri topluluklarının çeşitliliğini azaltmıştır (Alam ve diğerleri, 2020). Qin ve Liu, yangından altı ay sonra bakteri ve mantarların bolluğu ve çeşitliliğinin azaldığını ve mantarların yangına bakterilerden daha duyarlı olduğunu gösterdi (Qin ve Liu, 2021). Buna karşılık, Brown ve diğerleri yangından bir yıl sonra bakteri ve mantar toplulukları üzerinde bir etki bulmuşlardır ve bu etki bakteriler için mantarlardan daha fazladır (Brown ve diğerleri, 2019).

Toprak mikrobiyal toplulukları, tohumlama ve malçlama gibi farklı yangın sonrası yönetim uygulamalarından da etkilenebilir. Toprağı yakmak için malçlama malzemelerinin kısa süreli ikamesi, bakteri ve mantar aktivitesini arttırdı ve mantar biyokütlesini destekledi. Yangın sonrası kurtarma kayıt yöntemleri, N-halkası bakteri bolluğunu azalttı (Pereg ve diğerleri, 2018).

#### **2.5.4.2. Yangının Orta ve Uzun Vadeli Etkileri**

Yangının mikrobiyal topluluklar üzerindeki kısa vadeli olumsuz etkileri zamanla azalabilir veya mikrobiyal parametreler yangın öncesi değerlere (toprak geri kazanımı) ulaştığından ve bu nedenle mikrobiyal parametreler daha düşük değerler gösterdiğinden orta ve uzun vadede devam edebilir. Yanmamış toprakta, toprağın toparlanma süreci yangının yoğunluğuna, toprağın dayanıklılığına ve yangın sonrası koşullara bağlıdır. Toprağı stabilize eden ve C ve besin sağlayan bitki örtüsünün düşük veya orta dereceli yangınlardan sonra düzeldiği alanlarda, yangının etkisi 1 veya 2 yıl sonra kaybolabilir. Bununla birlikte, dolaylı toprak etkileri devam ettiğinde ve C ve besinlerin uzun vadeli mevcudiyeti önemli ölçüde azaldığında, örneğin bitki örtüsünün yavaş yenilendiği şiddetli yangınlarda veya erozyon sonrası eğilimli alanlarda Yangın, yangının toprak mikroorganizmaları üzerindeki olumsuz etkisidir (Pereira ve Tomaz, 2021).

Yan etkiler yangından 5-10 yıl sonra bile devam edebilir ve durum geri döndürülemez olabilir. Bu nedenle, toprak geri kazanımı gerçekleşmeyecektir (Moreno ve Ravina, 2013). Fernandez Garcia ve diğerleri, dört yıl boyunca yangının çam ekosistemleri üzerindeki etkisini, yangınların orta ve uzun vadeli etkilerini ve nadir görülen mikrobiyal özellikler (kütle, aktivite ve çeşitlilik) üzerindeki tahmin edilen yangınları inceleyen saha çalışmalarını bir orman yangınından sonra analiz edildi ve farklı sonuçlar gösterdi (Fernandez ve diğerleri, 2020).

Orta vadede mikrobiyal biyokütle belirli çevre koşullarına bağlı olarak artabilir veya azalabilir ancak genel olarak değerler uzun vadede iyileşir. Orman yangınlarından veya tahmin edilen yangınlardan 3-5 yıl sonra farklı yazarlar tarafından toprak

mikrobiyal biyokütlesi üzerinde çelişkili sonuçlar gözlemlenmiştir (Zhou ve ark. 2019).

Coward ve diğerleri tarafından bir orman yangınından 50 yıl sonra belirtildiği gibi, uzun vadede toprak mikrobiyal biyokütlesi geri dönüştürülebilir (Coward ve diğerleri, 2019). Orta vadede, Kang ve Park, tahmin edilen yangından üç yıl sonra mikrobiyal çeşitlilik ve zenginlikte bir azalma, b-proteobakterilerin ve sıkı bakterilerin nispi miktarlarında bir artış ve asidobakterilerde bir azalma gözlemlenildi (Kang ve Park, 2019).

Mantar topluluğunun çeşitliliği de orta vadede etkilenir. Castano ve diğerleri, orta tahminli bir yangından dört yıl sonra ektomikorhizal türlerin nispi bolluğunda bir azalma gözlemlendi (Castano ve diğerleri, 2020). Uzun vadede yangından 14 yıl sonra bakteri ve mantar çeşitliliğinde azalma gözlemlenmiştir (Hoffman ve Madrich, 2018). Bununla birlikte, diğer araştırmalar, yangından 15 yıl sonra bir çam ormanında çıkan yangından sonra orta ve uzun vadeli permafrost toprak mantar/bakteri oranlarında veya ektomikorhizal mantar çeşitliliğinde hiçbir fark bulamamıştır (Hart ve diğerleri, 2018).

Öngörülen yakma ve uzun süreli gübre uygulamalarının bir sonucu olarak bakteri ve mantar biyokütlesi üzerinde hiçbir etki ve bakteri topluluğu kompozisyonunun belirli filumlarında değişiklikler gözlemlenmedi (Carson ve Zeglin, 2018).

#### **2.5.4.3. Yangın Vejetasyon İlişkisi**

Ateş ve bitki örtüsü arasındaki ilişki, bitki örtüsünün bir kısmını veya tamamını yaktığında ortaya çıkar. Bu ilişkinin bir sonucu olarak, eğer ormanın tamamı yanmış ve kül olarak kalırsa, ateş ve bitki örtüsü arasındaki ilişkiyi derinlemesine incelemeye gerek yoktur. Ancak birçok durumda yangın bitki örtüsünü tamamen yakmaz, sadece kısmen zarar verir. Bu durumda zarar gören bitki örtüsünün ayakta kalıp kalmayacağına karar vermek zorlaşıyor (Castano ve diğerleri, 2020).

Ateş ve bitki örtüsü arasındaki ilişki araştırmacılar tarafından birçok farklı açıdan incelenmiştir. Ancak, bu çalışmalar çoğunlukla, örneğin ağaçların tepesinde Ateş

yakmak ağaçların dışındaki gövdeyi, dalları ve yaprakları yakmak ve yok etmek ve yanmış tomurcukların yüzdesi gibi şeyler dâhil yangın hasarlarına odaklanmıştır (Çanakçıoğlu, 1985). Buna paralel olarak son yıllarda hafif veya şiddetli ateşin neden olduğu bitki örtüsünün içsel değişimleri ile ilgili çalışmalar artmıştır. Bu konuda özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Avustralya'da yapılan çalışmalar birçok yönden aydınlatıcıdır (Brown ve Davis, 1973).

**Bitkiyi öldüren sıcaklık:** Ormandaki bitki örtüsünün ve özellikle bitki örtüsünün farklı kısımlarının (kök, gövde, yaprak, tohum vb.) yok olmasına neden olan sıcaklık tamamen farklıdır. Yangında, sıcaklığın öldürücü bir düzeye yükselmesi nedeniyle bitki gövdesinin alt kısmına yakın canlı hücrelerin ölmesi bitkinin ölümüne neden olur. Bu konuda öncelikle deri ve kambiyum tabakaları zarar görür. Çünkü bu kısımlar bitkinin dışına en yakın kısımlardır. Yüksek sıcaklıklarda sadece kambiyum zarar görse bile kavak ağacının kambiyuma yakın yıllık halkalarındaki elementler işlevlerini sürdüremezler.

Bitki örtüsünün canlı dokularının ölümüne neden olan sıcaklıkla ilgili bilgiler yeterli değildir. Protoplazmanın suya doymun olup olmaması, bitki türlerinin öleceği sıcaklıkta büyük bir etkiye sahiptir. Protoplazması fazla su içeren türler daha dayanıklıdır. Bu anlamda hem sıcaklık hem de süre önemlidir. Doku ölümü 49°C'de başlar. Bu sıcaklıkta bir saat veya daha fazlası ölmek için yeterlidir. 54°C'de ölüm dakikalar içinde gerçekleşir. 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, türler arasında direnç açısından farklılıklar olmasına rağmen, dokular genellikle hemen ölür. Yapılan arazi çalışmalarında bu sıcaklığın fide ölümü için en kritik sıcaklık olduğu tespit edilmiştir. Görünüşte aynı olan iki yangın diğerinden daha zararlı olabilir. Bunun nedeni, sıcaklığın süresi ve yoğunluğundaki küçük farklılıklardır. Doğal koşullarda zararın şiddetini etkileyen faktörler, yangının ağaçlara ve ormanlara etkisinin boyutu birçok faktöre bağlıdır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

**Ağaç türü:** Ağaç türlerinin ateşe karşı direnci çok farklıdır. Şiddetli yangınlar dışında iğne yapraklı türler, yaprak döken türlere göre yangına karşı daha hassastır.

**Ağaç yaşı:** Genç ağaçlar yangından en çok zarar görenlerdir. Bunu kuru dallı kozalaklı ağaçlar takip eder ve direğin tepesi yere ulaşır. Bu yaştan sonra risk giderek azalmaya

başlar. Öte yandan, herhangi bir kapak veya döküntünün olmadığı eski kabinlerde yangın riski en azdır. Türkiye'de yangın ve ağaç yaşı arasındaki ilişkiye dair herhangi bir araştırma bulunmadığından ve güncel orman yangını istatistiklerinde yeterli bilgi bulunmadığından, WECK'in (1950) Prusya ormanlarındaki bulgularının sonuçlarını sunmak faydalı olacaktır. WECK'e göre 1 ila 40 yaş arası çam ormanlarında yangın riski yüzde 33,3 iken, 40 yaş üstü çam ağaçlarında yüzde 8,7'ye düşüyor.

**Bitki örtüsünün başlangıç sıcaklığı:** Bir ormandaki yaprak sıcaklığı genellikle 20 ila 26 santigrat derece arasındadır. Ama doğal olarak bu sıcaklık 38 santigrat derecenin üzerine çıkabiliyor. Yaprığın ilk sıcaklığı yüksekse, yaprağı yok etmek için daha az ısı gerekir. Bu özellikle ateş kullanırken önemlidir. Ateşleme ısısı, doğru yanma süresi seçilerek ve aynı zamanda ateşten yararlanılarak kontrol edilebilir (Byram, 1948).

**Ağaçların hassas kısımlarının boyutu ve morfolojisi:** Genç ağaçlar kolayca ölür çünkü yapraklar ve küçük dallar yüksek sıcaklıklardan dolayı daha hızlı ısınır. Filizlerin ısı hasarına karşı direnci, boyutlarıyla doğrudan ilişkilidir. Büyük tomurcuklar tüylü yapraklarla korunursa aşırı ısı üretirler ve tomurcuk hücrelerinin ölümcül bir şekilde kalabalıklaşmasına neden olurlar (Byram, 1948).

**Kabuk kalınlığı ve özellikleri:** Ağacın en önemli koruyucu mekanizması kabuğudur. Kabuk, aşırı ısının üretildiği toprak yüzeyinde özellikle önemlidir. Kabuk harika bir koruyucu örtüdür (yalıtım). Koruyucu özellikleri genellikle yapısına, bileşimine, yoğunluğuna, nem durumuna ve kalınlığına bağlıdır. Bu yönler ayrıca türe, büyüme gücüne ve bazı durumlarda mevsime bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Ancak bu konuda yeterli bilgilendirici bilgi bulunmamaktadır. Diplerinde kalın kabuk tabakası bulunan türlerin, öldürücü sıcaklıkların kabuk ve kambiyum tabakalarına aktarılmaması şartıyla çok yüksek sıcaklıklara dayanabildikleri tespit edilmiştir. Genellikle yaşlı insanlar, kabukluların kalınlığı nedeniyle ateşe karşı daha dayanıklıdır.

**Dalların özellikleri ve büyüme:** Diğer özelliklerinin yanı sıra, doğal hızlı budama yeteneği sergileyen ağaçlar uzun, açık saçaklar oluşturur ve çok az yangın hasarı alır. Çünkü tek gövdelerin çevresinde yangının şiddeti ve süresi hemen azalır. Öte yandan

alçak ve sık çatılı ağaçlar, özellikle yanıcı liken ve yosunlarla kaplı ağaçlar yangından daha çok etkilenir. Örneğin, ladin birçok kuru dalı olmasına rağmen, yatakta ot büyümesi için uygun olmadığı ve nemli alanlarda büyüdüğü için kuru yerlerden kaçınarak yangın riski için çam ve selvi'ye göre daha iyi konumlanmıştır.

**Köklü karakterler:** Dış tabakası ince olan kökler toprak yüzeyine yakın ise yangından daha fazla etkilenir. Çam, ladin ve kavağın yüzey kökleri genellikle toprak ve örtü yangınlarından zarar görür.

**Mineral toprağı kaplayan organik maddeler:** Toprak organik maddesinin kalınlığı ve kalitesi, özellikle sığ türlerde, örtü yangını nedeniyle köklere verilen hasarın ciddiyetini belirler. Alt tabaka tabakası oldukça kalınsa ve alt tabakanın alt kısımları yangında yanmıyorsa koruyucu özelliğinden dolayı kökleri zarar görmekten koruyabilir. Bununla birlikte, alt tabakanın tamamı yakılırsa, koruyucu bir özellik yerine, bir ısı kaynağı haline gelir, toprağın sıcaklığını yükseltir ve kökler için daha zararlı hale getirir. Bu nedenle kuraklık dönemlerinde bataklıklardaki yangınlar tehlikelidir.

**Yangın yaprakların özelliğı:** Yaprak dökmeyen ağaçlar, özellikle kozalaklı ağaçlar, yaprak döken türlerden daha hızlı alev alır. Bu bakımdan iğne yapraklı ve yapraklı türler arasında önemli farklılıklar vardır. Ağaçların yakınındaki kaba yanıcı maddeler de hasarı artırır. Ancak şiddetli kuraklık sırasında bu farklılıklar en aza iner ve tür ciddi şekilde yanar. Ancak geniş yapraklı türlerde yangın şiddetli kuraklık dışında hızla gelişemez.

Büyümenin mevsimselliğı hasarı üç şekilde etkiler:

1. Baş üstü tavanın toplam nem içeriğı üzerinde büyük bir etki ile taç tutuşmasını düzenler.
2. Gelişmekte olan genç ağaçlar yangın hasarına karşı daha hassastır. Bu nedenle vejetatif dönemde büyüyen dallar ve kambiyum, dinlenme dönemine göre daha fazla zarar görür.

3. Mevsime göre değişen kök besinin saklama durumu da bu alanda önemli rol oynar. Buna göre, ağaçlar, yiyecek depolamanın az olduğu hızlı büyüme dönemlerinde tepe yangınlarına karşı daha az hassastır.

Yukarıda belirtilen tüm faktörler, öldürücü ısının ağaçların hayati dokuları üzerindeki etkisinde büyük rol oynamaktadır. Ağaçların aynı şiddetteki yangında daha az zarar görmesi veya ölmesi yukarıdaki faktörlerin birlikte veya ayrı ayrı yapılmasının sonucudur.

#### **2.5.4.4. Yangın Böcek İlişkisi**

Yangınların bitki örtüsüne ve özellikle ağaçlara verdiği en önemli zararlardan biri, zarar gören ağaçların çeşitli böceklere karşı direncinin azalmasıdır. Çünkü yangından zarar gören ağaçlar, uçlarının yanması ve gövdenin yere yakın kısmındaki kambiyum tabakasının aşırı ısınması nedeniyle ölür ve zayıflar. Bu tür ağaçlar, her türlü ikincil haşerenin büyümesi için en iyi ortamdır.

Ülkemizde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalar sonucunda Buprestidae, Cerambycidae, Curculionidae ve Scolytidae familyalarının da içinde bulunduğu çok çeşitli böcek türlerinin yangında zarar gören kozalaklı ağaçlara yerleştiği ve zarar gördüğü tespit edilmiştir. (1944; Çanakçıoğlu, 1956; Baş, 1965).

Böceklerin saldırısına uğrayan ağaçların kalitesinin bozulduğu ve kullanım olanaklarının azaldığı ya da en azından önemli ölçüde (%10-20) değerini kaybettiği bilinmektedir. Bu nedenle yangın sonrası alanda yapılacak incelemeler sonucunda tamamen ölen ağaçlar derhal kesilerek işlenir ve ormandan uzaklaştırılır. Yanmış ağaçların bölmeden kaldırılmasında 15 günlük bir gecikme bile böceklerin ağaçlara gelmesi için yeterlidir (Baş, 1965).

#### **2.5.4.5. Yangın ve Hastalık Arasındaki İlişki**

Yangının bitki örtüsüne ve özellikle ağaçlara verdiği en önemli zararlardan biri de yangından zarar gören ağaçların çeşitli hastalıklara ve mantarlara karşı çoğalmasındır.



Araştırma sonucunda ölü veya ölmekte olan ağaçların kök ve taç kısımlarına çeşitli hastalık ve mantarların yerleştiği tespit edilmiştir. Bu açıdan zararlı olan mantar türleri genellikle Agaricaceae, Polyporaceae ve Thelephoraceae familyalarındadır (Baş, 1965).

Genellikle yangın nedeniyle oluşan yanık alanlar kendi haline bırakılırsa kayıp alan olarak kabul edilmelidir. Türkiye'nin Akdeniz ve Ege bölgelerindeki antik yangın yerleri bu hipotezi doğrulamaktadır. Çünkü hedefi oluşturan orman örtüsü yangınla yok oldu ve ormanın büyümesini engelleyen maki oluşumu bu alanlara geldi. Bununla birlikte, yukarıda belirtilen maki bitki örtüsünün erozyonu önlemede faydalı bir rolü vardır. Aksi takdirde özellikle sarp alanlarda ormanın kaldırılmasıyla oluşan erozyon nedeniyle önemli toprak kayıpları meydana gelir.

Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde yanan ormanlık alanlara ilk gelen bitkiler üzerinde yapılan çalışmalar (Baş, 1965) sonucunda çok çeşitli bitki türleri tespit edilmiştir. Bu konuda yakılan alanlara bir yıl önce gelen ilk bitki türleri esas alınmıştır. Bunlar arasında *Epilobium* spp. Karakteristik bir öncü bitki olarak yangın bölgelerinde görünür. Ayrıca *Lathyrus aphaca*, *Linum narbonense*, *Sonchus arvensis*, *Medicago minima*, *Trigonella corniculata*, *Trifolium angustifolium* ve *Carex* spp. *Anthyllis tetraphylla* ve *Vicia* spp. Lar nehrinin kenarı; *Aria capillaris*, *Hypericum perforatum* ve *Astragalus* spp. Daha çok sırtlarda ve güney yamaçlarda görüldü.

İkinci ve üçüncü vejetasyon dönemlerinde yanık alanlar tamamen maki elementlerle kaplanır. Bu anlamda *Cistus villosus*, *Arbutus andrachne*, *Pictacia terebinthus*, *Erica arborea*, *Phillyrea media*, *Ceratonia siliqua*, *Quercus coccifera* gibi maki elemanları dikkat çekmektedir.

#### **2.5.4.6. Yangın Mikro-İklim İlişkileri**

Bilindiği gibi bir yerdeki küçük bir iklim değişikliği, bazı koşullar altında tüm bitki örtüsünün değişmesine yol açmaktadır. Bu gibi durumlarda, iğne yapraklı ormanların yerini iğne yapraklı ormanlar alabilir ve bunların yerini otlak veya çalı bitki örtüsü alabilir. Bu durum tüm harekât planında değişikliğe neden olabilir. Birçok araştırma ve deney sonucunda ormanın bulunduğu habitatın yerel (yerel) iklimi etkilediği tespit

edilmiştir. Bu nedenle orman yangınlarının mikro iklim üzerindeki etkisini araştırmadan önce, orman varlığının mikro iklim üzerindeki etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bundan sonra yangın nedeniyle bu etkenlerden hangilerinin ortadan kalktığı daha iyi anlaşılacaktır. Orman ekosisteminin yerel iklim üzerindeki etkileri bu alanda yapılan çalışmaların sonuçlarına bakılarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir. Ormanın hava ve toprak sıcaklığına etkisi Orman, tepenin çatısından gelen güneş ışınlarının çoğunu emer. Bir kısmı fotosentez ve terleme için kullanılır. Örneğin Kaliforniya'da yapılan bir araştırmaya göre çam ağacının tepesi yani iğne yaprakları tarafından emilen güneş enerjisinin yaklaşık 1,3 g Cal/cm<sup>2</sup>/dk olduğu ve bunun %61'inin beyne iletiildiği bulunmuştur (Chappell, 1975).

Yani orman, güneş enerjisinin toprağa ve toprak üstündeki havaya geçişini engeller. Sonuç olarak, yazın özellikle gündüzleri ormanın havasının ve toprağının çıplak zeminden daha soğuk olmasını sağlar. Gece ve kış aylarında radyasyon (radyasyon) ile aşırı enerji kaybını önleyerek, orta ve aşırı sıcaklıkları yumuşatır. Bu nedenle ormanın hava ve toprak sıcaklığı çıplak araziye göre yazın daha düşük, kışın daha yüksektir. Orman altındaki maksimum hava sıcaklığının çıplak alanlara göre yazın 7.0°C farklı (daha düşük), kışın ise 2.8°C olduğu saptanmıştır (Irmak, 1970). Bu durumda yapılan ölçümlere göre, yaz aylarında orman toprağının yüzeyindeki maksimum günlük sıcaklığın 28,3 santigrat derece düştüğü tespit edilmiştir (Kittredge, 1948). Almanya'da yapılan ölçümlerde sarıçam ormanı topraklarında 10 cm derinlikte ortalama maksimum yaz sıcaklığının çıplak zemine göre 8,5°C daha düşük olduğu saptanmıştır (Chappell, 1975).

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. MATERYAL VE YÖNTEM

##### 3.1.1. Çalışma Alanının Konumu

Karabük ili Ödemiş köyünde gerçekleşen yangın alanının görünümü yangın olmadan ve yangın olduktan sonraki yangın sahasının Google Earth programı ile edinilmiş uydu görüntüleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yangın Sahasının Uydu görüntüleri (A) Yangın öncesi, ( B) Yangın sonrası.

##### 3.1.2. Toprak Örneği Alım Metodu

Toprak örneği çalışma alanı olarak belirlenen alandan yanmış bölgenin sınırı boyunca, yanan ve benzer özellikteki yanmamış alandan karşılıklı olarak alınmıştır. Bölge coğrafi olarak düzensiz yapıda olduğu için örnekleme buna göre yapılmıştır. Her iki alandan da 20 noktadan 0-30 cm derinlikten bir kürek yardımıyla örnekler alınmıştır.

Çalışma amacına göre yangın gören ve görmeyen alanların zamana bağlı olarak besin içeriklerinin değişiminin belirlenmesi amacıyla 6 aylık Süre arayla iki kez örnek alınarak analiz yapılmıştır.

1. Birinci örnekleme, 7 Nisan 2022 tarihinde yapılmıştır.
2. İkinci örnekleme, 2 Kasım 2022 tarihinde yapılmıştır.

### 3.1.3. Toprak İçerik Analiz Yöntemi

Toprak analizi TÜRKAK tarafından akredite edilmiş, Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Toprak Yaprak Analiz Laboratuvarları'nda (Gaziantep) yaptırılmıştır. Analizlerde kullanılan yöntemler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Toprak analizleri ve kullanılan yöntemler.

Analiz adı	Analiz metodu	Birim
Satürasyon	TS8333	%
PH	Richards 1954-Modifiye edilmiş	
EC	Richards 1954-Modifiye edilmiş	Ds/m
Tuz	Richards 1954-Modifiye edilmiş	1,6
Kireç	TS EN ISO 10693-Kalsimetre Metodu	%
Organik madde	TS 8336 Modifiyeli Walkley Black	%
Fosfor	TS ISO11263 Olsan vd.(1954)	Ppm
Potasyum	TSV8341	Ppm

### 3.1.4. Örnek Topraklarından Mikrobiyal İzolasyon Yöntemi

Toprak örnekleri mikrobiyal izolasyonlar Başkaya ve Kocabaş (2016) tarafından belirtilen yöntemle yapılmıştır. Buna göre, alınan toprak örneklerinden 10 g'ı 20 mL % 0.9 NaCl izotonik çözeltilde 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra toprağın çökmesi beklenmiş ve süpernatant kısmı ayrılmıştır. Önceden hazırlanan PDA (Potato Dextrose Agar) 100 µL örnekler her bir örnek için üç paralel olacak şekilde yayma ekimleri yapılarak, 28°C'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası, etrafında

temiz alan oluşturan mikroorganizmalar saflaştırılmış ve ve +4 °C de diğer işlemlerin uygulanması için muhafaza edilmiştir.

### 3.1.5. Bakterilerden Dna İzolasyonu

Bakteri üzerinden örneklerin DNA izolasyonu için EurX GeneMATRIX Bacterial & Yeast DNA izolasyon kiti (Polonya) kullanılmıştır. İlgili kitin kullanma kılavuzunda belirtilen izolasyon prosedürünü takip edilmiştir. DNA izolasyonundan sonra elde edilen DNA'ların miktar ve saflığını kontrol etmek için Thermo Scientific Nanodrop 2000 (USA) cihazında spektrofotometrik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.6. Genomik DNA için Kullanılan Primerler ve PCR Yöntemi

PCR çalışmasında universal primer olarak 27F – 1492R primerleriyle (Tablo ...), tür tayini için hedeflenen gen bölgeleri çoğaltılmıştır. Kullanılan primer dizileri ve PCR koşulları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.2. Moleküler çalışmalarda kullanılan primerler ve gen dizilimi.

Primer adı	Primer dizilimi
27F	5' AGAGTTTGATCMTGGCTCAG 3'
1492R	5' TACGGYTACCTTGTTACGACTT

PCR çalışmalarında sırasında kullanılan solüsyon bileşenleri Çizelge 3.3'de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. PCR çalışmalarında kullanılan solüsyon bileşenleri.

Bileşen	Stok Kons.	Reak. Kon.
PCR Buffer	10X	1X
MgCl <sub>2</sub>	25mM	1,5 mM
dNTP mix	20 mM	0,2 mM
F. Primer	10 µM	0,3 µM
R. Primer	10 µM	0,3 µM
Taq DNA Polymerase	5U/ µl	2 U
DNA template		3 µl
PCR grade su ile 35 µl'ye tamamlanmıştır		

PCR koşulları hakkında bilgiler Çizelge 3.4'te belirtildiği gibi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.4. PCR koşulları.

Döngüler	Sıcaklık (°C)	Süre	Döngü Sayısı
İlk Denatürasyon	95	5 dakika	1
Denatürasyon	95	45 saniye	30
Bağlanma	57	45 saniye	
Uzama	72	60 saniye	
Son Uzama	72	5 dakika	1
Bekleme	4	∞	

PCR (kyratec thermocyclers) ile elde edilen amplifikasyon sonuçları 1x TAE tampon ile hazırlanan %1,5 agaroz jelde 100 volt akımda 90 dakika elektroforezde yürütüldü ve ethidium bromide boyası kullanılarak UV ışığında görüntüsü alınmıştır. Yaklaşık 1470 bazlık bölgeyi çoğaltmak için tek aşamalı PCR işlemi gerçekleştirilmiştir. PCR reaksiyonunuz **Solis Biodyne (Estonya) FIREPol® DNA Polymerase** Taq polimeraz enzimiyle gerçekleştirilmiştir. Örnekleriniz için PCR sonrasında agaroz jelde tek bant elde edilerek, PCR işlem PCR ürünü saflaştırma aşamasında, elde edilen tek bant örnekler için **MAGBIO "HighPrep™ PCR Clean-up System"** (AC-60005) saflaştırma kiti kullanılıp, kitin prosedürlerine uyarak saflaştırılmıştır.

Sanger Dizileme örnekleriniz için **ABI 3730XL** Sanger dizileme cihazı (**Applied Biosystems, Foster City, CA**) ve **BigDye Terminator v3.1 Cycle** Dizileme Kiti kullanılmıştır (**Applied Biosystems, Foster City, CA**). 1492R primerleriyle elde edilen okumalar, bir konsensus dizi oluşturmak amacıyla kontig haline getirilmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde **BioEdit** yazılımı içinde **CAP contig** assembly algoritması kullanılmıştır.

### 3.2. Metagenom Analiz Yöntemi

Metagenom analizin örneklerin hazırlanması ve analiz olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiş ve aşamaların deney adımları şu şekildedir:

1. Örneklerin Hazırlanması
  - 1.1. Kütüphane oluşturmak için örneklerden DNA izolasyonu ve kalite kontrolü yapılır.
  - 1.2. Kütüphane Oluşturma Kütüphane oluşturmak için, 16S rRNA geni spesifik primerler ile çoğaltılır sonra saflaştırma yapılır. İndex PCR aşamasında, illumina ikili indeksler ve adaptörler Nextera XT index kiti kullanılarak eklenir ve sonra saflaştırma yapılır. Real time PCR ile oluşturulan kütüphanelerin konsantrasyonu ölçülerek 4nM'a seyreltilerek normalizasyonu yapılır. Normalizasyonu yapılmış olan örnekler havuzlama (pooling) yöntemi ile birleştirilir.
  - 1.3. Sekanslama Kütüphane hazırlandıktan sonra sequencing by synthesis yöntemi ile her yeni d NTP eklendiğinde, eklenen bazın floresan ışıması optik olarak gözlemlenip kaydedilir.
  - 1.4. Ham Data İşlenmesi Sekanslama sonrasında üretilmiş olan data, analiz için ham dataya (FASTA formatına) dönüştürülür.
2. Analiz Adımları
  - 2.1. Ham Data Kalitesinin Kontrolü Fastqc dosyalarının kalitesinin kontrolü. (FastQC) Read kalitesinin kontrolü. (QIIME2)
  - 2.2. Kimerik Okumaların Belirlenmesi (DADA2)
  - 2.3. Filtreleme Phred skorları 20'den küçük olan readlerin, primer ve barkodların filtrelenmesi. Kimerik okumaların filtrelenmesi. (DADA2)
  - 2.4. Taksonominin Belirlenmesi Her örnek için taksonomik türlerin belirlenmesi. (QIIME2)
  - 2.5. Çeşitlilik Analizi Alfa, Beta Seyreltme (Rarefaction) Analizi. (QIIME2)

\*Alfa Seyreltme Analizi iki örnek ve üzerine, Beta Seyreltme Analizi üç örnek ve üzerine uygulanabilir.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR

#### 4.1. TOPRAK ANALİZ SONUÇLARI

Yanmamış alanlarda farklı dönemlerde toprak verimlilik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. Yanmamış alanın toprak sınıfının killi-tınlı bir yapıda olduğu görülmüştür. Nisan ayında alınan topraklardaki Saturasyon (suyla doygunluk) oranı %54,20 ve Kasım ayında alınan toprak örneğinde ise %46,20 olduğu bulunmuştur. PH 7,72`dan 7,55`a düştüğü ve EC miktarının ise Nisan ayında 1,72 dS/m ve Kasım ayında ise 1,63 dS/m olduğu görülmüştür. Topraktaki kireç miktarının Nisan 2022 döneminde %24,80 olduğu ve Kasım 2022 döneminde ise %26,38 olduğu belirlenmiştir. Topraktaki organik madde miktarları Nisan ayında %5,36 iken, Kasım 2022 döneminde %6,97 olarak elde edilmiştir. Fosfor miktarındaki değişim ise Nisan 2022`de 1,80 ppm olarak elde edilmiş ve bu oran Kasım 2022`de 0,60 ppm olarak belirlenmiştir. Potasyum miktarı Nisan 2022`de 97,60 ppm iken Kasım 2022`de 111,50 ppm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Yanmamış alanlarda yapılan toprak analiz sonuçları.

Analiz adı	Nisan 2022	Kasım 2022
Saturasyon	%54,20	%46,20
PH	7,72	7,55
EC	1,72 dS/m	1,63 dS/m
Tuz	0,04 dS/m	0,05 dS/m
Kireç	%24,80	%26,38
Organik madde	%5,36	%6,97
Fosfor	1,80 ppm	0,60 ppm
Potasyum	97,60 ppm	111,50 ppm



Yanmış alanların toprak testlerinden elde edilen sonuçları Çizelge 4.2’de sunulmuş olup Saturasyon %56,10’dan %47,30’a düştüğünü, pH 7,62`den 7,79`a artmış, EC 1,72 dS/m`dan 0,73 dS/m`a, Organik madde miktarının 2,31’den 2,45’e arttığını göstermektedir, Tuz miktarı 0,06’ ds/m dan 0,02’ ds/m ye, Fosfor 0,90 ppm’den 2,60 ppm’e artmış ve Potasyum 283,30 ppm’den 227,30 ppm’e düşmüştür.

Çizelge 4.2. Yanmış alanlarda yapılan toprak analiz sonuçları.

Analiz adı	Nisan 2022	Kasım 2022
Saturasyon	%56,10	%47,30
PH	7,62	7,79
EC	1,72 dS/m	0,73 dS/m
Tuz	0,06 dS/m	0,02 dS/m
Kireç	%24,78	%22,77
Organik madde	%2,31	%2,45
Fosfor	0,90 ppm	2,60 ppm
Potasyum	283,30 ppm	227,30 ppm

#### 4.2. EurX GeneMATRIX Bacterial & Yeast DNA İZOLASYON KİTİ SONUÇLARI

Yanmış ve yanmamış alanlardan alınan Toprak örneklerinde yapılan bakteriyel izolasyonlar sonucu en sık karşılaşılan 5 er izolatın DNA analizleri yapılarak tür teşhisleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre yanmamış alanlardan elde edilen türlerin listesi Çizelge 4.3. ve yanmamış Çizelge 4.4.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yanmamış alanlardan elde edilen izolatların adları ve taksonomik durumları.

İzolat Kodu	Tür adı	Familya	Şube
2B2.YM	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pseudomonadaceae	Proteobacteria
2B3.YM	<i>Pandoraea oxalativorans</i>	Burkholderiaceae	Pseudomonadota
2B1.YM	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Xanthomonadaceae	Pseudomonadota
1B1.YM	<i>Pandoraea oxal</i>	Burkholderiaceae	Pseudomonadota

Çizelge 4.4. Yanmış alanlardan elde edilen izolatların adları ve taksonomik durumları.

İzolat Kodu	Tür adı	Familya	Şube
1B1.Y	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pseudomonadaceae	Proteobacteria
1B5.Y	<i>Serratia marcescens</i>	Burkholderiaceae	Pseudomonadota
2B1.Y	<i>Serratia marcescens</i>	Burkholderiaceae	Pseudomonadota
2B6.Y	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Xanthomonadaceae	Pseudomonadota

Yanmamış alanlardan alınan örneklerden DNA izolasyon testi sonucu. Örneğin dört bakteri elde edildi. *Pseudomonas aeruginosa*, *Pandoraea oxalativorans*, *Stenotrophomonas maltophilia* ve *Pandoraea oxal* sırasıyla Pseudomonadaceae Burkholderiaceaeö, Xanthomonadaceae ve Burkholderiaceae ilişkilidir, bu bakteriler hakkında daha fazla bilgi ikinci bölümde verilmektedir.

### 4.3. METAGENOM ANALİZ SONUÇLARI

#### 4.3.1. Yanmamış ve Yanmış Alanların Analiz Sonuçları

Yanmış ve yanmamış alanlardan iki farklı zamanda alınan örneklerin metagenom analiz sonuçları taksonomik olarak farklı düzeylerde aşağıda belirtilmiştir.

##### 4.3.1.1. Mikrobiyal Faunanın Âlem Seviyesinde Sonuçları

Yanmış ve yanmamış alanlardan alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre âlem seviyesinde örneklerin zamana bağlı olmaksızın %99'dan fazla Bacteria alemi içerisinde yer aldığı görülmüştür. Yanmamış alanlarda mikrobiyal popülasyon Nisan 2022 döneminde %99,42 oranında Bacteria alemi ve %0,58 düzeyinde diğer grup içerisinde yer alırken, bu oran Kasım 2022 döneminde Bacteria aleminde %99,93 seviyesine ve %0,07 düzeyinde diğer grup içerisinde yer almıştır.

Yanmış alanlara bakıldığında ise; Nisan 2022 döneminde %99,93 Bacteria aleminde ve %0,07 diğer grubunda yer alan mikroorganizmalar, Kasım 2022 dönemine

gelindiğinde %99,99 oranında Bacteria alemine ve %0,01'lik kısımda ise diğer grupta yer alan bir dağılım göstermektedir (Çizelge 4.5.)

Çizelge 4.5. Yanmamış ve yanmış âlem seviyesi için taksonomi tablosu.

Alem Seviyesi	Yanmamış Alan		Yanmış Alan	
	Nisan 2022	Kasım 2022	Nisan 2022	Kasım 2022
<b>Bakteriler</b>	%99,42	%99,93	%99,93	%99,99
<b>Diğerleri*</b>	%0,58	%0,07	%0,07	%0,01

#### 4.3.1.2. Yanmamış Alanlardan Elde Edilen Mikrobiyal Faunanın Şube Düzeyinde Dağılımı

Şube Seviyesinde mikroorganizmaların zamana göre gruplandırılmalarına bakıldığında, en yaygın olarak bulunan şubelerin Actinobacteria, Proteobacteria, Planctomyota ve Acidobacteriota olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Yanmamış alanlarda mikrobiyal faunanın şube seviyelerine göre dağılımları.

	Gram Boyama Grubu	Nisan 2022 Dönemi	Kasım 2022
<b>Actinobacteriota</b>	Gram +	%23.67	%14.51
<b>Proteobacteria</b>	Gram -	%16.83	%16.24
<b>Planctomycetota</b>	Gram -	%16.30	%21.14
<b>Acidobacteriota</b>	Gram -	%10.02	%18.36
<b>Chloroflexi</b>	Gram +	%7.59	%3.61
<b>Bacteroidota</b>	Gram -	%5.76	%6.08
<b>Verrucomicrobiota</b>	Gram -	%4.23	%7.20
<b>Gemmatimonadota</b>	Gram -	%3.70	%3.76
<b>Firmicutes</b>	Gram +	%3.45	-
<b>Cyanobacteria</b>	Gram -	-	%2.07
<b>Diğerleri*</b>		%8.45	%7.04

\*Diğerleri Bölümü %2 değerinin altında kalan değerlerin toplanmasıyla oluşturulmuştur.

Yanmamış alanlarda 6 ay içerisinde bakteriyel grupların Proteobacteria şubesi dışında, oranlarının önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Actinobacteriota grubu bakterilerin oranı Nisan 2022 döneminde %23,67 oranında iken, Kasım 2022 döneminde ise

%14,51'e düşmüştür. Proteobacteria şubesinde yer alan bakteriyel popülasyonun Nisan 2022 döneminde %16,83 iken, Kasım 2022 döneminde ise %16,24 oranına gerilediği görülmüştür.

Gram negatif bakterilerin yer aldığı Planctomycetota şubesinde, Nisan 2022 döneminde %16,30 iken, Kasım 2022 döneminde bu oranın %21,14'e yükseldiği görülmüştür. Acidobacteriota şubesinde yer alan bakteriyel yükün Nisan 2022 döneminde %10,02 olduğu, Kasım 2022 döneminde ise %18,36'ya yükseldiği görülmüştür. Gram pozitif bir bakteri olan Chloroflexi bakterisi Kasım ayında Nisan ayına göre ciddi oranda azalarak yüzde 7,59'dan 3,61'e düşmüş. Ancak Bacteroidota altı ayda 5,76'dan 6,08'e küçük bir yüzde artış gösterdi. Nisan ayında Verrucomicrobiota bakterisi %4,23 oranında bulunurken, Kasım'de bu oran %7,20'ye yükselmiş. Ancak yine Gemmatimonadota bakterileri biraz artmış. Nisan %3,70'ten Kasım'de %3,76'ya kadar değişmiş. Bu arada Kasım'de yüzde göstermeyen Firmicutes Nisan'de ve Nisan'de göstermeyen Cyanobacteria bakterisi ise Kasım'de görülmüştü. Bahsi geçen bakterilerin yanı sıra, her iki döneme ait numunelerde, yüzdelerinin düşük ve sayılarının çok olması nedeniyle tabloda yer almayan bir takım başka bakteriler de yer almış.

#### 4.3.1.3. Yanmış Alanlardaki Mikrobiyal Fauna Şube Dağılımı

Yanmış alanlarındaki mikroorganizmaların zamana göre dal düzeyinde gruplanmasına bakıldığında en sık görülen filumların Planctomycetota, Proteobacteria, acidobacteriota ve Actinobacteriota olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. Yanmış şube seviyesi için taksonomi tablosu.

Şube Dönemi Adları	Gram Boyama Grubu	Nisan 2022 Dönemi	Kasım 2022
Planctomycetota	Gram -	%20.05	%25.65
Proteobacteria	Gram -	%20.47	%19.97
Acidobacteriota	Gram -	%7.34	%15.09
Actinobacteriota	Gram +	%26.13	%13.94
Verrucomicrobiota	Gram -	%6.25	%6.81
Bacteroidota	Gram -	%3.87	%6.67

<b>Gemmatimonadota</b>	Gram -	%2.7	%2.63
<b>Chloroflexi</b>	Gram +	%4.69	%2.54
<b>Myxococcota</b>	Gram -	%2.36	
<b>Diğerleri*</b>		%6.15	%6.7

\*Diğerleri Bölümü %2 değerinin altında kalan değerlerin toplanmasıyla oluşturulmuştur.

Yanık alanlarındaki bakteri gruplarının oranının 6 ay boyunca önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Planctomycetota grubu bakteri oranı Nisan 2022'de %20.05 iken Kasım 2022'de %25.65'e yükselmiş. Nisan ayında Proteobacteria bakterisi %20.47 oranında bulunurken, Kasım'de bu oran %19.97'ye düştü. Gram-negatif bakteri Acidobacteriota Nisan ayında %7,34'ten Kasım ayında %15,09'a yükseldi. Actinobacteriota gram pozitif bakteri oranı altı ayda %26,13'ten %13,94'e düştü. Aynı zamanda Verrucomicrobiota bakterisi Kasım ayında çok az bir değişiklik ile %6,25'ten %6,81'e çıktı. Bacteroidota bakterisi oranı Nisan ayında %3,87'den Kasım ayında %6,67'ye yükseldi. Gemmatimonadota bakterisi Nisan ayında %2,7 iken Kasım ayında bu oran %2,63 oldu. Ayrıca gram pozitif Chloroflexi bakterisi oranı Nisan ayında %4,69'dan %2,54'e düştü. Myxococcota bakterisi Nisan ayında %2,36 oranında bulunurken, Kasım ayında görülmemektedir.

## BÖLÜM 5

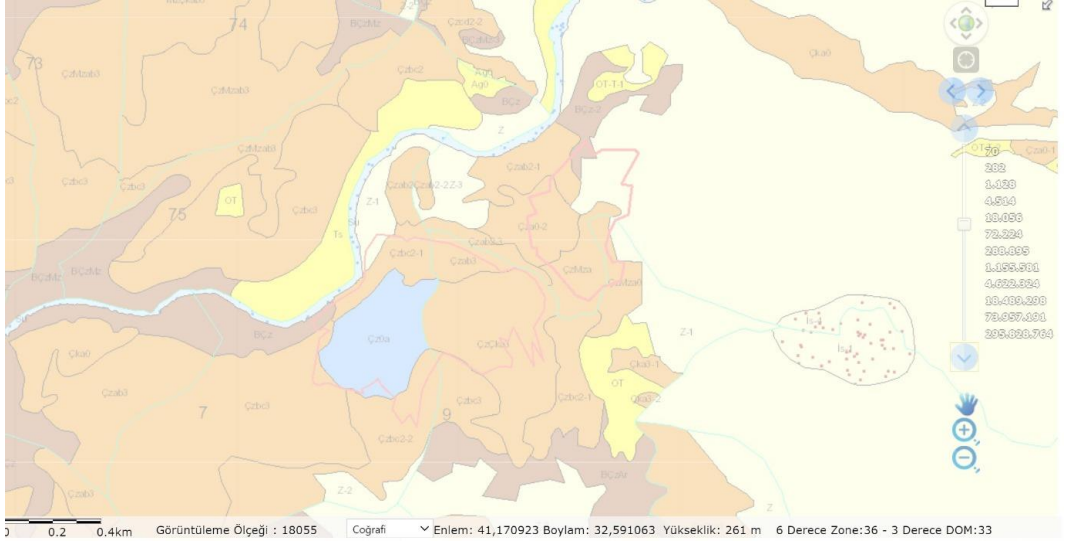
### TARTIŞMA VE SONUÇ

Orman yangınları, orman ekosistemlerine büyük zararlar verebilen doğal afetlerdir. Bu yangınlar, bitki örtüsünü tahrip eder, toprak erozyonuna neden olur ve biyoçeşitliliği olumsuz etkileyebilir. Yangınların mikrobiyal fauna üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir (Alcañiz ve ark., 2018; Whitman ve ark., 2019). Orman yangınlarının toprak mikrobiyotası üzerine etkileri direkt ve dolaylı olarak ele alınmalıdır. Direkt etkileri, oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle ölümler ve habitatta meydana gelen kayıplardır. Dolaylı meydana gelen değişimler ise toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik yapısındaki değişimlerin yanı sıra bitkisel vejetasyonda değişimlerdir (Köster ve ark., 2021). Orman yangın türleri de toprak mikrobiyal faunası üzerinde etkileri olduğu belirtilmektedir. Buna göre mikrobiyal fauna, örtü ve toprak yangınlarında, tepe yangınlarına kıyasla daha fazla etkilenmektedir (Gladkov ve ark., 2020). Orman yangınları, toprak mikroorganizmalarının topluluk yapısını değiştirerek orman süksesyonunu ve restorasyonunu etkiler (Lou ve ark., 2023).

Yürütlen bu tez çalışması, Karabük ilinde Ödemiş köyü civarlarında, Karabük Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Keltepe Orman İşletme Şefliğine bağlı 1 ve 7 no'lu bölmelerde, amenajman planlarına göre Kızılçam ve Kızılçam-Meşe karışık meşcerelerinde (Çzbc2-1, Çzbc2-2, Çzbc3 ve ÇzMza) (Şekil 5.1) 5 Ağustos 2021 tarihinde meydana gelmiştir. Yangın alan büyüklüğü iki alanda toplam 82,4 ha'lık alanda etkili olmuştur (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Karabük İlinde 2021 yılında meydana gelen orman yangınında etkilenen meşcerelerin uygu görüntüsü.



Şekil 5.2. Karabük İlinde 2021 yılında meydana gelen orman yangınının gerçekleştiği meşcere haritası.

Yapılan çalışmada, yangından zarar görmüş ve görmemiş alanlardan, 8 ay ve 15 ay sonra örnekler alınarak toprak özellikleri incelenerek karşılaştırılmış, yapılan metagenom analizleri toprak mikrobiyomundaki farklılıklar ve değişimler araştırılmaya çalışılmıştır. Mikrobiyal fauna, toprakta bulunan mikroskopik organizmalardan oluşur ve toprak sağlığı, bitki gelişimi ve karbon döngüsü gibi ekosistem işlevleri için kritik öneme sahiptir.

Toprak analiz sonuçlarına göre iki dönemde yanmış ve yanmamış alanlarda organik madde açısından çok fazla bir farklılık olmadığı, Nisan 2022 döneminde yanmamış alanlarda organik madde miktarının %5,36 ve yanmış alanlarda ise %2,31 olduğu

görülmüştür. Buna göre yanmış alanlarda 8 ay içerisinde yanan madde miktarına bağlı olarak organik madde miktarının ciddi oranda azalmış olduğu sonucu elde edilmiştir. Kasım 2022’de yapılan toprak analiz sonuçlarında, yanmamış alanlarda organik madde miktarı %6,97 olarak belirlenmiş ve yanmış alanlarda ise organik madde miktarının %2,45 olduğu tespit edilmiştir. Zamana bağlı olarak yanmış alanlarda organik madde miktarının nispeten arttığı gözlemlenmiştir. Cobo-Díaz ve ark., 2014’te İspanya’da 2005 yılında yangın görmüş meşe meşcereliği ve çalılık alanda yürüttükleri çalışmada, yangından 3 yıl sonra aldıkları toprak örneklerinden yaptıkları organik madde analizinde, yangın görmemiş meşelik alanda %7,61, yangın görmüş meşelik alanda %4,54 ve yangın görmüş çalılık alanda ise yine %4,54 olduğunu tespit etmişlerdir. Lou ve ark., 2023’te Çin’de yaptıkları çalışmada aynı yerde belirli aralıklarla (2020, 2017, 2012, 1991) yangın görülmüş alanlar ile yanmamış alanların karşılaştırılması amacıyla yapılan organik madde analizlerinde en fazla organik madde miktarının yanmamış alanlarda olduğunu belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, yürütülen bu tez çalışmasından elde edilen veriler ile uyumluluk göstermektedir.

Yanmış alanlarda Nisan 2022 dönemi ile Kasım 2022 döneminde topraktaki fosfor miktarı arasında önemli farklılıklar görülmüş ve fosfor miktarının 0,90 ppm’den 2,60 ppm’ yükseldiği görülmüştür. Yanmamış alanlarda yapılan Nisan 2022 döneminde topraktaki fosfor miktarı 1,80 ppm’den Kasım 2022 döneminde 0,60 ppm’e düştüğü gözlenmiştir. Cobo-Díaz ve ark., 2014’te yaptıkları çalışmada yangın görmüş alanlarda assimile edilebilir fosfor miktarının yangın görmemiş alanlarda 8 mg/kg ve yangın görmüş alanlarda ise 5,2 mg/kg olduğunu belirlemişlerdir.

Potasyum miktarı açısından yanmamış alanlarda Nisan 2022 döneminde 97,60 ppm ve Kasım 2022 döneminde 111,50 ppm bulunurken, yanmış alanlarda bu oranın Nisan 2022 döneminde 283,30 ppm ve Kasım 2022 döneminde ise 227,30 ppm’ e düştüğü gözlenmiştir.

Yanmış ve yanmamış alanlarda pH ve kireç miktarları önemli bir farklılık görülmezken, toprak tuzluluğunun ciddi derecede azaldığı görülmüştür. Cobo-Díaz ve ark., 2014’te yaptıkları çalışmalarda yangın görmüş alanlarda toprak tuzluluğunun



daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Buna göre toprak tuzluluğu yangın sonrası topraklarda artış göstermektedir.

Yanmış ve yanmamış alanlardan alınan toprak örneklerinden yapılan metagenom analizlerinde; alem seviyesinde tamamına yakın taksonomik grubun bakterilerden oluştuğu belirlenmiştir. Yangından 8 ay sonrasında mikrobiyal faunanın %99,93 düzeyinde bakterilerden oluştuğu, yangından 15 ay sonra ise %99,99'lük kısmın bakterilerden oluştuğu görülmüştür. Ancak yanmamış alanlarda Nisan 2022 döneminde %99,42'lik kısmın bakterilerden ve %0,58'lik kısmın ise funguslar başta olmak üzere diğer alemlere dahil gruplardan oluştuğu belirlenmiştir. Yanmış alanlarda herhangi bir plantasyon olmadığı için mikrobiyal faunanın dağılımı açısından bu farklılığın görüldüğü tahmin edilmektedir.

Metagenom analizlerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında yanmış ve yanmamış alanlardan iki dönemde toprak örnekleri alınmış ve elde edilen mikrobiyal fauna değişimi incelenmiştir.

Yanmış alanlarda bakteriyel fauna, yangından 8 ay sonrasında, en fazla grubun %26,13 oranıyla Actinobacteriota grubuna ait olduğu belirlenmiştir. Ancak, yangından 15 ay sonra yapılan metagenom analizlerinde en fazla grubun %25,65 oranında Planctomycetota grubuna ait olduğu gözlenmiştir. Yanmamış alanlarda da benzer şekilde Nisan 2022 döneminde en fazla karşılaşılan grup %23,67 ile Actinobacteriota, Kasım 2022 döneminde ise %21,14 ile Planctomycetota grubuna ait olmuştur.

Actinobacteriota grubu toprak için oldukça önemli bakterileri içeren bir gruptur ve özellikle bitkilerin topraktan azot alımında, organik maddelerin parçalanmasında ve toprakta pH dengesinin sağlanmasında tamponlayıcı olarak rol oynamaktadırlar. Yanmış ve yanmamış alanlar karşılaştırıldığında Nisan 2022 döneminde Actinobacteriota grubunun yaygın olduğu, ancak bulunma oranlarının yanmış alanlarda daha fazla olduğu görülmüştür. Kasım 2022 döneminde ise Actinobacteriota oranının yanmış (%13,94) ve yanmamış (%14,51) alanlarda oransal olarak diğer gruplara göre azaldığı tespit edilmiştir. Bunun mevsimsel farklılıktan kaynaklanan bir azalış olduğu söylenebilir. Yanmış alanlarda erken dönemde (Nisan 2022), yanmamış

alanlara göre fazla bulunmasının nedeni toprakta pH ve besin dengesinin sağlanması amacıyla olduğu söylenebilir.

Doğada Karbon döngüsünde önemli yere sahip bakterileri içeren Planctomycetota grubu bakteriler her iki dönemde de yanmış alanlarda daha fazla oranda olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin yanmış alanlarda doğal karbon döngüsü aktivitesinin daha fazla olduğundan kaynaklandığı söylenebilir.

Toprakta çoğunlukla azot fiksasyonundan sorumlu bakterilerin yer aldığı Proteobacteria lar, dönemler karşılaştırıldığında diğer gruplarda olduğu gibi, miktar bakımından her iki dönemde de yanmış alanlarda fazla oranda oldukları görülmektedir.

Metagenomik analizlerde en önemli sonuçlardan birisi Acidobacteriota grubunun karşılaşılmasında görülen farklılıktır. Asidofilik olan bu grup üyesi bakteriler, toprağın pH düzenlenmesinde ve bitkilerin besin alımında önemli aktiviteleri söz konusudur. Mağaralar ve ağır metaller ile kirlenmiş topraklarda fazlaca bulunurlar. Yanmamış alanlarda her iki dönemde de oransal olarak daha fazla miktarda tespit edilmişlerdir. Ancak, yanmış alanlarda yangından 8 ay sonrasında oranları nispeten az iken (%7,34), Kasım 2022 döneminde bu oran %15,09'a arttığı gözlenmiştir.

Metagenom analizleri ile ilgili yangın görmüş alanlarda literatür kayıtlarına bakıldığında benzer grupların yer aldığını, ancak bu grupların farklı oranlarda olduğu görülmektedir. Cobo-Díaz ve ark., 2014'te İspanya'da yaptıkları metagenom analizlerinde yanmış ve yanmamış alanları karşılaştırmışlar, en fazla karşılaşılan grupların sırasıyla Bacteroidota, Proteobacteria, Actinobacteria, Acidobacteria olduğunu belirlemişlerdir. Meşe meşcerisinde yürütülen bu çalışmada yanmış alanlarda Actinobacteria grubunun yanmamış alanlardan fazla olduğunu, diğer tüm grupların ise yanmamış alanlarda daha fazla oranda bulunduğunu belirlemişlerdir.

Lou ve ark., 2023'te Çin'de yaptıkları çalışmada ise en fazla karşılaşılan grupların sırasıyla Proteobacteria, Acidobacteria, Actinobacteriota, Chloroflexi, Planctomycetota olduğunu ve bunların yangın oluş zamanlarına göre farklılık gösterse de benzer oranlarda bulunduğunu tespit etmişlerdir.

## KAYNAKLAR

Alcañiz M, Outeiro L, Francos M, Úbeda X., 2018. Effects of prescribed fires on soil properties: a review. *Sci Total Environ.* 2018;613:944–57.

Barns, S. M., Cain, E. C., Sommerville, L., & Kuske, C. R. (2007). Acidobacteria phylum sequences in uranium-contaminated subsurface sediments greatly expand the known diversity within the phylum, *Applied and environmental microbiology*, 73(9), 3113-3116.

Buckley, D. H., & Schmidt, T. M. (2003). Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agro-ecosystems, *Environmental Microbiology*, 5(6), 441-452.

Cobo-Díaz, J. F., Fernández-González, A. J., Villadas, P. J., Robles, A. B., Toro, N., & Fernández-López, M. (2015). Metagenomic assessment of the potential microbial nitrogen pathways in the rhizosphere of a Mediterranean forest after a wildfire. *Microbial ecology*, 69, 895-904.

Don J. Brenner; Noel R. Krieg; James T. Staley (July 26, 2005). *Introductory Essays. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2A (2nd ed.). New York: Springer. pp. 304.

Euzéby, J. P. (1997). List of Bacterial Names with Standing in Nomenclature: a folder available on the Internet. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 47(2), 590-592.

Ghai, R., Mizuno, C. M., Picazo, A., Camacho, A., & Rodriguez-Valera, F. (2013). Metagenomics uncovers a new group of low GC and ultra-small marine Actinobacteria. *Scientific reports*, 3(1), 2471.

Ghai, R., Rodríguez-Valera, F., McMahon, K. D., Toyama, D., Rinke, R., Cristina Souza de Oliveira, T., ... & Henrique-Silva, F. (2011). Metagenomics of the water column in the pristine upper course of the Amazon river, *PloS one*, 6(8), e23785.

Gladkov G V, Chebykina E Y, Evdokimova E V, Ivanova E A, Kimeklis A K, Zverev A O, Kichko A A, Andronov E E, Abakumov E V., 2020. Restoration of soil microbiome in various soil horizons after crown and surface wildfires, *Ecological genetics*, 18(3), 343-356.

Glöckner, F. O., Kube, M., Bauer, M., Teeling, H., Lombardot, T., Ludwig, W., ... & Reinhardt, R. (2003). Complete genome sequence of the marine planctomycete

Pirellula sp. strain 1, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8298-8303.

Goodfellow, M. (2012). Phylum XXVI. Actinobacteria phyl. nov. In *Bergey's manual® of systematic bacteriology* (pp. 33-2028). Springer, New York, NY.

Gupta, R. S., Chander, P., & George, S. (2013). Phylogenetic framework and molecular signatures for the class Chloroflexi and its different clades; proposal for division of the class Chloroflexi class. nov. into the suborder Chloroflexineae subord. nov., consisting of the emended family Oscillochloridaceae and the family Chloroflexaceae fam. nov., and the suborder Roseiflexineae subord. nov., containing the family Roseiflexaceae fam. nov. *Antonie van Leeuwenhoek*, 103, 99-119.

Hogan C. M. (2010). *Bacteria*. Encyclopedia of Earth. eds. Sidney Draggan and C.J.Cleveland, Washington DC.: National Council for Science and the Environment.

Holland, L. (1990). Woese, Carl in Forefront of Bacterial Evolution Revolution, *Scientist*, 4(10), 22.

Hugenholtz, P., & Stackebrandt, E. (2004). Reclassification of *Sphaerobacter thermophilus* from the subclass Sphaerobacteridae in the phylum Actinobacteria to the class Thermomicrobia (emended description) in the phylum Chloroflexi (emended description), *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(6), 2049-2051.

Jenkins, C., Kedar, V., & Fuerst, J. A. (2002). Gene discovery within the planctomycete division of the domain Bacteria using sequence tags from genomic DNA libraries, *Genome Biology*, 3, 1-11.

Kielak, A. M., Barreto, C. C., Kowalchuk, G. A., Van Veen, J. A., & Kuramae, E. E. (2016). The ecology of Acidobacteria: moving beyond genes and genomes, *Frontiers in microbiology*, 7, 744.

Köster K, Aaltonen H, Berninger F, Heinonsalo J, Köster E., Ribeiro-Kumara, C., Sun H, Tedersoo L, Zhou X, Pumpanen, J., 2021. Impacts of wildfire on soil microbiome in Boreal environments, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 22, 100258.

Lou H, Cai H, Fu R, Guo C, Fan B, Hu H, Zhang J, Sun L., 2023. Effects of wildfire disturbance on forest soil microbes and colonization of ericoid mycorrhizal fungi in northern China, *Environmental Research*, 231, 116220.

Maymo-Gatell, X., Chien, Y. T., Gossett, J. M., & Zinder, S. H. (1997). Isolation of a bacterium that reductively dechlorinates tetrachloroethene to ethene, *Science*, 276(5318), 1568-1571.

Moe, W. M., Yan, J., Nobre, M. F., da Costa, M. S., & Rainey, F. A. (2009). Dehalogenimonas lykanthroporepellens gen. nov., sp. nov., a reductively dehalogenating bacterium isolated from chlorinated solvent-contaminated

groundwater, *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 59(11), 2692-2697.

Quaiser, A., Ochsenreiter, T., Lanz, C., Schuster, S. C., Treusch, A. H., Eck, J., & Schleper, C. (2003). Acidobacteria form a coherent but highly diverse group within the bacterial domain: evidence from environmental genomics, *Molecular microbiology*, 50(2), 563-575.

Rappé, M. S., & Giovannoni, S. J. (2003). The uncultured microbial majority, *Annual Reviews in Microbiology*, 57(1), 369-394.

Servin, J. A., Herbold, C. W., Skophammer, R. G., & Lake, J. A. (2008). Evidence excluding the root of the tree of life from the actinobacteria, *Molecular biology and evolution*, 25(1), 1-4.

Thomas, F., Hehemann, J. H., Rebuffet, E., Czjzek, M., & Michel, G. (2011). Environmental and gut bacteroidetes: the food connection, *Frontiers in microbiology*, 2, 93.

Whitman T, Whitman E, Woolet J, Flannigan MD, Thompson DK, Parisien M-A., 2019. Soil bacterial and fungal response to wildfires in the Canadian boreal forest across a burn severity gradient, *Soil Biol Biochem* 2019, 138:107571.

Woese, C. R. (1987). Bacterial evolution, *Microbiological reviews*, 51(2), 221-271.

## ÖZGEÇMİŞ

Hakimullah FARZAN, lise öğrenimini Kabil - Afganistan Mahmud-i Terzi Lisesi'nde tamamladı. Ardından Takhar Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ekonomi ve Tarımsal Kalkınma Bölümü'nü kazanıp yüksek puanla 2015 yılında mezun oldu. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Orman Ana Bilim Dalı'nda 2020 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini 2023 yılında tamamladı.