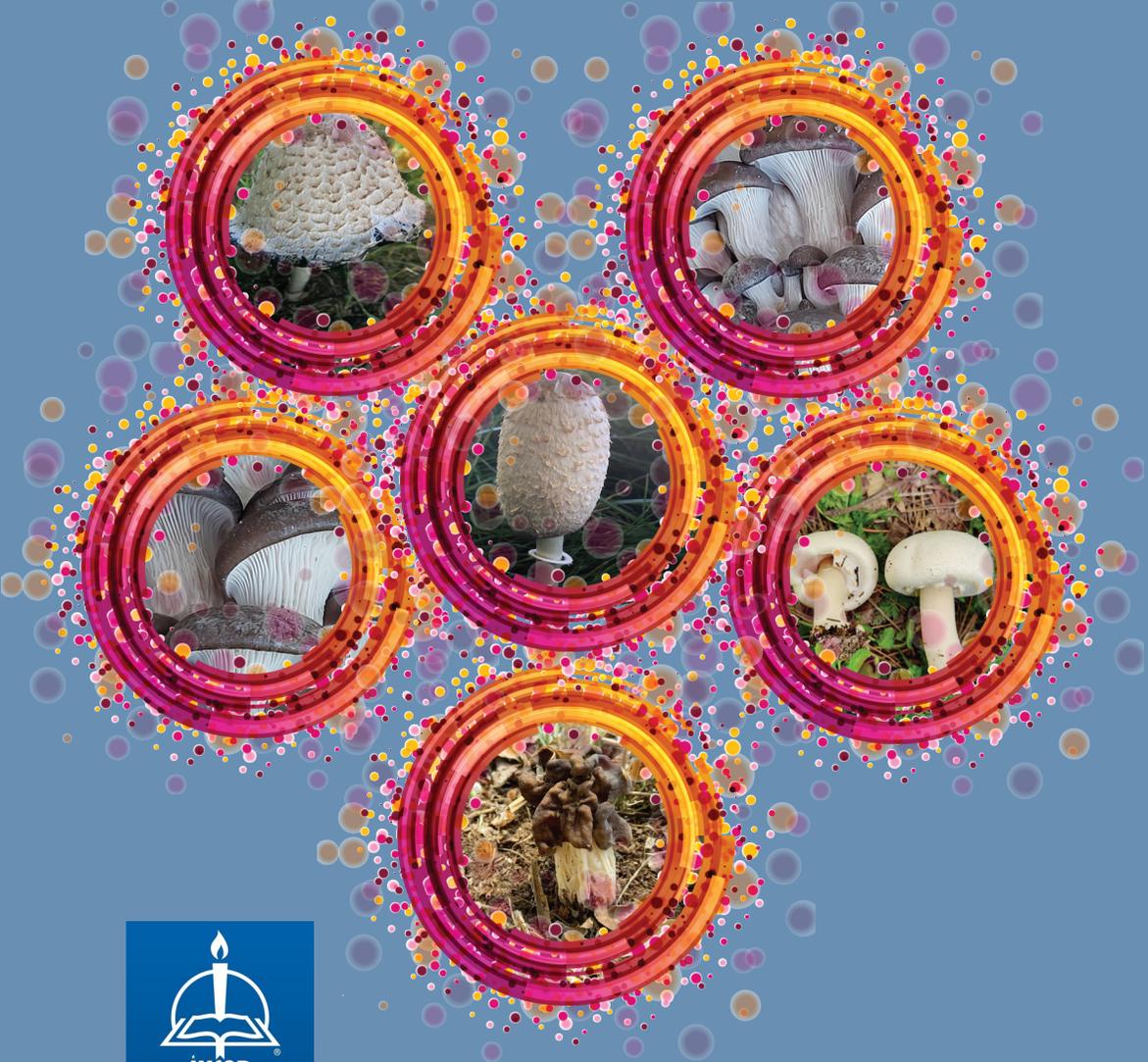


# MİKOLOJİDE GÜNCEL ARAŞTIRMALAR-I

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU



İKSAD  
Publishing House

# MİKOLOJİDE GÜNCEL ARAŞTIRMALAR-I

## EDİTÖRLER

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU

## YAZARLAR

Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK

Prof. Dr. İbrahim TÜRKEKUL

Prof. Dr. Tülin AŞKUN

Prof. Dr. Yavuz BAĞCI

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Aylin ER

Doç. Dr. Ayten DIZKIRICI

Doç. Dr. Esin POYRAZOĞLU ÇOBAN

Doç. Dr. Hakan ALLI

Doç. Dr. Sinan AKTAŞ

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Cemil SADULLAHOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan GÜNEŞ

Dr. Öğr. Üyesi Erkan EREN

Dr. Öğr. Üyesi Görkem Deniz SÖNMEZ

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ACAR

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Emre AKÇAY

Dr. Öğr. Üyesi Sevgin ÖZDERİN

Öğr. Gör. Dr. Oğuzhan KAYGUSUZ

Dr. Mehmet ÇETİN

Öğr. Gör. Sedat KESİCİ

Öğr. Gör. Levent TÜRKLER

Arş. Gör. Aysenur KALMER

Ayçanur BOZDAĞ

Hatice ÇELİK YILMAZ

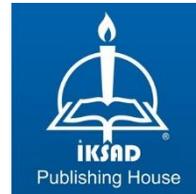
Merve KOÇAK

Osman Alp ÖZTOP

Pınar GÜNER

Senem ÖZTÜRK KÖSE

Seyfettin KAYA



Copyright © 2022 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or  
transmitted in any form or by  
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical  
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of  
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses  
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social  
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TURKEY TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2022©

**ISBN: 978-625-6955-34-9**

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2022

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

## İÇİNDEKİLER

### EDİTÖRDEN

#### ÖNSÖZ

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU.....1

### BÖLÜM 1

#### İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN FUNGUSLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Osman Alp ÖZTOP

Senem ÖZTÜRK KÖSE

Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK.....3

### BÖLÜM 2

#### MİKROPLASTİKLERİN BİYODEGRADASYONUNDA

#### FUNGUSLARIN ÖNEMİ

Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK

Doç. Dr. Esin Poyrazoğlu ÇOBAN

Hatice Çelik YILMAZ

Ayçanur BOZDAĞ.....21

### CHAPTER 3

#### FUNGAL BIOTECHNOLOGY AND STUDIES IN TÜRKİYE

Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK

Assoc. Prof. Dr. Esin POYRAZOĞLU ÇOBAN

Senem ÖZTÜRK KÖSE.....63

### BÖLÜM 4

#### ENTOMOPATOJEN FUNGUS *BEAUVERIA BASSIANA*' NİN *CADRA*

#### *CAUTELLA* WALKER (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) VE

#### *EPHESTIA KUEHNIELLA* ZELLER (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE)

#### LARVALARINA KARŞI PATOJENİTESİ

Pınar GÜNER

Prof. Dr. Tülin AŞKUN

Doç. Dr. Aylin ER

Dr. Öğr. Üyesi Görkem Deniz SÖNMEZ.....103

## **BÖLÜM 5**

### **TÜRKİYE'DEN ZEHİRLİ İKİ MANTAR TÜRÜ *RUSSULA EMETICA* (SCHAEFF.) PERS. VE *BOLETUS SATANAS* LENZ'İN ANTİMİKROBİYAL, ANTİOKSİDAN AKTİVİTELERİ VE ENZİM İNHİBİSYONU**

Merve KOÇAK

Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan GÜNEŞ

Doç. Dr. Sinan AKTAŞ

Prof. Dr. Yavuz BAĞCI.....133

## **CHAPTER 6**

### **ECOLOGICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF SOME EDIBLE *LACTARIUS* SPECIES IN TÜRKİYE**

Prof. Dr. İbrahim TÜRKEKUL

Lect. Dr. Oğuzhan KAYGUSUZ.....157

## **BÖLÜM 7**

### **TÜRKİYE'DE TRÜF MANTARI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TESPİT EDİLEN SORUNLAR**

Dr. Öğr. Üyesi Sevgin ÖZDERİN

Doç. Dr. Hakan ALLI.....167

## **BÖLÜM 8**

### **TÜRKİYE MİKOBİYOTASI İÇİN YENİ CİNS KAYDI**

Öğr. Gör. Sedat KESİCİ

Dr. Öğr. Üyesi Cemil SADULLAHOĞLU

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Emre AKÇAY.....181

## **CHAPTER 9**

### **CONTRIBUTION TO THE AGARICALES OF TÜRKİYE**

Seyfettin KAYA

Assist. Prof. Dr. Mustafa Emre AKÇAY

Lect. Sedat KESİCİ

Assist. Prof. Dr. Cemil SADULLAHOĞLU.....191

## **CHAPTER 10**

### **MOLECULAR AND MORPHOLOGICAL IDENTIFICATION OF LEUCOAGARICUS LIDENSIS FROM TÜRKİYE**

Assist. Prof. Dr. İsmail ACAR

Res. Assist Aysenur KALMER

Assoc. Prof. Dr. Ayten DIZKIRICI.....203

## **BÖLÜM 11**

### **BİYOĞAZ ATIĞI FERMENTE MISIR SİLAJININ KÜLTÜR MANTARI (*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach )**

### **ÜRETİMİNDE ÖRTÜ MATERYALİ OLARAK KULLANIMI**

Dr. Öğr. Üyesi Erkan EREN

Dr. Mehmet ÇETİN

Öğr. Gör. Levent TÜRKLER

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU.....217



## ÖN SÖZ

Bir ülkenin biyolojik çeşitliliği bilinmeden söz konusu çeşitlilikten yararlanma şekli ve miktarı hakkında sağlıklı değerlendirme yapılamaz. Dünyanın ve ülkemizin önemli biyolojik zenginliklerinden olan mantarların insan sağlığı ve yaşamı ile birlikte ekosistemde çok önemli rolleri mevcuttur. Gastronomi, tarım, eczacılık, tıp ve diğer ekonomik yönleri ile çok önemli bir canlı grubu olan mantarlardan etkin bir şekilde yararlanma ve zararlarından korunma sağlanabilmesi için onların bilimsel olarak çalışılması ile mümkündür. Bu bağlamda Mikolojide Güncel Araştırmalar I kitabı; Dünyada hızla gelişmekte olan mikoloji ailesinin çok sayıda üyesini bir araya getiren ve disiplinler arası çok sayıda çalışmaya ev sahipliği yapan 3. Uluslararası Avrasya Mikoloji kongresinde sunulan bazı çalışmalar ile birlikte ülkemizde konu ile ilgili yapılan diğer çalışmaları birleştirilerek ülkemiz fungal çeşitliliğinin zenginleştirilmesi, mantarların tabii dengesindeki rolleri, fungal biyoteknolojik çalışmalar, kültür mantarı yetiştiriciliğinde yeni teknikler ile karşılaşılan sorunlar ile birlikte halk arasında besin ve ticari amaçla kullanılan bazı mantarlar hakkında yapılan çalışmaları içermektedir. Kitabın hazırlanmasına katkı sunan tüm bilim insanları ve İksad Yayın Evi'ne teşekkür eder, kitabın doğrudan ve dolaylı ilgililere faydalı olması en büyük dileğimizdir. Aralık 2022

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU



## BÖLÜM 1

### İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN FUNGUSLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Osman Alp ÖZTOP<sup>1</sup>,  
Senem ÖZTÜRK KÖSE<sup>1</sup>,  
Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye, osmanalpoztop@gmail.com Orcid no: 0000-0003-1245-1872; senemozturk48@gmail.com Orcid no: 0000-0002-5656-6711; hbiyik@adu.edu.tr Orcid no: 0000-0003-0258-054X



## 1. GİRİŞ

Dünyamız iklim değişikliğinin yıkıcı etkisiyle karşı karşıya kalmaktadır. Küresel yüzey sıcaklıklarının, doğal ve/veya antropojenik kaynaklardan elde edilen artan atmosferik CO<sub>2</sub> seviyeleri nedeniyle 2100 yılına kadar 1,8-3,6°C arasında artacağı tahmin edilmektedir (Compant ve ark., 2010). Küremiz ısınıyor ve dahası insanlar, bitkiler, hayvanlar (mikroorganizmalar da dahil) bu ısınmadan etkilenmektedir. İklim değişikliği ekosistemler de bir arada yaşayan canlıların demografik yapısını, yaşam alanlarını ve biyolojik aktivitelerini etkilemektedir. Dünya üzerinde yaşayan türlerin büyük bir bölümünde kutuplara kaymıştır. Aynı şekilde karasal iklimlerde yaşayan türlerin de yüksek rakımlara kaydığı gözlemlenmiştir. Yüzlerce yerel tür kaybı, aşırı sıcaklık artışının yanı sıra karada ve okyanusta kitlesel ölüm olayları ve yosun ormanlarının kaybindan kaynaklanmaktadır (IPCC,2022).

İklim değişikliğine bağlı olarak ekosistemler de meydana gelen değişimler, bu ekosistemlerin önemli bir parçası olan mikroorganizmaları da etkilemektedir. Mikroorganizmalar buldukları habitatlarda birincil üretimin büyük bir kısmından sorumludur. Bu nedenle de mikroorganizmalar biyojeokimyasal döngüler ve çevresel süreçlerde kilit rol oynamaktadır. Dolayısıyla tarih boyunca iklim değişikliğinden etkilenmişler ve iklim değişikliğine sebep olmuşlardır. Mikroorganizmalar doğadaki birçok “döngünün” merkezinde yer almaktadır. Örneğin; siyanobakteriler (mavi-yeşil algler), fotosentez yaptıkları ve okyanuslardaki besin zincirlerinin

temelini oluşturdukları için karbon döngüsünde önemli rol oynarlar. Ayrıştırıcılar olan mantarlar ve toprak bakterileri, organik maddeleri parçalayıp karbondioksiti atmosfere geri saldıklarından karbon döngüsünde önemli rol oynarlar (Kumar, 2018). Dolayısıyla mikroorganizmaların iklim değişikliğine adaptasyonu birçok doğal süreç için elzemdir.

Mikroorganizmaların iklim değişikliğini tolere edebilme yeteneği, sağlık ve besin tedariki gibi hayati konularda bizim için büyük hasarlara neden olabilmektedir. İlerleyen zamanda patojen mikroorganizmalar pandemilere neden olabileceği, bitki patojenlerinin ve tarım zararlılarının tarımda neden olabilecekleri hasar gibi birçok yıkıcı etki dünyamız için geri dönüşü olmayan problemlere sebep olacağı düşünülmektedir. Öte yandan yararlı mikroorganizmaların iklim değişikliğini tolere edebilme yetenekleri de dünyamızın yaşamış olduğu katastrofik iklim değişikliği senaryolarına karşı üretilecek çözüm planları için bizlere yol gösterici olabilmektedir.

Bu derleme ile patojen mantarların ortaya çıkışı veya yeniden patojenite kazanmaları ile oluşabilecek potansiyel sağlık problemleri için acil ve uzun vadeli alınması gereken önlemlerden bahsetmekteyiz. Ayrıca iklim değişikliğinin etkisi ile azalan tarım arazileri ve besin tedariki için kommensal bitki-mantar ilişkileri sayesinde, değişen iklim koşullarına adaptasyon ile iklim değişikliğinin önlenmesi için alınabilecek önlemlerle çözüm önerileri sunmaktayız.

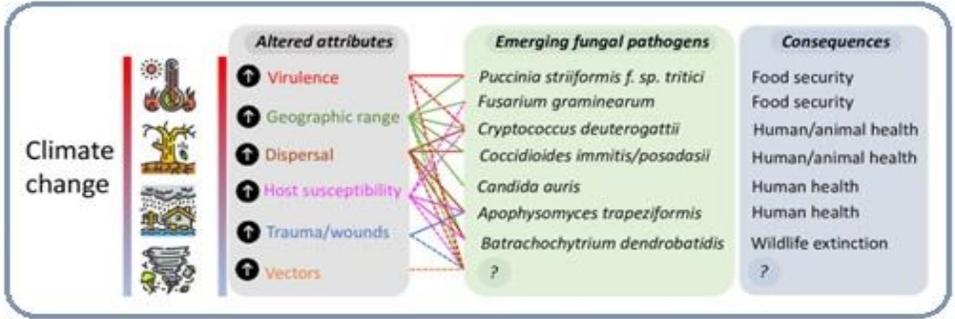
## 2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE PATOJENİTE İLİŞKİSİ

İklim değışiklikleri; sıcaklık, yağış, rüzgâr ve güneş ışığı dahil olmak üzere bir veya daha fazla iklim değışkenindeki değışimleri içerir. Bu değışiklikler, patojenlerinin ve konakçılarının hayatta kalmasını, patojen mikroorganizmaların üremesini veya dağılımını ayrıca bulaşma ortamlarının mevcudiyetini ve araçlarını etkileyebilmektedir (Wu ve ark., 2016). Dahası patojen olmayan bir tür patojen özellik kazanabilir, patojen özelliğini yitirmiş bir tür yeniden patojenite gösterebilmektedir. İklim değışikliği patojenleri (virüs, bakteri, parazit ve bu derlemede daha çok üzerinde duracağımız mantarlar) yaşam döngüleri üzerinden doğrudan ve/veya buldukları habitatı, çevre ve rakipleri etkileyerek dolaylı olarak etkilemektedirler. Sonuç olarak da bulaşıcı hastalıkların coğrafi ve mevsimsel düzenlerinde değışim, salgın potansiyeli ve şiddetinde değışim meydana gelmektedir.

Viral ve bakteri kaynaklı pandemiler potansiyel olarak daha dikkat çekici olsa da mantarlar eşit veya daha büyük tehditler oluşturabilmektedir. Henüz mantar patojenleri için mevcut bir aşı yoktur ve mantar önleyici ajanlar son derece sınırlıdır. Patojen mantarlar büyük miktarlarda enfeksiyöz sporlar üretmekte ve enfeksiyon oluşturmak için konakçıdan konakçıya temas gerektirmemektedir. Bilindiği üzere insan bağışıklık sistemi bu tür enfeksiyöz ajanlara karşı oldukça dayanıklıdır. Deri bütünlüğü gibi savunma mekanizmaları oldukça etkilidir. Ayrıca çoğu mantar türü memelilerin vücut sıcaklığında yaşayamadığı bilinmektedir. Ancak bazı mantar türlerinin yüksek sıcaklıklara kademeli olarak maruz

kılarak daha yüksek sıcaklıklarda hayatta kalmak yetenekleri geliştirdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, küresel ısınmanın birçok mantar türünün daha yüksek sıcaklıklara uyum sağlamasına yol açacağı öne sürülmektedir (Casedevall, 2020).

Sel, fırtına ve kasırga gibi iklim değişikliğinden kaynaklanan çevresel bozulmalar, mantarları dağıtabilir ve aerosol haline getirebilir veya travmatik yaralar yoluyla onları enfekte edebilmektedir. Bu da daha önce çok nadir görülen veya bilinmeyen mantar türlerinin enfeksiyonlarına neden olmaktadır. İklim değişikliğinin potansiyel etkileri, yeni ve şu anda bilinmeyen türlerin ortaya çıkma ihtimalleri ile ortaya çıkan mantarların örnekleri ve sonuçları Şekil 1’ de özetlenmektedir (Nnadi ve Carter, 2021).



**Şekil 1:** İklim değişikliğinin mantar patojenlerinin ortaya çıkması üzerindeki etkisi (Nnadi ve Carter, 2021).

İklim değişikliği; mantarların, çevrenin ve konakçının özelliklerini etkilemekte ve bu da sağlık, biyolojik çeşitlilik ve gıda güvenliği gibi önemli konuları tehdit eden yeni, nadir veya uyarlanmış mantar türlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Şekil 1’de, özellikler ve

mantar türleri arasındaki düz çizgiler, yayınlanmış kanıtlarla desteklenen bağlantıları göstermektedir; kesikli çizgiler olası ancak kanıtlanmamış bağlantıları göstermektedir. “?” henüz bilinmeyen mantar türlerinin ortaya çıkmasını ve bilinmeyen sonuçları temsil etmektedir (Nnadi ve Carter, 2021).

İnsanları enfekte eden patojen mantarlar, çevrede sayıları birkaç yüz olan çok sayıda mantar türünün yalnızca çok küçük bir azınlığını oluşturmaktadır. Memeliler patojen mantarlara karşı oldukça dirençlidir. Memelilerin istilacı mantar hastalıklarına karşı direncinin, bir termal kısıtlama bölgesi oluşturan yüksek bazal sıcaklıklar ile adaptif ve doğuştan gelen bağışıklık biçimindeki gelişmiş konak savunma mekanizmalarının bir kombinasyonundan kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Casedevall ve ark., 2019). Ancak *Candida auris* gibi organizmaların iklim değişikliği kaynaklı artan sıcaklıklara adaptasyon yeteneği ile memelilerin termal dirençliliğini kırdığına dair hipotezler öne sürülmektedir. Gerçekten de *C. auris*, dünya çapında hızla yayılan, ortaya çıkan çoklu ilaca dirençli bir mantardır. 2009'daki ilk raporlardan bu yana, beş kıtada birçok izolat, hastane ilişkili enfeksiyonların etkeni olarak tanımlanmıştır. Bağımsız ve eşzamanlı *C. auris* salgınları, sağlık ve bilim camiası için büyük bir endişe kaynağı haline gelmektedir (Cortegiani ve ark., 2018). Yakın zamana kadar, *C. auris*' in çevre mantarı olarak çevresel niş tanımının bilinmemesi nedeniyle kökenine dair hiçbir kanıt bulunmamaktadır. Bazı yazarlar, bu mantarın bir insan patojeni olarak ortaya çıkması için, insan kaynaklı küresel ısınma ve *C. auris*' i daha istilacı ve dirençli bir mikroorganizmaya dönüşmeye

zorlayan insan popülasyonlarındaki ve çevresel değişikliklerin etkisi dahil olmak üzere çeşitli hipotezler öne sürmüştür (Escandon, 2022). Ancak iklim değişikliğinin *C. auris*' in dünya genelinde yayılımı için tek başına yeterli değildir. Casedeveall ve ark., (2019), *C. auris*' in yayılımı hakkında hazırlamış oldukları şema Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: *C. auris*'in ortaya çıkması için önerilen şema (Casedeveall ve ark., 2019).

Termotolerant türler, mantarların ana gruplarına dağılmıştır. Birkaç kriptokok türü de dahil olmak üzere Basidiomycota'da bu karakter yaygın değildir. Kriptokoklar arasında sadece *C. neoformans* ve *C. gattii* yaygın patojenlerdir, ancak diğer kriptokok türleri polisakkarit kapsülü ve melanizasyon gibi varsayılan virülans faktörlerini ifade etmektedir. Bu durumda, termotoleransın kazanılması muhtemelen patojenik olma potansiyellerini arttırmaktadır. Böyle bir vaka, normalde 37°C'de büyümeyen *C. laurentii*'ye atfedilebilir, ancak termotolerant suşlar, aşırı derecede bağışıklığı baskılanmış konakçılarda giderek artan bir şekilde hastalıklarla ilişkilendirilmiştir (Solache ve Casedeveall, 2010).

Mahsul patojenleri ve mahsul zararlıları, tarımsal üretimin verimini ve kalitesini düşürür. Önemli ekonomik kayıplara neden olurlar ve hane halkı, ulusal ve küresel düzeylerde gıda güvenliğini azaltmaktadırlar. Mahsul kayıplarına ilişkin nicel, standartlaştırılmış bilgilerin mahsuller, tarımsal ekosistemler ve bölgeler arasında derlenmesi ve karşılaştırılması zordur (Savary ve ark., 2019).

Mantarların küresel gıda tüketiminin çoğunu oluşturan pirinç, buğday, mısır ve patates mahsullerinde hastalığa neden olduğu düşünüldüğünde, gıda güvenliğine yönelik mantar tehditi büyük bir endişe kaynağıdır (Hernandez ve Martinez 2018). Örneğin, *Magnaporthe oryzae'nin* neden olduğu pirinç patlaması, kültür pirincindeki en yıkıcı hastalıktır. Soya fasulyesi pası (*Phakopsora pachyrhizi*), buğday sapı pası (*Puccinia graminis*), mısır isi (*Ustilago maydis*) ve patates geç yanıklığı (*Phytophthora infestans*) gibi diğer bitki hastalıkları bu mahsullerin 125 milyon tonunun kaybına katkıda bulunmaktadır (Hernandez ve Martinez 2018).

Mantarların oluşturduğu birçok farklı tehdit arasında, ekonomik sonuçları ve insanların gıda temini için tarıma bağımlılığı nedeniyle bitkilerin enfeksiyonu en çok tanınan gibi görünmektedir (Hernandez ve Martinez 2018). Küresel iklim tehditlerinin tarım üzerine etkisi ve artan dünya nüfusu gıda tedarigi için büyük tehditler oluşturmaktadır. Mevcut tahminlere göre, 2020'de 800-925 milyon insan yetersiz beslenecek; vitamin ve mineral eksikliğinden kaynaklanan “gizli açlığın”, yaklaşık 2 milyar insanı etkileyen en yaygın yetersiz beslenme şekli olduğu tahmin edilmektedir (Alonso ve ark., 2020). İklim

değişikli devam ettiği sürece insan, çevre ve doğa bundan etkilenmeye devam edecektir. Pechl ve ark., (2017) yayınlamış oldukları çalışmada iklim değişikliğinin yaşamı nasıl etkilediğini gösteren şema Şekil 3'te gösterilmektedir.



**Şekil 3:** Küresel iklim değişikiçe, insan refahı, ekosistem işlevi ve hatta iklimin kendisi, yaşamın değişen coğrafyasından giderek daha fazla etkileniyor (Pechl ve ark., 2017).

Tür dağılımlarındaki iklim kaynaklı değişiklikler veya menzil kaymaları, insan refahını hem doğrudan (örneğin, ortaya çıkan hastalıklar ve gıda arzındaki değişiklikler yoluyla) hem de dolaylı olarak ekosistem sağlığını bozarak etkilemektedir. Bazı türlerin coğrafi kaymaları, iklim değişikliğinin hızını değiştirerek iklim sistemi üzerinde (olumlu veya olumsuz) geri bildirimler de yaratabilmektedir (Pechl ve ark., 2017).

### **3.MANTARLARIN ADAPTASYON YETENEKLERİ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİNE ÇÖZÜM OLABİLİR Mİ?**

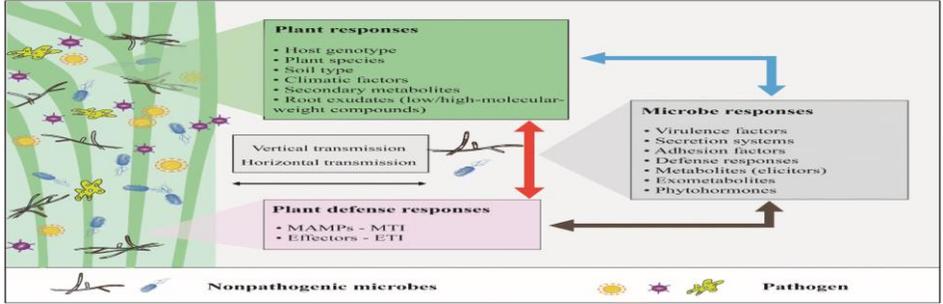
İnsanların mikroorganizmalarla ilişkisi M.Ö. 2000 yılına kadar dayanmaktadır. Mantarların yukarıda bahsedilen patojen etkilerinin aksine fermantasyon yapma yetenekleri gibi birçok yararlı etkisi bu

ilişki için önemli delillerdir. Endüstriyel olarak kullanılan mantar türleri insan sağlığı açısından zararsız oldukları için ‘GRAS’ (Generally Regarded As Safe) mikroorganizmalar olarak tanımlanır. Ayrıca yapılan moleküler mikrobiyoloji çalışmaları ve biyoteknolojideki gelişmeler sayesinde birçok endüstriyel alanda mantarlardan yararlanılmaktadır.

Giderek daha sınırlı su kaynakları, azalan tarım arazileri ve iklim değişikliğinin potansiyel olarak olumsuz etkileri nedeniyle, sürekli artan nüfusu beslemek için tarımsal üretkenliği iyileştirmeye acil ihtiyaç duyulmaktadır (Yan ve ark., 2019). Bitkilerin sürekli olarak çevrelerindeki simbiyotik ve patojenik mikroorganizma toplulukları ile etkileşim içerisinde oldukları bilinmektedir (Alonso ve ark., 2020). İklim değişikliği açısından, simbiyotik ilişkilerin bitkilerin çevreye adaptasyon yeteneklerini etkilemesi bakımından oldukça ilgi çekicidir. Bitkiler ile etkileşimde oldukları simbiyotik mantarlar çevre koşullarından etkilenmektedir. Bu nedenle, çevresel koşulların bitki-mikroorganizma etkileşimlerini nasıl etkilediğini anlamak, hastalık salgınlarını tahmin etmek, etkili simbiyotik ve biyokontrol ajanları tasarlamak ve mevcut ve gelecekteki iklim değişikliğine karşı artan dirençli “rüya” mahsul bitkileri tasarlamak için çok önemlidir (Cheng ve ark., 2019). Dolayısıyla bitki-mantar simbiyotik etkileşimleri iklim değişikliğine karşı tarımsal üretkenliği iyileştirebileceği düşüncesi heyecan vericidir.

Endofitik mantarlar, bitkileri hastalık semptomlarına neden olmadan kolonize etmekte ve konakçılarının patojenlere karşı direncini

artırabilmektedir (Alvarez ve ark., 2014). Bitkiler ve endofitik mantarların etkileşimi Yan ve ark., (2019) yayınlamış oldukları şema Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4:** Endofitik Mantarlar Ve Konukçu Bitkiler Arasındaki İlişkilerin Kurulması (Alvarez ve ark., 2014).

Çevredeki hem patojenik olmayan mikroorganizmalar hem de patojenler bitkilerin etrafında toplanmaktadır. Bitki; patojenik olmayan mikroorganizmalar ve patojenler tarafından üretilen metabolitleri ve kimyasal sinyalleri algıladığında, bitki savunma tepkileri aktive olmaktadır (Yan ve ark., 2019). Çevredeki değişen koşullarda hem mikroorganizmaları etkileyerek dolaylı hem de bitkileri doğrudan etkileyerek bu mekanizmaların devreye girme nedenlerindedir. Çevredeki değişen koşulların en önemli kaynağı da iklim değişikliğidir. İklim değişikliğinin neden olduğu Artan CO<sub>2</sub>, kuraklık ve ısınma gibi iklim değişikliği faktörlerinin faydalı bitki-mikroorganizma etkileşimleri üzerindeki etkileri giderek daha fazla araştırılmaktadır (Compant ve ark., 2010). Dahası iklim değişikliği faktörlerinin bitki-mantar ilişkilerine etkisini anlamak ve bu ilişkiyi iklim değişikliğine karşı kullanmak elzem görülmektedir. Giderek azalan tarım arazileri ve

artan nüfus için gıda tedarikinde oluşabilecek problemler için iyileştirilmiş bitkiler geliştirmek gerekliliği doğmaktadır. Bu iyileştirilmiş bitkilerin iklim değişikliğine direnç kapasitelerinin daha verimli bitkiler ve sürdürülebilir tarım sağlayabileceği, düşüncesi gerçekten de heyecan vericidir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Patojenik mantarların yaşam döngüleri boyunca morfolojilerini değiştirme kapasitesi yaygındır. Bununla birlikte; nispeten az sayıda mantar, maya ve hif arasında geçiş yapma yeteneğini ifade eden dimorfik olarak kabul edilmektedir. Bu patojenler kabaca termal (sıcaklıkla indüklenen morfolojik değişim) ve termal olmayan dimorfik mantarlardır (Gauthier, 2015). Yapılan literatür taraması mantarların iklim değişikliğine termal adaptasyonları insan sağlığı için büyük problemlere neden olacağını düşündürmektedir. Çoğu mantar 12°C ila 30°C aralığında gelişmekte, ancak türler arasında geniş sıcaklık toleransları bulunmaktadır ve bazıları -10°C kadar düşük veya 65°C kadar yüksek sıcaklıklarda büyüebilmektedir (Solache ve Casadevall, 2010). Mantarların insan termal bariyerini aşabilecek kapasiteye erişmeleri, mantar kaynaklı pandemilerin artışına sebep olabileceğini göstermektedir. İnsan sağlığı için tehdit edici bu senaryo, mantarların antifungal dirençliliğinin artması ve henüz mantarlara karşı bir aşının bulunmamış olması nedeni ile korkutucu görünmektedir. Patojen mantarlar bizim ve çevremizin sağlığını etkileyecek gibi görünmekte ve iklim değişikliğinin etkilerine karşı mantarları arttırıcı etkisine karşı önlemler alınması zorunlu gibi gözükmektedir.

Bitki çalışmalarının çoğu, yalnızca abiyotik streslere karşı bitki tepkilerine odaklanmaktadır. Bitkilerin normalde bakteri, mantar ve protistler gibi çok sayıda farklı mikroorganizma ile yakın ilişki içinde yaşamaktadır. Milyonlarca yıllık ortak evrim, bitkilerin sürekli olarak çevrelerindeki ortak, simbiyotik ve patojenik mikroorganizma toplulukları ile etkileşime girmesi son derece uzmanlaşmış ekosistemlerin kurulmasına yol açmıştır (Alonso ve ark., 2020). Faydalı simbiyotik mikroorganizmaların bitki büyümesini uyarabileceği, hastalıklara ve abiyotik streslere karşı direnci arttırabileceği iyi bilinmektedir (Compant ve ark., 2010). Bitkilerin ve mantarlar gibi mikroorganizmaların simbiyotik etkileşimini anlamak bizlere iklim değişikliğinin bitkiler üzerindeki etkisini azaltabilmek adına yol gösterici olacak gibi görünmektedir. Bu etkileşimi kullanarak sürdürülebilir tarımı destekleyen tekniklerin geliştirilmesi ile gelecekte oluşacak besin tedariki ve kıtlık gibi problemlere çözüm bulunabileceği düşünülmektedir. Öyle görünüyor ki giderek artan kuraklık, yıllık ortalama sıcaklıktaki artışlar ve düzensiz iklim koşulları, artan ve artmaya devam eden dünya nüfusunu beslemekte problemlerin oluşmasına neden olacaktır.

İklim değişikliğinin dünyamız ve ekosistemimiz için oluşturacağı problemler açıktır. İklim değişikliği ile oluşacak sağlık problemlerine önlemler almak, azalan tarım arazileri ve artan nüfusa besin tedariki için çözüm yolları bulmak elzem görünmektedir. Memelilerin patojen mantarlara karşı termal bariyeri ve bağışıklık sistemi oldukça dayanıklı

olsa da iklim değışikliği ile mantarların bunu aşabileceği ön görölmektedir. Bu bağlamda patojen mantarların değışen sıcaklıklara adaptasyonlarını bloke etmek, iklim değışikliği ile oluşabilecek salgınların önüne geçilebilmesini mümkün kılacaktır. Ayrıca insan patojenleri için biyoteknolojinin ve moleküler biyolojinin ışığında yeni antifungal ilaçlar dahası aşılar geliştirilebilir. Patojen mikroorganizmaların aksine tarımda stres koşullarına dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi için de ekosistemlerde bitkilerin birlikte yaşadığı yararlı mantarlarla ilişkileri aydınlatılmalıdır. Bitkilerin stres yanıt mekanizmalarında etkili olan genler veya gen setleri bu bitkilerle simbiyotik yaşayan yararlı mantarlara transfer edilerek bu mutualis yaşam desteklenebilir. Ayrıca transgenik, yeni ve daha dayanıklı bitkiler dolayısıyla tarım mahsulleri elde edilebilir. Bu sayede geleneksel tarımın yerini sürdürülebilir tarıma bırakması artan dünya nüfusunu ile oluşabilecek kıtlık senaryolarını engelleyebilir. Çözüm yolları bulmak ve bunları faaliyete geçirebilmek yaşamın sürdürülebilirliği için gereklidir. Doğayı korumak gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak bizlerin sorumluluğundadır.

**KAYNAKLAR**

- Alonso, P.M.M., Galán, G.C., Scholz, S.S., Kiba, T., Sakakibara, H., Müller, L.J., Krapp, A., Oelmüller, R., Carbajosa, V.J. ve Pollmann, S. (2020). Harnessing symbiotic plant–fungus interactions to unleash hidden forces from extreme plant ecosystems. *J Exp Bot.*, 71(13), 3865–3877. doi: 10.1093/jxb/eraa040.
- Alvarez, A.M.R., Sato, M.J., ve Heil, M. (2014). Order of arrival shifts endophyte–pathogen interactions in bean from resistance induction to disease facilitation. *FEMS Microbiol Lett*, 355, 100-107. doi:10.1111/1574-6968.12454.
- Casdevall, A., (2020). Climate change brings the specter of new infectious diseases. *J Clin Invest.*, 130(2), 553–555. doi: 10.1172/JCI135003.
- Casdevall, A., Kontoyiannis, P.D., Robert, V. (2019). On the Emergence of *Candida auris*: Climate Change, Azoles, Swamps, and Birds. *mBio.*, 10(4), e01397-19. doi: 10.1128/mBio.01397-19.
- Cheng, Y. T., Zhang, L., He, S. Y. (2019). Plant-microbe interactions facing environmental change. *Cell Host&Microbe*, 26(2), 183-192.
- Compant, S., Marcel, G.A. Heijden, D.V., Angela Sessitsch, A. (2010). Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions. *FEMS Microbiol Ecol*, 73, 197-214. doi:10.1111/j.1574-6941.2010.00900.
- Cortegiani, A., Misseri, G., Fasciana, T., Giammanco, A., Giarratano, A. ve Chowdhary, A. (2018). Epidemiology, clinical characteristics, resistance, and treatment of infections by *Candida auris*. *J Intensive Care*, 6,69. doi: 10.1186/s40560-018-0342-4.
- Escando, P. (2022). Novel Environmental Niches for *Candida auris*: Isolation from a Coastal Habitat in Colombia. *J Fungi (Basel)*, 8(7), 748. doi: 10.3390/jof8070748.
- Gauthier, M.G. (2015). Dimorphism in Fungal Pathogens of Mammals, Plants, and Insects. *PLoS Pathog.*, 11(2): e1004608. doi: 10.1371/journal.ppat.1004608.

- Hernandez, H. ve Martinez, R.L. (2018). Relationship of environmental disturbances and the infectious potential of fungi. *Microbiology (Reading)*, 164(3), 233–241. doi: 10.1099/mic.0.000620.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Kumar, D. (2018). Effect of climate change on microbial growth. *J Bacteriol Mycol Open Access*, 6(2), 158. doi: 10.15406/jbmoa.2018.06.00195.
- Nnadi, E.N., (2021). Climate change and the emergence of fungal pathogens. *PLOS Pathogens*, 17(4). doi:10.1371/journal.ppat.1009503.
- Pecl, T.G., Araújo, B.M., D.J., Blanchard, J., Bonebrake, C.T., Chen, C.I., Clark, D.T., Colwell, K.R., Danielsen, F., ... Williams, E.S. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), doi: 10.1126/science.aai92.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J., Esker, P., McRoberts, N., Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat Ecol Evol.*, 3(3),430-439. doi: 10.1038/s41559-018-0793-y.
- Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Allı, H.(2020). Türkiye Mantarları Listesi. Ertuğrul SESLİ, Ahmet ASAN, Faruk Selçuk (Ed.). İstanbul: Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayınları,.
- Solache , G.A.M. ve Casadevall, A. (2010). Global warming will bring new fungal diseases for mammals, *mBİo.*, 1(1),e00061-10. doi: 10.1128/mBio.00061-10.
- Vitasse, Y., Ursenbacher, S.,and Lenoir, J. (2021). Phenological and elevational shifts of plants, animals and fungi under climate change in the European Alps. *Biol. Rev.*, 96, 1816-1835. doi: 10.1111/brv.12727.

- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, 86, 14-23. doi: 10.1016/j.envint.2015.09.007.
- Yan, L., Zhu J., Zhao X., Shi J., Jiang, C., Shao, D., (2019). Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. *Appl Microbiol Biotechnol.*,103(8), 3327-3340. doi: 10.1007/s00253-019-09713-2.

## BÖLÜM 2

### MİKROPLASTİKLERİN BİYODEGRADASYONUNDA FUNGUSLARIN ÖNEMİ

Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK<sup>1</sup>

Doç. Dr. Esin POYRAZOĞLU ÇOBAN<sup>1</sup>

Hatice ÇELİK YILMAZ<sup>1</sup>

Ayçanur BOZDAĞ<sup>1</sup>

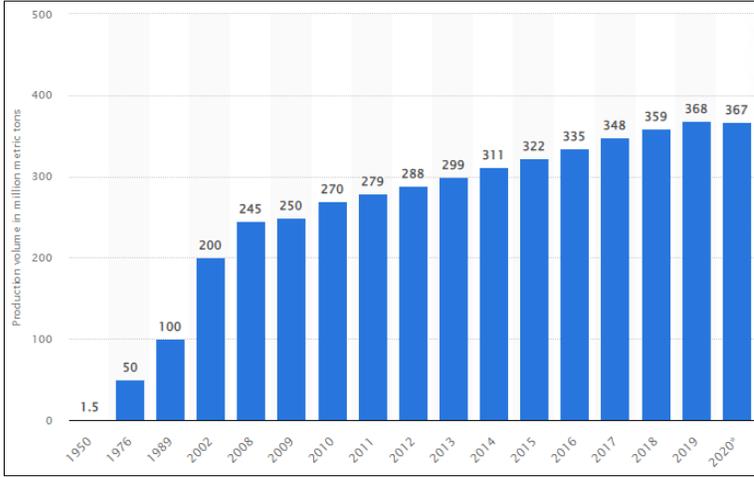
---

<sup>1</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 09100 Aydın, Türkiye Orcid no: <https://orcid.org/0000-0003-0258-054X> e-posta: [hbiyik@adu.edu.tr](mailto:hbiyik@adu.edu.tr); <https://orcid.org/0000-0002-3921-5362> e-posta: [epoyrazoglu@adu.edu.tr](mailto:epoyrazoglu@adu.edu.tr); <https://orcid.org/0000-0002-4071-7394> e-posta: [1910300105@stu.adu.edu.tr](mailto:1910300105@stu.adu.edu.tr); <https://orcid.org/0000-0003-0453-3499>e-posta: [ayca.bozdog355@gmail.com](mailto:ayca.bozdog355@gmail.com)



## 1. GİRİŞ

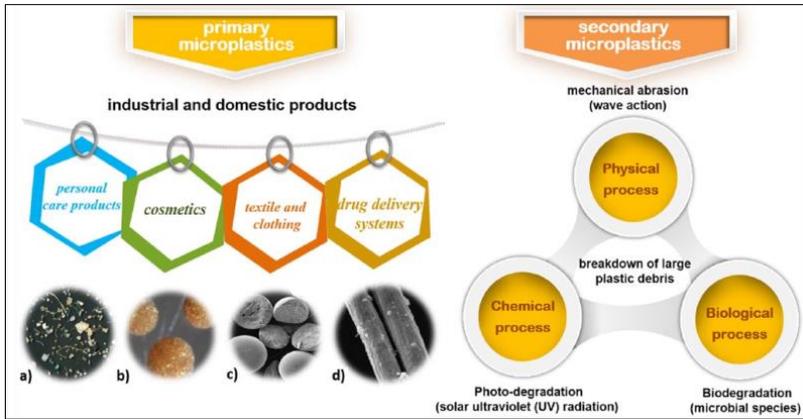
Plastiklere yönelik küresel talep nedeniyle, yıllık plastik üretimi her yıl katlanarak büyümektedir (Didier ve ark., 2017). Plastik üretimi 2019 yılında neredeyse 370 milyon tona yaklaşmıştır (Plastics Europe, 2020). 2020 yılında üretim, COVID-19'un sektör üzerindeki etkileri nedeniyle bir önceki yıla göre yaklaşık yüzde 0,3 azalmıştır (Şekil 1) (Statistica, 2022).



Şekil 1. 1950'den 2020'ye Küresel Plastik Üretimi (Statistica, 2020).

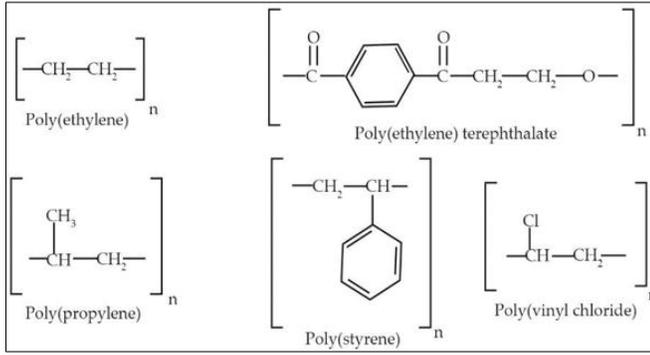
Çevredeki plastik atıklar nehirler, fırtınalar, kuvvetli rüzgarlar tarafından taşınabilir veya doğrudan karasal ya da sucul ekosistemlerine dökülebilir (Pizarro-Ortega ve ark., 2022). Bu plastik döküntüler UV ışınımı, mekanik aşınma ve biyolojik aşınma sonrasında partikül boyutu  $\leq 5$  mm olan mikroplastikleri (MP'ler) oluşturur (Jacques ve ark., 2021; Petersen ve ark., 2021; Fan ve ark., 2022). Mikroplastikler, plastik atıkların %92.4'ünü oluşturmaktadır (Santana ve ark., 2016).

Mikroplastikler ucuz, dayanıklı, hafif, çok yönlü, şekillendirilebilir materyallerdir (Xu ve ark., 2020). Literatürde farklı sınıflandırma sistemleri mevcuttur. Çevrede mikroplastikler, kaynaklarına göre birincil (primer) ve ikincil (sekonder) olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Birincil mikroplastikler üretim faaliyetlerinden elde edilirken (Othman ve ark., 2021) ikincil mikroplastikler ise makro ve mezo plastiklerin güneş ışığı, mor ötesi ışınlar (UV), dalga hareketleri, rüzgar gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlere maruz kalmasıyla oluşur (Şekil 2) (Curren ve Leong, 2019; Akdoğan ve Güven 2019).



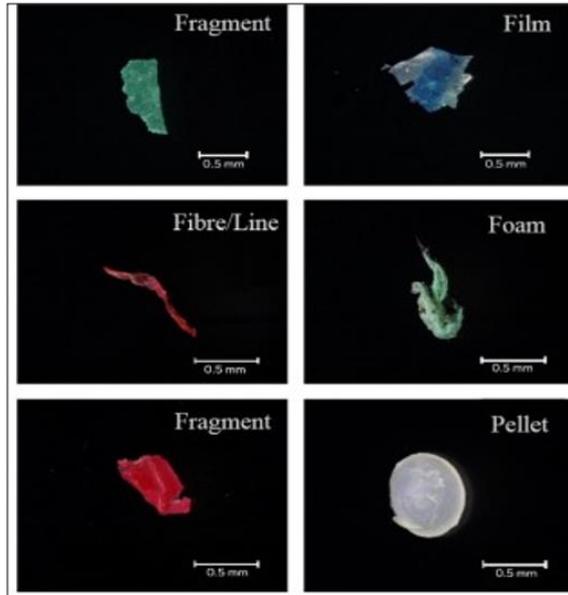
Şekil 2. Mikroplastik kaynakları (Wang ve ark., 2018).

Mikroplastikler, polimer yapılarına göre polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), poliamid (PA) ve polikarbonat (PC) şeklinde gruplandırılabilir (Şekil 3) (Jaiswal ve ark., 2022). Poliester gibi omurgada heteroatomlar içeren polimerler bozunmaya karşı daha yüksek hassasiyet gösterirken; PE, PP, PS ve PET gibi çoğu geleneksel polimerler biyolojik olarak yavaş bozunurlar (Debroas ve ark., 2017).



**Şekil 3.** Polimer yapılarına göre bazı MP'ler (Glaser, 2019).

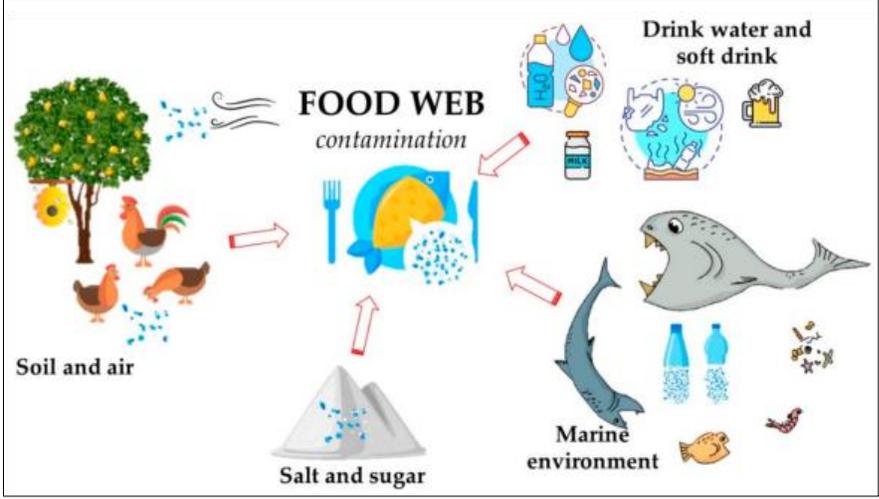
Parçacık, fiber, pelet, köpük, film, lif gibi farklı şekillerde bulunabilen MP'lerin, hem şekli/türü hem de boyutu doğal ortamdaki kaderlerini belirler (Şekil 4) (Samanta ve ark., 2022). Mikroplastiklerin karmaşık ve çeşitli morfolojik özellikleri, toksisite, adsorpsiyon ve taşıma konusunda farklı sonuçlara yol açabilir (Ramkumar ve ark., 2021).



**Şekil 4.** Mikroplastiklerin şekilleri (Robin ve ark., 2020).

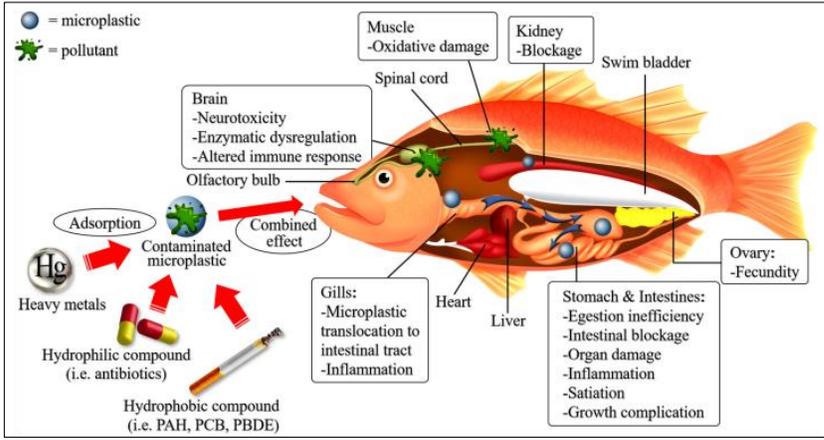
Mikroplastik kirliliği dünya çapında yeni ortaya çıkan bir çevre sorunu olarak kabul edilmektedir (Andrady, 2017; Van Sebille ve ark., 2015). Mikroplastikler son yıllarda sucul, karasal ve atmosferik ekosistemler ile çeşitli organizmalarda tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2022; Xu ve ark., 2022; Wang ve Wang, 2018). Organizmalar, doğrudan ya da dolaylı olarak mikroplastikleri vücutlarına alabilmektedirler (Ory ve ark., 2017; Nelms ve ark., 2018). Gana'da ekonomik öneme sahip balıklarda mikroplastik varlığını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, incelenen tüm örneklerde mikroplastiklere rastlanmış ve balıkların %68'inin mikroplastiklerle kontamine olduğu gösterilmiştir. 0,5–1,0 mm boyut aralığında liflerin, siyah renkli parçacıkların bol olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada spesifik olarak üç polimer, polietilen, polivinil asetat ve poliamid tanımlanmıştır (Pappoe ve ark., 2022). Gündoğdu ve ark. (2020) Marmara, Ege ve Akdenizde yakalanan 5 farklı balık türünün mide ve sindirim kanalında bulunan mikroplastiklerin miktarlarını ve polimer tiplerini incelenmiştir. Tespit edilen mikroplastiklerin %56.6'sı iplikçiklerden oluşmaktayken %46.4'ü parçacıklardan meydana gelmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, mikroplastik kirliliğinin Türk deniz sularındaki balıklar için ortaya çıkan bir tehdit oluşturduğunu göstermiştir. Kuzey Kutbu fok türlerinden olan Kuzey Kürklü Fokta (*Callorhinus ursinus*) mikroplastik maruziyetinin araştırıldığı bir çalışmada fokların dışkıları analiz edilmiştir. Dışkı analizi sonuçlarına göre Kuzey Kürklü Foku'nun Doğu Pasifik Okyanus'u menzili boyunca mikroplastiklere maruz kaldığı rapor edilmiştir (Donohue ve ark., 2019). Midye, istiridye, deniz tarağı ve yengeç gibi kabuklu deniz ürünlerinde de

mikroplastiklere rastlanmıştır (Şekil 5) (Li ve ark., 2016; Cole ve Galloway, 2015; Ribeiro ve ark., 2017; Santana ve ark., 2016).



Şekil 4. MP kirliliği nedeniyle gıda ağı kontaminasyonu (Pironti ve ark., 2021).

Çok sayıda çalışma, mikroplastiklerin organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerini kanıtlamıştır (Liu ve ark., 2019). Laboratuvar deneyleri mikroplastiklere maruz kalındığında organizmalarda, bağırsak yollarının tıkanması, tokluk nedeniyle beslenmenin baskılanması, mide enzim salgısının inhibisyonu, steroid hormon düzeylerinin dengesizliği, yüzme performansının azalması, oksidatif strese bağlı nörotoksisite, yumurtlamanın gecikmesi ve kısırlık gibi etkilerin olduğunu göstermiştir (Şekil 6) (Sharma ve Chatterjee, 2017).

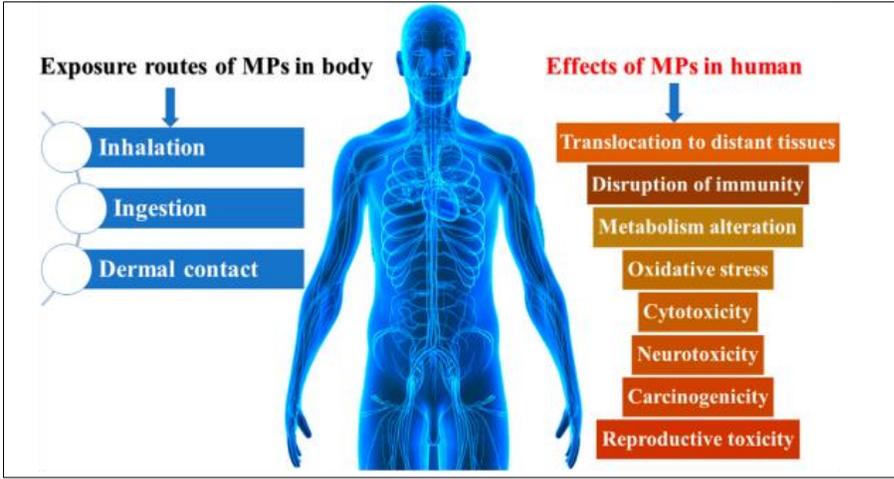


**Şekil 5.** Mikroplastiklerin ve kirleticilerin deniz organizmaları üzerindeki etkilerinin bir örneği (Amelia ve ark., 2021).

Mikroplastikler insanlara ingestion, inhalasyon ve dermal yol ile geçebilmektedir (Prata ve ark., 2020). İnsanlar mikroplastiklere en fazla ağız yoluyla (kontamine gıda ya da trofik transfer) maruz kalmaktadır (Galloway, 2015; Campanale ve ark., 2020). Tuz (Gündoğdu 2018), bira (Kosuth ve ark., 2018), içme suyu (Schymanski ve ark., 2018), şeker gibi çeşitli gıdalarda mikroplastiklere rastlanmıştır. Dermal maruziyet kozmetiklerde mikroboncuklar ve sentetik liflerden kaynaklanan maruz kalma ile ilişkilidir (Şekil 6) (Prata ve ark., 2020).

Li ve ark. (2020) yaptıkları çalışmalarında polipropilen içeren plastik biberonlarda hazırlanan bebek mamalarında mikroplastiklerin bulunduğunu rapor etmişlerdir. Her her 1 litre bebek mamasında, yaklaşık 4 milyon plastik parçacık olduğu tespit edilmiştir. Ragusa ve ark. (2021) mikroplastiklerin insan plesantasına kadar ulaşabileceği bildirmişler ve ilk kanıt olarak sunmuşlardır. Mikroplastiklerin insan

sağlığı üzerindeki etkisine dair bilgiler sınırlı ve çok az kanıt vardır (Barbozaa ve ark., 2018). Mikroplastiklere uzun süreli maruz kalmak vücuttaki kümülatif etki sağlık sorunlarına neden olabildiği görüşü bulunmaktadır (Karami ve ark., 2017).



**Şekil 6.** MP maruziyeti sonrası insan vücudundaki olası etkileri (Bhuyan, 2022).

MP'lere maruz kalma oksidatif stres açısından hücre düzeyinde sitotoksik etkilere neden olma potansiyeli taşımaktadır (Schirinzi ve ark., 2017). Ayrıca infertilite, obezite, kromozomlarda değişiklikler ve kanser riski oluşabilmektedir (Sharma ve Chatterjee, 2017). Fareler ve insanlar üzerinde yapılan tıbbi araştırmalarda PS ve PVC parçacıklarının, canlıların bağırsak boşluğundan lenf ve dolaşım sistemine kadar ulaşabileceği tespit edilmiştir (Carberya ve ark., 2018).

MP'ler yüksek üretim ve çevredeki diğer kirleticilerle kolay etkileşim ile karakterize edilmektedir (Zhan ve ark., 2022). Çeşitli kimyasal (Bisfenol A, poliklorlu bifeniller, ağır metaller) ve biyolojik kirleticiler

(bakteriler, virüsler) mikroplastiklerin yüzeyinde adsorbe edilebilir veya kolonize olabilir. Mikroplastikler, mikroorganizmalar için yeni bir ekolojik niş oluşturmaktadırlar (Yang ve ark., 2020).

## **2. MİKROPLASTİKLER NASIL PARÇALANIRLAR?**

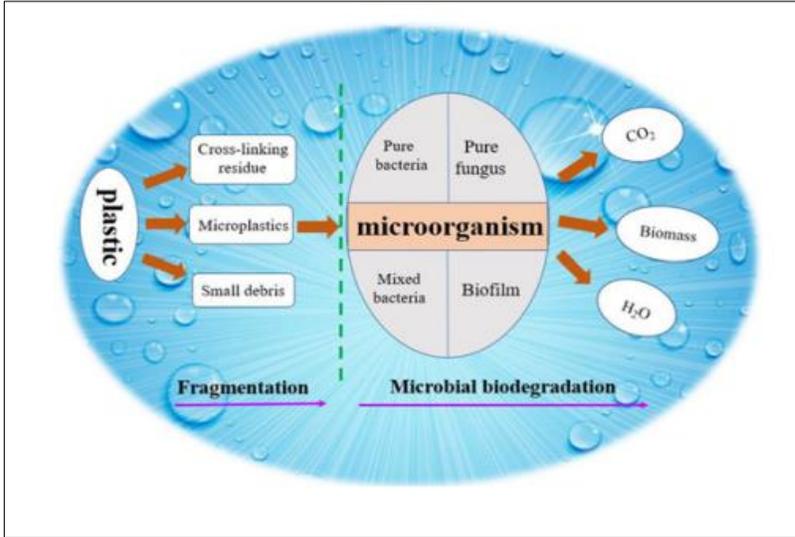
Mikroplastiklerin biyolojik olarak parçalanması, mikroorganizmalar tarafından üretilen enzimler aracılığıyla sağlanmaktadır. Büyük boyutlu mikroplastik parçacıklar büyük olmaları nedeniyle, hücre dışı enzimler tarafından yan zincirlerin veya monomer, dimerler ve oligomerler olmak üzere polimer yapılarının daha küçük moleküllere biyolojik olarak parçalanmasında önemli bir adımdır. Mikroplastikler, bölünme sürecinde ilk olarak hücre dışı enzimler ile kompleksi ayrıştırmak için hidroliz ile katalize edilirler. Polimerler, daha küçük moleküllere yarı geçirgen dış hücre zarlarından geçerek mikroorganizmalar tarafından enerji veya karbon kaynağı olarak kullanılabilirler (Othman ve ark., 2021).

## **3. MP ÜZERİNDE YAŞAYAN MİKROORGANİZMALAR ve BİYODEGREDASYON**

Plastikler, pürüzsüz ve hidrofobik yüzeylerinin olması nedeniyle mikroorganizmalar tarafından plastik yüzeylerine hızlı adapte olup kendilerine yaşam alanları bulmaktadırlar. Mikroplastikler, güneş, UV radyasyonu, donma, çözülmeye karşı oluşan etkilerden ötürü yüzeylerini aşındırarak, çukurlaşmalara ve daha pürüzlü yüzey morfolojileri kazanmalarına neden olarak yüzey özelliklerindeki bu

çevresel kaynaklı değişimler sonucunda bakteri kolonizasyonunu arttırmaktadırlar (Hossain ve ark., 2019).

Mikroplastiklerin ekosistemin bir parçası oldukları bilinmektedir ve çeşitli mikroorganizma topluluklarına, örneğin bakteriler, mantarlar, algler vb., yeni bir ekolojik niş alanı oluşturmaktadırlar (Deng ve ark., 2022). Mikroplastikler, tatlı su, deniz suyu, sahiller, toprak ve deniz tortullarında bulunarak mikroorganizmaların yüksek çeşitlilik ve zenginlik gösterdiği “Plastisphere” olarak adlandırılan habitatlardır. Mikroplastikler, mikroorganizmalar için yeni bir ekolojik niş oluştururken, aynı zamanda bir karbon kaynağı olarak kullanılmaktadırlar (Sun ve ark., 2018). Mikroplastik yüzeyinde zengin ökaryotik ve prokaryotik topluluklar bulunmaktadır. Plastiğin mikroorganizmalar için yeni bir yaşam alanı sağladığı tespit edilmiştir (Bowley ve ark., 2021). Mangrov ekosisteminde çeşitli mikroorganizmaları barındırdığı için yapılan çalışma sonucunda bakterilerin mikroplastiklerin yüzeyine tutunduğu belirtilmiştir (Deng ve ark., 2022).



Şekil 7. Mikroplastik ve mikrobiyal degradesyon aşamaları (Yuan ve ark., 2020).

Makroplastikler ve mikroplastiklerin yüzeylerinde çok fazla sayıda patojenik mikroorganizmalar saptanmıştır. Okyanuslardaki plastik maddeler patojen mikroorganizmalar için yaşam alanları oluşturmaktadırlar (Şekil 7) (Bowley ve ark., 2021).

Kuzey Atlantik Okyanusu'nda plastik parçalarının üzerinde insan patojeni olan *Vibrio* spp. tespit edilmiştir. Mikroorganizmalar, plastik parçalarının üzerinde vektör görevi görerek moleküler araç olarak kullanılmaktadırlar. Yakın tarihlerde Belçika Kuzey denizindeki plastik parçalarında yeni nesil dizileme kullanılarak *Vibrionaceae* tespit edilmiştir (Kirstein ve ark., 2016).

Çin'in bir E-Atık bölgesi olan Guiyu'da toprak ve mikroplastik üzerindeki bakteriyel toplulukların belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada toprağın bakteri taksonu, fonksiyonel bileşimi ve Guiyu'daki

mikroplastığe bağı topluluklar araştırıldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda üç alandan seçilen mikroplastiklerde yaşayan bakteri topluluklarının farklılık gösterdiği saptanmıştır. Mikroplastığın, mikroorganizmalar için yeni bir ekolojik niş oluşturduğu ve mikroplastikle ilişkili olan bakterilerin yeni habitatlarına adapte olduğu tespit edilmiştir (Chai ve ark., 2020).

Karayip Denizi'nde yapılan çalışmada mikroplastikler üzerinde gelişen yüksek oranda *Proteobakteri* (%31-45), *Gamaproteobakteriler* (%10-41) ve *Bacteroidetes* (%14-48) bakteri toplulukları olduğu belirlenmiştir (Dudek ve ark., 2020). Tropikal bölgenin kıyı ortamlarındaki mikroplastiklerden ilk kez bakteri toplulukları araştırılmıştır. Mikroplastik parçalarının yüzeylerinde *Proteobakteriler*, *Bacteroidetes* ve *Firmicutes* bakteri toplulukları tespit edilmiştir (Curren ve ark.,2019). Türkiye'de Süreyyabey baraj gölündeki mikroplastiklerin yüzeylerinde ve çevresindeki mikrobiyal topluluklar *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Acinetobacter baumannii* ve *Escherichia coli* gibi patojenik suşlar olduğu tespit edilmiştir (Tavşanoğlu ve ark., 2020).

Çin'in Sincan bölgesindeki tarım arazisi olan pamuk tarlalarından elde edilen mikroplastikler, ortamdaki bakteriler için ayrı bir yaşam alanı oluşturmaktadır. Mikroplastikleri kolonize eden bakteri toplulukları, yapı olarak çevredeki toprak, bitki çöpü ve makroplastiklerden önemli ölçüde farklılık taşıdığı tespit edilmiştir. İstatistiksel analiz, OTU'lar, sonucunda mikroplastiklerin üzerinde yaşayan *Actinobacteria*,

*Bacteroidetes* ve *Proteobacteria* polietileni parçalayan bakteri grupları olduğu belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2019).

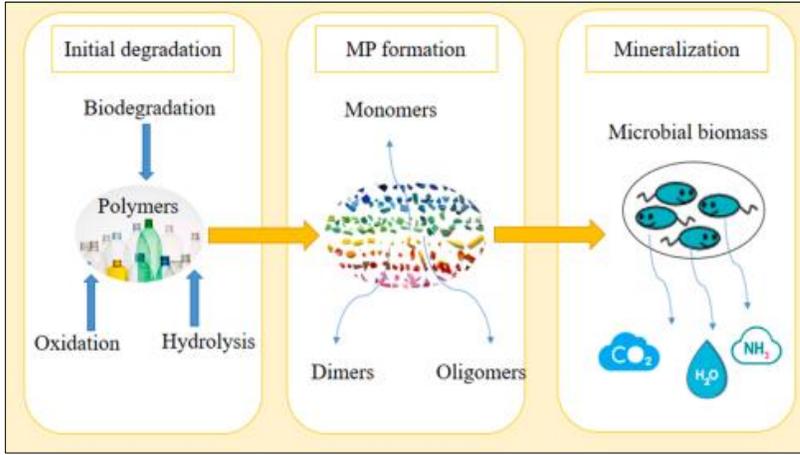
Yangtze Halici gelgit bölgesinde mikroplastiklerle ilişkili bakteri topluluklarının tespit edilmesi amacıyla yapılan çalışmada gelgit ortamı olan plastisfer toplulukları arasında farklı bakteri toplulukları bulunmuştur. İstatistiksel olarak Xiangshan körfezindeki plastik yüzeylerinde, *Pseudomonas* spp. (% 0,01), balık patojeni olan *Pseudomonas anguilliseptica* (% 0,4), ve *Vibrio* potansiyel patojenler olarak saptanmıştır (Jiang ve ark., 2018).

Bakteriyel balık patojeni olan *Aeromonas salmonicida* taşınmasında bir vektör olarak Kuzey Adriyatik Denizi'nden toplanan mikroplastikler kullanılmıştır. Mikroplastik parçalarının yüzeyinden *Proteobakteriler*, *Planctomycetes*, *Chloroflexi*, *Bacteroidetes*, *Siyanobakteriler* ve *Firmicutes* olmak üzere altı farklı bakteri filumları izole edilmiştir. İzole edilen bakteri türlerinin, mikroplastiklerin parçalanmasında etkili oldukları bildirilmiştir (Viršek ve ark., 2017).

Plastik parçalar, deniz ortamında yüzeyde yüzer ve hafif olmaları nedeniyle daha fazla habitatlara taşınmaktadırlar. Sucul ortamlarda bulunan mikroplastiklerin bozunması, abiyotik ve biyotik mekanizmalarla olmak üzere 2 şekilde gerçekleşmektedir. Abiyotik bozunma fiziksel ve kimyasal bozunmayı içerirken, biyotik bozunma mikrobiyal bozunmadan oluşmaktadır. Bu süreçler mikroplastiklerin taşınmasını ve akıbetini belirlemektedir. Plastiklerin abiyotik bozunması, hava koşulları, UV, radyasyon, dalga hareketleri, katkı

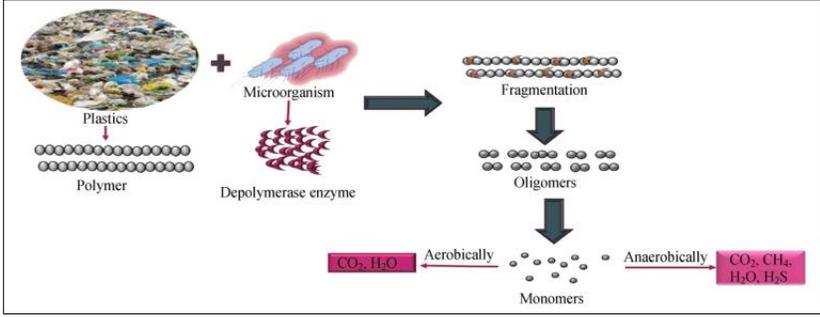
maddelerinin boşaltılması, ışık ve oksijen, ışık ve oksidatif hasar yoluyla bozunma ile gerçekleşmektedir. Metabolik yan ürünler, plastiklerin yüzey özelliklerini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Birincil mikroplastikler, ikincil MP'lerin oluşumuna yol açan parçalanmaya uğramaktadır. İkincil MP'ler, polimer üzerinde mikrobiyal bozunmayı teşvik eden mikroorganizmaların kolonizasyonu için daha geniş yüzeyler alanı sağlamaktadır. Mikroplastik yüzeyinde kolonize olan ve parçalanmayı sağlayan mikroorganizmalar, deniz ve tatlı su ekosistemlerinden izole edilmektedir. Polimerler, su sütunu ile temas ettikten kısa bir süre sonra bakteri kolonizasyonu başlamaktadır (Debroy ve ark., 2021).

Mikroplastiklerin biyolojik parçalanması, plastik substratının mikroorganizmalar tarafından kullanılmasının bir sonucudur. Biyodegradasyon süreci, biyolojik bozunma, biyolojik parçalanma, asimilasyon ve mineralizasyon olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Biyodegradasyonun ilk aşaması olan biyolojik bozunma, plastik polimerin etrafında biyofilm oluşumunu içermektedir. İkinci aşamada mikroorganizmalar hücre dışı enzim sentezleyerek, polimeri oligomer, dimer veya monomere dönüştürmektedir. Üçüncü aşamada mikroorganizmaların yüzeyindeki oligomer, dimer, monomerler basit difüzyon veya kolaylaştırılmış difüzyon yoluyla mikrobiyal hücreler tarafından emilmektedir. Son adım, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> gibi metabolitlerin üretilmesidir. Mikroorganizmalar, mikroplastiklerin parçalanması için habitatlarına göre özel enzimler salgılamaktadırlar (Şekil 8) (Jeyavani ve ark., 2021).



**Şekil 8.** Polimerlerin Degredasyon Aşamaları (Miri ve ark., 2022).

Mikroorganizmalar büyüme hızı, enerji, metabolizma gibi çeşitli yönlerden stres durumlarına karşı yanıt vermektedir. Bu stres tepkileri enzimlerle yakından ilişkilidir. Enzimler hücre fonksiyonlarını düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır. Enzimler sadece hücre fonksiyonunda ve hücre düzenlemesinde rol almazlar aynı zamanda mikroplastikler de dahil olmak üzere antropojenik kirleticilerin parçalanmasında da büyük rol oynamaktadırlar. Örneğin, mikroorganizmadan parçalayıcı enzim mikroplastığın polimer yapısını hedef alarak monomerine indirgeyebilir, daha sonra mikroorganizmalar monomerleri enerji üretiminde bir karbon kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Enzimler, mikroplastikleri parçalarken yüzey modifikasyon mekanizmaları enzim hidrolazlar (lipazlar, karboksilesterazlar, kutinazlar, ve proteazlar) ve modifiye etmekten sorumlu enzimler olarak etkileşim mekanizmaları iki ana bölüme ayrılmaktadırlar (Şekil 9) (Othman ve ark., 2021).



**Şekil 9.** Mikroorganizmaların Etkisiyle Plastik Parçacığının Bozunması (Badola ve ark., 2022).

Mikroplastik modifiye edici enzim olan hidrolazlar sadece bir yüzey değiştirici olarak reaksiyona girerler. Hidrolazlar, mikroplastik yüzeyinin hidrofilitliğini arttırmaktadırlar. Enzim ve mikroplastik yüzey arasındaki etkileşim mekanizması, C–O bağında değişiklikler gözlenmektedir. Yüzey modifikasyon mekanizmalarından olan kütinaz enzimi sayesinde mikroplastığın iç yapısının bozulduğu bildirilmiştir (Othman ve ark., 2021).

Toprakta bulunan birçok mikroorganizma, sentetik plastikleri çeşitli enzimler yardımıyla metabolize ederek, ara ürünlere dönüştürmede önemli bir rol oynamaktadırlar (Tablo 1) (Ya ve ark., 2021).

**Tablo 1.** Toprak mikroorganizmaları tarafından mikroplastik degradasyonu (Ya ve ark., 2021).

Species	Microplastics	Degradation time(day)	Degradation principles or rates	References
<b>Bacteria</b>				
<i>Arthrobacter</i> sp. and <i>Streptomyces</i> sp.	PE	90	The degradation of PE by these strains was proved by the decrease of the hydrophobicity of the membrane surface, and the increase of the carbonyl index and CO <sub>2</sub> emission.	(Han et al., 2020)
<i>Bacillus tropicus</i>	LDPE	40	The 40-days cultivation resulted in a 10.15% weight loss of PE, and a decrease in tensile strength, elongation at break, tear strength.	(Samanta et al., 2020)
<i>Pseudomonas</i> sp.	PS	60	The PS digestive enzyme secreted by <i>Pseudomonas</i> sp. was oxidized to produce carbonyl groups during PS degradation, and the overexpression level of serine hydrolase during PS degradation confirmed that it was related to PS degradation.	(Kim et al., 2020a)
<i>Stenotrophomonas</i> sp. and <i>Achromobacter</i> sp.	LDPE	100	LDPE beads showed significant weight loss (~8%), and LDPEs undergo oxidation, vinylene production and chain scission during the biodegradation process.	(Dey et al., 2020)
<i>Stenotrophomonas</i> sp., <i>Comamonas</i> sp. and <i>Deftia</i> sp.	PE	90	Biodegradable polyethylene produced chemical changes such as oxidation, vinylene formation, chain scission, and assimilation.	(Peixoto et al., 2017)
<i>Stenotrophomonas pavanii</i>	Modified LDPE	56	The Keto Carbonyl, Ester Carbonyl and Vinyl Bond Index of LDPE all increased.	(Mehmood et al., 2016)
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	HDPE	150	<i>A. xylosoxidans</i> could cause the weight loss of HDPE, and change its chemical structure of HDPE.	(Kowalczyk et al., 2016)
<b>Fungi</b>				
<i>F. falciforme</i> , <i>F. oxysporum</i> and <i>P. lilacinum</i>	PE	180	Microorganisms were widely enriched on the membrane, leading to obvious damage to the polyethylene membrane and trigger the oxidative conversion of the polymer.	(Spina et al., 2021)
<i>Aspergillus flavus</i>	PE	28	Two laccase-like multicopper oxidases (LMCOs) may play an important role in the degradation of PE.	(Zhang et al., 2020b)
<i>Cephalosporium</i> sp. and <i>Mucor</i> sp.	PS	56	After the polystyrene was incubated with <i>Cephalosporium</i> sp. and <i>Mucor</i> sp. for 8 weeks, the weight loss was 2.17 ± 0.16% and 1.81 ± 0.13%, respectively.	(Chaudhary and Vijayakumar, 2020)
<i>Aspergillus oryzae</i>	LDPE	112	New functional groups such as aldehyde, ether and carboxyl groups were formed in the polyethylene sheet.	(Muhonja et al., 2018)
<b>Actinomycete</b>				
<i>Streptomyces</i> sp., <i>Nocardia</i> sp., and <i>Rhodococcus</i> sp.	LDPE	60	After 60 days of incubation, these Actinomycetes reduced the weight of LDPE and the tensile property of LDPE films. In addition, the structure and composition of the films changed significantly.	(Soleimani et al., 2021)

Bakteriler, mikroplastikleri karbon/azot kaynakları olarak kullanarak degrade etme yetenekleriyle bilinmektedirler (Ly ve ark., 2022). En yaygın olarak bulunan mikroplastik polimerleri polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve polipropilen (PP)'dir (Debroy ve ark., 2021).

Bakteriler, plastiğin biyolojik olarak parçalanmasında ekosistemde büyük bir rol oynamaktadırlar. Bakteriler, uzun zincirli yağ asitlerini doğal olarak parçalama yetenekleri nedeniyle plastikleri degrade etmektedirler. Plastiğin biyolojik olarak parçalanmasında en yüksek duyarlılığa sahip *Proteobacteria*'lar daha sonra sırasıyla *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes* ve *Acidobakteriler*dir. *Streptomyces*, *Rhodococcus*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, ve *Arthrobacter*, kullanabilen en yaygın mikrobiyal

taksonlardır. *Arthrobacter* sp. ve *Streptomyces* sp. bakteri türlerinin, PE'ye karşı degradesyon yetenekleri tespit edilmiştir (Yuqing ve ark., 2022).

Antartika topraklarından izole edilen *Pseudomonas* ve *Rhodococcus* suşlarının, PP polimerini degrades etme oranları sırasıyla %17,3 ve %7,3'dir. Düşük sıcaklıklarda bile mikroplastikleri degrades etme yeteneklerinin aynı olduğu tespit edilmiştir (Ly ve ark., 2022). Nehir tortularındaki mikroplastikler üzerindeki mikrobiyal floranın belirlenmesi sonucunda anaerobik ortam hazırlanarak 1 aylık inkübasyon sonucunda *pseudomonas* sp. polietileni %20,54 oranında parçalamayı başardığı tespit edilmiştir. Ayrıca, diğer anaerobik veya fakültatif anaerobik bakteriler, *Serratia*, *Bacillus*, *Paraburkholderia*, *Rahnella* ve *Staphylococcus* türlerinin biyodegradesyon yeteneklerinin olduğu belirlenmiştir (Niu ve ark., 2021).

Deniz ortamındaki mikroplastiklerin parçalanması ve mikrobiyal kolonizasyonunu belirlemek amacıyla yapılan çalışma sonucunda bakteri toplulukları PET (1-8 saat) ile muamele edilmiştir. *Flavobacteriaceae*, *Ectothiorhodospiraceae*, *Gamaproteobakteriler* (%50) oranında artış tespit edilirken *Vibrionacea* ailesinin ise 8-16 saat arasında %2'den %60'a yükseldiği belirlenmiştir. 8 saat ile 256 saat arasında *Rhizobiales*'in (%2-17), *Rhodobacteraceae* (% 4-22) familyalarında düşük bir artış belirlenmiştir (Nawaz, 2020).

Terkedilen bir atık bölgesindeki bakteri kolonizasyonunun polietilene karşı biyodegradesyon süreçlerini belirlemek için topraktan

mikroorganizmaların kolonizasyonları saf olarak PE ile muamele edilmiştir. *Bacillus cereus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus* ve *B. mycooides* türlerinin PE parçalama yeteneklerinin çok yüksek oldukları tespit edilmiştir. *B. selenatarsenatis* PE parçalama yeteneğinin, %10'dan fazla olduğu belirlenmiştir (Puglisi ve ark., 2019).

Malezya Yarımadası'ndaki mangrov ekosistemlerinden izole edilen *Bacillus* suşlarının mikroplastik biyodegradasyon potansiyelini belirlemek için *B. cereus*'un 40 günün sonunda PE, PET ve PS ağırlık kaybı yüzdesi sırasıyla %1,6, %6,6 ve %7,4, *B. gottheilii*'nin, 40 günün sonunda PE, PET ve PS ağırlık kaybı yüzdesi sırasıyla %6,6, %3,0, %3,6'lık bir ağırlık kaybı yüzdesi kaydettiği tespit edilmiştir. Tespit edilen sonuçlara göre, izolatların genetik yapısı sonucunda belirgin bir şekilde önemli polimer bozunmasına neden olduğunu saptanmıştır (Auta ve ark., 2017).

Belediye atık depolama çöktülerindeki *Bacillus* sp. ve *Paenibacillus* sp. bakteri suşları mikro boyutlu polietileni enzimatik olarak parçaladığı kanıtlanmıştır. *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus megaterium* ve *Rhodococcus ruber*'in polistireni ve polikarbonatı parçaladığı tespit edilmiştir (Ya ve ark., 2021).

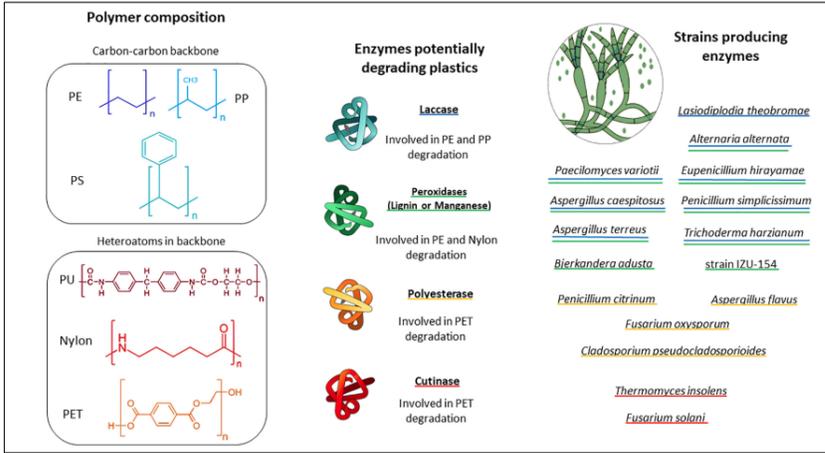
Bakterilerle karşılaştırıldığında, fungusların, mikroplastikleri karbon ve enerji kaynağı olarak kullanma yeteneklerinin daha fazla olduğu son yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmıştır (Zeghal ve ark., 2021) Mantarların metabolik çok yönlülüğü ve karmaşık bileşikleri bozma yeteneği, plastiklerin çevredeki biyolojik olarak bozunmasının bazı

mantarların potansiyel bir metabolik özelliği olabileceğini göstermektedir (Vaksmaa ve ark., 2021). Deniz çevresinden izole edilen filamentli funguslar, kimyasal reaksiyonları katalize ederek, çevre kirliliğine neden olan çeşitli polimerlerin bozunmasında ve mineralizasyonunda önemli rol oynamaktadır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Deniz Çevresinde Saptanan Mikroplastikler Üzerinde Bulunan Fungal Komuniteler

Kaynak	Polimer	Lokasyon	Primerler	Saptanan Fillerler
Oberbeckmann et al., 2016	PET bottles	North Sea	1391F – 1795R	Ascomycota, Basidiomycota and Chytridiomycota
Kethner et al., 2017, 2019	PE, PS	Baltic Sea and Warnow river	Eu565F – Eu918R	Ascomycota, Basidiomycota, Chytridiomycota and Rozellomycota
De Tender et al., 2017	PE	North Sea (coast and offshore)	ITS7bis (adapted) – ITS4NCSr	Ascomycota, Basidiomycota, Chytridiomycota, Glomeromycota, and Mucormycota
Kirstein et al., 2018	HDPE, LDPE, PP, PS and PET	North Sea (flow-through system)	Eu565F – Eu918R	Chytridiomycota
Lacerda et al., 2020	PE, Nylon, PU, PP and PS	Western south Atlantic and Antarctic Peninsula	1391F – EukB, TAReuk454FWD1 – TAReukREV3, ITS11 – ITS4 and gITS7 – ITS4	Aphelidomycota, Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota, Chytridiomycota, Rozellomycota, Mucoromycota and Zoopagomycota

Plastik polimerlerin kimyasal bağlarını parçalamada mantarlar da çok çeşitli enzimler üretirler (Şekil 10) (Zeghal ve ark., 2021). Substratları ayrıştırmada önemli bir rol üstlenen funguslar, mikroplastikleri parçalamak için ekzositoz yoluyla sindirim enzimlerini salgırlar, böylece makromoleküler organik maddeleri parçalayarak mikroplastikler daha küçük organik bileşiklere dönüşmektedirler (Ly ve ark., 2022). Ameen ve ark. (2015) mantar konsorsiyumu tarafından PE'nin bozunması sırasında yüksek lakkaz, manganez peroksidaz (MnP) ve lignin peroksidaz (LiP) aktiviteleri olduğunu göstermiştir.



Şekil 10. Deniz Ortamında Karşılaşılan Önemli Plastik Türleri

(Plastik bozunmada potansiyel olarak yer alan mantar enzimleri ve mantar grupları görüntülenir. Mavi alt çizgi, lakkaz üreten mantarları göstermektedir. Yeşil alt çizgi peroksidaz üreten mantarları, Sarı alt çizgi poliesterez üreten mantarları ve kırmızı alt çizgi kütinaz üreten mantarları göstermektedir).

Farklı çevrelerden izole edilen mantarların çeşitli plastik polimerlerini degrede etme potansiyelleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Plastik bozunma potansiyeli gösteren mantar türlerinin seçimi (Zeghal ve ark., 2021).

Strains	References	Environment of isolation	Polymer	Degradation assessment technique	Incubation time experiment	Main observed results
<i>Alternaria alternata</i>	Ameen et al., 2015	Mangrove	LDPE	Weight loss, SEM, enzyme activity assays, quantification of CO <sub>2</sub>	28 days	Increased biomass in culture with LDPE, CO <sub>2</sub> emission and increased production of laccase, MnP and lignin peroxidase
<i>Aspergillus caespitosus</i>	Ameen et al., 2015	Mangrove	LDPE	Weight loss, SEM, enzyme activity assays, quantification of CO <sub>2</sub>	28 days	Increased biomass in culture with LDPE, CO <sub>2</sub> emission and increased production of laccase and MnP
<i>Aspergillus flavus</i>	Alshahrei, 2017	Seawater	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	30 days	16.2% weight loss of polyethylene
<i>Aspergillus flavus</i>	Deepika and Madhuri, 2015	Soil from waste disposal site	PE	Halo test, weight loss	180 days	Reduction of 16% in molecular weight
<i>Aspergillus flavus</i>	Zhang et al., 2020	Guts of wax moth <i>Galleria mellonella</i>	HDPE	Halo test, HT-GPC, FTIR	28 days	Decreased Mn, Carbonyl groups FTIR and two laccase-like multicopper oxidases (LMCOs) genes, <i>afla_006190</i> and <i>afla_053930</i> , displayed up-regulation
<i>Aspergillus flavus</i> ITCC no. 6051	Mathur and Prasad, 2012	Soil from waste disposal site	PU	Weight loss, SEM, FTIR, and thermogravimetric analysis, enzyme activity assay	30 days	Weight loss of PU, detection of PU degradation via FTIR and production of esterase
<i>Aspergillus flavus</i> VRKPT2	Sangeetha Devi et al., 2015	Coastal area of gulf of Mannar	HDPE	SEM, FTIR, weight loss, total protein content measurement	30 days	Weight loss of 8.5 ± 0.1%
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Alshahrei, 2017	Seawater	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	30 days	20.5% weight loss of polyethylene
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Zahra et al., 2010	Landfill soil	LDPE	UV treated LDPE, SEM, FTIR	100 days	Molecular weight decreases and use of UV LDPE as sole Carbon source and detection of structural changes by FTIR
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Raghavendra et al., 2016	Soil from waste disposal site	PU and LDPE UV irradiated for 50 h	Halo test, weight loss	90 days	Weight loss for PE and PU after 90 days and loss of tensile strength
<i>Aspergillus glaucus</i>	Kathiresan, 2003	Mangrove soil	PE	Weight loss	30 days	Weight loss of 28.8 ± 2.4%
<i>Aspergillus niger</i>	Alshahrei, 2017	Seawater	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	30 days	19.5% weight loss of PE
<i>Aspergillus niger</i>	Raghavendra et al., 2016	Soil from waste disposal site	PU and LDPE UV irradiated for 50 h	Halo test, weight loss	90 days	Weight loss for PE and PU after 90 days and loss of tensile strength
<i>Aspergillus niger</i>	Deepika and Madhuri, 2015	Soil from waste disposal site	PE	Halo test, weight loss	180 days	Reduction of 26% in Mn
<i>Aspergillus niger</i>	Kathiresan, 2003	Mangrove soil	PE	Weight loss	30 days	Weight loss of 17.4 ± 2%
<i>Aspergillus niger</i> (ITCC no. 6052)	Mathur et al., 2011	Soil from waste disposal site	HDPE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	30 days	Reduction of 3.44% in Mn and 61% reduction in tensile strength
<i>Aspergillus nomius</i>	Munir et al., 2018	Soil from waste disposal site	LDPE	Weight loss, tensile strength	45 days	Weight loss of 6.63% and tensile strength reduction of 40%
<i>Aspergillus oryzae</i>	Muhojja et al., 2018	Soil from waste disposal site	LDPE	Weight loss, FTIR analysis	112 weeks	Weight loss of 36.4 ± 5.53% and degradation products detection by FTIR
<i>Aspergillus</i> sp.	Framila and Pramesh, 2011	Seawater	LDPE	SEM, Quantification of CO <sub>2</sub>	7 to 17 days	Visual signs of degradation via SEM and about 4g <sup>-1</sup> of CO <sub>2</sub> produced
<i>Aspergillus</i> sp.	Osman et al., 2018	Soil from waste disposal site	PU	Weight loss, quantification of CO <sub>2</sub> , SEM, FTIR, DSC	28 days	15–20% of weight loss. Change in melting temperature and detection of degradation products via FTIR
<i>Aspergillus sydowii</i>	Sangale et al., 2019	Mangrove dumpsite	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	60 days	Cracks and holes visible by SEM, FTIR analysis, weight loss of 37.94 ± 3.06% (pH = 7) and tensile strength reduction
<i>Aspergillus terreus</i>	Sangale et al., 2019	Mangrove dumpsite	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	60 days	Cracks and holes visible by SEM, FTIR analysis, weight loss of 41.82 ± 5.47% (pH = 9.5) and tensile strength reduction
<i>Aspergillus terreus</i>	Alshahrei, 2017	Seawater	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	30 days	21.8% weight loss of polyethylene
<i>Aspergillus terreus</i>	Ameen et al., 2015	Mangrove	LDPE	Weight loss, SEM, enzyme activity assays, quantification of CO <sub>2</sub>	28 days	Increased biomass in culture with LDPE, CO <sub>2</sub> emission and increased production of laccase, MnP and lignin peroxidase
<i>Aspergillus terreus</i>	Zahra et al., 2010	Soil from waste disposal site	LDPE	UV treated LDPE, SEM, FTIR	100 days	Molecular weight decreases and use of UV LDPE as sole carbon source and detection of structural changes by FTIR

**Tablo 3.** Plastik bozunma potansiyeli gösteren mantar türlerinin seçimi (Zeghal ve ark., 2021).Devamı

<i>Aspergillus terreus</i> MF12	BalaSUBramanian et al., 2014	Soil with PE wastes	HDPE was pretreated by physical (heat and UV), chemical (citric acid and KMnO <sub>4</sub> /HCl), and biological (microbia) treatments in different combinations	SEM, GC-MS, weight loss and FTIR	30 days	Highest degradation rates for UV treated PE
<i>Aspergillus tubingensis</i>	Khan et al., 2017	PU buried in soil	PU	SEM, tensile strength and ATR-FTIR	20 days	SEM surface cracking, erosion, pore formation or loss in tensile strength and ATR-FTIR detected degradation products
<i>Aspergillus tubingensis</i> VRKPT1	Sangeetha Devi et al., 2015	Coastal area of gulf of Mannar	HDPE	SEM, FTIR, weight loss, total protein content (alkaline hydrolysis treatment)	30 days	Weight loss of 6 ± 0.2%
<i>Bjerkandera adusta</i>	Friedrich et al., 2007	Collection	Nylon-6	Halo test, SEM, DSC, HPLC, Enzyme activity assay	60 days	Decrease in number Mn and production of MnP in presence of Nylon
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Brunner et al., 2018	Shoreline of lake Zurich	PU	Halo test	several days	Halos indicating potential plastic usage
<i>Cladosporium pseudocladosporioides</i> strain T1.PL.1	Álvarez-Barragán et al., 2016	Soil	PU (Impranil)	Halo test, SEM, FTIR, GCMS, enzyme activity assay	14 days	detection of PU degradation via FTIR and GCMS. Production of esterase in presence of PU
<i>Emericium hirayamae</i>	Ameen et al., 2015	Mangrove	LDPE	Weight loss, SEM, enzyme activity assays, quantification of CO <sub>2</sub>	28 days	Increased biomass in culture with LDPE, CO <sub>2</sub> emission and increased production of laccase and MnP
<i>Fusarium oxysporum</i>	Raghavendra et al., 2016	Soil from waste disposal site	PU and LDPE UV irradiated for 50 h	Halo test, weight loss	90 days	Weight loss for PE and PU after 90 days and loss of tensile strength
<i>Fusarium oxysporum</i>	Nimchua et al., 2007	Terrestrial environment	PET	Enzyme activity assay and increase of hydrophilicity detection	7 days	Increase of hydrophobicity and release of TPA from PET in presence of esterase
<i>Fusarium solani</i>	Ronkivist et al., 2009	Collection	PET (low crystallinity)	Weight loss, SEM, DSC and HPLC	4 days	Degradation of PET into TPA via cutinase (named FstC) and 5% of film weight loss
<i>Fusarium</i> sp.	Tachibana et al., 2010	Nylon 4 films buried in composted soil	Nylon-4	Weight loss, Biochemical oxygen demand (BOD), NMR, MALDI-TOF and SEM	35 days	Decreased average weight and SEM evidence
<i>Gloeocephalum trabeum</i>	Krueger et al., 2015	Collection	PS (polystyrene sulfonate)	Size exclusion chromatography (SEC)	20 days	Depolymerization of up to 50% reduction in Mn
<i>Lasiodiplodia crassipora</i>	Raghavendra et al., 2016	Soil from waste disposal site	PU and LDPE UV irradiated for 50 h	Halo test, weight loss	90 days	Weight loss for PE and PU after 90 days and loss of tensile strength
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Sheik et al., 2015	Terrestrial environment	LDPE and PP (Gamma irradiated)	Weight loss, DSC, SEM, FTIR, enzyme activity assay	90 days	production laccase, weight loss in PP and PE and detection of degradation products via FTIR
<i>Leptosphaeria</i> sp.	Brunner et al., 2018	Shoreline of lake Zurich	PE, PU	Halo test	several days	Halos indicating potential plastic usage
<i>Paeclomyces varioti</i>	Ameen et al., 2015	Mangrove	LDPE	Weight loss, SEM, Enzyme Activity Assays, Estimation of CO <sub>2</sub> Evolution	28 days	Increased biomass in culture with LDPE, CO <sub>2</sub> emission and increased production of laccase, MnP and ligin peroxidase
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Ojha et al., 2017	Soil from waste disposal site	LDPE and HDPE	SEM, AFM, and FTIR	90 days	Visual with SEM and detection of degradation compounds with FTIR after 60 days
<i>Penicillium citrinum</i>	Liebinger et al., 2007	Landfill soil	PET	Increase of hydrophilicity detection (rising height and drop dissipation measurements)	1 day	Polyesterase hydrolyzed PET showed by rising height (5.1 cm) and drop dissipation measurements (5 s)
<i>Penicillium griseofulvum</i>	Brunner et al., 2018	Shoreline of lake Zurich	PE, PU	Halos test	several days	Halos indicating potential plastic usage
<i>Penicillium oxalicum</i>	Ojha et al., 2017	Soil from waste disposal site	LDPE and HDPE sheets	SEM, AFM, and FTIR	90 days	Visual with SEM and detection of degradation compounds with FTIR after 60 days
<i>Penicillium simplicissimum</i>	Sowmya et al., 2015	Soil from waste disposal site	UV treated PE, non uv autoclaved, non uv surface sterilized	Halo test, SEM, FTIR, NMR spectroscopy, Enzyme activity assay	90 days	Weight loss for UV treated polyethylene was 38%. FTIR detected degradation products. NMR indicated degradation. Both laccase and MnP when treated with PE disk showed weight loss and morphological changes in FTIR spectrum.
<i>Penicillium simplicissimum</i> YK	Yamada-Chodera et al., 2001	Soil	PE	HT-GPC, FTIR, visual growth assessment	90 days	Lower molecular weight and FTIR detection of degradation products
<i>Penicillium</i> sp.	Alshahrei, 2017	Seawater	PE	Weight loss, tensile strength, SEM, FTIR	30 days	43.4% weight loss of PE
<i>Penicillium</i> sp.	Raghavendra et al., 2016	Soil from waste disposal site	PU and LDPE UV irradiated for 50 h	Halo test, weight loss	90 days	Weight loss for PE and PU after 90 days and loss of tensile strength

**Tablo 3.** Plastik bozunma potansiyeli gösteren mantar türlerinin seçimi (Zeghal ve ark., 2021). Devamı

<i>Penicillium</i> sp.	Magnin et al., 2019	Waste from terrestrial environment	PU	Weight loss, FTIR, SEM	60 days	SEM showed visual signs of degradation. Detection of PU degradation via FTIR
<i>Phialophora alba</i>	Ameen et al., 2015	Mangrove	LDPE	Weight loss, SEM, Enzyme Activity Assays, Estimation of CO <sub>2</sub> Evolution	28 days	Increased biomass in culture with LDPE, CO <sub>2</sub> emission and increased production of laccase and MnP
strain IZU-154	Deguchi et al., 1997	Collection	Nylon-6	NMR	20 days	NMR showed formation of four end groups, CHO, NHCHO, CH <sub>2</sub> , and COOH <sub>2</sub> indicating degradation
strain IZU-154	Iiyoshi et al., 1998	Collection	PE	Tensile strength, enzyme activity assay, HT-GPC	12 days	Decrease of tensile strength in presence of strain. Production of MnP. Loss in Mn with MnP treatment
<i>Thermomyces</i> (formerly <i>Humicola</i> ) <i>insolens</i>	Florinviat et al., 2009	Collection	PET (low crystallinity)	Weight loss, SEM, DSC and HPLC	6 days	Degradation of PET into TPA via cutinase (named HIC) and 97% weight loss
<i>Trichoderma harzianum</i>	Raghavindra et al., 2016	Soil from waste disposal site	PU and LDPE UV irradiated for 50 h	Halos test, weight loss	90 days	Weight loss for PE and PU after 90 days and loss of tensile strength
<i>Trichoderma harzianum</i>	Sowmya et al., 2014	Dumpsite soil	PE	SEM, FTIR, NMR analyses and enzyme assay	90 days	Weight loss of UV PE was 40%. Enzymes causing degradation were identified as laccase and MnP
<i>Trichoderma viride</i>	Munir et al., 2018	Soil from waste disposal site	LDPE	Weight loss, tensile strength	45 days	Weight loss of 5.13% and tensile strength reduction of 58%
<i>Xepiclopsis graminea</i>	Brunner et al., 2018	Shoreline of lake Zurich	PE, PU	Halos test	several days	Halos indicating potential plastic usage
<i>Zalerion maritimum</i> (ATCC 34329)	Paço et al., 2017	From collection but marine strain	PE	FTIR-ATR, NMR	28 days	FTIR analysis (carbonyl index), mass loss of 56.7 ± 2.9% of the plastic

Çalışmalarda, Ascomycete filumuna ait *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium*'un plastiği parçalama potansiyeli sergilediği gösterilmiştir (Zeghal ve ark., 2021). Çöplük toprağını kirleten plastik atıklarındaki fungus topluluğu incelenmiştir ve Ascomycota filumuna ait 95 fungus izole edilmiştir. Fungusların çoğu (%97), tek karbon kaynağı olarak PE tozu kullandığı tespit edilmiştir. *Fusarium* suşları yüksek PE konsantrasyonunu daha iyi tolere etmiştir. PE kimyasal ve fiziksel yapıdaki değişiklikler FTIR analizi ve SEM görüntüleri ile gözlemlenmiştir. *Fusarium oxysporum*, *Fusarium falciforme* ve *Purpureocillium lilacinum*, PE film morfolojisinde değişikliklere neden olduklarından önemli sonuçlar gözlenmiştir (Spina ve ark..., 2021). Edafik ortamlardaki funguslar, plastikleri parçalama açısından geniş çapta incelenmesi sonucunda *Aspergillus fumigatus*, 280 günlük inkübasyondan sonra 37 °C PHB'nin ağırlığını %77 oranında, 25°C'de aynı pH, nemde %59'unun azaldığı tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2021). Lacerda ve ark (2020), çoklu markör genleri kullanarak plastik

üzerinde mantar çeşitliliğini belirlemeyi amaçlayan çalışmalarında, daha önce deniz ortamında plastiği kolonize ettiği tespit edilmemiş olan Aphelidomycota, Zoopagomycota, Mucoromycota ve Blastocladiomycota gibi mantar taksonlarını tespit etmişlerdir. Kirstein ve ark. (2018) laboratuvar ortamında mikroplastikler üzerinde oluşan mikrobiyal bileşimi incelemişlerdir. Kuzey Denizi suyuna sahip bir akış sisteminden 18S rRNA gen sekanslama analizi sonucuna göre MP üzerinde Chytridiomycota'ya (PET'in % 3'üne kadar) degrede ettiği belirlenmiştir.

Kettner ve ark. (2017) Baltık Denizi ve Warnow nehrinde polietilen (PE) ve polistrien (PS) parçacıklarına bağlı mantarların çeşitliliğini ve topluluk bileşimini incelemişlerdir. 18S rRNA gen dizilimine dayanarak, PE ve PS'de 81 mantar taksonuna atanan 347 farklı taksonomik birim tanımlamışlardır. Chytridiomycota, Cryptomycota ve Ascomycota üyeleri, mantar toplulukları yaygın olarak tespit edilmiş ve bu mantar taksonlarının su ortamında MP kirliliğinden yararlanabileceği düşünülmüştür. Çalışmada, mantar topluluğu bileşiminin, polimer türünden değil, konumdan önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Alshehrei ve ark. (2017) deniz suyundan izole edilmiş *Penicillium* sp.'nin PE'i degrede etme yeteneğini %43.4 olarak saptamışlardır. Ojha ve ark. (2017) iki potansiyel mantar suşu, *Penicillium oxalicum* ve *Penicillium chrysogenum*'un plastik parçalama yeteneklerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Plastik levhaları, 90 gün boyunca mikrobiyal kültür ile işleme tabi tutmuş ve bozunmanın boyutunu, FE-SEM, AFM ve FTIR ile analiz etmişlerdir.

*Penicillium*'a benzer şekilde, *Aspergillus* cinsine ait farklı türlerin de potansiyel plastik parçalayıcılar olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli çevrelerden izole edilen (toprak, deniz ortamı, wax moth gut) *Aspergillus flavus*, polietileni parçalama potansiyeli göstermiştir (Deepika ve Madhuri, 2015; Sangeetha Devi ve ark., 2015; Alshehrei, 2017; Zhang ve ark., 2020). Paço ve ark. (2017) *Zalerion maritimum* mantarının yaygın kullanılan polimerlerden olan polietileni (PE) kullanabildiğini göstermiştir. Oberbeckmann ve ark. (2016) Kuzey Denizi'ndeki tek kullanımlık poli(etilen tereftalat) (PET) içme şişelerini cam slaytlarda ve deniz suyunda hem bakteri hem de mantar dahil olmak üzere mikrobiyal toplulukların mevsimsel ve coğrafi etkileri belirlemeyi amaçladıkları çalışmalarında, üç istasyonda üç farklı mevsimde PET şişelerin 5-6 hafta boyunca yerleştirildiği bir substrat toplama deneyi kurmuşlardır. PET'i kolonize eden bakteri/arkeal ve ökaryotik toplulukların yapısı ve bileşiminin mevsime ve istasyona göre değiştiğini tespit etmişlerdir. Mantar toplulukları Ascomycota, Basidiomycota ve Chytridiomycota ile temsil edilmiştir.

#### **4. PLASTİK BOZUNMA POTANSİYELİ GÖSTEREN MANTARLAR İÇİN ANALİTİK YÖNTEMLER**

Plastiklerin biyolojik olarak bozunmasını değerlendirmede en yaygın, ağırlık/kütle kaybının gravimetrik ölçüm tekniği uygulanmaktadır (Syranidou ve ark., 2017; Welden ve Cowie, 2017). *Aspergillus niger*, 30, 60 ve 90 gün boyunca maruz kalan LDPE levhalarında sırasıyla %2,9, 4,3 ve 5,1 ağırlık kaybına ve PU levhaların %0,8, 1,5 ve

%2,2'sine yol açan en yüksek biyolojik bozunma verimini göstermiştir (Das ve Kumar, 2014). Munir ve ark. (2018) yerel bir depolama sahası toprağından izole edilen *Trichoderma viride* ve *Aspergillus nomius*'un 45 günlük kùltivasyondan sonra düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) filmlerinde sırasıyla %5,13 ve %6,63 oranında ağırlık kaybına neden olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca PE mikroplastiklere maruz kalan deniz mantarı *Zalerion maritimum* plastiğın %56,7 ± %2,9'unda kütle kaybına neden olmuştur (Paço ve ark., 2017).

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), polimer içindeki gerinim büyümesinin ve fiziksel değışikliklerin net bir görsel değıerlendirilmesine izin veren mikroskopi tekniğidir. Welden ve Cowie (2017) PE, PP ve Naylon'u 12 ay boyunca 10 m derinlikte bentik koşullara maruz bırakmış ve polimerler, SEM altında incelendiğinde farklı aşınma seviyeleri göstermiştir. Weinstein ve ark. (2016), bir degradasyon testi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak MP'lerin üretilebileceğı süreci incelemiştir. Rogers ve ark. (2020), plastik parçacıkların SEM görüntülerine dayanarak, makro plastiklerin biyofilm tarafından kolonize olduğunu ve plastik parçacıkların küçüldükçe, yüzeyde oluşan hücrelerin kendilerini MP'lere yerleştireceğini veya çatlakların içine yapıştırabileceğini bildirmişlerdir.

Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), polimerlerin kimyasal kimliğini belirlemeye izin veren bir tekniktir. Polimer konfigürasyonundaki değışikliklerin güvenilir tespiti avantajı iken

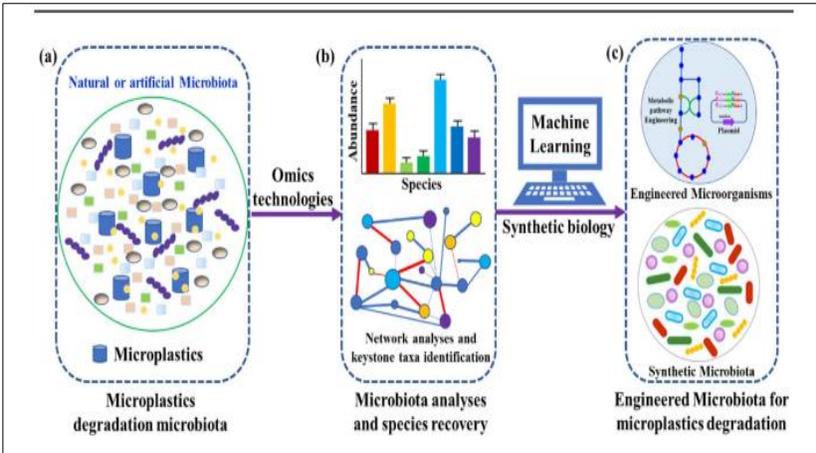
biyofilm yapışmasına ve kimyasal işlemlere duyarlı olması dezavantajdır (Zeghal ve ark., 2021). Syranidou ve ark. (2017), plaj tortusundaki PS yüzeyindeki doğal ve güçlendirilmiş konsorsiyumlardan FTIR kullanarak plastiğin biyofilmini ve bozulmasını incelemişlerdir. Fonksiyonel grupların yoğunluğundaki değişiklik, PS yüzeyinde biyo-erozyon belirtileri ile iklime alışmış deniz popülasyonlarının yıpranmış PS parçalarını parçalayabildiğini tespit etmişlerdir. Russell ve ark. (2011) Amazon yağmur ormanlarından geniş metabolik yetenekleri olduğu bilinen endofitleri kültürlemiş ve iki *Pestalotiopsis* suşunun tek karbon kaynağı olarak poliüretan (PUR) kullanabileceğini tespit etmişlerdir.

## **5. GELECEKTE YAPILABİLECEK OLAN MP ÇALIŞMALARI**

Mikroplastik bozunma-parçalanma genetik mühendisliği, biyomühendislik ve metagenomik alanlarından yardım alınarak nanoparçacık-enzim çalışmaları gelecek çalışmalarda mikroplastik bozulması için potansiyel olarak atılım sağlayabilir. İleride yapılabilecek olan çalışmalarda kendi kendine zaman içinde daha az enerji ile enzim-mikroplastik kompleksi oluşturularak hem biyolojik hem de kimyasal süreçleri entegre ederek çevre dostu ve daha ucuz bulunan biyopolimerler ortaya çıkabilecektir.

Mikroplastiklerin biyolojik parçalanmasını artırabilen daha kısa sürede yüksek verimlilik sağlayarak genetik, biyomühendislik yaklaşımı sayesinde alg-enzim hibritleri geliştirilebilir. Metagenomik analizler sonucu kültüre edilemeyen izolatların ortaya çıkması sonucunda

mikroorganizmaların daha iyi tanımlanması ve izole edilen yeni türlerin mikroplastik biyolojik bozunma potansiyeli olan biyokatalizörler olması sağlanabilir. 4D baskı gibi eklemeli üretim uygulamalarının geliştirilmesi aynı optimum genlere sahip immobilize enzim kompleksleri, uzun vadeli umut verici ve sürdürülebilir sonuçlar yaratma olasılığını artırır. Biyolojik etkileşimler aracılığıyla genomik, transkriptomik, proteomik ve metabolomik dahil olmak üzere "Omik araçlar" uygulamaları mikroplastik parçalanma sırasında genler, proteinler ve metabolitler geliştirilebilir. Mikroplastik parçalanmasını sağlamak için immobilize edici enzim komplekslerinin yapay zeka uygulaması ile tasarlanması hızlandırılabilir (Tang ve ark., 2022). Mikroplastik biyoremediasyonu için spesifik mikrobiyal suşların sentezlediği biyoenzimler, çevresel sorununun çözülmesi için alternatif olarak kullanılabilir (Zhang ve ark., 2021).



**Şekil 11.** Mikroplastik Degredasyonuna Mühendislik Yaklaşımı (Jiang ve ark.,2021).

Mikroplastiklerin biyolojik parçalanması için doğal ve yapay mikrobiyotanın taranması, ekolojik habitatta kilit taşı taksonlarının belirlenmesi, tanımlanması ve yeni nesil dizileme kullanılarak parçalanmaya karşı verimli mikroorganizmaların tasarlanması gelecekte potansiyel stratejilerdir. Gelecek çalışmalarda mikroplastiklerin, biyolojik parçalanma mekanizmalarının ekolojik risklerini değerlendirmek için mühendislik alt yapısının ve sentetik biyolojik araçların da kullanılması ilerideki çalışmalara ışık tutacaktır (Jiang ve ark.,2021).

**KAYNAKLAR**

- Akdogan, Z., Güven, B. (2019). Microplastics in The Environment: A Critical Review of Current Understanding and Identification of Future Research Needs. *Environmental Pollution*, 254, 113011.
- Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H. J., Bhubalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1): 1-26.
- Andrady, A.L. (2017). The Plastic in Microplastics: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 119: 12-22.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H. (2017). Screening of Bacillus Strains Isolated from Mangrove Ecosystems In Peninsular Malaysia For Microplastic Degradation, *Environmental Pollution*, 231, 1552-1559.
- Badola, N., Bahuguna, A., Sasson, Y., Chauhan, J. S. (2022). Microplastics removal strategies: A step toward finding the solution. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 16(1): 1-18.
- Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine pollution bulletin*, 133: 336-348.
- Bhuyan, M. (2022). Effects of Microplastics on Fish and in Human Health. *Frontiers in Environmental Science*, 250.
- Bowley, J., Baker-Austin, C., Porter, A., Hartnell, R., & Lewis, C. (2021). Oceanic hitchhikers—assessing pathogen risks from marine microplastic. *Trends in microbiology*, 29(2): 107-116.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., Uricchio, V. F. 2020. A Detailed Review Study On Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern On Human Health. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 17(4): 1212.

- Carberya, M., O'Connorb, W., Thavamanian, P. (2018). Trophic transfer of micoplastics and mixed contaminants in the marine food web implications for human health. *Environmental International*, 400-409.
- Chai, B., Li, X., Liu, H., Lu, G., Dang, Z., Yin, H. (2020). Bacterial communities on soil microplastic at Guiyu, an E-Waste dismantling zone of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 195, 110521.
- Cole, M., Galloway, T. S. (2015). Ingestion of Nanoplastics and Microplastics by Pacific Oyster Larvae. *Environmental Science & Technology*, 49(24): 14625-14632.
- Curren, E., Leong, S. C. Y. (2019). Profiles of Bacterial Assemblages from Microplastics of Tropical Coastal Environments, *Science of The Total Environment*, 655, 313-320.
- Curren, E., Leong, S. C. Y. 2019. Profiles of Bacterial Assemblages from Microplastics of Tropical Coastal Environments. *Science of The Total Environment*, 655, 313-320.
- Das, M. P., Kumar, S. (2014). Microbial deterioration of low density polyethylene by *Aspergillus* and *Fusarium* sp. *Int J Chem Tech Res*, 6(1): 299-305.
- Debroas, D., Mone, A., Ter Halle, A. (2017). Plastics in the North Atlantic garbage patch: a boat-microbe for hitchhikers and plastic degraders. *Science of the total environment*, 599, 1222-1232.
- Debroy, A., George, N., Mukherjee, G. (2021). Role of biofilms in the degradation of microplastics in aquatic environments. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*.
- Deng, H., Fu, Q., Zhang, Y., Li, D., He, J., Feng, D., ... Ge, C. (2022). Bacterial communities on polyethylene microplastics in mangrove ecosystems as a function of exposure sites: compositions and ecological functions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 107924.
- Didier, D., Anne, M., Alexandra, T. H. (2017). Plastics in The North Atlantic Garbage Patch: A Boat-Microbe For Hitchhikers And Plastic Degradation. *Science Of The Total Environment*, 599, 1222-1232.

- Donohue, M. J., Masura, J., Gelatt, T., Ream, R., Baker, J. D., Faulhaber, K., Lerner, D. T. (2019). Evaluating exposure of northern fur seals, *Callorhinus ursinus*, to microplastic pollution through fecal analysis. *Marine pollution bulletin*, 138, 213-221.
- Dudek, K. L., Cruz, B. N., Polidoro, B., Neuer, S. (2020). Microbial colonization of microplastics in the Caribbean Sea. *Limnology and Oceanography Letters*, 5(1): 5-17.
- Europe, P. (2020). Plastics—the facts 2020. *PlasticEurope*, 1, 1-64.
- Fan, P., Yu, H., Xi, B., Tan, W. (2022). A review on the occurrence and influence of biodegradable microplastics in soil ecosystems: Are biodegradable plastics substitute or threat?. *Environment International*, 107244.
- Galloway, T. S. (2015). Micro-and Nano-Plastics and Human Health. In *Marine Anthropogenic Litter*, Springer, Cham. 343-366.
- Glaser, J. A. (2019). *Biological Degradation of Polymers in The Environment*, (Vol. 1, p. 13). London, Uk: Intechopen.
- Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(5): 1006-1014.
- Gündoğdu, S., Cevik, C., ATAŞ, N. T. (2020). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tracts of some edible fish species along the Turkish coast. *Turkish Journal of Zoology*, 44(4): 312-323.
- Hossain, M. R., Jiang, M., Wei, Q., Leff, L. G. (2019). Microplastic surface properties affect bacterial colonization in freshwater. *Journal of basic microbiology*, 59(1): 54-61.
- Jacques, O., Prosser, R.S., (2021). A probabilistic risk assessment of microplastics in soil ecosystems. *Science Of The Total Environment*. 757, 143987.
- Jaiswal, K. K., Dutta, S., Banerjee, I., Pohrmen, C. B., Singh, R. K., Das, H. T., Deubey, S., Kumar, V. (2022). Impact of aquatic microplastics and nanoplastics pollution on ecological systems and sustainable remediation strategies of biodegradation and photodegradation. *Science of The Total Environment*, 806, 151358.

- Jeyavani, J., Sibiya, A., Shanthini, S., Ravi, C., Vijayakumar, S., Rajan, D. K., & Vaseeharan, B. (2021). A review on aquatic impacts of microplastics and its bioremediation aspects. *Current Pollution Reports*, 7(3): 286-299.
- Jiang, P., Zhao, S., Zhu, L., Li, D. 2018. Microplastic-associated bacterial assemblages in the intertidal zone of the Yangtze Estuary. *Science of the total environment*, 624, 48-54.
- Jiang, Y., Xia, W., Zhao, R., Wang, M., Tang, J., Wei, Y. (2021). Insight into the interaction Between microplastics and microorganisms based on a bibliometric and visualized analysis. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107(4): 585-596.
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C.K., Larat, V., Galloway, T.S., Salamatinia, B. (2017). The Presence of Microplastics In Commercial Salts From Different Countries. *Scientific Reports*, 7, 46173.
- Kettner, M. T., Rojas- Jimenez, K., Oberbeckmann, S., Labrenz, M., Grossart, H. P. (2017). Microplastics alter composition of fungal communities in aquatic ecosystems. *Environmental Microbiology*, 19(11): 4447-4459.
- Kirstein, I. V., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., Gerdts, G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine environmental research*, 120, 1-8.
- Kosuth, M., Mason, S. A., Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, 13(4), e0194970.
- Lacerda, A. L. D. F., Proietti, M. C., Secchi, E. R., Taylor, J. D. (2020). Diverse groups of fungi are associated with plastics in the surface waters of the Western South Atlantic and the Antarctic Peninsula. *Molecular Ecology*, 29(10): 1903-1918.
- Li, D., Shi, Y., Yang, L., Xiao, L., Kehoe, D. K., Gun'ko, Y. K., Wang, J. J. (2020). Microplastic Release from The Degradation of Polypropylene Feeding Bottles During Infant Formula Preparation. *Nature Food*, 1(11): 746-754.

- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., Shi, H. (2016). Microplastics in Mussels Along The Coastal Waters Of China. *Environmental Pollution*, 214, 177–184.
- Liu, F. F., Liu, G. Z., Zhu, Z. L., Wang, S. C., Zhao, F. F. (2019). Interactions between microplastics and phthalate esters as affected by microplastics characteristics and solution chemistry. *Chemosphere*, 214, 688-694.
- Liu, S., Pan, Y. F., Li, H. X., Lin, L., Hou, R., Yuan, Z., ... Xu, X. R. (2022). Microplastic pollution in the surface seawater in Zhongsha Atoll, South China Sea. *Science of The Total Environment*, 822, 153604.
- Lv, M., Jiang, B., Xing, Y., Ya, H., Zhang, T., Wang, X. (2022). Recent advances in the breakdown of microplastics: strategies and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.
- Miri, S., Saini, R., Davoodi, S. M., Pulicharla, R., Brar, S. K., Magdouli, S. (2022). Biodegradation of microplastics: better late than never. *Chemosphere*, 286, 131670.
- Nawaz, A. (2020). Microbial Colonisation and Degradation of Plastic Pollution in the Marine Environment. Open University (United Kingdom).
- Nelms, S. E., Galloway, T. S., Godley, B. J., Jarvis, D. S., Lindeque, P. K. (2018). Investigating Microplastic Trophic Transfer In Marine Top Predators. *Environmental Pollution*, 238, 999-1007.
- Niu, L., Li, Y., Li, Y., Hu, Q., Hu, J., Zhang, W., Wang, L., Zhang, C., Zhang, H. (2021). New Insights into The Vertical Distribution And Microbial Degradation Of Microplastics In Urban River Sediments, *Water Research*, 188, 116449.
- Oberbeckmann, S., Osborn, A. M., Duhaime, M. B. (2016). Microbes on a bottle: substrate, season and geography influence community composition of microbes colonizing marine plastic debris. *PLoS One*, 11(8), e0159289.
- Ory, N.C., Sobral, P., Ferreira, J.L., Thiel, M. (2017). Amberstripe Scad Decapterus Muroadsi (Carangidae) Fish Ingest Blue Microplastics Resembling Their Copepod Prey Along The Coast Of Rapa Nui (Easter Island) In The South Pacific Subtropical Gyre. *Science Of The Total Environment*, 586, 430-437.

- Othman, A. R., Hasan, H. A., Muhamad, M. H., Ismail, N. I., & Abdullah, S. R. S. (2021). Microbial degradation of microplastics by enzymatic processes: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4), 3057-3073.
- Othman, A. R., Hasan, H. A., Muhamad, M. H., Ismail, N. I., Abdullah, S. R. S. (2021). Microbial degradation of microplastics by enzymatic processes: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4): 3057-3073.
- Pappoe, C., Palm, L. M. N. D., Denutsui, D., Boateng, C. M., Danso-Abbeam, H., Serfor-Armah, Y. (2022). Occurrence of microplastics in gastrointestinal tract of fish from the Gulf of Guinea, Ghana. *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113955.
- Petersen, F., Hubbart, J.A., (2021). The occurrence and transport of microplastics: The state of the science. *Science Of The Total Environment*, 758, 143936.
- Pironti, C., Ricciardi, M., Motta, O., Miele, Y., Proto, A., Montano, L. (2021). Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects. *Toxics*, 9(9): 224.
- Pizarro-Ortega, C. I., Dioses-Salinas, D. C., Severini, M. D. F., López, A. F., Rimondino, G. N., Benson, N. U., ... De-la-Torre, G. E. (2022). Degradation of plastics associated with the COVID-19 pandemic. *Marine Pollution Bulletin*, 113474.
- Prata, J. C., Da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. (2020). Environmental Exposure to Microplastics: An Overview On Possible Human Health Effects. *Science of The Total Environment*, 702, 134455.
- Puglisi, E., Romaniello, F., Galletti, S., Boccaleri, E., Frache, A., & Coconcelli, P. S. (2019). Selective bacterial colonization processes on polyethylene waste samples in an abandoned landfill site. *Scientific reports*, 9(1): 1-13.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., ..., Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First Evidence of Microplastics in Human Placenta. *Environment International*, 146, 106274.
- Ramkumar, M., Balasubramani, K., Santosh, M., Nagarajan, R., (2021). The plastisphere: A morphometric genetic classification of plastic pollutants in the natural environment. *Gondwana*.

- Ribeiro, F., Garcia, A. R., Pereira, B. P., Fonseca, M., Mestre, N. C., Fonseca, T. G., Ilharco, L. M., Bebianno, M. J. (2017). Microplastics Effects in *Scrobicularia Plana*. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2): 379-391.
- Robin, R. S., Karthik, R., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Mugilarasan, M., Ramesh, R. (2020). Holistic assessment of microplastics in various coastal environmental matrices, southwest coast of India. *Science of the Total Environment*, 703, 134947.
- Rogers, K. L., Carreres- Calabuig, J. A., Gorokhova, E., Posth, N. R. (2020). Micro-by- micro interactions: How microorganisms influence the fate of marine microplastics. *Limnology and Oceanography Letters*, 5(1): 18-36.
- Samanta, P., Dey, S., Kundu, D., Dutta, D., Jambulkar, R., Mishra, R., ... Kumar, S. (2022). An insight on sampling, identification, quantification and characteristics of microplastics in solid wastes. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, e00181.
- Santana, M. F. M., Ascer, L. G., Custódio, M. R., Moreira, F. T., Turra, A. (2016). Microplastic Contamination In Natural Mussel Beds From A Brazilian Urbanized Coastal Region: Rapid Evaluation Through Bioassessment. *Marine Pollution Bulletin*, 106(1-2): 183-189.
- Schirizzi, G.F., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., Barceló, D. (2017). Cytotoxicity Effects of Commonly Used Nanomaterials and Microplastics On Cerebral and Epithelial Human Cells. *Environmental Research*, 159, 579-587.
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water research*, 129, 154-162.
- Sharma, S., Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27): 21530-21547.

- Spina, F., Tummino, M. L., Poli, A., Prigione, V., Ilieva, V., Cocconcelli, P., Puglisi E., Bracco, P., Zanetti, M., Varese, G. C. (2021). Low density polyethylene degradation by filamentous fungi. *Environmental Pollution*, 274, 116548.
- Statistica (2022). Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> (Erişim tarihi: 08.11.2022)
- Sun, X., Chen, B., Li, Q., Liu, N., Xia, B., Zhu, L., Qu, K. (2018). Toxicities of polystyrene nano-and microplastics toward marine bacterium *Halomonas alkaliphila*. *Science of the total environment*, 642, 1378-1385.
- Syranidou, E., Karkanorachaki, K., Amorotti, F., Franchini, M., Repouskou, E., Kaliva, M., ... Kalogerakis, N. (2017). Biodegradation of weathered polystyrene films in seawater microcosms. *Scientific reports*, 7(1): 1-12.
- Tang, K. H. D., Lock, S. S. M., Yap, P. S., Cheah, K. W., Chan, Y. H., Yiin, C. L., ... Chai, Y. H. (2022). Immobilized enzyme/microorganism complexes for degradation of microplastics: A review of recent advances, feasibility and future prospects. *Science of The Total Environment*, 154868.
- Tavşanoğlu, Ü. N., Kankılıç, G. B., Akca, G., Çırak, T., Erdoğan, Ş. (2020). Microplastics in A Dam Lake In Turkey: Type, Mesh Size Effect, And Bacterial Biofilm Communities, *Environmental Science And Pollution Research*, 27(36): 45688-45698.
- Vaksmaa, A., Hernando-Morales, V., Zeghal, E., Niemann, H. (2021). Microbial degradation of marine plastics: current state and future prospects. *Biotechnology for Sustainable Environment*, 111-154.
- Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., Van Franeker, J.A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F., Law, K.L. (2015). A Global Inventory of Small Floating Plastic Debris. *Environmental Research Letters*, 10(12): 124006.
- Viršek, M. K., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A., Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine pollution bulletin*, 125(1-2): 301-309.

- Wang, J., Zheng, L., Li, J. (2018). A critical review on the sources and instruments of marine microplastics and prospects on the relevant management in China. *Waste Management & Research*, 36(10), 898-911.
- Wang, W., Wang, J. (2018). Investigation of Microplastics in Aquatic Environments: An Overview of The Methods Used, From Field Sampling To Laboratory Analysis. *Trac Trends In Analytical Chemistry*, 108, 195-202.
- Welden, N. A., Cowie, P. R. (2017). Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. *Marine pollution bulletin*, 118(1-2): 248-253.
- Xu, G., Yang, L., Xu, L., Yang, J. (2022). Soil microplastic pollution under different land uses in tropics, southwestern China. *Chemosphere*, 289, 133176.
- Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., Miao, A. J. (2020). Microplastics in aquatic environments: occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of the Total Environment*, 703, 134699.
- Ya, H., Jiang, B., Xing, Y., Zhang, T., Lv, M., Wang, X. (2021). Recent advances on ecological effects of microplastics on soil environment. *Science of The Total Environment*, 798, 149338.
- Yang, Y., Liu, W., Zhang, Z., Grossart, H. P., Gadd, G. M. (2020). Microplastics Provide New Microbial Niches in Aquatic Environments. *Applied Microbiology And Biotechnology*, 104, 6501-6511.
- Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., Yu, F. (2020). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *Science of the Total Environment*, 715, 136968.
- Yuqing, Z., Dazhen, L., Qianqian, F., Dan, F., Yuanyuan, Z., Huamei, Y., ... & Chengjun, G. (2022). Review on Bacterial Community Characteristics on Microplastics Surfaces in Aquatic Environment. *Asian Journal of Ecotoxicology*, (1), 116-128.
- Zhang, M., Zhao, Y., Qin, X., Jia, W., Chai, L., Huang, M., Huang, Y. (2019). Microplastics from Mulching Film Is a Distinct Habitat for Bacteria in Farmland Soil. *Science of The Total Environment*, 688, 470-478.
- Zhang, X., Li, Y., Ouyang, D., Lei, J., Tan, Q., Xie, L., ... Yan, W. (2021). Systematical review of interactions between microplastics and

microorganisms in the soil environment. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126288.



## CHAPTER 3

### FUNGAL BIOTECHNOLOGY AND STUDIES IN TÜRKİYE

Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK<sup>1</sup>

Assoc. Prof. Dr. Esin POYRAZOĞLU ÇOBAN<sup>1</sup>

Senem ÖZTÜRK KÖSE<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Faculty of Science and Letters, Biology Department, Adnan Menderes University, Aydın/TURKİYE. Orcid no: 0000-0003-0258-054X, orcid no: 0000-0002-3921-5362 <https://orcid.org/0000-0002-3921-5362> e-posta: epoyrazoglu@adu.edu.tr;

<sup>2</sup> Institute of Science, Aydın Adnan Menderes University, Aydın/TURKİYE. Orcid no:0000-0002-5656-6711



## 1.INTRODUCTION

Fungi vary in size and shape, from single-celled, microscopic organisms to multicellular forms that are easily visible to the naked eye. Fungal cell sizes can range from 1  $\mu$  to 30  $\mu$ . Microscopic fungi can exist in either mycelial or yeast or both forms. Fungi have eukaryotic cells. Fungi show a wide variety from edible and medicinally used macrofungi to microfungi that are pathogenic to humans, animals and plants (Asan et al, 2022).

Fungi are the second most populous living group in the biosphere after insects (Hawksworth, 2001). However, information on fungal biodiversity is scarce. Although it is estimated that there are 1.5 million species of fungi worldwide, only 5% of them have been identified (Senn-Irlet et al., 2007). The fact that some mushroom species are very few in number in the studies shows that they are facing extinction. It has been determined that approximately 34 species are about to become extinct in Europe and studies are carried out in our country to protect the genetic resources of macrofungi (Adanacıoğlu et al., 2016).

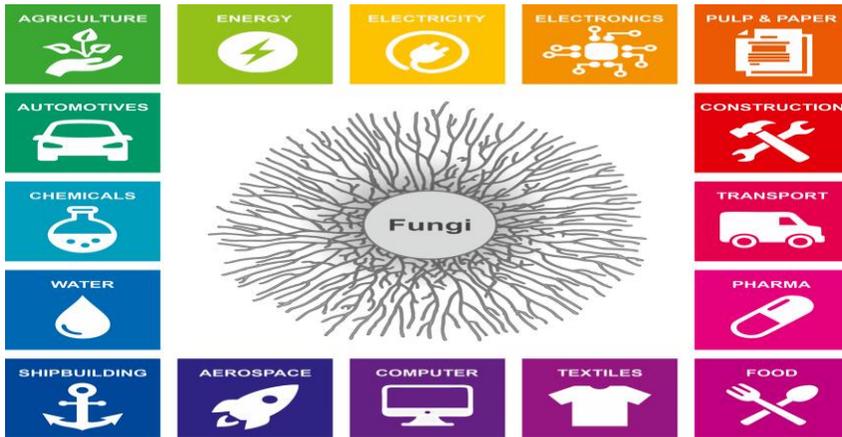
The life cycle of fungi includes both sexual and asexual reproduction, which results in the formation of spores in every way. The entire life cycle, which includes both sexual and asexual reproduction stages, is known as a "holomorph". The stage in which asexual reproduction spores and related reproductive structures are observed is the

"anamorph" (imperfect) stage. The stage in which sexual reproduction structures are observed is called the "telemorph" (perfect) stage.

Classification based on phenotypic characters is the most common traditional method used in defining fungi and it was improved with innovations in microscopes in the 19th century. However, fungal spores and their germ tubes were observed by Giambattista Della Porta in 1588 for the very first time. A preliminary classification was established for mushrooms by Persoon (1794) and Fries (1873) expanded this using spore colour and microscopic characteristics such as arrangement of the hymenophore, pores, gills and teeth. Numerous archetypal publications have used morphology to classify higher to lower taxonomic levels of fungi, such as Hughes (1953), Kohlmeyer and Kohlmeyer (1979), von Arx and Müller (1975), Barr (1978), Carmichael (1962), Sutton (1980) and Barr (1987). The results of morphology-based taxonomic studies are also important and used in other research areas, such as fungal biochemistry, biotechnology, bioremediation, physiology and plant pathology (Senanayake, 2020).

Fungi secrete different types of enzymes and are used by breaking down their food into monomers under the influence of these enzymes. Fungi with different morphology, ecology, and physiology cause different plant diseases (such as blight, rust, soot, and wilt), pathogenicity in animals (producing mycoses and toxins), and biological deterioration (such as mold and rot). With these effects, they have a negative impact on people's quality of life. Fungi vary widely, from micro-sized molds

and yeasts to larger macrofungi. Numerous species of macro-sized mushrooms are grown for human uses as food or dietary supplements. Genera such as *Aspergillus*, *Penicillium* and *Saccharomyces* synthesize many enzymes and metabolites. These abilities have made fungi one of the cornerstones of modern biotechnology (Mukherjee, 2018).



**Figure 1: Industries Profiting from the Metabolic Capacities of Filamentous Fungi (Meyer et al, 2020)**

### **Why Are Fungi So Important Biotechnologically?**

Here are numerous ways in which the term biotechnology can be explained. The Spinks Commission in the UK, which made the first official announcement; He defined biotechnology as the application of biological organisms, systems or processes to the manufacturing and service industries. The European Federation has expanded this definition somewhat, using the phrase "integrated use of biochemistry, microbiology and engineering sciences, cultured, tissue cells and parts thereof to enable the technological (industrial) application of the capabilities of microorganisms". The US National Institutes of Health and Food and Drug Administration defined "Biotechnology is the

application of biological systems and organisms to technical and industrial processes.” Technologies in this field include genetic selection, in vitro modification of genetic material, recombinant DNA, gene splicing, cell fusion, hybridoma technology, and There are other new techniques for modifying the genetic material of living organisms (Bennett et al., 1997).

Fungi are used in the industrial process involving the production of many polymers such as enzymes, vitamins, polysaccharides, polyhydric alcohols, pigments, lipids and glycolipids. Some of these products are produced commercially, while others are potentially valuable in biotechnology. Fungal secondary metabolites, which are extremely important for our health and nutrition, also have an important economic effect. With the development of recombinant DNA technology, the commercial importance of microbial enzymes produced by yeasts and other fungi has increased. Molecular manipulations have been added to mutation techniques as a means of increasing titers and yields of microbial processes and in the discovery of new drugs. Today, fungal biology is an important participant in the global industry (Adrio and Demain, 2003).

Fungal biotechnology has been defined as the application of fungi and their subcellular components, their metabolic processes, as well as end products useful in industry, medicine, agriculture, environmental management, food processing, and other technologies for human well-being. It is evaluated as fungal biotechnology in industrial formations

such as food yeast, ethanol production, vitamins, enzymes, organic acids, single-cell proteins, alkaloids, antibiotics, bioremediation, dissolution in coal. Mushrooms have been used as food by humans since ancient times. Yeasts were used for bread and alcohol production. Mushrooms have also been used in the fermentation, food processing and preparation of oriental foods such as t mp , shoyu, miso and angko (Manoharachary et al., 2010).



**Figure 2: The Potential Use of Fungi in Biotechnology (Hyde et al., 2019)**

### **Strategies Against Human Disease Antibacterial Antibiotics**

Penicillin is the oldest antibiotic produced by Alexander Fleming from *Pencillium chrysogenum*. Further studies proved that Penicillin is not a single compound or a unique set of compounds. Cephalosporin antibiotics were later discovered and proved to be structurally similar to penicillin. These two antibiotics are unusual molecules due to the presence of the lactam ring system. Antibiotics synthesized by microorganisms are called natural components that can be applied directly clinically and can be used more by chemical and enzymatic methods. Cyclosporine is used in organ transplantation (Manoharachary et al., 2014).

Cyclosporine A has been found to be a narrow spectrum fungicide produced by the mold *Tolyocladium nivenum* (formerly

*Tolypocladium inflatum*). The lack of immunosuppressive activity of the drug enabled it to have great success in organ transplants. An ancient broad-spectrum mycophenolic acid produced by several *Penicillium* species was never commercialized. morpholinoethyl ester was approved as a new immunosuppressant for kidney transplantation in 1995 and heart transplantation in 1998. Ester is a prodrug called mycophenolate mofetil (CellCept), which is hydrolyzed in the body to mycophenolic acid (Adrio and Demain, 2003).

**Table 1: Same Antibiotics from Fungi (Manoharachary et al, 2014).**

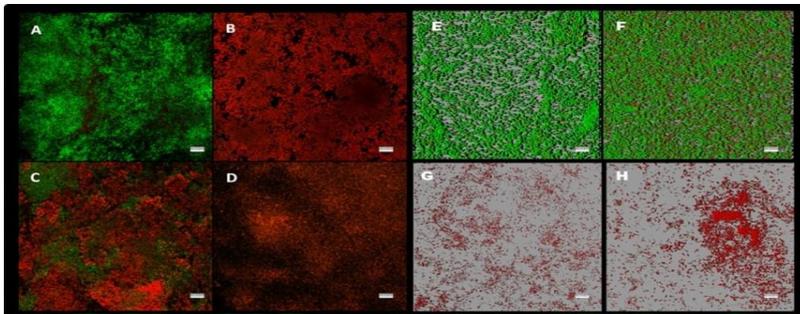
Fungus	Antibiotic
<i>Cephalosporium acremonium</i>	Cephalosporin C
<i>Emericellopsis sp.</i>	Penicillin N
<i>Fusidium coccineum</i>	Fusidic acid
<i>Paecilomyces variotii</i>	Variotin
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Penicillin G
<i>Penicillium patulum</i>	Griseofulvin
<i>Tolypocladium inflatum</i>	Cyclosporin

In our country, many studies are carried out on the antimicrobial activity and metabolites of fungi. Işcan et al. (2012) isolated monoterpene alpha phellandrene from different microorganisms. Inci et al. (2022) investigated the antibacterial, antioxidant and antifungal activities of *Hymenochaete rubiginosa*.

### **Biofilm inhibitors**

Biofilms are serious health problems because of their ability to build host defenses, their ability to resist multiple drugs, and other stresses. With these features, it causes chronic bacterial infections worldwide (Subhadra et al., 2018; Sharma et al., 2019). Biofilms are complex three-dimensional (3-D) structures of bacteria that are inflexibly embedded in a matrix called Extracellular Polymeric Substance (EPS).

Bacteria form biofilms on every substrate, and biofilms cause infections in plants, animals and humans (Srinivasan et al., 2021). Many methods have been tried to inactivate biofilms. In particular, antibiotic applications are used. Antibiotics produced from fungi had an effect on biofilm formation. Rasmussen et al. (2005) observed that *Penicillium* species and garlic extracts contain QS inhibitory compounds. Using liquid chromatography-mass spectrometry, penicillinic acid and patulin were identified as QS inhibitors of *Penicillium* species. (Brackman and Coenye, 2015). In a recently published study, coprinuslactone derived from the edible mushroom *Coprinus comatus* and acting against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms was investigated (de Carvalho et al., 2016). Anti-biofilm effects of roussoellenic acid (Phukhamsakda et al., 2018) synthesized from *Roussoella* sp. and active against biofilm formation in *Staphylococcus aureus* and microporenic acid A synthesized from a basidiomycete were found (Chepkirui et al., 2018)



**Figure 5: Effect of Coprinuslactone Structure on *S. Aureus* and *P. Aeruginosa* in Vitro Biofilms (De Carvalho et al. 2016).**

(A) *S. aureus* biofilm treated with MeOH (control); (B) treatment with isopropanol (negative control); (C) treatment with 50 µg/mL and (D) treatment with 100 µg/mL of coprinuslactone 1. (E) *P. aeruginosa* biofilm treated with MeOH (negative control);

(F) treatment with 37.5 µg/mL of coprinuslactone 1; (G) treatment with 75 µg/mL and (H) treatment with 150 µg/mL of coprinuslactone.

These examples illustrate that fungi are under-explored with respect to novel antibiotics and other therapeutic agents, and that it is certainly worthwhile to expend more effort in this area of research with an emphasis on hitherto neglected species from regions and habitats that have not yet been studied systematically.

Fungi have much to offer in terms of novel chemistry: due to the advent of revolutionary techniques in genomics, transcriptomics, bioinformatics, and analytical chemistry and biotechnological process development, we can now explore the chemical diversity of the mycobiota much more concisely than ever before.

Studies have been conducted in our country showing that fungi can be used as biofilm inhibitors. Yazıcı et al. (2021) investigated the anti-biofilm effects of filamentous fungi.

### **Anti-cancer agents**

The bioactive substances of fungi, especially antioxidant substances, are interesting for cancer research. Recent studies have shown that these active ingredients in fungi are effective anti-cancer agents.

Irofulven interferes with DNA replication complexes in DNA synthesis and cell division. Abnormal cells in the S phase lead to apoptotic cell death (Walser and Heinstejn 1973; Jaspers et al., 2002). Sandargo et al. (2019) described new illudin conjugates that showed superior in vitro

activities than irifulven and are currently in early preclinical development. Aphidicolin, a tetracyclic diterpene with antiviral and antimitotic properties, compound was originally isolated from “*Cephalosporium aphidicola*” (current name: *Akantomyces muscarius*) and later also reported from *Nigrospora sphaerica* (Bucknall et al., 1973; Starratta and Loschiavo, 1974). Aphidicolin inhibits specific binding sites on DNA polymerase  $\alpha$ ,  $\delta$  and  $\epsilon$  enzymes. Its mechanism of action and efficacy have been extensively tested in clinical studies (Crosetto et al., 2013; Ayob et al., 2017), but it has not become a marketed drug so far. Other anticancer lead compounds derived from fungi are leptosines F and C isolated from *Leptoshaeria sp.* These compounds showed antitumor activity in mouse embryos (Yanagihara et al., 2005; Pejin et al., 2013);  $\beta$ -glucans, one of the polysaccharides found naturally in the cell walls of fungi, (Chan et al., 2009; Bashir and Choi 2017); and palmarumycin (Powis et al. 2006) and spiropreussione A (Chen et al., 2009) activities have only been demonstrated in vitro, and it is unclear whether they will eventually reach the late discovery stage of preclinical development.

The following studies can be given as examples to the scientists and their publications who have conducted cancer research on fungi in our country in recent years. Ozturk et al. (2021) obtained cytotoxic substances from *Sarcosphaera crassa*, an edible mushroom species. Likewise, Turel et al. (2021) isolated cytotoxic substances from Lymphocytes. Inci et al. (2022) examined the medicinal properties of *Pleurotus*. Selamoglu et al. (2022) studied the effects of *Macropiota*

*procera* extracts on lung cancer in the report they published. Özgür et al. (2022) investigated the effect between silver nanoparticles of *Macrolepiota procera* and cancer cells in their study. They investigated the anti-cancer and apoptosis properties of silver nanoparticles with *Paxina leucomelas* and *Rhizopogon luteolus* extracts.

### **Anti-Diabetes Effects**

Diabetes mellitus is a life-threatening chronic metabolic disease characterized by high blood glucose levels (hyperglycemia) resulting from insulin deficiency and/or insulin dysfunction. Today, there are many chemical and biochemical hypoglycemic agents (synthetic drugs) used in the treatment of diabetes and effective in controlling hyperglycemia. However, natural anti-diabetic drugs from herbs have received a lot of attention, as they can have harmful side effects and cannot significantly alter the course of diabetic complications. Medicinal mushrooms have been valued for centuries as a traditional source of natural bioactive compounds and targeted as potential hypoglycemic and anti-diabetic agents. Bioactive metabolites including polysaccharides, proteins, dietary fibers and many other biomolecules isolated from medicinal mushrooms and their cultured micelles have been shown to be successful in the treatment of diabetes as biological anti-hyperglycemic agents (De Silva et al., 2012).

Protein tyrosine phosphatase (PTP) 1B is involved in the down-regulation of insulin and leptin signaling and thus is an emerging therapeutic target for the management of diabetes and obesity. literature survey revealed that numerous natural products have been

reported to possess PTP1B inhibitory effects. Moreover, several reviews dealing with PTP1B inhibitor drug development, have been published. Alkaloids isolated from fungi (Indole-terpenoids, penerpenes A and B, paxilline, emindole-*Penicillium*; echinulin-*Eurotium sp.*; Amauromine- *Amauroascus sp.*; Marinamide-*Aspergillus sp.*), debsids (KS-506a, KS-506m- *Micromucor ramannianus*; aquastatin A, glycosylated depside- *Cosmospora sp.*), Xanthenes and anthraquinones (Bis-tetrahydroxanthenes, asperdichrome, secalonic acid F- *Aspergillus sp.*), Azophylons (Pinophilin C- *Cordyceps sp.*; Deflectus C1/flectus) - It has been found that cerebrosides (Cordycerebroside B - *Cordyceps militaris*) and Triterpenes and steroids (seco-cucurbitane triterpenes 57 and 58- *Russula lepida*) have PTP1B inhibitory effects (Nazir, 2021).

**Table 2: Anti-Diabetic Effects of Some Medical Mushroom Species (Hyde et al., 2019)**

Mushroom species	Common name	Bioactive compounds	Experimental setup and observed effects
<i>Agaricus bisporus</i>	White button mushroom	Dry fruiting body extract	Streptozotocin-injected diabetic Sprague Dawley rats (reduced blood glucose level)
<i>Agaricus campestris</i>	Field mushroom	Aqueous fruiting body extract	
<i>Agaricus subrufescens</i>	Almond mushroom	$\beta$ -Glucans from dried fruiting bodies	
<i>Inonotus obliquus</i>	Chaga mushroom	Ethyl acetate fraction from dried fruiting bodies	Alloxan-induced diabetic mice (reduced blood glucose level)
<i>Ophiocordyceps sinensis</i> (" <i>Cordyceps</i> " <i>sinensis</i> )	Caterpillar fungus	Polysaccharide from <i>Ophiocordyceps</i> ( <i>Cordyceps</i> ) mycelia	Streptozotocin- and alloxan-induced diabetic mice (reduced blood glucose level/increased the blood insulin level)
<i>Hericium erinaceus</i>	Lion's mane mushroom	Methanol extract of the dried fruiting body	Streptozotocin-induced Wistar rats (reduced blood glucose level)
<i>Tremella mesenterica</i>	Yellow brain mushroom	Fruiting body extract	Streptozotocin-induced Wistar rats (increased insulin secretion and glucose metabolism)

## Improving Nerve Functioning

Human neurodegenerative diseases such as Alzheimer's, Huntington's, and Parkinson's disease are neurological diseases that occur in adults worldwide. The discovery and development of neuroactive compounds from medicinal mushrooms with the potential to improve nerve

functioning has long been studied. Fungi such as *Antrodia camphorata*, *Ganoderma spp.*, *Hericium erinaceus*, *Lignosus rhinocerotis*, and *Pleurotus giganteus* have a long history of use in enhancing the peripheral nervous system. *H. erinaceus* not only induces nerve growth factors or nerve regeneration, but has also been shown to improve digestive function and affect relief from gastritis while providing immune support such as anti-inflammatory and anti-oxidant activities. It may become conceivable after the biochemical and molecular mechanisms by which erinacins and hericenons compounds exert their activity in biological system (Hyde et al., 2019).

### **Cardiovascular Disease Control by Fungi**

Edible mushrooms are a valuable nutrient and food source containing bioactive compounds that attract people with their taste and culinary use. Recently, edible mushrooms have attracted attention in the field of functional medicine due to their beneficial effects on health. Therefore, the food industry is particularly interested in cultivated and wild edible mushrooms. Cardiovascular diseases are one of the most common causes of morbidity and mortality in Europe. Studies have shown that the use of mushrooms as food has effects on total, LDL, HDL cholesterol, fasting triacylglycerol, homocysteine, blood pressure, homeostatic function, and oxidative and inflammatory damage, potentially reducing the risk of cardiovascular disease (Guillamón, 2010). The most important class of HMG-CoA ( $\beta$ -Hydroxy  $\beta$ -methylglutaryl-CoA) reductase inhibitors are statins, derived from fungal natural products and containing a hexahydro-naphthalene

system and a  $\beta$ -hydroxylactone system. Statins are also the top selling pharmaceutical class with annual turnover of US\$50 billion (Hyde et al., 2019).

### **Antiviral Agents**

Viral infections are known to be among the most common diseases affecting humans. New viruses are emerging in the future and we have a limited number of vaccines in the World and only a few antiviral agents to fight viral diseases. Fungi are thought to represent a large source of bioactive molecules that could potentially be used as antivirals in the future (Linnakoski et al., 2018).

Viruses are an extraordinary group of microorganisms that cause infectious diseases. Recent scientific studies have shown that new antiviral agents can inhibit the virus replication cycle by affecting the host cell factor(s) important for virus replication and/or viral elements (Lou et al., 2014). Despite the developments in antiviral pharmaceuticals in recent studies, diseases caused by viral infections are not successful in treatments mostly due to the emergence of recombinant viruses, drug resistance and cell toxicity (Tantillo et al., 1994; Gilbert et al., 2005; Morfin et al., 2003). Moreover, the widespread emergence of chronic viral infectious diseases, including human immunodeficiency virus (HIV) and viral hepatitis, clearly warrants the discovery of new therapeutic agents with higher efficacy and reduced side effects. From 1981 to 2010, only 18 of the 110 established antiviral drugs were biological derivatives of natural products, including laninamivir, oseltamivir, and zanamivir. However,

the proportion of synthetic drugs made from modified nucleosides and peptidomimetics etc. or mimicking natural products was much higher (Moghadamtousi et al., 2015).

**Table 3: Antiviral Activities of Marine Fungi and Their Mechanism of Action (Moghadamtousi et al., 2015).**

Virus	Antiviral Agent	Source	Chemical Class	E ffect/Mechani sm
EV71	Stachybogrisephenone B (1)	<i>Stachybotrys</i> sp.	Xanthone	IC <sub>50</sub> : 30.1 <sup>^</sup> M
	Grisephenone A (2)	<i>Stachybotrys</i> sp.	Xanthone	IC <sub>50</sub> : 50.0 <sup>^</sup> M
	3,6,8-Trihydroxy-1-methylxanthone (3)	<i>Stachybotrys</i> sp.	Xanthone	IC <sub>50</sub> : 40.3 <sup>^</sup> M
HSV	Halovirs A-E (4-8)	<i>Scytalidium</i> sp.	Peptide	direct inactivation
	11a-dehydroxyisoterreurlactone A (9)	<i>Aspergillus terreus</i> SCSGAF0162	Lactone	IC <sub>50</sub> : 33.38 <sup>^</sup> M
	Arisugacin A (10)	<i>Aspergillus terreus</i> SCSGAF0162	Lactone	IC <sub>50</sub> : 12.76 <sup>^</sup> M
	Isobutyrolactone II (11)	<i>Aspergillus terreus</i> SCSGAF0162	Lactone	IC <sub>50</sub> : 62.08 <sup>^</sup> M
	Aspernolide A (12)	<i>Aspergillus terreus</i> SCSGAF0162	Lactone	IC <sub>50</sub> : 68.16 <sup>^</sup> M
	Balticolid (13)	<i>Ascomycetous</i> strain 222	Macrolide	IC <sub>50</sub> : 0.45 <sup>^</sup> M
HIV	Equisetin (14)	<i>Fusarium heterosporum</i>	Tetramic acid	IC <sub>50</sub> : 15 <sup>^</sup> M
	Phomasetin (15)	<i>Phoma</i> sp.	Tetramic acid	IC <sub>50</sub> : 10 <sup>^</sup> M
			Acylated	
	Integric acid (16)	<i>Xylaria</i> sp.	eremophilane	IC <sub>50</sub> : 10 <sup>^</sup> M
			sesquiterpenoid	

**Table 3: Antiviral Activities of Marine Fungi and their Mechanism of Action (Moghadamtousi et al., 2015).(continue)**

Virus	Antiviral Agent	Source	Chemical Class	E ffect/ Mechanism
	Emerimidine A (33)	<i>Emericella</i> sp. (HK-ZJ)	Isoindolone	IC50: 201.1 $\mu$ M
	Emerimidine B (34)	<i>Emericella</i> sp. (HK-ZJ)	Isoindolone	IC50: 296.62 $\mu$ M
	Purpurquinone B (35)	<i>P. purpurogenum</i> JS03-21	Azaphilone	IC50: 61.3 $\mu$ M
	Purpurquinone C (36)	<i>P. purpurogenum</i> JS03-21	Azaphilone	IC50: 64.0 $\mu$ M
	Purpuresters A (37)	<i>P. purpurogenum</i> JS03-21	Benzofuran	IC <sub>50</sub> : 85.3 $\mu$ M
	TAN-931 (38)	<i>P. purpurogenum</i> JS03-21	Nonsteroidal aromatase	IC50: 58.6 $\mu$ M
	Sorbicatechol A (39)	<i>P. chrysogenum</i> PJX- 17	Sorbicillinoids	IC50: 85 $\mu$ M
	Sorbicatechol B (40)	<i>P. chrysogenum</i> PJX- 17	Sorbicillinoids	IC50: 113 $\mu$ M
PRRS -	Tetrahydroaltersolano l C (41)	<i>Alternaria</i> sp. ZJ- 2008003	Anthraquinon e derivatives	IC50: 65 $\mu$ M
	Alterporriol Q (42)	<i>Alternaria</i> sp. ZJ- 2008003	Isoindolone derivatives	IC <sub>50</sub> : 39 $\mu$ M
MCV	Sansalvamide A (43)	<i>Fusarium</i> sp.	Pentadepsipep tide	inhibition of topoisomeras e
RSV	22-<9-( $\wedge$ -Me-L- valyl)-21-epi- aflaquinolone B (44)	<i>Aspergillus</i> sp. XS- 20090B15	Prenylated dihydroquinol one derivatives	IC50: 42 nM
	2-(4-hydroxybenzyl) quinazolin-4(3H)- one(45)	<i>P. oxalicum</i> 0312F1	Alkaloid	EC50: 399.57 $\mu$ M
	2-(4-hydroxybenzoyl) quinazolin-4(3H)-one (46)	<i>P. oxalicum</i> 0312F1	Alkaloid	EC50 not tested
	TMV Methyl 4- hydroxyphenylacetate (47)	<i>P. oxalicum</i> 0312Ft	Ester	EC50: 829.15 $\mu$ M
	AGI-B4 (48)	<i>Neosartorya fischeri</i> 1008F1	Dihydroxanth enon e	IC50: 260 $\mu$ M
	3,4-dihydroxybenzoic acid (49)	<i>Neosartorya fischeri</i> 1008F1	Polyphenol	IC50: 630 $\mu$ M

### **Biocontrol of Plant Disease Using Endophytes**

Various microorganisms are effective in agricultural practices and product formation. Viruses, bacteria, fungi, protozoa and nematodes are groups that cause plant diseases. Fungal pathogens are important agents of plant diseases and infect most plants. Agrochemicals have been used for many years and play an important role in plant disease management to ensure a sustainable farming system. But heavy use of chemicals has toxic effects on humans and ecosystem functioning and therefore also reduces agricultural sustainability. Sustainable agriculture is achieved through the reduction or elimination of fertilizers and agrochemicals, resulting in minimal impact on the environment. The use of biocontrol agents instead of chemicals gives safer results. In recent years, researchers have been examining the use of antagonistic endophytes more for the management of some plant diseases and minimal environmental impact (de Silva et al., 2019).

Endophytes reside asymptotically within a plant for at least part of their life. Fungal endophytes can be broadly classified into two groups, the clavicipitaceous (C) and the non-clavicipitaceous (NC). These endophytes are classified based on evolutionary relatedness, taxonomy, host plant range and ecological function. Clavicipitaceous endophytes, including *Atkinsonella*, *Balansia*, *Balansiopsis*, *Echinodothis*, *Epichlos*, *Myriogenospora* and *Paraepichlos* species are commonly associated with grasses in the family Poaceae and rely on their host throughout their life cycle as mutualist species. Non-clavicipitaceous endophytes, such as *Fusarium sp.*, *Colletotrichum sp.*, *Phomopsis sp.*

and *Xylaria sp.* are found in most terrestrial plants, and might not inhabit the host plants for their entire life cycle (Hyde et al., 2019).

Studies have found that alkaloids have antimicrobial potential in inhibiting the proliferation of microbes. Alkaloid, a novel alkaloid isolated from Endophyte *Alternaria spp.*, exhibited potent antibacterial activity against many pathogenic gram-positive bacteria (Hellwig et al., 2002). Another metabolite that exhibits antibiotic activity is an essential oil. An endophytic fungus from tropical trees known as *Muscodor albus* has been reported in studies to produce several volatile organic compounds, including acephilene, 2-butanone, and 2-methyl furan, which have been reported to produce antibiotic properties (Atmosukarto et al., 2005).

**Table 4: Antifungal Activities of Endophytes (Fadiji and Babalola, 2020).**

<b>Endophytic fungi</b>					
<i>Phoria sp.</i>	<i>Cinnamomum molleissimum</i>	Antifungal	5-hydroxyramulsin	Polyketides	Santiago et al., 2012
<i>Geotrichum candidum</i> , <i>Cylindrocyclidium sp.</i>	<i>Phyllanthus reticulatus</i> Poe	Antibacterial and antifungal	–		Pai and Chandra, 2011
<i>Fusarium sp.</i> , <i>Cladosporium cladosporioides sp.</i> , <i>Mucor pusillus</i> , <i>Phytosus sp.</i> , and <i>Alternaria alternata</i>					
<i>Phormopsis sp.</i>	<i>Aconitum carmichaeli</i>	Antifungal	Gavodermaide and Clavasterols	Steroids	Wu et al., 2015
<i>Xylaria sp.</i> F0010	<i>Albas</i>	Antifungal	Griseofulvin	–	Park et al., 2006
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Ginkgo biloba</i>	Antifungal	Chaetomuglin A and D	Azaphilone derivative	Qin et al., 2009
<i>Pestalotiopsis mangiferae</i>	<i>Mangifera indica</i> Linn	Antibacterial	4-(2,4,7-trioxo-bicyclo[4,10]-hepten-3-yl)	Phenols	Subban et al., 2013
<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Bauhinia guianensis</i>	Antibacterial	Fumigaclavine C and Paerutotin C	Alkaloids	Pinheiro et al., 2013
<i>Phormopsis sp.</i>	<i>Garcinia sp.</i>	Antibacterial and antifungal	–	–	Phongpaichit et al., 2006
<i>Botryosphaeria sp.</i>	<i>Indigofera suffruticosa</i>	Antibacterial	–	–	Santos et al., 2015
<i>Nigrospora aphaerica</i> (UIM-6062) and <i>Pestalotiopsis maculans</i> (UIM-6061)	<i>Millet</i>				
MR1B and MRB.2	<i>Catharanthus roseus</i> and <i>Euphorbia hirta</i>	Antibacterial and antifungal	Citreolissocoumarin, paxilline, nigricinol, fatty acid, cepterin, clidospomin	Isocoumarin derivative	Akpotu et al., 2017

## Biocontrol of Insects Using Fungi

The first research into the prevention of plant pathogens by biological control began in the mid-1920s; Techniques related to plant pathology have been intensively researched by scientists, industry and research experts in recent years (Singh et al., 2017). Myco-biocontrol is an environmentally sound and effective way to reduce or mitigate insect pests and their effects through the use of natural enemies. Pest-related

damages cause a heavy loss in agricultural production in the field and storage in India, estimated at approximately US\$10,000 million annually. Myco-biocontrol is the use of fungi in biological processes to reduce insect density in order to reduce disease-producing activity and therefore crop damage (Santhu et al., 2012).



**Figure 6: Agriculturally Important Entomopathogenic Fungi (Sharma et al., 2020)**

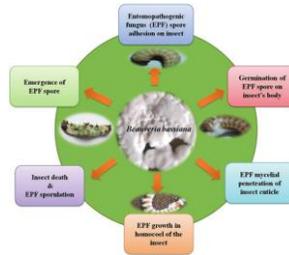
Entomopathogenic fungi are found in the divisions Zygomycota, Ascomycota and Deuteromycota previously classified in Fungi, as well as in the classes Chytridiomycota and Oomycota. Most of the entomopathogenic fungal species currently under investigation belong to the class Entomophthorales in Zygomycota or the class Hyphomycetes in Deuteromycota (Shah and Pell, 2003).

**Table 5: Entomopathogenic Fungi as Biological Control Agents (Shah and Pell, 2003).**

Phylum/ Class/ Order <sup>a</sup>	Genus	Examples of insect hosts	Commercial products <sup>b</sup>
Oomycota	Legneridium	Mosquitoes	<i>L. giganteum</i> registered in USA
Chytridiomycota	Coelomomyces	Mosquitoes	
Zygomycota	Conidiobolus, Entomophaga	Aphids, flies, caterpillars	
Zygomycetes	Entomophthorales: Erynia, Neozygites, Platyedra		
Entomophthorales	Zoophegales		
Ascomycota	Conyogales, Hypocneilia, Torulaliella	Scale insects, butterflies and moths, beetles	
Deuteromycota	Aschesonina, Beauveria	Scale insects, whiteflies, aphids, grasshoppers and locusts, butterflies and moths, beetles	Several products based on <i>B. bassiana</i> , <i>B. brongniartii</i> , <i>M. anisopliae</i> , <i>P. fumosoroseus</i> or <i>V. lecanii</i>
Hyphomycetes	Hirsutiella, Metarhizium		
Moniliales	Nomuraea, Paecilomyces, Tolypocladium, Verticillium		

Phylogenetic distribution data strongly supports the idea that fungal virulence towards insects independently arose in several fungal lineages, representing examples of convergent evolution. Such fungal-

insect interactions have profound implications in environmental microbiology, ecosystem balance, biodiversity, eukaryotic and pathogen evolution, and insect and pest control issues. *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium robertsii* (formerly) the phylogenetic tree data strongly suggest the idea that insect fungicidal arose independently in several fungal lineages representing examples of convergent evolution. Such fungal-insect interactions have important implications for environmental microbiology, ecosystem balance, biodiversity, eukaryotic and pathogen evolution, and insect and pest control. *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium robertsii* (formerly *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok.) are the most studied fungal pathogens of insects. Both infect most insect orders.



**Figure 7: Life Cycle or Mode of Action of Entomopathogenic Fungi Against Insect Pests (Sharma et al., 2020).**

### **Biocontrol of Weeds and Herbicides from Fungi**

Weeds are plants that grow in a location where their presence has become undesirable due to their adverse effects on the ecosystem or human activities. During the early 1990s weed management was dominated by mechanical methods. Therefore, the need for biological weed control as well as development of bio-herbicides has become important (Hyde et al., 2019). With the increasing negative

environmental and health effects of chemical fungicides and the increasing resistance of plant pathogens to these fungicides, the use of fungi as biological weeds are plants that have adverse effects on the ecosystem or human activities and are undesirable to grow. In the early 1990s, weed management was dominated by mechanical methods. Therefore, the need for the development of biological weed control and bio-herbicides has also increased (Hyde et al., 2019). With the increasing environmental and health adverse effects of chemical fungicides and the increasing resistance of plant pathogens to these fungicides, the use of fungi as biological fungicides for the control of plant diseases has attracted the attention of many scientists (Peng et al., 2021). Biological control refers to "the planned introduction of an exotic biocontrol agent for permanent establishment for long-term control in an area where weeds are problematic for its natural habitat" (Hyde et al., 2019). *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, *T. hamatum* and *T. pseudokoningii* are among the species that are frequently investigated as biological control agents (Filizola et al., 2019). Winston et al. (2014) "A catalog of world agents and target weeds" 5th edition reported seven different fungal species developed as mycoherbicides available as commercial products. Gan et al. (2013) they analyzed the genomes of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Colletotrichum orbiculare* and revealed their use as herbicides. The discovery of genes involved in the production of indole acetic acid (IAA), a component of some well-known herbicides, in these two organisms has shown that they can be converted to mycoherbicides (Gan et al., 2013).

## Food Colouring from Filamentous Fungi

Filamentous fungi produce range of pigments that include several chemical classes such as carotenoids, melanins, azaphilones, anthraquinones, flavins, phenazines, quinones, and more specifically, violacein and indigo (Dufossé, 2018). People has used of fungal pigments as food colourant even before 1884 when the French Botanist Tieghem characterized the fungus *Monascus* (Christiana, 2016). The pigments from filamentous fungi were used as food colorants, natural dyes in cosmetics, pharmaceutical, textile industry. Natural pigments from filamentous fungi serve as a green alternative to synthetic dyes in food colorants are biodegradable in nature. Filamentous fungi can be grown in fermenters (Hyde et al., 2019). Fungal pigment compounds commercially viable work on toxicity studies remains necessary before these pigments can be launched as products globally.

In our country, different studies are carried out for pigment production from fungi. Bezirhan et al., (2020) from Mersin University produced pigments for foodstuffs from *Aspergillus carbonarius*.

**Table 6: Some of Pigments Produced by Filamentous Fungi (Hyde et al., 2019)**

Color	Pigments	Fungal producers	References
Blue	Sanguinone A	<i>Mycena sanguinolenta</i>	Peters and Spitteller (2007)
Green	Xylindein	<i>Chlorociboria aeruginosa</i>	Saikawa et al. (2000)
Orange	Monascourbrin	<i>Monascus</i> sp.	Vendruscolo et al. (2017)
	Rubropunctatin		
	$\beta$ -Carotene	<i>Mucor circinelloides</i> <i>Neurospora intermedia</i>	Torres et al. (2016)
Red	Rubropunctamine	<i>Monascus</i> sp.	Hamano and Kilikian (2006), Dikshit and Tallapragada (2013)
	Monascourbramine		
	Lycopene	<i>Blakeslea tripora</i>	Feofilkova et al. (2006)
Yellow	Ankaflavin	<i>Monascus</i> sp.	Yongsmith et al. (2013), Klinsupa et al. (2016)
	Monascin		

## Harvesting the untapped probiotic potential of fungi

Probiotics are microorganisms that, when administered as necessary, provide health benefits to the host. Probiotics can survive in the salt and acid conditions found in the stomach, gastric juices and small intestine after oral ingestion (Wang et al., 2022). According to FAO/WHO guidelines published in 2002, adequate intake can provide health benefits (Fernández-Pacheco, 2021). Most probiotics in use today are limited to bacterial strains (*Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium* and *Streptococcus*) initial registration of the use of fungi as probiotics, originally isolated to combat cholera-associated diarrhea and now to treat diarrhea of various etiologies the health benefits of *Saccharomyces boulardii* have been demonstrated by several clinical studies. Although *Saccharomyces cerevisiae* is isolated from the intestinal flora, it is not a native intestinal species. It has been seen in studies that it is usually taken with food from outside and adapts to the body environment and temperature. This species, which is given as a probiotic, is known to contribute to the intestinal flora (Hallen-Adams, 2017). However, the probiotic potential of different fungal species is gaining importance today. Members of the *Kluyveromyces* and *Yarrowia* genera are promising candidates despite their antibacterial activity and difficult conditions for attachment to the intestinal wall. More studies are needed to discover the probiotic potential of fungi (Hyde et al., 2019). Future use of fungi as probiotics should focus on identifying and fully characterizing suitable strains of probiotics. Application results of each probiotic mushroom species should be determined and optimal doses should be defined according to age group and disease status. In addition, scientific data on the

importance of probiotic use for animal health studies should be increased.

Omak and Yılmaz Ersan (2022) from Uludag University in our country found that the short-chain fatty acids of *Cordyceps militaris* have positive effects on *Lactobacillus* species.

### **Saving The Planet**

Today, the most important problem for our world is waste management. Every year, as a result of human activities, many wastes are generated and many of them are non-organic wastes that have permanent effects on the environment. Fungi can be used to destroy or reduce waste with the metabolites they produce. However, the strategies to be applied in the use of fungi should be scientifically researched.

### **Agricultural waste disposal**

The wastes generated as a result of various agricultural activities are lignocellulose-based agricultural wastes. Agricultural waste production is increasing at an average rate of 5-10 percent every year. As a result of the studies carried out, it is expected that agricultural waste will increase to approximately 2.2 billion tons annually by 2025. If the wastes generated as a result of agricultural activities are not managed properly, it can pose a significant threat to human health due to the environmental pollution it will cause (Aiduang et al., 2022). Agricultural wastes are mainly composed of lignocellulosic wastes. It is a renewable and important resource for biomass/ethanol production due to the high amount of sugar in its content (Kim and Dale, 2004).

Different mushroom species can be used in different processes and applications. Fungi with the potential to produce lignocellulosic enzymes play an important role in eco-agricultural waste application. White rot fungi can be used to remove lignin from agricultural wastes using lignocellulosic enzymes (Miyachi et al., 2018; Rouches et al., 2018; Zhou et al., 2015b, 2018). Identifying enzymes secreted by fungi, commercial enzyme mixtures can be prepared and used to increase the amount and process of converting agricultural wastes to sugar. The approach to using enzymes has led to the discovery of new activities such as lytic polysaccharide oxidases that open lignocellulose structures (Berrin et al., 2012; Couturier et al., 2012, 2018). Fungi can be used to convert compounds in agricultural wastes into higher-value commercial molecules such as vanillin (Taira et al., 2018) and cannolo (Odinot et al., 2017).

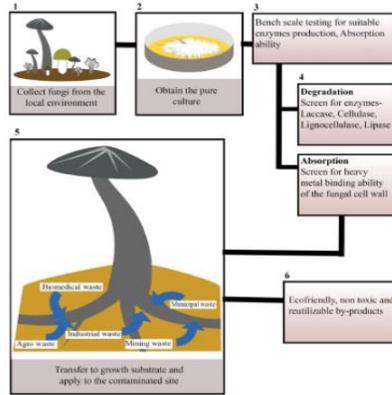
Current studies on fungal enzymes and composting agricultural wastes in our country are as follows; Caliskan Özdemir and Uzel (2020) produced phytase enzyme from thermophilic bacteria for compost studies Sedefoğlu et al. (2022) investigated the nanofertilizer characterization of *Ganoderma lucidum* with ZnO nanoparticles.

### **Mycoremediation: Fungi to the Rescue**

Fungi break down different types of wastes with their hydrolase and oxidoreductase enzymes and use these wastes as food. In studies conducted, it has been determined that basidiomycetes type fungi are one of the important bioremediation tools. With these studies, it was

underlined that fungi play an important role in the biosorption and biodegradation of wastes (Barrech, 2018). By determining which pollutant will be decomposed, the most suitable mushroom species for the target pollutant can be determined (Matsubara et al., 2006). Bhaleroa et al. determined that the *Aspergillus niger* species they used in their study would be efficient for the bioremediation of soils and waters contaminated with endosulfan. White rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*, *A. terreus*, *Cladosporium oxysporum*, *Fusarium ventricosum*, *Rhizopus oryzae*, *Trichoderma harzianum* type fungi have been studied by different researchers (Leo'n-Santiesteban et al., 2016). It has been observed that polychlorinated biphenyls, which are toxic chemicals and organochemicals used in industrial production, are degraded by non-lignolytic enzymes produced by fungi such as *Fusarium solani*, *Penicillium chrysogenum* and *Scedosporium apiospermum* (Tigini et al., 2009). The textile industry has a large share in environmental pollution. Singh and Singh (2011) found in their study that *Trichoderma harzianum* was effective in removing textile dyes. The soil has high salinity due to insufficient drainage in different parts of the world. In such special areas, halophytic or halotolerant fungi can be used as bioremediators to make the soil suitable for agriculture. Fungi that can be used as soil mycomediators. Species of *Aspergillus penicillioides*, *Gymnascella marismortui*, *Cladosporium cladosporioides* and *Penicillium westlingii* are well characterized as halophilic. More studies should be done for the processes of these species to reduce the amount of salt in the soil (Zhang and Wei, 2017). Transgenic fungi can be produced by examining genes involved in

enzyme degradation, mineralization, absorbance, and adaptation to extreme environmental conditions in mycoremediation studies.



**Figure 8: The Process of Mycoremediation (Hyde at al., 2019).  
Packed-bed bioreactor for mycomaterial production**

The most current way of decomposing environmental wastes by fungal species and turning them into new products is the production of mycelium-based composites. Mycelium-based composites are biodegradable materials obtained by fungi that can use ligninocellulytic wastes. Mycelium-based composites have been developed and widely used in different fields such as insulation, construction, packaging, agriculture and furniture manufacturing industries, textiles. There are advantages and disadvantages of using mycelium-based composite materials. low production cost, low density and low energy consumption, biodegradability and low carbon footprint are among the advantages. However, the low mechanical properties and high water absorption capabilities of these materials need to be developed for the production of materials to be used in the future (Aiduang et al., 2022). Mycelium-based composite materials are produced by the development

of fungal mycelium on lignocellulosic substrates. Fungi produce mycelium with numerous hyphae to form a web on the surface and penetrate the substrate. After the growth of the micelles, the hyphae bind with the substrate particles to form a solid compound (Mannan et al., 2021). Natural polymers chitin and glucan were found in mycelium-based composite mycelial cell walls (Haneef et al., 2017). The drying process applied to mycelium-based composite materials stops fungal growth. In addition, different mushroom species and different production, drying and pressing processes create different properties (chemical, mechanical and physical) and functional materials (Appels et al., 2019; Karana et al., 2018). Therefore, the selection of the fungal species or strain, the substrate, the manufacturing process, and the final finishing process are all very important considerations in producing a high-quality mycelium-based composite. According to studies, the genus *Pleurotus* (25.0%) is the most productive species in the production of mycelium-based composite materials. This species includes *Ganoderma* (22.2%), *Trametes* (18.1%), *Pycnoporus* (4.2%), *Polyporus* (2.8%), *Agaricus* (2.8%), *Coriolus* (2.8%) and *Lentinula* (%). 2.8 follows (Aiduang et al., 2022).

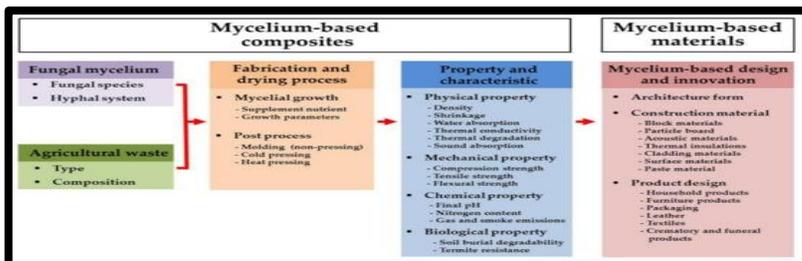


Figure 9: Synthesis Process of Mycelium-Based Composite (Aiduang et al., 2022).

### **Fungal Degradation of Plastics: A Hidden Treasure for A Greener Environment**

The role of fungi in the ecological cycle cannot be limited to providing the energy and element cycle and maintaining the ecological balance. Fungi can also be used in the biodegradation of various types of plastics. Many studies have investigated the degradation of natural and synthetic plastics by fungi (Barratt et al., 2003; Khan et al., 2017). According to the findings of a study, most plastic-degrading fungi belong to the genera *Aspergillus*, *Fusarium*, *Paecilomyces* and *Penicillium* (Kim and Rhee, 2003). The mechanism of fungal degradation in plastics begins with the attachment of fungal hyphae to the surface of a plastic substrate. Enzymes are then secreted by the hyphae that allow the hyphal tips to penetrate the substrate, and the hyphae roots begin to physically elongate, allowing the hyphae to attach to the substrate. Small molecules, polymers, atoms are absorbed from the hyphae ends and transported to the plasma (Moore et al., 2000; Khan et al., 2017). The plastic substrate is hydrolyzed by hyphal enzymes. Many enzymes that can biodegrade the synthetic polymers polyethylene and polyurethane are also associated with the degradation of plant polymers. The alteration of polymer surfaces by fungal enzymes has a positive effect on biodegradation. More work is needed to learn the link between certain types of plastic and certain types of fungi to determine the true food web of fungi. It is necessary to determine the structure and active sites of biodegradable enzymes of various fungi and to develop methods to increase the catalytic degradation of polymers (Hyde et al., 2019).

**Table 7: List of Fungal Species with their Enzymes Responsible for Biodegradation and Types of Plastics Used (Hyde et al., 2019).**

Fungal strain	Enzyme	Plastic type	References
<i>Aspergillus flavus</i>	Glucosidases	PCL	Tokwa et al. (2009)
<i>Aspergillus niger</i>	Catalase, protease	PCL	Tokwa et al. (2009)
<i>Aspergillus terreus</i>	Esterase, urethane hydrolase	PU	Boubendir (1993)
<i>Aspergillus tubingensis</i>	Esterase, lipase	PU	Khan et al. (2017)
<i>Bipolaris (Cochliobolus) sp.</i>	Laccase	PVC	Sumathi et al. (2016)
<i>Chaetomium globosum</i>	Esterase, urethane hydrolase	PU	Boubendir (1993)
<i>Curvularia senegalensis</i>	Polyurethanase	PU	Crabbe et al. (1994)
<i>Fusarium sp.</i>	Cutinase	PCL	Shimao (2001)
<i>Pestalotiopsis microspora</i>	Serine hydrolase	PU	Russell et al. (2011)
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Manganese peroxidase	PE	Shimao (2001)
<i>Talaromyces funiculosus</i> (formerly <i>Penicillium funiculosum</i> )	Glucosidases	PHB	Tokwa et al. (2009)
<i>Talaromyces pinophilus</i> (formerly <i>Penicillium pinophilum</i> )	PHB-depolymerase	PHB	Panagiotidou et al. (2014)
<i>Trichoderma sp.</i>	Urease, protease, esterase and laccase	PU	Locredo-Treviño et al. (2011)

Disclaimer: Some of the fungal species in the table are pathogenic and it is out of question to use them in biotechnological processes  
PCL polycaprolactone, PE polyethylene, PHB polyhydroxybutyrate, PU polyurethane, PVC polyvinyl chloride

In our country, studies on microplastics have been increasing in recent years. Some of these studies are given. Aydın et al. (2016) conducted a study on the decomposition of polycyclic aromatic hydrocarbons by fungi.

## 1. Future of the fungal biotechnology

Studies have been carried out on the morphology, molecular identification of fungi and the use of fungal metabolites in different industrial stages. In the future, it is recommended to develop algorithms for the identification of new fungal gene clusters with the developments in the field of bioinformatics. In addition, using recombinant technologies, expressing certain gene regions in different hosts and investigating these gene regions will be a priority.

## REFERENCES

- Adanacıoğlu, N., Yıldız, Ü., Erdiñç, O., Aykas, L., Ayfer, T., and Taylan, T. (2016). Türkiye Makromantar Genetik Kaynakları I. Ege Bölgesi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 46-61.
- Adrio, J. L., and Demain, A. L. (2003). Fungal biotechnology. *International Microbiology*, 6(3), 191-199.
- Aiduang, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T., Oranratmane, R., Lumyong, S., Suwannarach, N. (2022). Amazing fungi for eco-friendly composite materials: A comprehensive review. *Journal of Fungi*, 8(8), 842.
- Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., Wösten, H. A. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials and Design*, 161, 64-71.
- Asan A., Selçuk F., Sevindik M., Giray G., (2022). Genel Mikoloji Ders Kitabı. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Atmosukarto, I., Castillo, U., Hess, W. M., Sears, J., and Strobel, G. (2005). Isolation and characterization of *Muscodora albus* I-41.3 s, a volatile antibiotic producing fungus. *Plant science*, 169(5), 854-861.
- Ayob, F. W., Simarani, K., Zainal Abidin, N., and Mohamad, J. (2017). First report on a novel *Nigrospora sphaerica* isolated from *Catharanthus roseus* plant with anticarcinogenic properties. *Microbial Biotechnology*, 10(4), 926-932.
- Barrech, D., Ali, I., and Tareen, M. (2018). A Review on Mycoremediation—the fungal bioremediation. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 7(1), 343-348.
- Bashir, K. M. I., and Choi, J. S. (2017). Clinical and physiological perspectives of  $\beta$ -glucans: the past, present, and future. *International journal of molecular sciences*, 18(9), 1906.
- Bennett, J. W., Heller, F., and Case, C. L. (1997). Bio-tech-nol-o-gy, n.: The many definitions of biotechnology. *Soc. Indust. Microbiol. News*, 47, 240-243.
- Berrin, J. G., Navarro, D., Couturier, M., Olivé, C., Grisel, S., Haon, M., Taussac, S., Lechat, C., Courtecuisse, R., Favel, A., Coutinho P.M., Lesage-Meessen, L.

- (2012). Exploring the natural fungal biodiversity of tropical and temperate forests toward improvement of biomass conversion. *Applied and environmental microbiology*, 78(18), 6483-6490.
- Brackman, G., and Coenye, T. (2015). Quorum sensing inhibitors as anti-biofilm agents. *Current pharmaceutical design*, 21(1), 5-11.
- Bucknall, R. A., Moores, H., Simms, R. and Hesp, B. (1973). Antiviral effects of aphidicolin, a new antibiotic produced by *Cephalosporium aphidicola*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 4(3), 294-298.
- Chan, G. C. F., Chan, W. K. and Sze, D. M. Y. (2009). The effects of  $\beta$ -glucan on human immune and cancer cells. *Journal of hematology & oncology*, 2(1), 1-11.
- Chin, Y. W., Balunas, M. J., Chai, H. B., and Kinghorn, A. D. (2006). Drug discovery from natural sources. *The AAPS journal*, 8(2), E239-E253.
- Christiana, N. O. (2016). Production of food colourants by filamentous fungi. *African Journal of Microbiology Research*, 10(26), 960-971.
- Couturier, M., Ladeveze, S., Sulzenbacher, G., Ciano, L., Fanuel, M., Moreau, C., ... and Berrin, J. G. (2018). Lytic xylan oxidases from wood-decay fungi unlock biomass degradation. *Nature chemical biology*, 14(3), 306-310.
- Couturier, M., Navarro, D., Olivé, C., Chevret, D., Haon, M., Favel, A., ... and Berrin, J. G. (2012). Post-genomic analyses of fungal lignocellulosic biomass degradation reveal the unexpected potential of the plant pathogen *Ustilago maydis*. *BMC genomics*, 13 (1), 1-14.
- Crosetto, N., Mitra, A., Silva, M. J., Bienko, M., Dojer, N., Wang, Q., ... and Dikic, I. (2013). Nucleotide-resolution DNA double-strand break mapping by next-generation sequencing. *Nature methods*, 10(4), 361-365.
- de Carvalho, M. P., Gulotta, G., do Amaral, M. W., Lünsdorf, H., Sasse, F., and Abraham, W. R. (2016). Coprinuslactone protects the edible mushroom *Coprinus comatus* against biofilm infections by blocking both quorum-sensing and MurA. *Environmental microbiology*, 18(11), 4254-4264.
- De Silva, N. I., Brooks, S., Lumyong, S., and Hyde, K. D. (2019). Use of endophytes as biocontrol agents. *Fungal Biology Reviews*, 33(2), 133-148.

- Dufossé, L. (2018). Red colourants from filamentous fungi: are they ready for the food industry?. *Journal of Food Composition and Analysis*, 69, 156-161.
- Fadiji, A. E. and Babalola, O.O. (2020). Elucidating mechanisms of endophytes used in plant protection and other bioactivities with multifunctional prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 467.
- Fernández-Pacheco, P., Pintado, C., Briones Pérez, A., and Arévalo-Villena, M. (2021). Potential probiotic strains of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces*: functional and biotechnological characteristics. *Journal of Fungi*, 7(3), 177.
- Filizola, P. R. B., Luna, M. A. C., de Souza, A. F., Coelho, I. L., Laranjeira, D., and Campos-Takaki, G. M. (2019). Biodiversity and phylogeny of novel *Trichoderma* isolates from mangrove sediments and potential of biocontrol against *Fusarium* strains. *Microbial cell factories*, 18(1), 1-14.
- Gan, P., Ikeda, K., Irieda, H., Narusaka, M., O'Connell, R. J., Narusaka, Y., Takano, Y., Kubo, Y., Shirasu, K. (2013). Comparative genomic and transcriptomic analyses reveal the hemibiotrophic stage shift of *Colletotrichum* fungi. *New Phytologist*, 197(4), 1236-1249.
- Gilbert, C., and Boivin, G. (2005). Human cytomegalovirus resistance to antiviral drugs. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(3), 873-883.
- Guillamón, E., García-Lafuente, A., Lozano, M., Rostagno, M. A., Villares, A., and Martínez, J. A. (2010). Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*, 81(7), 715-723.
- Hallen-Adams, H. E., and Suhr, M. J. (2017). Fungi in the healthy human gastrointestinal tract. *Virulence*, 8(3), 352-358.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., and Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: fabrication and tuning of physical properties. *Scientific reports*, 7(1), 1-11.
- Hawksworth, D. L. (2001). The magnitude of fungal diversity: the 1·5 million species estimate revisited. *Mycological research*, 105(12), 1422-1432.
- Hellwig, V., Grothe, T., Mayer-Bartschmid, A. N. K. E., Endermann, R., Geschke, F. U., Henkel, T., and Stadler, M. (2002). Altersetin, a new antibiotic from

cultures of endophytic *Alternaria* spp. Taxonomy, fermentation, isolation, structure elucidation and biological activities. *The Journal of antibiotics*, 55(10), 881-892.

- Hyde, K. D., Xu, J., Rapior, S., Jeewon, R., Lumyong, S., Niego, A. G. T., Abeywickrama, P. D., Aluthmuhandiram, J.V.S., Brahamanage, R.S., Brooks, S., Chaiyasen A., Chethana K.W.T., Chomnunti, P., Chepkirui C., Chuankid, B., de Silva N.I., Doilom, M., Faulds C., Gentekaki E., Gopalan, V., Kakumyan, P., Harishchandra, D., Hemachandran, H., Hongsanan, S., Karunarathna, A., Karunarathna, S.C., Khan, S., Kumla, J., Jayawardena, R., Liu J.K., Liu, N., Luangharn, T., Macabeo, A.P.G., Marasinghe, S.D., Meeks, D., Mortimer, P.E., Mueller, P., Nadir, S., Nataraja, K.B., Nontachaiyapoom, S., O'Brien, M., Penkhrue, W., Phukhamsakda, C., Shaanker Ramana, U., Rathnayaka, A.R., Sadaba, R., Sandargo, B., Samarakoon, B.C., Tennakoon, D.S., Siva, R., Sriprom, W., Suryanarayanan, T.S., Sujarit, K., Suwannarach, N., Suwunwong, T., Thongbai, B., Thongklang, N., Wei, D., Wijesinghe, S.N., Winiski, J., Yan, J., Yasanthika, E., Stadler, M. (2019). The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, 97(1), 1-136.
- Jaspers, N. G., Raams, A., Kelner, M. J., Ng, J. M., Yamashita, Y. M., Takeda, S., and Hoeijmakers, J. H. (2002). Anti-tumour compounds illudin S and Irofulven induce DNA lesions ignored by global repair and exclusively processed by transcription-and replication-coupled repair pathways. *DNA repair*, 1(12), 1027-1038.
- Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E. J., and Camere, S. (2018). When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. *International Journal of Design*, 12(2).
- Kim, S., and Dale, B. E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and bioenergy*, 26(4), 361-375.
- León-Santesteban, H. H., Wrobel, K., Revah, S., and Tomasini, A. (2016). Pentachlorophenol removal by *Rhizopus oryzae* CDBB-H-1877 using

- sorption and degradation mechanisms. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(1), 65-71.
- Linnakoski, R., Reshamwala, D., Veteli, P., Cortina-Escribano, M., Vanhanen, H., and Marjomäki, V. (2018). Antiviral agents from fungi: Diversity, mechanisms and potential applications. *Frontiers in microbiology*, 9, 2325.
- Lou, Z., Sun, Y., and Rao, Z. (2014). Current progress in antiviral strategies. *Trends in pharmacological sciences*, 35(2), 86-102.
- Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., and Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(1), 1-10.
- Manoharachary, C., Babu, K. S. and Kunwar, I. K. 2010. Fungal Diversity, conservation and prospects of fungi from India. In: *Prospecting Fungal Diversity: Conservation and Applications in Biotechnology* (Eds.: Singh, S.K. and Rao, V.S.). Anamaya Publishers. New Delhi, India: 7-15.
- Manoharachary, C., Kunwar, I. K., and Rajithasri, A. B. (2014). Advances in applied mycology and fungal biotechnology. *KAVAKA*, 43, 79-92.
- Miyauchi, S., Rancon, A., Drula, E., Hage, H., Chaduli, D., Favel, A. and Rosso, M. N. (2018). Integrative visual omics of the white-rot fungus *Polyporus brumalis* exposes the biotechnological potential of its oxidative enzymes for delignifying raw plant biomass. *Biotechnology for biofuels*, 11(1), 1-14.
- Morfin, F., and Thouvenot, D. (2003). Herpes simplex virus resistance to antiviral drugs. *Journal of Clinical Virology*, 26(1), 29-37.
- Movassaghi, M., Piizzi, G., Siegel, D. S., and Piersanti, G. (2006). Enantioselective Total Synthesis of (-)-Acylfulvene and (-)-Irofulven. *Angewandte Chemie*, 118(35), 5991-5995.
- Mukherjee, D., Singh, S., Kumar, M., Kumar, V., Datta, S., and Dhanjal, D. S. (2018). Fungal biotechnology: role and aspects. In *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives* (pp. 91-103). Springer, Singapore.

- Nazir, M., Saleem, M., Ali, I., Abbas, G., Rehman, N. U., Green, I. R. and Hussain, H. (2021). Fungal metabolites as anti-diabetic agents: emphasis on PTP1B inhibitors. *Phytochemistry Reviews*, 20(1), 119-143.
- Odinot, E., Fine, F., Sigoillot, J. C., Navarro, D., Laguna, O., Bisotto, A., and Lomascolo, A. (2017). A two-step bioconversion process for canolol production from rapeseed meal combining an *Aspergillus niger* feruloyl esterase and the fungus *Neolentinus lepideus*. *Microorganisms*, 5(4), 67.
- Omak, G., Yılmaz-Ersan, L. (2022). Effect of *Cordyceps militaris* on formation of short-chain fatty acids as postbiotic metabolites. *Preparative Biochemistry&Biotechnology*, 1-9.
- Ortiz-Urquiza, A., Luo, Z., and Keyhani, N. O. (2015). Improving mycoinsecticides for insect biological control. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(3), 1057-1068.
- Özdemir, S. C., Uzel, A. (2020). Bioprospecting of hot springs and compost in West Anatolia regarding phytase producing thermophilic fungi. *Sydowia*, 72, 1-11.
- Pejin, B., K Jovanovic, K., Mojovic, M., and G Savic, A. (2013). New and highly potent antitumor natural products from marine-derived fungi: Covering the period from 2003 to 2012. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 13(21), 2745-2766.
- Peng, Y., Li, S. J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J. P., Gao, A. J. and Xu, B. L. (2021). Research progress on phytopathogenic fungi and their role as biocontrol agents. *Frontiers in Microbiology*, 1209.
- Phukhamsakda, C., Macabeo, A. P. G., Yuyama, K. T., Hyde, K. D., and Stadler, M. (2018). Biofilm inhibitory abscisic acid derivatives from the plant-associated Dothideomycete fungus, *Roussoella* sp. *Molecules*, 23(9), 2190.
- Powis, G., Wipf, P., Lynch, S. M., Birmingham, A., and Kirkpatrick, D. L. (2006). Molecular pharmacology and antitumor activity of palmarumycin-based inhibitors of thioredoxin reductase. *Molecular cancer therapeutics*, 5(3), 630-636.

- Rouches, E., Zhou, S., Sergent, M., Raouche, S., and Carrere, H. (2018). Influence of white-rot fungus *Polyporus brumalis* BRFM 985 culture conditions on the pretreatment efficiency for anaerobic digestion of wheat straw. *Biomass and Bioenergy*, 110, 75-79.
- Sandargo, B., Chepkirui, C., Cheng, T., Chaverra-Muñoz, L., Thongbai, B., Stadler, M., and Hüttel, S. (2019). Biological and chemical diversity go hand in hand: Basidiomycota as source of new pharmaceuticals and agrochemicals. *Biotechnology advances*, 37(6), 107344.
- Sandhu, S. S., Sharma, A. K., Beniwal, V., Goel, G., Batra, P., Kumar, A. and Malhotra, S. (2012). Myco-biocontrol of insect pests: factors involved, mechanism, and regulation. *Journal of pathogens*, 2012.
- Sedefoğlu, N., Zalaoğlu, Y., Bozok, F. (2022). Green synthesized ZnO nanoparticles using *Ganoderma lucidum*; Characterizaon and In Vitro Nanofertilizer Effects. *Journal of Alloys and Compounds*, 165696.
- Senanayake, I. C., Rathnayaka, A. R., Marasinghe, D. S., Calabon, M. S., Gentekaki, E., Lee, H. B., and Xiang, M. M. (2020). Morphological approaches in studying fungi: Collection, examination, isolation, sporulation and preservation. *Mycosphere*, 11(1), 2678-2754.
- Senn-Irlet, B., Heilmann-Clausen, J., Genney, D., and Dahlberg, A. (2007). Guidance for conservation of macrofungi in Europe. *ECCF, Strasbourg*.
- Shah, P. A., and Pell, J. K. (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied microbiology and biotechnology*, 61(5), 413-423.
- Sharma, A., Srivastava, A., Shukla, A. K., Srivastava, K., Srivastava, A. K., and Saxena, A. K. (2020). Entomopathogenic fungi: a potential source for biological control of insect pests. In *Phytobiomes: Current Insights and Future Vistas* (pp. 225-250). Springer, Singapore.
- Singh, D., Raina, T. K., and Singh, J. (2017). Entomopathogenic fungi: An effective biocontrol agent for management of insect populations naturally. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(6), 833.
- Srinivasan, R., Santhakumari, S., Poonguzhali, P., Geetha, M., Dyavaiah, M., and Xiangmin, L. (2021). Bacterial biofilm inhibition: A focused review on

- recent therapeutic strategies for combating the biofilm mediated infections. *Frontiers in Microbiology*, 12, 676458.
- Starratt, A. N., and Loschiavo, S. R. (1974). The production of aphidicolin by *Nigrospora sphaerica*. *Canadian journal of microbiology*, 20(3), 416-417.
- Strohl, W. R. (1997). Industrial antibiotics: today and the future. *Biotechnology of antibiotics*.
- Taira, J., Toyoshima, R., Ameku, N., Iguchi, A., and Tamaki, Y. (2018). Vanillin production by biotransformation of phenolic compounds in fungus, *Aspergillus luchuensis*. *AMB Express*, 8(1), 1-8.
- Tantillo, C., Ding, J., Jacobo-Molina, A., Nanni, R. G., Boyer, P. L., Hughes, S. H., Pauwels, R., Janssen, P.A., Arnold, E. (1994). Locations of anti-AIDS drug binding sites and resistance mutations in the three-dimensional structure of HIV-1 reverse transcriptase: implications for mechanisms of drug inhibition and resistance. *Journal of molecular biology*, 243(3), 369-387.
- Tigini, V., Prigione, V., Di Toro, S., Fava, F., and Varese, G. C. (2009). Isolation and characterisation of polychlorinated biphenyl (PCB) degrading fungi from a historically contaminated soil. *Microbial Cell Factories*, 8(1), 1-14.
- Walser, J., and Heinstein, P. F. (1973). Mode of action of illudin S. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 3(3), 357-363.
- Wang, X., Cui, Y., Sang, C., Wang, B., Yuan, Y., Liu, L., and Yue, T. (2022). Fungi with potential probiotic properties isolated from Fuzhuan brick tea. *Food Science and Human Wellness*, 11(3), 686-696.
- Yanagihara, M., Sasaki-Takahashi, N., Sugahara, T., Yamamoto, S., Shinomi, M., Yamashita, I., ... and Andoh, T. (2005). Leptosins isolated from marine fungus *Leptoshaeria* species inhibit DNA topoisomerases I and/or II and induce apoptosis by inactivation of Akt/protein kinase B. *Cancer science*, 96(11), 816-824.
- Zhang, S. H., and Wei, Y. (2017). Applications of haloalkaliphilic fungi in mycoremediation of saline-alkali soil. In *Mycoremediation and Environmental Sustainability* (pp. 217-233). Springer, Cham.

- Zhou, L. S., Tang, K., and Guo, S. X. (2018). The plant growth-promoting fungus (PGPF) *Alternaria* sp. A13 markedly enhances *Salvia miltiorrhiza* root growth and active ingredient accumulation under greenhouse and field conditions. *International journal of molecular sciences*, 19(1), 270.
- Zhou, S., Raouche, S., Grisel, S., Navarro, D., Sigoillot, J. C., and Herpoël-Gimbert, I. (2015). Solid-state fermentation in multi-well plates to assess pretreatment efficiency of rot fungi on lignocellulose biomass. *Microbial biotechnology*, 8(6), 940-949.
- Zorofchian Moghadamtousi, S., Nikzad, S., Abdul Kadir, H., Abubakar, S., and Zandi, K. (2015). Potential antiviral agents from marine fungi: An overview. *Marine drugs*, 13(7), 4520-4538.

## BÖLÜM 4

### ENTOMOPATOJEN FUNGUS *BEAUVERIA BASSIANA*' NİN *CADRA CAUTELLA* WALKER (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) VE *EPHESTIA KUEHNIELLA* ZELLER (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) LARVALARINA KARŞI PATOJENİTESİ

Pınar GÜNER<sup>1</sup>,

Prof. Dr. Tülin AŞKUN<sup>1</sup>,

Doç. Dr. Aylin ER<sup>1</sup>,

Dr. Öğr. Üyesi Görkem Deniz SÖNMEZ<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir, Türkiye, 0000-0001-6922-7009, pvpcelik@hotmail.com, 0000-0002-2700-1965, taskun@balikesir.edu.tr; 0000-0002-8108-8950, asahin@balikesir.edu.tr

<sup>2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri Bölümü, Adıyaman, Türkiye, 0000-0002-3613-0195, gsonmez@adiyaman.edu.tr



# 1.GİRİŞ

## 1.1. Entomopatojen Funguslar

Entomopatojen funguslar (EPF), böcekler üzerinde enfeksiyon yapan patojenlerdendir (Mueller ve Schmit, 2007). Fungi alemi içerisinde 90 genusta, 700'den fazla entomopatojenik fungus bulunmaktadır. Bunların birçoğu Ascomycota ve Zygomycota' ta bulunurken Ascomycota ise çoğu tür Hypocreales, Zygomycota ve Entomophthorales takımlarında bulunmaktadır (Roy ve ark., 2006). Böcek popülasyonlarının düzenlenmesinde önemli role sahip olan EPF'ler üç gruba ayrılır; bunlar bazı böcekleri enfekte eden zorunlu patojenler, birçok böceği enfekte eden genel patojenler ve fakültatif patojenlerdir (Goettel ve ark., 2005).

## 1.2. *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. ve Tarihçesi

*Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., 1912' nin keşfedilmesi 18. yüzyıla dayanmaktadır. Önceleri *Botrytis* genusunun temsilcisi olarak kabul edilmiş (Basalmo-Crivelli, 1835), ancak genus daha sonra isimlendirilen *Beauveria* cinsinin ilk türü olmuştur (Vuillemin, 1912). Günümüzde önemli bir mikoinsektisid olarak kabul edilmektedir. *Beauveria* genusu kısa, şise şekilli simpodial fiyalidler ve holoblastik konidialara sahiptir (Khonsanit ve ark., 2020). Konidia büyüklüğü ve şekli genus türleri içerisinde değişim gösterir (Rehner ve Buckley, 2005). *B. bassiana* geniş konukçu aralığına sahip EPF' lerdendir. (Goettel ve ark. 2005). Toprak, tarım arazileri ve ormanlarda yaygın

olarak bulunur. Sahip oldukları spor ve klamidospore gibi yapıları nedeniyle uygun olmayan çevresel koşullarda etkilenmeden kalabilir ve uygun koşullarda tekrar vejetatif hale geçebilirler (Gök ve ark., 2018).

### **1.3. EPF' lerin Böcek Yaşam Döngüsüne Etkileri**

EPF, uygun ortam koşullarında böceklerde hastalık oluşturur ve bu durum zararlıların sayısında azalma meydana getirir (Lacey ve Goettel, 1995). EPF' lerin diğer entomopatojenlerden farkı enfeksiyonu başlatmak için yutulmalarına gerek olmaması, duyarlı konakçılarla temas yoluyla doğrudan bulaşmalarıdır (Cory ve Ericsson, 2010). Bu yüzden, funguslar zararlıyı enfekte ederken integümeti kullanır ve böceğin besin tüketmediği larva ve pup evrelerindeki mücadelede etkin bir şekilde kullanılır.

EPF' lerin hayat evrelerinde ilk önce fungus tarafından enfektif spor oluşturulur, sporlar konak kütikulasında penetre olurlar. Penetrasyon tamamlanınca sporlar çimlenir germ tüpü oluşumu ve appressorium oluşumu görülür. Penetrasyon nedeniyle integümentte enfeksiyon oluşumunun gerçekleştiği yerlerde melanizasyon meydana gelir (Ferron, 1978). Melanizasyon geç ve yeterli büyüklükte kalması patojende yavaş büyümeyi sağlar (Hajek ve Leger, 1994). Konağın hemoseline ulaşan fungus konağa saldırırken konakta çoğalma ya da toksin üretimiyle konağı öldürür. Böceğin ölümü sonrasında sporlaşma fungustan dışarıya doğru başlar ve ölü böceğin dış yüzeyinde konidiyogenezis görülür. Fungal rezervuar ölü böceklerin toprağa

düşmesi sonucu korunmuş olur (Goettel ve ark., 2005; Shah ve Pell, 2003).

#### **1.4. Depo Zararlıları ve Etkileri**

Tahıllar, besin değerlerinin yüksek olması, kolay yetiştirilmesi ve tüm insanlar için besin kaynaklarının en önemlisi olması açısından vazgeçilmezdir. Dünyada ve Türkiye’de tahıl üretimi çok fazladır. Ülkemizdeki yıllık 20 milyon beş yüz bin ton buğday ve 8 milyon üç yüz bin ton arpa üretimi ile en popüler tahıl ürünlerini mısır ve çeltik takip etmektedir (TUİK, 2020). Tahılların üretiminin her aşamasında, saklanmasında ve kullanılmasına kadar geçen sürede meydana gelen kayıplar ciddi boyuttadır. Bu kayıplar arasında en çok kayıp depolama sırasında meydana gelmektedir (Kumar ve Kalita, 2017). Depolardaki zararı meydana getiren canlılar arasında *Sitophilus* spp., *Tribolium* spp., *Plodia interpunctella* (Hübner), *Rhyzopertha dominica* (Fabricius), *Oryzaephilus surinamensis* (L), *Ephestia kuehniella* (Zell.) ve *Cadra cautella* (Walker) bulunmaktadır (Emekçi ve Ferizli, 2000). Depo aşamasında zararlı böcekler tahıl ürünlerine niteliksel ve niceliksel olarak zarar vermektedir. Bu nedenle tohum, yem, yiyecek olarak kullanılan tahılların kalitesi düşmektedir. Ülkemizin sahip olduğu ılıman iklim şartları birçok zararlı böceğin gelişmesi için uygun ortamı oluşturmaktadır. Karadeniz’deki depolardaki fındıklar ile Ege'deki incir sergilerindeki incirlere bıraktıkları yumurtalar ile neslinin devamını sağlayan *C. cautella*, bunun dışında kuru meyveler, tahıl ürünleri, kakao, hayvan yemi, kahve, baharatlar, baklagiller, deri ürünü eşyalar ve kabuğu zarar görmüş turunçgiller ile beslenerek zarar meydana

getirir (Thakur, 2015). *E. kuehniella* ise un değirmenleri için önemli bir tehdittir çünkü larvaların ürettiği ağlar değirmende tıkanıklık oluştururken tahıllarda kontaminasyona neden olur. Larvalar ayrıca un çuvalları ve eleme bezlerini de delerek bitmiş ürünlerde de zarar oluşturur (Mahgoub ve ark., 2015). Hasattan önce ve hasattan sonra depo ürünlerinde görülen kayıp yıl bazında %10 olarak belirlenmiştir (Donahaye ve Messer, 1992). Depo ürünlerindeki zararlılar tahıllar ile beslenerek ile direkt veya farklı yollar ile zarar oluşturmaktadır.

Beslenme ile ürünün kalite ve besin değerini olumsuz etkilerken aynı zamanda tohum kalitesini ve ürün ağırlığının azalmasına neden olur. Bunun dışında böceklerin pislikleri, vücut parçaları ve ağları da ürünlerde kalitenin azalmasına neden olur (Chirault ve ark.,2015). Tüketici bilincinin giderek artması ile ürünlerdeki zararlı böceklerin varlığı kabul edilemez hale getirirken ve bunlarla mücadeleyi zorunlu kılmıştır (Boxall, 2001). Depo zararlıları ile mücadelede yıllardır kullanılan kimyasallar yerine memelilerde risk oluşturmayan, ekolojik dengeyi bozmayan, ürünlerde kalıntı bırakmayan, yeni ve doğal ürünlere ilgi giderek artmaktadır (Aslam ve ark., 2002; Mahdian ve Rahman, 2008; Salem ve ark., 2007). Kimyasallara karşı güvenli doğa dostu alternatiflere duyulan ihtiyaçlar günümüzde dünyanın her yerinde savunulmaktadır. Çevreye ve insan sağlığına daha az zararı olan, ucuz ve biyolojik aktiviteleri (insektisidal, herbisidal vb.) yüksek tıbbi bitkiler ile ilgili araştırmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır (Chen ve ark., 2018; Guru-Pirasanna-Pandi ve ark., 2018; Ito ve ark., 2018; Khan ve ark., 2019; Trivedi ve ark., 2018).

### 1.5. EPF'ler ve Biyolojik Kontrol

Ürünlerimizin korunabilmesi için depo zararlısı böceklerin biyolojisi ve ekolojisi ve bu canlılarla karşı uygulanacak biyolojik mücadele yönteminin en iyi ve etkili şekilde uygulanabilmesi, çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi gerekmektedir. Sürdürülebilir tarımda zararlılarla mücadele de hedef, zararlıların tamamını öldürmek değil onun yerine zararlının verdiği zararı en altta tutmaktır.

Buna ek olarak, zararlılar ile yapılan mücadelelerde en çok kullanılan biyolojik kontrol ajanları; fungus, bakteri, virüs, protozoa ve nematodlardır. Bu kontrol ajanları içerisinde bulunan biyo-insektisitler türe spesifik olduğu için başka kontrol ajanlarına göre daha büyük avantaja sahiptir. Buna ek olarak; mikrobiyal kontrol ajanlarının çevreye ve memeli canlılara toksik olmaması için yararlı böcekler zarar vermemesi, bazı pestisitlerle birlikte kullanılabilmesi diğer faydaları arasında yer almaktadır. Pestisitlerin uzun vadeli ve kontrolsüz kullanımı sonucu çevre ve insan sağlığında ortaya çıkan sorunları aşmak için hem çevre dostu hem de daha düşük dirence neden olan entomopatojenik funguslar ile ilgili çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Günümüzde mikrobiyal pestisitler içerisinde *Bacillus thuringiensis* ile yapılan çalışmalar dışında, *B. bassiana* en çok çalışılan biyopestisittir (Baldiviezo ve ark., 2020). *B. bassiana*, böcek konaklarını istila ettikten sonra konağının ölümüne neden olacak beauverisin, bassianin, bassianolide, beauverolides, tenellin, oosporein ve oksalik asit gibi sekonder metabolitler olan çeşitli toksinler üretir (Wang ve ark., 2021). Literatürdeki daha önceki çalışmalarda *B.*

*bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*, *Verticillium lecanii* ve *Nomuraea rileyi* gibi EPF'lerin birçok tarım zararlısı böcekte oldukça etkili olduğu gösterilmiştir (Moorthi ve ark., 2015). *B. bassiana* (Bals.) Vuill (Ascomycota) bazı böcekler üzerinde ölümcül etkiye sahip önemli bir entomopatojenik mantardır. Bazı potansiyel zararlı böceklerin entomopatojenik mantarları tespit edebildiğini ve onlarla temastan kaçındığını bildirilmiş ve çiçek böceği *Anthocoris nemorum* ile yapılan çalışmada böceğin *B. bassiana*'yı tanıyabildiğini ve mantar bulaşmış yapraklardan uzak durduğunu belirtmişlerdir (Meyling ve Pell, 2006). Bir diğer çalışmada, *Coccinella septempunctata*'nın (yedi noktalı uğur böceği) öldürücü yoğunluktaki *B. bassiana* konidialarından uzak durduğunu belirlenmiştir (Ormond ve ark., 2011). Bu çalışmada *Galleria* tuzak metodu kullanılarak izole edilen klasik ve moleküler yöntemler ile teşhisi yapılan entomopatojen fungus *B. bassiana*'nın laboratuvar koşullarında yetiştirilen depo zararlıları *E. kuehniella* (Zell.) ve *C. cautella* (Walker)'a karşı biyolojik etkinliği araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Depo Zararlısı Böceklerin Üretilmesi

#### 2.1.1.C. *cautella* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) (İncir güvesi) ve *E. kuehniella* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae) (Un güvesi)

Çalışmamızda konak olarak önemli bir depo zararlısı olan Lepidoptera takımının Pyralidae familyasına ait *C. cautella* (incir güvesi) ve *E. kuehniella* (un güvesi) kullanılmıştır. *E. kuehniella* ve *C. cautella*'nın laboratuvar stok ve süksesif kültürlerinin kaynağını, araştırma laboratuvarımızda bulunan ve içinde *E. kuehniella* ve *C. cautella*'nın larva, pup ve ergin bireylerinin oluşturduğu çekirdek kültürler sağladı (Şekil 1 ve 2). Bu kültürlerden her gün (hafta sonu hariç) dişi ve erkek *C. cautella* ve *E. kuehniella* erginleri alınıp içerisinde besin bulunan çeşitli hacimlerdeki kavanozlara konuldu. Kavanozlar hava sirkülasyonu için bez ile kapatıldı. İncir güvesini beslemek amacıyla belirli oranlarda un karışımı (%40 mısır unu, %40 ince kepek, %20 pekmez) un güvesi için ise un karışımı (%40 buğday unu, %20 mısır unu, %20 arpa unu ve %20 ince kepek) kullanılmıştır. Kavanozlara populasyon yoğunluğuna ve besin miktarına göre besin ilave edildi. Çekirdek, stok ve süksesif kültürler  $26\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklık,  $\%65\pm 10$  nispi nem ve 12:12 saat (Aydınlık: Karanlık) foto-periyot şartları sağlanan laboratuvarlarda yetiştirildi (Boz, 2013; Shakarami ve ark., 2015; Usta, 2021). Laboratuvarın sıcaklığı klima (9000 BTU) ve termostatlı radyatör ile, nem ise radyatörün her iki yanındaki su kapları ile sağlandı. Laboratuvara ait sıcaklık ve nem değerleri dijital iç-dış oda termo-

higrometre (TFA 30.5013) ve mak.-min. termometre ile düzenli olarak kaydedildi.



**Şekil 1:** *Cadra cautella* Gelişim Evreleri A: Larva; B: Pup; C: Ergin

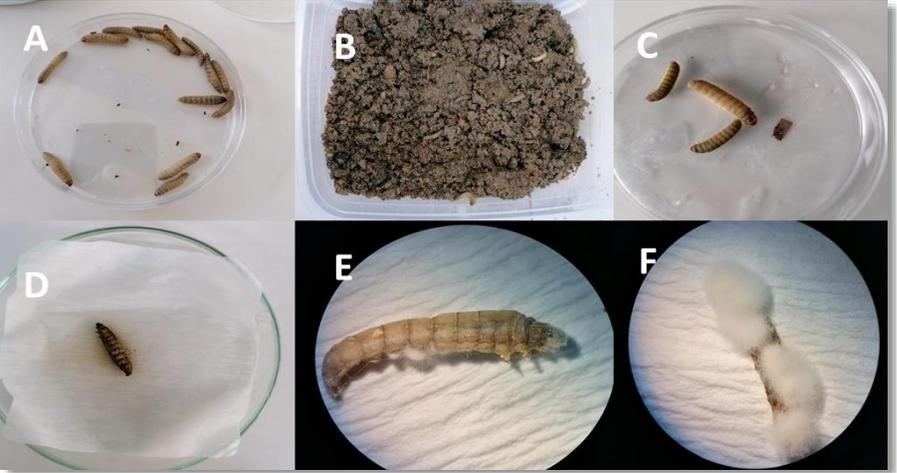


**Şekil 2:** *Ephestia kuehniella* gelişim evreleri A: Larva; B: Pup; C: Ergin

## 2.2. *Galleria* Tuzak Yöntemi ile Toprakta Entomopatojen Fungus İzolasyonu

*Galleria* tuzak metodu entomopatojen fungus izolasyonunda kullanılmasına rağmen entomopatojen nematod izolasyonu için geliştirilmiş bir yöntemdir (Zimmermann, 1986; Griffin ve ark.,2000). Bu yöntemde kullanılan en önemli böcek türü kolayca üretildiği ve funguslara duyarlı olduğu için büyük balmumu güvesi *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae)' dir (Meyling, 2007). Bu çalışmada, kullanılan her bir toprak örneği 4 farklı noktadan (Dursunbey, Balıkesir; (28° 19'3.377" E, 39° 36'18.353" N)) ve

yaklaşık 30 cm derinlik kazılarak alındı. Örnekler karıştırılarak, tek bir örnek halinde plastik torbalarda laboratuvara getirildi. Örnek karışımı 250 ml'lik (3 adet) kaplara konularak saf su ile nemlendirildi. Her kaba 5 tane *G. mellonella* larvası konuldu ve 28°C sıcaklıkta inkübatörde 10 gün süre ile gözlem altına alındı. İnceleme sonucu, ölen larvalar, fungus gelişimi başlamadan White Tuzağı'ndan tasarlanan bir düzenek içine yerleştirildi. Bu düzenek için, filtre kağıtları içiçe konulmuş 9 ve 6 cm'lik petri kaplarına yerleştirildi. Toplanan larvalarda yüzey sterilizasyonu için %5'lik sodyum hipoklorit (5 saniye) ve %70'lik etil alkol (5 saniye) kullanıldı. Ölü larvaların bulunduğu petriler 28°C'de 10 gün süre ile bekletildi (Şekil 3). İnkübasyon sonunda fungal büyüme gösteren örneklerden saf kültür izolasyonu yapıldı (Chandler ve ark., 1997).



**Şekil 3:** Galleria Tuzak Metodu Aşamaları. A: Sağlıklı Larvalar, B: Toprak ile Muamele Edilen Larvalar, C: Ölü Larvalar (Fungal Gelişim Başlamamış), D: 24 Saat Sonra ilk Enfeksiyon Belirtisi Başlamış Larvalar, E: 72 Saat Sonraki Larvalar, F: 10 Gün Sonra Ölü Larva Yüzeylerinden Çıkmış Sporlar.

### 2.3. Klasik ve Moleküler Yöntemler ile Fungus Teşhisi

#### 2.4. Klasik Yöntemler

EPF'lerin gruplandırılmasında morfolojik özelliklerin yanında son yıllarda moleküler özelliklerde kullanılmaya başlanmıştır. EPF teşhisinde böceklerde oluşturduğu enfeksiyon yapısı, çeşitli besi ortamlarındaki koloni yapıları ve rengi, spor boyut, şekil ve yapıları, hif, sporo-karp, stroma, konidiyofor yapıları, sporangiyum yapısı ve şekli, fungusun hymenia oluşturup oluşturumaması, zoospor yapısı gibi morfolojik özellikler kullanılmaktadır (Humber, 1997). Çalışmamızda stereomikroskop (Olympus, SZ51) kullanılarak böceklerde meydana gelen enfeksiyon şekli ve gelişim değerlendirildi. Kadavralar üzerindeki fungusların miselleri incelendi. Fungusun besiyerindeki koloni özellikleri binoküler araştırma mikroskobu (Olympus CX23) ile yapıldı. İdentifikasyon amacıyla Malt Extract Agar (MEA; Oxoid, CM 59), Patates Dextrose Agar (PDA; Millipore, P6685), Sabouraud Dextrose Agar (SDA; Millipore, S3306) kullanıldı. Tanılama amacıyla, koloni çapı, koloni yüzey rengi, tekstürü, koku, koloni alt yüzey rengi, zonasyon ve eksüda gibi morfolojik özellikleri ile mikroskobik özellikler ve ölçümler alınarak ve mikroskopik yapısı fotoğraflandı. Türlerin tanısında ise Raper ve Thom (1949), Pitt (1979), Domsch ve ark., (1980), Samson ve ark., (1981), Samson ve Pitt (1990), Hasenekeoğlu (1991) ve Dr. Richard Humber (USDA-ARS Collection of Entomopathogenic Fungi, Ithaca, NY, USA) tarafından yayınlanan "Entomopathogenic Fungal Identification" adlı kaynak kullanıldı.

## 2.5. Moleküler Yöntemler

İzolattan genomik DNA izolasyonu; Plant DNeasy (Qiagen Inc.) kiti kullanılarak kit protokolü takip edilerek yapılmıştır. PZR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu), toplam son hacim 50 µL olacak şekilde hazırlandı ve universal ITS4 (5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3') ve ITS5 (5'- GGA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G -3') (Sang ve ark., 1995, White ve ark., 1990) primerleri kullanıldı. Reaksiyon için; steril distile su, dNTP (10mM), 10X PZR tamponu, Sol (5', forward) (50 pmol/µL) ve sağ (3' revers) (50 pmol/µL) Primerler, DMSO, MgCl<sub>2</sub> (25 mM), Kalıp DNA (~50 ng) ve Taq DNA polimeraz (Fermentas, Litvanya) kullanıldı. PZR için 94 °C ' de ön ısıtma; 35 döngü olacak şekilde 94 °C ' de 45 sn, 50 °C 45 sn ve 72 °C' de 2 dk ve final uzama reaksiyonun olarak 72 °C' de 5 dk programı kullanıldı. PZR ürünleri %0.8' lik agaroz jel elektroforezinde yürütüldü ve jel görüntüleme sisteminde görüntülendi. DNA dizileme için, dizi analizi yapan ticari kuruluşlara hizmet alımı şeklinde gönderildi ve Sol (5', forward) ve sağ (3' revers) olmak üzere çift yönlü dizileme yapıldı. Elde edilen diziler; Windows 95/98/NT/2000/XP için yazılmış olan BioEdit (Hall, 1999) biyolojik dizi sıralama editörü ile kontrol edildi ve çift yönlü okunan diziler eşleştirildi. NCBI veri bankasında (Sayers ve ark., 2022) BLAST analizi ile hangi tür olduğu teyit edildi ve veri bankasındaki yakın benzerlik gösterdiği diğer diziler kullanılarak PAUP 4.0 (Swofford, 2001) ve BioEdit (Hall, 1999) programları yardımıyla filogenetik analiz yapıldı.

## 2.6. Fungal Spor Dozlarının Belirlenmesi ve Uygulanması

Çalışmanın bu kısmında; *B. bassiana* sporları tek doz olarak ( $1 \times 10^7$  konidi/ml) son dönem böcek larvalarının toraks dorsaline mikropipet yardımıyla topikal aplikasyon yöntemi ile her bir bireye 5  $\mu$ l olarak uygulandı ve etkinlikleri laboratuvar şartlarında belirlendi. *E. kuehniella* ve *C. cautella* larvaları üzerine ( $10^7$  konidi/ml spor dozu) yapılan uygulamalar sonucu fungusun entomopatojenik özelliği belirlenmiştir.

Spor süspansiyonu hazırlanırken fungal izolat, PDA besiyerine ekildi, 28°C’de 14 gün inkübe edildi. Hazırlanan petrilere %0.01 Tween 20 ve steril saf su kullanılarak hazırlanan karışım petri yüzeyine döküldü ve sporlar ortamdaki ortamdan kazınarak alındı. Spor süspansiyonundan agar ve miselleri uzaklaştırmak için süzme işlemi yapıldı. Süspansiyonun spor sayısı, mikroskopta Thoma lamında sayılıp, 1ml’de  $1 \times 10^{12}$  konidi olan ana stoktan gerekli konsantrasyonlarda seyreltmeler yapılarak elde edildi.

Fungusun ürettiği sporlara bağlı olarak *C. cautella* ve *E. kuehniella*’nın gelişim biyolojisi içinde kullanılacak dozlar için ön çalışmaları yapıldı. Fungal sporların toksik etkilerini belirlemek amacıyla kontrol grubuna ek olarak 6 farklı konsantrasyon ( $10^3, 10^4, 10^5, 10^6, 10^7, 10^8$  konidi/ml) hazırlandı, topikal aplikasyon yöntemiyle son evre larva dorsaline (prothorax’dan başlayarak dorsal boyunca bir çizgi halinde) 5  $\mu$ l spor süspansiyonu mikropipet ile uygulandı (Luo ve ark., 2015; Luo ve ark., 2017). Spor dozu uygulanan böcekler 28°C sıcaklıkta 3 gün süre ile gözlem altına alındı. İnceleme sonucu ölen larvalar dışında, yaşamaya

devam eden larvalar, fungal gelişim gerçekleşmeden önce White Tuzağı 'ndan uyarlanan düzenek içerisine alındı. *Galleria* tuzak metodunda da kullanılan düzeneğe alınan larvalar 28°C inkübatörde 10 gün inkübasyona bırakıldı (Lincoln ve ark., 1986). Denemeler 3 tekrarlı gerçekleştirilip, kontrolde PBS (Fosfat Tamponlu Tuz Çözeltisi) kullanıldı. Bu çalışmalar sonucunda, öncelikle probit analizi ile fungal spor dozlarının canlılar için öldürücü değerleri belirlenerek LD<sub>50</sub> ve LD<sub>99</sub> değerleri hesaplandı.

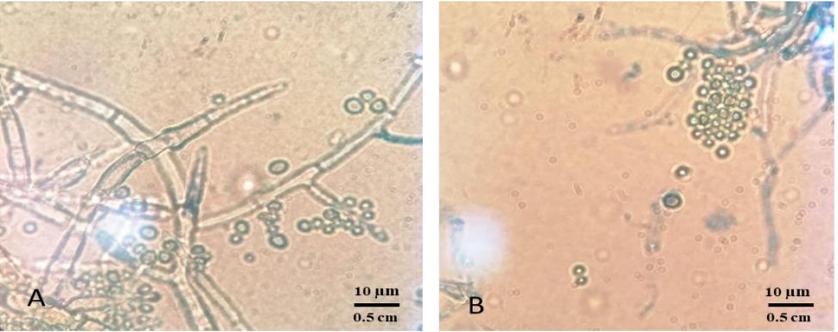
### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Çalışmada Balıkesir Dursunbey'den rastgele olarak farklı vejetasyonlardan (tarla ve orman arazilerinden) alınan 4 adet toprak örneği entomopatojenik fungus varlığı yönünden incelendi. Toprak örnekleri laboratuvara getirilerek *Galleria* tuzak yöntemi ile entomopatojenik fungus izolasyonu yapıldı. Toprakta *Galleria* tuzak metodu kullanılarak izole edilen 65 izolat arasından böceklerde meydana getirdiği enfeksiyon şekline göre yapılan değerlendirmede böcekleri saran beyaz renkli misel yapısı ve böcekler üzerindeki yoğunluğu dikkate alınarak seçilen izolatın (LK-1) klasik ve moleküler yöntemler ile tür teşhisi yapıldı. İzole edilen fungal örneğin stereo mikroskop altında morfolojik olarak incelenmesinde böcekler üzerinde beyaz renkli misel yapıları oluşturduğu belirlendi (Şekil 4). İzolatın mikroskopik yapıları (spor, fiyalid, konidioforlar vb.) 'Scotch tape' tekniğine göre hazırlanan preparatların incelenmesiyle sağlandı. *B. bassiana*' da konidiyofor genellikle kümeler halinde ve tabanları

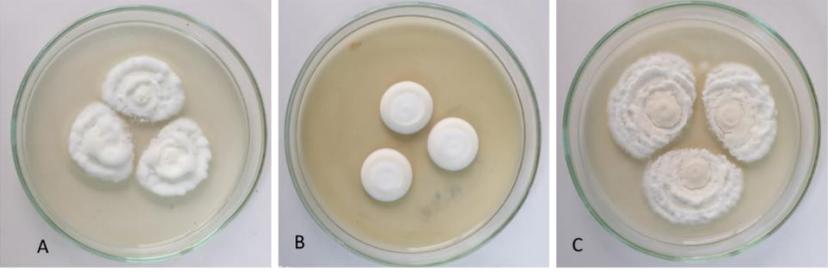
şışkindir. Konidiyofor düzgün septalı, ve dallanmış olup uzunluğu 100-120  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Konidiyofor ve konidia yoğun bir şekilde bir araya gelerek tipik yoğun spor küreciklerini oluşturur. Konidia pürüzsüz ve hiyalin benzeri bir yüzeye sahip, konidial hücreler küresel, septasız ve 1.5-3.5  $\mu\text{m}$  mikron arasındadır (Şekil 5). Koloni morfolojilerinin 28<sup>0</sup> C 'de SDA, MEA ve PDA besiyerinde incelendiği çalışmalarda; yüzey miselyumunun yoğun olduğu ve sporlanmanın ise 4. günde başladığı belirlendi. Yapılan ölçümler ile 10.günde SDA' da koloni büyümesi 20 mm PDA' da 30mm ve MEA' da 24 mm olarak belirlendi. Miselyumun 15. gün sonunda beyaz-pamuğumsu ve toz haline geldiği gözlemlendi (Şekil 6).



Şekil 4: *Galleria mellonella* larvalarında *B.bassiana* enfeksiyonu

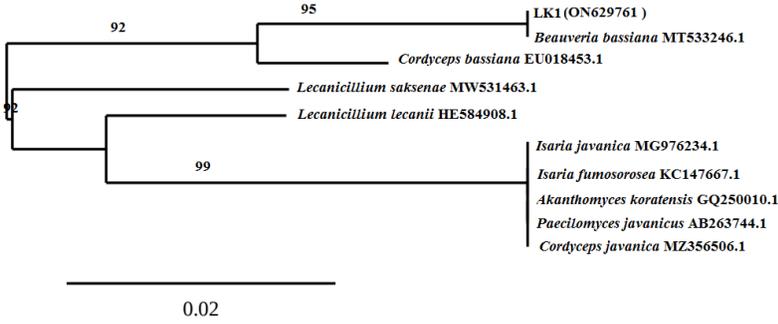


Şekil 5: *B. bassiana*'nın Mikroskopik yapısı; A: Miselleri B: Sporları



**Şekil 6:** *B. bassiana*'nın Farklı Besiyerlerindeki Koloni Morfolojisi; A: MEA, B: SDA, C: PDA.

İzolatin morfolojik tür tayinlerini doğrulamak için moleküler yöntemler kullanılarak teşhisi yapıldı. Yapılan PZR sonuçları için beklenen ITS bölgesine ait ~600 bp uzunluğundaki bölge çoğaltılmıştır. DNA dizileme sonuçların değerlendirilmesi amacıyla elde edilen diziler BioEdit (Hall,1999) biyolojik dizi sıralama editörü ile yapılan analiz edildi ve çift yönlü yapılan dizileme ile elde edilen diziler karşılaştırılarak 472 bp uzunluğunda dizi elde edildi. Elde edilen dizi NCBI veri tabanında (Sayers ve ark., 2022) nükleotid BLAST yapılarak kontrol edildi. MT533246.1 NCBI kayıt numaralı %100 benzerlik göstermiştir. Bu sonucu desteklemek ve LK-1 suşunun diğer yakın diziler arasındaki konumunu göstermek amacı ile yapılan NJ ağacının da açıkça gösterdiği gibi LK1 suşu *Beauveria bassiana* olarak belirlenmiştir ve NCBI gen bankasına ON629761 kayıt numarası ile kaydedilmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7:** LK-1 izolatu NCBI veri bankasındaki diğer funguslara ait ITS dizileri ile karşılaştırılması sonucu oluşturulan Neighbor Joining (NJ) “Komşu Birleştirme Metodu” ağacı.

NCBI veri bankasından alınan türlerin kayıt numaraları yanlarında belirtilmiştir. Dalların güvenilirlikleri 1000 bootstrap yapılarak test edilmiş ve bu değerlerden % 50'nin üzerinde olanlar düğüm noktalarında gösterilmiştir. *Acanthomyces koratensis* dış grup olarak kullanılmıştır.

*B. bassiana* izolatu yüksek patojenik etkisinden dolayı, *E. kuehniella* ve *C. cautella*'nın larvarına karşı farklı konsantrasyonların uygulandı. Farklı konsantrasyonların uygulanmasında, larvaların ölüm değeri  $1 \times 10^8$  konidi/ml spor konsantrasyonunun uygulanmasından sonra 2 gün içerisinde *E. kuehniella*'da %100'e, *C. cautella*' da ise 2 gün içerisinde %86.6'ya ulaştı. *B. bassiana* izolatu için; probit ölüm doğrularından yararlanılarak larval LD<sub>50</sub> değeri *E. kuehniella*'da  $10^{3.741}$  konidi/ml, *C. cautella*' da ise  $10^{4.543}$  konidi/ml olarak belirlendi (Tablo 1 ve 2).

**Tablo1.** *E. kuehniella*'da *B. bassiana* 'nın Spor Uygulamasına Bağlı LD Değerleri.

	N	X <sup>2</sup> (sd)	Eğim ± SH	Öldürücü doz (min.-mak.)
<i>B. bassiana</i>	210	5.638(4)	4.145 ± 0.756	LD <sub>50</sub> = 10 <sup>3.741</sup> (10 <sup>3.067</sup> -10 <sup>4.233</sup> )
				LD <sub>60</sub> = 10 <sup>4.306</sup> (10 <sup>3.714</sup> -10 <sup>4.828</sup> )
				LD <sub>70</sub> = 10 <sup>5.006</sup> (10 <sup>4.448</sup> -10 <sup>5.694</sup> )
				LD <sub>80</sub> = 10 <sup>5.970</sup> (10 <sup>5.299</sup> -10 <sup>7.159</sup> )
				LD <sub>90</sub> = 10 <sup>7.623</sup> (10 <sup>6.516</sup> -10 <sup>10.196</sup> )
				LD <sub>99</sub> = 10 <sup>13.619</sup> (10 <sup>10.185</sup> -10 <sup>24.687</sup> )

(N: toplam birey sayısı; sd: serbestlik derecesi, y=a+bx)

**Tablo2** .*C. cautella*'da *B. bassiana* 'nın Spor Uygulamasına Bağlı LD Değerleri.

	N	X <sup>2</sup> (sd)	Eğim ± SH	Öldürücü doz (min.-mak.)
<i>B. bassiana</i>	210	2.392(4)	3.341±0.696	LD <sub>50</sub> = 10 <sup>4.543</sup> (10 <sup>3.762</sup> -10 <sup>5.187</sup> )
				LD <sub>60</sub> = 10 <sup>5.410</sup> (10 <sup>4.719</sup> -10 <sup>6.337</sup> )
				LD <sub>70</sub> = 10 <sup>6.520</sup> (10 <sup>5.675</sup> -10 <sup>8.248</sup> )
				LD <sub>80</sub> = 10 <sup>8.114</sup> (10 <sup>6.805</sup> -10 <sup>11.623</sup> )
				LD <sub>90</sub> = 10 <sup>10.987</sup> (10 <sup>8.572</sup> -10 <sup>19.097</sup> )
				LD <sub>99</sub> = 10 <sup>22.571</sup> (10 <sup>14.478</sup> -10 <sup>63.619</sup> )

(N: toplam birey sayısı; sd: serbestlik derecesi, y=a+bx)

#### 4. TARTIŞMA

2050 yılında olması beklenen 9,15 milyarlık nüfus nedeniyle gıda ürünlerine talebin artması ve şu anki verimin ve artışının yeterli olmayacağı düşünülmektedir (Alexandratos ve Bruinsma, 2012). Buna rağmen insanların tarım faaliyetlerinin fazlalığı biyo-çeşitliliğin azalmasına, küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine neden olurken tarımsal alanlar için endişeler giderek artmaktadır (Bajželj ve ark., 2014). Tarımsal faaliyetler ve gıda üretiminde sürdürülebilirliğin artırılması ihtiyacı (Alexandratos ve Bruinsma, 2012; Bozkurt, 2019; Grafton ve ark., 2015;) evrensel üretim sisteminde çok fazla su, azot, CO<sub>2</sub> ve toprak kullanımına neden olmaktadır (Davis ve ark., 2016). Bunun dışında tarımsal faaliyetler ile toprak veriminin azalması, kaynakların (su, toprak, enerji vb.) bilinçsiz ve geri dönüşsüz

kullanımı, gübre ve kimyasalların aşırı kullanımı ile ilgili bilgiler giderek artmaktadır (Lacetera, 2018; Canter, 2018). Bu nedenle, birim alandan sağlanacak ürünlerin arttırılması çok önemli olmakla birlikte korunması ve saklanması da son derece önemlidir (Andric ve ark., 2013). Üretim, tüketim ve depolama sırasında görülen zararlıların uygun mücadelesinin mutlaka yapılması; zararlıların pestisitlerden yeterince etkilenmemesi (Deacon,1983), insanlar ve çevre için tehlikeli olması biyolojik mücadele ajanları ile yapılacak çalışmaları çok önemli bir noktaya getirmiştir. Sürdürülebilir tarımda amaç, çevrenin ve çeşitliliğin korunması, kimyasalların oluşturduğu kalıntıların azaltılması, tahrip olan ekolojik dengenin yeniden oluşturulmasıdır. Tarımsal sürdürülebilirlik için; pestisitlerin kullanımı yerine tarımda alternatif olabilecek EPF' lerin kullanımına gereken önem verilerek ve desteklenmesi sağlanmalıdır. Zararlı böcek popülasyonlarını kontrol altında tutmada etkili olan EPF' ler klasik biyolojik mücadelede en çok kullanım alanına sahip gruptur. Fungusların klasik ve inokülatif biyolojik mücadelede; hızlı bir şekilde epizootiklere neden olmaları, konak aralığının dar olması ve böcekler üzerinde varlıklarını uzun süre sürdürebilir olmaları nedeniyle kullanımı oldukça fazladır (Goettel ve ark., 2005). Mikrobiyal pestisit olarak EPF' lerin özellikle de *B. bassiana*'nın böcek zararlısı birçok türün mücadelesinde etkili olduğu bilinmektedir. *B. bassiana*'nın zararlı böcekler üzerindeki insektisidal aktiviteleri genellikle ergin evrede çalışılmış olmakla birlikte Lepidoptera takımından depo zararlılarının ergin öncesi dönemleri üzerinde etkilerini gösteren sınırlı sayıda çalışma literatürde mevcuttur. Wildey ve arkadaşları 2002'de yaptığı çalışmada entomopatojenik

fungusların depo zararlısı *E. kuehniella* üzerinde etkinliklerini test etmişlerdir. Çalışma sonucunda *B. bassiana* suşlarının *E. kuehniella* üzerinde en iyi performansı gösterdiğini belirlemişler ve *B. bassiana*'ın pestisitlere karşı alternatif biyokontrol ajanı olduğunu savunmuşlardır. *E. kuehniella*'ya karşı doğal entomopatojen ajanlarının incelediği çalışma sonucunda, *E. kuehniella* larvalarının *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii* ve *B. bassiana*'ya duyarlı olduğunu bulunmuştur (Abdalla ve ark., 2012). *E. kuehniella*'ya karşı *M. anisopliae*, *I. fumosorosea* ve *B. bassiana*'nın test edilmesi sonucunda, *E. kuehniella*'nın *B. bassiana* ve *M. anisopliae* 'ye karşı çok duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca *E. kuehniella*'ya karşı *B. bassiana*'nın, en etkili mantar türü olduğu tespit edilmiştir (Mahmoud Sabbour ve ark., 2012). Farklı bir çalışmada Rahimi ve ark., (2013) *B. bassiana*'nın böcek gelişim düzenleyicileri olarak bilinen pyriproxifen ve hexaflumuron ile karışımının *E. kuehniella*'ya karşı etkisini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda pyriproxifen ve hexaflumuron'un oldukça seçici olduğu ve hedef olmayan organizmalara karşı güvenli olduğu bildirilmiştir. Ayrıca söz konusu insektisitlerle entomopatojen fungus *B. bassiana*'nın kombine bir şekilde kullanılmasının *E. kuehniella* mücadelesinde daha etkin olacağı tartışılmıştır. Üç farklı bitki ekstraktı ve *B. bassiana*'nın *E. kuehniella*'nın üçüncü evresine etkilerinin belirlendiği farklı bir çalışmada bitki ekstraktları ve *B. bassiana*'nın *E. kuehniella* üzerinde sinerjetik larvasidal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Shakarami ve ark., 2015). *B. bassiana*'nın incir güvesi *C. cautella* üzerine etkilerinin belirlendiği farklı bir çalışmada entomopatojen fungusun yumurta açılımını etkilediği ve larval ve pupal mortalitede önemli artışa sebep

olduğu gösterilmiştir (Alwaneen ve ark., 2020). Çalışmamızda *B. bassiana*'nın  $1 \times 10^8$  konidi /ml süspansiyonunun *E. kuehniella* ve *C. cautella* larvalarına karşı uygulamadan sonraki iki gün içerisinde gösterdiği etki nedeniyle depo zararlısı böcekler mücadelesinde kullanılan pestisitlere karşı alternatif olarak kullanılabilir bir biyolojik kontrol ajanı olduğu gösterilmiştir. Depolanmış ürün zararlılarının kontrolü için EPF'lerin biyo-pestisit olarak kullanılması ve geliştirilmesi önerilmektedir. EPF'lerin çevre dostu entegre mücadele yöntemleri ile birlikte kullanımı sonucu zararlı böceklerle mücadelede çevre ve insanlara verilen zarar en aza inecektir. Bu yüzden tarım uygulamaları için zararlılarla mücadelede yeni biyolojik kontrol ajanların elde edilerek üretim, tüketim ve depolama gibi her alanda kullanımının arttırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abdalla, M.M., El-Adawy's, Sayed A., Hany A.S. Abd El-Gawad. (2012). Anagasta kuehniella as an Isolation Bait of Entomopathogenic Agents. *Egypt. J. Agric. Res.* 90(2): 601-606
- Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). World Agriculture towards 2030/2050, the 2012 Revision, ESA Working Paper No. 12-03, June 2012, Agricultural Development Economics Division *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. (<http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>, Erişim tarihi: 17.11.2019)
- Alwaneen, W.S., Husain, M., Sutanto, K.D., Rasool, K.G., Khalid, Mehmood, Tufail, M., Aldawood, A.S. (2020). Entomopathogenicity of Beauveria Bassiana Against Immature Life Stages Of Almond Moth, Cadra Cautella (Lepidoptera: Pyralidae). *Pak. J. Agri. Sci.*, 57(5): 1230-1235
- Andric, G., Kljajic. P., Prazic-Golic. M., (2013). Efficacy of spinosad and abamectin against different populations of red flour beetle (*Tribolium castaneum* Herbst) in treated wheat grain. *Pesticidi i Fitomedicina* 28(2): 103-110
- Aslam, M., Khan K.A., Bajwa M.Z.H. (2002). Potency of some spices against *Callosobruchus chinensis* L. *OnLine Journal of Biological Sciences* 2(7): 449-452
- Bajželj, B., Richards, K. S., Allwood, J. M., Smith, P., Dennis, J. S., Curmi, E., Gilligan, C. A. (2014). Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change* 4(10), 924
- Baldiviezo, L. V., Pedrini, N., Santana, M., Mannino, M. C., Nieva, L. B., Gentile, A., Cardozo, R. M. (2020). Isolation of Beauveria bassiana from the Chagas Disease Vector Triatoma infestans in the Gran Chaco Region of Argentina: Assessment of Gene Expression during Host-Pathogen Interaction. *Journal of fungi* (Basel, Switzerland), 6(4), 219
- Basalmo-Crivelli, G. (1835). Aufstellung von zwei neuen Arten Mucedineen, Botrytis bassiana und Mucor radicans, etc. *Linnaea* 10: 609-618
- Boxall, R.A. (2001). Post-harvest losses to insect-a world overview. *International Biodeterioration & Biodegradation* 48, 137-152

- Boz, A. (2013). *Üç farklı konak türünün parazitoit Venturia canescens grav. (Hymenoptera: Ichneumonidae) erginlerindeki toplam protein, lipid, karbohidrat miktarlarına ve parazitoitin bazı biyolojik özelliklerine etkileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi, Samsun
- Bozkurt, Z. (2019). Hayvansal Üretimde Sürdürülebilirlik: Karbon Ayak İzi ve Karbon Ticareti. *4th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress-2019*, sayfa: 338-3
- Chandler, D., Hay, D., Reid, A.P. (1997). Sampling and occurrence of entomopathogenic fungi and nematodes in UK soils, *Applied Soil Ecology*, 5, 133-141
- Chen Z., Guo S., Cao J., Pang X., Geng Z., Wang Y., Zhang Z., Du S. (2018). Insecticidal and repellent activity of essential oil from *Amomum villosum* Lour. and its main compounds against two stored-product insects. *International Journal of Food Properties* 21(1): 2265-2275
- Chirault, M., C. Lucas, M. Goubault, C. Chevrier, C. Bressac, and C. Le'cureuil. (2015). A combined approach to heat stress effect on male fertility in *Nasonia vitripennis*: from the physiological consequences on spermatogenesis to the reproductive adjustment of females mated with stressed males. *PLS ONE* 10: e0120656
- Cory, J. S., Ericsson, J. D. (2010). Fungal entomopathogens in a tritrophic context. *BioControl*, 55(1), 75–88
- Davis, K. F., Gephart, J. A., Emery, K. A., Leach, A. M., Galloway, J. N., D'Odorico, P. (2016). Meeting future food demand with current agricultural resources. *Global Environmental Change* 39:125-132
- Deacon, J. W. (1983). *Microbial Control of Pests and Diseases*. New York., 31-41
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T.H. (1980). *Compendium Of Soil Fungi*. Academic Press, London
- Donahaye, E.J. ve Messer, Ellen. (1992). Reduction in grain storage losses of small-scale farmers in tropical countries Research Report RR-91-7, *The Allan Shawn Feinstein World hunger Program*, Brown University, USA, 19s

- Emekçi, M., Ferizli, A.G., (2000). Current status of stored product protection in Turkey. *IOBC / WPRS Bulletin*, 23 (10): 39-45
- Ferron P. (1978). Biological Control of Insects by Entomogenous Fungi, *Annu. Rev. Entomol.*, 23, 409-42
- Goettel, M.S., Eilenberg, J., Glare, T. (2005). Entomopathogenic Fungi and Their Role in Regulation of Insect Populations. In: *Comprehensive Molecular Insect Science*, Gilbert, L., I., Iatrou, K. ve Gill, S., S. (Ed.), Amsterdam, 361-405
- Gök, S., Güven, Ö., Karaca, İ. (2018). Entomopatojen Fungus *Beauveria bassiana*'nın Çam Keseböceği (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams)'nin Farklı Dönemlerine Etkileri. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 9(1), 7-18
- Grafton, R. Q., Daugbjerg, C., Qureshi, M. E. (2015). 'Towards food security by 2050'. *Food Security* 7(2): 179-183
- Griffin, C.T., Chaerani, R., Fallon, D., Reid, A.P., Downes, M.J. (2000). Occurrence and distribution of the entomopathogenic nematodes *Steinernema* spp. and *Heterorhabditis indica* in Indonesia *Journal of Helminthology* 74: 143-150
- Guru-Pirasanna-Pandi, G., Adak, T., Gowda, B., Patil, N., Annamalai, M., Jena, M. (2018). Toxicological effect of underutilized plant, *Cleistanthus collinus* leaf extracts against two major stored grain pests, the rice weevil, *Sitophilus oryzae* and red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154: 92-99
- Hajek, A.E., St Leger, R. J. (1994). Interactions Between Fungal Pathogens and Insect Hosts, *Annu. Rev. Entomol.*, 39, 293-322
- Hall, T.A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41: 95-98
- Hasenekeoğlu, İ. (1991). Toprak Mikrofungusları.IV, IV, Atatürk Üniversitesi Yayınları No.689, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Yayınları No.11
- Humber, R.A., (1997). Entomopathogenic Fungal Identification. In: *Manual of Techniques in Insect Pathology*, Lacey, L., A. (Ed.), San Diego, 153-185
- Ito E., Ukpohwo R., Okiriguo I. (2018). Insecticidal activity of *Xylopiia aethiopica* (Family; Annonaceae) against *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera:

- Bruchidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) . *Journal of Biological Studies*, 1(3): 106-115
- Khan, S.A., Ranjha, M.H., Khan, A.A., Sagheer, M., Abbas, A., Hassan, Z. (2019). Insecticidal Efficacy of Wild Medicinal Plants, *Datura alba* and *Calotropis procera*, against *Trogoderma granarium* (Everts) in Wheat Store Grains. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(1):289-294
- Khonsanit, A., Luangsa-ard, J.J., Thanakitpipattana, D. (2020). Cryptic diversity of the genus *Beauveria* with a new species from Thailand. *Mycological Progress* 19: 291–315
- Kumar D., ve Kalita P., (2017). Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods* 6(1): 8
- Lacetera, N. (2018). Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers* 9(1):26-31
- Lacey L.A., Goettel, M.S. (1995). Current developments in microbial control of insect pests and prospects for the early 21st century. *Entomophaga*, 40:3–27
- Lincoln, D. E., Couvet, D., Sionit, N. (1986). Response of an insect herbivore to host plants grown in carbon dioxide enriched atmospheres", *Oecologia*, 69(4), 556-560.
- Luo Z., Ren, H., Mousa, J.J., Rangel, D.E., Zhang, Y., Bruner, S.D., ve Keyhani, N.O. (2017). The PacC transcription factor regulates secondary metabolite production and stress response, but has only minor effects on virulence in the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Environmental microbiology*, 19(2), 788-802
- Luo, Z., Li, Y., Mousa, J., Bruner, S., Zhang, Y., Pei, Y., ve Keyhani, N. O. (2015). *Bbmsn2* acts as a pH- dependent negative regulator of secondary metabolite production in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Environmental microbiology*, 17(4), 1189-1202
- Mahdian, S.H.A., Rahman M.K. (2008). Insecticidal effect of some spices on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) in black gram seed. *University Journal of Zoology Rajshahi University* 27: 47-50

- Mahgoub, M. O., Lau, W. H., Omar, D. B. (2015). Observations on the biology and larval instars discrimination of wax moth *Achroia grisella* F.(Pyralidae: Lepidoptera) *J. Entomol.*, 12 (1), 1-11
- Mahmoud Sabbour, M., El-Sayed Abd-El-Aziz, S., Adel Sherief, M. (2012). Efficacy of Three Entomopathogenic Fungi Alone or in Combination With Diatomaceous Earth Modifications for the Control of Three Pyralid Moths in Stored Grains. *J. Plant Prot. Res.* 52(3): 359- 363
- Meyling, N. V., Pell, J. K. (2006). Detection and avoidance of an entomopathogenic fungus by a generalist insect predator. *Ecological Entomology*, 31(2), 162–171
- Meyling, N.V. (2007). Methods for isolation of entomopathogenic fungi from the soil environment. Laboratory manual
- Moorthi, V.P., Balasubramanian, C., Selvarani, S., Radha, A. (2015). Efficacy of sub lethal concentration of entomopathogenic fungi on the feeding and reproduction of *Spodoptera litura*. Springerplus 4:681
- Mueller, G. M., Schmit, J. P. (2007). Fungal biodiversity: what do we know what can we predict. *Biodiversity and Conservation*, 16(1):1-5
- Ormond, E. L., Thomas, A. P. M., Pell, J. K., Freeman, S. N., Roy, H. E. (2011). Avoidance of a generalist entomopathogenic fungus by the ladybird, *Coccinella septempunctata*. *FEMS Microbiology Ecology* 77(2), 229–237
- Pitt, J.I. (1979). The Genus *Penicillium* And Its Teleomorphic States *Eupenicillium* And *Talaromyces*. Academic Press, London
- Rahimi, V., Zibae, A., Mojahed, S., Maddahi, K., Zare, D. (2013). Effects of Pyriproxyfen and Hexaflumuron on Cellular Immunity of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Rom. J. Biol. -Zool* 58(2): 151-162
- Raper, K.B., Thom, C. (1949). A manual of the *Penicillia*” The Williams and Wilkins Company, Baltimore
- Rehner, S.A., Buckley, E. (2005). A *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1-sequences: evidence for cryptic diversification and links to *Cordyceps* teleomorphs. *Mycologia* 97: 84–98

- Roy, H.E., Steinkraus, D.C., Eilenberg, J., Hajek, A.E. ve Pell, J. K. (2006). Bizarre Interactions and Endgames: Entomopathogenic Fungi and Their Arthropod Hosts, *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 331-57
- Salem S.A., Abou-Ela R.G., Matter MM El-Kholy M.Y. (2007). Entomocidal effect of Brassica napus extracts on two stored pests, *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhyzopertha dominica* (Fab.) (Coleoptera). *Journal of Applied Sciences Research* 3(4): 317-322
- Samson, R.A., Hoekstra, E.S., Oorschot, C.A. (1981). Introduction To Food-Borne Fungi. Centraalbureau Voor Schimmelcultures. Baarn, Delft
- Samson, R.A., Pitt, J.I. (1990). Modern Concepts in Penicillium and Aspergillus Classification', Plenum Press, New York
- Sang, T., Crawford, D.J., Stuessy, T.F. (1995). Documentation of reticulate evolution in peonies (*Paeonia*) using internal transcribed spacer sequences of nuclear ribosomal DNA: Implications for biogeography and concerted evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) 92: 6813-6817
- Sayers, E.W., Bolton, E.E., Brister, J.R., Canese, K., Chan, J., Comeau, D.C., Connor, R., Funk, K., Kelly, C., Kim, S., Madej, T., Marchler-Bauer, A., Lanczycki, C., Lathrop, S., Lu, Z., Thibaud-Nissen, F., Murphy, T., Phan, L., Skripchenko, Y., Tse, T., Wang, J., Williams, R., Trawick, B.W., Pruitt, K.D., Sherry, S.T. (2022). Database resources of the national center for biotechnology information. *Nucleic Acids Research* 7(50):20-26
- Shah, P.A., Pell, J.K. (2003). Entomopathogenic Fungi as Biological Control Agents, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 61, 413-423
- Shakarami, J., Eftekharifar, R., Latifian, M., Jafari, S. (2015). Insecticidal activity and synergistic effect of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and three botanical compounds against third instar larvae of *Ephestia kuehniella* Zeller. *Research on Crops* 16(2), 296-303
- Shakarami, J., Eftekharifar, R., Latifian, M., Jafari, S. (2015). Insecticidal activity and synergistic effect of *Beuveria bassiana* (Bals.) Vuill. and three botanical compounds against third instar larvae of *Ephestia kuehniella*. *Res. Crop.* 16(2): 303

- Swofford, D.L. (2001). PAUP\*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (\*and Other Methods), version 4.0. Sinauer Associates, Sunderland, MA
- Thakur, B. (2015). The study of head capsule width of different larval instars of Indian gypsy moth *Lymantria obfuscatе* Walker in Himachal Pradesh (India). *J. Entomol Zool Stud.* 4: 42–46
- Trivedi, A., Nayak, N., Kumar, J. (2018). Recent advances and review on use of botanicals from medicinal and aromatic plants in stored grain pest management
- TÜİK (2020). Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Alan ve Üretim Miktarları. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara
- Usta, G. (2021). *Xylocoris flavipes* Reuter (*Heteroptera: Anthocoridae*)'in depolanmış ürün zararlılarından *Ephestia kuehniella zeller* (*Lepidoptera: Pyralidae*) yumurtalarında biyolojisi ve av tercihleri üzerine araştırmalar. Iğdır Üniversitesi Tarım Bilimleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Iğdır
- Vuillemin, P. (1912). *Beauveria-nouveau* genre de *Verticilliacies*. *Bulletin de la Société Botanique de France* 59: 34–40
- Wang, H., Peng, H., Li, W., Cheng, P., Gong, M. (2021). The Toxins of *Beauveria bassiana* and the Strategies to Improve Their Virulence to Insects. *Frontiers in microbiology*, 12, 705343
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J.W. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Edited by M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, and T.J. White. Academic Press, Inc., New York. pp. 315–322
- Zimmermann, G. (1986). The *Galleria* bait method for detection of entomopathogenic fungi in soil, *Journal of Applied Entomology*, 102, 213-215



## BÖLÜM 5

### **TÜRKİYE'DEN ZEHİRLİ İKİ MANTAR TÜRÜ *RUSSULA EMETICA* (SCHAEFF.) PERS. VE *BOLETUS SATANAS* LENZ'İN ANTİMİKROBİYAL, ANTİOKSİDAN AKTİVİTELERİ VE ENZİM İNHİBİSYONU**

Merve KOÇAK<sup>1\*</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan GÜNEŞ<sup>2</sup>,

Doç. Dr. Sinan AKTAŞ<sup>2</sup>,

Prof. Dr. Yavuz BAĞCI<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Botanik A.B.D., Konya, Türkiye orcid No: 0000-0001-7590-7190/mrv2kocak@gmail.com  
orcid No: 0000-0002-7714-856X/ybagci6@gmail.com

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Konya, Türkiye orcid No: 0000-0003-2833-5710/erdogangunes@selcuk.edu.tr orcid No: 0000-0003-1657-5901/sinaktas@yahoo.com



## 1.GİRİŞ

Çeşitli araştırmacılar, dünyada 70.000'den fazla mantar türünün varlığının olduğunu bunların arasında 2000 kadarının yenilebilir ve yaklaşık %10 kadarının zehirli olduğunu bildirmişlerdir (Teferi ve ark., 2013). Antioksidanlar, yükseltgenebilen substratlara göre daha düşük derişimlerde, substratın prooksidanlarla başlatılan oksidasyonunu ciddi derecede engelleyen ya da geciktiren maddelerdir (Nacak, 2014). Fenolikler büyük bir doğal ürün sınıfıdır ve kanser, kardiyovasküler, alzheimer ve metabolik hastalıklar gibi birçok hastalık ile ilişkili terapötik potansiyele sahiptirler (Bahadori ve ark., 2019b). Flavonoidler, en önemli antioksidan ve serbest radikal tutucu ve zincir kırıcılar olarak bilinmektedirler (Bahadori ve ark., 2019a). Tirozinaz enziminin inhibisyonu ile Parkinson ve Melazma gibi hastalıkların önlenabilirliği için öncül çalışmalar literatürde mevcuttur (Abirami ve ark., 2014; Yur ve ark., 2017; Neagu ve ark., 2018). Literatüre bakıldığı zaman, *Russula emetica* (Schaeff.) Pers. ile ilgili yapılan çalışmalarda antioksidan ve antimikrobiyal etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Khan ve Chandra, 2019; Kaewnarin ve ark., 2020). *Boletus satanas* Lenz zehirli olmasına rağmen, bilinen antioksidan etkisi literatürde mevcuttur (Morel ve ark., 2018). Çalışmamızda kullanmış olduğumuz *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, metisilin dirençli *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MRSA), *Salmonella enteritidis* ATCC 13076, *Sarcina lutea* ATCC 9341, *Bacillus cereus* ATCC 11778 ve *Candida albicans* NRRL Y- 414 standart suşları idrar yolu enfeksiyonu, hastane

enfeksiyonu, diyare, emetik, vajinit, zatüre, gastroenterit gibi hastalıklara yol açmaktadır. Çalışmamızda iki zehirli mantar türü olan *R. emetica* ve *B. Satanas*'ın ultrasonik su banyosu ekstraksiyonu yöntemiyle elde edilen metanol ve su ekstratlarının antioksidan, antimikrobiyal aktiviteleri ve tirozinaz enzim inhibisyonunu belirlemek amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Mantar Örneklerinin Toplanması

Çalışmada kullandığımız örneklerden *R. emetica* Amasya'nın, Taşova ilçesinden, destek barajı etrafından toplanmış olup, bir diğer çalışma örneğimiz olan *B. satanas* ise Konya'nın Bozkır ilçesinden Yalnızca köyü koruluğundan, meşe ağaçlarının altından toplanmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1.** Mantar Örneklerinin Lokalite Bilgileri

<i>Russula emetica</i>	Amasya: Taşova, Destek Barajı etrafı
<i>Boletus satanas</i>	Konya: Bozkır, Yalnızca Köyü korusu, meşe altı

### 2.2. Mantar Örneklerinin Habitat ve Morfolojik Özellikleri

*R. emetica* Şapka: 5-10 cm çapında, pürüzsüz ve yağlı, ıslak iken yapışkan, parlak kırmızı, kan kırmızısı bazen yaşlandıkça açık renkli hal alır. Neredeyse şapka yüzeyinin tamamı soyulabilir. Lameller: Oldukça geniş yüzeyli olup beyaz, kremi sarı renkte olabilir. Sap: Uzun, klavat- silindirik, olgunlaştıkça süngerimsi ve kırılğan, beyaz, yaşlandıkça sarımsı renktedir. Tat: Oldukça acıdır. Koku: Fındıksı kokuludur. Sporlar: 8-11 x 7,5-8,5 µm, sigiller 1,2 µm olup yüzeyi kısmen ağsı yapıdadır (Çolak ve Işıloğlu, 2016). Habitat: Konifer

ormanları yanı sıra *Betula* ve *Salix* altında yetişmektedir (Sarnari, 1998; Kibby, 2001).

Ülkemizde Afyon, Amasya, Ankara, Antalya, Çorum, Erzincan, İzmir, Konya, Nevşehir, Trabzon ve Karaman (Sesli ve Denchev, 2008).

*B. satanas* Şapka: 6-14 cm., genç iken yarı küre, sonra düzleşir. Yüzeyi nemli iken çok az yapışkan, genç iken beyazımsı gri, açık grimsi daha sonra güderi renginde, yeşilimsi ya da passı kahverengidir. Sap: 5-8x5-10 cm, bulboz, göbekli, iç kısmı dolu, başta sık sonradan süngerimsi, sapın yüzeyi üst ve alt kısımları örten açık sarıdan kırmızımsıya değişen renklerde bir örtüyle kaplıdır. Etli kısmı açık sarı, kesilince veya ezilince mavileşir. Sporlar iğ şeklinde, ortalama 10-14x4-6  $\mu$ 'dur. Habitat: Meşe ve kestane ağaçları ile mikoriza oluşturur (Erkuş, 2010).

Ülkemizde, Karadeniz Bölgesi ormanları başta olmak üzere, pek çok yörede bulunmaktadır.

Çalışmamızda kullanılan mantar örneklerinin sistematik sınıflandırması aşağıdaki tabloda (İndex Fungorum)'a göre verilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Mantar Örneklerinin Sistematik Sınıflandırmaları

Alem	Fungi	Fungi
<b>Bölüm</b>	Basidiomycota	Basidiomycota
<b>Sınıf</b>	Agaricomycetes	Agaricomycetes
<b>Takım</b>	Russulales	Boletales
<b>Aile</b>	Russulaceae	Boletaceae
<b>Cins</b>	<i>Russula</i>	<i>Boletus</i>
<b>Tür</b>	<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	<i>Boletus satanas</i> Lenz

Çalışma materyalini oluşturan *R. emetica* ve *B. satanas* türleri belirtilen lokalitelerden toplanmıştır. Toplanan örnekler kese kağıtları içerisinde laboratuvara getirilerek kurutma işlemine tâbi tutulmuştur. Kurutulan örnekler öğütme işleminden sonra ekstraksiyon aşamasına kadar kese kağıtları içinde, oda sıcaklığında beklemiştir.

### **2.3. Mantar ekstrelerinin hazırlanması**

Kurutulup daha sonra toz haline getirilen mantarlardan 10'ar gram tartılarak şişelere koyuldu. Her mantar türünden, metanol ve distile su solventleri kullanılarak ultrasonik su banyosunda 5-6 saat süre ile bekletilmek suretiyle ekstreler hazırlandı. Her ekstre için 100'er ml solvent ilavesiyle ekstre işlemi 3 sefer tekrarlanarak süzüntüler birleştirildi. Daha sonra, Rotary Evaporatör'de 40°C'de ve düşük basınçta solventler uzaklaştırıldı.

### **2.4 Antimikrobiyal Aktivite**

#### **2.4.1. Broth Hazırlanması**

Ekstraktların antimikrobiyal aktivitelerini belirlemek için mikrodilüsyon yöntemi kullanılmıştır (Abbasoğlu ve ark., 1995). Bu yöntemde kullanılan Mueller Hinton Broth besiyeri (21 g/L) distile su içinde çözülüp, 121°C'de 15 dk otoklavda sterilize edilerek hazırlanmıştır. Ayrıca Brain Heart Infusion Broth besiyeri mikroorganizmalarının taze kültürlerini hazırlamak için kullanılmıştır. Brain Heart Infusion Broth (BHIB) besiyeri (37 g/L) distile suda

çözülerek homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra vida kapaklı tüplere dağıtıldı ve otoklavda 121°C'de 15 dakika sterilize edilmiştir.

#### **2.4.2. Test Mikroorganizmaları**

Çalışmada *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, metisilin dirençli *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MRSA), *Salmonella enteritidis* ATCC 13076, *Sarcina lutea* ATCC 9341, *Bacillus cereus* ATCC 11778 ve *Candida albicans* NRRL Y- 414 standart suşları kullanıldı. Bu suşlar Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Araştırma Laboratuvarı kültür koleksiyonundan temin edilmiştir.

#### **2.4.3. Mikrodilüsyon Yöntemi**

Antimikrobiyal aktiviteyi belirlemek için sıvı mikrodilüsyon metodu kullanılmıştır. Bunun için kullanılacak standart mikroorganizmalar Brain-Heart Infusion Broth (Merck) besiyerine ekilerek 37°C'de bir gece inkübasyona bırakılmıştır. Deneyde steril U şeklinde kuyucukları olan mikropleytlerin her kuyucuğuna 100 µl Mueller-Hinton Broth besiyeri ilave edildi. Kuyucuklardaki inokulumun son konsantrasyonu  $5 \times 10^5$  koloni oluşturan birim (kob)/ml ve mantar özütlerinin konsantrasyonu ise 6.25-0.0030 mg/ml olacak şekilde ayarlandı. Pozitif kontrol olarak Gentamisin antibiyotiği, negatif kontrol olarak DMSO kullanıldı. Playtler 37°C'de 24 saat inkübe edildi. İnkübasyon süresi sonunda kuyucuklara 20 µl 2,3,5-trifenil tetrazolium chloride (% 0.5) solüsyonu eklenerek 37°C de 30 dakika tekrar inkübasyona bırakıldı. Bu süre sonunda gözle görülebilir bir üremenin olmadığı, yani pembe-

kırmızı renk vermeyen son kuyucuk MİK (Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu) olarak değerlendirildi.

## 2.5. Antioksidan aktivite metodları

### 2.5.1. Total fenolik içeriği

Clarke ve ark. (2013), tarafından uygulanan Folin-Ciocalteu yöntemi biraz üzerinde değişiklikler yapılarak kullanıldı. Her ekstrenin 10 µL (2 mg/mL)'si, 100 µL Folin-Ciocalteu reaktifi (1/10, v/v, su ile on kez seyreltilmiş) ile karıştırıldı. 5 dakika süre bekletilip gerçekleşecek reaksiyondan sonra, 100 µL sodyum karbonat (%7,5) eklendi. Karışım 60 dakika daha bekletilmesinin ardından, absorbansı 650 nm'de ölçüldü. Deneyler üç paralel halinde gerçekleştirildi. Standart eğri, etanol ile 0, 10, 50 250, 500, 750, 1000 µg/mL derişimlerinde hazırlandı. Ekstrelerin toplam fenolik içeriği, ekstrenin kuru ağırlığı başına rutin eşdeğeri (mg RE/g kuru ekstre ağırlığı) olarak ifade edildi.

### 2.5.2. Total Flavonoit İçeriği

Yang ve ark. (2011)'nin uyguladığı olduğu Alüminyum klorür kolorimetrik yöntemi bazı değişiklikler yapılarak kullanıldı. Kalibrasyon eğrisi oluşturmak için, Rutin'in etanol içindeki 1 mg/mL stok çözeltisinden 0,0625 mg/mL, 0,125 mg/mL, 0,25 mg/mL, 0,5 mg/mL, 0,75 mg/mL ve 1 mg/mL şeklinde seri çözeltileri hazırlandı. Test çözeltisi (150 µL, 0,3 mg/mL) ile eşit hacimde %2'lik AlCl<sub>3</sub> çözeltisi 96 kuyucuklu plaka üzerinde karıştırıldı. Oda sıcaklığında 15 dakika bekletilmesinden sonra, üç paralel halinde yapılan deneyde

absorbanslar 435 nm’de ölçüldü. Ekstrelerin toplam flavonoit içeriği, ekstrenin kuru ağırlığı başına rutin eşdeğeri (mg RE/g kuru ekstre ağırlığı) olarak hesaplandı.

### **2.5.3. 2-2’-Difenil-1-Pikirhidrazil (DPPH) Radikal Süpürücü Potansiyeli**

Clarke ve ark. (2013)’nin yöntemiyle belirlendi. Metanolde çözüldürülerek hazırlanacak olan 20 µL test çözeltisi, 180 µL DPPH çözeltisi (metanol içerisinde 40 µg/mL) ile 96 kuyucuklu plakada karıştırıldı. Plakalar 15 dakika boyunca karanlıkta bekletilecek ve absorbansları mikropilaka okuyucu ile 540 nm’de ölçüldü. 0, 10, 50, 250, 500, 1000 µg/mL olarak farklı konsantrasyonlardaki test çözeltileri olmak üzere deney üç paralel olarak yürütüldü. Test örneği yerine MeOH kontrol olarak; etanolde çözüldürülmüş Gallik Asit standart olarak kullanıldı. Sonuçlar, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanıp, ekstrelerin DPPH radikal süpürücü etkileri % olarak ifade edildi.

$$\text{DPPH radikal süpürücü etki (\%)} = \frac{[(\text{Abs}_{\text{kontrol}} - \text{Abs}_{\text{test}}) / \text{Abs}_{\text{kontrol}}] \times 100}{}$$

### **2.5.4. 2,2-Azinobis (3-etilbenzothiazollin-6-sulfonik asit) (ABTS) Potansiyeli**

Re ve ark. (1999)’nin uyguladığı yöntem küçük değişiklikler yapılarak kullanıldı. Test örnekleri 0, 10, 50, 250, 500, 1000 µg/mL gibi farklı konsantrasyonlarda DPPH yönteminde olduğu gibi hazırlandı. ABTS+ radikali stok çözeltisi, 264 µL 140 mM potasyum persülfat çözeltisi ve

15 mL 7 mM ABTS ile oda sıcaklığında karanlıkta 12-16 saat boyunca bekletilerek hazırlandı. ABTS+ radikali çalışma solüsyonu ise deney yapmaya başlamadan hemen önce stok çözeltisinden metanol ile seyreltilerek absorbansın 734 nm’de  $0,70 \pm 0,02$  olmasını sağlayacak şekilde ayarlandı. 96 kuyucuklu plakada 50  $\mu$ L numune çözeltisi, 100  $\mu$ L ABTS çalışma solüsyonu ile karıştırıldı. Bu hazırlanan karışım 10 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilmesinin ardından, absorbans 734 nm’de ölçüldü. Ekstrelerin ABTS süpürücü aktivitesi referans madde olan Troloks ile karşılaştırıldı.

$$\text{ABTS}^+ \text{ radikal süpürücü aktivite (\%)} = \frac{[\text{Abs}_{\text{kontrol}} - \text{Abs}_{\text{stest}}]}{\text{Abs}_{\text{kontrol}}} \times 100$$

## 2.6. Tirozinaz Enzim İnhibisyonu

Yang ve ark. (2012)’nin uyguladığı yöntem biraz değiştirilerek ekstrelerin tirozinaz enzim inhibitör aktivitesi deneyi yapıldı. 96 kuyucuklu plakalara, 100  $\mu$ L 100 mM fosfat tamponu (pH 6,8), 20  $\mu$ L 250 U/mL tirozinaz enzim çözeltisi ve 20  $\mu$ L bitki ekstresi 0, 10, 50, 250, 500, 1000  $\mu$ g/mL konsantrasyonlarında eklenip 10 dakika inkübe edildi. Substrat olarak 20  $\mu$ L 3 mM L-DOPA eklenmesinden sonra tekrardan 30 dk boyunca oda sıcaklığında inkübe edildi. Ardından absorbans mikropilaka okuyucu ile 492 nm’de ölçüldü. Pozitif kontrol olarak Kojik asit kullanıldı. Ekstrelerin tirozinaz inhibisyon yüzdesi aşağıda belirtilen formül ile hesaplandı:

$$(\%) = \frac{[\text{A}_{\text{kontrol}} - \text{A}_{\text{test}}]}{\text{A}_{\text{kontrol}}} \times 100$$

### 3. TARTIŞMA

#### 3.1. Antioksidan Aktivite ve Enzim İnhibisyonu Sonuçları

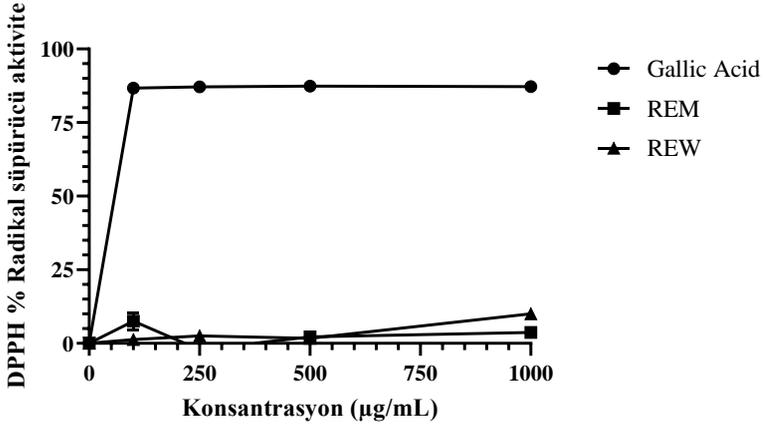
Yapmış olduğumuz çalışmada elde ettiğimiz sonuçlara göre en iyi veriler; Tirozinaz inhibisyon aktivitesi (REW IC<sub>50</sub> = 9 ± 0,007 / KAE 58,39 ± 0,46 µg/mL), ABTS radikal süpürücü aktivitesi (BSW IC<sub>50</sub> = 282,5 ± 0,72 / TE 84,83 ± 1,16 µg/mL) ve Total flavonoid içeriği (BSW 519 ± 507 / RE 209 ± 0,42 µg/mL)'de tespit edilmiştir (Tablo 3).

Sonuçlara bakıldığı zaman su ekstreleri genel olarak metanol ekstrelerine göre daha iyi sonuçlar vermiş olup, *B. satanas*, *R. emetica*'ya göre daha iyi sonuçlar göstermiştir. İstisna olarak tirozinaz enzim inhibisyonunda metanol ekstresi *R. emetica*'da daha iyi sonuç vermiştir. ABTS ve DPPH süpürücü aktiviteler kıyaslandığında ABTS süpürücü aktivite DPPH aktivitesine göre daha iyi sonuç vermiştir. *B. satanas*'ta, total flavonoit miktarı, total fenol miktarına göre daha yüksek çıkmıştır. *R. emetica* türünde hiç flavonoit tespit edilememiştir. Toplam fenol miktarı *B. satanas*'ta daha yüksek çıkmıştır (Tablo 3).

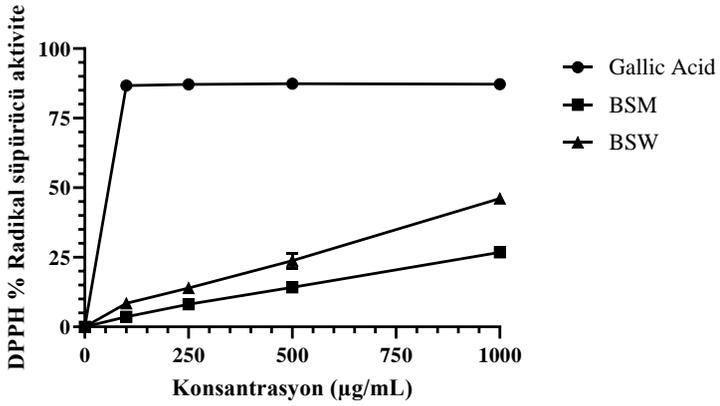
**Tablo 3.** Mantar Örneklerinin Antioksidan Aktivite ve Enzim İnhibisyonu Sonuç Tablosu

REM	REW	BSM	BSW	
-	3231 ± 1,88	2667 ± 1,04	1204 ± 1,15	<b>DPPH<sup>+</sup> Radikal Süpürücü Aktivite</b> IC <sub>50</sub> ± SS (µg/mL) <b>Gallik asit</b> 1,026 ± 0,022
1055 ± 2,80	649,5 ± 1,56	503,6 ± 1,77	282,5 ± 0,72	<b>ABTS<sup>+</sup> Radikal Süpürücü Aktivite</b> IC <sub>50</sub> ± SS (µg/mL) <b>Troloks</b> 84,83 ± 1,16
9 ± 0,007	-	1066 ± 0,41	1056 ± 0,33	<b>Tirozinaz Enzim İnhibisyonu</b> IC <sub>50</sub> ± SS (µg/mL) <b>Kojik Asit</b> 58,39 ± 0,46
2,09 ± 0,42	13,46 ± 1,48	11,96 ± 2,75	35,47 ± 2,39	<b>Toplam Fenol miktarı ± SS</b> (mg RE/g ekstre)
-	-	120 ± 223	519 ± 507	<b>Toplam Flavonoit miktarı ± SS</b> (mg RE/g ekstre)

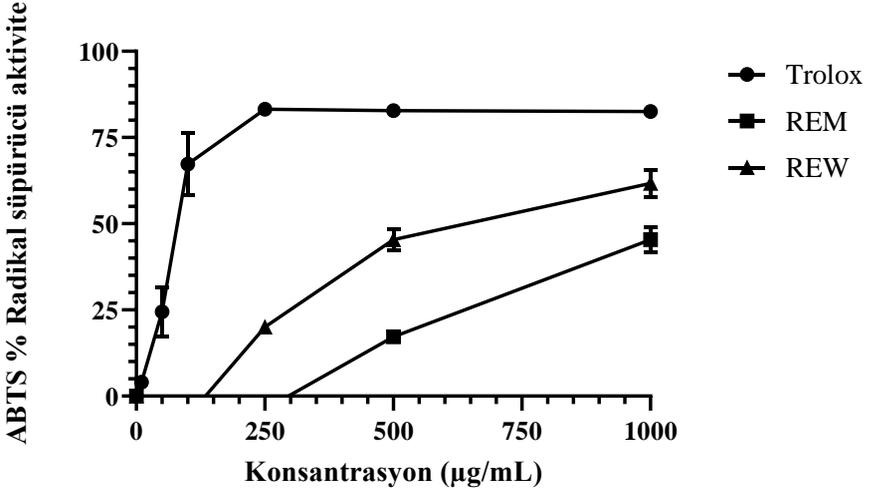
REM: *Russula emetica* Metanol Ekstresi, REW: *Russula emetica* Su Ekstresi, BSM: *Boletus satanas* Metanol Ekstresi, BSW: *Boletus satanas* Su Ekstresi, SS: Standart Sapma, n:3, RE: Rutin Eşdeğeri, :Tespit Edilememiştir.



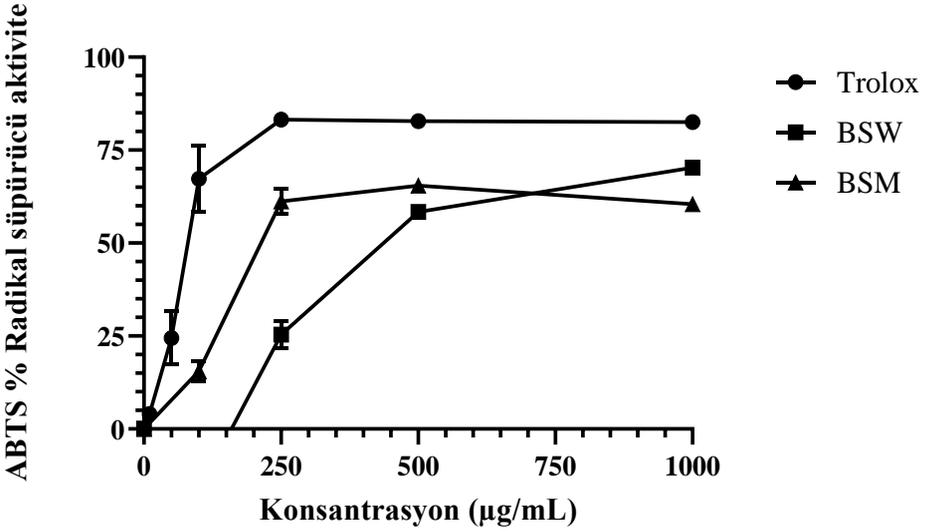
Şekil 1. *Russula emetica*'nın DPPH Radikal Süpürücü Aktivitesi (% İnhibisyon).



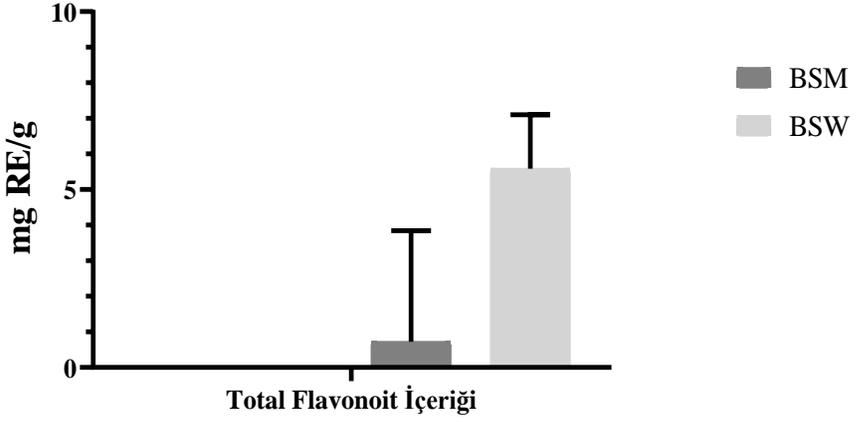
Şekil 2. *Boletus satanas*'ın DPPH Radikal Süpürücü Aktivitesi (% İnhibisyon).



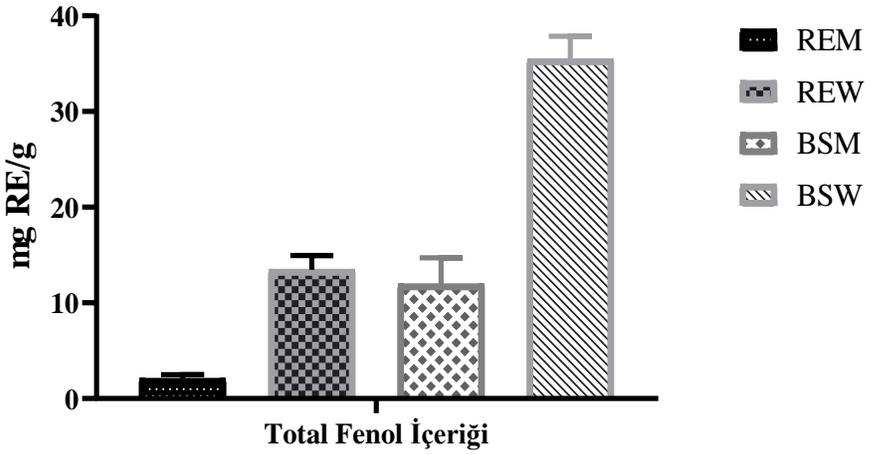
Şekil 3. *Russula emetica*'nın ABTS Süpürücü Aktivitesi (% inhibisyon).



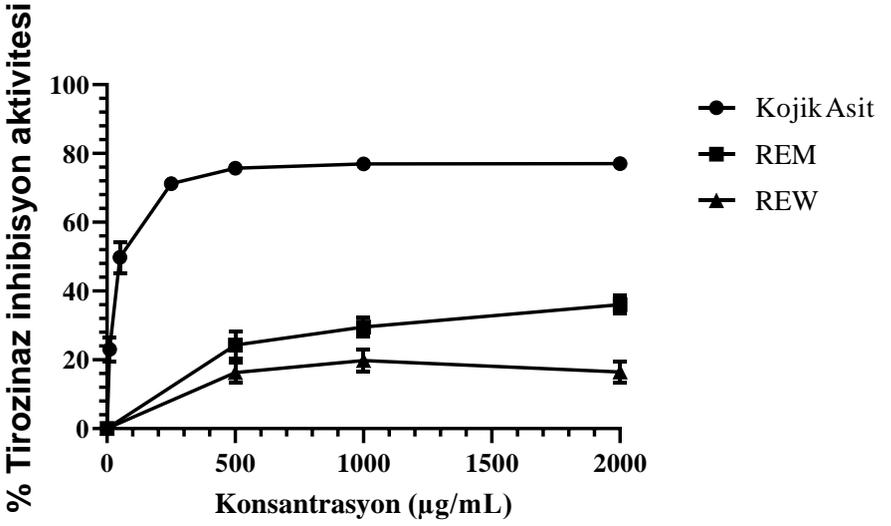
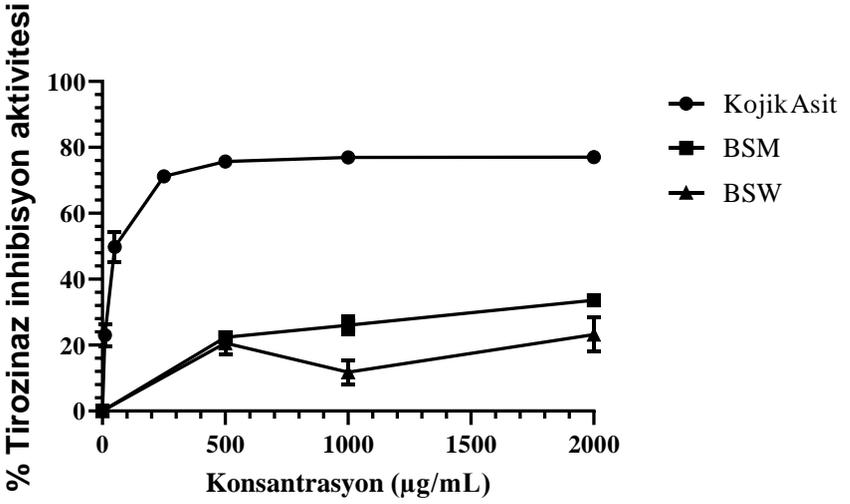
Şekil 4. *Boletus satanas*'ın ABTS Süpürücü Aktivitesi (% İnhibisyon).



Şekil 5. *Russula emetica* ve *Boletus satanas* Total Flavonoid İçeriği Karşılaştırması



Şekil 6. *Russula emetica* ve *Boletus satanas*'ın Total Fenol İçeriği Karşılaştırması

Şekil 7. *Russula emetica*'nin Tirozinaz Enzim İnhibisyonuŞekil 8. *Boletus satanas*'in Tirozinaz Enzim İnhibisyonu

### 3.2. Antimikrobiyal aktivite sonuçları

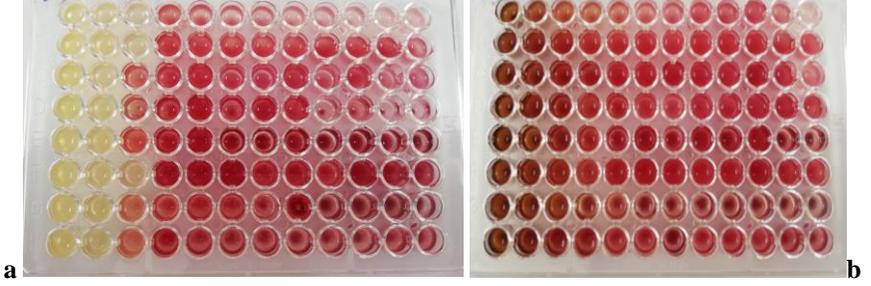
*R. emetica*'nın metanol ekstresi *Pseudomonas aeruginosa*'ya 1,56 mg/ml dozunda etkiliyken, *Staphylococcus aureus* ve *Sarcina lutea*'ya ise 3,12 mg/ml dozunda zayıf bir antimikrobiyal etki göstermiştir. Çalışılan diğer mikroorganizmalara karşı ise herhangi bir aktivite göstermediği tespit edilmiştir (Tablo 4).

*B. satanas*'ın metanol ekstresinin *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Sarcina lutea*'ya 1,56 mg/ml dozunda, *Staphylococcus aureus*'a ise 3,12 mg/ml dozunda zayıf antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilirken çalışılan diğer mikroorganizmalara karşı herhangi bir aktivite saptanmamıştır (Tablo 4).

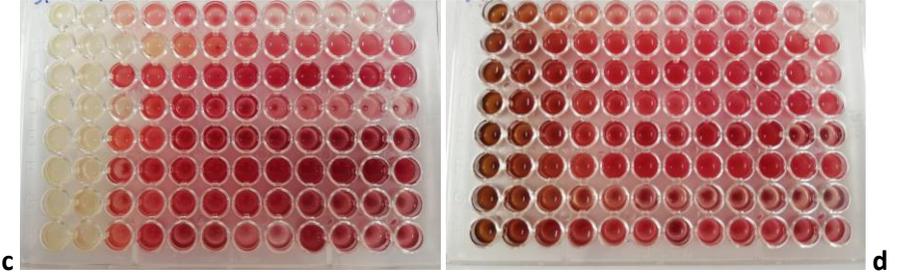
**Tablo 4.** Mantar Örneklerinin Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları (MİK)

Test Mikroorganizmaları	<i>Russula Emetica</i> MİK Değerleri (mg/ml)		<i>Boletus Satanas</i> MİK Değerleri (mg/ml)		Gentamisin MİK Değerleri (µg/ml)
	Su	Metanol	Su	Metanol	
<i>E.Coli</i> ATCC 25922	-	-	-	1.56	2.44
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	-	1.56	-	1.56	9.76
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 70603	-	-	-	-	2.44
Metisiline Dirençli <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA) ATCC 43300	-	3.12	-	3.12	78.12
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 13076	-	-	-	-	4.88
<i>Sarcina lutea</i> ATCC 9341	-	3.12	-	1.56	4.88
<i>Bacillus cereus</i> ATCC 11778	-	-	-	-	2.44
<i>Candida Albicans</i> NRRL Y-414	-	-	-	-	9.76

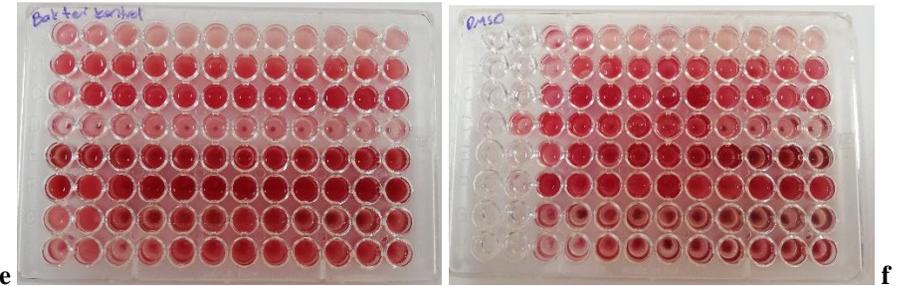
*R. emetica* ve *B. satanas*'ın su ekstralarının ise hiçbir mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktivite göstermediği görülmüştür (Tablo 4).



**Şekil 9.** *Boletus satanas* Metanol (a) ve Su (b) Ekstreleri Antimikrobiyal Aktivite Pleytleri



**Şekil 10.** *Russula emetica* Metanol (c) ve Su (d) Ekstreleri Antimikrobiyal Aktivite Pleytleri



**Şekil 11.** Bakteri kontrol (e), DMSO-Negatif kontrol (f) Pleytleri

Kaewnarin ve ark. (2016), yapmış oldukları çalışmada Tayland'tan topladıkları bazı mantar türlerinin etanol, metanol ve %1 HCl'li su ekstralarının fenolik profilleri, antioksidan aktiviteleri, tirozinaz enzimi ve hiperglisemik inhibitör aktivitelerine bakmışlar. En iyi fenolik içerikleri genel olarak su ekstralarında elde etmişler ve *R. emetica* su ekstresi (20,2 mg GAE/g DW), *R. emetica*'nın asidik ekstresi (15,7 mg GAE/g DW) şeklinde tespit etmişlerdir. En yüksek flavonoit içeriğini metanol ekstralarında elde etmişler ve *R. emetica* metanol ekstresi (0,87 mg QE/g DW) şeklinde belirlemişlerdir. DPPH süpürücü aktivitenin tüm mantar türlerinde su ekstralarında daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. ABTS süpürücü aktiviteyi tüm mantar türlerinde su ekstresinde daha yüksek tespit etmişler ve *R. emetica* su ekstresi için (97,7 mg TEAC/g DW) olarak tespit etmişlerdir. ABTS için etanol ekstralarının bütün örneklerde en düşük sonucu verdiğini söylemişlerdir. Tirozinaz aktivitesini sadece metanol ekstralarında tespit ettiklerini bildirmişler ve *R. emetica* metanol ekstresi (0,066 mg KAE/g DW) sonucunu vermişlerdir. Bizim çalışmamızla kıyaslandığı zaman, total fenol içeriğini bizim çalışmamızda da su ekstresinde (REW  $13,46 \pm 1,48$   $\mu\text{g/mL RE/g DW}$ ) daha yüksek bulmuş olmamız bu çalışmayla benzer sonuç vermektedir. DPPH ve ABTS aktivitelerinin bizim çalışmamızda da su ekstralarında daha iyi sonuçlar vermesi benzerdir. Tirozinaz inhibisyon aktivitesinin bizim çalışmamızda da sadece metanol ekstresinde aktivite göstermesi (REM  $\text{IC}_{50} = 9 \pm 0,007$   $\mu\text{g/mL KAE/g DW}$ ) bu çalışmayla korelasyon göstermektedir.

Jiamworanunkul ve Chomcheon, (2015), yapmış oldukları çalışmada bazı mantar türlerinin etilasetat ekstralarının antimikrobiyal ve antioksidan aktivitelerini belirlemiştir. *R. emetica*'nın DPPH süpürücü aktivitesi ( $IC_{50} = 9,95 \pm 0,64 \mu\text{g/mL}$ ), total fenol içeriği ( $6,70 \pm 0,26 \text{ mg GAE/g}$ ) olarak tespit etmişlerdir. Antimikrobiyal aktivite için kullandıkları suşlar; *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Staphylococcus aureus* ATCC 25923'dir. *R. emetica*'nın MİK (Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu) sonuçlarını (*E. coli* =  $10,0 \text{ mg/200 g}$   $0,5 \text{ MİK mg/ml}$ ) ve (*S. aureus* =  $5,0 \text{ mg/200 g}$   $0,5 \text{ MİK mg/ml}$ ) şeklinde tespit etmişlerdir. Total fenol içeriğinin bizim çalışmamızda su ekstresinde ( $REW 13,46 \pm 1,48 \mu\text{g/mL RE/g DW}$ ) olması daha yüksek sonuç verdiğinden bu çalışmayla kıyaslandığında, Jiamworanunkul ve Chomcheon, (2015)' in etil asetat kullanması açısından farklılık göstermektedir. DPPH aktivitesi Jiamworanunkul ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada daha iyi sonuç vermiştir. Antimikrobiyal aktivite açısından bakıldığı zaman, bizim çalışmamızda kullanılan suşlar *Escherichia coli* ATCC 25922 ve metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC 43300'dır. *R. emetica* su ve metanol ekstraları *E.coli*'ye karşı aktivite göstermemiştir. *S.aureus*'a karşı ise metanol ekstresi (  $REM = 3,12 \text{ MİK mg/mL}$ ) aktivite göstermiştir.

Heleno ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada bazı *Boletus* türlerinin metabolit analizlerini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre *B. satanas*'ın total fenolik içeriğini ( $37,85 \pm 1,84 \text{ mg GAE/g}$  ekstre), DPPH süpürücü aktivitesini ( $EC_{50} = 0,43 \pm 0,03 \text{ mg/ml}$ ) olarak tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamızda *B.satanas* su ekstraları en iyi

sonuçları vermiş olup, total fenol ve flavonoit içerikleri sırasıyla (BSW =  $35,47 \pm 2,39$  mg RE/g ekstre & BSW =  $519 \pm 507$  mg RE/g ekstre) olarak tespit edilmiştir. DPPH süpürücü aktivite ise (BSW IC<sub>50</sub> =  $1204 \pm 1,15$  GAE/ $\mu$ g/mL) olarak tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇ

Sonuç olarak, yapmış olduğumuz bu çalışmada elde ettiğimiz verilere göre; *B. satanas* ve *R. emetica* türlerinin su ekstreleri metanol ekstrelerine göre antioksidan aktivitelerinde daha iyi sonuçlar vermiştir. Enzim aktivitesinde ise metanol ekstrelerinin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bu türlerin metanol ekstrelerinin zayıf da olsa çalışılan standart bakteri suşlarına karşı antimikrobiyal etki gösterdikleri tespit edilmiştir. Su ekstrelerinin ise antimikrobiyal aktivitesi tespit edilmemiştir. Ancak özütlerdeki aktiviteden sorumlu etken bileşenler belli değildir. Bu sebeple daha sonraki çalışmalarda bu bileşenlerin belirlenmesi ve aktivite çalışmalarının in vivo şartlarda da yapılarak sonuçların in vitro sonuçlarla bir kez daha paralel değerlendirilmesi önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Abbasoğlu, U., Tosun, F. ve Aydınoğlu, A., (1995). Antimicrobial activity of *Gonocytisus angulus* (L.) Spach, *FABAD J Pharm Sci*, 20, 125-127.
- Abirami, A., Nagarani, G. ve Siddhuraju, P., (2014). In vitro antioxidant, anti-diabetic, cholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of fresh juice from *Citrus hystrix* and *C. maxima* fruits, *Food Science and Human Wellness*, 3 (1), 16-25.
- Bahadori, M. B., Kirkan, B. ve Sarikurkcü, C., (2019a). Phenolic ingredients and therapeutic potential of *Stachys cretica* subsp. *smyrnaea* for the management of oxidative stress, Alzheimer's disease, hyperglycemia, and melasma, *Industrial Crops and Products*, 127, 82-87.
- Bahadori, M. B., Kirkan, B., Sarikurkcü, C. ve Ceylan, O., (2019b). Metabolite profiling and health benefits of *Stachys cretica* subsp. *mersinaea* as a medicinal food, *Industrial Crops and Products*, 131, 85-89.
- Clarke, G., Ting, K. N., Wiart, C. ve Fry, J., (2013). High correlation of 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging, ferric reducing activity potential and total phenolics content indicates redundancy in use of all three assays to screen for antioxidant activity of extracts of plants from the Malaysian rainforest, *Antioxidants*, 2 (1), 1-10.
- Çolak, Ö. F. ve Işıloğlu, M., (2016). The Subgenus *Compactae* (*Russula*) species in Turkey, *Turkish Journal of Life Sciences*, 1 (2), 86-95.
- Erkuş, İ., (2010). Nevşehir (Gülşehir, Derinkuyu) yöresinde yetişen makromantarlar üzerinde taksonmik bir araştırma, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Heleno, S. A., Barros, L., Sousa, M. J., Martins, A., Santos-Buelga, C. ve Ferreira, I. C., (2011). Targeted metabolites analysis in wild *Boletus* species, *LWT-Food science and Technology*, 44 (6), 1343-1348.
- Jiamworanunkul, S. ve Chomcheon, P., (2015). Screening of antimicrobial and antioxidant properties of ethyl acetate extracts from wild edible mushrooms, *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences (TJPS)*, 43 (3).

- Kaewnarin, K., Suwannarach, N., Kumla, J. ve Lumyong, S., (2016). Phenolic profile of various wild edible mushroom extracts from Thailand and their antioxidant properties, anti-tyrosinase and hyperglycaemic inhibitory activities, *Journal of Functional Foods*, 27, 352-364.
- Kaewnarin, K., Suwannarach, N., Kumla, J., Choonpicharn, S., Tanreuan, K. ve Lumyong, S., (2020). Characterization of polysaccharides from wild edible mushrooms from Thailand and their antioxidant, antidiabetic, and antihypertensive activities, *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 22 (3).
- Khan, F. ve Chandra, R., (2019). Bioprospecting of wild mushrooms from India with respect to their medicinal aspects, *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 21 (2).
- Kibby, G., (2001). Key to blackening species of *Russula* of section *Compactae*, *Field Mycology*, 2 (3), 95-97.
- Morel, S., Arnould, S., Vitou, M., Boudard, F., Guzman, C., Poucheret, P., Fons, F. ve Rapior, S., (2018). Antiproliferative and antioxidant activities of wild Boletales mushrooms from France, *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 20 (1).
- Nacak, F. M., (2014). Elektrokimyasal yöntemlerle antioksidan kapasite tayini ve klasik yöntemlerle karşılaştırılması, *Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Neagu, E., Radu, G. L., Albu, C. ve Paun, G., (2018). Antioxidant activity, acetylcholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of *Pulmonaria officinalis* and *Centarium umbellatum* extracts, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25 (3), 578-585.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. ve Rice-Evans, C., (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free radical biology and medicine*, 26 (9-10), 1231-1237.
- Sarnari, M., (1998). Monografia illustrata del genere *Russula* in Europa, Fondazione centro studi micologici, p.

- Sesli, E. ve Denchev, C. M., (2008). Checklists of the myxomycetes, larger ascomycetes, and larger basidiomycetes in Turkey, *Mycotaxon*, 106 (2008), 65.
- Teferi, Y., Muleta, D. ve Woyessa, D., (2013). Mushroom consumption habits of Wacha Kebele residents, southwestern Ethiopia, *J Agricult Biol Sci*, 4 (1), 6-16.
- Yang, H., Dong, Y., Du, H., Shi, H., Peng, Y. ve Li, X., (2011). Antioxidant compounds from propolis collected in Anhui, China, *Molecules*, 16 (4), 3444-3455.
- Yang, Z., Wang, Y., Wang, Y. ve Zhang, Y., (2012). Bioassay-guided screening and isolation of  $\alpha$ -glucosidase and tyrosinase inhibitors from leaves of *Morus alba*, *Food Chemistry*, 131 (2), 617-625.
- Yur, S., Tekin, M., Göger, F., Başer, K. H., Özek, T. ve Özek, G., (2017). Composition and potential of *Tanacetum haussknechtii* Bornm. Grierson as antioxidant and inhibitor of acetylcholinesterase, tyrosinase, and  $\alpha$ -amylase enzymes, *International journal of food properties*, 20 (sup3), S2359-S2378.
- <http://www.indexfungorum.org/names/names.asp>

## CHAPTER 6

### ECOLOGICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF SOME EDIBLE *LACTARIUS* SPECIES IN TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim TÜRKEKUL<sup>1</sup>

Lecturer Dr. Oğuzhan KAYGUSUZ<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Department of Biology, Faculty of Science and Arts, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat 60010, Turkey. <https://orcid.org/0000-0002-1036-9835>

<sup>2</sup> Department of Plant and Animal Production, Atabey Vocational School, Isparta University of Applied Sciences, Isparta 32670, Turkey. <https://orcid.org/0000-0003-3455-2965>



## 1. INTRODUCTION

Natural mushrooms in forest areas have been preferred by people for centuries with their unique aromas and flavors. Mushrooms are valuable foods due to their high protein, fiber, minerals and vitamins, as well as their low fat content (Breene, 1990; Agrahar-Murugkar and Subbulakshmi, 2005).

Mushrooms have been identified as the best known vegetable protein source with essential amino acids. Mushrooms are of great importance with their therapeutic properties as well as their nutritional properties (Pekşen and Kaplan 2017; Manzi et al.1999).

They stated that the amount of cultivated mushrooms consumed per person per year in Turkey is 579.2 grams, whereas the amount of wild mushroom consumption is higher than this value (Eren and Pekşen 2016).

Türkiye has a very rich biodiversity in terms of macrofungi due to its climate and rich vegetation. Among these macrofungi, many edible mushroom species are collected by the public and sold in the market.

The genus *Lactarius*, which naturally grows in forest areas, is represented by approximately 173 species in the world (Krik, 2008). In our country, approximately 56 species have been identified so far. (Sesli, et al. 2020; Solak and Türkoğlu, 2022). Some of these species are poisonous, while others are consumed as food.

## 2. ECOLOGY AND USAGE

In our country, *Lactarius deliciosus* (L) Gray, *L. deterimus* Gregör, *Lactarius semisanguifluus* R.Heim & Leclair, *Lactifluus piperatus* (L.) Roussel, *Lactarius pyrogalus* (Bull.:Fr.) Fr and *Lactifluus volemus* (Fr.) Kuntze species are collected from natural environments and wrapped in neighborhood markets. contributes economically to the local people.

*L. piperatus*, *L. pyrogalus* and *L. volemus* species are widely consumed as food sources, especially in the Black Sea Region. Again, the *L. piperatus* species is widely consumed in the Black Sea Region with its unique aroma (Pekşen et al. 2007).

*Lactarius* species can grow in almost every region with pine forests in all natural environments where climatic and ecological conditions are favorable. *Lactarius* species are not cultured. We can only collect these mushrooms from forested areas. *Lactarius* species can grow in almost every region with pine forests in all natural environments where climatic and ecological conditions are favorable. *Lactarius* species are not cultured. We can only collect these mushrooms from forested areas.

Some types of fungi that settle in the roots of plants make it easier for the plant to take substances such as water, phosphorus and nitrogen from the soil; the plant provides organic nutrients to the fungus. Thus, they lead a common life based on mutual benefit.

Especially in the spring and autumn months, we can find it in abundance after the rains. The most important feature that distinguishes *Lactarius* species from other macrofungi is that they contain a yellow, grayish and

orange milk-like substance when plucked. *L. deliciosus*, *L. deterrimus* and *L. semisanguifluus* species contain milk in orange tones, *L. piperatus* white, *L. pyragalus* dirty white and *L. volemus* dark yellow milk (Fig 1).



**Figure 1.** General View of *Lactarius* species (a. *L. semisanguifluus*, b. *L. piperatus*, c. *L. deliciosus* d. *L. volemus*)

It is seen that edible species are called with different names in different regions. In the Black Sea region; *L. deliciosus*, *L. deterrimus* and *L. semisanguifluus* species are known as Kanlıca, while in the Mediterranean Region they are known as Melki, *L. pyragalus* Hazelnut mushroom, Hazelnut Kirmiti. In the Black Sea Region, the *L. piperatus* species is called mountain hedgehog or Koçak mushroom, while in some regions different names such as bitter mushroom are used (Pekşen and Kaplan 2017).

In some places in our country, it is collected from the natural environment and consumed in the provinces of Kastamonu, İzmir, Denizli, Antalya, Kırklareli and Çanakkale. But in some regions, unfortunately, it is not known that it was eaten. In places such as Çanakkale, Denizli, Çankırı, İzmir, Kastamonu and Muğla; It is consumed in brine, frozen and fresh.



**Figure 2.** Species of *Lactarius* Sold in Public Markets

Many different studies have been carried out on fungi belonging to the genus *Lactarius*. Studies have shown that the antioxidant, anticancer, antimicrobial, antiproliferative activities and protein contents of *Lactarius* species is quite high (Özen et al. 2019).

### 3. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Great care should be taken when collecting macrofungi from the natural environment. Because *lactarius* species are very similar to each other

like other mushroom species. In addition to being used as food, it is an important source of livelihood for the forest villagers. Macrofungi collected from forests by forest villagers make significant contributions to the family economy (Fig. 2).

We must have the mushrooms that we collect from the natural environment confirmed by an expert and we should not consume the mushrooms that we do not know for sure.

## REFERENCES

- Agrahar-Murugkar, D., Subbulakshmi, G., (2005). Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the Khasi hills of Meghalaya. *Food Chem.*, 89(4): 599– 603.
- Breene, W., (1990). Nutritional and medicinal value of speciality mushrooms. *J. Food Protec.*, 53: 883-894
- Eren, E., Pekşen A., (2016). Türkiye’de kültür mantarı sektörünün durumu ve geleceğine bakış. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(3): 189-196
- Kirk, P.M, Cannon, P.F., Minter, D.W., Stalpers, J.A., (2008). *Dictionary of the Fungi* (10th ed.). Wallingford, UK: CABI. p. 12. ISBN 978-0-85199-826-8.
- Manzi, P., Gambelli, L., Marconi, S., Vivanti, V., Pizzoferrato, L., (1999). Nutrients in edible mushrooms: an interspecies comparative study. *Food Chemistry*, 65: 477-482.
- Özen, T., Kızıl, D., Yenigun, S., Cesur, H., Türkeku, İ., (2019). Evaluation of Bioactivities, Phenolic and Metal Content of Ten Wild Edible Mushrooms from Western Black Sea Region of Turkey. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 21(10):979–994
- Pekşen, A., Kibar, B., Yakupoğlu, G., (2007). Yenilebilir bazı *Lactarius* türlerinin morfolojik özelliklerinin, protein ve mineral içeriklerinin belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(3): 301-305.
- Pekşen, A., Kaplan, M., (2017). Ordu ilinin ekonomik öneme sahip yenilebilen doğa mantarları. *Akademik Ziraat Dergisi Cilt:6 Özel Sayı:335-342*
- Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F., (eds.) Abacı Günyar, Ö., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Alkan, S., Allı, H., Aydoğdu, H., Berikten, D., Demirel, K., Demirel, R., Doğan, H.H., Erdoğdu, M., Ergül, C., Eroğlu, G., Giray, G., Halikî Uztan, A., Kabaktepe, Ş., Kadaifçiler, D., Kalyoncu, F., Karaltı, İ., Kaşık, G., Kaya, A., Keleş, A., Kırbağ, S., Kıvanç, M., Ocağ, İ., Ökten, S., Özkale, E., Öztürk, C., Sevindik, M., Şen, B., Şen, İ., Türkeku, İ., Ulukapı, M., Uzun, Ya., Uzun, Yu.,

Yoltaş, A. (2020). Türkiye mantarları listesi (The checklist of fungi of Turkey). Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul.

Solak, H.M., Türkoğlu, A., (2022). Macrofungi of Turkey, Checklist Volume III. Kanyılmaz Matbaacılık, Bornova, İzmir, Türkiye.



## BÖLÜM 7

### TÜRKİYE'DE TRÜF MANTARI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TESPİT EDİLEN SORUNLAR

Dr. Öğr Üyesi Sevgin ÖZDERİN<sup>1</sup>

Doç. Dr. Hakan ALLI<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köycegiz Meslek Yüksek Okulu, Muğla Turkey.  
Orcid No:0000-0002-4511-5229, sevginozderin@mug.edu.tr

<sup>2</sup> Mugla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Biology,  
Kötekli, Mugla, Turkey.Orcid ID: 0000-0001-8781-7029 hakanalli@gmail.com



## 1. GİRİŞ

Yenilebilir mantarlardan biri olan Trüf mantarı; tadı, kokusu ve benzersiz aromasından dolayı çok eski zamanlardan beri insanlar tarafından bilinen ve gurmeler için yeri ayrıcalıklı olan bir mantardır. Günümüzde trüf türleri; doğaya bağımlı olması, uzun sürede yetiştirilmesi ve yüksek satış fiyatı nedeniyle en cazip mantar türlerinden biri olmuştur. Ülkemiz ekonomisine önemli katkısı olan ve biyoçeşitlilik açısından önemi olan trüf mantarlarının kültüre alınmasında ve üretiminin geliştirilmesinde uygun tekniklerin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı ülkemizin için yeni bir yatırım alanı olan trüf mantarları yetiştiriciliğinde gözlemlenen sorunlar ele alınarak önemi vurgulamaktır. Araştırmamızda trüf mantarı yetiştiriciliğinde belirlenen sorunlardan en önemlileri olarak kısaca; Trüf mantarı yetiştiriciliğinin ülkemizde yeni gelişen bir tarım uygulaması olması nedeniyle ortaya çıkacak olan sorunların ve çözümleri için gerekli önlemlerin önceden alınamaması; Trüf mantarı yetiştiriciliğinin toprak altı florasından etkilenmesi, kontaminasyon riskinin yüksek olması gibi nedenlerle yetiştirilen fidanların sertifikalı olması gerekliliğinin yeterince bilinmemesi; Ülkemizde trüf aşılı fidanların sertifikalandırılarak satış uygulamamasının yaygınlaşmamış olması; Ülkemizde Trüf mantarı yetiştiriciliği hakkında doğru tekniklerin yeterince bilinmemesi ve trüf mantarı toplayıcıları için doğru teknikleri öğretecek tecrübeli yeterli uzmanların olmaması olarak belirlenmiştir. Trüf mantarı yetiştiriciliğinde başarı; bilgi birikimine, deneyime, ileri teknolojilerin kullanımına ve kontrollere bağlıdır.

Ülkemiz biyoçeşitlilik açısından gerek coğrafi yapısı gerekse iklimsel özellikleri sebebiyle oldukça zengindir. İklim farklılıkları, coğrafik özellikleri, jeolojik geçmişi, deniz, göl, akarsu gibi çeşitli ortamların varlığı ve yükselti farklılıkları Türkiye'deki biyolojik zenginliğin nedenlerindedir (Işıksal, 2013). Ülkemiz Türkiye, Avrupa ve Asya florası arasında yakın konumlanması trüf mantarı türleriyle zengin olan Akdeniz kuşağında yer almasından dolayı trüf türleri bakımından zengindir. *Tuber* cinsine ait trüf mantarı türleri; mantarlar aleminin Ascomycetes bölümünden Tuberales takımından olup, ektomikorizal ekonomik olarak değerli mantarlardır (Alsheikh ve Trappe, 1983; Moreno vd., 2014). Trüf mantarları; çam, sedir, göknar, meşe gibi orman ekosisteminin temel yapıtaşı olan ağaç türleri ile *Cistus* gibi diğer çalı türleri gibi simbiyotik olarak yaşamları sonucu mikoriza oluştururlar (Chevalier and Frochot, 2002; Stobbe et al., 2012; Bonito et al., 2010; Tedersoo and Smith, 2013). Dünyada 180 türü olmasına rağmen bunların yaklaşık olarak 13 türünün ticareti yapılmaktadır (Bonito et al., 2009). Trüf mantarı, toprak altında yetişen yeraltı mantarının yenen kısmının adıdır. Patatese benzer, diğer mantarlardan farklı olarak sporlarının çevreye yayılabilmesi için hayvanlara ihtiyaç duyar ve gelişiminin tamamını toprak altında tamamlar. Yenen kısım olan askokarpları da ağaçların köklerine yakın yerlerde toprağın 5 -20 cm altında oluşur (Kaya, 2009; Gezer et al., 2014; Elliot et al., 2016; Türkoğlu and Castellano, 2014). Ülkemize ait bazı trüf türleri, *Tuber aestivum*, *Tuber borchii*, *Tuber brumale*, *Tuber mesentericum*, *Tuber candidum*'dır (Şen vd., 2016.) Son yıllarda ülkemizde de trüf mantarı avcılığı ve trüf mantarı yetiştiriciliği ile ilgili bilimsel araştırmalar

devam etmektedir (Özderin vd., 2018; Özderin ve Allı, 2020).

Doğada bulunmasının oldukça zor olması ve gastronomik olarak çok değerli olması trüf mantarının kültüre alınma metotlarının geliştirilmesi çalışmalarını başlatmıştır. İlk kültüre alma çalışmaları İtalyan ve Fransızlar tarafından Rönesans döneminde başlanmış olmasına rağmen ilk başarılı sonuca 1800'lerin başlarına kadar Josef Talon tarafından yapılan *Tuber melanosporum* Vitt ilkel ama başarılı kültür çalışmaları olmuştur. (Hall et al., 2007; Hall and Zambonelli, 2012). Modern trüf kültürü 1970'li yılların başında, İtalyan ve Fransız araştırmacılar tarafından, belirledikleri trüf türlerini bitki veya fideleri çoğaltma yoluyla teknikler geliştirmeleriyle devam etmiştir (Zambonelli et al., 2016). Bu yöntemde sera ortamında trüf sporları aşılansmış, mikoriza oluşturabilen fideler yetiştirilerek, doğal olarak trüf yetişmeyen bölgelere trüf bahçeleri kurulması yöntemine dayanmaktadır (Hall and Yunn, 2003). Günümüz de ise ülkemizde yapılan trüf mantarı kültürü çalışmaları artarak yaygınlaşmıştır. Trüf kültüründe spor inoküle edilmiş fidanların ektomikoriza oluşumu için ekolojik gereklilikleri ve bitki türü önemli rol oynamaktadır (Granetti et al., 2005). Bunun yanında Trüf kültivasyonunda dikkat edilmesi gereken esaslar dikim sahasının seçimi, konukçu bitki seçimi, aşılansmış fidanların plantasyonu, mikorizal bitki ve toprak bakımı, doğru hasat en önemli etkenlerdendir.

Trüf mantarı yetiştiriciliğinde uygun ağaç türü seçimi zor bir karar olarak karşımıza çıkmaktadır. Trüf yetiştiriciliği için beş kriter (toprak pH'ı, toprak taşlılık durumu, sıcaklık, yağmur, eğim, rakım)

doğrultusunda optimum ağaç türü seçimi gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Tsiaras et al., 2017). Tüm bu şartları tek tek ele alacak olursak doğru teknik, doğru türün seçimi ve doğru konukçuya karar vermek ilk aşama olarak gözümüze çarpmaktadır. Bu aşamalardan ilki temel olarak trüf mantarının bitkiye aşılınması, trüf sporları ile konakçı bitkinin köklerinin bir araya getirilmesi sürecidir. Bu işlemden sonra fidanlar uygun şartlarda bakımı yapılarak yetiştirilir ve aşılınmış fidanda mikorizal gelişiminin başarılı bir şekilde bitki kökünde tespiti ve kolonizasyon yüzdesinin belirlenmesidir (Özderin ve Allı, 2020). Bu süreç belli bir zaman gerektiren ve oldukça hassas bir süreçtir. Nitekim aşılama yapılan fidan eğer steril bir ortamda aşılınmaz ve bakımı yapılmaz ise; kontamine olma riski oldukça yüksektir. Bunun sonucu olarak da aşılama işlemi başarısız olup, trüf mantarının gelişimi ve sonuç olarak yetiştirilmesi mümkün olmayacaktır. Muğla Sıtkı Koçman üniversitesi Trüf Uygulama ve Araştırma merkezimiz fidanlığında çok sık rastladığımız aşılı fidanları kontamine eden türlerden biri olan *Sphaerospora brunnea* türüne çok sık rastlanmaktadır. Bu tip sorunları en aza indirmek ve trüf mantarı yetiştiriciliğinde başarılı olmak için, fidanların sertifikasyonu mutlaka yapılmalıdır. Günümüzde Avrupa'da kullanılan 5 tane sertifikasyon metodu vardır. Fischer ve Colinas (1996), tarafından geliştirilen sertifikasyon metodu istatistikî ve moleküler teknikleri temel almaktadır. Yapılan araştırmalarda trüf bahçesi kurulmuş sahalarda trüf aşılı fidanların mikoriza oranlarının değişiklik gösterdiği ortaya çıkmış olup, mikoriza durumlarının sürekli kontrol edilmesi gerekliliğinin önemini ortaya çıkarmaktadır (Grupe et al., 2021).

Trüf mantarı aşılama işlemi yapıldıktan sonra fidelerin satışından önceki üretim süreçleri, örneğin aşılama başarı yüzdesinin tespiti, seralarda fide yetiştiriciliği ve yetiştirilen fidanların mantar kolonizasyonu için uygun olup olmadığını değerlendirmek, aşılammamış fidanlarla karşılaştırıldığında maliyeti artırmaktadır (Bonet vd., 2009). Bu durum trüf mantarı yetiştiriciliğine karar verirken dikkat edilmesi gereken konulardan bir diğeridir. Trüf mantarı yetiştiriciliğinde aşılama sonrası dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise; trüf bahçesinin konumu, toprak yapısı, toprak pH'sı, sıcaklık, yağış vs. değerleri ve kurulan bahçenin bakımudur (Hall et al., 2007). Trüf mantarı gelişimini toprak altında (hypogeous) gerçekleştirmesi nedeniyle toprak özellikleri trüf kültüründe oldukça önemlidir. Herbir trüf mantarı için toprak istekleri farklı olacağı için, trüf bahçesi kurulacak bahçeden toprak örneği alınarak toprak özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Trüf mantarlarının her türüne ait pedoklimatik şartları ihtiva eden optimum veriler değişmektedir. Uygun şartlar, miselyumun gelişmesi, mikorizasyon, askokarp oluşumu ve olgunlaşması farklılıklar göstermektedir. Trüf türlerinin biyolojik gelişimi için toprak yapısı oldukça önemlidir. Farklı çalışmalar Avrupa dışında bazı trüf türlerinin farklı toprak tiplerinde de oldukça başarılı olduklarını göstermiştir. New Zelandada *Tuber melanosporum* ile yapılan çalışmalar sonunda hem killi hem de kumlu toprak yapısında Avrupa toprak yapısından çok daha verim elde ettiklerini ortaya çıkarmıştır (Wedén et al., 2004; Hall et al., 2007).

Araştırmalar trüf bahçesi kurulumunda en uygun alanların seçiminde kullanılan parametrelerin bölgelere göre farklılık gösterdiğini çünkü

yükseklik ve çevreye uyum sağlama ile ayrı düşünülemediğini belirtmiştir. Avrupada doğal trüf alanlarının deniz seviyesine yakın yerlerinde, Fransa’da 1800m’ye, İspanya’da büyük trüf yataklarını 600-1200m yüksekliklerde tespit edilmiştir (Bonet vd., 2009). Trüf bahçeleri için en ideal yer öncelikle bir trüf türünün doğal olarak yetiştiği ortamlardır. Çünkü doğal yaşam alanının toprak yapısı, iklim özellikleri ve hâkim olan bitki türleri bir trüf türü için en uygun ortamdır. Dikim sahası için en az beş yıl boş kalan ağaçsız alanlar tercih edilmelidir. Dikim sahası belirlenirken trüf mantarının fazla sudan zarar görme ihtimali göz önünde bulundurularak, su birikmeyen eğimli araziler (ideal oran%10) tercih edilmeli ya da alanın tamamın da derin toprak işleme yapılarak yabancı bitki materyalleri sahadan uzaklaştırılmalıdır. Ormanlık arazide trüf bahçesi kurulumunda arazide diğer rekabetçi mantarların olması nedeniyle bahçe kurulumu öncesinde bir süre tahılların dikilmesi tavsiye edilmektedir.

Trüf kültivasyonunda önemli olan dikim alanın doğru tespit edilmesi, arazinin mekanik kültüre uygunluğu, özellikle eğim, taşlık veya kayalık olmasının göz önüne alınması gerekmektedir. Konukçu bitkinin öncelikle istenen kalitesinin yanısıra kontamine edici funguslarla mikoriza oluşturmamış ve seçilen arazide rahat ve hızla gelişebilen cins ve türleri göz önünde bulundurmalıdır. Aşılınmış fidanların dikiminde simbiyoz hayatı kolaylaştıracak özel şartların sağlanmasına dikkat edilmelidir. Ekim-kasım veya Şubat- mart aylarında her yıl brule halkası (biyolojik halka) görülene kadar hafif mekanik alet ile toprağın yüzeyi işlenmelidir. Mikorizal sistemi değiştirmeksizin ve toprak profilini bozmadan üreme organlarının esas yeri tespit edilerek belirgin

bir koku yayan olgunlaşmış mantarların hasadı yapılmalıdır. Tecrübeli bir yer mantarı üreticisi, toprak yüzeyindeki küçük çatlaklardaki askokarp oluşumu ile veya diğer yer mantarlarının üzerine yumurtasını bırakan ve larvası mantar içinde büyüüp gelişen *Helomyza tuberivora* isimli sinekle hasat zamanı belirleyebilmektedir.

Yapılan çalışmalarda *Tuber aestivum*' un *Tuber melanosporum*' dan daha rekabetçi ve toprak istekleri daha geniş olup, uygun ortamı bulduğunda yıllarca ürün alınabileceğini göstermiştir (Weden et al. 2004). Örneğin *Tuber aestivum*' un *Tuber melanosporum*' biyolojisi ve kültürü hakkında literatürde birçok araştırma vardır (Chevalier and Frochet 1997, Olivier et al. 2002, Wedén, 2009). Yapılan bu çalışmaların sonuçlarında her trüf türünün farklı toprak isteklerinin ve iklimsel faktörlerin olduğu, Trüf bahçesi kurulacak alanlar ve türler seçilirken bunların gözönünde bulundurulması oldukça önemlidir.

## 2. SONUÇ

Trüf Mantarı yetiştiriciliği; üretimin toprak altında yapılması, dış çevresel koşullardan direkt etkilenmesi, üretim süresinin uzun ve birim alandan elde edilen gelirin yüksek olması, trüf mantarı üretiminde kullanılabilir tarımsal materyalin bol olması nedeniyle giderek yaygınlaşan karlı bir tarımsal üretim faaliyetlerinden biridir.

Günümüzde dünyada elde edilen trüf miktarının yarıdan fazlası trüf bahçelerinden elde edilmektedir (Mello et al., 2006). İtalya'da 13-14 yıllık trüf bahçelerinden yıllık 50 kg/ha (Bencivenga and Di Massimo, 2000), İspanya'da 13-14 yıllık düzenli sulama yapılmış bahçelerden ise 45kg/ha (Carbajo, 2000) Fransa'da 14 yıllık bahçelerden 15–50 kg/ha

nadiren de 110kg/ha ürün alındığı gözlemlenmiştir (Chevalier and Frochot,1997). Bu sonuçlardan da görülmektedir ki tüm dünyada trüf mantarı üretimi giderek artan bir şekilde yaygınlaşmaktadır. Buda üretime yönelik dikkat edilmesi gereken tedbirlerin önemini göstermektedir. Trüf mantarı üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır.

-Trüf yetiştiriciliğine karar vermeden önce bu konuda deneyimli uzmanlarla görüşerek gerekirse danışmanlık hizmeti alınmalıdır. Ya da Trüf mantarı yetiştiriciliği konusunda ilgili kurumlardan eğitim alınmalıdır.

-Trüferi bahçesi kurulacak alanın belirlenmesi oldukça önemli olup, mutlaka toprak analizi yaptırılarak özellikleri ve eğim gibi faktörler değerlendirilmelidir. Ayrıca bu alandaki iklimsel veriler, arazinin geçmişi, gibi faktörler mutlaka araştırılmalıdır.

-Bahçeye dikilecek fidanların seçimi oldukça önemli olup, bölgeye uygun fidanlar seçilmelidir.

-Dikilecek fidanlarda aşılı olan Trüf mantarı türünün seçimi çok önemlidir.

-Bahçeye dikilecek Trüf mantarı aşılı fidanların sertifikalı olması oldukça önemlidir.

-Dikim yapıldıktan sonra her sene fidanlardaki mikorizal gelişim uzmanlar tarafından mutlaka kontrol edilmeli, eğer mikorizal gelişiminde sorun var ise ne gibi tedbirler alınması gerektiğine en kısa zamanda karar verilmelidir.

-Tüm bu aşamalarda karşılaşılabilecek sorunları çözmek için deneyimli uzmanlara danışılması oldukça önemlidir.

-Tüm bu kriterlere ek olarak yatırım yapmadan önce maliyet analizi yapmak oldukça önemlidir.

Dünyada doğal çeşitlerinin dışında trüf mantarı yetiştiriciliği büyüyen bir endüstridir. Özellikle Türkiye gibi bu alanda yetiştirmeye yeni başlayan ülkeler için optimum iklim, toprak koşulları ve yönetim rejimleri hakkında öğrenilecek daha çok şey vardır. Bu alanda daha alınacak çok ders olduğundan, birçok yanlış uygulamalar ya da yanlış başlangıçlar olabilir.

**KAYNAKLAR**

- Alsheikh, A. M. and Trappe, J. M. (1983). Taxonomy of *Phaeangium lefebvrei*, a desert truffle eaten by birds. *Canadian Journal of Botany*, 61(7), 1919-1925.
- Bencivenga, M. and Di Massimo, G. (2000). Risultati produttivi di tartufo coltivate di *Tuber melanosporum* Vittad. in Umbria. *Micologia Italiana*, 29(2), 38-44.
- Bonet, J. A., Oliach, D., Fischer, C., Olivera, A., Martinez de Aragon, J. and Colinas, C. (2009). Cultivation methods of the black truffle, the most profitable mediterranean non-wood forest product; a state of the art review. *Modelling, valuing and managing Mediterranean forest ecosystems for non-timber goods and services*, 57.
- Gregory, B. and Gregory, B. (2009). North American truffles in the Tuberaceae: molecular and morphological perspectives. *Plant Diversity*, 31(S16), 39.
- Carbajo, P. (2000). Plantación de Arotz-Catesa. *Proceedings of Jornadas de Truficultura, 26–28 Oct. 2002, Castellón, Spain*. pp. 26-28.
- Chevalier, G. (1997). La truffe de bourgogne (*Tuber uncinatum* chatin). Editions Pétrarque, Levallois-Perret, ISBN: 978-2- 911730-01-6, 257p
- Elliott, T. F., Türkoğlu, A., Trappe, J. M. and Güngör, M. Y. (2016). Turkish truffles 2: eight new records from Anatolia. *Mycotaxon*.131, 439-453.
- Fischer, C. and Colinas, C. (1996, August). Methodology for certification of *Quercus ilex* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum* for commercial application. In: Abstracts booklet of “1st International Conference on Mycorrhizae (ICOM1)”. (Szaro TM, Bruns TD eds). Berkeley (California, USA) 4-9 Aug 1996. University of California, Berkeley, California, USA, p 34.
- Gezer, K., Kaygusuz, O., Çelik, A. and Işıloğlu, M. (2014). Ecological characteristics of truffles growing in Denizli Province, Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(2), 1105-1109.
- Granetti, B., De Angelis, A. and Materazzi, G. (2005). Umbria terra di tartufi, Regione Umbria. *Umbriagraf, Terni*.
- Grupe, A. C., Jusino, M. A., Mujic, A. B., Spakes-Richter, B., Bonito, G., Brenneman, T. and Smith, M. E. (2021). Effects of Field Fumigation and Inoculation With

- the Pecan Truffle (*Tuber lyonii*) on the Fungal Community of Pecan (*Carya illinoensis*) Seedlings Over 5 Years. *Frontiers in microbiology*, 1042.
- Hall, I. R. and Zambonelli, A. (2012). Laying the foundations. In *Edible ectomycorrhizal mushrooms*. Springer, Berlin, Heidelberg, 34:pp. 3-16.
- Hall, I. R., Yun, W. and Amicucci, A. (2003). Cultivation of edible ectomycorrhizal mushrooms. *TRENDS in Biotechnology*, 21(10), 433-438.
- Hall, I. R., Brown, G. T. and Zambonelli, A. (2007). Taming the truffle. *The history lore and science of the ultimate mushroom*. Timber, Portland.3(2), 304 pp.
- Işıksal, D. D. (2013). "Türkiye Florası İçin Endemik Olan *Silene ruscifolia* Hub.Mor. Taksonunun Anatomik, Morfolojik, Palinolojik, Karyolojik ve Ekolojik Özelliklerinin İncelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Sivas
- Kaya, A. (2009). Macromycetes of Kahramanmaraş Province (Turkey).108(1),31-34
- Mello, A., Murat, C. and Bonfante, P. (2006). Truffles: much more than a prized and local fungal delicacy. *FEMS Microbiology Letters*, 260(1), 1-8.
- Moreno, G., Alvarado, P. and Manjón, J. L. (2014). Hypogeous desert fungi. In *Desert Truffles*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 3–20.
- Murat, C. (2015). Forty years of inoculating seedlings with truffle fungi: past and future perspectives. *Mycorrhiza*, 25(1), 77-81.
- Olivier, J. M., Savignac, J. C. and Sourzat, P. (2002). Truffe et Trufficulture. Périgueux: France. 263 pp. ISBN 2-86577-228-4.
- Özderin, S. (2020). Determination of mycorrhizal developments in pecan nut seedlings inoculated with *Tuber aestivum* Vittad.(summer truffle). *Turkish Journal of Forestry*, 21(2), 131-135.
- Özderin, S. and Yilmaz, F. (2018). Determining mycorrhiza rate in some oak species inoculated with *Tuber aestivum* Vittad.(summer truffle). *Turkish Journal of Forestry*, 19(3), 226-232.
- Şen, İ. and Civelek, H. S. (2016). Checklist of Turkish truffles. *Turkish Journal of Life Sciences*, 1(2), 103-109.
- Tsiaras, S., Dragoslis, A. and Papathanasiou, J. (2017, October). Fuzzy multiple criteria analysis for selecting the optimum tree species for truffle cultivation in

- Greece. In *International Workshop "Information Technology, Sustainable Development, Scientific Network and Nature Protection" within the 18th Panhellenic Forestry Congress* (pp. 8-11).
- Stobbe, U., Büntgen, U., Sproll, L., Tegel, W., Egli, S. and Fink, S. (2012). Spatial distribution and ecological variation of re-discovered German truffle habitats. *fungus ecology*, 5(5), 591-599.
- Tedersoo, L. and Smith, M. E. (2013). Lineages of ectomycorrhizal fungi revisited: foraging strategies and novel lineages revealed by sequences from belowground. *Fungal biology reviews*, 27(3-4), 83-99.
- Türkoğlu, A. and Castellano, M. A. (2014). New records of some Ascomycete truffle fungi from Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 38(2), 406-416.
- Weden, C., Petterson, L. and Danell, E. (2009). Truffle cultivation in Sweden: Results from *Quercus robur* and *Corylus avellana* field trials on the island of Gotland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(1), 37-53.
- Wedén, C., Chevalier, G. and Danell, E. (2004). *Tuber aestivum* (syn. *T. uncinatum*) biotopes and their history on Gotland, Sweden. *Mycological Research*, 108(3), 304-310.
- Zambonelli, A., Iotti, M. and Murat, C. (2016). True Truffle (spp.) in the world: soil ecology, systematics and biochemistry. (47), 436pp

## BÖLÜM 8

### TÜRKİYE MİKOBİYOTASI İÇİN YENİ CİNS KAYDI

Öğr. Gör. Sedat KESİCİ<sup>1</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Cemil SADULLAHOĞLU<sup>2</sup>

Prof. Dr. Yusuf UZUN<sup>3</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Emre AKÇAY<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Hakkâri Üniversitesi Yüksekova Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Orcid No: 0000-0002-0284-1247, sedatkesici@hakkari.edu.tr

<sup>2</sup> Şırnak Üniversitesi, İdil Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Orcid No: 0000-0002-0442-9045, csadullahoglu@yandex.com

<sup>3</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri Bölümü, Orcid No: 0000-0002-0537-4517, yusufuzun2004@yahoo.com

<sup>4</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Orcid No: 0000-0002-9215-3383, memreakcay@yyu.edu.tr



## 1. GİRİŞ

*Pleuroflammula* Singer cinsi, *Crepidotaceae* Singer familyasına ait olup dünya genelinde çoğu Amerika, Afrika ve Asya'dan bilinen 21 tür ile temsil edilmektedir (Singer, 1973; Horak, 1978). Avrupa ülkelerinde ise bilinen tek türü *Pleuroflammula ragazziana* (Bres.) E. Horak'tır. *Pleuroflammula ragazziana* (Bres.) E. Horak nadir bulunan bir mantardır ve dört kez bulunduğu İspanya hariç, tespit edildiği diğer ülkelerin her birinde sadece bir bölgeden bildirilmiştir (Gierczyk ve Kubiński, 2019). Bu türün doğal yayılış alanının alt tropik alanları kapsadığı ve muhtemelen diğer bölgelere yayıldığı da düşünülmektedir (Horak, 1978; Watling ve Gregory 1989; Ludwig 2001). *P. ragazziana* (Bres.) E. Horak, çeşitli ağaçların odunlarında büyüyen küçük plörotoid basidiokarplar üretir. Üzerinde geliştiği ağaçların bazıları *Acer pseudoplatanus* L., *Eucalyptus globulus* Labill L., *Eucalyptus* sp., *Fraxinus* sp., *Laurus azorica* Seub, *Ocotea foetens* (Aiton) Baill, *Quercus garryana* Douglas ex. Hook, *Quercus rotundifolia* Lam. ve *Tilia europaea* L., şeklindedir (Horak, 1978; Bañares ve ark., 1994; Hériveau ve Courtecuisse, 1995; Lago Alvarez, 2008; Gierczyk ve Kubiński, 2019).

Hakkâri ili, Çukurca ilçesi sınırları içerisinde 2020-2022 yılları arasında farklı zaman aralıklarında çeşitli arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu arazi çalışmaları sonucunda bazı makromantar örnekleri toplanmıştır. Toplanan bu örneklerin morfolojik, ekolojik ve entomikolojik özellikleri kayıt altına alınmış olup, örneklerin kendi doğal habitatında fotoğrafları çekilmiştir. Laboratuvara taşınan örneklere gerekli mikolojik teknikler uygulanarak örneklere ait mikroskopik veriler elde edilmiştir. Bütün bu

aşamalar göz önünde bulundurularak arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen bilgilerin ışığında bu makromantar örneklerinin teşhisleri yapılmıştır.

Bu çalışmanın konusunu teşkil eden makromantar örneği ise meşe ağacının çürümekte olan dalları üzerinde toplanmış ve laboratuvara taşınarak teşhis edilmiştir. Sonuç olarak bu örneğin *Pleuroflammula ragazziana* (Bres.) E. Horak olduğu belirlenmiştir. Türkiye’de geçmişten yakın zamana kadar belirlenmiş makromantarları listeleyen eserler (Sesli ve ark., 2020; Solak ve Türkoğlu, 2022) ve ülkemizde yetişen makromantarlar üzerinde yapılan son çalışmaların (Akçay ve ark., 2022; Sesli, 2022; Uzun ve ark., 2022; Akata ve ark., 2022; Acar ve Quijada, 2022; Kaygusuz, 2022) incelenmesi neticesinde *Pleuroflammula ragazziana* (Bres.) E. Horak türünün cins seviyesinde ülkemizde ilk defa tespit edildiği ve Türkiye mikobiyotası için yeni bir cins kaydı olduğu belirlenmiştir. Teşhis edilen örnekler Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Mantar Laboratuvarı’nda muhafaza edilmektedir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma materyalini oluşturan makromantar örnekleri 24.11.2020 tarihinde Hakkâri iline bağlı Çukurca ilçesinin Gündeş köyü sınırları içerisinde yapılan arazi çalışması sonucu toplanmıştır. Arazi çalışmaları esnasında Canon marka dijital fotoğraf makinesi ve Tokina marka 100 F2.8 D makro lens ile renkli fotoğrafları çekilip, tüm morfolojik özellikleri, habitatı, üzerinde yetiştiği substratı, GPS bilgileri ve yükseltisi not edildikten sonra toplanıp örneklere zarar verilmeden Van

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Mantar Laboratuvarı'na taşınmış ve uygun yöntemler kullanılarak örnekler kurutulmuştur. Kurutulan bu örnekler kilitli polietilen poşetlere konulup toplama tarihi, toplayıcı numarası, sistematik ve ekolojik özellikleri içeren etiket yapıştırılarak fungaryum materyali haline getirilmiştir. Daha sonra gerekli mikoloji teknikler uygulanarak hazırlanan preparatlar Leica marka DM500 modeli ışık mikroskobu, bu mikroskoba bağlı Leica marka ICC50 HD model kamera ve araştırma bilgisayarına yüklü Leica LAS EZ uygulaması (Ver. 3.4.0) kullanılarak incelenmiş ve örneğe ait mikroskopik karakterlerin özellikleri belirlenmiştir. Örneğin ekolojik, morfolojik ve anatomik özellikleri ışığında hazırlanan deskripsiyonu ilgili literatür (Horak, 1978; Gierczyk ve Kubiński, 2019) ile karşılaştırılarak türün teşhisi yapılmıştır.

### 3.BULGULAR

#### Türün Sistematığı

*Fungi* Bartling

*Basidiomycota* R.T. Moore

*Agaricomycetes* Doweld

*Agaricales* Underw.

*Crepidotaceae* Singer

*Pleuroflammula* Singer

*Pleuroflammula ragazziana* (Bres.) E. Horak

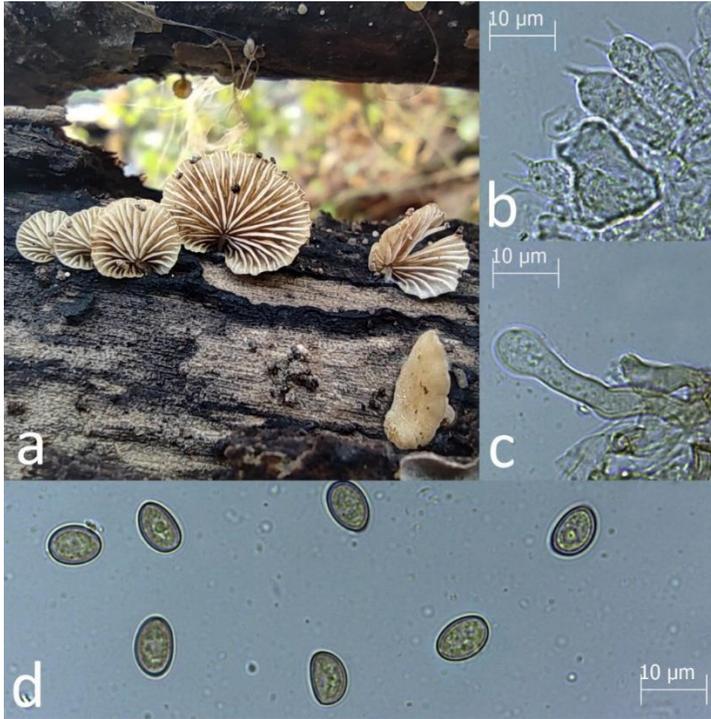
#### Türün Makroskopik Özellikleri

*Şapka*: 5-15 mm çapında, soluk bej veya koyu sarı renkte, yüzeyi hafif tüylü veya pürüzsüzdür. *Etli kısım*: Beyazımsı ve incedir. *Lameller*: Şapka ile aynı renkte veya biraz daha açık, düzenli bir şekilde genişçe

dizilmiş ve bazı lameller kısadır. *Sap*: 3-8 x 1-3 mm boyutlarında, şapkayla aynı renkte ve şapkaya lateral bağlı, sap tabanında beyaz miselyum örtüsü görülür.

### Türün Mikroskopik Özellikleri

*Sporlar*: Genişçe ovoit ya da elipsoit, pürüzsüz, kalın çeperli, 8.4-9.5 (10.5) x 5.5-6 (6.4)  $\mu\text{m}$  boyutlarında, soluk kahverengi renkte ve spor baskısı pas kahverengidir. *Bazidiyum*: 25-40 x 6-8  $\mu\text{m}$  boyutlarında, silindirik ya da klavat, iki veya tek sterigmalıdır. *Keliosistid*: 35-60 x 6-7.5  $\mu\text{m}$  boyutlarında, belirgin, genellikle silindirik veya klavat ve çoğunlukla uç kısmı topuz gibi şişkindir.



**Şekil 1.** *Pleuroflammula ragazziana* türünün a) fruktifikasyon organları b) bazidiyosporları c) sistitleri d) bazidiyosporları

## **Türün Habitatı**

Araştırma materyalini oluşturan makromantar örnekleri ceviz, kavak, söğüt, elma, erik, alıç, meşe ve kuşburnu gibi ağaçlardan oluşan karışık ağaçlık bir alanda meşe ağacının çürümekte olan yere düşmüş dalları üzerinde tespit edilmiştir. Hakkâri, Çukurca, Gündeş köyü, 37°18.754 K, 43°29.441 D, 978m, 24.11.2020, Kesici 0328.

## **4. TARTIŞMA ve SONUÇ**

*Pleuroflammula ragazziana* türü özellikle *Crepidotus* (Fr.) Staude türleri veya *Simocybe haustellaris* (Fr.) Watling gibi diğer küçük, koyu sporlu, plörotoid mantarlarla karıştırılabilir. Ancak, *Crepidotus* cinsi üyeleri dört sporlu bazidia ve genellikle süslü sporlar üretmesi bakımından *Pleuroflammula ragazziana* türünden ayrılır. *S. haustellaris* ise daha dar ve uzun, elipsoitten ovale, ince duvarlı, çimlenme porlu, sivri apektli sporlar üretir ve belirgin pileosistitlere sahip olmasıyla kolayca ayırtedilebilir.

Son yıllarda ülkemiz makromantar çeşitliliğinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yoğunlaşmasına rağmen tür çeşitliliğimizin beklenen seviyede olmadığı bilinmektedir. Yapılan bu çalışma sonucunda yeni bir cins ilavesi ile ülkemiz makromantar çeşitliliğinin zenginleştirilmesine yönelik katkı sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acar, İ. & Quijada, L. (2022). A New Species Record from the Order of *Pezizales*; *Coprotus disculus*. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 120-123.
- Akata, I., Altuntaş, D., Gizem, B., Şahin, E. (2022). *Pisolithus albus*, A New Record for Turkish Gastroid Fungi. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 128-133.
- Akçay, M. E., Denğiz, Y., Kesici, S. (2022). *Coprotus* Korf & Kimbr.: A new coprophilous genus record for the mycobiota of Türkiye. *Anatolian Journal of Botany*, 6 (2), 75-77.
- Bañares A., Beltrán E. ve Rodriguez J. L. (1994). Estudio micologico de la reserva de la biosfera «El Canal y los Tiles» (La Palma, Islas Canarias). III: *Agaricomycetidae*. II. *Cryptogamie. Mycologie*, 15(1), 1-20.
- Gierczyk B. ve Kubiński R. (2019). The first report of *Pleuroflammula ragazziana* in Poland. *Acta Mycologica*, 54(1), 1121, 1-6.
- Hériveau P. ve Courtecuisse R. (1995). Agaricomycètes rares ou nouveaux de la côte sud-armoricaine. II. *Doc. Mycol*, 25(98-100), 219-227.
- Horak E. (1978). *Pleuroflammula*. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 9(4), 439-451.
- Lago Alvarez M. (2008). Micoflora ("Basidiomycota") de los eucaliptales del NO de la Península Ibérica.
- Ludwig E. (2001). *Pilzkompendium*. Band 1. Beschreibungen. Die kleineren Gattungen der Makromyzetten mit lamelligem Hymenophor aus den Ordnungen *Agaricales*, *Boletales* und *Polyporales*. IHW-Verlag, Eching.
- Kaygusuz, O. (2022). First Record of *Bolbitius reticulatus* (*Agaricales: Bolbitiaceae*) in Turkey, with Nuclear ITS and LSU rDNA Sequences Data. *Mantar Dergisi*, 13 (1), 1-7.
- Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F., (eds.) Abacı Günyar, Ö., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Alkan, S., Allı, H., Aydoğdu, H., Berikten, D., Demirel, K., Demirel, R., Doğan, H.H., Erdoğdu, M., Ergül, C., Eroğlu, G., Giray, G., Halikî Uztan, A., Kabaktepe, Ş., Kadaifçiler, D., Kalyoncu, F., Karaltı, İ., Kaşık, G., Kaya, A., Keleş, A., Kırbağ, S., Kıvanç, M., Ocağ, İ., Ökten, S., Özkale, E., Öztürk, C., Sevindik, M., Şen, B., Şen, İ., Türkekul, İ., Ulukapı, M., Uzun, Ya., Uzun,

- Yu., Yoltaş, A. (2020). *Türkiye mantarları listesi (The checklist of fungi of Turkey)*. Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul.
- Sesli, E. (2022). *Amanita spadicea*: Türkiye Mikotası İçin Yeni Bir Kayıt. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 92-95.
- Singer R. (1973). Diagnoses fungorum novorum Agaricalium III. Beih *Sydowia*, 7, 1-106.
- Solak, H.İ., Türkoğlu, A. (2022). *Macrofungi of Turkey, Checklist Volume III*. Kanyılmaz Matbaacılık, Bornova, İzmir, Türkiye.
- Uzun, Y., Keleş, A., Kaya, A. (2022). *Pseudohydrops floccipes* (Fr.) Vizzini & Consiglio, A New Record for Turkish Mycobiota. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 124-127.
- Watling R. ve Gregory N. M. (1989). *Crepidotaceae, Pleurotaceae and other pleurotoid agarics* (No. Sirsi) i9781872291000).



## CHAPTER 9

### CONTRIBUTION TO THE AGARICALES OF TÜRKİYE

Seyfettin KAYA<sup>1</sup>

Assist. Prof. Dr. Mustafa Emre AKÇAY<sup>1</sup>

Lect. Sedat KESİCİ<sup>2</sup>

Assist. Prof. Dr. Cemil SADULLAHOĞLU<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Science, Department of Biology, Van, Türkiye, 2015.seyf@gmail.com, memreakcay@gmail.com

<sup>2</sup> Hakkâri University, Yüksekova Vocational Highschool, Hakkâri, Türkiye, kesicisedat30@gmail.com

<sup>3</sup>Şırnak University, Faculty of Pharmacy, Şırnak, Türkiye, csadullahoglu@yandex.com



## 1. INTRODUCTION

In this study, information will be given about the *Hymenopellis megalospora* (Clem.) R.H. Petersen added as a new record to the order *Agaricales* of Türkiye as a result of field studies on macrofungi around the village of Akkuş, Hakkari, and laboratory studies carried out in the laboratories of Van YYU, Faculty of Science, Department of Biology.

*Hymenopellis* is a genus of fungi in the family *Physalacriaceae*. The genus was described by mycologist Ron Petersen in 2010. The type species is *Hymenopellis radicata*, originally described by British botanist Richard Relhan in 1780 as *Agaricus radicans* (Petersen and Hughes, 2010).

*Agaricales*, one of the largest orders of the Fungi Kingdom, is also known as Euagarics or gilled mushrooms, contains some of the most familiar types of mushrooms. It is represented by 413 genera and over 13,000 described species worldwide (Kirk et al., 2008). *Agaricus bisporus* is most commonly and widely consumed mushroom in the world, many of the deadly poisonous mushrooms such as *Amanita* and *Cortinarius* species, hallucinogenic mushrooms such as *Psilocybe* species and bioluminescent mushrooms are included in this order.

Fruiting bodies of the agarics are typically fleshy, with a stem, often called a stipe or stalk, a cap (or pileus) and gills (or lamellae), where basidiospores are produced. This is the characteristic structure of a mushroom. Different types of mushrooms include the hydroid fungi

that form tooth-like or spine-like projections, and the polypores, they have tubes (pores) rather than gills.

According to the checklists about the macrofungal diversity of Turkey, macrofungi of our country represented by about 3000 species (Sesli et al., 2020; Solak and Türkoğlu, 2022). Considering the recent studies on the macrofungi of Türkiye (Akçay et al., 2022; Sesli, 2022; Uzun et al., 2022; Akata et al., 2022; Acar ve Quijada, 2022; Kaygusuz, 2022) together with this list studies of macrofungi species in our country, it is seen that the *Hymenopellis megalospora* was determined for the first time in Turkey as a result of this study.

However, considering the biological richness of our country, the macrofungal diversity of Türkiye is expected to be much higher. Although the studies on the subject have been intensified recently, our macrofungal diversity has not reached the expected situation yet. For this reason, the continuation of the studies on the diversity of macrofungi is very important in terms of contributing to the biological richness of our country.

## **2. MATERIAL and METHOD**

Macrofungus specimens were collected from Akkuş village of Hakkari, Türkiye in 2021. Morphological and ecological characteristics of the samples were recorded during the field study and they were photographed in their natural habitat. Then, they were taken to the laboratory and microscopic investigations were carried out on them.

Microscopic investigations of the samples were done by using a Leica DM500 light microscope mounted Leica ICC50 HD camera. Sizes of microscopic characters such as spores, basidia and cystidia were measured using Leica LAS EZ (Ver. 3.4.0) software.

Identification was performed with the aid of the relevant literature (Corner, 1952; Moser, 1983; Kuo, 2014; Petersen and Methven, 1994; Kaya et al., 2019).

### **3. RESULTS**

#### **Position In Classification of The New Record Taxa**

*Physalacriaceae* Corner, *Agaricales* Underw., *Agaricomycetidae* Locq., *Agaricomycetes* Doweld, *Agaricomycotina* Doweld, *Basidiomycota* R.T. Moore, Fungi Bartling (URL 1).

#### **Synonymy of The New Record Taxa**

*Clitocybe megalospora* Clem., in Pound & Clements, Bot. Surv. Nebraska 4: 18 (1896), *Collybia radicata* var. *pusilla* Peck, Ann. Rep. Reg. N.Y. St. Mus. 49: 35 (1897) [1896], *Hymenopellis megalospora* f. *bispora* R.H. Petersen, in Petersen & Hughes, Nova Hedwigia, Beih. 137: 189 (2010), *Hymenopellis megalospora* f. *pusilla* (Peck) R.H. Petersen, in Petersen & Hughes, Nova Hedwigia, Beih. 137: 188 (2010), *Oudemansiella megalospora* (Clem.) Zhu L. Yang, G.M. Muell., G. Kost & Rexer, Mycosystema 28(1): 8 (2009), *Xerula megalospora* (Clem.) Redhead, Ginns & Shoemaker, Mycotaxon 30: 374 (1987) (URL 2).

## Description of The New Record Taxa

*Macroscopic features;* (Fig. 1.)

*Pileus* 2-5 cm; hemispherical to campanulate when young, becoming broadly convex or nearly flat in age; bald; sticky to greasy when young, but soon dry; color variable, ranging from dark grayish brown to nearly white, with or without a darker center.

*Lamellae* attached to the stem by means of a notch and a tiny tooth that runs down the stem; distant or occasionally close; white; short-gills frequent.

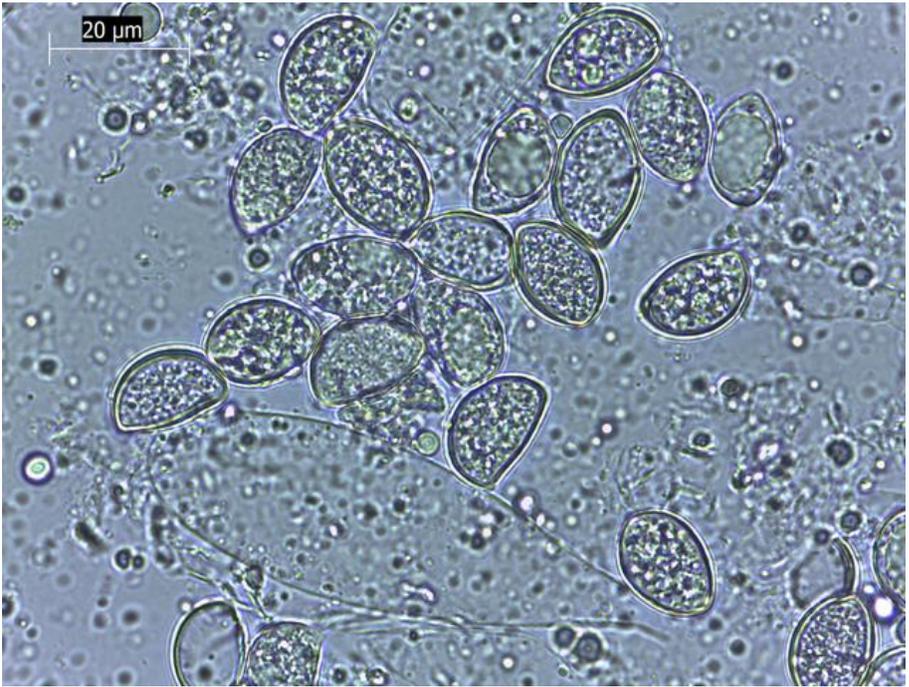


**Figure 1.** Basidiocarps of *Hymenopellis megalospora* in Their Natural Habitat And Under The Stereo Microscope.

*Stipe* 3-9 cm long above ground; 0.5-1.5 cm thick; tapering to apex; bald, or finely fibrillose with grayish to brownish fibrils; white; with a short, quickly tapering tap root extending up to 4 cm underground.

*Flesh* white; thin; no color change when damaged.

*Odor* and *taste* not distinctive.



**Figure 2.** Basidiospores of *Hymenopellis megalospora*.

*Microscopic features;*

*Spores* 14-21 x 9-13  $\mu\text{m}$ ; limoniform to amygdaliform at maturity; finely dimpled; inamyloid; hyaline in KOH (Fig. 2.).

*Spore print* white.

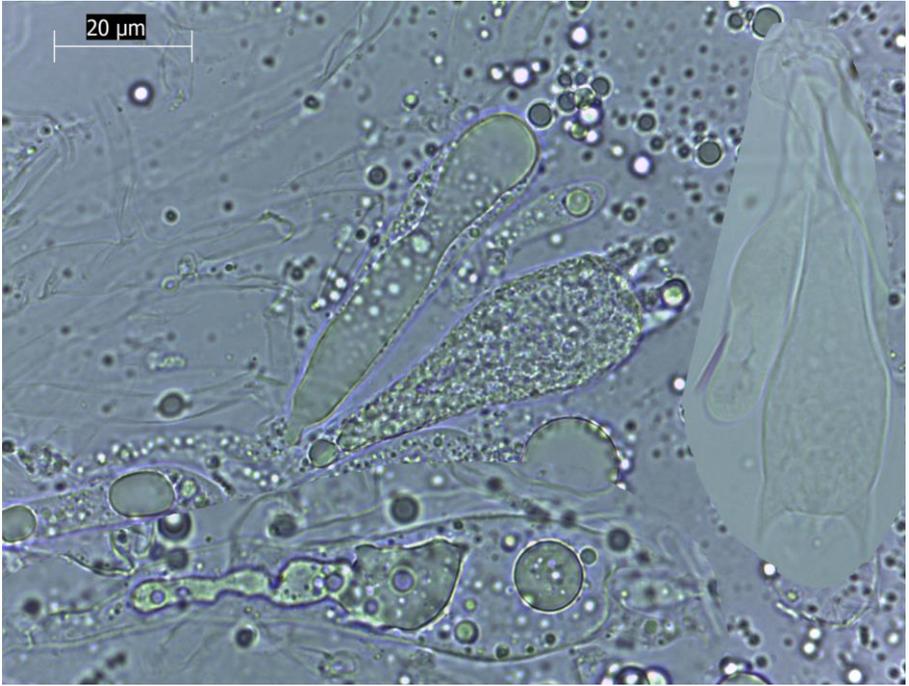
*Basidia* 35-50 x 12-15  $\mu\text{m}$ , clavate, thin-walled, 4-spored (Fig. 3.).

*Pleurocystidia* widely cylindric; thin-walled; hyaline; smooth; 70-110 x 10-22  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.).

*Cheilocystidia* usually capitate to sub capitate but sometimes clavate; up to 80 x 15  $\mu\text{m}$ .

*Specimen examined*; (Fig. 5.)

Akkuş village, Hakkari, Turkey, under *Populus* sp. trees, on buried wood, 37°36'42.7"N 43°30'55.3"E, 1893 m, 29.04.2021, Kaya 209, 210, 223.



**Figure 3.** Basidia of *Hymenopellis megalospora*.

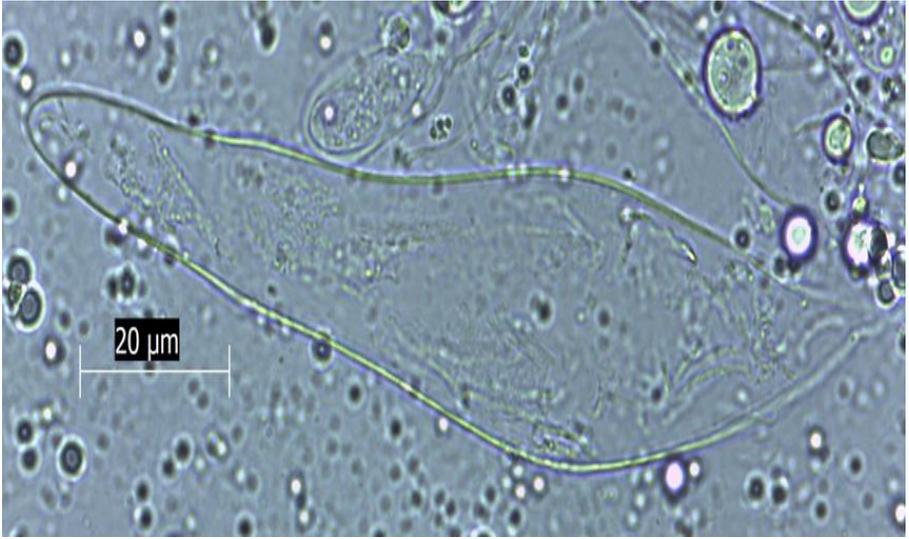


Figure 4. Cheilocystitis of *Hymenopellis megalospora*.

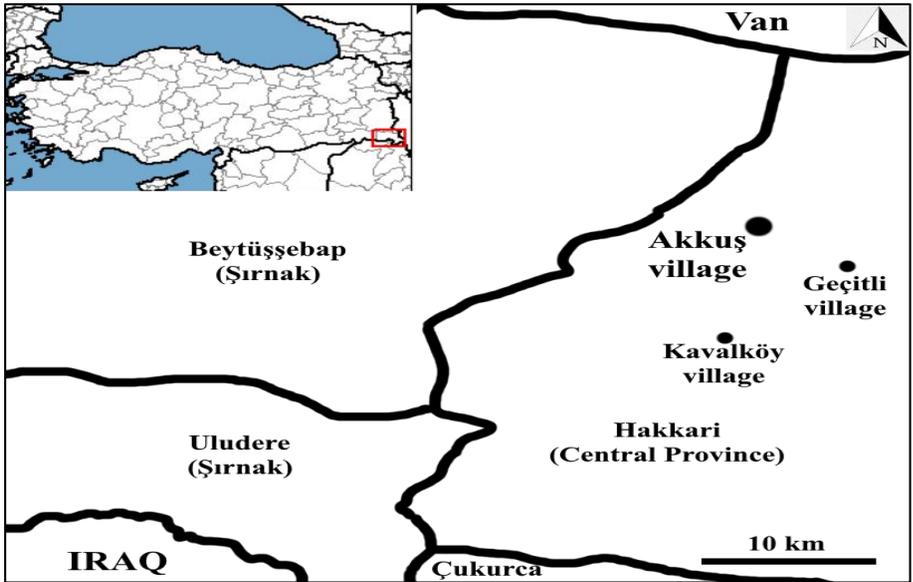


Figure 5. Location of The Collection Area.

#### 4. DISCUSSION

As a result of the study, *Hymenopellis megalospora* was presented as a contribution to the mycobiota of Turkey. The genus *Hymenopellis* in our country was represented by two species, *H. radicata* (Relhan) R.H. Petersen commonly referred and *H. hygrophoroides* (Singer & Cl men on) R.H. Petersen was recorded only once (Sesli et al., 2020; Solak and T rko lu, 2022). With this study, the number of species belonging to the genus *Hymenopellis* in our country has increased to three.

Although *Hymenopellis megalospora* is similar in appearance to *Xerula*, *Pluteus* and *Melanoleuca* species; It can be easily distinguished from *Pluteus* with its white spore print and from *Xerula* and *Melanoleuca* with its basidiospores larger than 20 microns with pits. It differs from *Hymenopellis radicata* and *H. hygrophoroides* with its much larger basidiospores.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

This study was carried out within the scope of the master's thesis named "A Taxonomic Research on Macrofungi Growing in Ge itli Village and Its Environment (Hakkari)". The authors thank Van Y z nc  Yıl University for financially supporting this study (Project number: FYL-2021-9709).

## REFERENCES

- Acar, İ. & Quijada, L. (2022). A New Species Record from the Order of *Pezizales*; *Coprotus disculus*. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 120-123.
- Akata, I., Altuntaş, D., Gizem, B., Şahin, E. (2022). *Pisolithus albus*, A New Record for Turkish Gastroid Fungi. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 128-133.
- Akçay, M. E., Denğiz, Y., Kesici, S. (2022). *Coprotus* Korf & Kimbr.: A new coprophilous genus record for the mycobiota of Türkiye. *Anatolian Journal of Botany*, 6 (2), 75-77
- Kaya, A., Uzun, Y., Karacan, H.İ., Yakar, S. (2019). Contributions to the Macromycota of Gaziantep Province. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 19 (3), 329-341. DOI: 10.17475/kastorman.662722
- Kaygusuz, O. (2022). First Record of *Bolbitius reticulatus* (*Agaricales: Bolbitiaceae*) in Turkey, with Nuclear ITS and LSU rDNA Sequences Data. *Mantar Dergisi*, 13 (1), 1-7.
- Kirk, P.M, Cannon, P.F., Minter, D.W., Stalpers, J.A., (2008). *Dictionary of the Fungi* (10th ed.). Wallingford, UK: CABI. p. 12. ISBN 978-0-85199-826-8.
- Kuo, M. (2014). *Hymenopellis megalospora*. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: [http://www.mushroomexpert.com/hymenopellis\\_megalospora.html](http://www.mushroomexpert.com/hymenopellis_megalospora.html)
- Moser, M., (1983). *Keys to Agarics and Boleti*. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag.
- Petersen, R.H., Hughes, K.W. (2010). The *Xerula/Oudemansiella* complex (*Agaricales*). *Beihefte zur Nova Hedwigia*. Vol. 137. Gebrüder Borntraeger Verlag. p. 80.
- Petersen, R.H., Methven, A.S. (1994). Mating systems in the Xerulaceae: *Xerula*. *Can. J. Bot.* 72: 115 1 - 1163.
- Sesli, E. (2022). *Amanita spadicea*: Türkiye Mikotası İçin Yeni Bir Kayıt. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 92-95.
- Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F., (eds.) Abacı Günyar, Ö., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Alkan, S., Allı, H., Aydoğdu, H., Berikten, D., Demirel, K., Demirel, R.,

Doğan, H.H., Erdoğan, M., Ergül, C., Eroğlu, G., Giray, G., Halikî Uztan, A., Kabaktepe, Ş., Kadaifçiler, D., Kalyoncu, F., Karaltı, İ., Kaşık, G., Kaya, A., Keleş, A., Kırbag, S., Kıvanç, M., Ocak, İ., Ökten, S., Özkale, E., Öztürk, C., Sevindik, M., Şen, B., Şen, İ., Türkekul, İ., Ulukapı, M., Uzun, Ya., Uzun, Yu., Yoltaş, A. (2020). Türkiye mantarları listesi (The checklist of fungi of Turkey). Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul.

Solak, H.İ., Türkoğlu, A. (2022). Macrofungi of Turkey, Checklist Volume III. Kanyılmaz Matbaacılık, Bornova, İzmir, Türkiye.

URL 1. Index Fungorum, Kew Mycology (2015) <http://www.speciesfungorum.org/Names/Names.asp>. Access date: 01.09.2022

URL 2. Index Fungorum, Kew Mycology (2015) <http://www.speciesfungorum.org/Names/SynSpecies.asp?RecordID=567260>. Access date: 01.09.2022

Uzun, Y., Keleş, A., Kaya, A. (2022). *Pseudohydropus floccipes* (Fr.) Vizzini & Consiglio, A New Record for Turkish Mycobiota. *Mantar Dergisi*, 13 (2), 124-127.

## CHAPTER 10

### MOLECULAR AND MORPHOLOGICAL IDENTIFICATION OF *LEUCOAGARICUS LIDENSIS* FROM TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. İsmail ACAR<sup>1</sup>

Res. Assist Aysenur KALMER<sup>2</sup>

Assoc. Prof. Dr. Ayten DIZKIRICI<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Van Yuzuncu Yil University, Başkale Vocational High School, Department of Organic Agriculture, Van, Türkiye, 0000-0002-6049-4896, iacar2011@gmail.com

<sup>2</sup> Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, Van, Türkiye, 0000-0001-6176-8812, aysenurkalmer@gmail.com; 0000-0002-0578-5092, aytendizkirici@gmail.com



## 1.INTRODUCTION

The genus *Leucoagaricus* (Locq. ex) Singer belongs to the family Agaricaceae and it is a common fungus in the tropics than in temperate areas. *Leucoagaricus* species are generally saprophytic, growing on soil, grasslands, and roadsides (Vellinga, 2001; Ortiz et al., 2008). Members of the genus are characterized by pluteoid basidiomata, fibrillose to silky pileal surface, non-striate pileus margins, free lamellae, presence of annulus, white to creamish or pinkish spore print, dextrinoid spore reactions, absence clamp connections and pseudoparaphyses (Vellinga, 2001; 2004). Approximately 200 *Leucoagaricus* species are recorded in the databases Index Fungorum and MycoBank and only 11 of them have been reported in Türkiye (Dizkırıcı et al., 2019; Sesli et al., 2020).

In the current study, *Leucoagaricus lidensis* Migl. & P. Alvarado is newly described for Türkiye by using morphological and molecular phylogenetic data. The species was firstly reported by Vincenzo Migliozi from Italy in 2021. The species belongs to section *Rubrotincti* Singer which is characterized by fleshy basidiomata with a context that does not change color when damaged and usually a pinkish, reddish brown, orange or olive pileus with radially arranged hyphae (Singer, 1986; Vellinga, 2001). *Leucoagaricus lidensis* differs from other species of the sect. *Rubrotincti* by its smaller cap size and slender and delicate basidiomata. Unlike some species in the *Leucoagaricus* section, no veil remains were found on the pileus cover of this species.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Taxon Sampling and Morphological Studies

The macrofungus samples were collected from Hakkari province of Türkiye during rainy season in 2014 and deposited in the Fungarium of Van Yüzüncü Yıl University (VANF). Macroscopic and microscopic characters were observed in distilled water and 3% KOH solution and sections were examined under a Leica DM500 research microscope. Structures were measured with the Leica Application Suite (version 3.2.0) programme and described based on different studies (Singer, 1986; Breitenbach and Kränzlin, 1991; Vellinga, 2001; Kumar and Manimohan, 2009).

### 2.2. DNA Extraction, PCR Amplification and Sequencing

DNA was extracted from dried herbarium collections according to the CTAB method with minor modifications (Doyle and Doyle, 1987). The purity and quantity of extracted DNA were determined by using NanoDrop2000c UV–Vis Spectrophotometer (Thermo Scientific) and 0.8% agarose gel electrophoresis.

PCR was performed on Thermalcycler (ThermoScientific) using N-nc18S10 5'AGGAGAAGTCGTAACAAG3' / C26A 5'GTTTCTTTTCCTCCGCT3' primer set (Wen and Zimmer, 1996) to amplify the ITS region. PCR reaction was performed in a 25 µl volume mixture containing genomic DNA (10 ng/µl), 10X PCR Buffer, MgCl<sub>2</sub> (25 mM), dNTP mixture (10 mM), selected primer pair (10 µM), Taq polymerase (5u/µl) and sterile water. PCR products were run in 1.0 %

agarose gel and visualized by staining with Gelred dye. Positive reactions were sequenced with forward and reverse PCR primers using ABI 3730XL automated sequencer (BM Labosis, Ankara, Türkiye). The sequence data were deposited in GenBank.

### **2.3. Phylogenetic Analysis**

DNA sequences were assembled and edited with MEGA 6.0 (Tamura et al., 2013). Ambiguous sites were checked manually and corrected by comparing the strands. Consensus sequences were compared with those available in the GenBank database by using the BLASTn algorithm. The sequences with greatest similarities were retrieved from GenBank for the comparative phylogenetic analysis. *Cystolepiota seminuda* (AY176350) was chosen as outgroup taxon. The final alignment was generated using ClustalW v.2.0 (Larkin et al., 2007) with default conditions. Ambiguous positions and regions were excluded from the matrix. Gaps were treated as missing data.

Phylogenetic inference was conducted using Maximum likelihood (ML) and Bayesian inference (BI) methods. The parameter model was selected using the Akaike information criterion (AIC) as the best-fit likelihood model with Modeltest NG XSEDE by using resources at the CIPRES Science Gateway. The ML analyses were performed in RAxML 7.4.2 Black Box (<https://www.phylo.org/>, Stamatakis et al., 2008) via CIPRES Science Gateway. The final ML search was conducted using the GTRGAMMA + I model. The ML analysis used default settings, and statistical support values were obtained using nonparametric bootstrapping with 1000 replicates.

The BI analyses were performed with MrBayes v.3.2.6 (Ronquist et al., 2003) with four incrementally heated simultaneous Monte Carlo Markov Chains (MCMC) run for 3 million generations under GTR+G evolutionary model when the average standard deviations of split frequencies were  $<0.01$  (the first 25% of generations were treated as burn-in). Branch support was determined by Bayesian Posterior Probabilities (PP). For the remaining trees, a majority rule consensus tree showing all compatible partitions was computed to obtain estimates for PP. The final phylogenetic trees were visualized using Figtree 1.4.3 (Rambaut, 2016).

### 3. RESULTS

#### 3.1. Taxonomy

*Leucoagaricus lidensis* Migl. & P. Alvarado (Figure 1)

**Pileus:** 25–30 mm diameter, conic-convex, with a slightly central umbo cap; cuticle cream, slightly brownish pink at the center; surface shiny, satin, covered with radial fibrils and sometimes indistinct scales; velar remnants absent. **Lamellae:** frequent, free, pale cream or white when young, later pinkish or yellow-brown. **Stipe:** 20-90 × 2-4 mm, whitish, broadened to claviform at the base, flat or covered with an indistinct powdery texture, with whitish, ascending annulus in the upper half. Smell and taste insignificant. **Spores:** (6)8-12.5 × (3)4-5.5 μm, subamygdaloid to amygdaloid, dextrinoid, without germ pore. **Basidia:** 15-35 × 6-10 μm, with four sterigmata. **Cheilocystidia:** up to 50 × 14 (16) μm, cylindrical to claviform or cylindrical with encrustations.

**Pleurocystidia:** absent. **Cutis:** Cap cuticle at the disc constituted by thin intertwined hyphae, gelified in the remaining pileus surface, the epicutis up to 140 (180)  $\mu\text{m}$  long, with weak membranous pigment. Clamp connections absent.

**Specimen examined:** Türkiye, Hakkâri province, Şemdinli district, Harmanlı village, under *Juglans regia*, 37° 21'409"K- 44° 30'002"D, 1481 m, 18.12.2014, Acar 1737. Genbank: OP185251-OP185252.

Other specimen examined: Italy. Ostia Lido, Roma. 24.11.2014, under *Quercus ilex*, *Pinus* and Mediterranean scrub, on consolidated sandy soil, not far from the sea, V. Migliozi, TR gmb 01483 (holotypus, isotypus in herbarium V. Migliozi, MV Leu006-241114). GenBank: MT416129.

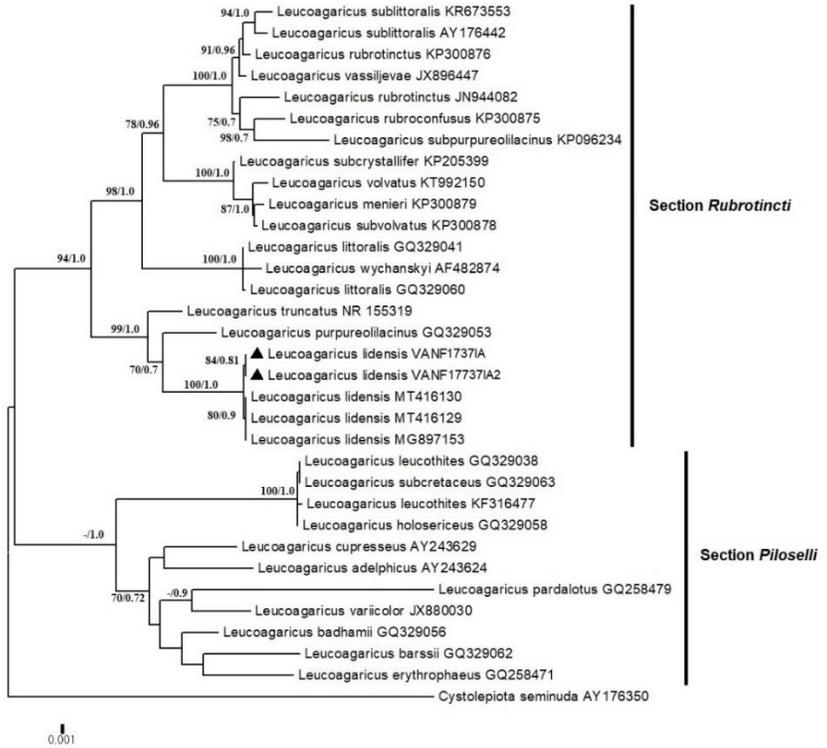


**Figure 1.** *Leucoagaricus lidensis* a. Bazidiomata b. Spores

### **Molecular phylogeny**

The final ITS alignment contained 33 sequences including outgroup, consisting of 690 bp after the removal of missing data and ambiguous regions. In the data, 307 variable and 227 parsimony informative sites were observed. ITS1 appeared to be more variable than ITS2 sub-region (207 variable sites in ITS1, and 100 in ITS2).

Both RAxML and Bayesian analyses produced the same topology so only the Maximum Likelihood tree with both bootstrap support (BS) and posterior probability (PP) values was shown (Figure 2). In the tree, two *Leucoagaricus* sections, *L. sect. Rubrotincti* Singer and *L. sect. Piloselli* (Kühner ex) Singer, formed two main clades. RAxML and Bayesian phylogenetic analyses showed that the Turkish specimens of *La. lidensis* clustered with its representatives (100% BS/1.0 PP). *Leucoagaricus lidensis* showed close phylogenetic relations with *La. purpureolilacinus* Huijsman and *La. truncatus* Z.W. Ge & Zhu L. Yang.



**Figure 2.** RAxML tree of *Leucoagaricus* species based on the ITS sequences.

Bootstrap support values for maximum likelihood (BS) > 70% and Bayesian posterior probability (PP) > 0.70 are expressed as ML/BPP in node. Newly generated taxa are shown in black triangle.

#### 4. DISCUSSION

Türkiye has a rich fungal diversity due to the variable ecological niches caused by the unique geological history. Although the genus has been studied in Europe (Vellinga, 2001) it has not exhaustively been explored in Türkiye and waiting to be discovered. *Leucoagaricus lidensis* was originally described by Vincenzo Migliozi from Italy in 2021 and it was now discovered from Hakkari province of Türkiye thanks to the current study.

*Leucoagaricus lidensis* is recognized by its whitish cap with pink-lilac centre accompanied by a minute central umbo; whitish annulus; subamygdaloid, metachromatic, dextrinoid spores; cylindrical to claviform cheilocystidia. In the phylograms, *Leucoagaricus lidensis* grouped with its representatives in section *Rubrotincti* with high support values and indicated close phylogenetic relations with *La. truncates* and *La. purpureolilacinus*. *Leucoagaricus purpureolilacinus* is separated by having a pinkish brown pileus with a purple brown disk and clavate to subfusiform cheilocystidia and presence of crystalliferous cheilocystidia (Vellinga, 2001). *Leucoagaricus truncatus* is differentiated from *La. lidensis* by a medium to large basidiomata (40–80 mm diam. pileus; 50–70 × 4–1.5 mm stipe) with a truncated pileus with orange to gray–orange squamules, larger basidiospores, more broadly ovoid and broadly amygdaliform basidiospores (Ge et al., 2015; Migliozi, 2021; Ma et al., 2022). Molecular analyses of the ITS sequence also demonstrates close but phylogenetically separable relationships among *La. lidensis* and its relatives.

In this study, we focus on the Eastern region of Türkiye which is a high biodiversity hotspot and an under-investigated land. During trips in the regions, interesting collection of the genus *Leucoagaricus* was recognized. These specimens were noticed to be unidentified species for Türkiye. The samples were identified as *Leucoagaricus lidensis* based on morphological observations and molecular phylogenetic data.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This study was financially supported by Van Yüzüncü Yıl University (Scientific Research Project Foundation, 2014-FBE-D122 and FHD-2018-6858), Van, Türkiye.

## REFERENCES

- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1991). Fungi of Switzerland. Verlag Mykologia. 3rd ed. Lucerne, Switzerland.
- Dizkırıcı, A., Kalmer, A., Acar, İ. (2019). Morphologic and Molecular Diagnosis of Some *Leucoagaricus* Species and Revealing a New Record from Turkey. *The Journal of Fungus* 10(2): 143-150. Doi:10.30708mantar.590274
- Doyle, J.J., Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin* 19,11-15.
- Ge, Z.W., Yang, Z.L., Qasim, T., Nawaz, R., Khalid, A.N., Vellinga, E.C. (2015). Four new species in *Leucoagaricus* (Agaricaceae, Basidiomycota) from Asia. *Mycologia* 107(5): 1033–1044. <https://doi.org/10.3852/14-351>
- Kumar, T. K. A., Manimohan, P. (2009). The genera *Leucoagaricus* and *Leucocoprinus* (Agaricales, Basidiomycota) in Kerala State, India. *Mycotaxon* 108: 385–428.
- Larkin, M.A., Blackshields, G., Brown, N.P., Chenna, R., McGettigan, P.A., McWilliam, H., Valentin, F., Wallace, I.M., Wilm, A., Lopez, R., Thompson, J.D., Gibson, T.J., Higgins, D.G. (2007). Clustal W and Clustal X version 2.0. *Bioinformatics* 23, 2947–2948.
- Ma, Y.; Liu, T.; Yu, X.; Wei, T.; Ge, Z.-W. (2022). Six New Species of *Leucoagaricus* (Agaricaceae) from Northeastern China. *Diversity* 14, 314. <https://doi.org/10.3390/d14050314>
- Migliozzi, V. (2021). Contributo allo studio del genere *Leucoagaricus*, sezione *Leucoagaricus*.1. *Leucoagaricus lidensis*. *Bollettino del Gruppo Micologico G. Bresadola – Nuova Serie BGMB* 54-55: 69-75.
- Ortiz, A., Franco-Molano, A.E., JR, M.B. (2008). A new species of *Leucoagaricus* (Agaricaceae) from Colombia. *Mycotaxon* 106: 371-378.
- Rambaut, A. (2016). FigTree. Tree figure drawing tool v.1.4.3. Available from: <http://tree.bio.ed.ac.uk/>

- Ronquist, F., Huelsenbeck, J.P. (2003) MRBAYES 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19: 1572-1574. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btg180>
- Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F., Abacı Günyar, Ö., et al. (2020). Türkiye Mantarları Listesi (The Checklist of Fungi of Turkey). Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul.
- Singer, R. (1986). The Agaricales in modern taxonomy, 4th edn. Koeltz Scientific Books, Koenigstein.
- Stamatakis, A., Hoover, P., Rougemont, J. (2008). A rapid bootstrap algorithm for the RAxML web servers. *Systematic Biology* 75:758-771. doi: 10.1080/10635150802429642
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A.M., Kumar, S. (2013). MEGA 6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution* 30(12): 2725–2729. doi: 10.1093/molbev/mst197
- Vellinga, E.C. (2001). Noordeloos, M.E., Kuyper, Th.W. & Vellinga, E.C. (eds). Flora agaricina neerlandica 5: 85–108. A.A. Balkema Publishers Lisse/Abingdon/Exton (PA)/Tokyo. 169 pp.
- Vellinga, E.C. (2004). Ecology and distribution of lepiotaceous Fungi (Agaricaceae), *Nova Hedwigia* 78: 273–299.
- Wen, J., Zimmer, E.A. (1996). Phylogeny and Biogeography of *Panax* L. (the Ginseng Genus, Araliaceae): Inferences from ITS Sequences of Nuclear Ribosomal DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 6, 167–177.



## BÖLÜM 11

### **BİYOĞAZ ATIĞI FERMENTE MISIR SİLAJININ KÜLTÜR MANTARI (*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach ) ÜRETİMİNDE ÖRTÜ MATERYALİ OLARAK KULLANIMI**

Dr. Öğr. Üyesi Erkan EREN<sup>1</sup>

Dr. Mehmet ÇETİN<sup>1</sup>

Öğr. Gör. Levent TÜRKLER<sup>1</sup>

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, Mantarcılık Programı, İzmir, Türkiye. erkan.eren@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4422-4052  
[mehmet.cetin@ege.edu.tr](mailto:mehmet.cetin@ege.edu.tr), ORCID ID: 0000-0003-4813-1598;  
levent.turkler@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5957-8278

<sup>2</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. scavusoglu@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-8797-6687



## 1.GİRİŞ

Mantar üretimi, tarımsal üretimde diğer ürünlerle karşılaştırıldığında birim alandan en fazla gelir getiren tarımsal faaliyetlerden biridir. Türkiye, iç ve dış pazar talepleri doğrultusunda kültür mantarı üretimini artıracak potansiyele sahiptir. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de mantar sektörü hızlı bir şekilde büyümektedir (Eren ve Pekşen, 2016). Dünya kültür mantarı üretiminde birinci sırada bulunan *Agaricus bisporus*'un yetiştiriciliğinde, kompost ve örtü toprağı, verim ve kaliteyi etkileyen temel iki materyal olarak kabul edilmektedir. Mantarcılık sektörünün gelişmiş olduğu ülkelerde her bir materyal farklı kuruluşlar tarafından hazırlanır. Kompost üreten firmalar, örtü toprağı hazırlayan firmalar ve hatta bu materyallerin mekanik destek ekibi altında, üretim odalarına yerleştirilmesinde faaliyet gösteren firmalar bile mevcuttur.

Ülkemizde kompost üreten firmaların hemen hemen tamamı mantar üretimini de yapmaktadırlar. Bu sebep ile üretim de kullanmış oldukları örtü toprağını da kendileri hazırlamaktadır. Kompost üretimi gerçekleştirmeyen işletmeler, hazır kompost satın alarak üretimlerini gerçekleştirmekte olup, bu üreticiler de örtü topraklarını kendileri hazırlamaktadırlar. Hazırlanan tüm örtü toprakları ülkemizin farklı torf yataklarından satın alınmaktadır. Farklı bölgelerimizde yer alan bu torfların yoğun bir şekilde tüketilmesinin yanında kalitesinin de giderek düşmesi, kültür mantarı üretiminde birçok sıkıntıyı meydana getirmektedir. Hem fiziksel yapının bozuk olması hem de gelen torflar içerisinde birçok hastalık ve zararlı etmeninin olması, mantar

üreticilerini farklı örtü materyalleri ile üretim yapmaya zorlamaya başlamıştır.

Kültür mantarı (*A. bisporus*) yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamı olan kompost yanında örtü toprağının hazırlığı ve kullanımı konusunda yapılan çalışmalar mantar yetiştiriciliğinin başlangıcından beri sürdürülmektedir. Örtü toprağı olmaksızın yapılan üretimlerde verim ve kalite de görülen düşüş örtü toprağının önemini artırmaktadır. Örtü toprağı kullanımı genellikle kompost içerisindeki misel gelişimi sonrası yapılmakta olup, bazı üreticiler ise toprak serimini misel aşılamanın hemen sonrasında da yapabilmektedirler.

Örtü toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri, biyolojik yapısı üretilen mantarın kalitesi ve verimi üzerinde etkili olmaktadır. Kompostta misel gelişim dönemi tamamlandıktan sonra örtü toprağı uygulanmaması halinde mantar misellerinin vegetatif evreden generatif evreye geçişleri (yani üretim başlangıcı) başka bir diğer deyişle fruktifikasyon oluşumları çok azalmakta ya da hiç olmamaktadır (Gierzszynski, 1974; Shandiya, 1989). Besin içeriği yüksek kompostta kolonize olan mantar miselleri besin içeriği çok daha düşük örtü toprağındaki kolonizasyonlarını süratle tamamlamakta, rhizomorfik oluşumlarla gelişen miseller primordium denilen mantar taslaklarına dönüşmekte, bunların gelişimiyle de örtü toprağı içerisinde hasat olgunluğuna erişen mantarlar ortaya çıkmaktadır. Örtü toprağı olarak, kompost yüzeyini çeşitli etkenlerden koruyacak, misellerin yumaklaşp, primordium safhasına geçmesini engellemeyecek, bilakis oluşmasına yardımcı olacak, yeteri kadar nem tutacak, buna karşın sıkışmayacak,

kaymak tabakası bağlamayacak, normal şekilde gaz alış-verişine izin verecek, yani havalanmasını sağlayacak malzemeler kullanılmalıdır (Vedder, 1989; Boztok, 1990; Noble ve Gaze, 1995). Örtü toprağı sermeden de komposttan mantar elde etmek mümkündür. Ancak verim oldukça düşüktür. Çünkü misel sarmış, fakat örtü toprağı serilmemiş kompost, dış etkilerden çok çabuk zarar görmektedir. Kompostun nemi azaldığında miseller hızla kurumakta, aşırı sulama yapıldığında da çürümektedir. İstenmeyen geçici sıcak ve soğuk koşullarda, miseller bu olumsuz koşullardan korunmak üzere kompost yüzeyinde bir araya gelerek kümeleşmekte ve misellerin primordium safhasına geçmesi engellenmektedir. Yüzeyi açık kalmış bir kompost, hemen hastalık ve zararlıların hücum edip, rahatça üreyeceği bir ortam oluşturur. Bu ise, misellerin hızla hastalanmasına ve zarar görmesine neden olmaktadır (Flegg ve Wood, 1985; Shandiya, 1989; Gier 2000).

Koruyucu örtü toprağı kompostan farklı bir örtü katmanı olarak düşünülmektedir. Ayrıca, büyük miktarda suyu tutabilen ve gerektiğinde tekrar salabilen bir sünger yapı olarak da algılanabilir. Geçmişte mağaralarda ilk kültüvasyonda sıcaklık son derece düşük olmasına karşın çok az hava hareketi ve buharlaşma söz konusu olduğundan örtü toprağının su tutma kapasitesine çok az dikkat edilmiştir. Gerekli olan çok az su tutabilen, kompost yatağının üzerine kapatılan ince bir örtü tabakasıdır. Günümüzdeki mantar üretim işletmelerinde mantarlar çok katlı ranza sisteminde daha yüksek sıcaklıklarda yetiştirilmektedir. Aynı zamanda daha fazla kompost kullanılmaktadır. Dolayısıyla daha fazla miselyumun olduğu bir

ortamda daha fazla CO<sub>2</sub> ve buna bağlı olarak daha fazla mantar gelişmektedir. Bu iki nedenle daha fazla havalandırma gerekir ve sonuçta daha fazla buharlaşma olur. Bu durum raflarda daha fazla mantarın oluşmasına ve daha fazla suyun buharlaşmasına yol açar (Van Griensven, 1998).

Dünyada *A. bisporus* üretiminde en fazla kullanılan örtü toprağı materyali torftur. Ancak gerek dünyada gerekse Türkiye’de torf bulma olanağı giderek kısıtlanmakta, var olan torf yataklarında da kalitede düşüş meydana gelmektedir. Bundan dolayı günümüze kadar torfun yerini tutabilecek yeni bazı materyaller üzerinde durulmuş ve bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Boztok, 1984; Ağaoğlu ve İlbay, 1991; Price, 1991; Erkel, 1992; Nair, 1997; Demirer ve Özer, 2000; Gülser ve Pekşen, 2003; Çolak, 2004; Holmes, 2004). Örtü toprağı olarak torfa alternatif olarak düşünülecek herhangi bir malzeme düşük maliyetli olmalı, sürekliliği olmalı, zararlılardan ve hastalıklardan arındırılmış olmalı ve kullanım kolaylığı olmalı, ayrıca mantar verimi ve kalitesi açısından da torfa yakın sonuçlar sunabilmelidir (Duran ve ark., 2022). Kompostlaştırılmış çam ağacı kabuğu, odun talaşı, ağaç kabuğu, artık mantar kompostu, hindistan cevizi lifi, şılam, deniz çayırı, çay artıkları, artık kağıt, vermikompost, gül yağı işleme atığı kompostu ve atık hindistan cevizi kabuğu gibi bazı materyallerin tek başlarına veya karışımlar halinde alternatif örtü materyalleri olarak kullanılacakları bildirilmiştir (Szmidt, 1994; Labuschagne ve ark., 1995; Erkel, 2000; Gülser and Pekşen, 2003; Pardo ve ark., 2003a, b; Eren ve Boztok, 2013; Duran ve ark., 2022).

Kültür mantar yetiştiriciliğinde, misel ön gelişmesi tamamlandıktan sonra kompostun üzerine 4-5 cm kalınlığında bir örtü toprağının serilmesi gereklidir. Bu toprağın kültür mantarının su gereksinimini karşılayan bir depo görevi görmesinin yanı sıra şapka oluşumunu uyarıcı, kompost yüzeyinin kurumasını engelleyici, hastalık ve zararlılara karşı kısmen koruyucu işlevleri de vardır (Bora ve ark., 2004). Diğer taraftan örtü toprağının bileşimi ve özelliği mantar verim ve kalitesini büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Yüksek mantar verimi için uygun bir örtü toprağı hazırlayarak üretim süresince kimyasal özelliklerini yetiştiricilik açısından uygun sınırlar içinde tutabilmek, iyi bir kompost hazırlamak kadar önemlidir.

Ülkemizde yeni alternatif enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar ve enerji üretim tesisleri kurulmaya başlanmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından birisi olan biyogaz organik atıklardan elde edilebilmektedir. Biyogaz, ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Atık geri kazanımı sağlar. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır. Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yer altı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır. Biyogaz için kullanılan hammaddeler tarımsal arazilerde üretildiği için tarımsal işletmelerde veya bu işletmelere yakın kurulması avantajlıdır. Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta, üstelik çok daha değerli bir organik gübreye dönüşmektedir (Çanka Kılıç, 2011).

Bu çalışmada, biyogaz tesislerinde üretilen organik atıklardan biri olan fermente mısır silajının, tarımsal gıda ürünü olan *A. bisporus* yetiştiriciliğinin ana girdi masraflarından olan örtü materyali olarak kullanılabilirliği ile verim ve bazı mantar kalite özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Mantar üretimi Ege Üniversitesi Bergama Meslek Yüksekokulu'nun bilgisayar kontrollü otomasyon sistemlerine sahip mantar üretim odalarında gerçekleştirilmiştir.

Denemede Sypra Factory I (*Agaricus bisporus*) tip misel ile aşılınmış hazır kompost PEMA mantar işletmesinden temin edilmiştir. Biyogaz atığı fermente mısır silajı (BMS), RS Mimarlık Mühendislik Ar-Ge Geri Dönüşüm Enerji San. Tic. Ltd. tarafından temin edilmiştir. Yapılan çalışmada torf örtü materyali olarak yerli bir torf olarak bilinen Kütahya torfu (T) kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1 . Torf Materyalinin Hazırlanması ve Biyogaz Atığı Fermente Mısır Silajı

Örtü toprağı serilmeden 3 gün önce, torf, biyogaz atığı fermente mısır silajı ve torf ile hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılan biyogaz atığı fermente mısır silajı örtü materyaline %2'lik formaldehit ve fungusit (prokloraz, 1.25ml/m<sup>2</sup>) suyla karıştırılarak püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Hazırlanan örtü toprağının üzeri plastik bir örtü ile örtülerek, ortalama 18-20°C kapalı betonarme bir odada 48 saat bekletilmiştir.

## Yöntem

### Örtü Materyallerinin Özellikleri

Denemelerde kullanılan örtü materyallerine ait fiziksel ve kimyasal analizler Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarlarında yürütülmüştür (Tablo 1). Fiziksel özellik olarak su tutma kapasitesi ve nem, kimyasal özellik olarak ise pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve organik madde tespit edilmiştir.

**Tablo 1** Örtü Materyallerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Örtü Materyali	pH	EC (ms/cm)	Organik Madde (%)	Nem (%)	Su Tutma Kapasitesi (%)
Torf	6,80	0,39	89,14	55,04	498
BMS	8,75	0,25	72,20	35,50	378

### Denemelerin Kurulması

Araştırma, tesadüf parselleri deneme desenine uygun, 4 tekerrürlü kurulmuştur. Her tekerrür 2 kompost poşetinden oluşturulmuş olup, poşetlerin her birinde 12 kg kompost kullanılmıştır. Çalışma iki farklı

dönemde yürütülmüş olup, birinci dönemde yürütülen çalışmada; kontrol örtü materyali olarak torf alınmış olup, torf ile hacimsel olarak 3 farklı oranda karıştırılmış fermente mısır silajı (%25, %50 ve %75) ve %100 fermente mısır silajı örtü materyali olarak kullanılmıştır. 1. deneme 4 tekerrürlü (her tekerrür 2 torba) olarak planlanarak toplam 5 faktör ve 20 deneme biriminden oluşmuştur.

İkinci dönemde yapılan çalışmada ise, ilk dönemde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, kontrol örtü materyali torf ve torf ile hacimsel olarak 5 farklı oranda (%10, %20, %30, %40 ve %50) karıştırılmış fermente mısır silajı kullanılmıştır. Buna göre deneme; 6 faktör ve 24 deneme biriminden oluşmuştur.

Çalışmada kullanılan kompost, poşetler içerisinde 12 kg olacak şekilde ayarlanmıştır. I. misel gelişim dönemi boyunca kompostun ortalama sıcaklığı 24-26°C'de tutularak kuluçka dönemi yaklaşık 14 günün sonunda tamamlanmıştır.

Misel ön gelişim dönemini tamamlamış kompostların üzeri tiftiklenerek sıkıştırılmış ve yüzey düzeltilmiştir. Tokmaklama adını verdiğimiz bu uygulama bittikten sonra, eş zamanda hazırlanan %70-75 nem içeren örtü materyalleri ortalama 4-5 cm kalınlığında olacak şekilde kompostların üzerine serilmiştir.

Tırmıklamaya kadar geçen sürede komposttan örtü toprağına misel geçişleri gözlenmiştir. Tırmıklamadan 2 gün sonra odalar soğutmaya alınmıştır. 22-23°C de bulunan üretim odası sıcaklığı 72 saat (3 gün)

içerisinde ortalama 17-18°C'ye düşürülmüş ve nem %80-85 olarak ayarlanmıştır.

Araştırmada ürünün verim özellikleri bakımından; her birimden alınan bir üretim dönemindeki toplam miktarı 100 kg kompost üzerinden hesaplanarak toplam verim (kg), mantar sayısı (adet), birim mantar ağırlığı (g) ve erkencilik (gün) değerleri ele alınmıştır. Kalite özellikleri bakımından mantarın şapka ve sapı ele alınarak, şapka çapı, şapka yüksekliği, sap çapı, sap yüksekliği ve meyve eti sertliği ölçülmüştür. Mantar verim ve kalite özellikleri 2 flaş üzerinden değerlendirilmiştir.

### **İstatistik Analizler**

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 2 torba olacak şekilde kurulmuştur (Düzgüneş ve ark., 1983). Denemeden elde edilen verilerin SPSS (ver. 15.0 for Windows) istatistik programında varyans analizleri yapılmış, gruplandırmalarda Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Sonuçların istatistiksel değerlendirmelerinde farklar arasındaki önemlilik %5 olarak belirtilmiştir.

## **3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

### **Toplam verim özellikleri**

Üretim dönemi boyunca tüm uygulamalar bir üretim odası içerisinde aynı kültürel uygulamalara tabi tutulmuştur. İki farklı dönemde

yürütülen denemeler sonucunda elde edilen verime dayalı değerler Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 2 I.** Dönem Mantar Verimsel Değerleri

Örtü Materyali	Verim (g 100 kg <sup>-1</sup> kompost)	Mantar sayısı (adet)	Birim mantar ağırlığı (gr)	Erkencilik (gün)
Torf	17.791 b	917 bc	19,65 öd	20 a
%25BMS+%75T	27.142 a	1385 a	21,06	20,25 a
%50BMS+%50T	19.347 b	1167 ab	16,80	21 b
%75BMS+%25T	16.405 bc	869 bc	21,25	21 b
100%BMS	11.332 c	562 c	20,32	21 b

\*ö.d: Önemli değil

\*\*Tekerrürlerde elde edilen verim, mantar sayısı, birim mantar ağırlığı, erkencilik değerlerine uygulanan Duncan testi sonucunda aynı harfle gösterilen uygulamalar arasında  $p \geq 0.05$  olasılıkla fark yoktur.

**Tablo 3 II.** Dönem Mantar Verimsel Değerleri

Örtü Materyali	Verim (g 100 kg <sup>-1</sup> kompost))	Mantar sayısı (adet)	Birim mantar ağırlığı (gr)	Erkencilik (gün)
Torf	17.291 b	752 b	24,41 öd	22 öd
%10BMS+%90T	18.306 ab	848 ab	21,70	22
%20BMS+%80T	22.382 a	1142 a	19,65	22
30%BMS+70%T	19.285 ab	840 ab	23,41	22
40%BMS+60%T	17.980 b	796 b	23,41	22
50%BMS+50%T	17.219 b	751 b	23,09	22

\*ö.d: Önemli değil

\*\*Tekerrürlerde elde edilen verim, mantar sayısı, birim mantar ağırlığı, erkencilik değerlerine uygulanan Duncan testi sonucunda aynı harfle gösterilen uygulamalar arasında  $p \geq 0.05$  olasılıkla fark yoktur.

I. dönem toplam mantar verimleri incelendiğinde en yüksek değer %25BMS+%50T karışımı ile hazırlanmış örtü materyali ile yapılan üretim sonrasında toplam 27.142 gr olarak alınmıştır. %50BMS+%50T karışımı 19.347 gr ile ikinci sırada yer alırken, 17.791 gr toplam mantar verimi ile kontrol ortamı olan torf 3. sırada yer almıştır. 2. ve 3. sırada yer alan örtü materyallerinin verim değerlerinde farklılık olsa da istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En düşük toplam mantar verimi %100BMS örtü materyalinden elde edilmiş olup, 11.332 gr ile son sırada yer almıştır (Tablo 2). I. üretim döneminde yapılan çalışmada elde edilen toplam verim değerleri üzerinden II. üretim döneminde örtü materyallerinin kontrol ortamı torf ile karışım oranları % 10-20-30-40-50 olarak gerçekleştirilmiştir. Toplam verim açısından Tablo 3 incelenecek olursa, en yüksek mantar verimi %20BMS+%80 T karışımı ile hazırlanan örtü materyali ile gerçekleştirilen üretim sonrasında elde edilmiş olup, 22.382 gr olarak tespit edilmiştir. Torf ile %30 ve %10 oranında karıştırılmış BMS ile yapılan üretim sonrasında elde edilen verim değerleri arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmamış olup, sırasıyla 19.285 gr ve 18.306 gr mantar elde edilmiştir. Kontrol ortamı torf ile diğer %40 ve %50 oranında BMS karışımlarından elde edilen mantar verimleri arasında fark olmasına rağmen istatistiksel ( $p \geq 0.05$ ) olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 3).

Mantar sayıları açısından I. dönemde en yüksek mantar sayısı değeri de 1.385 adet ile %25BMS+%75T karışimli örtü materyalinden elde edilmiştir. %50BMS+%50T karışimli örtü materyali 1.166 adet ile 2. sırada yer alırken, en düşük mantar sayısı %100 BMS örtü materyalinde

(562 adet) belirlenmiştir. II. dönemde ise, en yüksek mantar sayısı 1.142 adet ile %20BMS+%80T karışımı ile hazırlanan örtü materyalinde elde edilmiştir. %10BMS+%90T karışımı 848 adet ile 2. sırada yer alırken, aynı istatistiksel grupta yer alan %30BMS+%70T karışımında 840 adet mantar sayısına ulaşılmıştır. En düşük mantar sayısı 751 adet ile %50 BMS+%50T karışımı ile hazırlanmış örtü toprağı ile yapılan üretim sonrasında tespit edilmiştir. Birim mantar ağırlığı bakımından I. ve II. üretim dönemi sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel olarak ( $p \leq 0.05$ ) bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda sırasıyla %25BMS+%75T ve %50BMS+%50T karışımı özellikle verimde kontrole göre %52 ve %8 oranında ve mantar sayısı bakımından da %51 ve %27 oranında verim artışı sağladığı tespit edilmiştir. İkinci üretim dönemi sonucunda %20BMS+%80T karışımı ile en yüksek mantar verimliliğine ulaşılmıştır. Torf ile yapılan üretime göre %29,5 oranında bir verim artışı sağlamıştır. Diğer taraftan %10 ve %30 torf ile karıştırılmış fermente mısır silajı materyali ile yapılan yetiştiricilikte de elde edilen mantar verimlilik değeri kontrolden yüksek sonuç vermiştir.

Örtü toprağı olarak farklı materyallerin torf ile hacimsel olarak %20 oranında karışımlarından elde edilen verim değerlerinin diğer karışım oranlarına göre daha yüksek olduğunu (Özşimşir ve Arın, 1996; Baysal ve ark., 2007; Taşkın ve ark. 2008; Çetin ve Eren, 2017) belirten çalışmalar ile elde edilen sonuçlar uyum içerisindedir.

Pardo-Gimenez ve ark. (2011) örtü materyali olarak mineral toprak, Hindistan cevizi lifi, torf ve atık mantar kompostu kullandıkları çalışmada, materyallerin hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde ettikleri farklı strüktürlü yapının oluşmasıyla birim mantar ağırlığı bakımından farklılık oluştuğunu belirtmişlerdir. Atık mantar kompostunun tek başına örtü materyali olarak kullanılmasıyla en yüksek değer elde edilmiştir. Bunun aksine, Demirer ve Özer (2000)'in örtü toprağı kullanımında pomza, perlit, torf ve talaşın tam (4/4) ve birbirleriyle 1/4+3/4, 2/4+2/4, 3/4+1/4 oranlarındaki karışımlarının mantarda verim ve kalitesini araştırdıkları çalışma sonucunda, ortalama mantar (şapka + sap) ağırlığı ve ortalama şapka ağırlığı bakımından torf oranı yüksek pomza ve perlit karışımlarından elde edildiğı belirtilmiştir. Buna göre, yapmış olduğumuz çalışmada materyallerin farklı oranlarda karıştırılması sonucunda farklı strüktürlü bir yapının oluşmasıyla birim mantar ağırlığı bakımından farklılık beklense de sonuç istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur.

Örtü materyallerinin seriminden 7 gün sonra tırmıklama işlemi gerçekleştirmiş olup, yine serimden sonra ilk dönemde 20. günde torf ve %25BMS+%75T den ilk hasat gerçekleştirilirken, diğer karışımlarda 21. günde hasada başlanarak farklılık söz konusu olmuştur. 2. dönemde ise uygulamalar arasında farklılık oluşmamış ve tüm uygulamalarda 22. günde hasada başlanmıştır. Sonuçlar, Pardo-Gimenez ve ark. (2011) torf materyalinin yüksek olduğu uygulamalarda ilk hasadın 20. günde gerçekleştiğini belirttikleri çalışma ile paralellik göstermektedir.

## Kalite özellikleri

İki farklı dönemde yürütülen denemeler sonucunda elde edilen mantarda kaliteye ilişkin değerler Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 4 I.** Dönem Mantar Kalite Değerleri

Örtü Materyali	Şapka çapı (cm)	Şapka yüksekliği (cm)	Sap çapı (cm)	Sap yüksekliği (cm)	Meyve eti sertliği (kg)
Torf	4,08 ö.d	2,34 a	1,52 ö.d	2,19 ö.d	1,96 ö.d
%25BMS+%75T	4,01	2,31 ab	1,45	2,24	1,95
%50BMS+%50T	4,04	2,32 ab	1,49	2,24	1,95
%75BMS+%25T	4,05	2,32 ab	1,50	2,20	1,96
100%BMS	3,99	2,29 b	1,48	2,20	1,97

\*ö.d: Önemli değil

\*\*Tekerrürlerde elde edilen şapka çapı, şapka yüksekliği, sap çapı ve sap yüksekliği, meyve eti sertliği, değerlerine uygulanan Duncan testi sonucunda aynı harfle gösterilen uygulamalar arasında  $p \geq 0.05$  olasılıkla fark yoktur.

**Tablo 5 II.** Dönem Mantar Kalite Değerleri

Örtü Materyali	Şapka çapı (cm)	Şapka yüksekliği (cm)	Sap çapı (cm)	Sap yüksekliği (cm)	Meyve eti sertliği (kg)
Torf	4,13 ö.d	2,22 ö.d	1,69 ö.d	2,20 ö.d	1,96 ö.d
%10BMS+%90T	4,10	2,16	1,54	2,50	1,98
%20BMS+%80T	4,13	2,18	1,63	2,28	1,97
%30BMS+%70T	4,25	2,32	1,65	2,21	1,96
%40BMS+%60T	4,31	2,26	1,71	2,29	1,97
%50BMS+%50T	4,20	2,28	1,74	2,34	1,96

\*ö.d: Önemli değil

\*\*Tekerrürlerde elde edilen şapka çapı, şapka yüksekliği, sap çapı ve sap yüksekliği, meyve eti sertliği, değerlerine uygulanan Duncan testi sonucunda aynı harfle gösterilen uygulamalar arasında  $p \geq 0.05$  olasılıkla fark yoktur.

İlk üretim sonunda sadece şapka yükseklikleri arasındaki farklılıklar önemli bulunurken, diğer tüm kalite özellikleri olan şapka çapı, sap

çapı, sap yükseklikleri ve meyve eti sertliği arasındaki farklılıklar birinci ve ikinci dönemde yapılan çalışmalarda istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan çalışmaya paralel olarak, Pardo ve Pardo (2008) farklı örtü materyallerini ve karışımlarını karşılaştırdıkları çalışmada, yüksek poroziteye sahip örtü materyallerinin kullanılmasıyla hem ağırlık hem de şapka çapı bakımından en yüksek değerlerin elde edildiğini belirlemişlerdir.

#### 4.SONUÇ

Son yıllarda ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bunlardan biyogaz, her türlü organik atığın işlenmesiyle elde edilen temiz, çevreye dost ve oldukça verimli bir enerji olması yanı sıra, biyogaz üretimi sonrasında ortaya çıkan atıklar, tarımda gübre olarak da kullanılabilir.

Dünya üzerinde kültür mantarı *A. bisporus*'un yetiştiriciliğinde, verim ve kaliteyi artırmak için yetiştirme ortamı olan kompost üzerinde yapılan çalışmalar büyük oranda tamamlanmış olup, elde edilen kompost reçeteleri ve kompost hazırlama teknikleri ile belirli bir aşamaya gelinmiştir. Oysaki *A. bisporus* yetiştiriciliğinde verim ve kaliteyi artırmak için yetiştiricilikte kullanılan ve karpofor oluşumunda en önemli materyal olan örtü toprağı üzerinde çalışmalar günümüzde de yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Kültür mantarı yetiştiriciliğinde ülkemizin farklı bölgelerinden temin edilen torflar örtü materyali olarak kullanılmaktadır. Çoğu durumda bu materyallerin hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri birbirlerinden

farklılık göstermektedir. Özellikle fiziksel yapıları itibari ile ince veya kalın yapılı olabildikleri gibi aşırı killi veya liflide olabilmektedir. Diğer taraftan mevcut torf yataklarının hastalık etmenleri ile bulaşık olması, kültür mantarı üretiminde birçok hastalık ve zararlının görülmesine dolayısıyla hem verim hem de kalite kaybına sebep olabilmektedir (Eren ve Boztok, 2013). Çalışmalarda örtü topraklarındaki fiziksel yapının miselin gelişimi ve primordium aşamasına geçişinde son derece önemli olduğu belirtilmektedir. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz biyogaz artığı fermente mısır silajı bu yönü ile sıkışık yapıdaki veya diğer bir deyişle aşırı ağır örtü toprakları için ideal bir destek materyali olmaktadır.

Sonuç olarak kültür mantarı *A. bisporus* üretiminde kullanılan ana örtü materyali olan torfun miktar ve kalitesindeki azalmayı göz önüne bulduğumuzda biyogaz artığı fermente mısır silajının torf ile %10 ile %30 arasında hacimsel olarak karıştırılması ile sadece örtü materyali olarak kullanılan torfun kullanıldığı üretimden daha yüksek verim elde edilmiştir. Özellikle %25 BMS+% 80 Torf karışımı kullanılan üretimde, torf ile yapılan üretime oranla ortalama %52 oranında bir verim artışı sağlanmıştır. Böyle bir verimsel farklılığın işletme maliyeti açısından sağlayacağı fayda sektörün gelişimine de büyük katkı sağlayacaktır.

Ülkemizde son dönemde önemli bir gelişme gösteren biyogaz üretiminin sonunda açığa çıkan organik materyallerin kültür mantarı üretiminde değerlendirilebilmesi için bu ve buna benzer çalışmaların devamının gelmesi sadece örtü materyali olan torfa destek veya

alternatif olmayıp direk yetiştirme ortamı olarak da kullanılabilmesine olanak sağlayabilecektir.

## **TEŞEKKÜR**

Çalışmanın gerçekleşmesinde sağladığı finansal desteğinden dolayı Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (2016/BMYO/005 no'lu proje) teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

- Ağaoğlu, S., İlbay, E. (1991). Değişik örtü materyallerinin mantar (*Agaricus bisporus*) yetiştiriciliğinde kullanım imkanları üzerinde bir araştırma, Türktur Aş. Yayınları, yayın no: 2, Ankara, 13.
- Baysal, E., Yiğitbaşı, ON, Colak, M., Toker, H., Simsek H., Yilmaz, F. (2007). Cultivation of *Agaricus bisporus* on some compost formulas and locally available casing materials. Part I: Wheat straw based compost formulas and locally available casing materials. Afr J Biotechnol. 3:456-462.
- Bora, T., Toros, S., Özaktan, H. (2004). Kültür Mantarı Hastalıkları Zararlıları ve Savaşımı, Prizma Matbaacılık, İstanbul.
- Boztok, K. (1984). Kültür mantarı (*Agaricus bisporus* L. Sing) yetiştiriciliğinde farklı kapaklık materyalin ürüne etkileri üzerinde araştırmalar. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 21 (11); 133-137
- Boztok, K. (1990). Mantar Üretim Tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları no: 489, Ege Ü. Basımevi, Bornova / İZMİR.
- Çanka Kılıç, F. (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri. Mühendis ve Makine, Cilt:52, Sayı:617, Sf: 94-106.
- Çetin, M., Eren, E. (2017). Hacimsel Olarak Farklı Oranlardaki Torf ve Pomza Karışımının Mantarın (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing) Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2017, 54 (2):207-213.
- Çolak, M. (2004). Temperature profiles of *Agaricus bisporus* in composting stages and effects of differentcomposts formulas and casing materials on yield. African Journal of Biotechnology Vol. 3 (9), p. 456-462.
- Demirer, T., Özer, İ. (2000). Perlit, pomza, torf ve talaş karışımlarından oluşan örtü toprağının yemeklik mantar (*Agaricus bisporus*)'da verim ve kaliteye etkisi. Türkiye VI. Yemeklik Mantar Kongresi, 348 – 353s, Bergama, İzmir.
- Duran, H., Peksen, A., Eren, E. (2022). Vermicompost, rose oil processing waste compost, and spent coconut fiber as casing material in button mushroom cultivation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13.

- Düzgüneş, O., Kesici, T., Gürbüz, F. (1983). İstatistik metotları I, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları, no: 861, ders kitabı, Ankara.
- Eren, E., Boztok, K. (2013). Farklı Artık Materyallerin *Agaricus bisporus* Mantar Üretiminde Örtü Toprağı Olarak Kullanılabilme Olanakları. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. 3(1): 9 – 16.
- Eren, E., Pekşen, A. (2016). Türkiye’de Kültür Mantarı Sektörünün Durumu ve Geleceğine Bakış. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(3): 189-196.
- Erkel, İ. (1992). Mantar yetiştiriciliğinde değişik örtü materyali karışımlarının kullanılma olanakları, Türkiye 4. Yemeklik Mantar Kongresi, Cilt I, Yalova.
- Erkel, İ. (2000). Kültür Mantarı Yetiştiriciliği. Kocaoluk Yayınevi II. Baskı, İstanbul.
- Flegg, P.B., Wood, D.A. (1985). Growing and fruiting, The Biology and Technology of the Cultivated Mushroom, 141-178.
- Gier, J.F. (2000). A different perspective on casing soil, 15. International congress on the science and cultivation of edible fungi, Maastricht (Netherland), 931-934.
- Gierczynski, M. (1974). The effect of the physical and chemical properties of casing layer on cropping in mushrooms, Horticultural Abstracts, 45, 4200.
- Gülser, C., Pekşen, A. (2003). Using tes waste as a new casing material in mushroom (*Agaricus bisporus* (L.) Sing.) cultivation, Bioresource Technology, 88, 153-156.
- Holmes, S. (2004). “Peat and peat alternatives: their use in commercial horticulture in England and Wales in 2003”, *A Report for Horticulture and Potatoes Division*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, ADAS Horticulture, Boxworth, UK, 2004.
- Labuschagne, P., Eicker, A., Van Greuning, M. (1995). Casing medium for *Agaricus* cultivation in South Africa, a preliminary report. In: Elliott TJ (ed), Science and Cultivation of Fungi, Balkema, Rotterdam, 329-344.
- Nair, N.G., Hayes, W.A. (1974). Suggested role of carbon dioxide and oxygen in casing soil, In: WA Hayes (Ed.), The Casing Layer, Mushroom Growers’ Association. W.S. Maney & Son Ltd.: Leeds, UK, pp. 27-36.

- Noble, R., Gaze, R.H. (1995). Properties of casing peat types and additives and their influence on mushroom yield and quality. *Mushroom Sci.*, 305-312.
- Özşimşir, S., Arın, L. (1996). Farklı örtü toprağı karışımlarının mantar (*Agaricus bisporus*) verim, erkencilik ve kalitesine etkisi, Türkiye 5. Yemeklik Mantar Kongresi, Yalova, 220-225.
- Pardo, A., de Juan, J.A., Pardo, J.E. (2003a). Characterisation of different substrates for possible use as casing in mushroom cultivation. *Food, Agriculture and Environment*, 1(1): 107-114.
- Pardo, A., de Juan, J.A., Pardo, J.E. (2003b). Performance of composted vine shoots as a peat alternative in casing materials for mushroom cultivation. *Food, Agriculture and Environment*, 1(2): 209-211.
- Pardo, G.A., G.J.E. Pardo. (2008). Evaluation of casing materials made from spent mushroom substrate and coconut fibre pith for use in production of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Vol 6, No 4. 683-690.
- Pardo-Gimenez, A., Pardo-Gonzalez, J., Zied, D.C. (2011). Evaluation of harvested mushrooms and viability of *Agaricus bisporus* growth using casing materials made from spent mushroom substrate. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 787-792.
- Price, S. (1991). *The Peat Alternatives Manual, A guide for the Professional horticulturist and landscaper*, Friends of the Earth, London, U.K., 40-51.
- Shandiya, T.R. (1989). Mushroom compost and casing research in India. *Mushroom Science* 12 (1), 743-752.
- Szmidt, R.A.K. (1994). Recycling of spent mushroom substrates by aerobic composting to produce novel horticultural substrates, In: Wuest PJ (ed), *Environmental, Agricultural and Industrial uses for spent mushroom substrate from mushroom farms*, The JG Press Inc. Emmaus, PA, USA, 134-143.
- Taşkın, H., Baktetur, G., Kurt, Ş., Büyükalaca, S. (2008). Örtü toprağı olarak kullanılan torfa belirli oranlarda karıştırılan zeolit in mantar verim ve

kalitesine etkisi. Türkiye VIII. Yemeklik Mantar Kongresi, 49-52s, 15-17 Ekim, Kocaeli.

Van Griensven, L.J.L.D. (1998). The cultivation of mushrooms, Darlington Mushroom Laboratories, Rustington, Sussex, England. ISBN 09513959 0 4.

Vedder, P.J.C. (1989). Practical experience with the casing technique. Mushroom Science 12: 381-385.





ISBN: 978-625-6955-34-9