



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI



**KRAL İSTİRİDYE MANTARININ
(*Pleurotus eryngii*) ÜRETİM SÜRECİNDE
FARKLI SUBSTRATLARIN
LİGNOSELÜLOZİK İÇERİKLERİNDE
MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

BURAK SALMANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2025



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI



**KRAL İSTİRİDYE MANTARININ
(*Pleurotus eryngii*) ÜRETİM SÜRECİNDE
FARKLI SUBSTRATLARIN
LİGNOSELÜLOZİK İÇERİKLERİNDE
MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

BURAK SALMANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

I. DANIŞMAN

PROF. DR. AHMET KAZANKAYA

II. DANIŞMAN

DOÇ. DR. FUNDA ATİLA

KIRŞEHİR

2025

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim./...../20....

BURAK SALMANOğLU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	I
TEŞEKKÜR.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Mantarların Besin Değeri	2
1.2. Mantarların Tıbbi Özellikleri.....	4
1.3. Mantar Yetiştiriciliğinin Ekolojik Açından Önemi	5
1.4. Dünya’da ve Türkiye’de Mantar Üretimi	6
1.5. Kral İstiridye (<i>Pleurotus eryngii</i>) Mantarı.....	9
1.5.1. <i>Pleurotus eryngii</i> ’nin taksonomisi	11
1.5.2. <i>Pleurotus eryngii</i> ’nin besin değeri ve tıbbi özellikleri.....	11
1.5.3. <i>Pleurotus eryngii</i> ’nin lignoselülozik materyali dönüştürme potansiyeli	12
1.6. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi.....	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
2.1. Farklı Yetiştirme Ortamlarının Mantar Verimine Etkilerinin Belirlenmesi.....	15
2.2. Farklı Çevresel Faktörlerin Mantar Verimine Etkileri	18
2.3. FTIR Spektroskopisi Yönteminin Lignoselülozik İçeriğın Belirlenmesinde Kullanımı	19
2.4. FTIR Spektroskopisi Yönteminin Mantar Besin İçeriğının Belirlenmesinde Kullanımı.....	20
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Misel kültürleri.....	23
3.1.2. Yetiştirme ortamı hazırlığında kullanılan materyaller	23
3.2. Metot.....	23
3.2.1. Tohumluk misellerin hazırlanması.....	23

3.2.2.	Yetiştirme ortamı hazırlığı ve misel ekimi	23
3.2.3.	Mantar üretimi.....	25
3.2.4.	Yetiştirme odalarının kimyasal özellikleri ile ilgili yapılan analizler	26
3.2.5.	Verim parametreleri ile ilgili ölçümler	28
3.2.6.	Mantar kalitesi ile ilgili ölçümler.....	29
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1.	Çalışmada Test Edilen Substratların Başlangıç Kimyasal ve Lignoselülozik İçeriği.....	31
4.2.	Tarım ve Orman Endüstri Atıklarının <i>P. eryngii</i> 'nin Ürün Döngüsüne Etkileri	33
4.3.	Tarım ve Orman Endüstrisi Atıklarının <i>P. eryngii</i> 'nin Verim Performansına Etkileri	37
4.4.	Substratların <i>P. eryngii</i> 'nin Şapka Boyutlarına Etkisi.....	38
4.5.	Mantar Üretim Öncesi Substratların FTIR Spektroskopik Analizi	39
4.6.	Mantar Yetiştirme Öncesi ve Sonrası FTIR Spektrumlarının Karşılaştırmalı Analizi	44
4.7.	Atık Mantar Substratının Lignoselülozik ve Kimyasal Bileşimi.....	50
4.8.	Farklı Substratlarda Yetişen <i>P. eryngii</i> Mantarının FTIR Spektrumları	51
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
6.	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ	73

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA ve değerli hocam Doç. Dr. Funda ATİLA'ya büyük bir içtenlikle teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında bana yardımcı olan özellikle Arş. Gör. Melike Kübra KARABACAK, Arş. Gör. Cihad Said ALP, Arş. Gör. Alperen DONAT ve Arş. Gör. Nidanur ÜNAL hocalarıma çok teşekkür ederim.

Nisan, 2025

Burak SALMANOĞLU

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KRAL İSTİRİDYE MANTARININ (*Pleurotus eryngii*) ÜRETİM SÜRECİNDE FARKLI SUBSTRATLARIN LİGNOSELÜLOZİK İÇERİKLERİNDE MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Burak SALMANOĞLU

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Yıl: 2025, Sayfa: 73
Jüri: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Doç. Dr. Funda ATILA
Doç. Dr. Hakan BAŞAK
Dr. Öğr. Üyesi Alim AYDIN
Dr. Mehmet ÇETİN

Bu tez çalışmasında, dört lignoselülozik substrat (mercimek samanı (LS), yer fıstığı samanı (PS), yer fıstığı kabuğu (PH) ve kavak talaşı (POS)) üzerinde yetiştirilen *Pleurotus eryngii*'nin biyodönüşüm verimliliği, substrat bozunma dinamiklerini analiz etmek için Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Farklı substratlarda, misel sarım süresi 20,2-23,7 gün arasında değişmiş, primordia oluşumu 41,8-47,2 gün sürmüş ve ilk hasat 51,5-59,9 günde gerçekleşmiş, verim ve biyolojik etkinlik 155,6-301,8 g/kg ve %45,76-86,23 arasında değişmiştir. Çalışmada FTIR spektroskopisi ve kimyasal-lignoselülozik analizler arasındaki uyum teyit edilmiştir. İlk spektrumlar substrata özgü yapısal özellikleri ortaya koyarken, hasat sonrası profiller, mantar biyokütle birikiminin (1650-1540 cm^{-1} 'de protein/polisakkarit bantları) yanı sıra kısmi lignin (1600, 1510 cm^{-1}) ve selüloz (1158, 1050, 896 cm^{-1}) bozunmasını göstererek birbirine yaklaşmıştır. Düşük lignin (MS: %8,57) ve yüksek karbonhidrat içeriği ile karakterize edilen MS substratı, selüloz/hemiselüloz bantlarında hızlı düşüşler sergilemiş, bu da gelişmiş misel kolonizasyonu, daha kısa yetiştirme döngüleri (20,2 gün) ve yüksek biyolojik verimlilik (BE) (%86,23) ile ilişkilendirilmiştir. Buna karşılık, lignin bakımından zengin substratlar (YFK: %22,43; KT: %22,70) sınırlı spektral kaymalar, verimsiz polisakkarit bozunması ve uzun misel sarım süresi (25,3 ve 23,7 gün) göstererek BE'nin azalmasına (sırasıyla %55,53 ve %45,76) neden olmuştur. Lignoselülozik bileşenlerin farklı şekilde bozunması, substrata özgü enzimatik aktivitenin altını çizmiş, lignin inatçılığı YFK ve KT'da selüloz erişilebilirliğini engellemiştir. Bu bulgular, substrat bileşimi, FTIR türevli bozunma modelleri ve mantar üretkenliği arasında doğrudan bir bağlantı kurmaktadır. Ayrıca farklı substratlarda yetiştirilen *P. eryngii* mantarının FTIR spektrumları belirlenerek besin içeriği ortaya konmuştur. KT substratı, en zengin ve dengeli FTIR profilini göstermektedir. Bu substratta gelişen mantarlar, protein, yağ ve fenolik bileşikler açısından yüksek içerik sergilemektedir. YFS substratında yetişen mantarların FTIR absorpsiyonları en düşük yoğunluklara sahip olup, muhtemelen sınırlı besin ve düşük biyoaktiviteye sahiptir. MS substratında yetişen mantarlarda KT substratındakilere yakın bir profil sergilemişlerdir. Çalışma, FTIR spektroskopisinin substratın biyolojik bozunabilirliğini değerlendirmek için uygun maliyetli bir araç olduğunu vurgulamakta ve mantar yetiştiriciliği için sürdürülebilir

tarımsal kalıntıların seçimine rehberlik etmektedir. Çalışma sonuçlarına göre MS substratı mantar verimi ve kalitesi açısından ülkemizde *P. eryngii* üretiminde kullanım için ümit verici sonuçlar sergilemiştir. Ayrıca, FTIR spektroskopisi mantar yetiştiriciliğinde hem lignoselülozik değişimlerin belirlenmesi hem de mantarların besin profillerinin ortaya konmasında başarı ile kullanılabilir bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kral istiridye mantarı, FTIR, Lignoselülozik içerik, Mantar verimi, Besin profili

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EVALUATION OF CHANGES IN LIGNOCELLULOSIC CONTENT OF DIFFERENT SUBSTRATES DURING THE PRODUCTION PROCESS OF KING OYSTER MUSHROOM (*Pleurotus eryngii*)

Burak SALMANOĞLU

KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF HORTICULTURE

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Year: 2025, Pages: 73
Juries: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Assoc. Prof. Dr. Funda ATILA
Assoc. Prof. Dr. Hakan BAŞAK
Assist. Prof. Dr. Alim Aydın
Dr. Mehmet ÇETİN

In this thesis, the bioconversion efficiency of *Pleurotus eryngii* grown on four lignocellulosic substrates (lentil straw (LS), peanut straw (PS), peanut shell (PH) and poplar sawdust (POS)) was evaluated using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy to analyze substrate degradation dynamics. On different substrates, the spawning period ranged from 20.2-23.7 days, primordia formation took 41.8-47.2 days and first harvest occurred in 51.5-59.9 days, yield and biological efficiency ranged from 155.6-301.8 g/kg and 45.76-86.23%. The study confirmed the agreement between FTIR spectroscopy and chemical-lignocellulosic analysis. While the initial spectra revealed substrate-specific structural features, the post-harvest profiles converged, showing partial lignin (1600, 1510 cm⁻¹) and cellulose (1158, 1050, 896 cm⁻¹) degradation as well as fungal biomass accumulation (protein/polysaccharide bands at 1650-1540 cm⁻¹). The LS substrate, characterized by low lignin (LS: 8.57%) and high carbohydrate content, exhibited rapid decreases in cellulose/hemicellulose bands, which was associated with improved mycelial colonization, shorter cultivation cycles (20.2 days spawning run) and high biological efficiency (BE) (86.23%). In contrast, lignin-rich substrates (PH: 22.43%; POS: 22.70%) showed limited spectral shifts, inefficient polysaccharide degradation and long spawning time (25.3 and 23.7 days), resulting in reduced BE (55.53% and 45.76%, respectively). The differential degradation of lignocellulosic components underlined substrate-specific enzymatic activity, with lignin recalcitrance inhibiting cellulose accessibility at PH and POS. These findings establish a direct link between substrate composition, FTIR-derived degradation patterns and fungal productivity. Furthermore, the nutrient content of *P. eryngii* mushrooms grown on different substrates was revealed by determining their FTIR spectra. The POS substrate shows the richest and most balanced FTIR profile. Mushrooms growing on this substrate exhibited high content of protein, fat and phenolic compounds. The FTIR absorptions of fungi grown on PS substrate have the lowest intensities, probably due to limited nutrients and low bioactivity. Mushrooms grown on LS substrate exhibited a profile close to that of the POS substrate. The study

highlights that FTIR spectroscopy is a cost-effective tool to assess the biodegradability of the substrate and guides the selection of sustainable agricultural residues for mushroom cultivation. According to the results of the study, LS substrate showed promising results in terms of mushroom yield and quality for use in *P. eryngii* production in our country. In addition, FTIR spectroscopy was found to be a method that can be successfully used in mushroom cultivation both to determine lignocellulosic changes and to reveal the nutrient profiles of mushrooms.

Keywords: King oyster mushroom, FTIR, Lignocellulosic content, Mushroom yield, Nutrition profile

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Dünya genelinde öne çıkan mantar türleri	7
Tablo 1.2. Türkiye’de üretilen mantar türleri	8
Tablo 1.3. <i>Pleurotus eryngii</i> ’nin taksonomisi	11
Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan substratların kimyasal analizi	31
Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan substratların lignoselülozik analizi	33
Tablo 4.3. Yetiştirme ortamının <i>Pleurotus eryngii</i> 'nin yetiştirme döngüsü üzerine etkisi.....	34
Tablo 4.4. Yetiştirme ortamının <i>Pleurotus eryngii</i> 'nin verimliliği üzerine etkisi	38
Tablo 4.5. Yetiştirme ortamının <i>Pleurotus eryngii</i> 'nin şapka boyutları üzerine	39
Tablo 4.6. 1800-600 cm-1 bölgesinde tarımsal orman atıklarındaki temel kimyasal bileşenlerin FTIR bantlarının atanması.....	42
Tablo 4.7. FTIR spektrumlarında yaygın olarak karşılaşılan dalga sayısı bölgeleri, bu bölgelerde gözlenen kimyasal bağ türleri ve bunların biyokimyasal karşılıkları..	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. FAOSTAT 2023 Dünya’da mantar üretimi	6
Şekil 1.2. Türkiye mantar üretimi	9
Şekil 1.3. <i>Pleurotus eryngii</i> (Kral istiridye mantarı)	11
Şekil 3.1. Yetiştirme ortamında kullanılan materyaller	24
Şekil 3.2. Torbalara doldurulan ortamlar	24
Şekil 3.3. Steril kabin içerisinde misel ekimi.....	25
Şekil 3.4. Misel gelişim odasına alınan torbalar	26
Şekil 3.5. pH metre ile pH ölçümü.....	26
Şekil 3.6. EC metre ile EC ölçümü	27
Şekil 4.1. Üretim sırasında ortamlardaki misel gelişim başlangıcı.....	34
Şekil 4.2. Üretim sırasında ortamlardaki misel gelişim süreci	35
Şekil 4.3. Tamamlanan misel gelişimi	35
Şekil 4.4. Taslak oluşumu	36
Şekil 4.5. Yetiştirilen <i>P. eryngii</i> mantarları	36
Şekil 4.6. <i>P. eryngii</i> şapkalarında yapılan ölçümler	38
Şekil 4.7. <i>P. eryngii</i> mantarı üretimi yapılan substratların FTIR spektrumları.....	40
Şekil 4.8. Kavak talaşında <i>P. eryngii</i> üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler	44
Şekil 4.9. Mercimek samanında <i>P. eryngii</i> üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler	45
Şekil 4.10. Yerfıstığı kabuğunda <i>P. eryngii</i> üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler	45
Şekil 4.11. Yerfıstığı samanında <i>P. eryngii</i> üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler	46
Şekil 4.12. <i>P. eryngii</i> mantarı üretimi sonucu ortaya çıkan atık mantar kompostlarının FTIR spektrumları.....	50
Şekil 4.13. Farklı substratlarda yetişen <i>p. eryngii</i> mantarının FTIR spektrumları	52
Şekil 4.14. Mantar örnekleri FTIR spektrumu ana bölgeleri	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	: Santigrat Derece
%	: Yüzde
g	: Gram
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
cm	: Santigram
mm	: Milimetre
ppm	: Parts Per Million (Milyonda Bir)
nM	: Nanometre
Kcal	: Kilokalori
CO ²	: Karbondioksit

Kısaltmalar	Açıklama
YFK	: Yer Fıstığı Kabuğu
YFS	: Yer Fıstığı Samanı
MS	: Mercimek Samanı
KT	: Kavak Talaşı
ÇT	: Çam Talaşı
BE	: Biyolojik Etkinlik
MYPA	: Malt Maya Pepton Agar
MEPA	: Malt Ekstrakt Pepton Agar
C	: Karbon
N	: Azot

1. GİRİŞ

Mantarlar, doğada hem ekolojik hem de ekonomik açıdan önemli bir yere sahip organizmalardır. Fungi alemi altında sınıflandırılan bu organizmalar, organik maddelerin geri dönüşümünü sağlayarak ekosistemlerin sürdürülebilirliğine katkıda bulunurlar (Çüçen ve Solak, 2023). Bu özellikleriyle mantarlar, doğanın en gizemli ve hayranlık uyandıran canlılarından biri olarak, milyonlarca yıldır yeryüzünde varlıklarını sürdürmektedir. (Moore ve ark., 2020)

Bitkilerden ve hayvanlardan farklı olarak, mantarlar kendi başlarına ayrı bir yaşam formunu temsil eder. Fotosentez yapamadıkları için heterotrofik beslenme biçimleriyle dikkat çeken mantarlar, çevredeki organik maddeleri parçalayarak besinlerini elde ederler (Carlile ve ark., 2001). Bu özellikleri sayesinde organik maddelerin ayrışmasında, karbon ve azot döngülerinin sağlanmasında kritik bir rol oynarlar. Aynı zamanda, toprağın verimliliğini artırarak bitki büyümesini teşvik eder ve dolaylı olarak tarımsal üretime katkıda bulunurlar (Smith ve Read, 2008).

Mantarların doğadaki rolleri yalnızca ekolojik boyutla sınırlı değildir. Tarih boyunca insanlar için önemli bir besin kaynağı olmuş ve birçok kültürde özel bir yere sahip olmuşlardır. Arkeolojik bulgular, mantarların binlerce yıl öncesinden beri insanlar tarafından toplanıp tüketildiğini göstermektedir (Boa, 2004). Özellikle yenilebilir mantar türleri, zengin besin değerleri, düşük kalorili yapıları ve yüksek protein içerikleriyle sağlıklı bir diyetin vazgeçilmez bir parçası olarak kabul edilir (Kalač, 2009). Bunun yanı sıra, mantarlar çeşitli vitaminler, mineraller ve biyoaktif bileşenler içermeleriyle dikkat çeker; bu özellikleri, onları yalnızca bir besin kaynağı değil, aynı zamanda potansiyel doğal ilaçlar haline getirmiştir (Cheung, 2010).

Bu biyolojik fonksiyonlarının yanı sıra, mantarların insanlar için önemli bir besin kaynağı olması, onların ekonomik değerini de artırmıştır. Mantarlar, yüzyıllardır tıbbi amaçlarla kullanılmakta ve geleneksel tıpta önemli bir yer tutmaktadır. Antik Çin, Mısır ve Yunan uygarlıklarında mantarların çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanıldığına dair kayıtlar bulunmaktadır. Modern bilim de bu geleneksel bilgiyi destekleyerek, mantarların içerdiği biyoaktif bileşenlerin sağlık üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Wasser, 2002).

Özellikle Antik Çin'de, mantarların tıbbi kullanımı köklü bir geçmişe sahiptir ve modern bilim tarafından da kabul görmektedir. Örneğin, Reishi (*Ganoderma lucidum*) ve Shiitake (*Lentinula edodes*) mantarları, bağışıklık sistemini güçlendiren ve uzun ömür sağladığı düşünülen doğal ilaçlar olarak ün kazanmıştır (Wasser, 2002). Avrupa'da ise

trüf mantarları ve diğer bazı değerli türler gastronomik açıdan büyük bir öneme sahiptir ve lüks mutfaklarda vazgeçilmez bir yere sahiptir (Hall ve ark., 2003).

Fungusların biyolojik özellikleri, besin değeri, farmakolojik etkileri ve biyoteknolojik uygulamaları, son yıllarda bu organizmaların daha detaylı bir şekilde araştırılmasına yol açmıştır. Özellikle tıbbi özelliklere sahip mantar türlerinin sağlık üzerinde olumlu etkiler sunduğu bilinmektedir (Zhang ve ark., 2016). Günümüzde yenilebilir mantarlar, yüksek besin değerleri ve çeşitli sağlık faydaları nedeniyle tarımsal ve endüstriyel üretimde büyük bir öneme sahiptir (Chang ve Miles, 2004). Mantar üretimi, düşük maliyetli süreçler ve geniş pazar olanakları sayesinde, özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır (Zhang ve ark., 2014). Ayrıca, mantar yetiştiriciliği, tarımsal atıkların geri dönüştürülmesi ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlama açısından büyük bir potansiyele sahiptir (Moger ve ark., 2025).

1.1. Mantarların Besin Değeri

Mantarlar, tarih boyunca hem gıda hem de ilaç olarak kullanılmış ve farklı kültürlerde önemli bir yer edinmiştir. Özellikle yenilebilir mantarlar, zengin besin içerikleri ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri sayesinde modern diyetlerin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Yüksek protein, düşük yağ oranı ve vitamin-mineral çeşitliliği gibi özellikleri, mantarları yalnızca lezzet açısından değil, aynı zamanda beslenme bilimi açısından da değerli kılmaktadır (Kalaç, 2010).

Mantarlar, yüksek kaliteli protein içerikleriyle dikkat çeker. Örneğin, *Pleurotus* ve *Agaricus* türleri, kuru ağırlık bazında %20'ye varan protein içeriği sunar. Bu proteinler, tüm temel amino asitleri içerdiği için mantarları, vejetaryenler ve veganlar için mükemmel bir protein kaynağı haline getirir (Chang ve Miles, 2004). Yenilebilir mantar türlerinin kuru ağırlık bazında protein oranı genellikle %19 ile %35 arasında değişmektedir. Taze mantarlarda ise bu oran %2 ile %6 arasında daha düşüktür, çünkü mantarların %80-90'ı sudan oluşmaktadır (Chang ve Miles, 2004).

Protein kalitesi, amino asit kompozisyonu ile değerlendirilir ve mantarlar, tüm temel amino asitleri içermeleri nedeniyle yüksek kaliteli bir protein kaynağıdır. Mantar proteinlerinin biyoyararlanımı, hayvansal proteinlere benzer düzeydedir. Özellikle lizin, treonin ve valin gibi amino asitler açısından zengin olmaları, mantarların tahıllarda genellikle eksik olan amino asitlerle tamamlayıcı bir ilişki oluşturmasına olanak tanır (Cheung, 2013). Vejetaryen ve vegan diyetlerinde, mantarlar et ve süt ürünlerinden alınan proteinlerin yerine iyi bir alternatif olarak kullanılabilir. Mantarların protein içeriği

üzerinde çevresel ve yetiştirme koşullarının da etkisi büyüktür. Substrat tipi, yetiştirme sıcaklığı ve nem gibi faktörler, protein sentezini doğrudan etkileyebilir (Guillamón ve ark., 2010).

Mantarlar, düşük karbonhidrat içeriğine sahip olup, genellikle %5-10 arasında lif içerirler. Bu lifler arasında bulunan beta-glukanlar, bağışıklık sistemi üzerinde olumlu etkiler gösterir ve kolesterol seviyelerini düşürmede yardımcı olur (Cheung, 2013). Mantarların lif içeriği, toplam kuru ağırlık bazında %5-15 arasında değişir. Çözünür ve çözünmez liflerin dengeli bir karışımını içerirler. Çözünür lifler, su tutma kapasitesini artırarak bağırsak sağlığını destekler ve glikoz emilimini yavaşlatır. Çözünmez lifler ise bağırsak hareketlerini düzenleyerek sindirime yardımcı olur. Bu özellikleri sayesinde mantarlar, düşük glisemik indeksli gıda kategorisinde değerlendirilir ve diyabet hastaları için önerilir (Kalaç, 2010).

Mantar lifleri, prebiyotik özellikler sergileyerek bağırsaktaki yararlı mikroorganizmaların büyümesini destekler. Özellikle *Pleurotus* ve *Lentinula* türlerinde bulunan beta-glukanlar, bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyebilir ve bağışıklık sistemini güçlendirebilir (Wasser, 2011).

Mantarlar, düşük yağ içeriği ile tanınan gıdalardır. Genellikle, mantarların kuru ağırlıklarının %2 ile %8'i arasında bir yağ oranı bulunur. Bu düşük yağ içeriği, mantarları kalorisi düşük diyetler için ideal bir besin kaynağı yapar (Kalaç, 2010). Mantarların içerdiği yağlar, çoğunlukla doymamış yağ asitlerinden meydana gelir. En yaygın yağ asidi olan linoleik asit (omega-6 yağ asidi), mantarların en fazla bulunan yağ bileşimidir. Ayrıca, oleik asit (omega-9 yağ asidi) ve linolenik asit (omega-3 yağ asidi) gibi diğer doymamış yağ asitlerine de sahiptirler. Bu yağ asitleri, kalp sağlığını destekler ve vücutta iltihaplanmayı azaltma potansiyeline sahiptir (Cheung, 2013).

Mantar yağlarının biyoaktif özellikleri de dikkat çekicidir. Özellikle steroller, mantarlarda bulunan önemli lipid bileşiklerindedir. Ergosterol, mantarların başlıca sterol bileşimidir ve insan vücudunda D2 vitamini üretiminde rol oynar. Bunun yanı sıra, ergosterolün antioksidan etkileri olduğu bilinmektedir (Guillamón ve ark., 2010).

Mantarlar, B vitaminleri (B1, B2, B3, B5 ve B9) ve D vitamini açısından zengin bir kaynaktır. Özellikle D2 vitamini içeriği, mantarların güneş ışığına maruz bırakıldıklarında artırılabilir. Mineral içerikleri arasında potasyum, fosfor, bakır ve selenyum öne çıkmaktadır (Roupas ve ark., 2012).

1.2. Mantarların Tıbbi Özellikleri

Mantarların tıbbi özellikleri, büyük ölçüde zengin biyoaktif bileşen içeriklerinden kaynaklanmaktadır. Polisakkaritler, triterpenoidler, steroller ve fenolik bileşikler gibi maddeler, mantarların bağışıklık sistemini destekleme, antioksidan, antimikrobiyal, anti-enflamatuar ve antikanserojen etkiler göstermesiyle ilişkilendirilmiştir (Cheung, 2010). Örneğin, Reishi mantarı (*Ganoderma lucidum*), içerdiği ganoderik asitler sayesinde bağışıklık sistemini güçlendirici ve kanser hücrelerinin büyümesini engelleyici etkiler göstermektedir (Paterson, 2006). Benzer şekilde, Shiitake mantarı (*Lentinula edodes*), lentinan adı verilen bir polisakkarit sayesinde antitümör aktiviteleriyle tanınmaktadır (Zhao, 2010).

Mantarlar, çeşitli biyoaktif bileşenler sayesinde antioksidan, antikanser ve anti-inflamatuar özellikler sergiler. Bu bileşenler arasında polifenoller, ergotionin, glukanlar ve terpenoidler bulunur. Mantarlar, fonksiyonel gıda olarak sağlık üzerindeki olumlu etkilerini pekiştiren bu maddelerle dikkat çeker. Özellikle beta-glukanlar, bağışıklık sistemi üzerinde modülatör etkiler gösterir ve doğal öldürücü hücrelerin (NK hücreleri) etkinliğini artırarak kanser hücreleriyle mücadeleye yardımcı olabilir (Wasser, 2011). Mantarlardan izole edilen bazı bileşikler, polisakkarit-protein veya polisakkarit-peptit kompleksleri gibi protein ya da peptit kalıntıları içeren karmaşık yapılardır ve bazıları güçlü antitümör etkileri gösterebilir. Mantar kaynaklı polisakkaritler, genellikle α veya β ana zincirleri ile dallarında glukoz, galaktoz, mannoz, ksiloz, riboz, arabinoz ve glukuronik asit gibi bileşenler barındırır. Farklı kombinasyonlara sahip olmaları nedeniyle, polisakkaritlerin yapıları büyük ölçüde değişkenlik gösterebilir. Özellikle Basidiomycetes türlerinden elde edilen ve β -1,3 glukopiranozid ana zinciri ile β -1,6 bağlı glikoz dallarını içeren polisakkaritlerin antitümör özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra, polisakkaritlerin biyolojik aktiviteleri; sudaki çözünürlükleri, moleküler ağırlıkları ve yapısal dallanma oranları gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Zaidman ve ark., 2005). Mantar polisakkaritleri, antitümör etkilerini temel olarak organizmanın bağışıklık sistemini harekete geçirerek gösterir. Bu bileşikler, biyolojik yanıt düzenleyicileri olarak kabul edilmektedir (Wasser ve Weis, 1999). Çeşitli çalışmalar, farklı mantar türlerinden elde edilen ekstraktların ve bileşiklerin antitümör potansiyelini doğrulamıştır (Lindequist ve ark., 2005). Bu nedenle, tümör hücrelerinde apoptozu indükleyen mantar ekstraktlarının tanımlanması, kimyasal karakterizasyonu ve yapılarının aydınlatılması kanser tedavisinde ilaç olarak kullanılabilir yeni bileşiklerin keşfedilmesini sağlayabilecektir (Mutlu, 2022).

Fenolik asitler ve flavonoidler, mantarlarda yer alan önemli antioksidan bileşiklerdendir. Bu bileşikler, serbest radikallerin neden olduğu oksidatif hasarı engelleyerek kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve nörodejeneratif rahatsızlıkların riskini azaltabilir. Mantar türlerinde öne çıkan fenolik bileşikler arasında galik asit, kafeik asit ve p-kumarik asit bulunur (Ferreira ve ark., 2009).

Triterpenoidler, özellikle tıbbi mantarlarda yoğun olarak bulunur ve hepatoprotektif, antikanser ve antiviral özellikler gösterir. *Ganoderma lucidum* (Reishi Mantarı) gibi mantar türleri, triterpenoid bileşenleriyle bağışıklık sistemini güçlendirir ve tümör hücrelerinin büyümesini engellemeye yardımcı olur (Wang ve ark., 2012).

Mantarlar ayrıca ergothionein adlı doğal bir antioksidan açısından da zengindir. Ergothionein, hücrelerde birikerek oksidatif hasara karşı koruma sağlar ve yaşlanma ile ilişkili hastalıkların önlenmesinde etkili olabilir. Özellikle *Agaricus bisporus*, *Pleurotus* ve *Lentinula edodes* türleri, ergothionein içeriği açısından dikkat çeker (Cheah ve ark., 2014).

Mantarların tıbbi potansiyelleri, yalnızca doğrudan tedavi edici özellikleriyle sınırlı kalmamaktadır. Bazı mantar türleri, adaptogenik özellikleri sayesinde vücudun stresle başa çıkma yeteneğini artırarak genel sağlık üzerinde dengeleyici etkiler yaratmaktadır. Örneğin, *Cordyceps sinensis*, enerji seviyelerini artırma, böbrek fonksiyonlarını destekleme ve dayanıklılığı artırma gibi etkileriyle geleneksel Çin tıbbında uzun süredir kullanılmaktadır (Holliday ve Cleaver, 2008). Bu özellikler, mantarları hem geleneksel hem de modern tıpta eşsiz birer doğal kaynak haline getirmiştir.

1.3. Mantar Yetiştiriciliğinin Ekolojik Açıdan Önemi

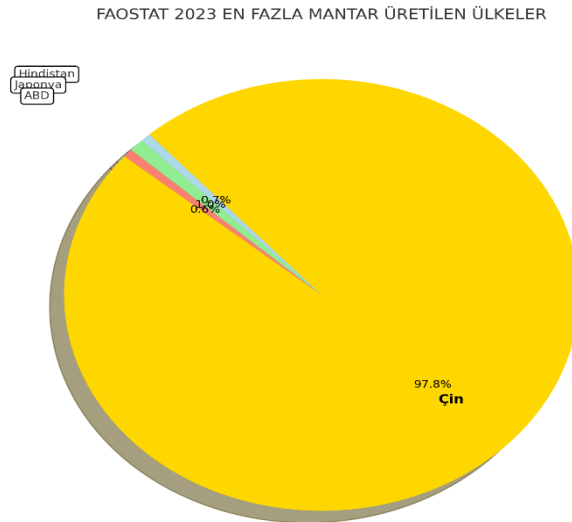
Tarımsal artıkların yönetiminde süregelen zorluk, dünya genelinde önemli bir çevresel endişe kaynağıdır. Bu atık akışları ekosistemin bozulmasına katkıda bulunmakta, su kaynaklarını kirletmekte ve karbon ayak izini artırarak küresel ısınmanın etkilerini şiddetlendirmektedir (Muthu, 2010; Singh ve ark., 2014; Kumar ve ark., 2019). Atık yönetimi altyapısının genellikle yetersiz olduğu ve çevre politikalarının ilgili riskleri azaltacak kadar sağlam olmadığı gelişmekte olan ülkeler bu zorlukların en ağırla karşı karşıyadır (Kopnina, 2019; Kumar ve ark., 2019). Bu bağlamda, yalnızca atık bertarafı sorunlarını ele almakla kalmayıp aynı zamanda ekonomik teşvikler de sağlayan yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlere acil ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırılan çeşitli sürdürülebilir stratejiler arasında mantar yetiştiriciliği, lignoselülozik atıkların değerli ürünlere dönüştürülmesi için umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle *Pleurotus* cinsi içindeki türler, geniş bir yelpazedeki tarımsal ve endüstriyel kalıntıları yüksek kaliteli, protein açısından zengin gıda ve nutrasötik ürünlere biyolojik olarak dönüştürebilmektedir (Ioannidou ve Zabaniotou, 2007; Caicedo ve ark., 2016). Bu biyoteknolojik yaklaşım sadece atıkların azaltılmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda gıda güvenliğini artırır ve özellikle tarım arazilerinin kısıtlı olduğu bölgelerde ekonomik kalkınmayı teşvik eder.

Mantar yetiştiriciliği hem çevresel hem de besinsel ihtiyaçları karşılamının bir yolu olarak dünya çapında ivme kazanmaktadır. Yoğun nüfuslu ülkelerde mantar yetiştiriciliğinin yaygınlaşması, kırsal toplulukların geçim kaynaklarına katkıda bulunurken sürdürülebilir bir protein kaynağı sağlama potansiyeline sahiptir. Bu tarımsal genişleme, birçok mantar türünün tıbbi özellikleri nedeniyle ilaç ve nutrasötik endüstrilerine potansiyel faydalar da dahil olmak üzere gıda üretiminin ötesinde etkilere sahiptir (Grimm ve Wösten, 2018; Singh ve ark., 2019).

1.4. Dünya’da ve Türkiye’de Mantar Üretimi

Dünya genelinde mantar üretimi, özellikle son otuz yılda kayda değer bir artış göstermiştir. 2023 yılı itibarıyla, dünya çapında yıllık yaklaşık 50 milyon ton mantar üretilmektedir (FAOSTAT, 2025).



Şekil 1.1. FAOSTAT 2023 Dünya’da mantar üretimi

Mantar üretiminde Çin, dünya genelinde açık ara lider konumdadır ve yıllık yaklaşık 47 milyon tonluk üretimiyle dünya toplam üretiminin %98 'ini karşılamaktadır (FAOSTAT, 2025). Çin'i sırasıyla Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan takip etmekte; bu ülkeler, yüksek üretim kapasiteleri ve teknolojik yenilikleriyle sektörün gelişimine öncülük etmektedir. Avrupa'da ise Polonya en büyük üretici ülke konumundadır (FAOSTAT, 2025).

Tablo 1.1. Dünya genelinde öne çıkan mantar türleri

Mantar Türü	Bilimsel Adı	Özellikleri
Kültür Mantarı	<i>Agaricus bisporus</i>	En yaygın tür, beyaz ve kahverengi çeşitleri mevcut.
Shiitake	<i>Lentinula edodes</i>	Asya'da çok tüketilir, bağışıklık sistemini destekler.
İstiridyeye Mantarı	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Kolay üretim, düşük maliyet, lezzetli ve bol lifli.
Enoki Mantarı	<i>Flammulina velutipes</i>	Japon mutfağında popülerdir.
Trüf Mantarı	<i>Tuber spp.</i>	Dünya genelinde en pahalı mantar, doğada nadir.
Reishi Mantarı	<i>Ganoderma lucidum</i>	Tıbbi amaçlarla kullanılır.

Dünyada yaygın olarak yetiştirilen mantar türlerinden biri olan *Agaricus bisporus* (beyaz şapkalı mantar), dünya genelinde en çok tüketilen türdür. Bunun yanı sıra, *Pleurotus ostreatus* (istiridyeye mantarı) gibi türler, düşük maliyetli üretim süreçleri ve besin değerleri ile öne çıkmaktadır. *Lentinula edodes* (shiitake mantarı) ise özellikle Asya'da yaygın olarak yetiştirilen bir başka türdür ve tıbbi özellikleriyle bilinmektedir (Zhang ve ark., 2019). Günümüzde, mantarların tarımsal ve endüstriyel üretimi dünya genelinde hızla büyüyen bir sektör haline gelmiştir. Yenilebilir mantarların kültüre alınması ve geniş ölçekte yetiştirilmesi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde önemli bir gelir kaynağı sağlamaktadır.

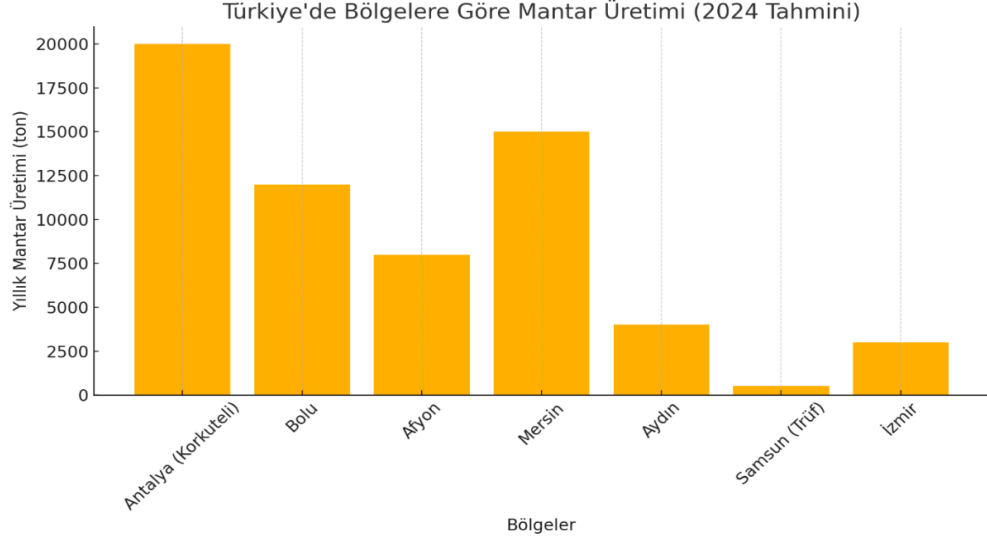
Kültür mantarları arasında *Pleurotus* cinsi, geniş çapta yetiştirilen ve tüketilen türleriyle dikkat çekmektedir. *Pleurotus* türleri, yüksek adaptasyon yetenekleri, hızlı büyüme döngüleri ve zengin besin içerikleri nedeniyle ticari olarak büyük ilgi görmektedir (Zhang ve ark., 2014). Örneğin, *Pleurotus ostreatus* ve *Pleurotus pulmonarius* gibi türler, dünyada en çok tüketilen mantarlar arasında yer almakta ve genellikle "istiridyeye mantarı" adıyla anılmaktadır. Bu türler, düşük maliyetli üretimleri ve zengin besin içerikleriyle ticari üretimde önemli bir yer tutmaktadır (Stamets, 2000).

Tablo 1.2. Türkiye’de üretilen mantar türleri

Mantar Türü	Bilimsel Adı	Özellikler / Üretim Bölgeleri	Toplam mantar üretimine oranı (%) (Eren ve Pekşen, 2019)
Kültür Mantarı	<i>Agaricus bisporus</i>	Türkiye'nin en yaygın üretilen mantarıdır. En fazla Antalya, Bolu, Afyon, Mersin, Kocaeli, İzmir gibi şehirlerde yetiştirilir.	%80
İstiridyeye Mantarı	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Kolay üretimi ve düşük maliyetiyle yaygınlaştı. Hem evsel hem ticari üretim yapılmakta.	%15
Shiitake (Şitake) Reishi Aslan yelesi	<i>Lentinula edodes</i> <i>Ganoderma lucidum</i> <i>Hericium erinaceus</i>	Türkiye’de özel girişimler sayesinde üretimi başlamıştır. “Kara Elmas” olarak bilinir. Doğal ortamda veya ağaç diplerinde özel alanlarda yetiştirilmeye başlandı (Ege, Trakya, Samsun).	%5
Trüf Mantarı	<i>Tuber spp.</i>		

Türkiye’de mantarcılık, ticari anlamda 20. yüzyılın ortalarında başlamıştır. İlk dönemlerde beyaz şapkallı mantar üretimine odaklanılmış, ancak son yıllarda istiridyeye mantarı ve diğer türlere olan ilgi giderek artmıştır (Kaya ve Çolak, 2019). Türkiye’de mantar üretimi son yıllarda hızla artış göstermiştir. Türkiye’de yıllık mantar üretimi, TÜİK verilerine göre yaklaşık 70 bin ton civarındadır (TÜİK, 2022). Özellikle beyaz mantar (*Agaricus bisporus*) ve istiridyeye mantarı (*Pleurotus ostreatus*) gibi türler yaygın olarak yetiştirilmektedir. Türkiye, istiridyeye mantarı üretiminde dünya genelinde önemli bir yer edinmiş olup, son yıllarda *Pleurotus eryngii* (kral istiridyeye mantarı) gibi türlerin yetiştiriciliği de artış göstermektedir.

Üretim, genellikle Marmara, Ege ve Karadeniz bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Türkiye'nin zengin doğal kaynakları ve coğrafi çeşitliliği, organik mantar yetiştiriciliği için büyük bir potansiyel sunmaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye mantar üretimi

Grafikte görüldüğü üzere, Antalya (özellikle Korkuteli ilçesi) Türkiye'de mantar üretiminin merkezlerinden biri konumundadır. Onu Mersin, Bolu ve Afyon gibi şehirler takip etmektedir. Bu bölgelerde kültür mantarı üretimi hem bireysel girişimciler hem de devlet destekli tesislerle giderek artmaktadır. Ayrıca Samsun, özellikle trüf mantarı gibi değerli türlerin toplandığı yer olarak dikkat çekmektedir. Trüf mantarı doğrudan doğadan toplandığı için üretim rakamları düşük kalmakla birlikte, ekonomik olarak oldukça yüksek bir değere sahiptir.

Bununla birlikte, sektörde bazı yapısal sorunlar mevcuttur. Modern üretim tekniklerinin yeterince yaygınlaşmaması, bilgi ve teknik altyapı eksiklikleri, sektördeki gelişimi sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Ayrıca pazarlama ve lojistik alanında yaşanan sıkıntılar, Türk üreticilerin uluslararası rekabette zorlanmasına yol açmaktadır (Demirbaş, 2020). Bu sorunların aşılması ve sektörde tam kapasiteye ulaşılması için, üreticilere yönelik eğitim programlarının artırılması, modern teknolojilerin benimsenmesi ve uluslararası pazar olanaklarının geliştirilmesi gerekmektedir.

1.5. Kral İstiridye (*Pleurotus eryngii*) Mantarı

Pleurotus türleri, dünya genelinde ekonomik ve ekolojik açıdan önemli bir mantar grubudur. Hem gıda kaynağı olarak hem de tıbbi ve biyoteknolojik uygulamalarda

sundukları potansiyel nedeniyle geniş bir araştırma alanı bulmaktadır. Halk arasında "istiridye mantarı" olarak bilinen *Pleurotus* cinsi, zengin besin içerikleri, biyolojik olarak aktif bileşenleri ve kolay yetiştirilebilme özellikleriyle dikkat çeker. Bu mantarlar, özellikle düşük maliyetli lignoselülozik atıkların değerlendirilmesi ve sürdürülebilir tarım yöntemlerinin desteklenmesi açısından büyük önem taşır (Adebayo ve Martínez-Carrera, 2015).

Pleurotus türleri dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir ve Çin, Hindistan ile ABD gibi ülkeler bu alanda lider konumdadır (Royse ve ark., 2017). Türkiye'de ise son yıllarda istiridye mantarı üretimi artış göstermiş ve bu tür üretim, küçük ölçekli çiftliklerden endüstriyel üretime kadar çeşitli ölçeklerde yapılmaktadır (Demirci ve Peker, 2020). Bu artış, mantarın ekonomik faydaları ve sağlıklı bir gıda kaynağı sunma potansiyeli ile ilişkilidir.

P. eryngii, bu cinsin en büyük ve etli türlerinden biri olarak dikkat çeker. Halk arasında "kral istiridye mantarı" olarak bilinen bu tür, görsel ve tat açısından diğer mantar türlerinden ayrılır. Özellikle Akdeniz, Orta Asya ve Uzak Doğu mutfaklarında yaygın olarak kullanılan *Pleurotus eryngii*, kalın ve etli şapka dokusu sayesinde soteleme, ızgara gibi pişirme yöntemlerinde, aynı zamanda çorba ve soslarda ideal bir malzeme olarak tercih edilir (Kim, 2014).

P. eryngii türünün yetiştiriciliği, diğer mantar türlerine göre daha basit olup, farklı iklim koşullarına uyum sağlama yeteneği ile bilinir. Özellikle sıcak iklimlerde, kontrollü ortamlarda yüksek verim elde edilebilmektedir. Bu mantarın yetiştirilmesi, tarım sektörüne önemli ekonomik katkılar sağlarken, tarımsal atıkları değerlendirme imkânı da çevre dostu bir uygulama olarak öne çıkmaktadır (Zervakis ve ark., 2000). Ayrıca, organik tarımda da kullanılabileceği düşünülmektedir.

1.5.1. *Pleurotus eryngii*'nin taksonomisi

Tablo 1.3. *Pleurotus eryngii*'nin taksonomisi

Alem	Fungus
Şube	<i>Basidiomycota</i>
Sınıf	<i>Agaricomycetes</i>
Takım	<i>Agaricales</i>
Familya	<i>Pleurotaceae</i>
Cins	<i>Pleurotus</i>
Tür	<i>Pleurotus eryngii</i>



Şekil 1.3. *Pleurotus eryngii* (Kral istiridye mantarı)

1.5.2. *Pleurotus eryngii*'nin besin değeri ve tıbbi özellikleri

P. eryngii, yüksek besin içeriği, antioksidan özellikleri ve potansiyel sağlık faydaları ile öne çıkar. Bu mantar, yüksek protein, lif, vitamin (özellikle B grubu vitaminleri) ve mineraller içerirken, düşük kalorili bir besin kaynağıdır (Aydın ve ark., 2018). Ayrıca, düşük yağ içeriği ve yüksek lif oranı sayesinde, *P. eryngii* sağlıklı bir besin maddesi olarak öne çıkmaktadır (Reis ve ark., 2017).

Son yıllarda, *P. eryngii*'nin biyoteknolojik uygulamaları ve farmasötik potansiyeli üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Mantarlar, biyolojik olarak aktif bileşikler üretme

kapasitesine sahip olduklarından, tıbbi tedavilerde alternatif seçenekler olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, *Pleurotus eryngii*'nin içeriğinde bulunan beta-glukanlar, bağışıklık sistemini güçlendirebilir ve vücuda çeşitli hastalıklarla mücadele etme desteği sunabilir (Boh ve ark., 2009).

Ayrıca, biyoaktif bileşenlerinin antioksidan, antimikrobiyal ve antikanserojen özellikler taşıdığı belirlenmiştir (Yang ve ark., 2013). *P. eryngii*, diğer mantar türlerine göre daha yüksek protein ve düşük yağ içeriği ile sağlıklı diyetler için ideal bir seçenek sunmaktadır (Kim, 2014). Yapılan araştırmalar, *P. eryngii*'nin biyoaktif bileşenlerinin güçlü antioksidan etkiler gösterdiğini, bağışıklık sistemini desteklediğini antioksidan, anti-enflamatuar ve antibakteriyel özellikler taşıdığını ve bazı kanser türlerine karşı koruyucu etkiler sunduğunu ortaya koymuştur (Yang ve ark., 2013; Liu ve ark., 2019; Kim ve ark., 2020). Ayrıca, bu mantarın içerdiği polisakkaritlerin antitümör, anti-enflamatuar ve hipoglisemik etkiler gösterdiği bulunmuştur (Zhang ve ark., 2014).

1.5.3. *Pleurotus eryngii*'nin lignoselülozik materyali dönüştürme potansiyeli

Tarımsal artıkların yönetiminde süregelen zorluk, dünya genelinde önemli bir çevresel endişe kaynağıdır. Bu atık akışları ekosistemin bozulmasına katkıda bulunmakta, su kaynaklarını kirletmekte ve karbon ayak izini artırarak küresel ısınmanın etkilerini şiddetlendirmektedir (Singh ve ark., 2014; Kumar ve ark., 2019; Muthu, 2010). Atık yönetimi altyapısının genellikle yetersiz olduğu ve çevre politikalarının ilgili riskleri azaltacak kadar sağlam olmadığı gelişmekte olan ülkeler bu zorlukların en ağırlıyla karşı karşıyadır (Kopnina, 2019; Kumar ve ark., 2019). Bu bağlamda, yalnızca atık bertarafı sorunlarını ele almakla kalmayıp aynı zamanda tarımsal yan ürünlerden ekonomik değer üreten yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlere acil ihtiyaç duyulmaktadır.

Umut verici stratejilerden biri, mantar yetiştiriciliği yoluyla lignoselülozik kalıntıların biyoteknolojik olarak değerlendirilmesidir. *Pleurotus* cinsinden türler, çeşitli tarımsal ve endüstriyel atıkların biyolojik olarak ayrıştırılmasında özellikle etkilidir ve atık azaltma ve sürdürülebilir gıda üretimi gibi ikili faydalar sağlar (Ioannidou ve Zabaniotou, 2007; Caicedo ve ark., 2016). Bu yaklaşım, özellikle arazinin kısıtlı olduğu bölgelerde gıda güvenliğine katkıda bulunur ve ölçeklenebilir tarımsal-endüstriyel uygulamalar yoluyla kırsal ekonomileri destekler. Ayrıca mantar yetiştiriciliği, çeşitli yenilebilir mantarların tıbbi özellikleri nedeniyle gıda üretiminin ötesinde, özellikle ilaç ve nutrasötik endüstrilerinde potansiyel uygulamalar sunmaktadır (Grimm ve Wösten, 2018; Singh ve ark., 2019).

Yenilebilir mantarlar arasında *P. eryngii* (Kral İstiridye mantarı), çeşitli bitki kalıntılarındaki selüloz, hemiselüloz ve lignini parçalayan etkili enzimatik sistemi nedeniyle oldukça değerlidir. Bu enzimatik aktivite, karmaşık organik maddelerin daha basit bileşiklere parçalanması, verimli mantar büyümesi ve biyokütle birikimi için çok önemlidir. Lignoselülozik bileşenlerin *P. eryngii* tarafından etkin bir şekilde parçalanması, substratın önemli bir kısmının yenilebilir mantar biyokütlesine dönüştürülmesini ve böylece atıkların en aza indirilmesini sağlar (Carrasco ve ark., 2018; Bellettini ve ark., 2019).

Bununla birlikte, substrat bileşimi, mantar büyüme verimliliğini belirlemede çok önemli bir rol oynar, bu da substratın biyolojik olarak parçalanabilirliğini değerlendirmek için hızlı ve uygun maliyetli yöntemler geliştirmeyi gerekli kılar.

1.6. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi

Bu bağlamda, Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisi, mantar substratlarındaki biyokimyasal değişikliklerin gerçek zamanlı izlenmesi için güçlü bir analitik araç olarak ortaya çıkmıştır. Bu tahribatsız, uygun maliyetli ve hızlı teknik, substratların ayrıntılı kimyasal profillerini sağlayarak araştırmacıların temel lignoselülozik bileşenlerin bozunmasını ve mantar biyokütlesinin dahil edilmesini izlemelerine olanak tanır (Ioannidou ve Zabaniotou, 2007; Caicedo ve ark., 2016). FTIR spektroskopisi, fungal enzimatik mekanizmaların daha iyi anlaşılmasını sağlayarak substratın biyolojik parçalanabilirliğini değerlendirmek ve yetiştirme koşullarını optimize etmek için güvenilir bir yöntemdir. Yüksek verimli bir analitik araç olarak FTIR, lignoselülozik bozunmayı değerlendirmek için sürdürülebilir ve ölçeklenebilir bir yaklaşım sunarak geleneksel kimyasal analiz tekniklerine etkili bir alternatif oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, *P. eryngii* yetiştiriciliği sırasında substrat bozunma dinamiklerini araştırmak için FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Dört farklı lignoselülozik substrat analiz edilmiştir: üç tarımsal kalıntı-mercimek samanı (LS), yer fıstığı samanı (PS) ve yer fıstığı kabuğu (PH)- ve bir ormancılık kalıntısı-kavak talaşı (POS). Spektral profiller iki temel aşamada değerlendirilmiştir: sterilizasyon sonrası (substratın ilk durumunu temsil eden) ve hasat sonrası (kullanılmış substrat durumunu temsil eden). Ayrıca yine FTIR spektroskopisi kullanılarak farklı substratlarda yetiştirilen *P. eryngii* mantarının besin profili ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın temel amaçları şunlardır: (I) fizikokimyasal özelliklerin (kül içeriği, pH, elektrik iletkenliği ve lignoselülozik bileşim) mantar verimi üzerindeki etkisini değerlendirmek. (II) FTIR ile izlenen biyokimyasal değişiklikler yoluyla mantar substrat kullanım mekanizmalarını belirlemek (III) lignin, selüloz ve hemiselüloz içeriğinin biyolojik bozunma verimliliğini ve mantar üretkenliğini nasıl etkilediğini analiz etmek (IV) hasat sonrası substratları sonraki yetiştirme döngülerinde veya diğer uygulamalarda potansiyel yeniden kullanımları için karakterize etmek (V) farklı lignoselülozik içeriğe sahip substratların mantarın besin içeriğine etkilerini belirlemektir.

Ayrıca bu çalışma, sürdürülebilir mantar yetiştiriciliğinde substrat seçimini optimize etmek için bir teşhis aracı olarak FTIR'ın rolünün altını çizmektedir. Bu araştırma, FTIR tabanlı spektral analizi mantar büyüme performansı ile entegre ederek, yüksek verimli, çevre dostu mantar üretimi için en uygun tarımsal kalıntıların seçilmesi için bilimsel olarak temellendirilmiş bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Farklı Yetiştirme Ortamlarının Mantar Verimine Etkisilerinin Belirlenmesi

Akyüz ve Yıldız (2008), *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. var. *ferulae* Lanzi ve *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. türlerinin yetiştirilmesinde yerel selüloz atıklarının olası kullanımını araştırmak adına bir çalışma yapmışlardır. Misel ana kültürünün çoğaltılması için %2,0 malt ekstraktlı agar kullanılırken, tohumluk misel üretiminde arpa taneleri kullanılmıştır. Yetiştirme ortamı olarak buğday samanı (WS), soya fasulyesi samanı (SS) ve pirinç kepeği (RB) kullanılmıştır. Üç tip kompost hazırlanmıştır: WS-SS (1:1), WS ve SS karışımı. Üç kompost tipine ayrıca %50 ve %10.0 RB ilave edilmiştir. En kısa misel sarım süresi ortalama 8 gün ile SS üzerinde gerçekleşirken, en uzun süre ise 17 gün ile WS + %10.0 RB üzerinde gerçekleşmiştir. *P. eryngii* için en kısa primordium oluşum süresi SS + %10.0 RB'de 36 gün olarak belirlenirken, en uzun süre WS + %5.0 RB'de 95 gün olarak belirlenmiştir. *P. eryngii* için ilk hasat süresi SS + %10.0 RB'de ortalama 48 gün olarak belirlenirken, toplam hasat süresi WS + %5.0 ve WS + %10.0 RB'de 108 gün olarak belirlenmiştir. En yüksek biyolojik etkinlik (BE) WS-SS (1:1) + %5.0 RB'de %93, en düşük BE ise WS + %10.0 RB'de %7 olmuştur. 100 g malzeme başına en düşük ortalama verim WS + %10.0 RB'de 2.0 g iken, en yüksek verim WS-SS (1:1) + %5.0 RB'de 28.0 g olmuştur. Sonuç olarak, çeşitli yerel tarımsal atıklar *P. eryngii*'nin yetiştirilmesinde kullanılabiliceğini aktarmışlardır.

Akyüz ve Kırbağ (2009), Elazığ ve Bingöl illeri çevresinden topladıkları *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. var. *ferulae* Lanzi'nin, kültüre alınabilmesi için bir çalışma yürütmüşlerdir. Misel ana kültürünün çoğaltılmasında; %2.0 malt-ekstrakt agar, tohumluk misel üretiminde ise arpa kullanmışlardır. Misel ve tohumluk misel, 25°C'de inkübasyona alınmış, 4°C'de muhafaza edilmiştir. Ülkemizde doğal olarak yetişen ve kültüre alınması planlanan *P. eryngii* var. *ferulae*, laboratuvar koşullarında kültürü yapılarak koruma altına alınmış ve gen kaynakları muhafaza edilmiştir.

Moonmoon ve ark. (2010), verim parametrelerini incelemek adına talaş ve pirinç samanı ortamları kullandıkları Bangladeş (Pe-1), Çin (Pe-2) ve Japonya'dan (Pe-3) toplanan *Pleurotus eryngii* mantarları ile bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonunda en yüksek biyolojik etkinlik (%73,5) talaş ortamında yetiştirtilen Pe-1 ortamında gözlemlenmiştir. Ayrıca talaş kullanılan ortamlardan elde edilen mantarların verim ve kalitesi pirinç samanı ortamına göre daha yüksek iken, pirinç samanında yetiştirilen mantarların meyve iriliğinin daha büyük olduğunu bildirmişlerdir.

Ohga (2010), *Pleurotus eryngii* ve *Pleurotus abalonus* yetiştiriciliğinde farklı ağaçlardan elde edilen talaşların yetiştirme ortamı olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırmanın sonunda. Çeşitli ağaç türlerinde misel gelişimi ve taslak oluşumu açısından farklılıklar bulunmasına rağmen, *Larix kaempferi* (Japon melezi) dışında yetiştiricilik için uygun olmayan bir tür bulunmadığını ve *P. abalonus* ve *P. eryngii* yetiştiriciliğinde çeşitli ağaç türlerinin kullanılabilceğini bildirmiştir.

Dadaylı (2014), *P. eryngii* 3065 çeşidini kullandığı denemede örtü topraklı (ÖT), örtü topraksız (S) ve standart yetiştirilmeyi takiben birinci hasat sonrası parçalama ve örtü toprağı serme (S+P+ÖT) olmak üzere 3 farklı uygulama yapmıştır. Çalışmada buğday çay artığı (ÇA) samanı (BS), ve pirinç kepeğı (PK) karışımından hazırlanan 10 farklı yetiştirme ortamı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek verim ve biyolojik etkinliğı 90BS+10PK, 100BS ve 75BS+15ÇA+10PK ortamları ile ÖT ve S+P+ÖT uygulamasından elde ettiğini bildirmiştir.

Şanlı (2014) tarafından yürütölen yüksek lisans çalışmasında, yetiştirme ortamı olarak gül işleme ve sarımsak atıkları kullanılmış ve torba başına elde edilen ortalama verim değerleri 152,60 ile 217,80 g arasında değişmiştir. Sarımsak atıkları içeren ortamlarda en yüksek verim, biyolojik etkinlik (BE) ve üretim oranı (314.60, %84.94 ve 0.74) 75KT+25SA ortamında kaydedilmiş, bu değerler istatistiksel olarak farklılık göstermeyen 80KT+20SA ortamı (251,20 g, %84,78 ve 0,71) ile benzer bulunmuştur. Bu bulgular, gül işleme ve sarımsak atıklarının *P. eryngii* yetiştiriciliğinde kullanılabilceğini göstermektedir.

Kibar (2016), buğday sapı (BS), mısır sapı (MS), kavak talaşı (KT) ve çayı (Ferula communis) bitki artığı (ÇBA) ortamları tek başlarına ve bu ortamlara %20 oranında buğday kepeğı (BK) veya çeltik kepeğı (ÇK) ilave edilerek hazırlanan toplam 12 farklı yetiştirme ortamı kullandığı çalışmada bu ortamların *P. eryngii* mantarının misel gelişim süresi, hasat süresi, verim ve biyolojik etkinliğini (BE) üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırmanın sonuçlarına bakıldığında en hızlı misel gelişimi (13.6 gün) ve hasat süresi (41 gün) MS ortamında gözlenirken, en uzun misel gelişimi (36.6 gün) ve hasat süresi (70.2 gün) ise BS+PK ortamında gözlemlenmiştir. Aynı zamanda MS ortamı en yüksek verim (%24.4) ve biyolojik etkinliğı (%81.33) gösteren ortam olmuştur.

Oluklu ve Kibar (2016), Iğdır ilinden toplanan *P. eryngii* mantarının optimum misel gelişim koşullarını ve tohumluk misel üretimi için en uygun sardırma materyalini belirlemek üzere bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma, besin ortamı, pH, sıcaklık, karbon ve azot kaynaklarının misel gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir.

Sardırma materyalleri olarak arpa, buğday, çavdar, darı, mısır, pirinç ve yulaf kullanılmıştır. Çalışmada, misel gelişimi için en iyi besin ortamlarının MYP A (Malt Extract Peptone Agar) ve MEPA (Malt Extract Potato Agar) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, optimum misel gelişimi sıcaklığının 25 °C ve pH değerinin 5,5 olduğu belirlenmiştir. Tohumluk misel üretimi için en uygun sardırma materyalleri ise pirinç, darı ve çavdar olarak bulunmuştur. Bu çalışmalar, *Pleurotus eryngii* yetiştiriciliğinde çevresel ve substrat faktörlerinin önemini ortaya koyarken, alternatif yetiştirme materyallerinin kullanım potansiyelini de göstermektedir.

Atilla (2017), tarafından yapılan çalışma, çeşitli lignoselülozik tarımsal atıkların *Pleurotus* türlerinin yetiştiriciliği için uygunluğunu değerlendirmiştir. Araştırmada kullanılan yetiştirme ortamları meşe talaşı (OS), fasulye samanı (BS), aspir otu (SH) ve ayçiçeği baş kalıntısı (SFH) olmuştur. Çalışmada misel gelişim süresi, primordium oluşumuna kadar geçen süre, ilk hasada kadar geçen süre, verim, biyolojik etkinlik (BE) ve ortalama mantar ağırlığı gibi parametreler detaylı olarak incelenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, misel gelişim süresi açısından en uygun ortam aspir otu olarak belirlenmiş; buna karşın meşe talaşı tüm *Pleurotus* türlerinde en yavaş gelişimi göstermiştir. Biyolojik etkinlik (BE) açısından, *P. djamor* ve *P. eryngii* türleri için aspir otu sırasıyla %77,8 ve %73,1 BE ile en iyi sonuçları vermiştir. Bu türlerde ikinci sırada fasulye samanı (%78,2 ve %67 BE) gelirken, meşe talaşı (%62,5 ve %66,6 BE) en düşük değerleri göstermiştir. Ancak *P. citrinopileatus* türü için en uygun yetiştirme ortamı %73,9 BE ile meşe talaşı olmuştur. Kimyasal içerik analizi, *P. djamor* ve *P. eryngii* arasında kimyasal içerik bakımından fark bulunmadığını, ancak *P. citrinopileatus* türünde kullanılan substratların selüloz ($r^2 = 0,973$) ve lignin içerikleri ($r^2 = 0,991$) arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Selüloz ve lignin içeriklerinin *P. djamor* ve *P. eryngii* üzerinde etkisi tespit edilmezken, *P. citrinopileatus* yetiştiriciliği için önemli olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonunda, fasulye samanı ve aspir otunun *P. eryngii* ve *P. djamor* yetiştiriciliği için meşe talaşı ve buğday samanına alternatif substratlar olarak kullanılabilceği; ayçiçeği baş kalıntısının ise *P. citrinopileatus* için alternatif substrat olabileceği belirtilmiştir.

Atilla (2017), özellikle Akdeniz Bölgesi'nde zeytin yağı üretimi sonrasında kalan atık zeytin prinasının (OPC) *P. eryngii*, *P. djamor*, ve *P. citrinopileatus* türlerinin yetiştiriciliğinde kullanılabilirliği adına bir çalışma yapmıştır. Çalışmada kontrol ortamı olarak kayın talaşı kullanılmış, kayın talaşı ortamlarına %25, %50 ve %75 OPC eklemesi yaparak 4 farklı uygulama kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yetiştirme ortamlarına farklı

oranlarda eklenen OPC'nin misel gelişimi, taslak oluşumu, ilk hasada kadar geçen süre, verim ve biyolojik etkinlik gibi faktörler üzerinde kötü bir etki yaratmadığını, özellikle %25 ve %50 OPC ortamları kullanılan tüm *Pleurotus* türlerinde kontrol ortamına göre daha yüksek biyolojik etkinlik gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca en yüksek verim ve biyolojik etkinliğin %75 OPC ortamında yetiştirilen *P. djamor*'da elde edilmiştir. Yani çalışma sonucunda yüksek oranlarda OPC kullanımının *Pleurotus* türlerinin yetiştiriciliği için umut verici bir katkı maddesi olduğunu ve mantar yetiştiriciliğinde alternatif bir ortam olarak kullanımının OPC bertarafını önlemek adına çevre dostu bir yöntem olabileceğini aktarmıştır.

Şelem ve ark. (2019), Van'ın Gürpınar ilçesinde toplanan ve yenilebilen mantar türleri üzerinde bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmalar sonucunda bölgede 4 ordo ve 11 familyaya ait 36 yenilebilir yabancı makromantar türü belirlenmiştir. Bunlardan 8 tanesi Ascomycota bölümüne, 28 tanesi ise Basidiomycota bölümüne aittir. Belirlenen taksonlardan *Agaricus bisporus*, *A. campestris*, *A. urinascens*, *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus* ve *P. populinus* yerel halk tarafından toplanıp tüketilmektedir. Yörede yetişen ve ekonomik öneme sahip tek türün ise *Pleurotus eryngii* olduğunu bildirmişlerdir.

Zhou ve ark. (2022), deniz tarağı kabuğu tozunun (SSP) kral istiridyeye mantarı yetiştiriciliğinde kullanılabilme potansitelerini araştırmışlardır. Çalışmada talaş ve şeker kamışı ortamlarına %2 oranında SSP takviye edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre SSP takviyesi *P. eryngii*'nin misel gelişimini hızlandırmış, ayrıca SSP takviye edilmeyen ortamlara kıyasla verim ve biyolojik etkinlik daha yüksektir. Bununla birlikte SSP takviye edilen ortamlardan yetiştirilen mantarların ham protein, lif ve kalsiyum içeriğinin de daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

2.2. Farklı Çevresel Faktörlerin Mantar Verimine Etkileri

Ryu ve ark. (2005), *P. eryngii* yetiştiriciliği için optimum CO₂ seviyesini araştırmışlardır. Çalışmada optimum CO₂ miktarını belirlemek amacıyla mantarlar 1600, 2400 ve 3200ppm CO₂ altında yetiştirilerek verim ve kalite özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan aldıkları sonuçlara göre 2400ppm'in *P. eryngii* yetiştiriciliği için optimum CO₂ konsantrasyonu olduğunu bildirmişlerdir.

Kim ve ark. (2012), farklı dalga boylarındaki LED ışıklarının *eryngii* mantarının kalite özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada ışık kaynağı olarak mavi (450 nm), kırmızı (650 nm), yeşil (525 nm), UV-A (365 nm) ve karışık ışıklandırılma yapılmıştır. Kontrol uygulaması olarak ie floresan lamba kullanılmıştır. Çalışmada elde

edilen sonuçlara göre ışık dalga boyunun *P. eryngii*'nin büyüme ve kalite özelliklerini etkilediği, *P. eryngii*'nin daha kaliteli yetiştirilmesi için kırmızı LED ışık kullanımının tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir.

2.3. FTIR Spektroskopisi Yönteminin Lignoselülozik İçeriğın Belirlenmesinde Kullanımı

Selüloz, hemiselüloz ve ligninin belirlenmesine yönelik çoğu analitik yöntem, bunların ayrıştırılmasına ve ardından izolasyonuna dayanmaktadır (Baeza ve ark., 2000). Ancak bu yöntemler tahrip edici ve zahmetlidir, önemli miktarda malzeme gerektirir, büyük miktarda kimyasal atık oluşturur ve her zaman güvenilir sonuçlar vermez (Baeza ve ark., 2000; Tian ve ark., 2016). Bu bileşenlerin belirlenmesi için basit ve hızlı spektroskopik yöntemlerin oluşturulması arzu edilmektedir ve bunlar arasında IR spektroskopisi en uygun ve cazip olanıdır (Castillo ve ark., 2016). Fourier-transform IR (FTIR) spektroskopisi, hızlı ve kolay numune hazırlama özelliğine sahip olduğundan ve büyük miktarda test numunesi gerektirmediğinden, lignoselülozik materyallerin analizinde başarıyla kullanılmaktadır.

Bekiaris ve ark. (2020), *Cyclocybe cylindracea* mantarlarının yetiştirilmesinde kullanılan lignoselülozik atıklardaki bileşimsel değişiklikleri belirlemek, substratlarda gelişmiş verimlilikle ilişkili bileşikler tanımlamak ve mantar üretim sürecindeki biyolojik verimliliği tahmin etmek için çok değişkenli analiz kullanarak kemometrik bir model geliştirmek için Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopisine dayalı bir yöntem geliştirilmeye çalışılmışlardır ve *C. cylindracea* biyolojik verimlilik değerlerinin lignoselülozik bileşiklerdeki başlangıç maddeleri içeriğiyle pozitif korelasyonunu ve protein ve fenolik içerikleriyle negatif korelasyonunu gösteren temel bileşen analizi sonuçlarıyla uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada, FTIR verileri ve kemometrinin birlikte kullanımı, *C. cylindracea* büyümesi ve fruktifikasyonu sırasında ana substrat bileşenlerinin yapısal modifikasyonları hakkında değerli bilgiler sağlar ve mantar yetiştiriciliği için kullanılmadan önce substratların uygunluğunu değerlendirmek için kullanılabilen rapor edilmiştir.

Akçay ve ark. (2023), istiridye mantarı (*Pleurotus ostreatus*) üretiminde farklı lignoselülozik atıkların kullanımı araştırılmıştır. Denemelerde, fındık dalı (*Corylus avellana* L.), fındık kabuğu, buğday samanı, pirinç kabuğu ve kullanılmış kahve telvesi kullanımını değerlendirdikleri çalışmalarında mantar üretim sürecinde yetiştirme ortamlarında meydana gelen değişimleri FTIR analizleri değerlendirmişler ve özellikle

1735, 1625, 1510, 1322 ve 1230 cm^{-1} dalga sayılarında lignoselülozik bileşenlerde anlamlı değişiklikler meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Bu değişimlerin, selüloz, hemiselüloz ve lignin yapı taşlarının mantar metabolizması sürecinde dönüştüğünü gösterdiği çalışma sonuçlarında vurgulanmıştır.

Çetin ve ark. (2025), beyaz şapkalı mantar (*Agaricus bisporus*) yetiştiriciliği için alternatif bir örtü toprağı malzemesi olarak zeytin prinasının potansiyelini değerlendirdikleri çalışmalarında, üretim öncesi ve sonrası alınan örtü toprağı örneklerine ait FTIR spektroskopisi sonuçları, mantar enzimatik aktivitesinin etkisiyle örtü toprağı içeriğinde bulunan selüloz, hemiselüloz ve ligninin kapsamlı bir şekilde parçalandığını doğrulamıştır.

2.4. FTIR Spektroskopisi Yönteminin Mantar Besin İçeriğinin Belirlenmesinde

Kullanımı

Liu ve ark. (2006), yabancı olarak yetişen altı *Boletes* türünün FTIR spektrumlarındaki ana pikler proteinlere ve polisakkaritlere atfetmişler ve karakteristik bantlar mantarların polisakkaritlerindeki α -glukanların (1155, 1025, 930, 850 cm^{-1}) ve β -glukanların (1160, 1078, 1041, 890 cm^{-1}) varlığını ortaya koyduğunu bildirmişlerdir.

Zhao ve ark., (2006), farklı mantar türlerinin ve aynı mantarın farklı kısımlarının karakteristik bantlarındaki ve absorbans oranlarındaki farklılıklara dayanarak, örneklerin ayırt edilebileceğini rapor etmişlerdir.

O’Gorman ve ark. (2010) mantarlarda mekanik hasar ve yaşlanmanın neden olduğu kimyasal değişikliklerin FTIR spektrumlarının temel bileşen analizi, fiziksel hasarın doku yapısı ve yaşlanma süreci üzerinde etkisini tanımlanabileceğini, özellikle mantarlardaki hasarı değerlendirmek için kemometrik veri analizi ile birlikte FTIR spektroskopisinin kullanışlı olduğunu vurgulamışlardır.

Chen ve ark. (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada, *Ganoderma lucidum* sporlarının kırık hücre duvarlarını tanımlamak amacıyla FTIR mikrospektroskopisi kullanılmıştır. Çalışmada, sağlam *G. lucidum* sporları ile kırık hücre duvarına sahip sporlar arasındaki IR spektrumları karşılaştırılmış ve belirgin farkların özellikle 3000–2800 cm^{-1} , 1660–1600 cm^{-1} , 1400–1200 cm^{-1} ve 1100–1000 cm^{-1} dalga sayısı bölgelerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar, başta proteinlerin ikincil yapıları olmak üzere, spor hücre duvarlarında bulunan polisakkarit bileşimlerinde önemli yapısal değişikliklere işaret etmektedir.

Başka bir çalışmada, *Pleurotus* mantarlarının türlerinin belirlenmesi ve taksonlarının ayrılması için dağınık yansıma kızılötesi Fourier dönüşümü (DRIFT) spektroskopisi kullanılmıştır. Yakın akraba türlerin benzer spektrumlar sergilediği belirtilirken, genetik olarak farklı türlerin spektrumlarında önemli bir fark gözlenmiştir. *Pleurotus* türleri arasında 1800-600 cm^{-1} bölgesinde önemli bir fark gözlenmiştir ve bu da bilinmeyen *Pleurotus* türlerinin tanımlanmasında bu tekniğin potansiyelini göstermektedir (Zervakis ve ark., 2012).

Ganoderma ticari ürünlerinin coğrafi kökeninin doğrulanması için FTIR spektroskopisi ve 2D-IR spektroskopisi de kullanılmıştır. Bu teknikler, spektrumlarını bilinen bölgelerden gelen ürünlerin spektrumlarıyla karşılaştırarak ürünlerin içerik profilini ve bu ürünlerin coğrafi kökenini tahmin etmek için kullanılmıştır (Choong ve ark., 2014).

Puliga ve ark. (2022), in vitro misel büyüme oranı, lignoselülozik fraksiyonun parçalanma kapasitesi, biyolojik verimlilik ve Zayıflatılmış Toplam Yansıma-Fourier dönüşümlü kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi kullanılarak farklı substratlar üzerinde büyüyen mantarlar arasındaki niteliksel farklılıklar araştırdıkları çalışmalarında *G. lucidum*, *L. edodes* ve *P. cornucopiae* 'nin fındık kabuklarının lignoselülozik fraksiyonunu büyütme ve çürütme yeteneğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, ATR-FTIR analizi, incelenen meyve gövdeleri için kimyasal bir bakış açısı sağladığını ve incelenen substratlar arasında farklılıklar bulunduğunu bildirmişlerdir.

Wickramasinghe ve ark. (2023), dört farklı mantar türünden elde ettikleri FTIR sonuçları, mantar örneklerinde yağ (1740 cm^{-1}), protein (1560 cm^{-1}), polisakkaritler ($1500-750 \text{ cm}^{-1}$) ve nem (3300 cm^{-1}) ile ilişkili fonksiyonel grupların varlığını ortaya koyduğunu bildirmişlerdir.

Atila ve Çetin (2024), farklı oranlarda kavak talaşı ile lavanta samanı ve lavanta çiçeği atıkları gibi lavanta ekstraksiyon atıklarının karıştırılmasıyla hazırlanan yetiştirme ortamlarının *P. eryngii* var. *Ferulae* mantarının besin içeriğine etkisini FTIR yöntemi kullanarak analiz etmişler ve mantardaki organik bileşiklerin ve fonksiyonel grupların FTIR yöntemiyle analiz edilmesi, yenilebilir mantarların besin kalitesini ve biyoaktif içeriğini iyileştirme çalışmaları için yararlı olacağını bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Misel kültürleri

Araştırma Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait misel ve mantar üretim laboratuvarında 2024 yılında yürütülmüştür.

Araştırmada kullanılan *Pleurotus eryngii* türüne ait saf kültür Homegreen (Hollanda) misel firmasından temin edilmiştir.

3.1.2. Yetiştirme ortamı hazırlığında kullanılan materyaller

Yetiştirme ortamı olarak kullanılan yer fıstığı samanı, yer fıstığı kabuğu ve mercimek samanı Osmaniye'deki yerel üreticilerden temin edilmiş olup, kavak talaşı ve çam talaşı ise Kırşehir'deki kereste işletme atölyelerinden temin edilmiştir.

Mantar misellerinin üretimi 90 mm çapındaki cam petrilerde, tohumluk misel üretimleri ise 800 ml hacme sahip cam kavanozlarda yapılmıştır. Mantar üretiminde 29 x 45 cm boyutlarındaki ısıya dayanıklı polipropilen torbalar kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Tohumluk misellerin hazırlanması

Pleurotus eryngii mantarının saf kültürü, PDA besin ortamında çoğaltılmış ve misel sarımı tamamlanana kadar 20-25°C arasında inkübatörde bekletilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere, bu saf kültürler +4°C'de buzdolabında saklanmıştır.

Tohumluk misel üretiminde, buğday tohumları tercih edilmiştir. Buğday tohumları bir gece boyunca suda bekletilerek su emip yumuşamaları sağlanmış, ardından fazla su süzülerek alçı eklenmiştir. Hazırlanan bu karışım torbalara doldurulmuş ve 121°C'de, 1.2 atm basınçta 90 dakika boyunca sterilize edilmiştir. Sterilizasyon sonrası, her bir torbaya misel kültüründen iki kaşık eklenmiş ve 25±2°C sıcaklıkta inkübasyon gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Yetiştirme ortamı hazırlığı ve misel ekimi

Denemelerin başlamasından önce, daha önceki üretimlerden kaynaklanabilecek bakteri risklerini ortadan kaldırmak amacıyla, ranzalar, duvarlar ve zemin çamaşır suyu çözeltisiyle temizlenmiştir. Ardından, tüm yüzeyler bol su ile durularak temizlik malzemesi kalıntıları tamamen uzaklaştırılmıştır. Son olarak, odalara %2'lik formaldehit çözeltisi uygulanmıştır. Formaldehitin etkisini artırmak ve buharlaşmasını kolaylaştırmak için oda sıcaklığı 20-22°C civarında tutulmuştur. Bu işlem sonrası, odalar iki gün boyunca

havalandırılmamış; fanlar çalıştırılarak formaldehitin odanın her yerine eşit şekilde yayılması sağlanmıştır. İki günlük sürecin ardından havalandırma açılarak formaldehit kalıntıları ortamdaki uzaklaştırılmıştır.

Yetiştirme ortamı hazırlanırken ana materyal olarak yer fıstığı samanı (YFS), mercimek samanı (MS), çam talaşı (ÇT), kavak talaşı (KT) ve yer fıstığı kabuğu (YFK) kullanılmıştır. Homojen bir karışım elde edebilmek için yer fıstığı samanı 2-3 cm boyutunda kesilmiştir. Denemelerde kullanılan substrat materyalleri karıştırıldıktan sonra nem oranı 65 ± 5 seviyesine getirilmiş ve karışıma %1 oranında alçı eklenmiştir.



Şekil 3.1. Yetiştirme ortamında kullanılan materyaller

Hazırlanan yetiştirme ortamları 29 x 45 cm boyutlarındaki ısıya dayanıklı polipropilen torbalara 1'er kg olacak şekilde doldurulmuştur. Torbaların ağzı pamuk tıkaç ile kapatılmış ve paket lastiği ile sabitlenmiştir.



Şekil 3.2. Torbalara doldurulan ortamlar

Sterilize edilen torbalar, 121°C’de ve 1 atm basınçta 1,5 saat süreyle otoklavda işlem görmüştür. Sterilizasyon tamamlandıktan sonra, torbalar steril kabin içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Torbalar oda sıcaklığına ulaştığında, her birine %3 oranında tohumluk misel eklenmiştir. Misel ekimi yapılan torbalar, 25°C sıcaklık ve %80 nem oranına ayarlanmış misel gelişim odasına yerleştirilmiştir.

Sterilizasyon işlemi sonrası, pH, nem, kül, karbon (C), azot (N) ve mineral madde miktarlarının tespiti amacıyla her bir yetiştirme ortamından 300 gramlık örnekler alınmıştır.



Şekil 3.3. Steril kabin içerisinde misel ekimi

3.2.3. Mantar üretimi

Misel ekimi yapılan torbalar, 25°C'ye ayarlanmış ve karanlık koşullarda misel gelişim odasına yerleştirilmiştir. Misel gelişimi tamamlandığında, torbaların ağızları açılmış ve üretim odasına taşınmıştır. Üretim odasının sıcaklığı, taslak ve şapka oluşumunu teşvik etmek amacıyla kademeli olarak 18±2°C'ye düşürülmüştür. Ayrıca, odada floresan lambalar kullanılarak günlük yaklaşık 8 saatlik aydınlatma sağlanmıştır. Nem oranı %80-90 arasında tutulmuş ve fazla karbondioksidin uzaklaştırılması için düzenli havalandırma yapılmıştır.

Bu deneme, her bir uygulama için 12 tekerrür olacak şekilde planlanmıştır. Hasat edilen mantar örneklerinin morfolojik özellikleri incelenmiş, ölçümler gerçekleştirilmiş ve kimyasal analizler için gerekli örnekler toplanmıştır.



Şekil 3.4. Misel gelişim odasına alınan torbalar

3.2.4. Yetiştirme odalarının kimyasal özellikleri ile ilgili yapılan analizler

Hazırlanan örnekler, yetiştirme ortamlarından üç farklı dönemde alınmış ve çeşitli analizlere tabi tutulmuştur: sterilizasyon sonrası dönem, misel gelişimi sonrası dönem ve hasat sonrası dönem. Uygulanan analizler şu şekildedir:

Nem (%): Her bir uygulamadan alınan örneklerin yaş ağırlıkları ölçülmüş, ardından 65°C'ye ayarlanmış etüvde sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuştur. Kuru ağırlıklar belirlenerek, ortamdaki nem miktarları Kacar ve İnal (2008) yöntemine göre hesaplanmıştır.

pH: Her uygulama için 20 g örnek tartılarak 50 ml saf su eklenmiş, karışım 8 saat bekletildikten sonra süzölmüş ve pH metre ile ölçüm yapılmıştır (Jackson, 1962).



Şekil 3.5. pH metre ile pH ölçümü

Elektriksel İletkenlik (EC): Her uygulamadan 5 g örnek alınmış, 50 ml saf su ilavesiyle 8 saat bekletilmiş ve karışım süzülerek EC metre ile ölçülmüştür.



Şekil 3.6. EC metre ile EC ölçümü

Kül (%): Mantar örnekleri, kül fırınında 525±25°C'de yakılarak kül miktarı tespit edilmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Karbon (%): Karbon (%)= (100-kül(%))x0.58 formülü ile hesaplanmıştır (Royse ve Sanchez, 2007).

Toplam Azot (%): Toplam azot analizi Kheldahl yöntemi kullanılarak yapılmıştır (AOAC, 1984).

C:N Oranı: Karbon miktarının azot miktarına oranlanmasıyla bulunmuştur.

Asit deterjan lif (ADF) oranı (%): Öğütülmüş mantar örnekleri, F57 keselerine 0,5 gr tartılarak ağızları sıcak baskı ile kapatılmış ve fiber analiz cihazında 60 dakika ADF solüsyonuyla muamele edilmiştir. Örneklerin her biri 5'er dakika olmak üzere 2 sıcak ve 1 kez soğuk saf su ile 3 kez yıkanmıştır. Preslenen keseler 3 dakika asetonda bekletildikten sonra 105 °C'de 4-5 saat kurutularak tartılmış, ADF oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Cherney ve ark.,1985; Vogel ve ark., 1999).

$$ADF_{DM} \% = \frac{(W_3 - (W_1 \times C))}{W_2 \times DM} \times 100$$

W1= Ankom fiber torba ağırlığı

W2= Örnek ağırlığı

W3= Ekstraksiyon sonrası torba+örnek ağırlığı

DM= Kuru madde (%)

C= Boş torba (düzeltme faktörü)

Asit deterjan lignin (ADL) oranı (%): Asit deterjan lif oranı belirlenen örneklerin F57 keseleri % 72'lik sülfürik asit içerisinde 30 dakika çalkalama ve 3 saat bekletmeden sonra çeşme suyu ile pH nötr oluncaya kadar yıkanmıştır. pH nötr örnekler 3 dakika asetonda bekletildikten sonra 105 °C'de 4-5 saat kurutulup ve tartılarak ADL oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Cherney ve ark.,1985; Vogel ve ark., 1999).

$$ADL_{DM}\% = \frac{(W_3 - (W_1 \times C))}{W_2 \times DM} \times 100$$

W1= Ankom fiber torba ağırlığı

W2= Örnek ağırlığı

W3= Ekstraksiyon sonrası torba+örnek ağırlığı

DM= Kuru madde (%)

C= Boş torba (düzeltme faktörü)

Nötral deterjan lif (NDF) oranı (%): Öğütülmüş örnekler, F57 keselerine 0,5 gr tartılıp sıcak pres ile ağızları kapatılarak, fiber analiz cihazında 75 dakika NDF solüsyonuyla muamele edilmiştir. Bu işlem sonrasında örnekler üzerine alfa amilaz eklenerek 5'er dakika olmak üzere 2 sıcak ve 1 kez soğuk saf su ile 3 kez yıkanmıştır. Preslenen keseler 3 dakika asetonda bekletildikten sonra 105 °C'de 4-5 saat kurularak tartılmış ve NDF oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Cherney ve ark.,1985; Van Soest ve ark., 1991).

$$NDF_{DM}\% = \frac{(W_3 - (W_1 \times C))}{W_2 \times DM} \times 100$$

W1= Ankom fiber torba ağırlığı

W2= Örnek ağırlığı

W3= Ekstraksiyon sonrası torba+örnek ağırlığı

DM= Kuru madde (%)

C= Boş torba (düzeltme faktörü)

3.2.5. Verim parametreleri ile ilgili ölçümler

Misel Gelişim Süresi (gün): Misel ekiminden, misellerin yetiştirme ortamını tamamen sarıncaya kadar geçen süre hesaplanmıştır.

Taslak Oluşumuna Kadar Geçen Gün Sayısı: Misel ekiminden ilk pinlerin oluşumuna kadar geçen süre kaydedilmiştir.

Hasada Kadar Geçen Gün Sayısı: Misel ekiminden ilk hasada kadar geçen süre ölçülmüştür.

Toplam Verim (g/kg ortam): Her uygulamada yapılan hasat sonucunda elde edilen mantarlar tartılarak toplam verim hesaplanmıştır.

Biyolojik Etkinlik Oranı (BEO): Aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:
$$\text{BEO (\%)} = (\text{Hasat edilen taze mantar ağırlığı (g)} \times 100) / \text{Yetiştirme ortamının kuru ağırlığı (g)}.$$

3.2.6. Mantar kalitesi ile ilgili ölçümler

Şapka Uzunluğu ve Şapka Eni (cm): Şapkanın ve sapın en uzun ve kısa kısımları kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

Sap Çapı (cm): Sapın şapka ve yetiştirme ortamıyla birleştiği kısımlar ile orta noktası üç kez ölçülerek ortalaması alınmıştır.

Sap Uzunluğu (cm): Şapka ile ortam yüzeyi arasındaki mesafe ölçülerek sap uzunluğu hesaplanmıştır.

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopik analiz

Örneklerin toplanmasıyla ilgili olarak, her bir replikat için 1 g (substrat başına üç replikat kullanılmıştır) (I) mantar tarafından substrat inokülasyonundan önce ve (II) mantar yetiştirme sürecinin sonunda elde edilmiş, kurutulmuş ve ince toz haline getirilmiştir.

Mantar yapılarındaki organik bileşikleri ve fonksiyonel grupları tanımlamak için ATR-FTIR spektroskopisi yapılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında, ATR ünitesi ve DLATGS dedektörü olan bir IRTracer-100 FTIR spektrometresi (Shimadzu, Japonya) kullanılarak yapılmıştır. Her spektrum, 4000-450 cm^{-1} 'yi kapsayan 4 cm^{-1} çözünürlükte 128 taramadan oluşmuştur. FTIR spektroskopik analizi Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (EGE-MATAL)'nde gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan çalışmada *P. eryngii* yetiştiriciliğinde orman ve tarım atıklarının lignoselülozik içeriğinde meydana gelen değişimler belirlenmiş ve sonuçlar yetiştirme ortamlarından elde edilen mantar verimi ile ilişkilendirilmiştir. Bu substratların *P. eryngii* mantarının morfolojik parametreleri ve besin içeriğine olan etkileride belirlenmiştir. Araştırma bulguları şekil ve tablolarla desteklenmiştir.

4.1.Çalışmada Test Edilen Substratların Başlangıç Kimyasal ve Lignoselülozik İçeriği

Yetiştirme ortamı olarak kullanılan Mercimek samanı (MS), Yer fıstığı samanı (YFS), Yer fıstığı kabuğu (YFK), Kavak talaşı (KT) ve Çam talaşı (ÇT) ortamlarından sterilizasyon sonrasında alınan örneklerin, pH, elektrolitik iletkenlik (EC) değerleri, toplam azot (N), kül, karbon (C), karbon-azot oranı (C:N), hemiselüloz, selüloz ve lignin içerikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen dört lignoselülozik substratın fizikokimyasal özellikleri Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Substratların fizikokimyasal özellikleri, *Pleurotus eryngii* yetiştirme performansında gözlemlenen varyasyonlara ilişkin kritik bilgiler sağlar. Analiz edilen substratlar arasında EC, pH, N, C, kül ve C:N oranları açısından önemli farklar gözlemlenmiştir ($p<0.001$).

Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan substratların kimyasal analizi

Substrat	pH	Ec (dS m ⁻¹)	Kül (%)	C (%)	N (%)	C:N
MS	5.9±0.06 b	3.90±0.67 a	8.62±0.10 b	53.0±0.06 c	1.12±0.03 b	47.4±1.22 c
YFS	6.8±0.06 a	1.19±0.03 b	10.20±0.29 a	52.08±0.17 d	0.78±0.02 a	66.8±0.51 c
YFK	6.6±0.07 a	0.98±0.06 c	5.55±0.08 c	54.78±0.05 b	0.57±0.05 c	96.7±7.88 b
KT	7.0±0.03 a	0.67±0.03 d	2.37±0.21 e	56.63±0.12 a	0.18±0.01 d	315.23±14.0 a
ÇT	6.9±0.05 a	0.54±0.03 e	3.38±0.45 d	56.04±0.28 a	0.17±0.02 e	329.5±12.0 a
<i>P value</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tukey testine göre aynı sütunda aynı harfle takip edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı değildir. (n = 10) (MS: mercimek samanı; YFK: yer fıstığı kabuğu; YFS: yer fıstığı samanı; KT: kavak talaşı; ÇT: çam talaşı)

Bu çalışmada incelenen dört lignoselülozik substratın fizikokimyasal özellikleri Tablo 4.1'de özetlenmiştir. Substratların pH'ı 5.9 ila 7.0 arasında değişmiştir; MS en düşük pH'ı, KT ise en yüksek pH'ı sergilemiştir. ÇT, YFK ve YFS ise sırasıyla 6.9, 6.8

ve 6.64 ile orta derecede asidik pH değerlerinde bulunmuştur. *Pleurotus* türleri için kritik bir faktör olan substrat pH'ı optimum olarak hafif asidik ve nötr arasında değişmektedir (Kalmış ve ark., 2008). Oluklu ve Kibar (2016) *P. eryngii* için optimum misel gelişim sıcaklığının 25 °C ve ortam pH değerinin ise 5.5 olduğunu, belirtilen değerlerden daha düşük değerlerin misel gelişimini yavaşlattığını belirtmişlerdir. Şanlı (2014), ise yaptığı çalışmada sterilizasyon sonrası aldığı ortam örneklerinde pH değerlerinin 6.24 ila 7.00 arasında değiştiğini bildirmiştir. Çalışmada kullanılan substratların pH değerleri, literatürde *P. eryngii* için önerilen değerlerle yakındır. Tüm substratlar optimum pH aralığında yer alırken, MS substratının daha asidik pH'ı mineral çözünürlüğünü artırarak besin alımını kolaylaştırabilir ve misel kolonizasyonunu hızlandırabilir (Rozsa ve ark., 2016).

Elektriksel iletkenlik (EC) 0.67 ila 3.90 mS/cm arasında önemli ölçüde değişiklik göstermiş ve MS en yüksek EC değerine sahip olmuştur. MS substratının yüksek EC'si (3.80 mS/cm) kül içeriğiyle uyumlu olup güçlü mineral biyoyararlanımına işaret eder. Çözünebilir tuz içeriğini yansıtan elektriksel iletkenlik (EC) (Maliki ve ark., 2023), MS substratının uygunluğunu daha da vurgulamıştır. ÇT'nin düşük EC'si (0.54 mS/cm) muhtemelen düşük mineral içeriğini yansıtmaktadır.

Mineral bileşimi ve substrat kalitesinin bir göstergesi olan kül içeriği, YFS'de (%10.20) en yüksekti, bunu MS (%8.62) izledi. Buna karşılık, YFK ve KT sırasıyla %5.55 ve %2.37 oranında önemli ölçüde daha düşük kül içeriğine sahipti. Kim ve ark., (2012), farklı ışık dalga boyu kullanarak *P. eryngii* yetiştirdikleri denemede kül içeriklerinin 6.1 ile 7.6 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Li ve ark., (2015) ise farklı yetiştirme ortamları kullandıkları *P. eryngii* de kül içeriğinin 48.76 – 52.84 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Mineral bolluğunun göstergesi olan yüksek kül içeriği (Hubberts, 2012), mantar yetiştiriciliğinde gelişmiş metabolik aktivite ve verim ile ilişkilidir (Alananbeh ve ark., 2014). Bu durum, daha yüksek kül içeriği ve üstün misel gelişimi ve üretkenliği sergileyen MS ve YFS substratları ile örneklendirilmiştir. Tersine, YFK ve KT substratlarındaki düşük kül içeriği muhtemelen mineral kullanılabilirliğini sınırlandırarak verimliliğinin azalmasına katkıda bulunmuştur.

N içeriği önemli ölçüde farklılık gösterdi, MS en yüksek miktarı (%1.12) ve KT en düşük miktarı (%0.18) içeriyordu. Karbon bakımından en yüksek değere sahip olan ortam %56.63 ile YFK olarak belirlenirken, en düşük değere sahip ortam ise %52.08 ile YFS ortamı olarak tespit edilmiştir. Substrat besin değerini değerlendirmek için kritik bir parametre olan C/N oranı, KT substratında (314.61) en yüksekti, bunu YFK (96.11), YFS

(66.77) ve MS (47.32) izledi. Bandura ve ark., (2022), yaptıkları çalışmada ortalama C:N oranının 46.86 ± 1.11 olduğunu ve bu değerlerin talaş ortamında *Pleurotus* türlerinin yetiştirilmesi için uygun değerler olduğunu bildirmişlerdir. MS substratının yüksek azotu (%1.12) ve ideale yakın C/N oranı (47.32), *P. eryngii* yetiştiriciliği için optimum aralıkla (45-55:1) yakından eşleşerek hızlı misel büyümesini ve meyve oluşumunu teşvik etmiştir (Zied ve ark., 2021). Buna karşılık, daha yüksek C/N oranlarına sahip substratlar (örneğin, KT: 314.61; YFK: 96.11), besin açısından sınırlı ortamlarla ilgili literatürle tutarlı olarak uzun süreli kolonizasyon ve primordia oluşumunu gerektirmiştir (Philippoussis ve ark., 2001; Atila ve ark., 2019). KT'nin yoğun fiziksel yapısı, gaz alışverişini engelleyerek bu gecikmeleri muhtemelen daha da kötüleştirmiş ve metabolik aktiviteyi daha da bastırmıştır (Belletini ve ark., 2015).

Analiz edilen substratlar arasında selüloz, hemiselüloz ve lignin oranları açısından önemli farklar gözlemlenmiştir ($p < 0.001$). Bu çalışmada incelenen dört substratın lignoselülozik özellikleri Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan substratların lignoselülozik analizi

Growing Media	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin
MS	32.3±0.6 b	20.1±0.7 a	8.6±0.3 c
YFS	24.9±0.3 c	14.5±0.5 b	10.2±0.3 b
YFK	22.7±1.2 c	10.5±0.3 c	21.9±0.5 a
KT	44.4±0.5 a	13.3±0.4 b	22.4±1.2 a
ÇT	46.6±0.8 a	12.1±0.4 b	20.7±1.0 a
<i>P value</i>	<0.001	<0.001	<0.001

Tukey testine göre aynı sütunda aynı harfle takip edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı değildir. (n = 10) (MS: mercimek samanı; YFK: yer fıstığı kabuğu; YFS: yer fıstığı samanı; KT: kavak talaşı; ÇT: çam talaşı)

Substratların selüloz içeriği %22.70 ila %44.37, hemiselüloz %10.47 ila %20.10 ve lignin %8.57 ila %22.43 arasında değişti. KT en yüksek selüloz ve lignin içeriğini sergilerken, MS en yüksek hemiselüloz oranını içeriyordu.

4.2. Tarım ve Orman Endüstri Atıklarının *P. eryngii*'nin Ürün Döngüsüne Etkileri

P. eryngii'nin yetiştirme performansı çeşitli lignoselülozik substratlar arasında değerlendirildi ve substrat tipinin misel gelişimi, primordia oluşumu, ilk hasada kadar geçen süre, toplam verim ve biyolojik verimlilik (BE) dahil olmak üzere temel büyüme ve verim parametrelerini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. ($p < 0,001$). Misel kolonizasyonu MS'de (20.2 ± 0.75 gün) en hızlıydı, bunu YFS (23.4 ± 0.49 gün) ve KT (23.7 ± 0.78 gün) izledi, buna karşın YFK en uzun kolonizasyon süresini gerektirdi (25.3

± 0.46 gün). Baştuğ ve ark., (2022), 11 farklı yetiştirme ortamı kullanarak *P. eryngii* yetiştirmişler, çalışma sonucunda en kısa misel sarım süresi 17 gün ile G6(2:1 yer fıstığı kabuğu+buğday kepeği) ve G9(1:1:1 yer fıstığı kabuğu+meşe talaşı+buğday kepeği) en uzun ise 30 gün ile G4(1:1:1 meşe talaşı + kavak talaşı + buğday kepeği) ortamından elde edilmiştir. Çalışmada elde ettiğimiz bulgular ülkemizde ve dünya’da yapılan diğer çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

Akyüz ve Kırbağ (2009), farklı tarımsal ve endüstriyel atıkları kompost olarak değerlendirdikleri çalışmada *P. eryngii* için misel gelişiminin 10 ila 15 gün arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Atila (2019), 3 farklı *P. eryngii* izolatu kullandığı çalışmasında en kısa misel gelişim süresinin 14.8 en uzun ise 23.2 gün olduğunu bildirmiştir.

Tablo 4.3. Yetiştirme ortamının *Pleurotus eryngii*'nin yetiştirme döngüsü üzerine etkisi

Substrat	Misel gelişim süresi (gün)	Taslak oluşumuna kadar geçen süre (gün)	İlk hasada kadar geçen süre (gün)
MS	20.2 \pm 0.75 c	41.8 \pm 1.33 c	51.5 \pm 0.67 d
YFS	23.4 \pm 0.49 b	44.9 \pm 0.94 b	56.0 \pm 0.89 c
YFK	25.3 \pm 0.46 a	47.2 \pm 2.40 a	61.2 \pm 0.75 a
KT	23.7 \pm 0.78 b	46.3 \pm 0.46 ab	59.9 \pm 0.70 b
ÇT	Veri yok	Veri yok	Veri yok
<i>P value</i>	<0.001	<0.001	<0.001

Tukey testine göre aynı sütunda aynı harfle takip edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı değildir. (n = 10) (MS: mercimek samanı; YFK: yer fıstığı kabuğu; YFS: yer fıstığı samanı; KT: kavak talaşı; ÇT: çam talaşı)



Şekil 4.1. Üretim sırasında ortamlardaki misel gelişim başlangıcı

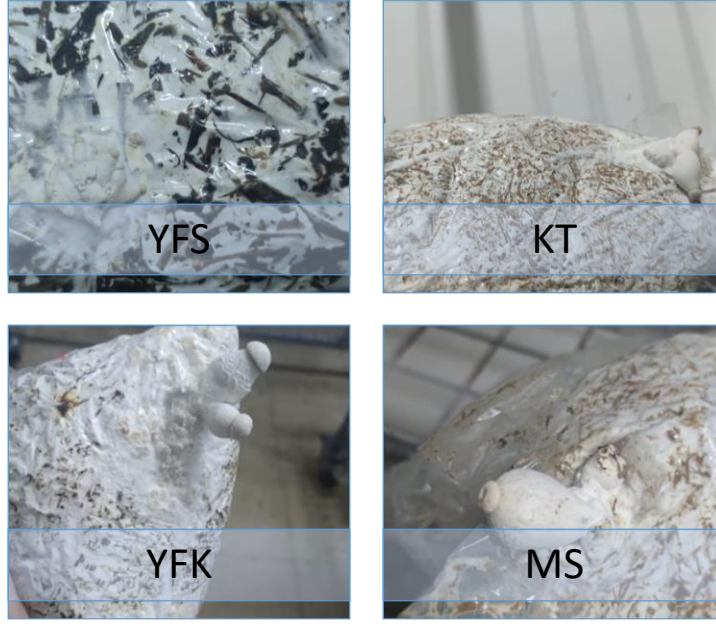


Şekil 4.2. Üretim sırasında ortamlardaki misel gelişim süreci

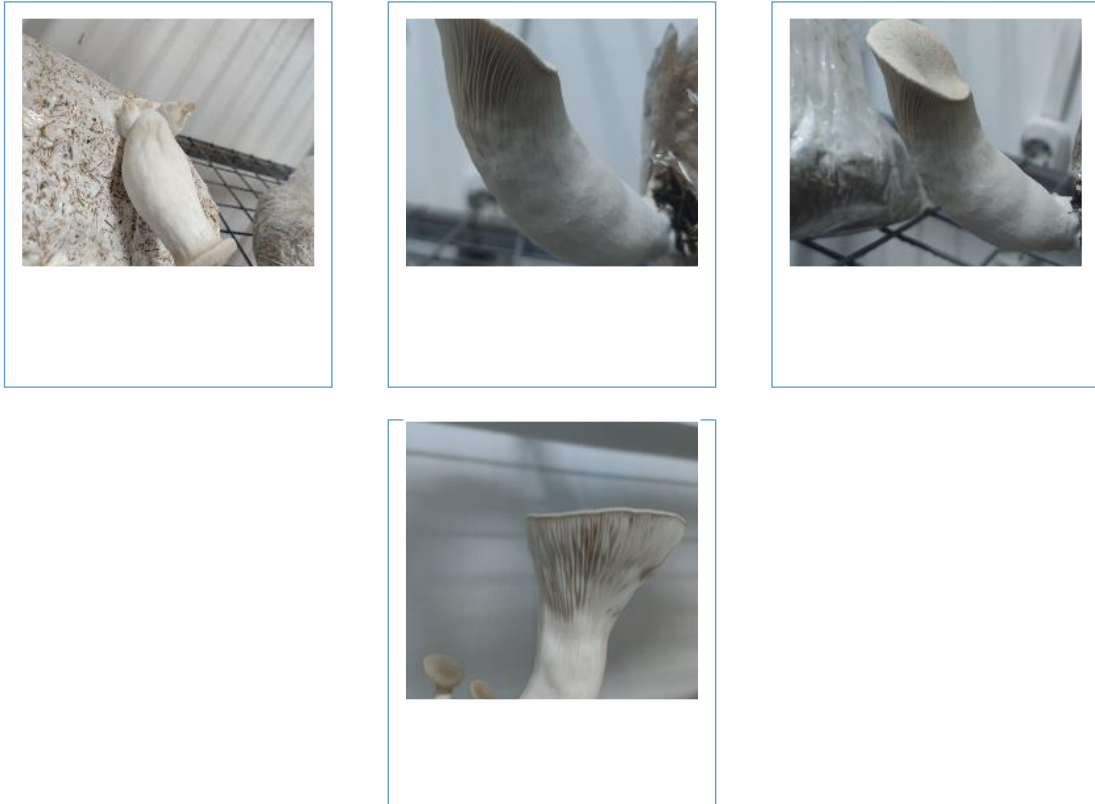


Şekil 4.3. Tamamlanan misel gelişimi

Çalışmamızda taslak oluşumu kullanılan 5 farklı ortam arasında 41.8 – 47.2 gün aralığında gerçekleşmiştir. Taslak oluşumunda geçen en uzun süre 47.2 gün ile YFK ortamında gözlemlenirken ÇT ortamında taslak oluşumu gerçekleşmemiştir. Bu durum çam talaşının yüksek reçine içeriği ile ilişkili olabilir. ÇT *P. eryngii* mantarının yetiştiriciliğinde kullanımının uygun değildir.



Şekil 4.4. Taslak oluşumu



Şekil 4.5. Yetiştirilen *P. eryngii* mantarları

Taslak oluşumuna kadar geçen en uzun süre YFK ortamında gözlemlenirken KT, YFS ve MS ortamlarında sırasıyla 46.3, 44.9 ve 41.8 gün olarak gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ilk hasada kadar geçen gün sayısı 51.5 gün ile MS ortamında

gözlemlenmiştir. Diğer ortamlarda ise bu süre 56 – 61.2 gün arasında değişmiştir. Lignin aromatik, dallanmış ve karmaşık bir bileşik olduğundan ve mikroorganizmalar tarafından parçalanması için uzun bir süre gerektirdiğinden, yüksek lignin içeriğine sahip materyaller ($\geq\%15$) yavaş ayrışmaya ve N immobilizasyonuna yol açar (Chanakya ve ark., 2015), bu da üretim döngüsünün uzamasına sebep olabilir.

Kibar (2018), farklı yetiştirme ortamları kullandığı çalışmasında *P. eryngii* için en kısa misel gelişim ve ilk hasada kadar olan sürenin sırasıyla 13.6 – 41 gün olduğunu, en uzun ise 36.6 – 70.2 gün olduğunu bildirmiştir. Bu değerler bizim bulgularımızda aynı aralıktadır.

4.3.Tarım ve Orman Endüstrisi Atıklarının *P. eryngii*' nin Verim Performansına Etkileri

Çalışmada, farklı substratların *P. eryngii* mantarının verim, biyolojik etkinlik (BE%) ve ortalama mantar ağırlıkları üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.01$). En yüksek verim MS substratında (301.8 ± 5.10 g/kg) kaydedildi, bunu YFS (205.7 ± 5.83 g/kg), KT (177.7 ± 3.55 g/kg) ve en düşük verimi üreten YFK (155.6 ± 7.31 g/kg) izledi. Bu verim eğilimi doğrudan biyolojik verimlilik (BE) değerlerinde yansıtıldı. MS substratı en yüksek BE'yi (86.23 ± 1.46) elde ederken, YFK substratı en düşük BE'yi (45.76 ± 2.15) gösterdi. MS substratında kaydedilen en yüksek *P. eryngii* verimi, selüloz bakımından zengin organik substratların meyve büyümesini ve verimini artırdığını öne süren Ashraf ve arkadaşlarının (2013) sonuçlarını doğrulamaktadır.

Atila ve Çetin (2024), 7 farklı yetiştirme ortamı kullandıkları denemede *P. eryngii* en yüksek verimin 216.3 olarak biyolojik etkinliğin ise %61 olduğunu bildirmişlerdir. Jeznabadi ve ark., (2017), farklı tarımsal atıkları birbiri ile karıştırarak farklı kombinasyonlarda hazırladıkları yetiştirme ortamlarında *P. eryngii* için en yüksek verim (2363.2 g/kg) ve biyolojik verimlilik (%236.32) olarak bildirmişlerdir. Elde ettiğimiz verimler Atila ve Çetin (2024) ile yakın değerler sergilerken, Jeznabadi ve ark (2017)'nin bulgularından daha düşüktür.

Tablo 4.4. Yetiştirme ortamının *Pleurotus eryngii*'nin verimliliği üzerine etkisi

Substrat	Toplam verim (g/kg)	Biyolojik etkinlik (%)
MS	301.8±5.10 a	86.23±1.46 a
YFS	205.7±5.83 b	58.77±1.67 b
YFK	155.6±7.31 d	45.76±2.15 d
KT	177.7±3.55 c	55.53±1.11 c
ÇT	Veri yok	Veri yok
<i>P value</i>	<0.001	<0.001

Tukey testine göre aynı sütunda aynı harfle takip edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı değildir. (n = 10) (MS: mercimek samanı; YFK: yer fıstığı kabuğu; YFS: yer fıstığı samanı; KT: kavak talaşı; ÇT: çam talaşı

4.4.Substratların *P. eryngii*'nin Şapka Boyutlarına Etkisi

Farklı yetiştirme ortamlarının mantar kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda şapka eni, boyu, sap kalınlığı tespit edilmiştir. Sap boyu için belirlenen değerler bakımından substratlar arasında önemli ölçüde farklılık gösterirken ($p<0.05$), şapka genişlik, şapka boy ve sap kalınlık açısından substratlar arasında istatistiksel fark bulunmamıştır ($p>0.05$).

Şapka çapı 78.8 mm ile MS ortamında en yüksek değere sahipken, 49.8 ile KT ortamında ise en düşük değerdedir. Sap uzunluğunun 109.7mm ile mercimek samanı ile hazırlanan ortamda olduğu belirlenirken, bunu sırasıyla 101 mm (YFK), 92.5 mm (YFS) ve 71.9 mm (KT) takip etmiştir. Kaplan (2020), *P. eryngii* için şapka çapını en yüksek 68.15 mm, en düşük ise 53.05mm olarak ölçümlemişlerdir.



Şekil 4.6. *P. eryngii* şapkalarında yapılan ölçümler

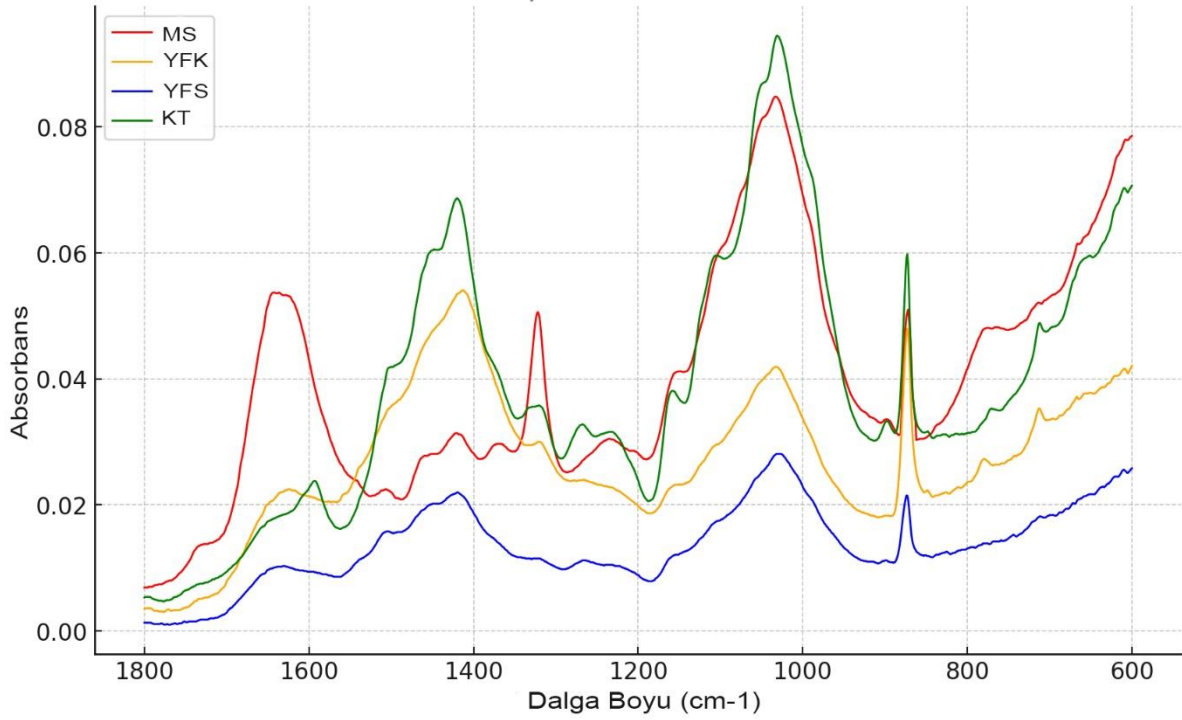
Tablo 4.5. Yetiştirme ortamının *Pleurotus eryngii*'nin şapka boyutları üzerine

Substrat	Şapka Çapı (mm)	Sap Uzunluğu (mm)	Sap Çapı (mm)
MS	78.8±2.0 a	109.7±5.4 a	37.5±3.0 a
YFS	61.5±6.6 b	92.4±5.7 b	26.1±2.4 bc
YFK	73.34±0.73 a	101.0±6.9 ab	30.5±2.4 b
KT	49.8±4.0 c	71.9±13.3 c	22.12±3.6 c
ÇT	Veri yok	Veri yok	Veri yok
P value	<0.001	<0.001	<0.001

Tukey testine göre aynı sütunda aynı harfle takip edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı değildir. (n = 10) (MS: mercimek samanı; YFK: yer fıstığı kabuğu; YFS: yer fıstığı samanı; KT: kavak talaşı; ÇT: çam talaşı)

4.5. Mantar Üretim Öncesi Substratların FTIR Spektroskopik Analizi

FTIR spektroskopisi, substratların kimyasal ve lignoselülozik profillerinin kompozisyon analizleriyle (N, hemiselüloz, selüloz ve lignin içerikleri) uyumlu olduğunu doğrulamıştır. İlk spektrumlar farklı yapısal özellikler ortaya koymuştur. MS substratı, belirgin selüloz (1050 cm^{-1} 'de C-O gerilmesi), hemiselüloz (1730 cm^{-1} 'de C=O gerilmesi) ve lignin bantları ile tipik bir tarımsal atık profili sergilemiştir. Amid ($1650\text{-}1540\text{ cm}^{-1}$) ve hidroksil grupları için yüksek absorpsiyon yoğunlukları, ligninle zenginleştirilmiş polisakkaritlerle tutarlı olarak önemli protein ve karbonhidrat (selüloz/hemiselüloz) içeriğine işaret etmektedir. Ekimden önce toplanan FTIR spektrumları $1740, 1650, 1510, 1451, 1420, 1365, 1320, 1244, 1161, 1120$ ve 890 cm^{-1} 'de lignoselülozik bileşiklere karşılık gelen farklı pikler ortaya çıkarmıştır. Hemiselüloz ester C=O germe titreşimi ile ilişkili olan 1730 cm^{-1} 'deki bant, YFS substratında orta derecede yoğundu. Buna karşılık, bu bant YFK ve KT substratlarında daha düşük absorpsiyon sergilerken, MS substratında belirgin bir pik gözlenmiştir. MS spektrumu ayrıca daha yüksek protein içeriğinin göstergesi olarak $1650, 1540$ ve 1320 cm^{-1} 'de amid ile ilişkili pikler için yüksek absorpsiyon yoğunlukları sergilemiştir. Bu absorpsiyon değerleri, azot içeriği analizlerinin sonuçlarıyla tutarlı olarak, diğer üç substratta önemli ölçüde daha düşüktü.



Şekil 4.7. *P. eryngii* mantarı üretimi yapılan substratların FTIR spektrumları

YFS ve MS gibi düşük lignin içeriğine sahip substratlarda, lignindeki aromatik C=C germe titreşimine karşılık gelen 1510 cm^{-1} bandında minimum absorpsiyon gözlenmiştir. Buna karşılık, YFK ve KT substratları, daha yüksek lignin içeriklerini yansıtacak şekilde bu bantta güçlü emilim sergilemiştir. YFK spektrumu YFS'ninkine benzer ancak özellikle 1510 cm^{-1} bölgesinde daha yoğun bantlar göstererek lignin açısından daha zengin bir bileşime işaret etmiştir. Ayrıca, selüloz ve lignin C-H deformasyonlarına atfedilen 1420 cm^{-1} ve 1370 cm^{-1} 'deki bantlar YFS ve MS substratlarında belirgindi. Güçlü selüloz bantları da 896 cm^{-1} 'deki karakteristik β -bağ bandı ile birlikte $1158/1060\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir.

Öte yandan YFK spektrumu, 1600 cm^{-1} civarında güçlü aromatik halka titreşimleri ve $1150-1050\text{ cm}^{-1}$ aralığında belirgin selüloz bantları (örneğin, 1160 ve $\sim 1060\text{ cm}^{-1}$) ile daha lignin açısından zengin bir profil sergilemiştir. KT substratı ayrıca 1158 cm^{-1} (C-O-C streç) ve $1060-1030\text{ cm}^{-1}$ (C-O streç) bantlarının yanı sıra karakteristik 1420 cm^{-1} (CH_2 bükme) ve 1370 cm^{-1} (C-H bükme) bantları da dahil olmak üzere güçlü selüloz bantları göstermiştir. YFS substratı güçlü selüloz bantları (1160 cm^{-1} , C-O-C germe) ve orta derecede lignin sinyalleri (1510 cm^{-1} , aromatik C=C) ile karakterize edilmiştir. YFK substratı YFS'ye benzer spektral desenler sergilemiş ancak aromatik (1510 cm^{-1}) ve alkil bantları için daha yüksek absorban yoğunlukları ile lignin

bakımından zengin bir yapıyı yansıtmıştır. KT substratında selüloz (1050 cm^{-1} , C-O germe) ve lignin (1510 cm^{-1}) bantları baskın olup, protein ve hemiselüloz sinyalleri ihmal edilebilir düzeydedir.

Tablo 4.6. 1800-600 cm⁻¹ bölgesinde tarımsal orman atıklarındaki temel kimyasal bileşenlerin FTIR bantlarının atanması

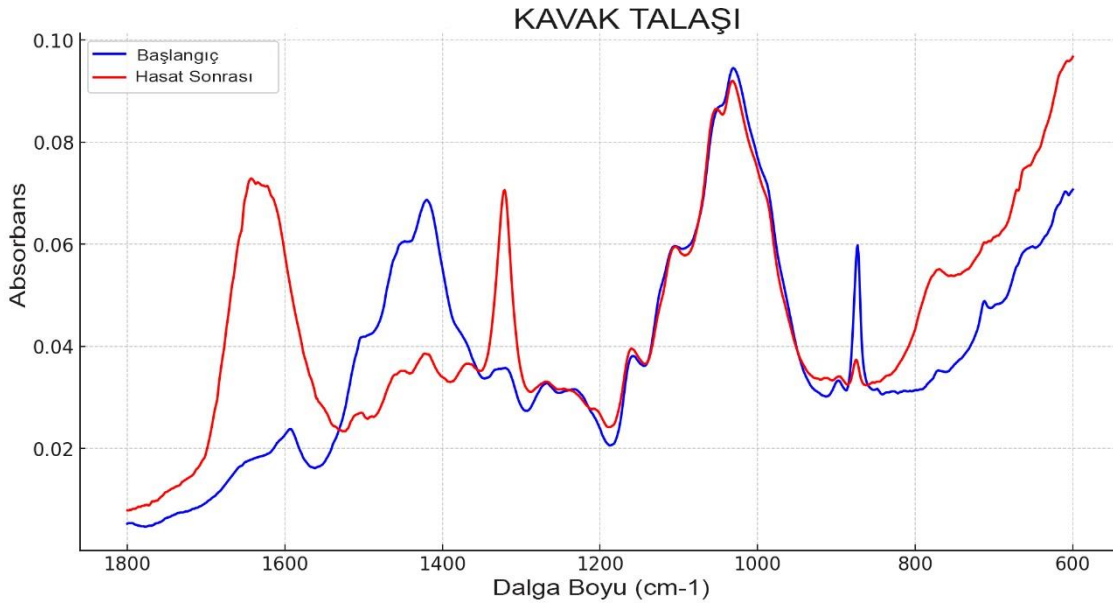
Dalga boyu (cm⁻¹)	Atama	Ana grubun menşei	Referanslar
1730-1740	Serbest karbonil grupları, C=O Asetil veya karboksilik asidin gerilmesi; Konjuge olmayan hemiselülozun C=O gerilmesi	Hemiselüloz/Lignin	Akçay ve Yalçın (2021) Kubovsky ve ark., (2020)
1650-1630	Amid I (protein peptid bağındaki C=O titreşimi)	Protein	Smidt and Meissi, (2007).
1612	Konjuge C-O gerilmesi	Lignin	Karim ve ark., (2016)
1570-1540	Amid II (protein N-H bükülmesi)	Protein	Smidt and Meissi, (2007).
1510	Ligninde aromatik iskelet; aromatik iskelet titreşimi C=C; ligninde benzen halkasının gerilme modları	Lignin	Tryjarski ve ark., (2022)
1470-1460	C-H asimetric deformasyon lignin ve karbonhidratlar	Lignin/Xylan	Popescu ve ark., (2006)
1430-1420	Aromatik iskelet titreşimi (lignin) ve C-H deformasyonu (selüloz)	Lignin/Selüloz	Tryjarski ve ark., (2022) Kubovsky ve ark., (2020)
1370-1365	Selüloz ve hemiselülozda C-H deformasyonu	Hemicellulose/Selüloz	Fabiyi ve ark., (2011)
1320	Amit III (NH büken amit III)	Protein	Smidt and Meissi, (2007).
1268	Ligninin guaiasil halkasında C-O gerilmesi ve ksilanda C-O gerilmesi	Guaicyl Lignin/Xylan/Hemiselüloz	Popescu ve ark., (2006); Kubovsky ve ark., (2020)
1240-1220	Siringil halkası ve C-O esnemesi, asetil ve karboksilik	Syringyl Lignin/Xylan/Polisakkaritler	Kubovský ve ark., (2020); Hofmann ve ark., (2022)
1158	Ksilan'da titreşim	Selüloz/Hemiselüloz	Tryjarski ve ark., (2022)

Tablo 4.6. (Devamı). 1800-600 cm⁻¹ bölgesinde tarımsal orman atıklarındaki temel kimyasal bileşenlerin FTIR bantlarının atanması

Dalga boyu (cm⁻¹)	Atama	Ana grubun menşei	Referanslar
1060-1030	Selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimi	Selüloz/Hemiselüloz	Tryjarski ve ark., (2022)
896	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi	Selüloz	Tryjarski ve ark., (2022)

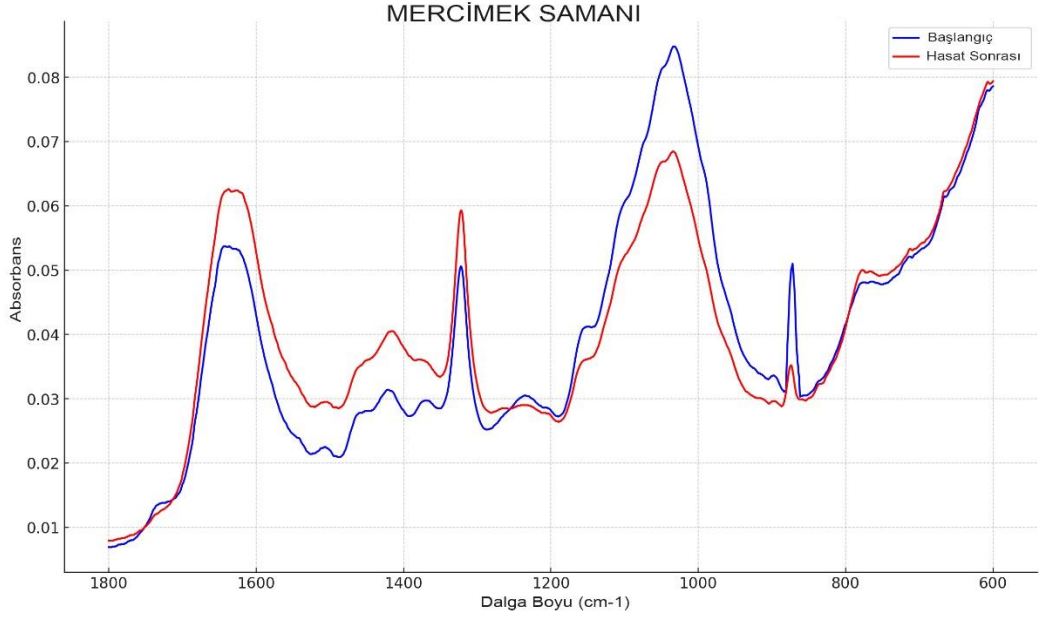
4.6. Mantar Yetiştirme Öncesi ve Sonrası FTIR Spektrumlarının Karşılaştırmalı Analizi

Tüm substratların hasat sonrası FTIR spektrumları, *P. eryngii* tarafından enzimatik bozunma ile tutarlı olarak alifatik bileşikler ($2850-2950\text{ cm}^{-1}$), hemiselüloz (1730 cm^{-1}) ve selüloz ($1000-1300\text{ cm}^{-1}$) ile ilişkili bölgelerde azalmış absorpsiyon yoğunlukları göstermiştir. Bu düşüşün, birincil metabolik ihtiyaçlarını karşılamak için selüloz, hemiselüloz ve lignini parçalayan *P. eryngii* mantar hifleri tarafından hücre dışı enzimlerin önemli ölçüde salgılanması nedeniyle olması beklenmektedir (Kour ve ark., 2019; Pena ve ark., 2021). Bununla birlikte, konjuge olmayan hemiselülozun C=O germe titreşimine atfedilen 1730 cm^{-1} bandındaki absorpsiyonda MS hariç tüm substratlarda bir artış gözlenmiştir. Ayrıca, tüm üretim sonrası numunelerde 1650 cm^{-1} bandında önemli bir artış kaydedilmiştir. Karbon-oksijen bağlarıyla bağlantılı olan 1612 cm^{-1} pikinde de kayda değer bir artış gözlenmiştir.



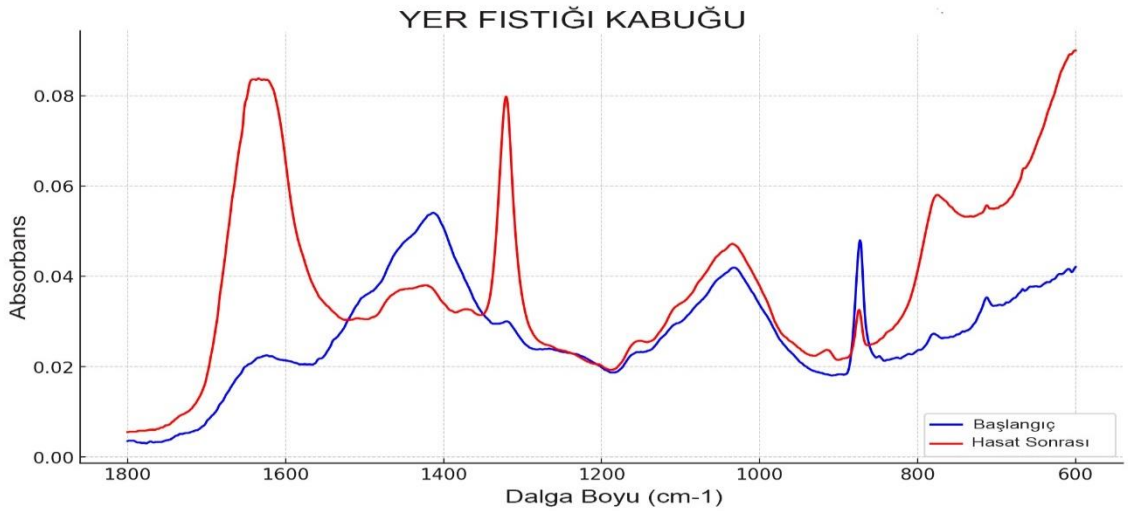
Şekil 4.8. Kavak talaşında *P. eryngii* üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler

KT substratında, polisakkaritlerle ilişkili bölgelerde (örn. 1510 , 1450 , 1420 ve 1240 cm^{-1}) absorpsiyon yoğunluğunda bir azalma gözlenmiştir. Özellikle, 1510 cm^{-1} bandındaki absorpsiyon üretim sürecinin sonunda önemli ölçüde azalmıştır. Ayrıca 1420 ve 1370 cm^{-1} bantlarında da hafif düşüşler kaydedilmiştir. $1200-900\text{ cm}^{-1}$ aralığında küçük bir düşüş gözlenirken, selüloz ve hemiselülozdaki C1 grubu frekansına ve selüloz deformasyonuna karşılık gelen 892 cm^{-1} bölgesinde önemli bir düşüş meydana gelmiştir.



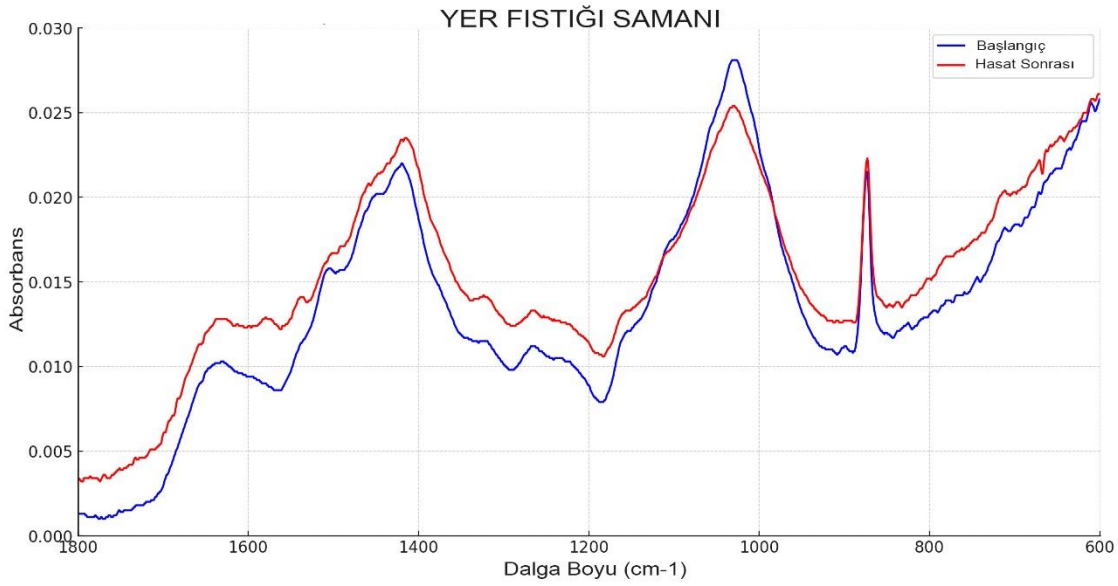
Şekil 4.9. Mercimek samanında *P. eryngii* üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler

MS substratı için, 1730 cm^{-1} hemiselüloz bandının absorbansı hafif bir düşüş göstermiştir. Bununla birlikte, YFS substratına benzer şekilde, polisakkaritlerle ilişkili olan 1510 , 1450 ve 1420 cm^{-1} bantlarında absorbans artışı gözlenmiştir. Ayrıca 1680 , 1560 ve 1320 cm^{-1} bölgelerinde de kayda değer artışlar tespit edilmiştir. Üretim sonrası 1000 - 1300 cm^{-1} aralığında absorpsiyonda bir azalma gözlenmiştir. Hasat sonrasında 1158 , 1078 ve 896 cm^{-1} 'deki selüloz bantları zayıflamış olsa da tamamen kaybolmamıştır. Ayrıca 892 cm^{-1} bölgesindeki önemli bir düşüş selüloz ve hemiselüloz yapılarının bozulduğunu doğrulamıştır.



Şekil 4.10. Yerfıstığı kabuğunda *P. eryngii* üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler

YFK substratında, 1680, 1560 ve 1320 cm^{-1} bölgelerinde, özellikle 1680 ve 1320 cm^{-1} 'de belirgin artışlar gözlenmiştir. Polisakkaritler ve selüloz ile ilişkili olarak 1200-900 cm^{-1} aralığında da emilimde tutarlı bir artış kaydedilmiştir. Lignin aromatik bantlarına karşılık gelen 1600 cm^{-1} bölgesi %43'lük bir artış gösterirken, 1510 cm^{-1} bölgesi %60'lık bir düşüş sergilemiştir. 892 cm^{-1} bölgesindeki %27'lik azalma, özellikle selülozun amorf bölgelerinde β -glikosidik bağların parçalanmasını desteklemiştir.



Şekil 4.11. Yerfıstığı samanında *P. eryngii* üretimi sonucu meydana gelen lignoselülozik değişimler

YFS substratında, diğer substratlara benzer şekilde, 1680, 1560 ve 1320 cm^{-1} bölgelerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Ancak, YFK ve KT substratlarının aksine, YFS substratı polisakkaritlerle ilişkili olan 1600, 1510, 1450, 1420 ve 1240 cm^{-1} bantlarında artan emilim göstermiştir. Bu model MS substratına daha çok benzemektedir. Hem YFS hem de MS substratları için lignin bölgesinde biraz daha düşük dalga sayılarında daha yüksek absorpsiyon kaydedilmiştir. YFS substratında 1050 cm^{-1} bandında önemli bir düşüş gözlenirken, 892 cm^{-1} bölgesinde kayda değer bir düşüş meydana gelmemiştir, bu da yaklaşık %13 oranında orta düzeyde selüloz tüketimine işaret etmektedir.

FT-IR spektrumlarında 1750 ve 1720 cm^{-1} arasında gözlemlenen bantlar genellikle lignoselülozik malzemelerdeki hemiselülozun bozunması ile ilişkilidir. Bu bantlar, tipik olarak hemiselüloz yapısı içindeki asetil ve üronik ester bağlarında bulunan karbonil gruplarının ($\text{C}=\text{O}$) titreşimlerini temsil eder. 1730 cm^{-1} bandında, konjuge

olmayan hemiselüloz C=O germe titreşimlerini temsil eden absorpsiyon, MS hariç tüm substratlarda artmıştır. Bu bölgedeki yoğunluk artışları basit karbonil gruplarının (örneğin ketonlar, aldehitler, karboksilik asitler ve esterler) oluşumunu gösterebilir (Nandiyanto ve ark., 2023). Ketonlar tipik olarak 1700-1725 cm⁻¹'de güçlü bir C=O germe bandı gösterir ve bu bant keton oluşumu sırasında görünür hale gelir (Alayont ve ark., 2022). Bu tür artışlar, ester bağlarının fungal enzimatik modifikasyonu veya hemiselüloz moleküllerinin kısmi hidrolizi ile ilişkili olabilir ve ek karbonil gruplarını serbest bırakır (Shankar ve ark., 2024). Bu da *P. eryngii*'nin hemiselülozu modifiye ederek bu bileşeni daha reaktif veya erişilebilir hale getirdiğini göstermektedir.

FT-IR spektrumlarında sırasıyla Amid I ve Amid II bantlarına karşılık gelen 1650 cm⁻¹ ve 1540 cm⁻¹'deki belirgin pikler, proteinlerin ikincil yapılarıyla yaygın olarak ilişkili protein C=O ve N-H gerilme titreşimlerinin göstergesidir. Tipik olarak 1320 cm⁻¹ civarında görülen Amid III bandı, C-N bağlarıyla bağlantılıdır ve protein varlığı ve yapısı hakkında daha fazla bilgi sağlar (López-Lorente ve Mizaikoff, 2016). Bu spektral özellikler, lignoselülitik enzimlerin protein bazlı olduğu ve bu tür kızılötesi imzalar göstereceği göz önüne alındığında, mantar biyokütlesinin ve enzimatik aktivitenin varlığıyla uyumlu oldukları için önemlidir. Bu bölgelerdeki absorbans artışı, artan enzimatik aktivite ile ilişkilidir ve lignoselülozik materyallerin parçalanmasında aktif olan bu enzimlerin proteinli doğasını yansıtır (Hu ve ark., 2011). Artan enzim aktivitesi ile spesifik IR bantlarının varlığı arasındaki bu bağlantı, organik maddelerin fungal ve mikrobiyal bozunmasındaki biyokimyasal süreçleri anlamak için çok önemli olabilir. KT ve YFK substratları, muhtemelen yoğun misel çoğalması veya enzimatik çıktı nedeniyle en önemli artışları sergilemiştir.

Beyaz çürükçül mantarlar, lignoselülozik biyoküttele önemli bir bileşen olan lignini etkili bir şekilde parçalama yetenekleriyle bilinmektedir (Suryadi ve ark., 2022). Beyaz çürükçül mantarlar tarafından kolaylaştırılan bozunma süreçleri yalnızca lignin içeriğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda kalan hücre duvarı bileşenlerinin kimyasal yapısını da değiştirir; bu da 1612 cm⁻¹'deki de dahil olmak üzere belirli FTIR bantlarındaki kaymalar ve yoğunluklar ile izlenebilir (da Costa ve ark., 2022). Çalışmada, C-O kovalent bağ oluşumlarını yansıtan çeşitli substratlar arasında gözlemlenen 1612 cm⁻¹'deki eşzamanlı artış, lignoselülozik malzemelerin beyaz çürükçül mantarlar tarafından bozunmasında görülen modellerin karakteristiğidir. Lignine özgü aromatik C=C titreşimleri (1500-1600 cm⁻¹) substrata bağlı bozunma modelleri göstermiştir. KT substratında 1600 cm⁻¹'de %24 ve 1510 cm⁻¹'de %72 azalma lakkaz/peroksidaz aktivitesi

yoluyla önemli lignin parçalanmasına işaret ederken, YFK substratında 1600 cm⁻¹'de %43 artış ve 1510 cm⁻¹'de %60 azalma, muhtemelen enzimatik erişimi sınırlayan inatçı polimerik yapısı nedeniyle seçici lignin modifikasyonuna işaret etmiştir (Srivastava ve ark., 2022).

Polisakkaritlerle ilişkili 1450, 1420 ve 1240 cm⁻¹'deki bantlar (Bekiaris ve ark., 2020), YFK ve KT substratlarında azalmış emilim sergilemiştir. Hem YFS hem de KT'ta, 1420 cm⁻¹ deki hafif azalmalar, selüloz ve lignoselülozik yapıların kısmi bozunması anlamına gelir ve substrat bileşiminin miselyum tarafından kademeli olarak dönüştürüldüğünü gösterir. 1375-1365 cm⁻¹ arasında yer alan bant, tipik olarak selüloz yapısındaki değişiklikleri gösterebilen simetrik C-H deformasyonu ile ilişkilidir. Mantar saldırısı üzerine, mantar ve substratlar arasındaki biyokimyasal etkileşimler nedeniyle bu bantlarda değişimler gözlenir. Bazı örneklerde (örneğin YFS, KT ve MS) 1375-1365 cm⁻¹ bandındaki artış, ancak diğerlerinde (YFK) azalma, farklı substratlar arasında farklı derecelerde mantar bozunması veya modifikasyonu olduğunu göstermektedir.

KT ilk haline kıyasla 1200-900 cm⁻¹ bölgesinde minimum azalma gösterirken, YFK aynı bölgede lignin baskın matrisiyle ilişkili olarak artan emilim göstermiştir. Ligninin inatçılığı selüloz ve hemiselüloza enzimatik erişimi sınırlayabilir (Srivastava ve ark., 2022). Talaş gibi odunsu substratlarda, ligninin fungal bozunması selüloz erişilebilirliğini artırabilir; ancak *P. eryngii*'nin seçici lignin bozunması artık selüloz bırakabilir. KT'ta 892 cm⁻¹ bandında (selülozun C1 grubu frekansı) %52'lik bir azalma ve YFK'da %27'lik bir azalma, *P. eryngii* tarafından etkin selüloz kullanımını doğrulamaktadır (Mohebbi, 2005; Bari ve ark., 2015). Analizler, selüloz ve lignin bantlarındaki hafif absorbans azalmalarına rağmen, hasat sonrası substratların yapısal bileşenlerini büyük ölçüde koruduğunu ortaya koymuştur.

MS ve YFS substratları bu eğilimden ayrılmıştır. MS substratında hafif hemiselüloz tüketimi (1730 cm⁻¹ azalma) ve hızlı selüloz bozunması (892 cm⁻¹'de %35 azalma) tercihli karbonhidrat kullanımını vurgulamıştır. YFS substratında, 892 cm⁻¹'de %13 azalma ve yoğunlaşan polisakkarit bantları (1600, 1510, 1450 cm⁻¹), mantarların lignin olmayan karbon kaynaklarına öncelik vermesi nedeniyle artık lignin zenginleşmesine işaret etmiştir. Lignin ile ilişkili bantların yoğunluğunun artması, lignin yapısının yeniden düzenlendiğini gösterebilir (Ke ve ark., 2011). Mantar, metabolik ihtiyaçlar için lignoselülozik bileşenleri hidrolize etmek üzere hücre dışı enzimler (ör. lakkaz, peroksidaz) salgılar ve bu enzimler seçici olarak hareket ettiğinden, literatürde belirtildiği gibi hücre duvarı bileşenlerini değişen oranlarda bozabilirler (Andlar ve ark.,

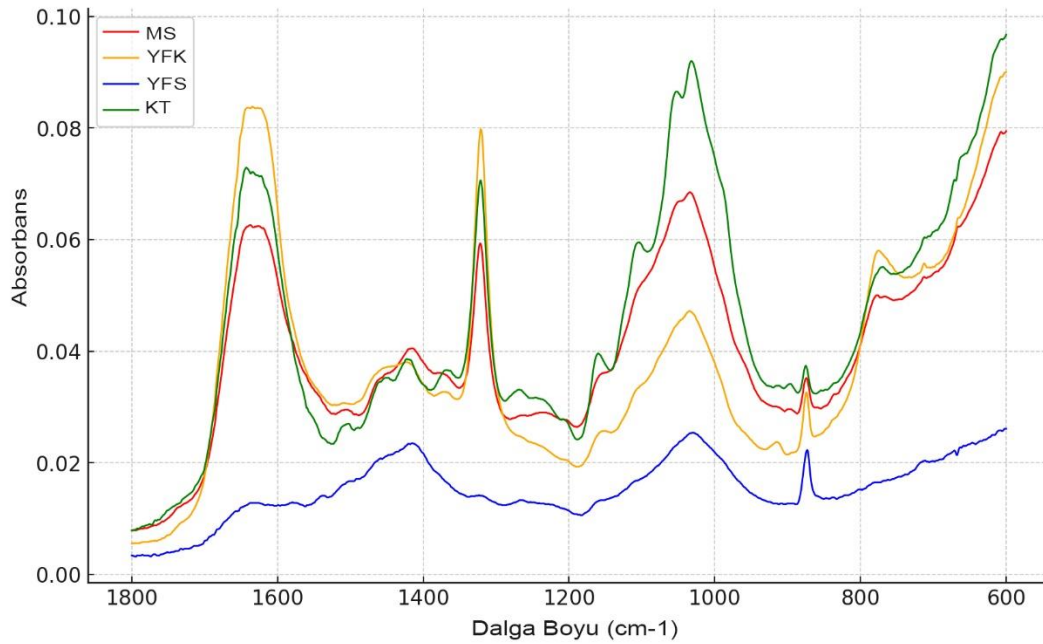
2018; Kumar ve Chandra, 2020; Goodell, 2020). MS ve YFS substratlarındaki kalıcı lignin sinyalleri (1510, 1600 cm^{-1}) sınırlı enzimatik sindirime işaret ederken, MS'de 1230 cm^{-1} bandı zayıflamıştır. 1270 cm^{-1} 'deki bant guaiasil çekirdeklerine bağlanırken, 1230 cm^{-1} 'deki bant şiringil çekirdekleri ve selüloz deformasyonunun bir kombinasyonuna atfedilmektedir (Pandey, 1999). Yetiştirme süresi uzadıkça, 1270 cm^{-1} 'deki pik yoğunluğu kademeli olarak azalırken, 1230 cm^{-1} 'deki absorpsiyon sabit kalmıştır. Bu analiz, ligninin mantar yetiştirme döngüsünden sonra bile selüloz bakımından zengin fraksiyonlar içinde kaldığını ve bozunmanın esas olarak guaiasil gruplarında meydana geldiğini göstermektedir (Wang ve ark., 2009). Bu bulgular, *P. eryngii*'nin karmaşık lignin yerine erişilebilir selüloz/hemiselüloza öncelik veren biyodönüşüm stratejisiyle uyumludur (Sardar ve ark., 2017). Fizikokimyasal özelliklerden etkilenen substrata özgü ligninolitik değişkenlik (Leonowicz ve ark., 2001), mantar metabolizması ve hammadde bileşimi arasındaki etkileşimin altını çizmektedir. MS, spektral bölgeler boyunca sürekli olarak yüksek absorbans sergilemiş, bu da artık lignin-selüloz komplekslerine veya mantar metabolitlerine atfedilmiştir. MS ve YFS substratlarındaki yüksek lignin ilişkili bantlar (1510, 1600 cm^{-1}) kimyasal modifikasyon veya bozunma yan ürünlerinin birikimini düşündürmüştür. Kısmi lignoselüloz bozunmasına rağmen, tüm substratlarda kalan yapısal bileşenler ve artan protein içeriği, bunların yetiştirme döngülerinde, biyoyakıt üretiminde veya tarımsal değişikliklerde yeniden kullanım potansiyelini vurgulamaktadır.

FTIR verileri, polisakkarit bant kaymaları (1000-1300 cm^{-1}) ile biyolojik verimlilik (BE) arasında doğrudan bir korelasyon olduğunu göstermiştir. MS ve YFS'deki hızlı absorbans düşüşleri (örneğin, 1160 cm^{-1} , C-O-C; 1050 cm^{-1} , C-O), hızlandırılmış kolonizasyon ve yüksek verim (MS:%86,23 BE) ile uyumlu olarak verimli selüloz/hemiselüloz metabolizmasını yansıtmaktadır. Buna karşılık, YFK ve KT'daki sınırlı spektral değişiklikler enzimatik verimsizliğe veya substrat inatçılığına işaret etmiştir. Yüksek lignin içeriğine sahip substratlar (örneğin, KT: %44,37 selüloz), ligninin selüloz erişilebilirliğini ve glikoz kullanımını kısıtlayan fizikokimyasal bariyeri nedeniyle verim sınırlamaları sergilemiştir. Bu durum, ligninin heterojen fenilpropanoid matrisinin selülozu hidrolizden koruduğu hipoteziyle uyumludur (Ruiz-Dueñas ve Martínez, 2009). FTIR analizi, *P. eryngii* yetiştiriciliği sonrası tüm substratlarda önemli lignoselülozik dönüşümü doğrulamıştır.

4.7. Atık Mantar Substratının Lignoselülozik ve Kimyasal Bileşimi

Grafikte, farklı mantar üretim süreçlerinden sonra elde edilen dört farklı substratın FTIR spektrumları verilmiştir. Bu spektrumlar, her bir substratın kimyasal bileşimi ve lignoselülozik yapısı hakkında önemli ipuçları sunar. FTIR analizi, özellikle selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi ana yapısal bileşenlerin varlığını ve değişimini değerlendirmek için kullanılır.

Spektrumun dalga sayısı eksenini (x eksenini) $1800\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ aralığını kapsamakta olup, bu bölge genellikle lignoselülozik maddelerdeki karakteristik bağlara karşılık gelir. Spektrumun en belirgin piklerinden biri yaklaşık $1630\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$ civarındadır ve bu bölge C=O gerilme titreşimlerine (karbonil grupları) işaret eder. Bu pikler özellikle hemiselüloz ve ligninin ayrışma ürünlerini işaret eder. YFK ve KT örneklerinde bu bölgede yüksek absorbanans gözlemlenmesi, bu örneklerde daha fazla karbonil fonksiyonel grubunun bulunduğunu ve olasılıkla lignin veya protein yapılarında bozunma olduğunu gösterir.



Şekil 4.12. *P. eryngii* mantarı üretimi sonucu ortaya çıkan atık mantar kompostlarının FTIR spektrumları

Ayrıca $1030\text{--}1050\text{ cm}^{-1}$ civarındaki pikler, C–O gerilmeleri ile ilişkili olup genellikle selüloz ve hemiselüloz yapılarıyla bağdaştırılır. KT örneği bu bölgede en yüksek absorbanansa sahip olup, bu durum substratın hâlen önemli miktarda selüloz içerdiğini ve daha az mikrobiyal bozunmaya uğradığını gösterebilir. Buna karşın YFS

örneği, genel olarak düşük absorbands değerleri göstermektedir; bu da yapısal karbonhidratların önemli oranda tüketildiğini ve organik maddenin büyük ölçüde ayrıştığını gösterir.

Yaklaşık 875–900 cm^{-1} aralığında görölen pikler, β -glukozidik bağlarla ilişkili olabilir. Bu da özellikle selülozik yapıların varlığını ve düzenliliğini ortaya koyar. Bu bölgedeki belirginlik KT ve MS örneklerinde daha fazla olup, bu iki örneğin daha yüksek yapısal bütünlüğe sahip lignoselülozik karakter taşıdığını düşündürmektedir.

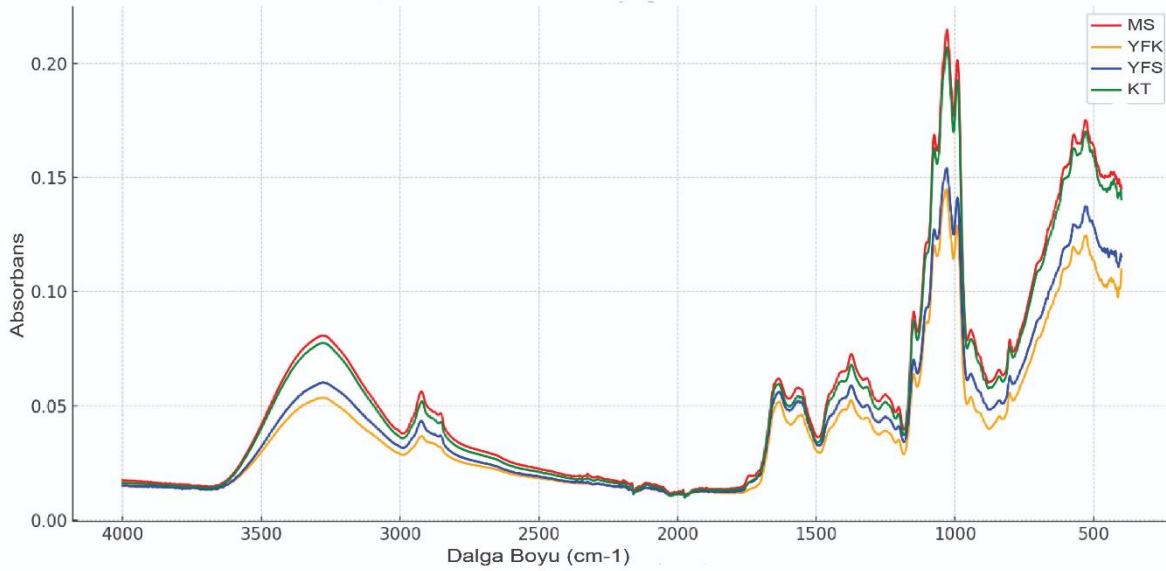
Genel olarak spektrumlar, mantar üretimi sonrası substratların kimyasal olarak hâlâ önemli miktarda lignoselülozik madde içerdiğini ancak bozunma derecesinin substrata göre değiştirdiğini ortaya koymaktadır. YFK ve YFS örnekleri, daha düşük yapısal karbonhidrat ve daha fazla bozunmuş lignin yan ürünleri içermekte, buna karşın KT örneği en yüksek yapısal sağlamlığa ve karbonhidrat varlığına işaret etmektedir. Bu da KT'nın, muhtemelen daha kısa süreli üretimden çıkmış ya da daha az tüketilmiş bir substrat olduğunu gösterir.

Değişen lignin/selüloz oranlarıyla ayırt edilen substrata özgü ilk spektral profiller, hasat sonrasında hemiselüloz tükenmesi, kalan lignin/selüloz sinyalleri ve proteinle ilişkili absorbands (1320 cm^{-1} , Amid III) ile kanıtlanan mantar biyokütlesi birikimi ile işaretlenen tek tip modellere yakınsamıştır. Bu bulgular, substrat bozunma dinamiklerinin ve mantar metabolik verimliliğinin gerçek zamanlı izlenmesi için sağlam bir araç olarak FTIR spektroskopisini doğrulamaktadır. Ayrıca bulgular, her bir substrattaki besin bileşenlerinin mantar aktivitesi ile nasıl biyotransformasyona uğradığını açıklayarak biyodönüşüm verimliliği ve nihai kompostun bileşimsel profili hakkında kritik bilgiler sağlamaktadır. Sonuç olarak, FTIR analizi sayesinde substratlar arasında lignin, hemiselüloz ve selüloz oranlarındaki değişim net bir şekilde izlenebilmektedir. Bu analiz, söz konusu atıkların yeniden kullanımını (örneğin kompost, biyogaz üretimi veya ikinci ürün yetiştiriciliği gibi alanlarda) açısından hangi substratın daha avantajlı olduğunu belirlemede oldukça değerlidir.

4.8. Farklı Substratlarda Yetişen *P. eryngii* Mantarının FTIR Spektrumları

Grafikte yer alan FTIR (Fourier Transform Infrared) spektrumları, *P. eryngii* mantarlarının dört farklı lignoselülozik atık substrat (MS, YFK, YFS, KT) üzerinde yetiştirilmesi sonucunda oluşan kimyasal profillerini yansıtmaktadır. Bu spektrumlar, mantarların gelişim süreçleri boyunca biyokimyasal bileşimlerinde meydana gelen değişimlerin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlar. Özellikle protein,

karbonhidrat, lipit (yağ), fenolik bileşikler ve diğer hücrel bileşenlere ait fonksiyonel grupların FTIR ile tespit edilmesi mümkündür. Aşağıdaki Şekil 4.13’ de FTIR spektrumlarında yaygın olarak karşılaşılan dalga sayısı bölgeleri, bu bölgelerde gözlenen kimyasal bağ türleri ve bunların biyokimyasal karşılıkları özetlenmiştir.



Şekil 4.13. Farklı substratlarda yetişen *p. eryngii* mantarının FTIR spektrumları

FTIR spektrumları, 3282 cm⁻¹ ila 537 cm⁻¹ arasında, mantar biyokütlesindeki temel fonksiyonel gruplara karşılık gelen farklı spektral bölgeleri ortaya çıkarmıştır. Genel spektral modeller tüm mantar örneklerinde tutarlı olmasına rağmen, substrat bileşimine bağlı olarak niteliksel farklılıklar gözlenmiştir. Bu varyasyonlar özellikle proteinler, polisakkaritler ve fenolik bileşiklerle ilişkili spektral bölgelerde belirgindi ve mantar metabolizmasında substrata bağlı modifikasyonlara işaret ediyordu. O-H germe titreşimlerine karşılık gelen 3300 cm⁻¹ civarında merkezlenen geniş bir absorpsiyon bandı, polisakkaritler ve kitin gibi mantar hücre duvarı bileşenlerinden gelen hidroksil gruplarının yanı sıra substrattan tutulan nemin varlığına işaret etmektedir. 2800–3000 cm⁻¹ bandında yer alan sinyaller, özellikle metil ve metilen gruplarının gerilme titreşimlerine karşılık gelir ve yağ (lipit) içeriğinin FTIR’deki karşılığıdır. Bu bölgede MS ve KT örnekleri yine ön plana çıkmaktadır. KT örneğinde yağla ilişkili bantların daha geniş ve şiddetli olması, hücre zarında depolanan doymamış yağ asitlerinin daha yüksek düzeyde bulunduğunu gösterir. Lipit içeriği, mantarın beslenme ve aroma profili açısından kritik öneme sahiptir. Proteinlerin karakteristiği olan C=O germe (1635 cm⁻¹)

(Amid I) ve N-H bükme (1558 cm^{-1}) (Amid II) ile 1374 cm^{-1} (Amid III) yüksek yoğunluklu absorpsiyon bantları aracılığıyla ayırt edici protein imzaları tanımlanmıştır. MS ve KT numuneleri, en güçlü absorpsiyonu sergilemiştir. MS ve KT örneklerinde bu bölgedeki absorbansın daha yüksek olması, bu substratlarda yetişen mantarların daha fazla protein içerdiğini göstermektedir. Bu durum, substratın besin içeriğinin (özellikle azot ve amino asit kaynağı olan lignin bozunma ürünleri) protein sentezini desteklediğini düşündürmektedir. Buna karşılık YFK substratında daha zayıf bir sinyal gözlenmesi, daha düşük protein içeriğini işaret etmektedir.

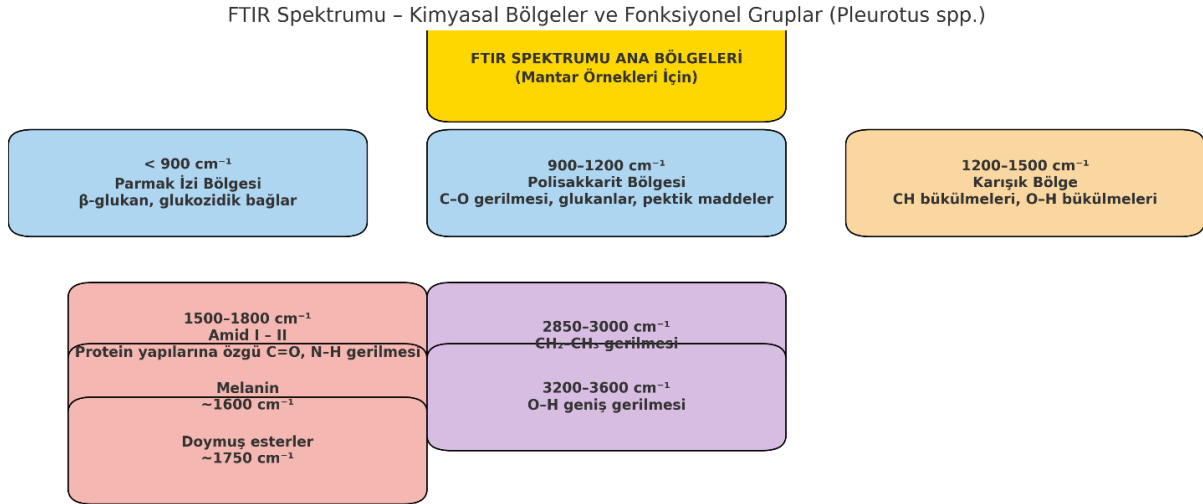
Tablo 4.7. FTIR spektrumlarında yaygın olarak karşılaşılan dalga sayısı bölgeleri, bu bölgelerde gözlenen kimyasal bağ türleri ve bunların biyokimyasal karşılıkları

Dalga Boyu (cm^{-1})	Fonksiyonel gruplar	Temsil ettiği bileşik	Referans
3300–3400	O–H stretch (fenoller, alkoller)	Serbest hidroksil gruplar, fenolik antioksidanlar	Baltacıoğlu ve ark., (2021)
2920-2880	C–H stretch (lipitler, alkan zincirleri)	Yağ asitleri ve hücre zarı	Baltacıoğlu ve ark., (2021)
1740-1700	C=O stretch (esterler, yağlar)	Trigliserid ve ester yapısındaki lipitler	Zervakis ve ark., (2012)
1650-1550	Amid I & II (protein yapıları)	Protein yapılarındaki peptid bağları	Liu ve ark., (2007)
1450-1400	C–H bükülme (lipit ve karbon zinciri)	Doymuş hidrokarbon zincirleri	Liu ve ark., (2007)
1375-1350	Fenolik bileşiklerin karakteristik bantları	Antioksidan ve aromatik fenolik yapılar	Liu ve ark., (2007)
1250-1200	C–O–C gerilme (hemiselüloz, esterler)	Bitkisel lifler, hemiselüloz artıkları	Zervakis ve ark., (2012)
1150-1000	C–O gerilme (selüloz, glukanlar)	Selüloz, β -glukan ve diyet lifleri	Zervakis ve ark., (2012)
950-900	β -glukan ve polisakkarit sinyalleri	Fonksiyonel polisakkarit	Zervakis ve ark., (2012)
870-700	Aromatik halkalar, fenolik yapılar	Flavonoidler, fenolik asitler, antioksidan bileşikler	Zervakis ve ark., (2012)

β -glukanların ve polisakkaritlerin varlığı, β -glukanların bilinen bir belirteci olan 1380 cm^{-1} yakınındaki absorpsiyon bantları ile daha da doğrulanmıştır. YFS örneğinde

bu bölgedeki pikler diğerlerine göre daha zayıf kalmış, bu da substratın karbonhidrat dönüşüm kapasitesinin ve mantarın yapısal karbonhidrat içeriğinin daha düşük olduğunu düşündürmektedir. Buna karşın MS ve YFK örnekleri, bu bölgede daha güçlü absorpsiyon ile daha zengin karbonhidrat içeriğini yansıtmıştır. Özellikle β -glukan gibi sağlık açısından değerli karbonhidratların bu bantta iz bırakması önemli bir bulgudur.

Ek olarak, yaklaşık 1030 cm^{-1} 'deki pikler C-O-C ve C-O bağları ile ilişkilendirilerek β -glukanlar içinde D-glukoz halkalarının varlığını doğrulamıştır. Glukanlar ve kitin de dahil olmak üzere yapısal polimerler, $950\text{-}750\text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki absorpsiyon bantları aracılığıyla daha da karakterize edildi. 890 cm^{-1} 'de bir pikin varlığı β -glukanlardaki C-H deformasyonuna karşılık gelirken, α -glukanlardaki asimetrik halka titreşimleri 930 cm^{-1} ve 850 cm^{-1} yakınlarında tanımlanmıştır. Ayrıca, kitindeki β -glikozidik bağlar yaklaşık 807 cm^{-1} ve 930 cm^{-1} 'deki pikler aracılığıyla tespit edilmiştir. Kontrol numunesinde 750 cm^{-1} yakınındaki belirgin bir absorpsiyon bandı, antioksidan ve immünomodülatör aktiviteler gibi tıbbi özelliklerle bağlantılı olan daha yüksek bir polisakkarit içeriğine işaret etmektedir. KT örneğinde bu bölgelerdeki piklerin daha yoğun olması, fenolik yapıların birikimi veya substrat kaynaklı sekonder metabolitlerin mantar dokusuna yansıdığını göstermektedir. Bu özellik, mantarın antioksidan kapasitesi ve biyolojik aktiflik potansiyelinin yüksek olabileceğine işaret eder.



Şekil 4.14. Mantar örnekleri FTIR spektrumu ana bölgeleri

Sonuç olarak MS ve KT substratlarında gelişen mantarlar, en zengin ve dengeli FTIR profilini göstermektedir. Protein, yağ ve fenolik bileşikler açısından yüksek içerik sergilemektedir. YFK, karbonhidratça zengin ama fenolik ve protein açısından sınırlı

kalmıştır. YFS, FTIR’de en düşük yoğunluklara sahip olup, muhtemelen sınırlı besin ve düşük biyoaktiviteye sahiptir.

Bu analiz, farklı substratların sadece mantar üretim miktarını değil, aynı zamanda mantarın kimyasal ve fonksiyonel kalitesini de doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu durum, fonksiyonel gıda ve biyoteknolojik uygulamalar açısından substrat seçiminin önemini vurgular.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

2024 yılında yürüttüğümüz çalışmada, tarım ve orman endüstrisinden elde edilen beş farklı lignoselülozik atık substratın (Mercimek Samanı - MS, Yer Fıstığı Samanı - YFS, Yer Fıstığı Kabuğu - YFK, Kavak Talaşı - KT ve Çam Talaşı - ÇT), kral istiridye mantarı (*Pleurotus eryngii*) yetiştiriciliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; substratların fizikokimyasal özellikleri, misel gelişimi, verimlilik, kalite kriterleri ve FTIR spektroskopisi ile kimyasal dönüşümleri kapsamlı şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca, kullanılan farklı substratların *P. eryngii* şapkalarının besin ve fenolik içeriği üzerindeki etkileri yine mantar örneklerine ait FTIR dalga boyları belirlenerek araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

Yapılan analizler sonucunda substratların pH, EC, N, C/N oranı, kül, selüloz, hemiselüloz ve lignin içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.001$). pH değerlerinin 5.85–6.98 arasında değişmesi, tüm substratların *P. eryngii* için uygun bir yetiştirme ortamı sunduğunu göstermektedir. MS substratı, daha düşük pH ve yüksek EC değeri ile mineral çözünürlüğü ve biyoyararlanımı artırmış; bu durum misel kolonizasyonunun hızlanmasına ve verimin artmasına katkı sağlamıştır.

Kolonizasyon süresi bakımından en kısa süre MS substratında (20,2 gün), en uzun süre ise YFK substratında (25,3 gün) gözlenmiştir. Ayrıca ÇT ortamında taslak oluşumu gözlemlenmemiştir, bu da çam talaşının reçine içeriği nedeniyle *P. eryngii* üretimi için uygun olmadığını göstermektedir.

Verim açısından MS substratı 301,8 g/kg ile en yüksek üretimi sağlamış, bunu sırasıyla YFS, KT ve YFK substratları izlemiştir. Aynı sıralama biyolojik etkinlik (BE%) değerlerine de yansımıştır. MS substratının yüksek verimi ve biyolojik etkinliği, yüksek protein ve azot içeriği ile desteklenmiş, ideal C:N oranı ile *P. eryngii* için uygun bir ortam sunmuştur.

FTIR spektroskopisi ile yapılan analizler, mantar yetiştiriciliği öncesi ve sonrası substratların kimyasal yapılarında önemli değişiklikler meydana geldiğini ortaya koymuştur. Özellikle selüloz ve hemiselülozla ilişkili 1050, 1030, 892 cm^{-1} gibi bantlarda absorpsiyon azalmaları gözlenmiş; bu durum mantarların lignoselülozik bileşenleri aktif olarak parçaladığını göstermektedir. Ayrıca, protein yapılarının göstergesi olan 1650, 1540 ve 1320 cm^{-1} bölgelerinde absorpsiyon artışı kaydedilmiş, bu da mantar biyokütlesi ve enzimatik aktivite artışıyla ilişkilendirilmiştir.

YFK ve KT substratlarında yüksek lignin içeriği, üretim döngüsünü uzatırken, YFS substratında orta düzeyde selüloz tüketimi ve KT'da yüksek yapısal bütünlük gözlenmiştir. Bu bulgular, substratın kimyasal doğasının misel gelişimini, verimliliği ve biyotransformasyon kapasitesini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

MS substratı, düşük pH, yüksek EC, yüksek azot ve uygun C/N oranı ile *Pleurotus eryngii* yetiştiriciliği için en uygun substrat olarak öne çıkmıştır. Bu nedenle, tarımsal atıkların değerlendirilmesi bağlamında MS substratı büyük potansiyele sahiptir.

Çam talaşı (ÇT), reçine içeriği nedeniyle *P. eryngii* yetiştiriciliği için uygun değildir. Orman endüstrisi atıkları kullanılırken reçine ve fenolik bileşenler dikkatle değerlendirilmelidir.

Yüksek lignin içeriği üretim süresini uzattığı için, YFK ve KT substratları, lignin bozunumunu artıracak ön işlem yöntemleri (örneğin buhar patlatma, alkalın ön muamele) ile desteklenerek daha verimli hale getirilebilir.

FTIR spektroskopisi, substrat-mantar etkileşimini ve biyolojik dönüşüm süreçlerini izlemek için güçlü ve güvenilir bir araç olarak kullanılabilir. Bu yönüyle, biyotransformasyonun gerçek zamanlı takibi için rutin analiz aracı olarak önerilmektedir.

Substratların biyoyakıt üretimi veya ikinci ürün tarımı gibi alternatif kullanım alanları, hasat sonrası yapısal bileşen analizleri doğrultusunda değerlendirilmelidir. Özellikle KT ve MS gibi yapısal bütünlüğünü koruyan atıklar, yeniden kullanım açısından öncelikli değerlendirilebilir.

MS ve KT substratları mantarların protein, karbonhidrat, yağ asidi gibi temel besin içerikleri açısından zenginleştirdiği belirlenmiştir. Yüksek besin ve biyoaktif içeriğe sahip *P. eryngii* mantar üretimi için bu substratlar tercih edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Adebayo, E. A., & Martínez-Carrera, D. (2015). Oyster mushrooms (*Pleurotus*) are versatile biofactories: A review. *Mushroom Research*, 24(1), 1-8.
- Akcay, C., Ceylan, F., & Arslan, R. (2023). Production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) from some waste lignocellulosic materials and FTIR characterization of structural changes. *Scientific Reports*, 13(1), 12897
- Akcay, C., Ceylan, F., & Arslan, R. (2023). Production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) from some waste lignocellulosic materials and FTIR characterization of structural changes. *Scientific Reports*, 13(1), 12897.
- Akçay, M. E., & Yalçın, M. (2021). FTIR ve XPS teknikleriyle lignoselülozik materyallerin karakterizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 437-444. <https://doi.org/10.2339/politeknik.685308>
- Akyüz, M., & Kırbag, S. (2009). CULTIVATION OF *P. eryngii* var. *ferulae* COLLECTED FROM VICINITY OF ELAZIG AND BINGOL. *Ecological Life Sciences*, 4(1), 1-5.
- Akyüz, M., & Yildiz, A. (2008). Evaluation of cellulosic wastes for the cultivation of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. *African Journal of Biotechnology*, 7(10).
- Alananbeh, K. M., Bouqellah, N. A., & Al Kaff, N. S. (2014). Cultivation of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* on date-palm leaves mixed with other agro-wastes in Saudi Arabia. *Saudi journal of biological sciences*, 21(6), 616-625.
- Alayont, Ş., Kayan, D. B., Durak, H., Alayont, E. K., & Genel, S. (2022). The role of acidic, alkaline and hydrothermal pretreatment on pyrolysis of wild mustard (*Sinapis arvensis*) on the properties of bio-oil and bio-char. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100980.
- Alexopoulos, C. J., & Mims, C. W. (1979). *Introductory Mycology*. John Wiley & Sons.
- Ali, S., Rani, A., Dar, M. A., Qaisrani, M. M., Noman, M., Yoganathan, K., ... & Zhu, D. (2024). Recent advances in characterization and valorization of lignin and its value-added products: challenges and future perspectives. *Biomass*, 4(3), 947-977.
- Andlar, M., Rezić, T., Marđetko, N., Kracher, D., Ludwig, R., & Šantek, B. (2018). Lignocellulose degradation: An overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation. *Engineering in life sciences*, 18(11), 768-778.

- Antunes, F., Marçal, S., Taofiq, O., MMB Morais, A., Freitas, A. C., CFR Ferreira, I., & Pintado, M. (2020). Valorization of mushroom by-products as a source of value-added compounds and potential applications. *Molecules*, 25(11), 2672.
- Ashraf, J., Ali, M. A., Ahmad, W., Ayyub, C. M., & Shafi, J. (2013). Effect of different substrate supplements on oyster mushroom (*Pleurotus spp.*) production. *Food Science and Technology*, 1(3), 44-51.
- Atila, F. (2017). Cultivation of *Pleurotus spp.*, as an alternative solution to dispose olive waste. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 12(4), 1-10.
- Atila, F. (2017). Evaluation of suitability of various agro-wastes for productivity of *Pleurotus djamor*, *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus eryngii* mushrooms. *J Exp Agric Int*, 17(5), 1-11.
- Atila, F. (2019). Lignocellulosic and proximate based compositional changes in substrates during cultivation of *Hericium erinaceus* mushroom. *Scientia horticultrae*, 258, 108779.
- Atila, F. (2019). Yield and fruit body properties of *Pleurotus eryngii* isolates grown on poplar sawdust supplemented with different additive materials. *Mantar Dergisi*, 10(3), 106-113.
- Atila, F., & Cetin, M. (2024). Bioconversion of lavender oil extraction wastes through cultivation of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae*: Its effects on yield, nutritional content and antioxidant capacity of the mushroom. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 58, 103138.
- Aydin, A., Eryılmaz, S., & Karaca, S. (2018). Nutritional and functional properties of *Pleurotus eryngii* mushrooms. *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2224-2231.
- Baeza, J., & Freer, J. (2000). In D. N. S. Hon & D. N. S. Shiraishi (Eds.), *Wood and cellulosic chemistry* (p. 275). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482269741>
- Baltacıoğlu, C., Baltacıoğlu, H., Seyhan, R., Uğur, Ö., & Avcu, O. (2021). Investigation of the effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) powder on biscuit production and effect on quality criteria by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15174.
- Bandura, I., Isikhuemhen, O. S., Kulik, A., Bisko, N., Serduik, M., Khareba, V., ... & Chausov, S. (2022). Mushroom fruiting body yield and morphological characteristics from different strains of *Pleurotus eryngii*. *Journal of Applied Biology & Biotechnology Vol*, 10(01), 1-8.

- Baştuğ, G., Hal, Y. B., Baktemur, G., Yayar, M., Kara, E., & Taşkın, H. (2022). Farklı tarımsal atıklardan hazırlanan yetiştirme ortamlarının *Pleurotus eryngii* verim ve kalitesi üzerine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(3), 578-587.
- Bekiaris, G., Koutrotsios, G., Tarantilis, P. A., Pappas, C. S., & Zervakis, G. I. (2020). FTIR assessment of compositional changes in lignocellulosic wastes during cultivation of *Cyclocybe cylindracea* mushrooms and use of chemometric models to predict production performance. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 1027-1035.
- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., & Bellettini, S. (2015). Aspectos gerais do cultivo de cogumelo *Pleurotus ostreatus* e djamor pela técnica Jun–Cao. *Apprehendere, Guarapuava (in Portuguese)*.
- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Ribani, R. H., & Júnior, A. M. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *AMB Express*, 9(1), 130. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0851-0>
- Boa, E. (2004). *Wild Edible Fungi: A Global Overview of their Use and Importance to People*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Boh, B., Zupančič, Š., & Kreft, S. (2009). Medicinal mushrooms: Their chemical composition and therapeutic potential. *Phytotherapy Research*, 23(5), 767-774.
- Carlile, M. J., Watkinson, S. C., & Gooday, G. W. (2001). Fungal diversity. *The fungi. Academic Press. 2nd ed. San Diego San Fransisco*, 11-84.
- Castillo, R.P., Peña-Farfal, C., Neira, Y., and Freer, J., (2016). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR): Methods, Analysis and Research Insights*, Moore E., Ed., New York: Nova Science, p. 36.
- Cetin, M., Atila, F., & Eren, E. (2025). Valorization of olive press cake as a sustainable alternative to peat in white button mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. CRC Press.
- Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*. CRC Press.
- Cheah, I. K., Ong, R. L., & Halliwell, B. (2014). Ergothioneine; a natural antioxidant with therapeutic potential. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Molecular Basis of Disease*, 1842(5), 683–689. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2013.08.006>

- Chen, X., Liu, X., Sheng, D., Huang, D., Li, W., & Wang, X. (2012). Distinction of broken cellular wall *Ganoderma lucidum* spores and *G. lucidum* spores using FTIR microspectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97, 667-672.
- Cheung, P. C. (2010). *The nutritional and health benefits of mushrooms*. Nutrition Bulletin, 35(4), 292-299.
- Cheung, P. C. (2013). Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: Preparation and health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 2(3-4), 162-166.
- Choong, Y. K., Sun, S. Q., Zhou, Q., Lan, J., Lee, H. L., & Chen, X. D. (2014). Verification of *Ganoderma* (lingzhi) commercial products by Fourier transform infrared spectroscopy and two-dimensional IR correlation spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, 1069, 60-72.
- Chukwurah, N. F., Eze, S. C., Chiejina, N. V., Onyeonagu, C. C., Okezie, C. E. A., Ugwuoke, K. I., ... & Nkwonta, C. G. (2013). Correlation of stipe length, pileus width and stipe girth of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) grown in different farm substrates. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 5(3), 54-60.
- Çüçen, A., & Solak, A. (2023). Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri Üzerine Bir Araştırma. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(1), 1-8.
- da Costa, R. M., Bosch, M., Simister, R., Gomez, L. D., Canhoto, J. M., & Batista de Carvalho, L. A. (2022). Valorisation Potential of Invasive *Acacia dealbata*, *A. longifolia* and *A. melanoxylon* from Land Clearings. *Molecules*, 27(20), 7006.
- Dadaylı, G. (2014). *Çay artığı ile hazırlanan ortamlarda parçalama ve örtü toprağı serme işleminin Pleurotus eryngii mantarının biyolojik etkinlik ve verimi üzerine etkileri*, Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- Demirbaş, N. (2020). Türkiye’de mantar yetiştiriciliği: Sorunlar ve çözümler. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(2), 45-53.
- Demirci, T., & Peker, H. (2020). Türkiye’de istiridyeye mantarının ekonomik önemi ve üretim potansiyeli. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 12-20.
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Fawzy, Z., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., ... & Prokisch, J. (2022). Green biotechnology of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): A sustainable strategy for myco-remediation and bio-fermentation. *Sustainability*, 14(6), 3667.

- Eren, E., & Pekşen, A. (2019). *Türkiye’de kültür mantarı üretimi ve teknolojik gelişmeler. Mantar Dergisi, 10 (3), 225-233.*
- Estrada, A. E. R., del Mar Jimenez-Gasco, M., & Royse, D. J. (2009). Improvement of yield of *Pleurotus eryngii* var. *eryngii* by substrate supplementation and use of a casing overlay. *Bioresource Technology, 100(21), 5270-5276.*
- Fabiyi, J. S., McDonald, A. G., Morrell, J. J., & Freitag, C. (2011). Effects of wood species on durability and chemical changes of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 42(5), 501–510.* <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.01.011>
- FAOSTAT (2025). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erisim: 22.03.2025)
- Ferreira, I. C. F. R., Barros, L., & Abreu, R. M. V. (2009). Antioxidants in wild mushrooms. *Current Medicinal Chemistry, 16(12), 1543–1560.*
- Goodell, B. (2020). Fungi involved in the biodeterioration and bioconversion of lignocellulose substrates. *Genetics and biotechnology, 369-397.*
- Guillamón, E., García-Lafuente, A., Lozano, M., Rostagno, M. A., Villares, A., & Martínez, J. A. (2010). Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia, 81(7), 715-723.*
- Hall, I. R., Yun, W., & Amicucci, A. (2003). *Cultivation of edible ectomycorrhizal mushrooms.* Trends in Biotechnology, *21(9), 433-438.*
- Hofmann, T., Brunnbauer, L., & Veigel, S. (2022). Advanced FTIR analysis of lignin-based composites. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 10(10), 3201–3210.* <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c07764>
- Holliday, J., & Cleaver, M. (2008). *Medicinal value of the caterpillar fungi species of the genus Cordyceps (Fr.) Link (Ascomycetes): A review.* International Journal of Medicinal Mushrooms, *10(3), 219-234.*
- Hu, J., Arantes, V., & Saddler, J. N. (2011). The enhancement of enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates by the addition of accessory enzymes such as xylanase: is it an additive or synergistic effect?. *Biotechnology for biofuels, 4, 1-14.*
- Huppertz, T. (2012). Analytical Methods for Food and Dairy Powders| Analytical Methods for Food and Dairy Powders, P. Schuck, A. Olivet, R. Jeantet, Wiley-Blackwell, Oxford, UK (2012), 228 pp., Price:€ 169, ISBN: 978-0-470-65598-6.
- Kalač, P. (2009). *Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review.* Food Chemistry, *113(1), 9-16.*

- Kalaç, P. (2010). Nutritional value of edible mushrooms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(4), 299-313.
- Kalmıs, E., Azbar, N., Yıldız, H., & Kalyoncu, F. (2008). Feasibility of using olive mill effluent (OME) as a wetting agent during the cultivation of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, on wheat straw. *Bioresource Technology*, 99(1), 164-169.
- Karić, N., Maia, A. S., Teodorović, A., Atanasova, N., Langergraber, G., Crini, G., ... & Đolić, M. (2022). Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in) organic pollutants in wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal Advances*, 9, 100239.
- Karim, Z., Claesson, P. M., & Ederth, T. (2016). FTIR study of lignin model compound adsorbed on silica and cellulose model surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 489, 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.10.068>
- Kassem, A., Abbas, L., Coutinho, O., Opara, S., Najaf, H., Kasperek, D., ... & Tiquia-Arashiro, S. (2023). Applications of Fourier Transform-Infrared spectroscopy in microbial cell biology and environmental microbiology: advances, challenges, and future perspectives. *Frontiers in microbiology*, 14, 1304081.
- Kaya, E., & Çolak, A. (2019). Türkiye’de mantar yetiştiriciliği ve gelişimi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(4), 98-105.
- Ke, J., Laskar, D. D., Singh, D., & Chen, S. (2011). In situ lignocellulosic unlocking mechanism for carbohydrate hydrolysis in termites: crucial lignin modification. *Biotechnology for biofuels*, 4, 1-12.
- Khan, A., Murad, W., Ali, S., Shah, S. S., Halim, S. A., Khalid, A., ... & Al-Harrasi, A. (2024). Contribution of mushroom farming to mitigating food scarcity: Current status, challenges and potential future prospects in Pakistan. *Heliyon*.
- Kibar, B. (2016). Farklı yetiştirme ortamlarının *Pleurotus eryngii* mantarının gelişimi ve verimi üzerine etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-9.
- Kim, D. H., Choi, H. J., Jo, W. S., & Moon, K. D. (2012). Quality characteristics of *Pleurotus eryngii* cultivated with different wavelength of LED lights. *Korean Journal of Food Preservation*, 19(3), 354-360.
- Kim, D. H., Lee, H. S., & Lee, S. H. (2020). Antibacterial, anticancer, and antioxidant activity of *Pleurotus eryngii*. *Journal of Medicinal Food*, 23(3), 283-290.

- Kim, S. Y. (2014). *Nutritional and medicinal properties of Pleurotus eryngii*. *Mycobiology*, 42(3), 231-244.
- Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285.
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, N., Yadav, A. N., Singh, J., Rastegari, A. A., & Saxena, A. K. (2019). Agriculturally and industrially important fungi: current developments and potential biotechnological applications. *Recent advancement in white biotechnology through fungi: Volume 2: Perspective for value-added products and environments*, 1-64.
- Kubovský, I., Kačík, F., & Čabalová, I. (2020). Analysis of the chemical changes in the wood surface due to CO₂ laser irradiation. *Polymers*, 12(6), 1292. <https://doi.org/10.3390/polym12061292>
- Kumar, A., & Chandra, R. (2020). Ligninolytic enzymes and its mechanisms for degradation of lignocellulosic waste in environment. *Heliyon*, 6(2).
- Li, W., Li, X., Yang, Y., Zhou, F., Liu, Y., Zhou, S., & Yu, H. (2015). Effects of different carbon sources and C/N values on nonvolatile taste components of *Pleurotus eryngii*. *International journal of food science and technology*, 50(11), 2360-2366.
- Lindequist, U., Niedermeyer, T.H., Jülich, W.D., (2005). "The pharmacological potential of mushrooms", *Evid. -based Complement. Altern. Med.*, 2, 285-99.
- Liu, G., Song, D., Zhao, D., Liu, J. H., Zhou, Y., Ou, J., & Sun, S. (2006). A study of the mushrooms of boletes by Fourier transform infrared spectroscopy. In *ICO20: Biomedical Optics* (Vol. 6026, pp. 124-129). SPIE.
- Liu, H. X., Sun, S. Q., & Yang, J. S. (2007). Study on the compatibility of medicines of sini-tang by using Fourier transform infrared spectroscopy. *Guang pu xue yu Guang pu fen xi= Guang pu*, 27(7), 1316-1318.
- Liu, S. C., Hsu, C. H., & Wang, H. J. (2019). Biological properties and medicinal uses of *Pleurotus eryngii*. *Antioxidants*, 8(9), 330.
- López-Lorente, Á. I., & Mizaikoff, B. (2016). Mid-infrared spectroscopy for protein analysis: potential and challenges. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408, 2875-2889.
- Maji, S., Dwivedi, D. H., Singh, N., Kishor, S., & Gond, M. (2020). Agricultural waste: Its impact on environment and management approaches. *Emerging eco-friendly green technologies for wastewater treatment*, 329-351.

- Maliki, M., Hadjadj, F. Z., Laredj, N., & Missoum, H. (2023). Assessment and correlation of saline soil characteristics using electrical resistivity. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 14(3), 205-214.
- Mankar, Akshay R., Arindam Modak, and Kamal Kishore Pant. (2022). "Recent advances in the valorization of lignin: a key focus on pretreatment, characterization, and catalytic depolymerization strategies for future biorefineries." *Advanced Sustainable Systems* 6.3 2100299.
- Moger, V. S., Gujran, H., & Gowda, S. (2025). *Edible Mushrooms: A Sustainable Superfood for the Future*. In *Sustainable Agriculture and Food Systems*. IGI Global.
- Moonmoon, M., Uddin, M. N., Ahmed, S., Shelly, N. J., & Khan, M. A. (2010). Cultivation of different strains of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) on saw dust and rice straw in Bangladesh. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 17(4), 341-345.
- Moore, D., Robson, G. D., & Trinci, A. P. J. (2020). *21st Century Guidebook to Fungi* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Mutlu, D. (2022). *Mantar Polisakkaritlerinin İzolasyonu, Antikanser, Antibiyofilm Ve Antiinflamatuvar Etkilerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 153s.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier transform infrared spectra (FTIR): A practical approach in the polymer/plastic thermal decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), 113-126.
- Ni, T. T., Zhao, X., Xing, Z., Tan, Q., & Buswell, J. A. (2020). Ligno (hemi) cellulolytic enzyme profiles during the developmental cycle of the royal oyster medicinal mushroom *Pleurotus eryngii* (Agaricomycetes) grown on supplemented agri-wastes. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 22(9).
- O'Gorman, A., Downey, G., Gowen, A. A., Barry-Ryan, C., & Frias, J. M. (2010). Use of Fourier transform infrared spectroscopy and chemometric data analysis to evaluate damage and age in mushrooms (*Agaricus bisporus*) grown in Ireland. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(13), 7770-7776.
- Ohga, S. (2000). Influence of wood species on the sawdust-based cultivation of *Pleurotus abalonus* and *Pleurotus eryngii*. *Journal of wood science*, 46, 175-179.

- Oluklu, Ş., & Kibar, B. (2016). Determination of Optimum Mycelial Growth Conditions of *Pleurotus eryngii* Mushroom. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 6(2), 17-25.
- Pandey, K.K., (1999). A study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. *Appl. Polym.* 71, 1969–1975.
- Paterson, R. R. M. (2006). *Ganoderma – A therapeutic fungal biofactory*. *Phytochemistry*, 67(18), 1985-2001.
- Peña, A., Babiker, R., Chaduli, D., Lipzen, A., Wang, M., Chovatia, M., ... & Ruiz-Dueñas, F. J. (2021). A multiomic approach to understand how *Pleurotus eryngii* transforms non-woody lignocellulosic material. *Journal of Fungi*, 7(6), 426.
- Philippoussis A, Zervakis G. Diamantopoulou P. (2001). Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms: *Agrocybe aegenita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 17(2):191-200
- Popescu, C. M., Hill, C. A. S., & Curling, S. F. (2006). FT-IR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.12.002>
- Puliga, F., Leonardi, P., Minutella, F., Zambonelli, A., & Francioso, O. (2022). Valorization of hazelnut shells as growing substrate for edible and medicinal mushrooms. *Horticulturae*, 8(3), 214.
- Reis, F. S., Martins, A., & Vasconcelos, M. W. (2017). *Pleurotus eryngii* and its health benefits: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(3), 751-758.
- Roupas, P., Keogh, J., Noakes, M., Margetts, C., & Taylor, P. (2012). The role of edible mushrooms in health: Evaluation of the evidence. *Journal of functional foods*, 4(4), 687-709.
- Royse, D. J. (2021). Global mushroom production and its impact on food security. *Mushroom Journal*, 112, 3-10.
- Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In *Edible and medicinal mushrooms* (pp. 5-13). Springer.
- Royse, D. J., Sanchez, J. E. (2007). Ground wheat straw as a substitute for portions of oak wood chips used in shiitake (*Lentinula edodes*) substrate formulae. *Bioresource Technology*, 98(11), 2137-2141.

- Rozsa, S., Măniuțiu, D. N., Lazăr, V., Gocan, T. M., & Andreica, I. (2016). The influence of pH and the source of nitrogen on the mycelial growth of the *Pleurotus ostreatus* mushrooms. *Lucrări Științifice*, 59(2):243-246.
- Ruiz-Deueñas, F. J., & Martínez, Á. T. (2009). Microbial degradation of lignin: how a bulky recalcitrant polymer is efficiently recycled in nature and how we can take advantage of this. *Microbial biotechnology*, 2(2), 164-177.
- Ryu, J. S., Kim, M. K., Cho, S. H., Yun, Y. C., Seo, W. M., & Lee, H. S. (2005). Optimal CO₂ level for cultivation of *Pleurotus eryngii*. *Journal of Mushroom*, 3(3), 95-99.
- Sardar, H., Ali, M. A., Anjum, M. A., Nawaz, F., Hussain, S., Naz, S., & Karimi, S. M. (2017). Agro-industrial residues influence mineral elements accumulation and nutritional composition of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Scientia Horticulturae*, 225, 327-334.
- Shankar, A., Saini, S., & Sharma, K. K. (2024). Fungal-integrated second-generation lignocellulosic biorefinery: utilization of agricultural biomass for co-production of lignocellulolytic enzymes, mushroom, fungal polysaccharides, and bioethanol. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(1), 1117-1131.
- Sharma, S. N., Kumar, S., Kumar, J., & Malik, P. S. (2022). Cultivation of King Oyster Mushroom (*Pleurotus eryngii*): A Sustainable Way for Agro-Waste Management. *Annals of Horticulture*, 15(1), 21-25.
- Sharma, S. R., & Madan, M. (1993). *Cultivation of Pleurotus sajor-caju on different agrowastes*. *Biological Wastes*, 44(1), 87-92.
- Smidt, E., & Meissl, K. (2007). The applicability of FT-IR spectroscopy in waste management. *Waste Management*, 27(2), 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.013>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press.
- Srivastava, A., Rohit, T., Singh, M., Bhombal, Y., Mehariya, S., Karthikeyan, O. P., ... & Chavali, M. (2022). Lignocellulosic biomass valorization and fate of recalcitrant. *Thermochemical and Catalytic Conversion Technologies for Future Biorefineries: Volume 2*, 1-30.
- Stamets, P. (2000). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms*. Ten Speed Press.
- Suryadi, H., Judono, J. J., Putri, M. R., Ecclesia, A. D., Ulhaq, J. M., Agustina, D. N., & Sumiati, T. (2022). Biodelignification of lignocellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi. *Heliyon*, 8(2).

- Şelem, E., Keleş, A., Acar, İ., & Demirel, K. (2019). Edible macrofungi determined in Gürpınar (Van) district. *Anatolian Journal of Botany*, 3(1), 7-12.
- Thi, N. B. D., Kumar, G., & Lin, C. Y. (2015). An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. *Journal of environmental management*, 157, 220-229.
- Tryjarski, P., Gawron, J., Andres, B., Obiedzińska, A., & Lisowski, A. (2022). FTIR analysis of changes in chipboard properties after pretreatment with *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *Energies*, 15(23), 9101.
- TÜİK (2022). Tarımsal Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., Lewis, B., 1991, Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597
- Wang, H., Ng, T. B., & Liu, Q. (2012). Triterpenes and polysaccharides in *Ganoderma lucidum*: Biological activity and potential application. *Natural Product Reports*, 29(6),
- Wang, K., Jiang, J. X., Xu, F., & Sun, R. C. (2009). Influence of steaming explosion time on the physic-chemical properties of cellulose from *Lespedeza stalks* (*Lespedeza cryptobotrya*). *Bioresource technology*, 100(21), 5288-5294.
- Wasser, S. P. (2002). *Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60(3), 258-274.
- Wasser, S. P. (2011). Current findings, future trends, and unsolved problems in studies of medicinal mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(5), 1323-1332.
- Wasser, S.P., Weis, A.L. (1999)."Medicinal properties of substances occurring in Higher Basidiomycetes mushrooms: current perspectives", *Int. J. Med. Mushrooms*, 1, 31- 62.
- Wickramasinghe, M. A., Nadeeshani, H., Sewwandi, S. M., Rathnayake, I., Kananke, T. C., & Liyanage, R. (2023). Comparison of nutritional composition, bioactivities, and FTIR-ATR microstructural properties of commercially grown four mushroom species in Sri Lanka; *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Calocybe sp.*(MK-white), *Ganoderma lucidum*. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 43.

- Yang, J., Chen, J., & Wang, R. (2013). *Antioxidant and Antimicrobial Activities of Pleurotus eryngii Extracts*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(18), 4238-4244.
- Yılmaz, E., Dönmez, M. F., & Kılıç, M. (2018). *Türkiye'de mantar üretimi ve gelişimi*. *Mantar Yetiştiriciliği Dergisi*, 12(2), 97-102.
- Zăgrean, V., Sbîrciog, G., Buzatu, M. A., & Mândru, I. (2016). Effect of nutritive media and pH on mycelial growth of some *Pleurotus eryngii* strains in vitro. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 73(2).
- Zaidman, B.Z., Yassin, M., Mahajna, J., Wasser, S.P. (2005). "Medicinal mushroom modulators of molecular targets as cancer therapeutics", *Appl Microbiol Biotechnol.* 67(4), 453-68.
- Zervakis, G. I., Bekiaris, G., Tarantilis, P. A., & Pappas, C. S. (2012). Rapid strain classification and taxa delimitation within the edible mushroom genus *Pleurotus* through the use of diffuse reflectance infrared Fourier transform (DRIFT) spectroscopy. *Fungal biology*, 116(6), 715-728.
- Zervakis, G. I., Kouidi, E., & Patsias, S. (2000). Cultivation of *Pleurotus eryngii* on different agro-industrial by-products. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2(3), 245-252.
- Zhang, L., Xie, J., & Zhao, J. (2016). Medicinal fungi and their therapeutic potential. *Journal of Fungal Biology*, 23(4), 219-232.
- Zhang, W., Chen, X., Liu, G., Jin, G., Li, Y., Li, G., ... & Lan, J. (2022). Study on the chemical changes of *Quercus acuttissima* by *Ganoderma lucidum* cultivation after different years by FTIR analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 266, 120443.
- Zhang, X., Zhang, Z., & Li, S. (2019). *The cultivation and medicinal properties of Lentinula edodes (shiitake mushroom): A review*. *Journal of Fungal Biology*, 28(5), 345-356.
- Zhang, Y., Xiao, Y., & Tong, Q. (2014). *Cultivation, nutraceutical properties, and pharmacological effects of culinary-medicinal king oyster mushroom Pleurotus eryngii (Higher Basidiomycetes): A review*. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(4), 329-345.
- Zhao, D., Liu, G., Song, D., Liu, J. H., Zhou, Y., Ou, J., & Sun, S. (2006). Identification of *Amanita* mushrooms by Fourier transform infrared spectroscopy. In *Fourth*

- International Conference on Photonics and Imaging in Biology and Medicine* (Vol. 6047, pp. 438-443). SPIE.
- Zhao, L. (2010). *Lentinan: A review of its pharmacology and clinical applications*. *Phytotherapy Research*, 24(10), 1427-1430.
- Zhou, Y., Li, Z., Zhang, H., Hu, Q., & Zou, Y. (2022). Potential uses of scallop shell powder as a substrate for the cultivation of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Horticulturae*, 8(4), 333.
- Zied, D. C. (2017). Advances in mushroom production technology. *Horticulture Research*, 4, 1-8.
- Zied, D. C., Savoie, J. M., & Pardo-Giménez, A. (2011). Soybean the main nitrogen source in cultivation substrates of edible and medicinal mushrooms. *Soybean and nutrition*, 22, 433-452.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Burak SALMANOĞLU
Uyruğu:	T.C.
Orcid Numarası:	0009-0005-2729-244X

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Fakülte	Ziraat Fakültesi
Bölümü	Bahçe Bitkileri Bölümü
Mezuniyet Yılı	2021
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
Programı	Bahçe Bitkileri Bilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2025

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Salmanoğlu, B., Atila, F. (2023). <i>Hypsizygus ulmarius</i> mantarı üretiminde yerfıstığı kabuklarının substrat olarak kullanımının mantar verimi ve şapka boyutlarına etkisi. 6 th <i>International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciennes</i> .