

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



***Pleurotus* MİSEL BİYOKÜTLESİ ÜRETİMİ VE GIDA MADDESİ
OLARAK KARAKTERİZASYONU**

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



***Pleurotus* MİSEL BİYOKÜTLESİ ÜRETİMİ VE GIDA MADDESİ
OLARAK KARAKTERİZASYONU**

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***Pleurotus* MİSEL BİYOKÜTLESİ ÜRETİMİ VE GIDA MADDESİ
OLARAK KARAKTERİZASYONU**

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bu tez TÜBİTAK 1001 121O486 nolu projesi ve Akdeniz Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri birimi tarafında FBA-2023-6453 nolu Normal Araştırma
Projesi ile desteklenmiştir.**

ŞUBAT 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***Pleurotus* MİSEL BİYOKÜTLESİ ÜRETİMİ VE GIDA MADDESİ
OLARAK KARAKTERİZASYONU**

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 20 / 02 / 2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erhan KEYVAN

Doç. Dr. Ercan YATMAZ

Doç. Dr. Barçın KARAKAŞ BUDAK (Danışman)

ÖZET

***Pleurotus* MİSEL BİYOKÜTLESİ ÜRETİMİ VE GIDA MADDESİ OLARAK KARAKTERİZASYONU**

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Barçın KARAKAŞ BUDAK

Şubat 2025; 84 Sayfa

Günümüzde sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme amacıyla alternatif gıda kaynakları üzerinde yapılan araştırmalar önemli ölçüde artmıştır. Bunun başlıca nedenleri arasında iklim değişikliği, artan insan nüfusu ile ilgili endişeler ve dünyada yaygınlaşan tüketim alışkanlıklarının değişimi yer almaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek amacıyla alternatif protein kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi bu çalışmaların öncelikli konu başlıkları arasında yer almaktadır. Mikrobiyal kaynaklı biyokütle, üretim süreçlerinin görece hızlı ve kolay oluşu, üretimde tarımsal atıkların hammadde olarak değerlendirilebilmesi ve besin içeriği ve diğer son ürün özelliklerinin yüksek düzeyde kontrol edilebiliyor oluşu nedeniyle alternatif protein kaynakları arasında tercih edilmektedir. Mikrobiyal üretim için kullanılabilecek mikrobiyal türler arasında funguslar da yer alır. Maya ve hifli funguslardan ayrı bir grupta yer alan makro funguslar da mikrobiyal kültür olarak biyokütle üretiminde kullanılabilmektedir. İstiridye mantarı (*Pleurotus* spp.) miselyum kültürü olarak geliştirilebilen, sıvı ortamda yenilebilir nitelikte biyokütle üretimi sağlanabilen cinsten fungusur.

Bu çalışmada *Pleurotus ostreatus* EBK13 suşunun sıvı kültürde üretimi ve gıda bileşeni ve alternatif protein kaynağı olarak potansiyeli araştırılmıştır. *P. ostreatus* misel biyokütlesi üretimi için çalkalamalı inkübasyon denemelerinin ardından fermentör ortamında, iki farklı yöntemle biyokütle üretimi sağlanmıştır. Her ikisi de laboratuvar ölçekli üretim sağlayan bu yöntemlerden ilki karıştırmalı biyoreaktör, diğeri ise özgün şekilde oluşturulmuş kabarcık sütun tipi biyoreaktördür. Kabarcık sütun biyoreaktörlerdeki ortalama biyokütle verimi (172 g/L) karıştırmalı fermentörde gerçekleşen üretimden (118 g/L) daha yüksek olmuştur. Üretilen fungal biyokütle (FB) besin içeriği bakımından incelenmiş, kuru maddede ortalama %15.24 protein, %12.68 yağ, %5.19 kül ve %66.89 karbonhidrat bulunduğu belirlenmiştir. Üretilen biyokütle derin dondurucuda muhafaza edilmiş ve kullanım anında çözündürülerek serbest suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bununla beraber üretilen FB'ye daha uygun su içeriği ve tekstür özellikleri kazandırılmıştır. Bu şekilde yapılandırılan FB'nin su içeriği azaltılarak ve tekstür özellikleri iyileştirilmiştir. Dondurarak yapılandırılmış fungal biyokütlenin gıda olarak değerlendirilebilirliğini uygulamalı olarak test etmek amacıyla tavuk köfte formülasyonunda farklı oranlarda (reçetede bulunan tavuk kıymasının %10, %20 ve %30'u mertebesinde) ikame yapılarak köfte pişirme denemeleri yürütülmüştür. Fırında pişirilen köftelerin kimyasal, fiziksel ve duyu özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, iki hafta sürdürülen soğukta muhafazanın köftelerin mikrobiyal ve kimyasal özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Köfte formülasyonlarına uygulanan FB ikamesi fırında pişirilen köftelerin fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Sadece tavuk kıyması içeren kontrol köfteler ile farklı oranlarda FB içeren köfteler arasında pişme verimi ve çap azalışı parametreleri açısından önemli fark gözlenmemiştir. Köfte kalınlıklarında kontrol, %10 ve %20 FB ikameli köftelerde kalınlık artışı olmuş, %30 ikame içeren köftelerde kalınlığın azaldığı tespit edilmiştir. Tavuk etinin %20'ye kadar FB ile ikame edilmesi köftelerin ham protein içeriğinde önemli bir fark yaratmamakla beraber %30'luk FB ilavesi ham protein içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır. Köftelerin yağ içeriği FB ikame oranı arttıkça artma eğilimi sergilemiştir. Köftelerin kül içeriğinde FB ilavesi ile artış gözlemlenmiş ancak ikame edilen FB'nin oranına bağlı bir değişim olmamıştır. Renk analiziyle köftelerde FB ilavesine bağlı şekilde L* ve b* değerlerinin arttığı, rengin daha beyaz ve sarı olduğu belirlenmiştir. Tekstür profil analiziyle FB ikame oranına bağlı olarak köftelerin sertlik, çiğnenebilirlik ve dayanıklılık gibi parametrelerinde düşüş olduğu gösterilmiş, duyuşal analiz sonuçları da ikamenin daha yumuşak algı oluşturduğunu doğrulamıştır. Duyusal panel ile FB ilavesinin köftelerin sadece tekstürel özelliklerinde farka (tat, koku, renk, aroma, ağız hissi ve görünüm bakımından fark algılanmadığı) neden olmakla kalmayıp, FB ikameli köftelerin daha yüksek beğeni sağladığını da göstermiştir. Buzdolabı koşullarında muhafaza edilen köftelerde pH, oksidasyon derecesi ve mikrobiyal yük takibi yapılmıştır. FB ilavesi ile köftelerin pH değerlerinde değişim olmamıştır. FB ilavesinin, istatistiksel olarak anlamlı seviyelerde olmasa da mikrobiyal bozulmayı geciktirebileceği ve depolamada gelişen oksidasyonun istatistiksel olarak önemli ölçüde azaltılabileceği çalışmanın önemli bulguları arasında olmuştur. Sonuç olarak, sıvı kültür fermentasyonu ile üretilen *P. ostreatus* EBK13 misel biyokütlesinin zengin besin içeriği olduğu, yüksek beğeni ile tüketilebilecek köftelerin formülasyonunda kullanılabileceği gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Alternatif et ürünleri, Fungal protein, Gıda sürdürülebilirliği, İstiridye mantarı, Mikoprotein, Oksidasyon stabilitesi

JÜRİ:

Prof. Dr. Erhan KEYVAN

Doç. Dr. Ercan YATMAZ

Doç. Dr. Barçın KARAKAŞ BUDAK

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF *Pleurotus* MYCELIAL BIOMASS AS A FOOD INGREDIENT

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

MSc Thesis in Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Barçın KARAKAŞ BUDAK

February 2025; 84 Pages

In recent years, research on alternative food sources has significantly increased to promote sustainable and healthy nutrition. The primary reasons for this include climate change, concerns about the growing human population, and the shift in global consumption habits. Investigating and developing alternative protein sources for a sustainable future is among the primary research topics in this field. Microbial biomass is preferred among alternative protein sources due to its relatively fast and easy production processes, the utilization of agricultural waste as raw material, and the ability to control the final product's characteristics, including nutritional content, at a high level. Fungi are among microbial species that can be used for microbial production. In addition to yeasts and filamentous fungi, macrofungi, which belong to a distinct group, can also be utilized as microbial cultures for biomass production. Oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) are a type of fungus that can be cultivated as mycelium culture and used for edible biomass production in liquid media.

In this study, the production of *Pleurotus ostreatus* EBK13 strain in liquid culture and its potential as a food ingredient and alternative protein source were investigated. Following shake flask incubation experiments, biomass production was conducted in a bioreactor environment using two different methods. Both methods were laboratory-scale production approaches, with the first being a stirred bioreactor and the second an originally designed bubble column-type bioreactor. The average biomass yield obtained in the bubble column bioreactors (172 g/L) was higher than that obtained in the stirred fermenter (118 g/L). The nutritional content of the produced fungal biomass (FB) was analyzed, revealing an average composition of 15.24% protein, 12.68% fat, 5.19% ash, and 66.89% carbohydrates in dry matter. The produced biomass was stored in a deep freezer and thawed before use, to remove free water. Additionally, this process improved the water content and textural properties of the produced FB. As a result of this process, the obtained biomass was termed freeze-structured or freeze-texturized fungal biomass. To evaluate the applicability of the biomass as a food ingredient, chicken patties were prepared with different substitution ratios (10%, 20%, and 30% of the minced chicken in the recipe). The chemical, physical, and sensory properties of the oven-cooked patties were analyzed. Additionally, the effects of refrigerated storage for two weeks on the microbial and chemical properties of the patties were examined.

The substitution of FB in patty formulations resulted in significant changes in the physical, chemical, and sensory properties of the oven-cooked patties. There was no significant difference in cooking yield and diameter reduction between control patties (made with only chicken mince) and patties containing different amounts of FB. In terms of patty thickness, an increase was observed in the control, 10%, and 20% FB-substituted patties, whereas a decrease in thickness was detected in the 30% FB-substituted patties. Substituting chicken meat with up to 20% FB did not cause a significant difference in the crude protein content of the patties; however, a 30% FB substitution significantly reduced the crude protein content. The fat content of the patties tended to increase with FB addition. While the ash content of the patties showed an increase with FB addition, no significant variation was observed based on the proportion of FB substitution. Color analysis showed that L* and b* values increased with FB addition, indicating a lighter and more yellow color. Texture profile analysis demonstrated that increasing the FB substitution rate resulted in decreases in parameters such as hardness, chewiness, and resilience. Sensory analysis results confirmed that the substitution led to a softer texture perception. According to the sensory panel evaluation, the FB-substituted patties were perceived to be different from the control samples only in terms of texture, while no differences were observed in terms of taste, odor, color, aroma, mouthfeel, or appearance. Additionally, FB-substituted patties received higher overall acceptability scores compared to the control samples. During refrigerated storage, pH, oxidation levels, and microbial load were monitored. No significant changes were observed in pH values due to FB substitution. Although not statistically significant, FB addition was found to potentially delay microbial spoilage and significantly reduce oxidation, making it one of the key findings of the study. In conclusion, it was demonstrated that *P. ostreatus* EBK13 mycelial biomass, produced via liquid culture fermentation, could be incorporated into patty formulations with high nutritional value and high consumer acceptance.

KEYWORDS: Alternative meat products, Food sustainability, Fungal protein, Mycoprotein, Oxidation stability, Oyster mushroom

COMMITTEE:

Prof. Dr. Erhan KEYVAN

Assoc. Prof. Dr. Ercan YATMAZ

Assoc. Prof. Dr. Barçın KARAKAŞ BUDAK

ÖNSÖZ

Bu tez *Pleurotus ostreatus* batık fermentasyonu ile üretilen fungal biyokütlenin tavuk eti ikamesi olarak değerlendirilirliliğinin araştırılmasını ve çift bileşenli (hibrit) tavuk-misel köftelerin üretimini kapsamaktadır. Günümüzde farklı üretim alanlarında geleneksel üretim yöntemlerine alternatif daha verimli, hızlı ve sürdürülebilir yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi söz konusudur. Gıda üretimi için de geçerli olan bu durum nedeniyle konu ulusal ve uluslararası ölçekte akademik ilgi görmektedir. Konuya olan ilgi akademinin ötesinde özel sektörü de ilgilendirmektedir. Tez çalışmasında kullanılan üretici suş bir makro-fungus olmakla birlikte sıvı kültürde üretimi görece yenidir ve bu şekilde üretimi halihazırda endüstriyel boyut kazanmamıştır. Çalışmanın *Pleurotus* türlerinin sıvıkültürde üretimiyle ve/veya üretilen materyalin gıda uygulamaları ile ilgilenen araştırmacılar, potansiyel üreticiler ve gıda endüstrisi için faydalı bir içerik olmasını ve okuyarlarda sürdürülebilirliğe ilişkin düşünceler çağrıştırmasını, bilinç geliştirmeleri yönünde istek uyandırmasını temenni ederim.

Çalışmalarım boyunca, şahsen çok şey öğrendiğimi ifade etmeliyim. İnsan çalışarak, öğrenerek sadece bilgi edinmeyip kendisini de tanır. Bu süreçte tarih kadar eski olan “nasıl düşünmeliyim?” sorusuna yanıt aradım ve küçük de olsa birkaç adım atmış oldum. Araştırma süreçlerinde yeri gelince sabırlı olmayı, yeri gelince ısrarcı olmayı ve kimi zaman da teslim olmamayı öğrendim. Eğitim sözcüğünün Türkçe dilinde anlamlı ve derin bir sözcük olduğunu düşünüyorum. Bilgi ve bilgiyi veren kişi karşısında mütevazı olup eğilmek gerekir. Ancak eğilip şekil alabilirsek öğrenme gerçekleşir.

İnsanoğlu halihazırda teknoloji ve bilgi açısından muhtemelen tarihinin en gelişmiş durumundadır. Bilim ve teknoloji ışığında belirli açılarda konfor, rahatlık ve kolaylık artabilir ancak değişim neticesinde büyük sorumluluklar da ortaya çıkmaktadır. İnsanın yapabileceği en önemli şey öğrenmek ve bilinç geliştirmektir. Salt bilgi, bilgelik olmadan tehlikelidir çünkü bilgi güçtür ve güç sorumluluk getirir. Sorumluluklar yerine getirilmediğinde yok oluş başlar. Halihazırda, insan oğlunun en büyük sorumluluklarından biri ise yaşadığımız doğayı ve yer küreyi iyi bir durumda sonraki nesillere teslim etmektir. Tez çalışmasının küresel boyutta sürdürülebilirliğe ve iklim değişimi ile mücadeleye, küçük de olsa, katkı sunmasını dilerim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi desteklerinden yararlanan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) kurumlarına teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma 121O486 numaralı TÜBİTAK 1001 proje desteği ve FBA-2023-6453 numaralı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Normal Araştırma Projesi (NAP) kapsamında desteklenmiştir. Her iki kuruma sağlanan araştırma ve burs desteği için teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Prof. Dr. Mehmet İNAN hocama ve tez dönemimde ekibinde yer alan, Dr. Fatma ERSÖZ’e, Ayça URAS’a ve Neslihan CEYLAN’a destekleri ve bilgi aktarımları için derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Prof. Dr. İrfan TURHAN hocama ve ekibinde olan Ali ÖZCAN’a ve diğer öğrencilere, Doç. Dr. Ercan YATMAZ’a bütün destekleri ve bilgi aktarımları için teşekkür ediyorum. Prof. Dr. Hakan KULEAŞAN hava kabarcıklı fermentör sisteminin tasarımında yönlendirici olarak çalışmalar sırasında oluşan zorlukların aşılmasında yardımcı olmuştur. Hakan hocama fikri katkıları için

teşekkürlerimi sunarım. Doç. Dr. Elif AYKIN DİNÇER ve Doç. Dr. Cüneyt DİNÇER hocalarıma bütün verdiği emekler, öğretiler ve destekleri için teşekkür ederim. Cem YİĞİT, Hatice Nur ERKOÇ, Aylin GÜCÜÖZ arkadaşlarıma bana verdikleri destekler ve önemli yardımları için kalpten teşekkür ederim. Değerli arkadaşım ve mentorum Dr. Mona PARİZADEH'e bütün destekleri, yardımları ve yönetimleri için teşekkürü borç bilirim. Sayın danışmanım Doç. Dr. Barçın KARAKAŞ BUDAK hocam çalışmam boyunca beni motive etmiş, bilgi ve enerjisini benimle paylaşmış ve emeğini esirgememiştir. Ona tüm desteği, sayesinde yakaladığım fırsatlar ve yol göstericiliği için minettar olduğumu belirtmek ve içten teşekkürlerimi sunmak isterim. Ekip arkadaşım ve değerli hocam Dr. Gürcü Aybige ÇAKMAK'a bütün emekleri ve destekleri için teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, en önemlisi değerli ve sevgili aileme bütün maddi ve manevi destekleri için sevgi ile teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Alternatif Protein	4
2.2. Makro Mantarlar.....	7
2.3. İstiridye Mantarı (<i>Pleurotus</i> spp.)	9
2.3.1. <i>Pleurotus</i> mantarlarının besin değeri ve gıda ürünlerinde kullanımı	10
2.4. Biyoteknolojik Yöntemler ile Fungal Biyokütle Üretimi.....	13
2.4.1. Sıvı kültür yönteminde kullanılan fermentör tasarımları.....	13
2.4.2. Sıvı kültür fermentasyonda kullanılan yöntemler.....	16
2.4.3. Fungal biyoteknolojide sıvı kültür fermentasyon uygulamaları.....	17
2.4.4. <i>Pleurotus</i> spp.'nin sıvı kültürde üretimi	18
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Materyal.....	20
3.2. Fungal Biyokütle Üretimi.....	20
3.3. Fungal biyokütlerde karakterizasyon analizleri.....	24
3.3.1. Su içeriğinin tespiti	24
3.3.2. Protein analizleri	24
3.3.3. Ham yağ analizi	25
3.3.4. Kül tayini	25
3.3.5. Karbonhidrat miktarının belirlenmesi	25
3.3.6. Enerji değerinin hesaplanması.....	25
3.4. Tavuk Köftelerinin Hazırlanması ve Pişirilmesi	26
3.5. Köftelerde Pişme Karakteristiklerinin Analizleri.....	26
3.6. Su Tutma Kapasitesi.....	27

3.7. Tavuk Köftelerinde Gerçekleştirilen Analizler	27
3.7.1. Su içeriğinin tespiti	27
3.7.2. Ham protein analizi.....	27
3.7.3. Ham yağ analizi	27
3.7.4. Kül tayini	27
3.7.5. Karbonhidrat miktarı tayini	27
3.7.6. Enerji değerinin hesaplanması	27
3.7.7. Renk analizi	28
3.7.8. Tekstür profil analizi.....	28
3.7.9. Duyusal analiz	29
3.8. Tavuk Köftelerinin Depolama Analizleri	29
3.8.1. TBARS analizi.....	30
3.8.2. pH analizi.....	30
3.8.3. Mikrobiyolojik analizler	30
3.9. İstatistiksel Değerlendirme ve Veri Analizi	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. Fungal Biyokütle Üretimi.....	32
4.1.1. Karıştırmalı fermentör ile üretim.....	33
4.1.2. Özel tasarlanmış kabarcık sütun fermentör sistemi ile üretim.....	34
4.2. Fungal Biyokütlenin Karakterizasyonu	35
4.2.1. Fungal biyokütlenin besin içeriği	35
4.2.2. Dondurarak yapılandırılmış fungal biyokütle ve bileşimi	37
4.3. Dondurarak Yapılandırılmış Fungal Biyokütlenin Tavuk Köftesi Üretiminde Kullanımı ve Ürünlerin Karakterizasyonu	38
4.3.1. Köftelerin pişme karakteristikleri	38
4.3.2. Köftelerin su tutma kapasitesi	40
4.3.3. Temel besin içeriği analizleri.....	41
4.3.4. Renk analizi	44
4.3.5. Köftelerin tekstür özellikleri	48
4.3.6. Köftelerin duysal özellikleri	54
4.4. Tavuk Köftelerinin Depolaması	56
4.4.1. Köftelerde pH değişimi.....	56

4.4.2. Köftelerde oksidasyon analizi	59
4.4.3. Köftelerde mikrobiyal değişimler	63
5. SONUÇLAR	67
6. KAYNAKLAR	69
7. EKLER.....	79
Ek.1. Köftelerin duyusal analizinde kullanılan değerlendirme formu	79
Ek.2. Tekstür profil analizinin sonuçları	80
Ek.3. Kabarcık sütunu fermentasyon sistemlerinin üretim sonuçları.....	81
Ek.4. Duyusal analiz sonuçları	82
Ek.5. Defined medium besiyerinin içeriği.....	83
Ek.6. Bradford Plus analiz yönteminde kullanılan sığır serum albümin (BSA) kalibrasyon eğrisi	84
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “***Pleurotus* Misel Biyokütlesi Üretimi ve Gıda Maddesi Olarak Karakterizasyonu**” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

20 / 02 / 2025

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

dk : Dakika

°C : Derece santigrat

dev : Devir

g : Gram

kg : Kilo gram

kcal : Kilo kalori

C : Köfte kontrol grubu

M1 : Köfte %10 misel biyokütlesi içeren grup

M2 : Köfte %20 misel biyokütlesi içeren grup

M3 : Köfte %30 misel biyokütlesi içeren grup

L : Litre

m : Mili

mm : Milimetre

μ : Mikro

M : Molarite

n : Nano

nm : Nanometre

N : Normalite

. : Ondalık yazım ayracı

×g : Santrifüj kuvveti

% : Yüzde

Bu çalışmada ondalık yazım ayracı olarak “.” (nokta) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	: Varyanslar analizi (Analysis of Variance)
AOAC	: Amerikan Analitik Kimyagerler Derneği (American Association of Analytical Chemists)
CIE	: Uluslararası aydınlatma komisyonu (Commission Internationale de l'Eclairage)
DM	: Defined medium
DNA	: Deoksiribonükleik asit
EFSA	: Avrup Gıda Güvenliği Otoritesi (The European Food Safety Authority)
FB	: Fungal biyokütle
HCl	: Hidroklorik asit
KM	: Kuru madde
Kob	: Koloni oluşturan birim
NaOH	: Sodyum hidroksit
NB	: Nutrient Broth
NCBI	: Ulusal Biyoteknoloji Bilgi Merkezi (National Center for Biotechnology Information)
PCA	: Plate count agar
PDA	: Potato dextrose agar
PDB	: Potato dextrose broth
PZR	: Polimeraz zincir reaksiyonu
TBARS	: Tiyobarbitürik asit reaktif bileşikleri (Thiobarbituric acid reactive substances)
TCA	: Trikloroasetik asit (Trichloroacetic acid)
TKM	: Toplam küf ve maya

TMAB	: Toplam mezofilik aerobik bakteri
TPB	: Toplam psikrofil bakteri
USDA	: Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı (United States Department of Agriculture)
VRBA	: Violet red bile agar



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Makro fungusların yaşam döngüsü (Barh vd. 2019)	8
Şekil 2.2. Konvansiyonel şapkaklı mantar üretimi	9
Şekil 2.3. Karıştırılmalı fermentör sistemi (Afedzi vd. 2022)	14
Şekil 2.4. Kabarcık sütunu fermentör sistemi (Chisti ve Moo-Young 2003)	15
Şekil 2.5. Hava kaldırmalı fermentör sistemleri	16
Şekil 3.1. <i>Pleurotus ostreatus</i> EBK13 biyokütlesi üretiminde kullanılan biyoreaktör (Trl-Bio)	21
Şekil 3.2. Dondurucuda (-18 °C’de) muhafaza edilen fungal biyokütle	22
Şekil 3.3. Kabarcık sütunu fermentasyon sistemi	23
Şekil 3.4. Kabarcık sütunu fermentasyon sisteminde üretilen biyokütlenin süzülme işlemi	23
Şekil 4.1. NB + 40g/L glikoz besiyeri ile engelli erlende geliştirilen <i>P. ostreatus</i> miseli	33
Şekil 4.2. Köfte yapımı görüntüleri	38
Şekil 4.3. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde besin değerleri	44
Şekil 4.4. Pişirme işleminden sonrasında köfteler	48
Şekil 4.5. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde tekstür özellikleri	49
Şekil 4.6. Kontrol ve M3 gruplarına ait TPA grafikleri	53
Şekil 4.7. Duyusal analiz sonuçları	54
Şekil 4.8. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama günlerindeki pH değişimi	59
Şekil 4.9. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama günlerindeki malondialdehit miktarı değişimi	62
Şekil 4.10. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama sürecinde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı	65
Şekil 4.11. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama sürecinde izlenen toplam maya ve küf sayımları	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. <i>Pleurotus</i> cinsi funguslarının taksonomisi ve gıda olarak tüketilen başlıca türleri.....	10
Çizelge 2.2. <i>Pleurotus</i> mantarlarının temel besin içerikleri	10
Çizelge 2.3. <i>Pleurotus</i> mantarlarının gıda ürünlerinde kullanımına ilişkin literatür bilgileri	12
Çizelge 2.4. Sıvı kültürde <i>Pleurotus</i> spp. biyokütlesi üretimine ilişkin yapılmış çalışmalar	19
Çizelge 3.1. Tavuk köftesi üretiminde kullanılan formülasyonlar ve atanan numune kodları	26
Çizelge 3.2. Tekstür analizinde uygulanan cihaz ayarları	28
Çizelge 4.1. Besiyeri seçimi için yürütülen denemelerinin sonuçları.....	32
Çizelge 4.2. Karıştırmalı fermentörde üretim miktarları ve verimi	33
Çizelge 4.3. Kabarcık sütunu fermentasyon sistemi ile üretilen biyokütle miktarları.....	35
Çizelge 4.4. Fungal biyokütlenin besin içeriği	36
Çizelge 4.5. Dondurarak yapılandırılmış fungal biyokütle ve tavuk kıyması besin içeriği.....	38
Çizelge 4.6. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde pişme karakteristikleri.....	39
Çizelge 4.7. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde su tutma kapasitesi	40
Çizelge 4.8. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde besin içeriği.....	41
Çizelge 4.9. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde renk değerleri	45
Çizelge 4.10. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde ΔE değeri ile kıyaslanması	46
Çizelge 4.11. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde aldığı puanların ortalaması.....	56
Çizelge 4.12. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama süresindeki pH değişimi	57
Çizelge 4.13. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama sürecinde lipid peroksidasyonu	60
Çizelge 4.14. Depolama sürecinde köftelerdeki mikrobiyal değişimler.....	63

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfus artmakta ve ilerleyen yıllarda da artmaya devam edeceği beklenmektedir. Yapılan araştırmalara göre 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyarı geçeceği tahmin edilmektedir (O'Sullivan 2023). Bu artışla beraber dünyada güvenli, kaliteli ve besleyici gıdalara ihtiyaç da artacaktır. Ancak, halihazırda kullanılan gıda üretim yöntemleri bu amaç için yetersiz kalabilir. Geleneksel yöntemlerin ekonomik ve çevresel etkileri bu hususta tartışılan başlıca konular arasındadır. Bazı temel gıdaların konvansiyonel üretimi farklı yönleriyle sürdürülebilirlik için tehdit olarak değerlendirilmektedir. Öngörülen nüfus artışının özellikle düşük ve orta gelirli toplumlar ve altkesimlerinde yoğunlaşması beklenmektedir. Buna paralel olarak, gıda fiyatlarının artması ve "gıda güvencesi" olarak tanımlanan, kaliteli gıdaya erişimde de zorluklar yaşanması olasıdır. Böylelikle, ekonomik bakımından dezavantajlı gruplarda daha ciddi sorunların ortaya çıkması beklenebilir. Öte yandan, gıda üretim yöntemleri iklim/çevre koşulları gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir. İklim değişikliği etkisiyle söz konusu çevresel faktörlerin gün geçtikçe daha fazla değişkenlik gösterebilecek olmasından dolayı gıda üretim süreçlerinin istikrarlı olması da zorlaşmaktadır. Dolayısıyla çevresel faktörlerden bağımsız olan, daha sürdürülebilir, ekonomik ve çevre dostu alternatif gıda kaynaklarının ve gıda üretim metodlarının araştırılması ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Son zamanlarda gündeme yerleşen bu konu farklı disiplinlerden araştırmacılar tarafından ele alınmaktadır. İnsan diyetinde kritik bir öneme sahip protein kaynakları bu konuda en fazla araştırılan alanlardan birisidir. Halihazırda insan beslenmesinde ihtiyaç duyulan protein büyük ölçüde hayvansal ürünlerden temin edilmektedir. Ancak, sürdürülebilirlik konusunda en fazla endişe doğuran alan da hayvancılık ve hayvansal ürünlerin üretimidir (Kumar vd. 2023). Bundan dolayı son yıllarda yeni ve alternatif protein kaynaklarının keşfi için yapılan araştırmalarda büyük bir artış olmuştur. Ayrıca, çevresel sorunların yanı sıra bazı diğer sağlık, inanç, etik ve benzeri faktörler nedeniyle de tüketicilerin beslenme alışkanlıklarında değişiklikler ve özel beslenme tercihleri olabilmektedir. Bu nedenlerle tüketiciler tarafından alternatif gıdalara, özellikle protein kaynaklarına duyulan ilgi ve ihtiyaç artmıştır. Bu durum karşısında özel sektörde ve bilim dünyasında alternatif gıda ürünlerinin geliştirilmesi çabaları ilgi görmektedir ve araştırma/yatırımlar teşvik edilmektedir. Bugüne kadar en fazla öne çıkan alternatif protein kaynakları bitkisel ve mikrobiyal bazlı proteinler olmuştur. Mikrobiyal proteinler, biyoteknolojik yöntemler kullanılarak genellikle sıvı kültürde geliştirilen mikroorganizmaların protein kaynağı olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bakteriler, algler veya funguslar bu amaç için kullanılan mikroorganizmalar arasındadır.

Kısaca fungal protein olarak bilinen fungal bazlı alternatif protein kaynakları, günümüzde batı ülkelerinin pek çoğunda market raflarında mevcut olan ürünler arasında yer almaktadır. Bu ürünler hifli funguslardan (mikromiçetler ve misellerinden) oluşmaktadır. Sıvı fermentasyon yoluyla biyoreaktörlerde üretilen fungal biyokütle farklı işleme süreçlerinden geçtikten sonra gıda ürünlerine dönüştürülmektedir. Mikroorganizmaların sıvı fermentasyonu yoluyla gıda ürünlerinin üretilmesinde sağladığı yüksek kontrol olanağı sayesinde, iklim koşullarından tamamen bağımsız üretim süreçleri mümkündür. Ayrıca, bu teknikler geleneksel gıda üretim süreçlerine kıyasla çok daha düşük su sarfiyatı ile, kısıtlı mekanda ve farklı hammaddelerin kullanımıyla üretim yapma imkanı sağlamaktadır. Ek olarak, bu yöntemle döngüsel ekonomi prensibine uygun bir anlayışla geri dönüşüm, gıda/tarım sanayi yan ürünlerinin/atıklarının geri kazanımı (*upcycling*) mümkün olup bu atıklar ile gıda amaçlı üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde hızlı ve kontrollü şekilde, yüksek

verimlilikle ve çevre dostu yöntemlerle gıda üretimi mümkündür. Ayrıca, sıvı kültür fermentasyonu ile sağlanan kontrol sayesinde ürün kalitesi ve özellikleri hedefe uygun olarak iyileştirilebilir ve istikrarlı üretim yapmak mümkün olur. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında mikro fungusların sıvı kültür fermentasyonu ve alternatif protein kaynağı olarak değerlendirilmelerini konu edinen çok sayıda çalışma mevcut iken makro fungusları üzerine görece daha az sayıda çalışma rastlanmaktadır.

Mantar olarak bilinen fungal fruktifikasyon organları (*fruiting bodies*, meyve gövdeleri) üreten makro funguslar eski zamanlardan beri insanlık tarafından farklı şekillerde ve amaçlara yönelik tüketilegelmiştir. Yenilebilir mantarlar çoğu zaman lezzetli oldukları için kimi zaman ise medikal özelliklerinden dolayı insan diyetinde yer almıştır. Mantarlar vegan veya vejetaryen gibi alternatif diyetlerde sıklıkla et ikamesi olarak tüketilmektedir. Bu durumun başlıca nedenleri arasında mantarların yüksek besin (özellikle protein) içeriği ve lezzeti (umami tadı) sayılabilir. Ayrıca pek çok mantarda dokunun pişince ete benzediği de belirtilebilir. Makro funguslar genel olarak zirai bir faaliyet olarak tarif edilebilecek mantarcılık yöntemleri ile şapka formunda (fruktifikasyon organları elde edilerek) üretilmektedir. Ancak, aynı organizma, diğer mikroorganizmalarda olduğu gibi fermentasyon yöntemleriyle, misel biyokütlesi olarak katı veya sıvı besiyerinde de üretilebilmektedir. Sıvı ortamda üretim batık kültür, derin fermentasyon veya daldırılmalı fermentasyon gibi terimlerle ifade edilmektedir. Sıvıda yürütülen üretimle elde edilen biyokütle misel formdadır ve başta proteinler olmak üzere zengin besin içeriğine sahiptir. Bu nedenle, mantar yenen (yenebilen) bir mantar olduğu koşulda elde edilen misel biyokütlesi de potansiyel olarak yenilikçi bir gıda materyali olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, daha önce de değinildiği üzere, şapka formlarında medikal özelliklerinin kaynağı olan ve makro fungusların misellerinde de potansiyel olarak oluşabilecek farklı yararlı biyoaktif maddeler sayesinde biyokütlenin fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesinde de değerlendirilmesi mümkündür. Makro fungusların batık fermentasyon ile üretimi bilimsel çalışmalara konu edilmiş olmakla birlikte misel biyokütlesi içeren gıda ürünlerinin henüz geliştirilme aşamasında olduğu belirtilebilir. Alternatif protein kaynağı olarak makro-mantar misel biyokütlesi üretimi ve üretilen materyalin gıda uygulamaları konularında sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır.

Mevcut alternatif protein ürünleri, ağırlıklı olarak vegan veya vejetaryen gibi özel diyetleri takip eden tüketiciler için tasarlanmıştır. Bu diyetler dünyada yaygınlaşmaktadır ancak bunları benimseyenler hala nüfusun küçük bir kesimini oluşturmaktadır. İnsan nüfusunun büyük bir çoğunluğu ise geleneksel diyetler ile (omnivor) beslenmektedir. Tüketicilerin alternatif ürünlerden yararlanabilmesi için ve yeni gıda kaynaklarına daha kolay adaptasyon sağlayabilmeleri için hibrit veya ikameli ürünlerinin geliştirilmesi uygun bir yaklaşım teşkil eder. Hibrit (ikameli) ürünler, alternatif ve geleneksel gıda kaynaklarının karışımından ortaya çıkan ürünler olarak tanımlanabilir. Bu ürünlerin avantajı daha fazla sayıda tüketici için cazibe sağlayabilme potansiyelidir. Hibrit ikame ürünleri özel diyetler ile beslenmeyen tüketiciler tarafından da beğenilebilir. Bunun avantajı ise, daha sağlıklı ve çevre dostu ürünlerinin daha yüksek sayıda tüketici tarafından tercih edilmesidir. Makro funguslar, genel tüketici tarafından yaygın olarak tüketilen bir besin kaynağı olmaları, yüksek besleyici özellikleri ve birçok gıda ile uyumlu olmasından dolayı hibrit ürünlerin geliştirilmesi için uygun bir gıda bileşeni olma potansiyeline sahiptir.

Pleurotus, lezzetli tadı ve hoş dokusu nedeniyle çokça tercih edilen makro fungus cinsidir. *Pleurotus ostreatus*, düğme mantardan sonra miktarcı en fazla üretilen ikinci mantardır. Şapka üretimi endüstriyel üretim bakımından yerleşik teknoloji olarak kabul

edilebilir. Ancak batık fermentasyon yoluyla misel formda üretimi daha az araştırılmıştır ve henüz yaygın şekilde endüstrileşmemiştir. Modern biyoteknolojik sıvı kültür stratejileri ile bu makro fungus daha hızlı, ekonomik ve kolay üretilmektedir. Böylelikle tüketicilerin, özellikle ekonomik gücü daha az olanların tercih edebileceği, uygun, kaliteli ve besleyici ürünler geliştirilebilir.

Bu çalışmada *Pleurotus ostreatus* EBK13 suşunun misel biyokütlesinin, karıştırmalı ve kabarcık sütun olmak üzere, iki farklı batık fermentasyon yöntemi ile üretimi ve et ürününde ikame potansiyelinin uygulamalı şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Üretilen fungal biyokütlenin uzun süre muhafazası dondurma ile sağlanarak dondurma dokunun yapılandırılmasında etkili bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Ham ve yapılandırılmış biyokütle bileşim ve fiziksel özellikleri bakımından incelenerek tavuk köfte üretiminde ikame maddesi olarak kullanılmıştır. Tavuk köftelerinin kimyasal, besinsel, fiziksel ve depolama özellikleri incelenmiştir. Çalışmada sıvı kültürde üretilen *Pleurotus ostreatus* EBK13 misel biyokütlesi kısaca “Fungal Biyokütle” (FB) olarak adlandırılmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Alternatif Protein

Dünya genelinde nüfus artışı günümüzde bir gerçek haline gelmiştir. Bu artış ile doğal olarak dünyadaki gıda üretiminin de artması gerekmektedir. M. van Dijk vd. (2021) tarafından iklim değişikliği de göz önünde bulundurularak yapılan meta-analiz çalışmasına göre 2010-2050 yılları arasında gıdaya olan talebin %30-56 oranında artması beklenmektedir. Halihazırda insan oğlu tarafından kullanılan gıda üretim yöntemlerinin yetersiz kalacağı ile ilgili endişeler duyulmaktadır. Üretimden tüketime kadarki kayıplar ve teorik potansiyele göre daha az verimli üretimler bu yetersizliğin başlıca nedenleri arasındadır. Çözüm olarak bir yandan mevcut proseslerin/teknolojilerin iyileştirilmesi ve verim artırma çalışmaları düşünülürken diğer yandan daha radikal ve kökten değişikliklerin de gerçekleşmesi gerekebileceği belirtilmektedir (Cantorani vd. 2025). Alternatif gıda kaynaklarının araştırılması ve bulunması son yıllarda bilim camiası tarafından yaygın ve sıklıkla ele alınan bir konu olmuştur (Michel-Villarreal vd. 2019; Li vd. 2024). Özellikle üretim süreçleri ile sürdürülebilirlik bakımından sorunun temelini oluşturan bazı gıdalar için alternatif kaynakların bulunması önemlidir (Jafarzadeh vd. 2024).

Protein insan diyetinde yer alan en önemli temel besin maddelerinden biridir. Et, süt ve deniz mahsulleri gibi hayvansal ürünler protein için zengin kaynaklardır. Ayrıca et önemli bir protein kaynağı olmakla beraber, vitaminler, mineraller, yağ asitleri ve diğer bir takım besin öğeleri açısından da önemli bir besin kaynağıdır (Pereira ve Vicente 2013; Wyness vd. 2011). Ancak bu ürün üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından bazı sorunlar bulunur (örn. her kilogram başına üretilen et 15.4 m³ su tüketilmesi, yem maddelerinin üretimi için ayrılan tarım arazileri, sera gazları salınımı vb.) (Kumar vd. 2023; Stoll-Kleemann ve O'Riordan 2015). Et üretimi maliyetleri görece yüksektir buna bağlı olarak da özellikle gelişmekte olan ülkelerde toplumun belirli bir kesiminin ete erişimi zordur. Ayrıca, doymuş yağ içeriğinin yüksek olmasından dolayı kardiovasküler hastalıklara yol açması da et tüketimi ile ilişkilendirilen bir olumsuzluktur (González vd. 2020). Bu nedenlerden dolayı et ve et ürünlerinin alternatif kaynakları ve/veya üretim metotlarının bulunması ve araştırılması büyük bir önem arz etmektedir.

Alternatif protein kaynakları genel olarak 4 kategoride sınıflandırılabilir. Bu kategoriler; kültür et (yapay et), bitkisel protein, mikrobiyal protein ve böcek proteini olarak adlandırılabilir (Thavamani vd. 2020). Bitkisel proteinler, bitkiler alemi olarak sınıflandırılan canlıların ürettiği proteinlerdir. Temel gıdalarımız arasında yer alan baklagiller, tahıllar, yağlı tohumlar ve son zamanlarda gündeme oturan mikrobiyolojik algler protein kaynağı olarak bu bitkisel/nebati protein kaynaklarıdır (Grossmann ve Weiss 2021). Özellikle baklagiller, yüksek seviyede protein içermekte olup en bilinen ve araştırılan alternatif protein kaynakları arasında öne çıkmaktadır. Halihazırda bitkisel proteinlerin alternatif protein piyasasında önemli paya sahip olduğu belirtilebilir. Ancak sürdürülebilirlik ve proteinlerin fiziksel/fonksiyonel ve besin özellikleri ile ilgili bazı yetersizlikler söz konusudur (González vd. 2020). Bitkisel protein kaynaklarının üretimi hayvansal ürünlerden daha sürdürülebilir olsa da mikrobiyal proteinler gibi biyoteknolojik yöntemlerle elde edilen proteinlerin üretimi bu hususta daha rekabetçi olabilmektedir. Öte yandan amino asit içeriğine göre belirlenen protein kalitesinin, hayvansal proteinle kıyaslandığında bitkisel proteinlerde daha düşük seviyede olması ayrı bir tartışma konusudur (Kumar vd. 2023). Diğer alternatif kaynaklarda ise (örn. mikrobiyal proteinler) hayvansal proteinlerle kıyaslanabilir miktarda ve/veya kalitede

protein içeriği bulunabilmektedir (Cutroneo vd. 2023; González vd. 2020). Halihazırda alternatif et ürünleri piyasasının ağırlıklı şekilde bitkisel protein kaynaklarından oluştuğu belirtilebilir. Markalaşmış başarılı örnekler olarak “Impossible Foods” veya “Beyond Meat” bu pazarda yer edinmiş ürünlere örnek olarak belirtilebilir. Vegan diyet için de uygun olan bu tür alternatif köfte ürünleri bitkisel proteinlerin belli aşama ve işlemlerden geçirilmesi ile üretilen, et içermeyen alternatif et ürünleridir.

Alternatif protein potansiyeli taşıyan bir diğer kategori böcek (ve larva) proteinleridir. Bunlardan elde edilen proteinler bitkisel ürünlere göre hem daha yüksek kaliteye sahiptir hem de sürdürülebilir şekilde üretim sağlanabilmektedir (Fitriana vd. 2022; Mohamad vd. 2025). Ancak, bu ürünlerde tüketici alışkanlığının kazandırılması temel zorlukların başında gelir (Mohamad vd. 2025). Bilimsel olarak bu tür ürünler güncel araştırmalara konu edilmektedir ve bazı ülkelerde bu ürünler için piyasa gelişmeye başlamıştır (İngiltere’de Eat-Grub ve AB’de Jimini’s gibi). Yakın geçmişte Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından sarı un kurdunun (*Tenebrio molitor* larva) toz formunda gıda ürünlerinde yeni gıda olarak kullanılmasına izin verilmiştir (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA) vd. 2025).

Kültür et, hayvansal kas hücrelerinin ileri biyoteknolojik, doku mühendisliği ve hücre ekimi tekniklerinin kullanılması suretiyle *in vitro* olarak üretimi ile sağlanır. Gerçek hayvan hücrelerinin kullanılıyor olmasından dolayı alternatif et ürünleri arasında gerçek ürüne en fazla benzerliğe sahip olan ürün olarak kabul görebilir (Dade-Robertson vd. 2024). Ancak, bu ürünlerin üretimi için yüksek teknolojiye ve sermayeye gereksinim duyulması ve üretimin yüksek maliyetli oluşu nedeniyle ticari boyutta üretimin sağlanabilmesi için konunun daha fazla araştırılması gerekmektedir. Ek olarak, kültür et ürünlerinin sürdürülebilirlik açısından çevresel etkileri belirsizliğini korumaktadır (Samad vd. 2025).

Mikrobiyal proteinler mikroorganizmaların protein kaynağı olarak kullanılması ile ortaya çıkan bir seçenektir. Bu konuda üretim sağlanan organizmalar bakteri, fungus veya alg olabilmektedir. Biyoteknolojik süreçlerle üretilen mikrobiyal ürünlerin de belirli avantajları vardır. Mikrobiyal biyokütle kolaylıkla, ekonomik şekilde, çevre dostu yöntemlerle ve kısa sürede üretilabilmektedir (Lavelli vd. 2018). Mikroorganizmaların üreme hızının yüksek oluşu nedeniyle çabuk gerçekleştirilebilen bu üretimde farklı endüstriyel ve tarımsal atıklarının üretim zincirine kazandırılması da mümkündür. Mikrobiyal protein üretimi döngüsel ekonomiye katkıda bulunabilir. Bakteriyel biyokütleden oluşan ürünler halihazırda toz formda piyasada mevcut olup bu ürünün en büyük üreticilerinden birisi MicroHarvest adlı start-up firmasıdır. Mikrobiyal protein üretimine yönelik bir yaklaşım GRAS statüsündeki mikroorganizmaların geliştirilmesine dayanırken (Jacobson ve DePorter, 2018; Koukoumaki vd., 2024), bir başka yönelimin ise genetik modifikasyona dayalı olarak geliştirilen suşlarla üretimi ilgilendirdiği görülmektedir. Hayvansal proteinlerin heterolog olarak konakçı suş (genellikle bakteri ve maya hücreleri) tarafından rekombinant protein olarak sentezlenmesi bu alanda yenilik sağlamakla birlikte farklı mevzuatın geliştirilmesini ve bir takım gıda etiği sorularını da beraberinde getirmektedir (Nielsen vd., 2024). Önemli başka bir mikrobiyal protein kaynağı olan funguslar ise 60’lı yıllardan bu yana alternatif protein kaynağı olarak araştırılmaktadır (Whittaker vd. 2020). Ticarileştirilmiş fungal protein ürünlerinin en çok bilinenlerinden biri Quorn’dur. İngiltere menşeli olan bu ürün, hifli mikro fungus

(*Fusarium venenatum*) biyokütlesinden üretilmektedir. Firma tarafından biyoteknolojik yöntemler ile sıvı ortamda üretilen biyokütle farklı işleme süreçlerinden geçirildikten sonra %100 FB'den oluşmuş farklı alternatif et ürünlerinin imalatında değerlendirilmektedir. Fungusların yüksek protein içeriğinin değerlendirilmesiyle fungal protein olarak bilinen FB bazlı alternatif protein ürünleri geliştirilmektedir. Bu konuda literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Hifli funguslar (mikro ve makro funguslar) kullanılarak et ve et ürünlerinde arzu edilen tekstürel özelliklere benzer özellikler taşır. Bu nedenle fungal ikame maddeleri ile farklı et alternatif ürünlerinin geliştirilmesi mümkündür (Derbyshire ve Delange 2021).

Quorn dışında fungal protein üreten ve farklı şekillerde piyasaya sunan firmalar da vardır. Örnek olarak Millow (İsveç), Promyc (Belçika), Meati (ABD) ve Prime Roots (ABD) sayılabilir. Bu firmalarda geliştirilen prosesler birbirine benzer iken kullanılan tür ve suşlarda ve fermentasyon süreçlerinde farklar vardır. Fungal proteinlerin ekonomik değeri 2024 yılında yaklaşık 4.06 milyar ABD doları olarak tahmin edilmiş iken bu değerin 2028 yılına kadar yıllık %7 artarak 5.33 milyar dolara ulaşacağı düşünülmektedir (Anonymous 2024). Bu sayede her gün daha fazla araştırma-geliştirme çalışmaları ile daha verimli proseslerin ve daha iyi ürünlerin piyasaya sunulması ön görülmektedir.

Yukarıda örneği verilmiş ürünler %100 alternatif protein kaynaklarından yapılmış olup vegan olarak sınıflandırılabilir. Ancak, vegan ürünlerinin en önemli sorunlarından biri az sayıda tüketici tarafından tercih edilmesidir. Bundan dolayı alternatif ürünlerin başka bir kategorisi ele alınabilir: Karma (hibrit) alternatif et ürünleri (Grasso ve Jaworska 2020). Bu ürünler alternatif ve geleneksel protein kaynaklarının karışımı ile yapılır. Bazı çalışmalarda hibrit ürünlerin genel tüketici tarafından geleneksel et ürünlerine benzer bir seviyede beğenilebilirliği gösterilmiştir (Neville vd., 2017). Örnek olarak, bir hamburger köftesinin %70 kırmızı et ve %30 bitkisel proteinlerden yapılması ile hibrit bir ürün ortaya çıkmaktadır. Karma ürünlerin bir avantajı daha yüksek sayıda tüketici tarafından tercih edilebilmesidir. Bunun nedeni, ürünün duyu özelliklerinin orijinal ürüne yakın olmasıdır. Öte yandan ürün alternatif protein içeriğinden dolayı daha sürdürülebilir bir seçenek olabilmekte ve bu şekilde et tüketimi aşamalı bir şekilde azaltılabilmektedir (B. van Dijk vd. 2023).

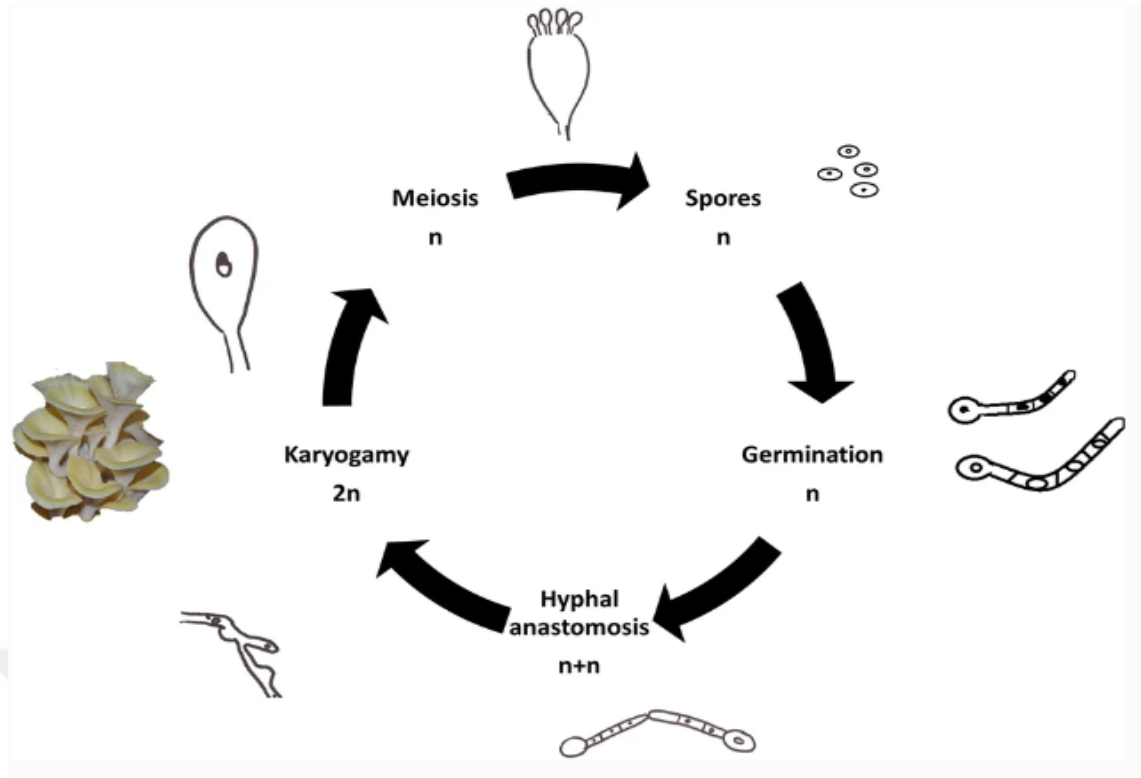
Alternatif protein ürünlerinin tüketiciler tarafından tercih edilmesi için sürdürülebilir olmaları ve daha sağlıklı beslenme motivasyonları yaratmalarının yanı sıra duyu açıdan da beğenilmesi gerekmektedir. Bu ürünlerin duyu özelliklerindeki eksiklikler genel olarak çözümlenmek istenen bir konudur ve ürünlerin tekstürel/yapısal özellikleri bu anlamda önemlidir. Alternatif protein veya daha spesifik şekilde alternatif et ürünlerinde tekstür iyileştirmesini konu alan farklı çalışmalar yapılmıştır. Farklı ekstrüzyon teknikleri, su içeriği oranları ile tekstür ayarlaması, farklı protein kaynaklarının karıştırılması ve oranların ayarlanması, presleme ve elektro lif çekme yöntemi (electrospinning) tekstür iyileştirmesi için kullanılan yöntemler arasındadır (Maningat vd. 2022; Zahari vd. 2022). Ayrıca, özellikle son yıllarda araştırılmaya başlanan başka bir metot ise fermentasyon sürecinin uygulanmasıdır. Laktik asit bakterileri tarafından fermente edilen bitkisel protein kaynaklarının et ürünlerine daha benzer bir tekstür kazanmaları bazı çalışmalarda gösterilmiştir. Bu işleme ek olarak ürünün tat, koku ve besin değerlerini yükseltirken besin maddelerinin biyoyararlılığının üzerinde de pozitif etkiler bırakabilir (Boukid vd. 2023; Molfetta vd. 2022). Geliştirilen ve kullanılan başka bir metot ise dondurarak yapılandırma (freeze

texturization/structuring) yöntemidir. Bu yöntemde protein karışımının hızlı donması ve daha sonra çözündürülen protein karışımının lifli bir yapıya sahip olması sağlanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda çalışmanın bir avantajı da besin maddelerinin korunmasıdır (Singh ve Sit 2025). Fungal protein kaynaklarında dondurarak yapılandırma işlemi uygulanır (Rodger ve Angold 1991) ve bu şekilde lifli yapının korunması ve iyileşmesi, besin maddelerinin korunması, ürünün yüksek su içeriğinin azalması ve istenen seviyelere düşmesi ve hassas olan biyokütlenin muhafazası sağlanmaktadır.

2.2. Makro Mantarlar

Makro funguslar veya makro mantarlar, üreme amacıyla gözle görülebilir meyve gövdesi (mantar) üreten bütün funguslara verilen addır (Tang vd. 2015). Besin değerinin yüksek olduğu bilinen bu mikroorganizmalar mantar şeklinde halihazırda yaygın bir şekilde tüketilirken vegan ve vejetaryen diyetlerinde et alternatifi olarak yer almaktadır. Bu tercihin sebeplerinden birisi mantarların umami bir tada sahip olmaları olarak söylenebilmektedir (Raman vd. 2021). Mantarlar bitkisel proteinlerinden daha üstün bir amino asit profiline sahip ve sonucunda daha yüksek kaliteli protein kaynakları olarak sayılabilmektedir. Bazı çalışmalarda eksiksiz bir amino asit profiline sahip oldukları da söylenmiştir (Bach vd. 2017; González vd. 2020). Ayrıca, birçok çalışmada bitkisel proteinlerin veya bazı bitkisel atıklarının fungal türleri ile fermentasyonu gerçekleştirilerek protein içeriği veya kalitesi artırılmıştır (Jannathulla vd. 2018; Zwinkels vd. 2023). Öte yandan mantarların avantajları sadece temel besin maddeleriyle sınırlı kalmayıp, bunların mikro besin içerikleri de farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Mantarların yüksek vitamin ve mineral içeriklerinden dolayı her zaman günlük diyetlere eklenmesi tavsiye edilmiştir (Mattila vd. 2001). Mantarlarda farklı fonksiyonel bileşenlerin (antioksidanlar, antihipertansiyon, antikanserojen, diyet lifleri, vs. gibi) olması konuşulmuştur (Bulam vd. 2022; Vargas-Sánchez vd. 2023).

Makro funguslar genel olarak ölü organik kütlelerinden beslenerek yaşamını sürdürmektedirler. Makro fungusların yaşam döngüsü Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Makro fungusların yaşam döngüsü (Barh vd. 2019)

Makro funguslar genel olarak mantar olarak üretilip tüketilmektedir. Mantar tüketimi geleneksel olarak iki yöntemle gerçekleştirilir; mantarcılık ve toplayıcılık. Toplayıcılık yönteminde adından da anlaşılır olduğu gibi, yabani olarak ve kendiliğinden gelişen mantarlar ormanlar ve dağlar gibi uygun ortamlarda bulunup toplanmaktadır. Bu yöntemin en önemli dezavantajı, ürünün güvenliği, güvencesi, kalitesi ve bulunabilmesi gibi konularda zorlukların ortaya çıkabilmesidir. Öte yandan mantarcılık yönteminde belirli bazı mantar türlerinin uygun ortamlarda yetiştirilmesi söz konusudur. Bu şekilde, ürünün güvenliği, kalitesi ve bulunabilirliği garanti altına alınmaktadır. Bu yöntemde genellikle kullanılan metotlar kütükte yetiştiricilik ve saman veya talaştan doldurulmuş torbaların içinde üretim metotlarıdır (Şekil 2.2.).

Günümüzde makro fungusların alternatif protein kaynağı olarak kullanılması meyve gövdesi tüketimiyle sınırlı kalmıştır. Bu fungusların diğer üretim metotları (örn. sıvı kültür fermentasyonu) pek araştırılmamıştır. Bundan dolayı piyasada makro funguslardan yapılmış modern alternatif et ürünleri bulunmamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.2. Konvansiyonel şapkalı mantar üretimi, a) Torbada *Pleurotus* üretimi; b) Kütükte *Pleurotus* üretimi

2.3. İstiridye Mantarı (*Pleurotus* spp.)

Halk arasında istiridye mantarı olarak bilinen *Pleurotus* cinsi mantarlar dünya üzerinde en fazla tüketilen şapkalı mantarlar arasında yer alır. Şapkanın (basidiokarp) istiridyeye benzetilmesinden dolayı bu şekilde adlandırılan mantar cinsi dünya mantar üretiminin %27'sini oluşturmaktadır (Aditya vd. 2024). İstiridye mantarları genelde lezzetli tadı, uygun tekstürü ve besin değerinin yüksek olmasından dolayı tüketiciler tarafından tercih edilmektedir. Bu nedenlerle istiridye mantarının üretimi son yıllarda dünya genelinde artmıştır (Aditya vd. 2024). Türkiye’de de son yıllarda *Pleurotus* üretimin artmış, bu mantar lüks bir ürün olmaktan çıkıp, yerel pazarlarda uygun fiyatlarda bulunabilir olmuştur. Avrupa’da ve Türkiye’de en çok tüketilen *Pleurotus* türleri *P. ostreatus* ve *P. pulmonarius*’tur.

İstiridye mantarlarının taksonomisi, cinse ait bazı türler ve yaygın isimleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Bu mantarlar genelde ılıman bölgelerde, özellikle soğuk sezonlarda şapka oluşur. Meşe, kayın, akçaağaç, ıhlamur ve kavak gibi ağaçlar hastalandıklarında, öldüklerinde veya devrildiklerinde üzerlerinde gelişen *Pleurotus* mantarlarının birçoğu saprofit türlerdir (Adebayo ve Oloke 2017). *Pleurotus* cinsi altında 1000’den fazla türün bulunduğu tahmin edilmektedir (Raman vd. 2021). İstiridye mantarları hem eşeyli hem eşeysiz üreme kabiliyetine sahiptir (Adebayo ve Oloke 2017). *Pleurotus ostreatus* bu cinsin yaygın tanınan 25 kadar türünden en bilinen ve en çok tüketilenidir.

Çizelge 2.1. *Pleurotus* cinsi funguslarının taksonomisi ve gıda olarak tüketilen başlıca türleri

Sistematiik alan	Sistematiik ad	Başlıca Türler	
Üstaleim	Ökaryot	Tür adı	Yaygın adları
Alem	Mantarlar	<i>P. ostreatus</i>	İstiridye/kayın mantarı
Şube	Bazidiyomikotlar	<i>P. eryngii</i>	Kral istiridye mantarı
Sınıf	Agarikomisetler	<i>P. djamor</i>	Pembe istiridye mantarı
Takım	Agarikales	<i>P. pulmonarius</i>	Hint istiridyesi mantarı
Aile	Pleurotaceae	<i>P. citrinopileatus</i>	Sarı istiridye mantarı
Cins	<i>Pleurotus</i>	<i>P. cornucopiae</i>	Dallanmış/altın istiridye mantarı

2.3.1. *Pleurotus* mantarlarının besin değeri ve gıda ürünlerinde kullanımı

Pleurotus cinsi makro mantarlar (basidiokarplar) yüksek miktarda yararlı makro ve mikro besin maddeleri içerir. Literatürde mevcut olan farklı çalışmalarda istiridye mantarlarının protein içeriği kuru madde bazında %20-40 arasında farklı değerlerde bulunmuştur (Oluwafemi vd. 2016). Ancak, protein içeriğinin sindirilebilirliği üzerinde yapılan çalışmalar kısıtlı kalmıştır. Valencia Del Toro vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada istiridye mantarının protein sindirilebilirliği yaklaşık %98 olarak bulunmuştur. Öte yandan *Pleurotus* mantarlarının yağ içerikleri, özellikle doymuş yağ içeriği et ve et ürünlerine göre daha düşüktür. Çizelge 2.2’de istiridye mantarlarının temel besin içerikleri ile ilgili bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. *Pleurotus* mantarlarının temel besin içerikleri

Mantar türü	Bileşen ¹			Kaynak
	Protein	Karbonhidrat	Yağ	
<i>Pleurotus ostreatus</i>	25.2	66.5	1.75	(Irshad vd. 2018)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	21.1	50.7	2.19	(Liu vd. 2019)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	27.5	55.0	4.00	(Lebeque vd. 2018)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	28.9	48.2	2.47	(Santhiya vd. 2022)
<i>Pleurotus djamor</i>	23.6	46.5	2.90	(Nayak vd. 2022)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	34.1	46.9	1.53	(Maray vd. 2018)
<i>Pleurotus florida</i>	27.8	40.3	2.49	(Ponbhagavathi vd. 2022)
<i>Pleurotus geesteranu</i>	32.7	42.8	1.71	(Liu vd. 2019)

¹ Değerler kuru madde bazında g/100g olarak verilmiştir.

Vitaminler açısından *Pleurotus* türü mantarlar zengin bulunmuş ve D, B, C ve E vitaminleri için uygun bir kaynak olarak bilinmiştir. *Pleurotus* spp. yüksek miktarda

ergosterol provitamin D₂ içermektedir. Bunun nedeni ergosterolün fungal hücre duvarının bir yapı taşı olmasıdır (Lavelli vd. 2018). UV ışını etkisi ile ergostrol D₂ vitaminine dönüşmektedir. Literatürde istiridye mantarlarının kurutma ve ışınlama işlemleri üzerinde birçok çalışma mevcut olup ışınlama işleminin kurutmadan önce veya sonrasında yapılmasının D₂ vitamininin seviyesi üzerinde etkisi bulunmamıştır (Jaworska vd. 2015; Lavelli vd. 2018; Sławińska vd. 2016). Ayrıca, *Pleurotus* mantarları C ve E vitaminleri, β -karotenler ve bazı diğer fenolik bileşikler, rutin ve krisin gibi flavonoidleri içermektedir (Jayakumar vd. 2011). *Pleurotus*'un özellikle diğer mantarlara göre daha fazla demir ve çinko içermesi de insan sağlığı açısından önemlidir. Ayrıca, *Pleurotus* mantarlarında iz miktarda bulunan minerallerinin en önemlilerinden birisi selenyum olup mevcut olan antioksidanların aktivitelerinde kofaktör rolü oynamaktadır (Dundar vd. 2008; Raman vd. 2021). Bu mantarlar ayrıca, zengin diyet lifi, β -glukan ve prebiyotik kaynağı olarak da bilinmektedir (Baeva vd. 2019; Ren vd. 2012; Synytsya vd. 2008).

Yukarıda söz edilen bileşenler ve bazı diğer bileşenler sayesinde *Pleurotus* mantarları güçlü medikal özelliklere sahiptir. Antioksidanlar, vitaminler, terpenoidler, peptitler ve bir takım diğer bileşik ve bileşenlerin *Pleurotus* mantarlarında bulunması nedeniyle diyabete, yaşlanmaya, iltihaba, tümöre, yüksek kolesterole ve bir takım diğer hastalıklar ve sorunlara karşı etkili oldukları ifade edilmektedir (Bulam vd. 2022; Doğan ve Doğan 2022; Türsen Uthan vd. 2022; Venturella vd. 2021).

Mantarlardan, özellikle de *Pleurotus* mantarlarının farklı özellikleri değerlendirilerek yenilikçi gıda ürünlerinin tasarlanması mümkündür. Bu ürünler, alternatif protein kaynağı, fonksiyonel gıda, hassas gruplara özel gıdalar ve başka özellikleri taşıyabilmektedir. Literatürde *Pleurotus* ve diğer mantar türlerinin et ve et ürünlerine veya diğer ürünlere ilavesi ve etkilerinin araştırılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak mantar (şapka veya bundan elde edilen kuru toz ürün formunda) eklenmesi suretiyle antioksidan ve antimikrobiyal etkilerinin araştırılması, ikame protein olarak değerlendirilmesi veya diğer açılardan gıda ürününün zenginleştirilmesi amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Et ürünlerinde *Pleurotus* spp. kullanımının araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan başlıca ve en güncel olanları Çizelge 2.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.3. *Pleurotus* mantarlarının gıda ürünlerinde kullanımına ilişkin literatür bilgileri

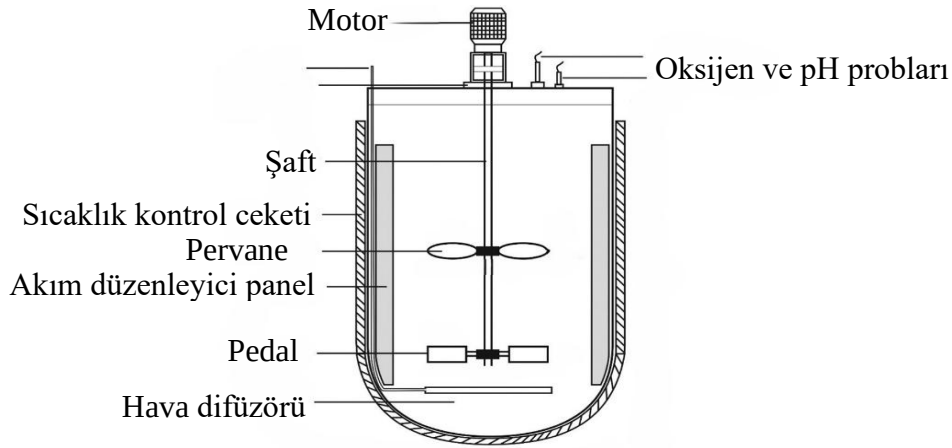
Gıda Maddesi	Mantar	İşleme Yöntemi	Çalışmanın Amacı	Sonuç	Kaynak
Tavuk köftesi	<i>P. sajur-caju</i>	Taze halde, kesilmiş	Temel besin içeriği ve duysal özelliklerin belirlenmesi	Mantar ilavesiyle (3:1) üretilen üründe ham protein içeriğinde önemli değişim görülmemiş, yağ içeriği azalmıştır.	(Rosli vd. 2011a)
Tavuk köftesi	<i>P. sajur-caju</i>	Taze olarak kesilmiş	Diyet lifi içeriği, renk ve tekstür ve pişme özelliklerinin belirlenmesi	Kırmızılık değişmemiş, sarılık azalmış, sertlik azalmıştır. %25 mantar içeren köfte en yüksek pişme verimine sahip bulunmuştur.	(Rosli vd. 2011b)
Tavuk sosisi	<i>P. sajur-caju</i>	Kurutma ve öğütme	Temel besin ve β -glukan içeriğinin tespiti, tekstürel analiz	Mineral ve β -glukan içeriği mantar miktarı ile artmış, yağ içeriği ise mantar içeriği ile azalmıştır. Tekstürel olarak önemli bir değişiklik olmamıştır.	(Rosli ve Raushan 2015)
Tavuk sosisi	<i>P. sajur-caju</i>	Kurutma ve öğütme	Kalite ve raf ömrü üzerindeki etkinin araştırılması	Daha az pişme kaybı, daha yüksek kırmızılık ve sarılık, daha uzun raf ömrü elde edilmiştir.	(Galih Julia Rakasivi ve Chin 2022)
İkame tavuk nugget	<i>P. sajur-caju</i> (sap)	Kurutma ve öğütme	Temel besin bileşimi, pH, su aktivitesi, tekstür ve renk analizleri	Beyazlık, çiğnenebilirlik, elastikiyet, su aktivitesi artmış; kırmızılık, protein, yağ ve karbonhidrat azalmış; pH'da önemli bir değişim görülmemiştir.	(Husain ve Huda-Faujan 2020)
Tavuk sosisi	<i>P. sajur-caju</i>	Taze	Duysal ve fizikokimyasal özelliklerin belirlenmesi	Mantar oranı arttıkça sarılık, sertlik, elastikiyet, yapışkanlık ve çiğnenebilirlik azalmıştır.	(Yahya ve Ting 2020)
Et köftesi	<i>A. bisporus</i> ve <i>P. ostreatus</i>	Kurutma ve öğütme	Yağın azaltılması, diyet lifinin artırılması; duysal ve fiziksel analiz	En yüksek beğeni mantar içeriği %5 olduğunda elde edilmiştir.	(Süfer vd. 2016)
Donmuş et köftesi	<i>A. bisporus</i> ve <i>P. ostreatus</i>	Kurutma ve öğütme	Yağ ve sodyumun azaltılması, protein ve diyet lifinin artırılması; duysal ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi	En yüksek beğeni mantar içeriği %2.5 olduğunda elde edilmiştir. Bu üründe yağ ve sodyum içeriği sırasıyla %25 ve %50 azalmıştır.	(Cerón-Guevara vd. 2020)
Sazan köftesi	<i>P. ostreatus</i>	Taze öğütülmüş	Antioksidan kapasitenin, temel besin bileşiminin ve duysal özelliklerinin araştırılması	Daha yüksek anti oksidan aktivite tespit edilmiş, duysal özellikleri iyileştirilmiştir.	(Tokarczyk vd. 2023)

2.4. Biyoteknolojik Yöntemler ile Fungal Biyokütle Üretimi

Fermentasyon işlemleri katı veya sıvı ortamda geliştirme yapılarak sağlanabilir. Katı ortam kullanılan kültürlerde mikroorganizmanın gelişimi katı substrat (torf veya mantar tohumluk miseli / spawn) üzerinde gerçekleştirilir. Bu sürecin amacı substratta ortaya çıkan değişimler, mikroorganizmanın ürettiği ürünler veya gelişen mikroorganizma hücreleri olabilmektedir. Öte yandan sıvı kültür fermentasyon yönteminde mikroorganizmanın vejetatif (hif) formunda gelişimi sıvı besiyerleri içinde sağlanır. Bu yöntemin, katı kültür yöntemine kıyasla sürecin daha iyi kontrol edilebilmesi, daha az yer kaplaması, farklı metabolitler ve yan ürünlerin daha kolay değerlendirilebilmesi, daha yüksek üretim verimine ulaşılabilmesi, yöntemin uygulaması kolay ve ölçek büyütme müsait olması ve farklı mikroorganizma türleri ile çalışma imkânı sunması başlıca avantajları arasında yer almaktadır (Yan vd. 2023). Özellikle saprofit fungusların sıvı ortamda geliştirilebilmesi mümkün olmakta, bu sayede hem biyokütle hem de tükenmiş besiyeri sıvısı (fungal metabolitler ve enzimler için kaynak olan) kıymetli ürünler olarak ayrıştırılır (Chatterjee vd. 2016; Yan vd. 2023). Yenen fungusların biyokütleleri de genel olarak tüketilebilir niteliktedir ve başlangıç besiyerinde kontamine edici unsurlar bulunmadığı takdirde biyokütleleri gıda maddesi olarak değerlendirilebilir (Amara ve El-Baky 2023). Funguslar aerobik organizmalar olduklarından bu ihtiyacın karşılanması için fermentör tasarımlarında yer alan havalandırma donanımı önemli rol oynar.

2.4.1. Sıvı kültür yönteminde kullanılan fermentör tasarımları

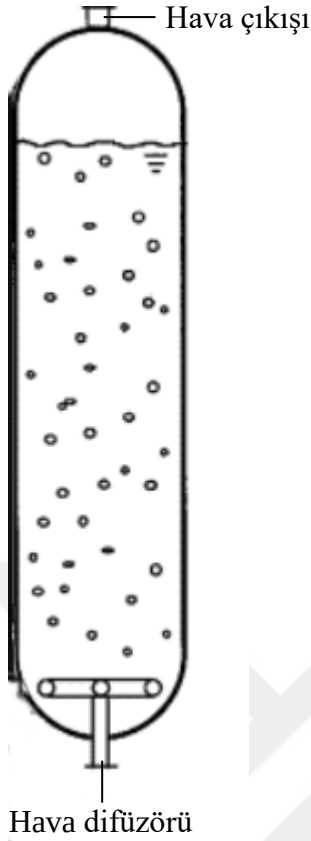
Sıvı kültür üretiminde kullanılan fermentör tasarımlarında farklı stratejiler izlenebilmektedir. Genel olarak, yüksek verimlilik, kontrollü, istikrarlı ve daha büyük ölçekli üretim yapılması gerektiğinde biyoreaktör olarak da adlandırılan fermentör sistemleri kullanılır. Bu sistemlere örnek olarak karıştırılmalı (stirred-tank), hava kaldırmalı (air-lift), kabarcık sütunu (bubble column) ve membran biyoreaktörleri sıralanabilir. Bakteriyel geliştirme amaçlı biyoreaktörlerde besiyeri homojenizasyonunu sağlamak üzere genel olarak pervaneli karıştırıcılar fayda sağlarken fungal biyokütle üretimi yapılan çalışmalarda hif uzantılarının daha nazikçe muamele edilmesini sağlayan pervane/pedallı veya hava kaldırmalı fermentör tipleri tercih edilmektedir (Cerrone ve O'Connor 2025).



Şekil 2.3. Karıştırma fermentör sistemi (Afedzi vd. 2022)

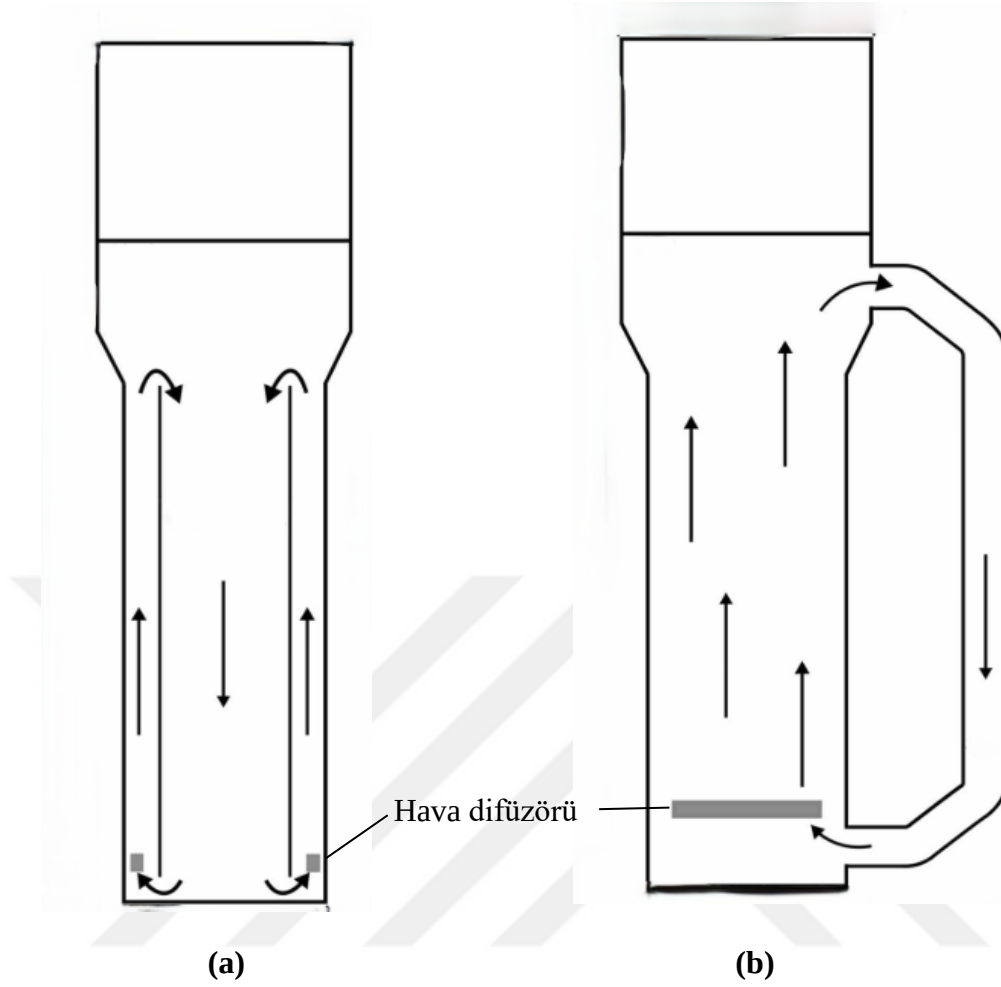
Karıştırma fermentörlerde (Şekil 2.3) karıştırma işlemi üzerinde pervane/pedalar bulunan ve hazne üstüne monte edilen bir motordan güç alarak döndürülen bir mil ile sağlanır. Bu sistemlerin avantajları arasında, homojen bir karışımın oluşması, substrat ve mikroorganizma arasındaki etkin temasın sağlanması, fermentasyon koşullarının (sıcaklık, pH vb.) kolay ve etkili bir şekilde kontrol edilebilmesi yer almaktadır. Ancak bu fermentörün dezavantajlarından biri karıştırma sırasında oluşan kesim kuvvetlerine hassas olan bazı hücreler (örn. memeli hücreler, bazı fungal hücreler ve bakteriler) için uygun olmamasıdır (Novia vd. 2023; Vikrant vd. 2018). Bu nedenle hassas hücrelerin geliştirilmesinde düşük devirde karıştırma yapılabilen veya hava kaldırma biyoreaktörler tercih edilmektedir. Ancak, fungal hif kültürlerinde karıştırmanın temel etkilerinden biri hava difüzyonunun artırılması olduğu için mil dönüş hızının düşmesi oksijenin sınırlayıcı faktör olmasına ve üretim veriminin düşmesine de neden olabilmektedir.

Kabarcık sütunu biyoreaktör sistemlerinde karıştırma işlemi pervaneler yerine ortama beslenen hava akımı aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu şekilde hava akımı hem hücrelerin oksijen ihtiyacını hem de fermentasyon ortamının homojenliğini temin edilmiş olur. Ancak bu karıştırma sisteminin dezavantajlarından biri, pervane destekli sistemler ile kıyasla daha düşük ve bazen yetersiz homojenlik oluşmasıdır. Öte yandan bu sistemde karıştırma/kesim kuvvetlerine hassas hücreler için uygun/yeterli bir ortam oluşabilmektedir. Basit yapısı itibarıyla, bu sistem sadece bir hazne, hava beslemesinin yapıldığı bir giriş ve atık havanın çıkışından oluşmaktadır. Kabarcık sütunu fermentörleri genellikle uzun silindirik şeklinde tasarlanmakta olup, boy:çap oranı 2:1'den 6:1'e kadar değişmektedir. Bu sistemin avantajları arasında, basit ve ekonomik tasarımı, kullanım kolaylığı ile onarım ve bakım işlemlerinin daha kolay uygulanabilmesi yer almaktadır (Kanwal vd. 2021).



Şekil 2.4. Kabarcık sütunu fermentör sistemi (Chisti ve Moo-Young 2003)

Hava kaldırmalı fermentör sistemleri prensip olarak kabarcık sütunu fermentörlerine benzemektedir; ancak hava kaldırmalı sistemlerde hava akımının, özgürce ortama bırakılması yerine kontrollü şekilde belirli bir noktaya yönlendirilmesidir. Kabarcık sütunu fermentörlerinde hava girdikten sonra serbest bir şekilde ortamda dağılabilirken hava kaldırmalı sistemlerde hava akımı ortamın içinde veya dışında yerleştirilmiş bir boru ile ortamın belli bir noktasına yönlendirilmekte, böylece tek yönlü bir akımın hazne içinde devran etmesi sağlanmaktadır. Bu sayede gaz difüzyonu temin edilirken yeterli bir karıştırma da sağlanabilmektedir. Hava kaldırmalı biyoreaktörlerin dahili ve harici döngülü olmak üzere, iki temel tasarımı bulunmakta olup bunların her ikisinde de çalışma prensibi aynıdır. Aralarındaki fark hava beslemesinin yapıldığı giriş (hava difüzörü) ve hava kabarcıkların yükseldiği borunun konumu ile ilgilidir (Bokelmann vd. 2025; Kanwal vd. 2021).



Şekil 2.5. Hava kaldırmalı fermentör sistemleri

a) dahili döngülü modeli; b) harici döngülü modeli (Bokelmann vd. 2025)

2.4.2. Sıvı kültür fermentasyonda kullanılan yöntemler

Sıvı kültür fermentasyon yönteminde farklı metotlar uygulanmaktadır. Bu metotlar kesikli (batch), yarı kesikli (fed-batch) ve sürekli (continuous) yöntemlerden ibarettir.

Kesikli yöntemde fermentasyon steril besiyerine aşıl原因 mikroorganizma ile başlamakta ve farklı faktörlere göre belirlenen bir süre sonunda süreç durdurulmaktadır. Fermentör haznesinin içeriği tamamen boşaltılarak istenen ürünler farklı yöntemlerle hasat edilmektedir. Bu yöntemin avantajları arasında uygulamasının kolay olması, bulaşma riskinin düşük olması ve bakım/onarım işlemlerinin ekonomik olması yer almaktadır. Ancak, bu yöntemin dezavantajları da vardır. Sık sık gerçekleştirilen temizleme ve sanitasyon işlemleri zaman alıcı olması, veriminin diğer metotlara göre daha düşük olması ve daha yüksek maliyetlerin ortaya çıkması bu dezavantajlar arasında sayılabilir (Ingledew ve Lin 2011).

Yarı kesikli yöntem, kesikli yönteme benzemekle birlikte bu yöntemde besiyeri, fermentasyon esnasındaki değişimlere ve belirlenen mikroorganizma ihtiyaçlarına göre modifiye edilebilmekte veya (ortam) miktarı artırılabilir. Bu yöntemin avantajı kesikli fermentasyon yöntemine kıyasla besin maddelerinin daha iyi kontrol edilebilmesi ve böylelikle üretimin sürekli eksponansiyel fazda olması sağlanabilmektedir. Ancak fermentör haznesinin sınırlı bir hacmi olduğundan bu yöntemde de kesikli yöntemine benzer şekilde, belirli aralıklarla boşaltma ve temizleme işlemlerinin yapılması gereklidir (Weiss vd. 2021).

Sürekli fermentasyon metodunda sistem daha uzun süreli olarak çalışacak şekilde kurulur. Bunun için sürekli/kesikli şekilde ancak istikrarlı olarak substrat takviyesi/besiyeri yenilemesi/hasat yapılması hedeflenir. Fermentasyon ortamının uzaklaştırılabilmesi için bir çıkış yolu bulunur. Bu çıkış yolu ile, ürünlerin (metabolitler veya hücreler) hasat edilmesi, mikroorganizma hücrelerine zararlı olabilecek metabolitlerin ortamdan uzaklaştırılması, besiyeri hacminin sabit kalması vb. faydalar sağlanmış olur. Böylelikle, fermentasyon kesintiye uğramadan sürekli olarak devam ettirilebilir. Ayrıca sürekli fermentasyon sistemi, kesikli ve yarı kesikli yöntemlere kıyasla zaman ve iş gücü açısından çok daha avantajlı bir yöntemdir. Bununla birlikte, bu yöntemde bulaşma riskinin ve hücrelerde mutasyon veya genetik değişikliklerinin meydana gelme olasılığının artması üzerinde düşünülmesi gereken olumsuzluklardır (Lindskog 2018).

2.4.3. Fungal biyoteknolojide sıvı kültür fermentasyon uygulamaları

Fungusların biyoteknolojik süreçlerde çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Rekombinant proteinlerin üretimi için en yaygın kullanılan mikroorganizmalardan biri *Pichia pastoris*'tir. Bu maya suşu aracılığıyla farklı enzimler, biyoaktif maddeler, biyoyakıtlar ve ilaçlar endüstriyel olarak üretilebilmektedir (Xu 2023). Ayrıca, farklı fungal suşları çevre dostu biyomateryallerin üretimi için de kullanılmaktadır. Biyobazlı deri ve diğer tekstil ürünleri de fungal suşlar kullanılarak üretilebilmektedir (Jones vd. 2021; Wijayarathna vd. 2022). Öte yandan, bazı fungal türleri atık suların veya diğer endüstriyel atıkların (tarımsal atıklar, gıda sektörünün atıkları vb.) değerlendirilmesi için kullanılabilir (Fredes Skogh ve Johansson 2023; Gmoser vd. 2020; Wijayarathna 2021).

Fungal biyoteknolojik işlemlerde genel olarak karıştırmalı, hava kaldırmalı, kabarcık sütunu ve bazen de membran fermentörleri kullanılmaktadır. Uygun fermentör seçimi sürecin özelliklerine ve işlem gereksinimlerine bağlı bir şekilde belirlenmektedir. Atık sularının arıtımı ve geri kazanımı için genellikle sabit yatak, hava kaldırmalı veya membran biyoreaktörleri tercih edilmekte ve sürekli bir proses tipi uygulanmaktadır. Öte yandan, enzim üretimi için karıştırmalı tip biyoreaktörler daha yaygın kullanılmaktadır (Maza-Márquez vd. 2016).

Farklı fungal türleri gıda sektöründe geniş kullanım alanlarına sahiptir. Şarap, bira, ekmek ve çeşitli fermente gıda ürünlerinin üretimi, belirli fungal türlerin kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Daha önce de söz edilen *Pichia pastoris* vasıtası ile farklı biyoaktif maddeler üretilip gıda sektöründe kullanılmaktadır. Ayrıca, fungal türler tarafından doğal olarak üretilen enzimler, pigmentler, prebiyotik ve diyet lifleri gibi farklı bileşenlerin gıda veya ilaç sektöründe kullanım alanlarına sahiptir (Deshmukh vd. 2022).

2.4.4. *Pleurotus* spp.'nin sıvı kültürde üretimi

Pleurotus cinsi fungusların sıvı ortamda üretimi üzerine çok sayıda akademik yayına ulaşılabilmektedir. Yapılmış çalışmaların büyük bir bölümünde çalkalamalı inkübatörde engelli erlen içindeki sıvı ortamda geliştirme yapılmıştır. Biyoreaktör kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda ise genellikle karıştırılmalı ve bazen de hava kaldırmalı biyoreaktörler kullanılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak *Pleurotus* spp.'nin ürettiği biyoaktif bileşenler (ekzo-polisakkaritler, enzimler, antimikrobiyaller, kitin vs.) hedef ürün olarak ele alınmıştır (Wu 2008; Irbe vd. 2023). Ancak, *Pleurotus* türleri için misel biyokütlesinin üretimini optimize etmeyi ve ürünün karakterizasyonunu hedef alan çalışmalar da mevcuttur (Papaspıridi vd. 2010; Bakratsas vd. 2024). Çizelge 2.4'te Web of Science veritabanında yapılan tarama ile erişilebilen çalışmalar özetlenmiştir.

En yüksek FB üretimi Papaspıridi vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada *P. ostreatus* üretiminin optimizasyonu amalanmıştır. Ayrıca, genel olarak biyoreaktör ortamında gerçekleştirilen üretimlerin daha yüksek verimlerle sonuçlandığı görülmektedir. Ancak, engelli erlenlerde yapılan çalışmaların sayısına kıyasla biyoreaktör sistemlerini kullanan çalışmaların sayısı daha az olduğu da görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmalarda genellikle *P. ostreatus* suşlarının kullanıldığı gözlemlenmektedir. Öte yandan, fermentasyon sistemleri arasında kabarcık sütunu biyoreaktör sistemlerinin yer almaması da ilgi çeker ve bu açıdan literatürdeki boşluklara işaret etmektedir.

Çizelge 2.4. Sıvı kültürde *Pleurotus* spp. biyokütlesi üretimine ilişkin yapılmış çalışmalar

Mikroorganizma	Fermentasyon sistemi	Verim (kuru ağırlık g/L)	Kaynak
<i>P. tuber-regium</i>	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	7.50	Bamigboye vd. 2019
<i>P. sajor-caju</i> CCB 020	Hava kaldırmalı biyoreaktör	12.40	Aragão vd. 2020
<i>P. flabellatus</i>	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör) ve hava kaldırmalı biyoreaktör	2.8-17.4	Olivieri vd. 2006
<i>P. eryngii</i>	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	7.10	Jing vd. 2013
<i>P. sajor-caju</i> PS-2001	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	1.14-1.66	Bettin vd. 2014
<i>P. nebrodensis</i>	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	4.13	Le vd. 2007
<i>P. citrinopileatus</i>	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	13.40	Wu 2008
<i>P. ostreatus</i>	Karıştırmalı biyoreaktör	9.62	Jung vd. 2003
<i>P. ostreatus</i> LGAM 1123	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	21.3	Bakratsas vd. 2024
<i>P. ostreatus</i> LGAM 1123	Karıştırmalı biyoreaktör	12.6	Bakratsas vd. 2024
<i>P. ostreatus</i> ATHUM 4438	Karıştırmalı biyoreaktör	39.2	Papaspyridi vd. 2010
<i>P. ostreatus</i> LGAM 1123	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	23.8	Bakratsas vd. 2023
<i>P. ostreatus</i> LGAM 1123	Karıştırmalı biyoreaktör	25.0	Bakratsas vd. 2023
<i>P. ostreatus</i> LMKK 685	Engelli erlen (çalkalamalı inkübatör)	13.90	Irbe vd. 2023
<i>P. ostreatus</i>	Karıştırmalı biyoreaktör	7.40	Zhu vd. 2015
<i>P. ostreatus</i> ATHUM 4438	Karıştırmalı biyoreaktör	12.13	Rajabzadeh Shandiz vd. 2024

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünün suş kütüphanesinde mevcut olan ve moleküler yöntemler uygulanarak tanı doğrulaması gerçekleştirilmiş *Pleurotus ostreatus* EBK13 suşu kullanılmıştır. Hif formunda üretici suşun uzun ve orta vadeli muhafazası için mikrobiyal kültür gliserol içeren sıvıda süspanse edilerek kriyojenik tüplerde -80°C’de ve +4°C’de eğik PDA agarda geliştirilen koloniler halinde saklanmıştır. FB üretimi için glikoz (IsoLab GmbH, Almanya) ilaveli Nutrient Broth (NB) (Condalab, İspanya) sıvı besiyeri kullanılmıştır. Köfte yapımında kullanılan bütün malzemeler (galeta unu, tuz, tavuk göğüs eti) kasaptan taze şekilde satın alınmıştır. Tavuk göğüs eti satın alındıktan sonra hızlı bir şekilde köfte yapımının yapılacağı laboratuvara taşınıp +4°C dolabında bir gece süresince muhafaza edilmiştir. Analizlerde kullanılan kimyasal maddeler analitik saflıkta maddeler olup marka ve diğer bilgiler ilerleyen bölümlerde ilgili durumlarda belirtilmiştir.

3.2. Fungal Biyokütle Üretimi

Sıvı kültür çalışmaları çalkalamalı inkübasyon ve fermentör denemeleri olmak üzere iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Çalkalamalı inkübasyon denemeleri öncelikle besiyeri seçiminin sağlanması için, akabinde de fermentörde kullanılacak aşılardan (inokulum) geliştirilmesi için uygulanmıştır.

Çalkamalı inkübatörde (Sartorius Stedim, CERTOMAT®, Almanya) 250 mL’lik engelli erlenler içinde 60 mL besiyeri ile suşun gelişmesi sağlanmıştır. Petri üzerinden alınan miselyum ile steril koşullarda besiyeri içeren çelik kapaklı steril engelli erlenlere aşılama yapılmıştır. Fermentör çalışmalarında kullanılacak besiyerinin belirlenmesi amacıyla 3 farklı besiyerinde 2 paralel kurgu ile çalkalamalı inkübasyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla NB, Potato dextrose Broth (PDB) ve Songulashvili vd. (2007) çalışmasında kullanılan Defined medium (DM) kısmen modifiye edilerek kullanılmıştır. Modifiye DM içeriği EK.5’te gösterilmiştir. İnkübasyon 25°C sıcaklıkta, 150 dev/dk dönme hızında ve 7 gün olarak gerçekleştirilmiştir. Fermentasyon süresi sonunda yaş biyokütle süzülerek tartılmıştır. Biyokütle miktarına göre en yüksek üretimin sağlandığı tespit edilen sıvı besiyerinde (NB) glikoz ilavesi yapılarak karbon kaynağının zenginleştirilmesi ile biyokütle veriminin artırılabilceği değerlendirilmiştir. Bunu test etmek amacıyla önceki deneme ile aynı koşullarda 2 paralelli şekilde *P. ostreatus* EBK13 suşu kontrol amacıyla NB 40 g/L glikoz ilaveli NB ile biyokütle üretimi sağlanmıştır. Son denemenin sonucunda en fazla gelişim NB + 40g/L glikoz besiyerinde gerçekleşmiş olup sonraki aşamalardaki üretimler için NB + 40g/L glikoz besiyerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada FB üretimi için iki farklı fermentör düzeneği kullanılmıştır. Birinci yöntem, karıştırmalı fermentörde (stirred-tank bioreactor) üretim olarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için 4 L hacimli karıştırmalı biyoreaktör (Trl-Bio 4L, İstanbul, Türkiye) kullanılmıştır (Şekil 3.1). Fermentörde biyokütle üretimi 28°C sıcaklık, 150 dev/dk karıştırma hızı, hacimce 1:1 hava akış hızı, pH kontrolsüz, 3.3 L çalışma hacminde, 4-6 günlük 70 mL’lik aşı kültürleri ile 4 gün için kesikli (batch) yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Aşı kültürü çalkalamalı inkübatörde geliştirilmiş, fermentöre aktarım

öncesinde çelik bilya ile steril falkon tüpleri içinde vorteksleme yapılarak misel peletlerinin kısmen dağılması sağlanmıştır. Aşı kültürü 70 mL NB + 40g/L besiyeri içeren 250 mL'lik engelli erlenlerde PDA Petri plakalarında taze olarak geliştirilen miselyum ile başlatılarak 25 °C'de 150 dev/dak çalkalama hızı ile 4-6 günde üretilmiştir.

Fermentörün haznesi hazırlandıktan sonra besiyeri içine aktarılmış ve hazne tamamen kapatıldıktan sonra besiyeri ile otoklavda steril edilmiştir. Daha sonra fermentör otoklavdan çıkarılıp fermentör cihazına bağlanmış olup soğumaya bırakılmıştır. Ayrıca oksijen probunun kalibrasyonu için cihaza hava verilerek bir gece açık bırakılmış olup sonraki gün besiyeri içinde çözünmüş oksijen miktarının %100 olarak kabul edilerek prob kalibre edilmiştir. Aşı kültürü şırınga yardımı ile fermentörün kapağında yer alan besleme portu ile haznenin içine aktarılmıştır. Fermentasyon süreci 4 gün süreyle devam ettirilmiştir.



Şekil 3.1. *Pleurotus ostreatus* EBK13 biyokütlesi üretiminde kullanılan biyoreaktör (Trl-Bio)¹

¹ Cihaz donanımı (soldan sağa doğru): Hava çıkışı kondensatörünün soğutucusu, sıcaklık kontrolü için hazne cidarına giriş yapan suyun soğutma donanımı, karıştırıcılı fermentör haznesi (4L kapasite), fermentör ana ünitesi ve kontrol paneli

Fermentasyon sonunda üretilen misel kitlesi (biyokütle) 500 µm çapındaki deliklere sahip naylon süzgeç yardımıyla süzülüp besiyerinden ayrılmıştır. Biyokütle süzgeçteyken 3 veya 4 defa piset yardımı ile saf su ile yıkayıp besiyerinden arındırılmıştır. Süzülen biyokütle buzdolabı poşetleri içine aktarılıp hızla donma sağlamak için -80 °C geceboyu bekletilerek dondurulmuş, akabinde uzun süreli muhafaza için -18 °C'de

tutulmuştur (Şekil 3.2). İşlemin yapılışı ön denemeler ile test edilerek uygulanmıştır. Köfte imalatı öncesinde kullanılacak FB +4 °C’de çözündürülmüş, serbest su süzme işlemiyle uzaklaştırılmıştır.



Şekil 3.2. Dondurucuda (-18 °C’de) muhafaza edilen fungal biyokütle

Fermentör donanımı ile ilgili oluşan bazı kısıtlar nedeniyle köfte imalatında kullanılabilecek FB materyalinin üretiminin sağlanabilmesi amacıyla üretimin cam şişelerde geliştirmesi öngörülmüştür. Teorik olarak kabarcık sütun fermentörü olarak tarif edilebilecek bu yöntemle göre cam şişe kapağına modifikasyon sağlanarak şişe içine hava dağıtıcı kanal yerleştirilmiş, havanın sisteme beslenebilmesi için boru bağlantıları ile hava pompası bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Özgün şekilde tasarlanan bu düzenek (Şekil 3.3a) 2 adet 2 L hacmine sahip cam laboratuvar şişesi (ISOLAB GmbH, Almanya) ve havalandırma sistemi olarak her çıkıştan 3.5 L/dk hava beslemesi yapan, iki hava çıkışlı pompa (VenusAqua AP328, Çin) ile kurulmuştur. Havalandırma sistemi, sıvı içine hava akımını sağlayan bir cam boru, hava sterilizasyonunu sağlayan 2 mikron por çapına sahip 50 mm çaplı membran filtre (Sartorius Stedim, Almanya), bunların bağlı olduğu delikli şişe kapağından ve dışarıdan hava beslemesini sağlayan bir akvaryum pompasından oluşmaktadır. Şişeler besiyeri ile otoklavda sterilize edildikten sonra aseptik koşullarda aşılınmış ve sisteme monte edilmiştir (Şekil 3.3b). Bu sistemde üretilen biyokütle fermentör sisteminde kullanılan besiyerinde, aynı aşı materyali ile üretilmiş ve fermentasyon sonrasında aynı şekilde muamele edilmiştir (Şekil 3.4).



(a)



(b)

Şekil 3.3. Kabarcık sütunu fermentasyon sistemi

a) Hava karıştırmalı sıvı kültür fermentasyon düzenneği; b) Şişede gelişen 4 günlük *Pleurotus* kültürü

**Şekil 3.4.** Kabarcık sütunu fermentasyon sisteminde üretilen biyokütlenin süzölme işlemi

Kabarcık sütunu fermentasyon sürecinde beslenen hava hızı, pompanın maksimum miktarında ve hacimce 2:1 (3.5 L hava/dk) olarak ayarlanmıştır.

3.3. Fungal Biyokütlenin Karakterizasyonu

3.3.1. Su içeriğinin tespiti

FB su içeriğinin tayini için önceden kurutulup darası alınmış cam petriler üzerine her gruptan paralelli bir şekilde bir adet köfte parçalanıp tartılmıştır (ED224S, Sartorius, Göttingen, Almanya). Örnekler önceden 70 °C'ye ısıtılmış etüvde 12 saat bırakılmıştır. Daha sonra desikatöre alınan soğumuş örnekler tartılmış ve ağırlık farkından örneklerin su içeriği hesaplanmıştır (Dong ve Yao 2005; Kirsch vd. 2016).

3.3.2. Protein analizleri

3.3.2.1. Bradford yöntemi ile toplam protein tayini

Bu analiz için Bradford Plus toplam protein analiz kiti (referans numarası: 1856210) kullanılmıştır (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, ABD). Deney, kit prosedürüne göre, fungal hücrelerinin parçalanması ve protein hücre dışı edilmesi için uygulanan bazı modifikasyonlar ile yapılmıştır. Miktarın belirlenmesi için sığır serum albümin (Bovine Serum Albumin (BSA)) kullanılarak oluşturulan kalibrasyon grafiğinden yararlanmıştır (Ek.6).

Örneklerden 0.5 g tartılıp 10 mL'lik beherlere aktarılmıştır. Daha sonra nötr pH'ya ayarlanmış 10 mL fosfat tamponu (0.05 M Na₃PO₄ ve 0.1 M NaCl, pH 7.2) ile oda sıcaklığında 3 saat çalkanarak protein içeriği ekstrakte edilmiştir. Ardından falkon tüplerine aktarılan karışım, 4200×g'de, 10 dakika boyunca 4 °C sıcaklıkta santrifüj işlemine tabi tutulmuştur (Allegra 25R Centrifuge, Beckman Coulter, California, ABD). Daha sonra 50 µL protein ekstraktı (süpernatant) başka bir tüpe aktarılıp 1.5 mL bisinkoninik asit (BCA) ilave edilmiştir. Bu karışım 10 dakika bekletilerek 1 mL alınıp spektrometri cihazında (LibraS50, Biocrom, Cambridge, İngiltere) 595 nm'de absorbans ölçümü yapılmıştır (Prandi vd. 2023).

3.3.2.2. Ham protein tayini

Homojenize edilmiş 1 g örnek cam Kjeldahl yakma tüplerine yerleştirilmiştir. Örnekler üzerine 10 mL sülfürik asit konulduktan sonra tüpler yakma ünitesine yerleştirilip yakma işlemi başlatılmıştır. Örneklerin köpürüp taşmamasının sağlanması için yakma sıcaklığı kademeli şekilde arttırılmıştır. Sıcaklık profili 1 saat 150 °C, 1 saat 300 °C ve 2 saat 400 °C olacak şekilde düzenlenmiştir. Örnekler oda sıcaklığına soğuduktan sonra distilasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Sodyum hidroksit (IsoLab GmbH, Almanya) (NaOH) çözeltisi ile (ağırlıkça %40'luk) distile edilen örnekler 30 mL ağırlıkça %4'lük borik asit çözeltisi ve indikatör olarak 2-3 damla Metil kırmızısı ve bromkresol yeşili içeren engelli erlenler içine aktarılmıştır. Daha sonra erlenlerdeki örnek çözeltileri 0.1 N HCl (IsoLab GmbH, Almanya) çözeltisi ile titre edilip harcanan asit çözeltisi hacmi kaydedilmiştir. Hesaplamalara geçmeden önce hazırlanan HCl çözeltisinin doğruluğu standart 0.1 N NaOH çözeltisi ile test edilip düzeltme faktörü hesaplanmıştır. Harcanan asit miktarı ile Denklem 3.1 kullanılarak örneklerin ham protein içeriği hesaplanmıştır. Protein dönüştürme faktörü için 4.38 kullanılmıştır (Chandran Priyadarshni vd. 2022; Prandi vd. 2023).

$$\% \text{ protein} = \frac{\text{mL asit} \times \text{düzeltme faktörü} \times \text{asidin normalitesi} \times 1.4007}{\text{örnek ağırlığı (g)}} \times 4.48 \quad (3.1)$$

3.3.3. Ham yağ analizi

FB örneklerinde ham yağ miktarı tayini Soxhlet yöntemi standart AOAC (2000) yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Nem analizi sonucunda ortaya çıkan kuru örnekler tartıldıktan sonra kurutulmuş ve darası alınmış kartuşlar içerisine aktarılmış ve kartuşların ağzı pamuk ile kapatılmıştır. Daha sonra kartuşlar Soxhlet düzenekleri içine (250 mL hacimli, ISOLAB, Almanya) yerleştirilmiş ve ekstraktör 1.5 sifon yapacak şekilde petrol eteri ile doldurulmuştur. Balonların altındaki ısıtma düzeneğinin sıcaklığı ve soğutma suyu, örnek üzerine damlayan çözeltinin akış hızlarının düzenekler arasında eşit olacak bir şekilde ayarlanmıştır. Örnekler bu şekilde 5 saat süre ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu sürenin sonunda kartuşlar düzeneklerden çıkarılmış ve 85 °C’de sabit ağırlığa ulaşana kadar kurumaya bırakılmıştır. Kuru kartuşlar örnekler ile daha sonra desikatörde soğutulup tartılmıştır. Yağ miktarı Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ yağ} = \frac{(\text{yağlı örnek} + \text{kartuş}) - (\text{yağsız örnek} + \text{kartuş})}{\text{örnek ağırlığı (g)}} \quad (3.2)$$

3.3.4. Kül tayini

Kül tayini AOAC (2000) standart yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu metot gereği, kullanılacak krozeler analiz öncesinde yakılmış, darası alınmış ve desikatörde muhafaza edilmiştir. Her bir kroze içine 2 gram örnek hassas şekilde tartılmıştır. Örnekler daha sonra kül fırınına (Elektra Rezistans, Türkiye) yerleştirilmiş ve yakma işlemi 8 saat boyunca 550 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Yakma işleminin yeterliliği geride sadece beyaz renkli kül kaldığı görülerek anlaşılmıştır. Örnekler desikatör içinde soğutulmuş ve tartılmıştır. Kül miktarı Denklem 3.3’e göre tartılan miktar ile krozelerin ağırlık miktarı arasındaki farktan hesaplanmıştır.

$$(\text{Yanmış örnek} + \text{kroze}) - \text{kroze darası} = \text{kül miktarı} \quad (3.3)$$

3.3.5. Karbonhidrat miktarının belirlenmesi

Köftelerde karbonhidrat miktarı elde edilen diğer besin içeriklerinin değerlerine göre bulunmuştur. Bunun için Denklem 3.8’e kullanılmıştır.

$$\% \text{ Karbonhidrat} = 100 - (\% \text{Nem} + \% \text{Kül} + \% \text{Yağ} + \% \text{Protein}) \quad (3.4)$$

3.3.6. Enerji değerinin hesaplanması

Köfte örnek gruplarının enerji değerlerini belirlemek için, karbonhidrat (4 kcal/g), lipid (9 kcal/g) ve protein (4 kcal/g) faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre Denklem 3.9 kullanılarak bu değerler hesaplanmıştır. Bu denklemde enerji değeri kcal/100g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Enerji} = \% \text{ protein} \times 4 + \% \text{ yağ} \times 9 + \% \text{ karbonhidrat} \times 4 \quad (3.5)$$

3.4. Tavuk Köftelerinin Hazırlanması ve Pişirilmesi

Köfte hamurunun hazırlanışında kullanılan formülasyon Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Bu formülasyon ön denemeler ile oluşturulmuştur. Bu Çizelgede verilen kodlar; C, kontrol grubunu (%100 tavuk etinden oluşan), M1 %10 mantar ikameli grubunu, M2 %20 mantar ikameli grubu ve M3 %30 mantar ikameli grubu temsil etmektedir.

Çizelge 3.1. Tavuk köftesi üretiminde kullanılan formülasyonlar ve atanan numune kodları¹

Bileşen (g)	C	M1	M2	M3
FB	0 (%0)	57 (%10)	115 (%20)	172 (%30)
Tavuk kıyması	600 (%100)	538 (%90)	476 (%80)	414 (%70)
Galetu unu	38	38	38	38
Tuz	6	6	6	6
Toplam	644	639	635	630

¹ C: Kontrol grubu (%100 tavuk eti), M1: %10 FB ikameli, M2: %20 FB ikameli, M3: %30 FB ikameli

Köftelerin şekillendirilmesi 60 mm çapa ve 10 mm yüksekliğe sahip kalıplar ile sağlanmıştır. Köfteler 190 °C sıcaklıkta 15 dk süreyle fırında pişirilmiştir (M 3226, Simfer, İstanbul, Türkiye). Fırından çıkan örneklerde pişme sonrası ölçümler, renk analizi yapıldıktan ve soğumaları sağlandıktan sonra, her gruptan 10 adet köfte depolama (mikrobiyal, pH ve oksidasyon) analizleri için, 5 adet tekstür analizi için ve 1 adet besin içeriği analizleri için ayrılmış ve +4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

3.5. Köftelerde Pişme Karakteristiklerinin Analizleri

Köfte örneklerinin pişme karakteristiklerini belirlemek için, dört farklı formülasyona sahip örneklerin her bir grubundan üç köfte örneğinin pişirme işleminden önce ve sonra ağırlık ölçümleri hassas terazi, çap ve kalınlık ölçümleri ise kumpas ile gerçekleştirilmiştir. Köfte örneklerinin kalınlık ve çapında meydana gelen değişiklikleri belirlemek için kalınlık artışı ve çaptaki azalma aşağıda gösterilen Denklem 3.6 ve 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca Murphy vd. (1970)’e göre Denklem 3.8 kullanılarak pişme verimi hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Çap Azalma} = ((\text{çiğ çap} - \text{pişmiş çap}) / \text{çiğ çap}) \times 100 \quad (3.6)$$

$$\% \text{ Kalınlık Artışı} = ((\text{pişmiş kalınlık} - \text{çiğ kalınlık}) / \text{çiğ kalınlık}) \times 10 \quad (3.7)$$

$$\% \text{ Pişme Verimi} = (\text{pişmiş ağırlık}) / (\text{çiğ ağırlık}) \times 100 \quad (3.8)$$

3.6. Su Tutma Kapasitesi

Piştirilmiş örneklerin su tutma kapasitesi değerlerini belirlemek için, Hughes vd. (1997)'e göre belirlenen metot üzerinde bazı küçük değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. 10 g köfte örneği, bir tülbent içerisine tartılmış ve 50 ml'lik falkon tüpleri içerisine yerleştirilmiştir. Falcon tüpleri ağız açık bir şekilde 90°C'deki su banyosu içerisinde 10 dk süreyle bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğutulan örnekler 4 °C'de 8,500 dev/dk'da 15 dk süre ile santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme sonunda tülbent içerisindeki örnek tekrar tartılarak su tutma kapasitesi Denklem 3.9'e göre hesaplanmıştır.

$$\%STK = 1 - T/M \times 100 = 1 - ((W1 - W2))/M \times 100 \quad (3.9)$$

T: Isıtma ve santrifüj işleminden sonra su kaybı

M: Numunenin toplam nem içeriği

3.7. Tavuk Köftelerinde Gerçekleştirilen Analizler

3.7.1. Su içeriğinin tespiti

Bu analiz köfte örneklerin su içeriğinin tayini için AOAC (2000) standart yöntemine göre yapılmıştır. Bunun için önceden kurutulup darası alınmış cam Petri kapları kullanılmıştır. Üzerine her gruptan paralelli bir şekilde bir adet köfte parçalanıp tartılmıştır. Örnekler önceden 103 °C'ye ısıtılmış etüvde 12 saat bırakılmıştır. Daha sonra desikatöre alınan soğumuş örnekler tartılmış ve ağırlık farkından örneklerin su içeriği hesaplanmıştır.

3.7.2. Ham protein analizi

Köftelerde yapılan ham protein analizi, FB'leri için yapılan, Bölüm 3.3.2.2'de açıklanan Kjeldahl yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.7.3. Ham yağ analizi

Köftelerde yapılan ham yağ analizi, FB'leri için yapılan, Bölüm 3.3.3'te açıklanan yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.7.4. Kül tayini

Köftelerde yapılan kül tayini analizi, FB'leri için yapılan, Bölüm 3.3.4'te açıklanan yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.7.5. Karbonhidrat miktarı tayini

Köftelerde karbonhidrat miktarı tayini, FB'leri için yapılan, Bölüm 3.3.5'te açıklanan yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.7.6. Enerji değerinin hesaplanması

Köftelerde enerji değerinin tayini, FB'leri için yapılan, Bölüm 3.3.6'da açıklanan yöntemine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.7.7. Renk analizi

Her köfte grubundan 3 adet pişmiş köfte örnek olarak ele alınmış ve toplamda yüzeyindeki 5 farklı noktadan örneklerin rengi CR-400 Chromameter (Konica Minolta, Osaka, Japan) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. CIE renk sistemine göre ölçülecek olan L* değeri örneklerin siyah-beyazlığını, a* değeri kırmızı-yeşil renk değerlerini ve b* değeri ise sarı-mavi renk değerlerini ifade etmektedir. Renk cihazı analizlerden önce cihaza ait, beyaz kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir. Bu değerler kullanılarak istatistiksel analiz gerçekleştirilmiş olup gruplar arasındaki farklar ve köftelere FB eklenmesinin renk üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, köfte grupları arasındaki renk farkının genel bir bakış ile değerlendirilmesi amacı ile ΔE değeri de hesaplanmıştır. ΔE değeri ile gruplar arasında ve her grup ile kalibrasyon beyaz levhası arasındaki fark incelenabilmektedir. Kalibrasyon levhasında L* değeri 95.52, a* değeri -0.35 ve b* değeri 3.05 olarak tespit edilmiştir. Bu değerden yararlanılarak köfte grupları arasında genel bir renk farkının ortaya çıkıp çıkmadığı ΔE ile belirlenebilmektedir. ΔE değerinin hesaplanması için Denklem 3.10 kullanılmıştır. Bu hesaplamada köfte gruplarına ait hesaplanan ortalama a*, b* ve L* değerleri kullanılmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (3.10)$$

3.7.8. Tekstür profil analizi

Örneklerin tekstür profili, kuvvet kapasitesi 50 kg olan Tekstür Profil Analiz Cihazı (TA.XTPlus, Stable Microsystems, Godalming, Birleşik Krallık) ile tespit edilmiştir. Köfte örneklerinde yapılan tekstür profil analizi (TPA) ile örneklerin sertlik (hardness), yapışkanlık (adhesiveness), bütünlük veya dış yapışkanlık (cohesiveness), esneklik (springiness), sakızimsılık (gumminess), dayanıklılık (resilience) ve çiğnenebilirlik (chewiness) özellikleri belirlenmiştir. TPA dört ayrı pişirme uygulamasından (C, M1-3) 5'er köfte ile gerçekleştirilmiştir. TPA cihazı tarafından her köfteye uygulanan 2 kez ardışık sıkıştırılmadan elde edilecek sonuçlar değerlendirilmiştir (Menegas vd. 2013). Tekstür analizinin cihaz ayarları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Tekstür analizinde uygulanan cihaz ayarları

Test Parametresi	Parametre değeri
Test öncesi hız	1 mm/saniye
Tetikleme kuvveti	5 g
Test hızı	5 mm/saniye
Kompresyon mesafesi	5 mm
Test sonrası hız	5 mm/saniye
Döngüler arası zaman	5 saniye

TPA ile elde edilen grafiklerde iki ardışık sıkıştırma işlemini açıklayan iki pik mevcut olup ürünün tekstür özellikleri bu grafikteki bilgelere göre hesaplanır. Ürünün sertlik özelliği ilk sıkıştırmada kullanılan maksimum güç olarak belirlenmektedir. İki pik arasındaki negatif alan ise yapışkanlık olarak değerlendirilmektedir. Bütünlük, iki sıkıştırma işlemi arasında ürünün sıkıştırmaya karşı dayanıklılığını gösteren özellik olup, ikinci pik alanının ilk pik alanına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Esneklik ise iki sıkıştırma işleminin mesafelerinin birbirine bölünmesinden elde edilen değerdir. İkincil değerler olan sakızimsılık ve çiğnenebilirlik ise sırası ile sertlik ve bütünlük çarpımı ve sakızimsılık ve esneklik çarpımı işlemlerinden ortaya çıkan değerlerdir. Dayanıklılık özelliği ise ürünün şekil koruma özelliğini inceleyen bir özelliktir. Bu özellik ilk sıkıştırma esnasında ürün tarafından yukarı doğru gerçekleşen direncin daha sonra gerçekleşen aşağı doğru dirence bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Başka bir değiş ile, grafikte ilk pikin tepe noktasına göre bölünmesi ile ortaya çıkan soldaki alanın sağdaki alana bölünmesi dayanıklılık olarak hesaplanabilmektedir.

3.7.9. Duyusal analiz

Köftelerin farklı formülasyonlarının duyusal özelliklerin üzerindeki etkilerinin incelenmesi için gönüllü panelistler ile duyusal değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Toplamda 10 panelistin katılımı ile gerçekleşen bu değerlendirmede her bir paneliste 4 farklı formülasyonla üretilmiş köfte (C, M1-3) numunesi sunulmuş bunları 7 farklı kategoride değerlendirmeleri istenmiştir. Görünüm, renk, lezzet, ağız hissi, tekstür, koku ve aroma kategorileri için panelistler tarafından, 1 çok kötü ve 9 çok iyi olmak üzere, 1 ile 9 arasında, puan vermeleri istenmiştir. Panelistler bu çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul etmiş ve Ek.1’de sunulan formu doldurmak suretiyle rızalarını bildirmişlerdir. Ayrıca panelistlerin yaşı, cinsiyeti, sınıfı/kadrosu ve sigara kullanım durumuna ilişkin bilgiler, kendilerinin rızası ile ve kimlikleri açık olmayacak şekilde kaydedilmiştir.

Panelistlerin (10 kişi) yaş ortalaması 28.8 ± 8.77 olarak tespit edilmiştir. Katılımcıların %60’ı kadın olan panelde tamamı Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden olmak üzere lisansüstü öğrenciler (7 panelist), akademisyen (2 panelist) ve lisans öğrencisi (1 panelist) yer almıştır. Katılımcılar arasında sadece bir kişinin sigara kullandığı kaydedilmiştir. Panelistlere duyusal test öncesinde ürünlerin içeriği ve değerlendirmeleri gereken duyusal özelliklerle ilgili bir eğitim verilmiştir. Pişmiş örnekler mikrodalga fırın (ME86V Samsung, Seul, Kore Cumhuriyeti) ile 900 W güç seviyesinde ve 10 saniye süreyle ile yeniden ısıtılmış ve su eşliğinde 2 tekerrür şeklinde gelişigüzel 3 rakamlı kodlar verilerek panelistlere sunulmuştur.

3.8. Tavuk Köftelerinin Depolama Analizleri

Tez çalışması kapsamında üretilen dört farklı formülasyonla üretilmiş köfte (C, M1-3) için bozunma sürecinin izlenmesi ve raf ömrünün tahmin edilebilmesi amacıyla numuneler buzdolabında saklanarak kimyasal ve mikrobiyal analizler gerçekleştirilmiştir. Köfteler 14 gün boyunca polietilen buzdolabı poşetlerin içinde $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de (Snack serisi, Fagor, Gipuzkoa, İspanya) muhafaza edilmiş ve belli aralıklarda örneklerdeki değişimlerin izlenimi için 3 farklı analiz yöntemine tabi tutulmuştur. Depolamanın 1., 4.,

7., 10. ve 14. günlerinde yapılan bu analizler her iki tekerrürden örnek alınarak iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Köftelerde oksidasyon seviyesi ve asitlik değişimi izlenmiş ve mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir.

3.8.1. TBARS analizi

Köfte örneklerinin 2-tiyobarbitürik asit reaktif bileşikleri (TBARS) değerlerinin tayini Witte vd., (1970)'e göre gerçekleştirilmiştir. Köfte örnek grupları 2 paralelli şekilde beher içerisine 5 g tartılmıştır. Üzerine 50 mL %20'lik trikloroasetik asit (TCA) çözeltisi eklendikten sonra homojenizer yardımıyla parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen karışım içerisine 50 mL saf su ilave edilip tekrar parçalanmıştır. Ardından homojen hale gelen karışım 100 mL'lik balon joje içerisine bir huni ve huni üzerine yerleştirilen filtre kâğıdı yardımıyla süzölmüştür. Balon joje 100 mL'ye kadar 1:1 TCA/su karışımı ile tamamlanıp, karıştırılmıştır. Balon joje içerisinde oluşan bu karışımdan 5 mL alınıp deney tüplerine aktarıldık sonra üzerine 0,02 M TBA ilave edilmiştir. Kör (blank) örnek ise deney tüpü içerisine 5 mL 1:1 TCA/Su ve 0,02 M TBA eklenerek hazırlanmıştır. Hazırlanan tüpler 80 °C'deki su banyosu içerisine konulup, 35 dk bekletildikten sonra tüpler soğumaya bırakılmıştır. Ardından soğuyan örneklerin renginin sarı olduğundan dolayı 450 nm dalga boyuna ayarlanan spektrofotometre (Evolution 160, Thermo scientific, ABD) ile okuma işlemi yapılmıştır. Okunan absorbans değerleri 5.2 faktörü ile çarpılarak köfte örneklerinin kg başına üründeki oluşan mg malondialdehit değerleri hesaplanmıştır.

3.8.2. pH analizi

Köfte örneklerinin pH değerinin tayini için, köfte örneğinden 10 g tartılarak üzerine 100 ml distile su eklenmiş ve ardından homojenizer yardımıyla 1 dakika süre boyunca homojenize edilmiştir. Köfte örneklerinin pH değerlerini ölçebilmek için dijital bir pH metre (Mettler Toledo GmbH, SevenEasy, Almanya) kullanılmıştır. pH metre ölçümleri öncesinde pH 4, 7 ve 10 standart tampon çözeltileri ile kalibre edilmiştir. Daha sonra homojen hale gelen örneklerin içerisine pH metrenin probu daldırarak pH değeri ölçümleri elde edilmiştir.

3.8.3. Mikrobiyolojik analizler

Her gruptan birer köfte örneği alınıp steril bıçak ve kesme tahtası kullanılarak parçalanmıştır. Parçalanmış örnekten aseptik koşullarda hassas tartı ile 5 gram tartılmış ve 45 mL peptonlu su (Merck KGaA, Almanya) ile seyreltilmiştir. Daha sonra steril analiz tüplerinde belli dilüsyon oranlarına kadar seyreltmeler gerçekleştirilmiştir. Depolama gününe ve mikrobiyal gelişim miktarına göre seyreltme oranları arttırılmıştır. Birinci günde 10^{-1} - 10^{-3} seyreltme oranları, gelişme miktarına göre, 14. gününe kadar 10'ar kat seyreltmeler gerçekleştirilerek son günde 10^{-5} - 10^{-7} seyreltme oranlarından 1 mL örnek, pipet yardımı ile petrilere aktarılmıştır. Ardından 45-50 °C sıcaklıkta olan agar besiyerleri petrilere dökülmüş olup 10 kere sonsuz matematiksel simgesine (∞) benzer hareketler yapılarak örnek ile agarın karışması ve karışımın homojenleşmesi sağlanmıştır.

Ekimi yapılmış petrilere önceden belli sıcaklıklara ayarlanmış inkübatörlere yerleştirilmiştir. Örneklerin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam psikrofil

bakteri (TPB), toplam küf ve maya (TKM), *Enterobacteriaceae* sayımları yapılmıştır (Gadekar vd. 2014). TMAB ve TPB sayımları için “Plate count agar” (PCA) (Merck KGaA, Almanya) besiyeri kullanılmış olup sırası ile 37 °C ve 10 °C sıcaklıklarda, 48 saat ve 10 gün boyunca inkübasyon gerçekleştirilmiştir. KM ve *Enterobacteriaceae* sayımları için sırası ile “Potato dextrose agar” (PDA) (Merck KGaA, Almanya) ve “Violet Red Bile Agar” (VRBA) (Merck KGaA, Almanya) besiyerleri kullanılmış olup inkübasyon 37 °C sıcaklıkta 48 saat boyunca gerçekleştirilmiştir.

İnkübasyon sürelerinin bitiminde koloni sayımı gerçekleştirilmiştir. Daha geniş bir aralığının oluşabilmesi ve daha hassas bir analizin gerçekleşmesi için 15 ile 300 arasında koloni sayısı hesaplamalarda ele alınmıştır. Sayılan petriler laboratuvar kurallarına uyumlu şekilde otoklavlanarak steril edilip imha edilmiştir.

Koloni sayıları ve Denklem 3.11 kullanılarak mL başına koloni oluşturan birim (kob/mL) sayısı hesaplanmıştır.

$$N = C / [V \times (n_1 + 0.1 \times n_2 + n_3 \times 0.01) \times d] \quad (3.11)$$

N = Gıda örneğinin 1 mL'sinde mikroorganizma sayısı

C = Sayımı yapılan tüm petri kutularındaki koloni sayısı toplamı

V = Sayımı yapılan petri kutularına aktarılan hacim (mL)

n₁ = İlk seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

n₂ = İkinci seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

n₃ = Üçüncü seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

d = Sayımın yapıldığı ardışık 3 seyreltiden daha konsantre olanın seyreltme oranı

3.9. İstatistiksel Değerlendirme ve Veri Analizi

Bu çalışmada istatistiksel değerlendirme ve veri analizleri “SPSS Base v23” (IBM, ABD) uygulaması kullanılarak yapılmıştır. Verilerin normalite ve varyanslarının homojenliği şartları sağlandığı durumlarda ANOVA analizi ile ortalamalar arasındaki farklar incelenmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma metodu ile gruplar arasındaki farkların hangi gruplar arasında olduğu analiz edilmiştir. Söz edilen şartların yerine getirilmediği durumlarda ise transformasyon yöntemleri kullanılmış olup aynı testler uygulanmıştır. Ancak, transformasyon yöntemi de yetersiz kaldığı durumlarda Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır. Genel doğrusal modelleme metodu ise zaman içindeki aynı grupların değişiminin izlenmesi gereken durumlarda kullanılan metottur. Veri görselleştirmeleri SPSS ve Excel (Microsoft, ABD) uygulamaları kullanılarak yapılmıştır. Temel besin içeriği ve su tutma kapasitesi analizleri, TBARS analizi ve pH ölçümleri iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Tekstür profil analizi ve renk ölçümleri 5 paralelli şekilde yapılmıştır. Köftelerin pişme karakteristikleri ise 3 paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Köfte grupları iki tekerrür şeklinde üretilmiş ve analizler her iki tekerrür için yukarıda beyan edilen şekilde yapılmıştır. Çizelgelerde farklı harfle ile işaretlenmiş gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0.05$).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fungal Biyokütle Üretimi

FB üretimi iki yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin uygulanması ile gerçekleşen üretimlerin sonuçları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Yapılan besiyeri seçimi çalışması Çizelge 4.1’de verilmiştir. Engelli erlenlerde yapılan fermentasyonlar Materyal ve Metot kısmında 3.2 bölümünde açıklanan şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Besiyeri seçimi için yürütülen denemelerin sonuçları¹

NB, PDB ve DM besiyerleri ile yapılan deneme sonuçları		
Besiyeri	Biyokütle ortalama ağırlığı (g)	Verim (g/L)
PDB	1.41 ± 0.27	23.50 ± 4.48
NB	1.68 ± 0.22	27.92 ± 3.65
DM	1.23 ± 0.15	20.42 ± 2.47
NB ve glikoz takviyeli NB besiyerleri ile yapılan deneme sonuçları		
NB	2.29 ^a ± 0.18	38.11 ^b ± 2.95
NB + 40 g/L glikoz	4.84 ^b ± 0.26	80.74 ^a ± 4.41

¹ Değerler yaş ağırlık olarak verilmiştir.

Bu sonuçlara göre ilk yapılan denemede NB besiyerinde gelişen biyokütle miktarının PDB ve DM besiyerlerine göre, sırası ile %15.8 ve %26.9 seviyesinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu farkların ANOVA ve Duncan testlerinin sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p = 0.276$). Yalnızca NB besiyerinin teminin daha kolay olduğundan dolayı bu besiyeri daha sonraki denemelerde ve üretimlerde kullanılmıştır. İkinci denemede ise karbon kaynağının artması için ve mikrobiyal gelişiminin hızlanması ve kolaylaşması amacıyla glikoz takviyesi yapılmıştır. Bu denemede NB + 40 g/L glikoz besiyerindeki gelişimin normal NB besiyerine göre %111.9’lik bir artış ile %52.8 miktarında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu farkın ise t-testi analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p = 0.012$). Bu sonuçlara göre mevcut olan besiyerleri arasında en yüksek gelişimi sağlayan besiyeri, NB + 40 g/L glikoz besiyerinin olduğu bulunmuştur. Böylelikle, karıştırılmalı ve kabarcık sütunu biyoreaktörlerdeki üretimlerde bu besiyeri tercih edilmiştir. Ayrıca, üretilen biyokütlenin erlen içinde görüntüsü Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. NB + 40g/L glikoz besiyeri ile engelli erlende geliştirilen *P. ostreatus* miseli

4.1.1. Karıştırmalı fermentör ile üretim

Bu çalışmada FB üretimi için kullanılan bir yöntem karıştırmalı fermentörde kesikli yöntem kullanılarak fermentasyonun gerçekleştirilmesidir. Bu fermentasyonlar 3.3 L hacminde gerçekleştirilmiştir. İki tekrerrür şeklinde yapılan fermentasyon işlemleri sonucunda ortaya çıkan FB miktarı Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Karıştırmalı fermentörde üretim miktarları ve verimi

Fermentasyon Denemesi	Yaş biyokütle miktarı (g)	Verim (yaş, g/L)	Verim (kuru, g/L)	Kuru biyokütle miktarı (g)
Deneme 1	348	106	3.99	13.9
Deneme 2	429	130	4.89	17.2

Karıştırmalı fermentörde üretilen biyokütlenin kuru ağırlık ortalaması 15.15 g olarak ve verim ortalaması 118 g/L olarak tespit edilmiştir. Denemeler arasında fermentasyon koşulları açısından bir fark olmamış ancak, sonuçlar arasında farklar görülmektedir. Bu ise fungal fermentasyonunun tekrarlanabilirliğinin zor olduğu doğasından kaynaklı olması düşünülmektedir (Posch vd. 2013).

Bakratsas vd. (2023) çalışmasında 4 L hacmine sahip karıştırmalı bir biyoreaktörde glikoz ve ksiloz şekerleri farklı konsantrasyonlarda ve titrete kavak bitkisinin hidrolizatı karbon kaynağı olarak kullanılarak *P. ostreatus* LGAM 1123 biyokütle üretimi yapılmış olup bu karbon kaynaklarının biyokütle ve protein üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada şeker karışımlarından elde edilen maksimum biyokütle miktarı 25g/L glikoz ve 25g/L ksiloz şeker karışımı ile ve 10. fermentasyon gününde bulunmuş olup 23.8 ± 0.07 g/L olarak tespit edilmiştir. Öte yandan bitkisel atıklar ile gerçekleştirilen fermentasyonda maksimum biyokütle miktarı 4. günde ve 25.0 ± 3.4 g/L olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında elde edilen biyokütle miktarının Bakratsas vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada bulunan miktardan daha az olduğu görülmektedir. Ancak, bu tez çalışmasında 4 günlük bir fermentasyon süreci uygulanmış olup Bakratsas vd. (2023) çalışmasındaki şeker karışımları ile yapılan fermentasyon daha uzun bir sürede gerçekleştirilmiştir. Bakratsas vd. (2023) çalışmasındaki 4. gününde biyokütle miktarı maksimum 11 g/L olarak görülmektedir. Dolayısıyla 4 günlük bir fermentasyon sürecinde bu tez çalışmasında daha yüksek miktarlarda biyokütle üretilmiştir. Buna göre NB besiyerinin bileşenlerinin etkisi ile aynı sürede daha yüksek üretim verimlerinin ortaya çıkabileceğinin söylenmesi mümkündür.

Jung vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada farklı meyve atıklarının değerlendirilmesi ile *P. ostreatus* misel biyokütlesinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkan en yüksek verim ise 9.62 g/L (kuru ağırlık bazında) olarak tespit edilmiştir. Bu tez çalışması ile kıyasla daha uzun fermentasyon süresi (10 gün) söz konusu olup, meyve atıklarından dolayı Bakratsas vd. (2023) çalışmasına benzer şekilde, daha yüksek verimlerin ortaya çıktığı görülmektedir.

Bakratsas vd. (2024) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise 12.6 ± 0.60 g/L (kuru ağırlık bazında) olarak ortaya çıkan verim miktarı zengin besiyeri ve daha uzun fermentasyon süresinden dolayı bu tez çalışmasında ortaya çıkan değerlerden daha yüksek bir verimdir. Bu çalışmada 8 günlük bir fermentasyon uygulanmış olup kullanılan besiyeri 54 g/L glikoz ve 18 g/L maya ekstraktı ve bazı vitaminler ve mineraller içermektedir.

4.1.2. Özel tasarlanmış kabarcık sütun fermentör sistemi ile üretim

Bu çalışmada FB üretimi için kullanılan başka bir yöntem ise özel tasarımı kabarcık sütunu fermentasyon sistemidir. Bu sistem ile yapılan üretimlerin sonucunda ortaya çıkan FB ile ilgili detaylar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Ayrıca, Ek.3'te üretimlerden elde edilen ham verileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Kabarcık sütunu fermentasyon sistemi ile üretilen biyokütle miktarları¹

Besiyeri hacmi (mL)	Ortalama biyokütle ağırlığı (g)	Verim (yaş, g/L)	Verim (kuru, g/L)	Kuru biyokütle miktarı (g)
1700 (n=11)	244.25 ± 101.03	143.68 ± 59.43	5.40 ± 2.23	9.18 ± 3.80
1500 (n=5)	300.23 ± 41.57	200.15 ± 27.72	7.53 ± 1.04	11.29 ± 1.56

¹ Değerler denemelerin ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Özel tasarım kabarcık sütunu fermentasyon sisteminin üretim sonuçlarına bakıldığında karıştırmalı biyoreaktöre göre daha üstün bir verimin elde edildiği görülmektedir. Karıştırmalı biyoreaktörde verim ortalaması 118 g/L olarak tespit edilmiş iken kabarcık sütunu biyoreaktöründe verim ortalaması 172 g/L olarak bulunmuştur. Buna göre kabarcık sütunu sisteminin *P. ostreatus* misel biyokütlesi üretimi için daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu ise kabarcık sütunu sisteminde sağlanan daha yüksek hava akımı ve daha düşük yüzey geriliminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Gan vd. 2011). Ayrıca, literatür taraması bölümünde bulunan Çizelge 2.4'te söz edilen Rajabzadeh Shandiz vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada sıvı kültürde makro fungusların gelişiminin havalandırma koşullarından önemli ölçüde etkilendiği gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında da uyumlu sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. Karıştırmalı biyoreaktörde mekanik karıştırma işleminden dolayı daha yüksek hava akımları uygulanamamıştır. Öte yandan bu tez çalışmasında tasarlanan kabarcık sütunu sisteminin çoğaltılarak ölçek büyütme işlemi için uygundur. Bu çalışmada 4 günlük fermentasyon süresince 6 adet kabarcık sütunu sistemi ile üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde daha verimli zaman kullanımı da mümkün olmuştur. Bu açıdan bakıldığında 6 kabarcık sütunu sistemi ile 4 gün içinde ortalama olarak 1032 g/L verim sağlanabilirken bu miktar karıştırmalı biyoreaktörde daha önce söz edilen 118 g/L değeri ile sınırlı kalmıştır.

Bu tez çalışmasında da uyumlu sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. Karıştırmalı ve kabarcık sütunu biyoreaktörleri arasında ortaya çıkan verim farkı

4.2. Fungal Biyokütlenin Karakterizasyonu

Üretilen biyokütlenin gıda ham maddesi olarak kullanımının değerlendirilmesi için biyokütlenin karakterizasyonu yapılmıştır. Bunun için biyokütlenin besin içeriğine bakılmıştır. Burada FB'nin ham protein, ham yağ, kül (toplam mineral), su ve karbonhidrat içeriği incelenmiştir. Ayrıca, besin içeriği değerleri kullanılarak FB'nin enerji içeriği de hesaplanmıştır.

4.2.1. Fungal biyokütlenin besin içeriği

Üretilen biyokütlenin biyoreaktörlerden hasat edilip süzme/yıkama işlemi sonrasında gerçekleştirilen analizlerle ortaya konan temel besin içeriği hem kuru hem yaş bazında Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Ayrıca, istiridye mantarının besin içeriği de karşılaştırma amaçlı olarak bu çizelgede paylaşılmıştır (USDA 2025).

Çizelge 4.4. Fungal biyokütlenin besin içeriği¹

	Ham Protein	Ham Yağ	Kül	Su	Karbonhidrat	Enerji
Kuru FB	15.24 ± 1.74	12.68 ± 2.09	5.19 ± 0.44	0	66.89 ± 3.56	443 ± 4.10
Yaş FB	0.55 ± 0.04	0.48 ± 0.08	0.19 ± 0.02	96.24 ± 0.41	2.53 ± 0.03	16.64 ± 0.33
İ.M.²	3.31	0.41	1.01	89.2	6.09	33.00

¹ Bileşim değerleri g/100g cinsinden ortalama ± standard sapma olarak verilmiştir. Enerji değeri 100 g maddede kcal biriminde verilmiştir.

² İ.M.: İstiridye mantarı; besin bileşenleri için ABD tarım bakanlığı veri tabanında sunulan veriler kullanılmıştır (USDA 2025)

FB'nin yaş bazında elde edilen besin içeriği değerleri, Çizelge 2.2'de ve Çizelge 4.4'te gösterilmiş *Pleurotus* meyve gövdesi besin içerikleri ile karşılaştırıldığında üretilen FB'nin daha düşük protein içeriği ve daha yüksek yağ içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan FB'nin karbonhidrat içeriği de *Pleurotus* meyve gövdesinin karbonhidrat içeriğinden daha düşük olduğu belirtilebilir.

FB için bulunan değerler ama Schütte vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada bulunan değerler ile uyumlu değildir. Bu çalışmada araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen azot içeriği analizine göre *P. ostreatus* misel biyokütlesi meyve gövdesine göre daha yüksek bir ham protein değerine sahip olduğu bulunmuştur. Makro mantarların içeriği, üretim yöntemi fark etmeksizin, genellikle verilen substrat/besiyerinden yüksek seviyede etkilenmektedir (Bellettini vd. 2019). Burada ortaya çıkan protein içeriği farkının bu nedenden ortaya çıktığı düşünülmektedir. Buna göre, bu tez çalışmasında kullanılan besiyeri üretilen FB'nin meyve gövdelerine göre daha düşük bir protein içeriğine sahip olmasına yol açmış olduğu olası bir durumdur. Bunun için farklı besiyerlerinin FB'nin besin içeriği üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekmektedir.

Bu bilgilere göre FB'nin eklenmesi ile tavuk göğsünden yapılan bir gıda ürününün mineral, yağ asitleri ve karbonhidrat açısından zenginleştirilmesi mümkündür. Ayrıca, FB'nin yüksek su içeriği ise ürünün yapılışında ürünün şekillenmesini ve istenen tekstüre ulaşmasını zorlaştırabildiği için dondurarak yapılandırma, kurutma veya bazı diğer işleme yöntemleri ile su içeriğinin azalması sağlanmalıdır.

Bakratsas vd. (2023) tarafından yapılan çalışmanın amacı alternatif protein kaynağı olarak belirlendiğinden dolayı farklı yöntemler ile üretilen biyokütlenin protein içeriği incelenmiştir. Glikoz ve ksiloz karışımlarından oluşan besiyerleri ile üretimler sonucunda ortaya çıkan maksimum protein içeriği, biyokütle üretim sonuçlarına benzer bir şekilde, 25g/L glikoz ve 25g/L ksiloz karışımında görülüp miktarı ise 47.6 ± 0.2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu protein miktarı 8. fermentasyon gününde tespit edilmiştir. Öte yandan titrek kavak atıklarının değerlendirilmesi ile yapılan fermentasyon sonucunda ortaya çıkan maksimum protein miktarı 2. fermentasyon gününde 44.0 ± 0.3 olarak tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında 15.24 olarak tespit edilen protein miktarı Bakratsas vd. (2023) çalışmasında bulunan miktarına göre daha az olup bunun nedeni ise

Bakratsas vd. (2023) çalışmasında ksiloz şekerinin besiyerinde bulunması olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada 4 farklı glikoz/ksiloz oranı denenmiş olup ksiloz oranının glikoz oranı ile eşitlenene kadar artması ile protein miktarının da arttığı görülmüştür. Literatürdeki bilgilere bakıldığında ksiloz ile fungusların ürettiği protein içeriği arasındaki ilişkinin tam belli olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak, bazı çalışmalara göre ksilozun besiyerinde mevcut olması funguslarda bazı metabolik değişimlerine yol açması tespit edilmiş ve protein üretiminin artması da bu değişimlerden dolayı ortaya çıkması tahmin edilmiştir (Wang vd. 2023).

Yapılan başka bir çalışmada farklı tarımsal atıklarının *P. ostreatus* sıvı kültürde miselyum üretimi üzerindeki etkisi incelenmiştir (Maseko vd. 2024). Bu çalışmada 14 güne kadar sürdürülen engelli erlenlerde fermentasyon süreçleri incelendiğinde elde edilen protein oranı 15.2-42.5 arasında, kullanılan atık türüne göre değişiklik göstermiştir. Bu sonuçlara göre Bakratsas vd. (2023) çalışmasında da görüldüğü gibi tarımsal atıkların içerdiği FB üretimini teşvik eden bazı bileşenlerden dolayı tarımsal atıkların fermentasyon için kullanıldığında daha yüksek protein oranları elde edilebilmektedir. Ayrıca, Maseko vd. (2024) çalışmasına göre bazı organik azot kaynaklarının fermentasyon besiyerine eklendiğinde protein üretiminin artırılması da mümkündür. Bu bilgiler sayesinde organik atıkların *P. ostreatus* fermentasyonunda kullanılabilirliği ve FB ve protein üretimi üzerine olumlu bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni ise genel olarak *Pleurotus* funguslarının saprofit özelliği olarak düşünülmektedir. Ancak, çalışmalardaki protein içeriğinin analiz metodu büyük önem taşımaktadır. Genel olarak kullanılan yöntemlerin ham protein analiz yöntemleri olduğu ve mevcut olan azot miktarına göre protein içeriğini tahmin eden yöntemlerdir. Bundan dolayı besiyerinde mevcut olan protein olmayan diğer azotlu bileşenlerinin de yanlışlıkla protein olarak değerlendirilmesi söz konusu olabilir.

4.2.2. Dondurarak yapılandırılmış fungal biyokütle ve bileşimi

FB örnekleri hasat, süzme ve yıkama işlemlerinde sonra 1 gün -80 °C sıcaklıkta dondurulup daha sonra -18 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Köfte üretimi için çözdürülen ve süzülen FB'nin ağırlığı, fermentasyon yöntemi fark etmeksizin, dondurmadan önceki ağırlığının %20'sine kadar düşmüştür. Bu süreçten sonra elde edilen FB'nin tavuk kıymasına uyumlu ve benzer bir yapıya sahip olduğu görülmüş olup köfte formülasyonunda kullanımı için uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu işlem ile üretilen FB dondurarak yapılandırılmış FB adı verilmiştir.

Çizelge 4.5'te dondurarak yapılandırılmış FB'nin besin içeriği yaş ağırlık bazında gösterilmiştir. Bu çizelgede ayrıca tavuk göğüsü besin içeriği değerleri de kıyaslama amacı ile gösterilmiştir (USDA 2025). Bu çizelgede görüldüğü gibi FB, karbonhidrat dışında diğer besin maddeleri açısından tavuk etine göre daha düşük değerlere sahiptir. Ayrıca, daha düşük enerji seviyesinden dolayı düşük enerjili ürünlerin geliştirilmesi için kullanılabilirliği de anlaşılmaktadır. Ayrıca, dondurarak yapılandırma yönteminin geleneksel kurutma yöntemlerine göre avantajları, yüksek sıcaklık uygulanmamasından dolayı besin maddelerinin zarar görmemesi, son ürünün toz haline gelmesi yerine ete daha yakın bir su içeriğine sahip olabilmesi ve kaybın daha az olması olarak söylenebilir.

Çizelge 4.5. Dondurarak yapılandırılmış fungal biyokütle ve tavuk kıyması besin içeriği¹

	Protein	Yağ	Kül	Su	Karbonhidrat	Enerji
yFB ²	2.76 ± 0.23	2.38 ± 0.39	0.98 ± 0.08	81.34 ± 0.20	12.66 ± 0.15	83.22 ± 1.64
Tavuk ³	31	3.57	1.06	65.3	0	156.13

¹ Bileşim değerleri g/100g cinsinden ortalama ± standard sapma olarak verilmiştir. Enerji değeri 100 g maddede kcal biriminde verilmiştir.

² Dondurarak yapılandırılmış fungal biyokütle

³ (USDA 2025)

4.3. Dondurarak Yapılandırılmış Fungal Biyokütlenin Tavuk Köftesi Üretiminde Kullanımı ve Ürünlerin Karakterizasyonu

Köfte hamurlarının kabul edilebilir renge sahip olduğu, en yüksek ikame oranında (%30 FB) dahi köftelere kolaylıkla şekil verilebildiği, yapısal özelliklerin işlemeye elverişli olduğu görülmüştür. FB ilavesi ile olumsuz bir renk değişikliği söz konusu olmamıştır. Şekil 4.2’de FB, köfte hamuru ve fırınlanmış tavuk köftelerin görüntüleri paylaşılmıştır.



(a)

(b)

(c)

Şekil 4.2. Köfte yapımı görüntüleri

a) Çözdürülmüş ve süzmüş FB; b) Köfte hamuru; c) Pişmiş köfteler (M3 köfte)

4.3.1. Köftelerin pişme karakteristikleri

Üretilen köftelerin pişme karakteristikleri incelenmiş olup Çizelge 4.6’da sonuçlar gösterilmiştir. Bu analizler ile FB içeren köfte gruplarının kontrol grubuna göre ne kadar normal bir köfteye benzer olduğu anlaşılabilecektir.

Çizelge 4.6. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde pişme karakteristikleri¹

Örnek kodları	Pişme verimi (%)	Çap azalışı (%)	Kalınlık artışı (%)
C	79.56 ± 1.66	9.03 ± 1.45	4.54 ^a ± 2.74
M1	80.01 ± 1.56	10.79 ± 2.06	5.48 ^a ± 2.98
M2	78.28 ± 1.22	9.53 ± 0.74	7.87 ^a ± 3.21
M3	77.22 ± 3.64	9.86 ± 2.72	-2.54 ^b ± 2.06

¹ Sütunlarda farklı harfler ile işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Pişme verimi açısından kontrol ve M1 grupları yakın pişme verimi gösterir iken M2 ve M3 grupları daha düşük pişme verimi görülmüştür. Bunun nedeni ise FB'nin yüksek su içeriğinden dolayı eklendiğinde köftenin su içeriğinin artması ve sonucunda M2 ve M3 gruplarının pişme esnasında daha fazla su kaybederek pişirmeden sonraki ağırlıklarının daha düşük olması olarak düşünülmektedir. Ancak bu farklar gruplar arasında görülse de ANOVA analizine göre popülasyonlar arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı görülmüştür ($p = 0.157$). Dolayısı ile tavuk köftesine farklı oranlarda FB eklenmesi pişme veriminde bir değişikliğe neden olmamıştır. Bu sonuçlar Rosli vd. (2011) tarafından yapılan çalışmadaki sonuçları ile uyumludur. Bu çalışmada araştırmacılar tarafından tavuk köftelerinde tavuk eti farklı oranlarda *P. sajur-caju* fruktifikasyon organı (şapka ve sap) ile ikame edilmiştir. Öte yandan Ibrahim ve Huda-Faujan (2024) tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlar *P. ostreatus* sapının tavuk köftesine ilave edildiğinde pişme veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Bu ise çalışmada mantarlarda parçalamadan öncesinde gerçekleştirilen kurutma işleminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmalarda mantarların şapka ve sapı kullanılmış olsa da literatürde rastlanan en uyumlu çalışmalar olmasından dolayı karşılaştırma amacı ile burada ele alınmıştır.

Çap azalışı açısından gruplar arasındaki değişimler pişme verimine benzer bir süreç izlemiştir. İstatistiksel olarak gruplar arasında önemli bir farkın söz konusu olmadığı tespit edilmiştir ($p = 0.414$). Rosli vd. (2011) çalışmasındaki sonuçlara göre mantar meyve gövdesinin ilavesi ile çap azalışı yüzdesinin azalması görülmüş tür. Bu açıdan bu tez çalışması ile farklı sonuçlar görülmekte ancak istatistiksel olarak önemli farklar söz konusu değildir.

Öte yandan kalınlık artışı özelliğinde gruplar arasında önemli seviyede farklar vardır ($p = 0.034$). Kontrol, M1 ve M2 grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz iken M3 grubundaki değişikliğin önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, M3 grubunda

kalınlık artışı değil kalınlık azalışı görülmektedir. Bu sonuçlara göre %20 FB ilavesine kadar köftelerde kalınlık açısından bir fark ortaya çıkmamış olup %20'den daha fazla FB ilavesi kalınlık azalışına neden olmuştur. Bu ise FB'nin %20'den daha fazla ilavesi ile köftelerde ortaya çıkan muhtemel üç boyutlu matrislerin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.2. Köftelerin su tutma kapasitesi

Köftelerde su tutma kapasitesi analizi gerçekleştirilmiştir. Analizin sonuçları Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Bu analizin amacı et ürünlerinde, bu çalışmada köfte, pişirmeden sonra ürünün sululuk özelliğinin incelenmesidir.

Çizelge 4.7. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde su tutma kapasitesi¹

Örnek kodları	Su tutma kapasitesi (%)
C	6.07 ± 0.94
M1	6.15 ± 0.20
M2	5.98 ± 1.56
M3	6.01 ± 0.64

¹ C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Su tutma kapasitesinde FB ilavesi ile ilk başka bir artış izlendikten sonra FB oranı daha fazla arttığında bu özellikte azalışlar görülmektedir. Ancak ANOVA analizine göre köfte grupları arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p = 0.994$). Buna göre tavuk köftelerinde tavuk etinin %30'u kadar FB'nin ilavesi ile ikame edilmesi sonucunda köftelerin su tutma kapasitesinde bir değişiklik gerçekleşmemiştir. Bu sonuç pişme verimi sonuçlarıyla da uyumludur. Hatırı sayılır seviyelerde ikame yapılmış olsa da pişme karakteristiklerinde kayda değer bir farklılığın gözlemlenmemesi köftelerin imalat süreçlerinin gerçekleştirilebilir olabileceğine, ikameli köftelerin ticari ürün olarak geliştirilebileceğine işaret etmektedir. Rosli vd. (2011) çalışmasındaki sonuçlara göre mantar meyve gövdesi ilavesi ile su tutma kapasitesi azalmış olup ancak mantar oranının artması ile bu değerde önemli bir değişiklik ortaya çıkmamıştır. Bu azalışın nedeni araştırmacılar tarafından taze mantarın yüksek su içeriğinden dolayı yetersiz üç boyutlu matrisler oluşturma yeteneği olarak önerilmiştir. Bu tez çalışmasında üretilen FB de yüksek bir su içeriğine sahiptir. Ancak, FB, dondurarak yapılandırma işlemine tabi tutulmuş olup su içeriği azaltılmıştır. Su içeriği dondurarak yapılandırma işlemi ile azaltılmış FB'nin köftelere ilavesi su tutma kapasitesinde olumsuz değişimlere yol açmadığı ve FB içeren gruplarının su tutma kapasitesi kontrol grubu ile farksız olduğu görülmektedir. Bu çalışmada dondurarak yapılandırmamış FB köftelere ilave edilmiş olsaydı yüksek su içeriğinden dolayı diğer çalışmalarda görüldüğü gibi su tutma kapasitesinde azalışların ortaya çıkması muhtemel bir sonuç olabilmekteydi. Buna göre sıvı kültürde geliştirilmiş

ve dondurarak yapılandırılmış FB'nin daha iyi üç boyutlu matriks oluşturma yeteneği olabildiğini öne sürülebilmektedir. Ayrıca, sıvı kültürde geliştirilen FB'nin uygun üç boyutlu yapılarının oluşmasına yol açabileceği başka çalışmalarda da gösterilmiştir (Wang vd. 2024).

4.3.3. Temel besin içeriği analizleri

Fırında pişirilen köftelerde yapılan temel besin maddeleri analizlerinin sonuçları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Bu tabloda ham protein, ham yağ ve kül içerikleri değerleri kuru ağırlık üzerinden yüzde olarak verilmiş, karbonhidrat değerleri ise toplam kuru maddeden bu değerlerin farkı alınarak hesaplanmıştır. Enerji içeriği kcal/100g kuru madde biriminde verilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.3'te köfte gruplarının besin içeriği karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde besin içeriği^{1, 2}

	Ham Protein	Ham Yağ	Kül	Su	Karbonhidrat	Enerji
C	67.23 ^a ± 2.02	4.01 ^d ± 0.11	5.07 ^b ± 0.34	63.88 ^c ± 0.51	23.70 ^b ± 1.75	399.78 ^c ± 1.60
M1	65.02 ^a ± 1.98	5.07 ^c ± 0.09	5.53 ^a ± 0.20	66.06 ^b ± 0.85	24.38 ^b ± 2.11	403.27 ^{bc} ± 0.36
M2	64.71 ^a ± 4.79	6.14 ^b ± 0.13	5.76 ^a ± 0.15	66.45 ^{ab} ± 0.93	23.40 ^b ± 4.77	407.66 ^{ab} ± 0.43
M3	58.03 ^b ± 0.35	7.00 ^a ± 0.08	5.74 ^a ± 0.21	67.46 ^a ± 0.69	29.23 ^a ± 0.28	412.04 ^a ± 0.97

¹ Sütunlarda farklı harfler ile işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

² Değerler 2 paralel ve 2 tekrür, toplam 4 farklı örnekten alınan ölçümlerin ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir. Değerler kuru madde bazında ve g/100g olarak verilmiştir.

Köftelerin ham protein verilerinin varyansları homojenlik testine tabi tutulduğunda ortalamaya göre 0.044 değerinde homojenlik göstermiştir. Buna göre Kruskal-Wallis bağımsız örnekler testi uygulanmıştır. Kruskal-Wallis sonucuna göre gruplar arasında bir farkın olmadığı tespit edilmiştir ($p = 0.061$). Ancak, varyans homojenlik testindeki değer 0.05 güven payına yaklaştığı görülmüştür. Ayrıca, verilere transformasyon uygulandığında (x^3) ortaya çıkan değerler homojen bir varyans dağılımı göstermişlerdir (0.053). Bu nedenler ile ANOVA testi de uygulanmış olup sonuç olarak $p = 0.003$ değeri ile gruplar arasında fark olduğu da görülmüştür. Bu sonuç ile Kruskal-Wallis testinden çıkan $p = 0.061$ p değerinin 0.05 güven payına yakınlığı göz önünde bulundurulduğunda gruplar arasında popülasyon seviyesinde fark olabileceğinin mümkün olabileceği belirtilebilir. Bu neden ile ANOVA testi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. ANOVA sonucuna göre gruplar arasında fark görülmüş ($p = 0.003$) ve Duncan metoduna göre M3 ile diğer gruplar arasında fark olabileceği

anlaşılmıştır. Bu farkın nedeni FB'nin tavuk etine göre daha düşük protein içeriğine sahip olması ve eklendiğinde köftelerin protein içeriğinin azalmasına yol açtığı olarak değerlendirilebilir. Buna göre %20 FB ilavesinin, köftelerin protein içeriğinde bir farka neden olmaması, ancak %30'luk FB ilavesinin köftelerde protein içeriğinin azalmasına neden olması söz konusudur.

Köftelerin yağ içeriğine bakıldığında bütün gruplar arasında istatistiksel olarak önemli farkların ortaya çıkmış olması ve FB oranının artması ile köftelerin yağ içeriğinin de arttığı görülmektedir. Yağ verilerinin homojen varyansa sahip olduğu görülerek ($p = 0.717$) ANOVA ve Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Gruplar arasında ANOVA testine göre $p < 0.001$ seviyesinde fark olduğu tespit edilmiştir. FB'nin yüksek yağ içeriği Bölüm 4.4'te açıklandığı üzere tavuk kıymasına göre kuru madde bazında daha yüksek seviyelerdedir. Ancak yağ bazda ilave edilen FB'nin bu analizlerde gözlemlere karşılık gelebilecek şekilde yağ içeriğinde artışa neden olması beklenmemelidir. Ek olarak değerler de beklenen yağ içeriğinden yüksek çıkmıştır. Gıda ürünlerinde yağ yerine geçen maddeler olarak FB'lerin kullanılması literatürde mevcut olan çalışmalar arasında yer almaktadır (Hu vd. 2021). Buna göre bu çalışmada da FB ilavesi ile köftelerin yağ içeriğinin azalması beklenmiş ancak ortaya çıkan değerler bununla uyumlu değildir. Pérez-Palacios vd. (2008) tarafından çalışmada et ürünlerinde farklı yağ içeriği analizleri incelenmiş olup yöntemler arasında büyük farklar görülmüştür. Bu çalışmada uygun yöntemin ürüne göre seçilmesi gerektiği ile ilgili vurgular yapılmıştır. Ayrıca, fungal misellerinin gıda ürünlerine ilavesi ürünün tekstür ve matrisinin değişimine yol açtığı da çalışmalarda gösterilmiştir (Maseko vd. 2025). Bu tez çalışmasında yağ değerlerinin beklenen seviyeden daha yüksek çıkmasının da bu iki nedenden dolayı olduğu düşünülmektedir. İlk olarak köftelerdeki matris ve tekstür değişimi ile, yapılan Soxhlet analizinde çözücünün daha fazla difüze olmasını sağlandığı düşünülmektedir. Ayrıca, yağ içeriği analizi için burada daha uygun yöntemlerin bulunması veya geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Köftelerin enerji içeriği ise yağ içeriğine benzer bir trend izlemiştir. Enerji verilerinin varyanslarının homojen olmadığından ($p = 0.010$) ve transformasyon işlemi de bir değişiklik yaratmadığından dolayı veriler Kruskal-Wallis metodu ile analiz edilmişlerdir. Kruskal-Wallis testine göre gruplar arasında fark tespit edilmiştir ($p = 0.003$). Köfterlerdeki FB miktarının artması ile köftenin enerji değeri de artmıştır. Burada gruplar arasında ikiye ikiye şekilde benzerlikler var iken gruplar FB miktarına göre birbirinden farklar göstermişlerdir. Bunun nedeni ise FB'nin yüksek yağ içeriği olarak düşünülmektedir. Gruplar arasında FB artar iken protein miktarı azalsa bile yağ miktarı artmakta olup yağın daha yüksek kalori değerine sahip olduğundan dolayı köftenin enerji içeriği FB'nin artması ile artmıştır.

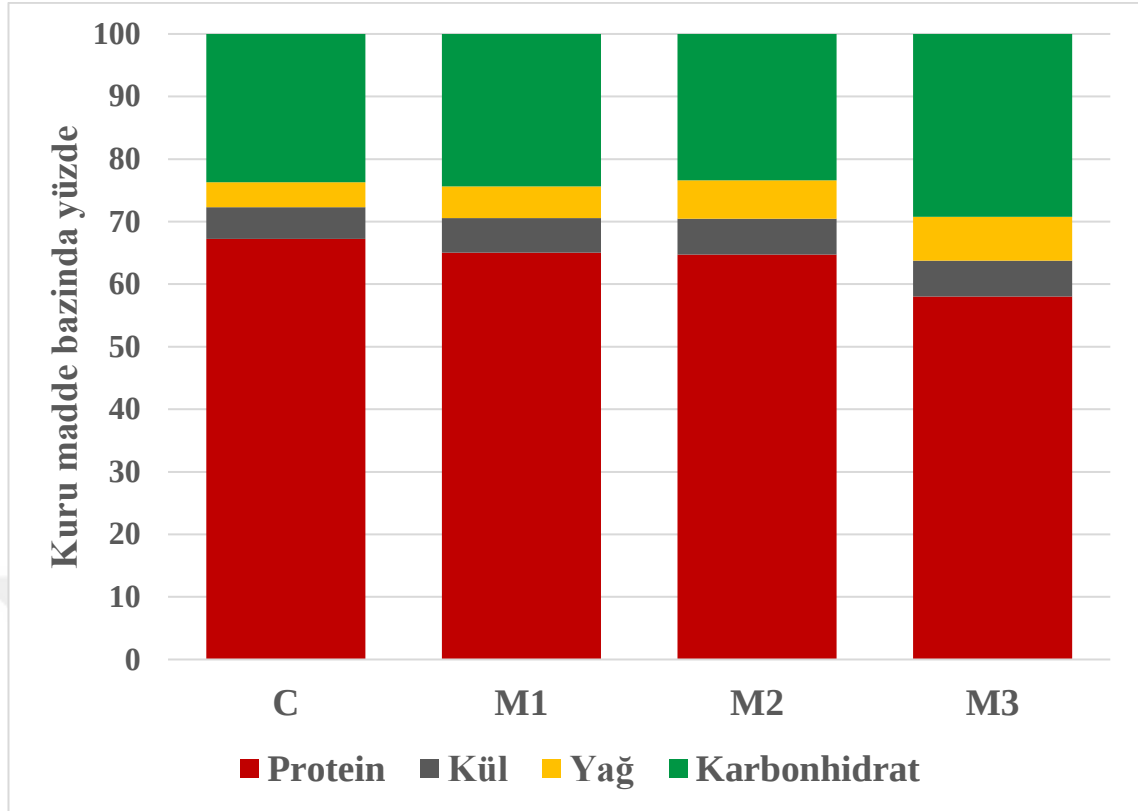
Köftelerin kül verilerinin varyansları homojen olmadığından dolayı ($p = 0.044$) transformasyon işlemi yapılmıştır (x^3). Bu transformasyon sonucunda varyanslar homojen hale gelip ($p = 0.230$) ANOVA analizine uygun hale gelmiştir. ANOVA sonuçlarına göre gruplar arasında fark görülmektedir ($p = 0.005$) ve Duncan çoklu karşılaştırma testine göre kontrol grubu diğer gruplardan farklı bulunmuş olup M1, M2 ve M3 grupları arasında bir fark tespit edilmemiştir. Ayrıca, ham kül verilerde Kruskal-Wallis testi uygulandığında da ANOVA testine benzer bir sonuç ortaya çıkmaktadır ($p = 0.028$). Bu sonuçlara göre köftelerdeki kül miktarı FB ilavesi ile artmış ancak FB

oranlarının artması ile değişmemiştir. FB'nin yüksek kül içeriğinden dolayı ortaya çıkan fark ise beklenen bir sonucun olduğu düşünülmektedir.

Köfte örneklerinde gruplar arasında karbonhidrat içeriği açısından sadece %30 FB ilavesi ile istatistiksel olarak önemli farklar ortaya çıkmıştır. Karbonhidrat içeriği verileri homojen varyanslara sahip olmadıklarından dolayı ($p = 0.043$) veriler transformasyon ile değiştirilmiştir ($\log_{10} x$). Transforme edilmiş verilere ANOVA testi uygulandığında 0.040 p değeri ile gruplar arasında fark olduğu ve Duncan metoduna göre M3 grubunun diğer gruplardan farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu fark ise FB'nin yüksek karbonhidrat içeriğinin etkisi ile ortaya çıkması düşünülmektedir. Ayrıca, burada önemli olan başka bir etken ise M3 grubundaki ani protein düşüşü olabilir.

Köftelerin su içeriği ise varyans homojenliğinin mevcut olduğundan dolayı ($p = 0.613$) ANOVA testine tabi tutulmuştur. ANOVA sonuçlarına göre gruplar arasında anlamlı farklar mevcuttur ($p < 0.001$). Duncan çoklu karşılaştırma metoduna göre FB miktarı artar iken köftenin su içeriği de artmıştır. Bu ise beklenen bir sonuç olup FB'nin tavuk etine göre daha yüksek su içeriğinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Bu sonuçlar Rosli, vd. (2011) tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlar ile kısmen uyumludur. Bu çalışmada *Pleurotus* mantar meyve gövdesi oranı arttıkça protein, karbonhidrat ve yağ içeriğinin azaldığı, su ve kül içeriğinin arttığı görülmektedir. Ancak yağ ve karbonhidrat içeriği Rosli vd. (2011) çalışmasındaki sonuçlara göre azalmış olup bu sonuçlar bu tez çalışmasının sonuçları ile uyumlu değildir. Bunun nedeni ise ilk olarak farklı ham maddelerinin kullanılması ve sonra farklı formülasyonların uygulanmış olmasıdır. Ibrahim ve Huda-Faujan (2024) çalışmasında yine *Pleurotus* mantar sapı oranı arttıkça protein miktarı azalmıştır. Kül ve karbonhidrat miktarlarında önemli bir değişiklik olmamakla beraber enerji ve yağ içeriğinde daha kompleks değişiklikler görülüp belli bir trendin izlenmediği söz konusudur. Buna göre bu tez çalışması sonuçları ile Ibrahim ve Huda-Faujan (2024) çalışmasındaki sonuçlar arasında protein azalması konusunda uyum görülmekte ancak diğer konularda muhtemelen farklı ham madde veya üretim metodundan kaynaklı farklılık tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde besin değerleri

C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

4.3.4. Renk Analizi

Fırında pişirilen köftelerde CIELAB renk uzayına göre renk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizin sonuçları Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.4’te 4 farklı köfte grupları pişmiş olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde renk değerleri^{1, 2}

Örnek kodları	a*	b*	L*	ΔE
C	4.30 ± 0.65	23.27 ^b ± 0.70	65.91 ^c ± 1.29	36.17 ^a ± 1.30
M1	4.24 ± 0.47	24.65 ^a ± 0.69	68.60 ^a ± 1.17	34.84 ^b ± 1.01
M2	4.76 ± 0.19	25.26 ^a ± 1.08	67.22 ^b ± 0.97	36.35 ^a ± 0.80
M3	4.16 ± 1.09	24.42 ^a ± 1.67	69.60 ^a ± 1.92	33.92 ^b ± 2.45

¹ Sütunlarda farklı harfler ile işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte.

² Değerler her gruptan 3 farklı örnekten yapılmış 5 ölçümün ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir.

ANOVA analizine göre a* değerinde (kırmızılık-yeşillik) gruplar arasında önemli bir fark görülmemiş olup ($p = 0.219$) gruplar arasındaki benzerlik oranı 0.08'dir. Öte yandan L* ve b* değerlerinde sırası ile $p < 0.001$ ve $p = 0.003$ seviyelerinde gruplar arasında fark tespit edilmiştir. Buna göre örnekler arasında yeşillik-mavilik ve siyahlık-beyazlık kategorilerinde istatistiksel olarak önemli farklar vardır. Köfte gruplarının L* değerleri FB ilavesi ile artmıştır. Bu FB ilavesi ile ürünlerin rengi daha açık bir renge dönüştüğünü göstermektedir. Burada M1 ve M3 grupları birbirine benzer ve daha yüksek bir L* değeri göstermiş iken M2 grubunda daha düşük bir L* değeri tespit edilmiştir. Eklenen FB renginin sarı bir beyaz rengi olduğu nedeni ile gruplarda FB ilavesi ile L* değerinin yükselmesi beklenmektedir. Ancak, M2 grubunun daha düşük bir L* değerine sahip olduğu bu eğilime uyum göstermemiş olup bu fark pişirmede ortaya çıkan ön görülmemiş bir parametreden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Köfte gruplarının b* değerlerinde ortaya çıkan değişiklik de FB ilavesinden etkilenmiş olup FB eklenmesi ile köftelerin rengi kontrol grubuna göre daha sarı bir hale gelmiştir. Sarıya dönüşme ancak sadece FB'nin ilavesinde ortaya çıkmış ve FB oranının artması ile önemli bir şekilde değişmemiştir ($p = 0.123$). Köfte gruplarının ΔE değerlerinde ise anlamlı bir değişim ortaya çıkmıştır. Kontrol ve M2 gruplarında standart beyaz levhaya göre daha büyük bir fark görülmüş iken M1 ve M3 gruplarında daha küçük bir fark söz konusudur. M1 ve M3 gruplarındaki daha düşük ΔE değeri L* değerinde gözlemlenen, FB'den kaynaklanan daha açık renkten kaynaklanmaktadır. M2 grubunda kontrol grubuna benzer bir ΔE değerinin gözlemlenmesinin nedeni ise istatistiksel olarak önemli olmayan b* ve a* değerlerindeki yükselişler ve L* değerindeki azalış olarak düşünülmektedir.

Sonuç olarak FB ilavesi köftelerin renginin daha beyaz ve sarı bir hale dönüşmesine neden olmuştur. Bu ise beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir çünkü eklenen FB'nin rengine yüksek miktarda benzer bir değişiklik görülmüştür. FB Şekil 4.2.a'da gösterildiği gibi yoğun sarımsı bir beyaz rengine sahiptir. Şekil 4.4'te gösterilen köfte örneklerinde gruplar arasındaki fark ve renk dönüşümü rahatlıkla görülebilmektedir.

Ibrahim ve Huda-Faujan (2024) tarafından yapılan çalışmada ise L^* değeri bu tez çalışmasına benzer bir şekilde artış gösterir iken a^* ve b^* değerlerinde azalışlar gözlemlenmiştir. Buna göre bu çalışmada ilave edilen mantar meyve gövdeleri tavuk köftelerinin kontrol grubuna göre daha mavi ve yeşil bir renk kazanmasına yol açmıştır. Ayrıca, Rosli vd. (2011) çalışmasında L^* değerinde a^* ve b^* değerleri ile beraber azalışlar gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların nedeni ise kullanılan mantar meyve gövdesinin rengine bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında üretilen ve köftelere ilave edilen FB sarımsı beyaz bir renge sahipken bu iki çalışmada mantar meyve gövdesi kullanılmış olup bunların arasında renk farklılıklarından dolayı köftelerde farklı renk değişimleri söz olmuştur.

Ayrıca köfte gruplarının karşılaştırılması için hesaplanan ΔE değerleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Bu çizelgede köfte grupları ikişer ikişer şekilde birbirleri ile karşılaştırılmış olup ΔE değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde ΔE değeri ile kıyaslanması¹

Köfte grupları	ΔE değeri
C - M1	$3.39^b \pm 1.42$
C - M2	$3.04^{bc} \pm 1.04$
C - M3	$4.64^a \pm 1.68$
M1 - M2	$2.32^c \pm 0.97$
M1 - M3	$2.70^{bc} \pm 1.60$
M2 - M3	$3.52^b \pm 1.80$

¹ Hesaplanan ΔE değerleri grupların renk analizinden elde edilmiş a^* , b^* ve L^* değerleri üzerinden hesaplanmış olup ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Burada gruplar arasında Kruskal-Wallis analizine göre istatistiksel olarak farkların ortaya çıktığı görülmektedir ($p < 0.001$). M1-M2 ve M1-M3, C-M2 ve C-M1, C-M2 ve M2-M3, C-M1 ve M2-M3 grupların arasında benzerlik tespit edilmiş ve bunun için hesaplanan p değerleri ise 1'dir. M1-M3 ve C-M2 grupların arasındaki benzerlik oranı ise 0.540 seviyesindedir. M1-M2 ve C-M2, M1-M3 ve C-M1, M1-M3 ve M2-M3 karşılaştırmaları için p değerleri sırası ile 0.003, 0.011 ve 0.009 olarak hesaplanmıştır.

Diğer karşılaştırma grupları ise $p < 0.001$ seviyesinde birbirinden farklı bulunmuştur. Bu bilgilere göre M3 ile kontrol grubu arasında ortaya çıkan fark en büyük fark olarak belirlenmiştir. Bu beklenen bir sonuç olup FB'nin sarımsı beyaz renginden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dikkat çeken başka bir nokta M2 grubunun karşılaştırmalarda daha az renk farkına neden olmasıdır. Sonuçlarda görüldüğü gibi kontrol grubu ile M2 arasındaki fark kontrol grubu ile M1 grubu arasındaki farktan daha düşük olarak belirlenmiştir. Ayrıca, M1-M3 arasındaki fark M1-M2 arasındaki farktan daha düşük olarak bulunmuştur. Ancak bunların arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu bilgilere göre FB'nin ilavesi ile köfte gruplarının reğinde önemli ölçüde farkların ortaya çıktığı tespit edilmiş olup FB oranının artması ile de renk değişimi devam etmiştir. Ancak %20'lik FB ilavesi %10 ve %30 FB içeren gruplara kadar renk farkına neden olmamış olduğu da anlaşılmaktadır.



C



M1



M2



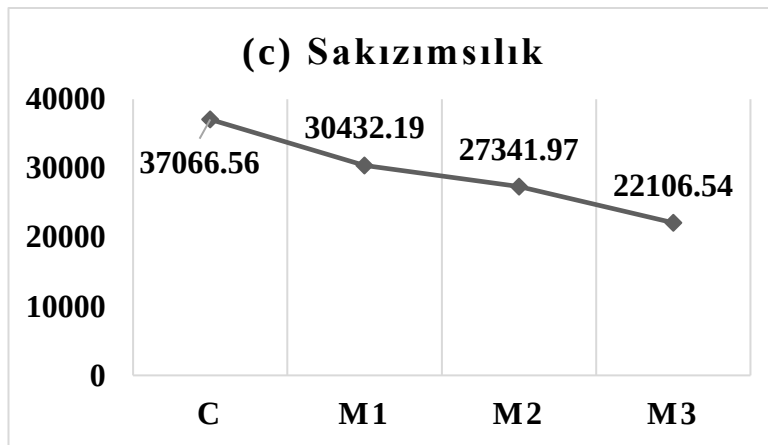
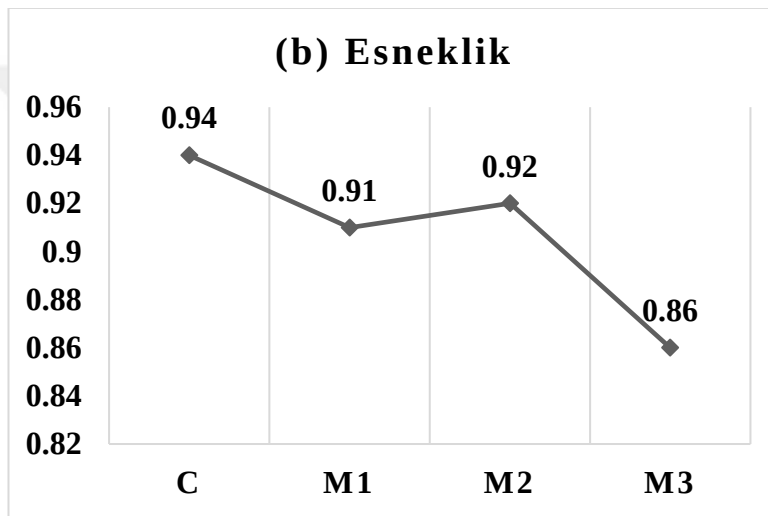
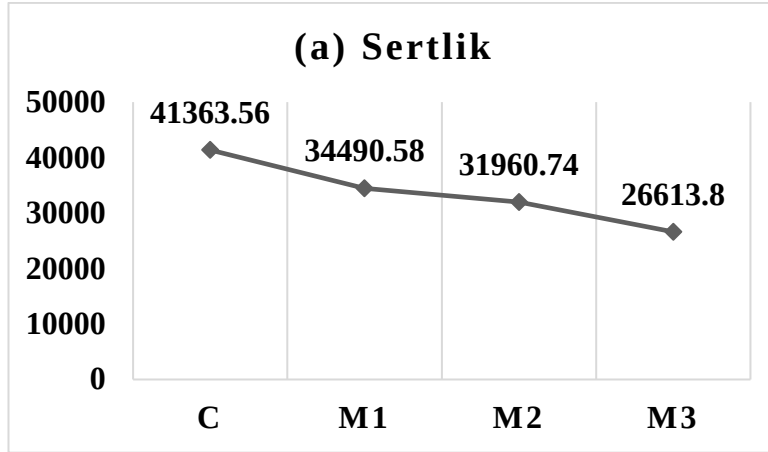
M3

Şekil 4.4. Pişirme işleminden sonrasında köfteler

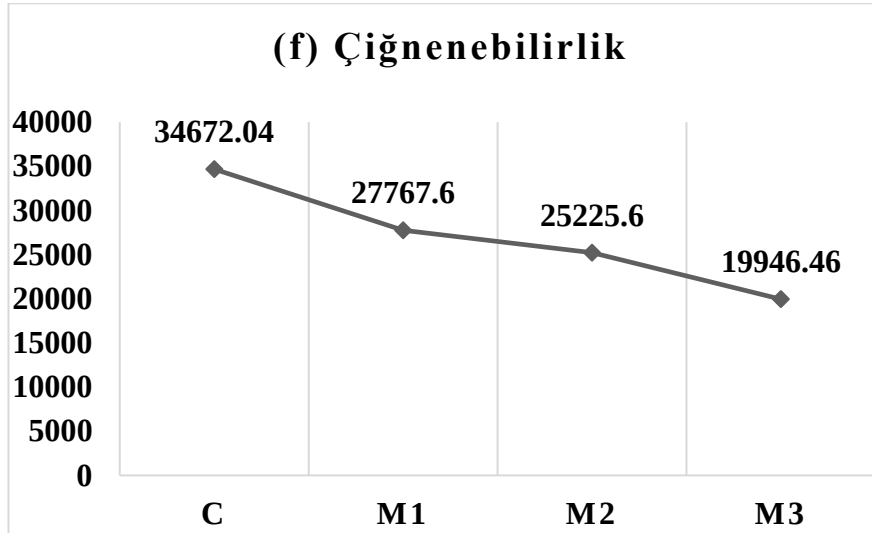
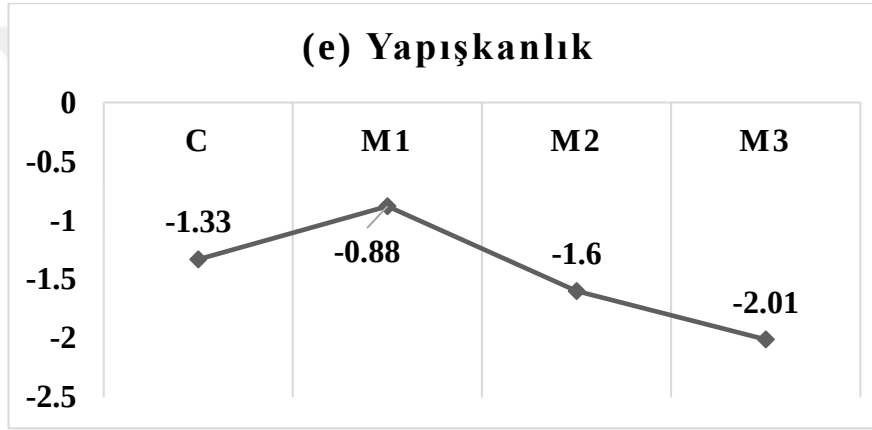
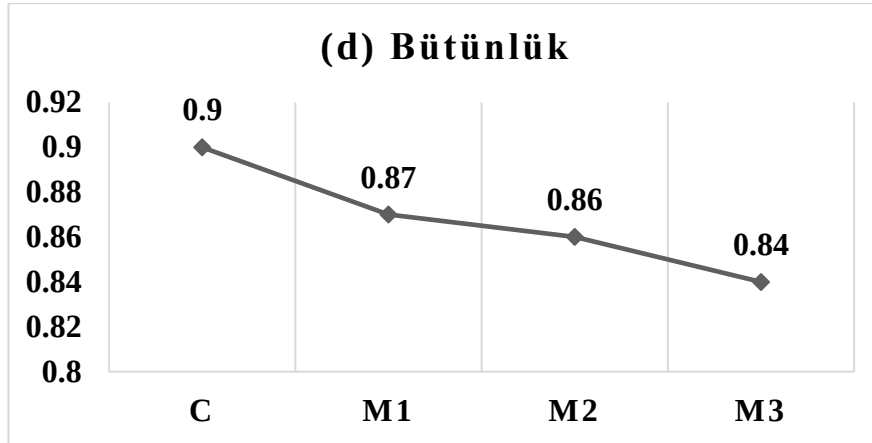
C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

4.3.5. Köftelerin tekstür özellikleri

Tavuk köftelerine tekstür profil analizi uygulanmıştır. Bu analizin sonuçları Ek.2’de mevcut olan Çizelgede gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.5’te tekstür özelliklerinin grupları arasındaki değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Değerler her gruptan 5 farklı örnek ile yapılmış ölçümlerin ortalama $\pm$ standart sapması olarak gösterilmiştir. Şekil 4.6’da ise kontrol ve M3 gruplarına ait iki örnek TPA grafiği gösterilmiştir.

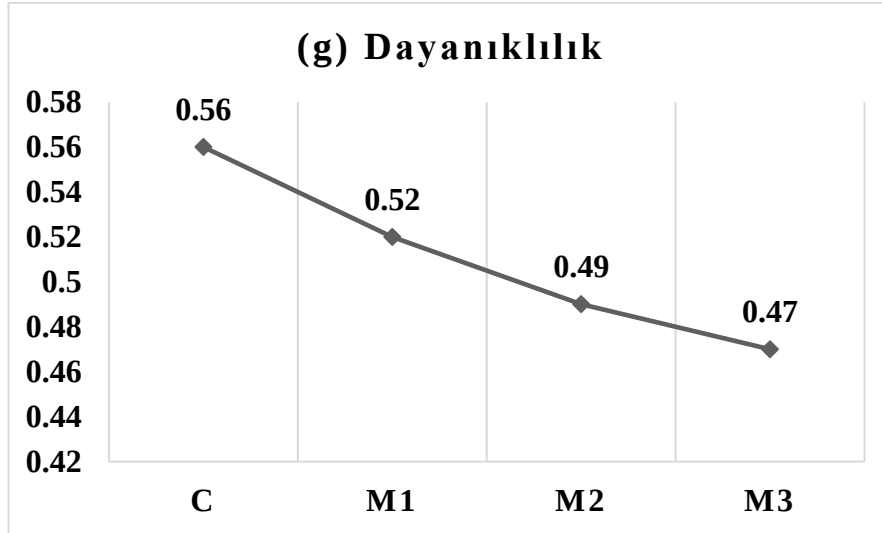


Şekil 4.5. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde tekstür özellikleri; a) Sertlik; b) Esneklik; c) Sakızımsılık (devamı bir sonraki sayfadadır)
 C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte



Şekil 4.5 (devamı). Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde tekstür özellikleri; d) Sertlik; e) Esneklik; f) Sakızımsılık (devamı bir sonraki sayfadır)

C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte



Şekil 4.5 (devamı). Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde tekstür özellikleri; g) Dayanıklılık
C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Tekstür özelliklerinin istatistiksel analizi ANOVA ortalama analiz yöntemi ile yapılmış olup gruplar arasındaki farkların analizi Duncan metodunun kullanılması ile yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçlarına göre 7 farklı tekstür özelliği arasından 5 özellikte köfte gruplarının arasındaki farklar tespit edilmiştir. Yapışkanlık ve esneklik özelliklerinde, sırası ile $p = 0.474$ ve 0.192 değerleri ile, gruplar arasında önemli düzeyde (0.05) fark görülmemiştir. Öte yandan diğer özelliklerde, sertlik ($p = 0.001$), bütünlük ($p < 0.001$), sakızımsılık ($p < 0.001$), çiğnenebilirlik ($p < 0.001$) ve dayanıklılık ($p < 0.001$) grupları arasında fark olduğu tespit edilmiştir.

Duncan testine göre sertlik özelliğinde FB'nin artması ile Şekil 4.5.a'da ve Ek.2'de mevcut olan çizelgede görüldüğü gibi azalış gözlemlenmiştir. Burada kontrol ve M1 grubu arasındaki farksızlığın p değeri ise 0.065 ; bu ise iki grubun benzerliğinin çok düşük bir seviyede (%6.5 benzerlik) olduğu göstermektedir. Dolayısı ile FB'nin %10'luk ilavesi ile bile köftelerde sertlik açısından anlamlı bir farkın ortaya çıktığı söylenebilir.

Yapışkanlık ve esneklik özelliklerinde gruplar arasındaki benzerlik sırası ile 0.153 ve 0.062 olarak tespit edilmiştir. Buna göre yapışkanlık açısından gruplar arasında önemli bir farkın olmadığı söylenebilir iken esneklik açısından, daha büyük güven aralıklarında, anlamlı farkların olabileceği söylenebilir. Burada ortalama değerlerine göre M3 grubunun diğer gruplardan daha düşük bir esneklik özelliğine sahip olması söz konusu olabilir.

Bütünlük ve sakızımsılık özellikleri açısından grupların arasında önemli farkların olduğu tespit edilmiş olup kontrol grubu hiçbir benzerlik söz konusu olmadan diğer gruplardan farklı iken FB'nin eklenmesi ve aynı şekilde artması ile köftelerin bütünlüğü ve sakızımsılık değerleri azalmıştır.

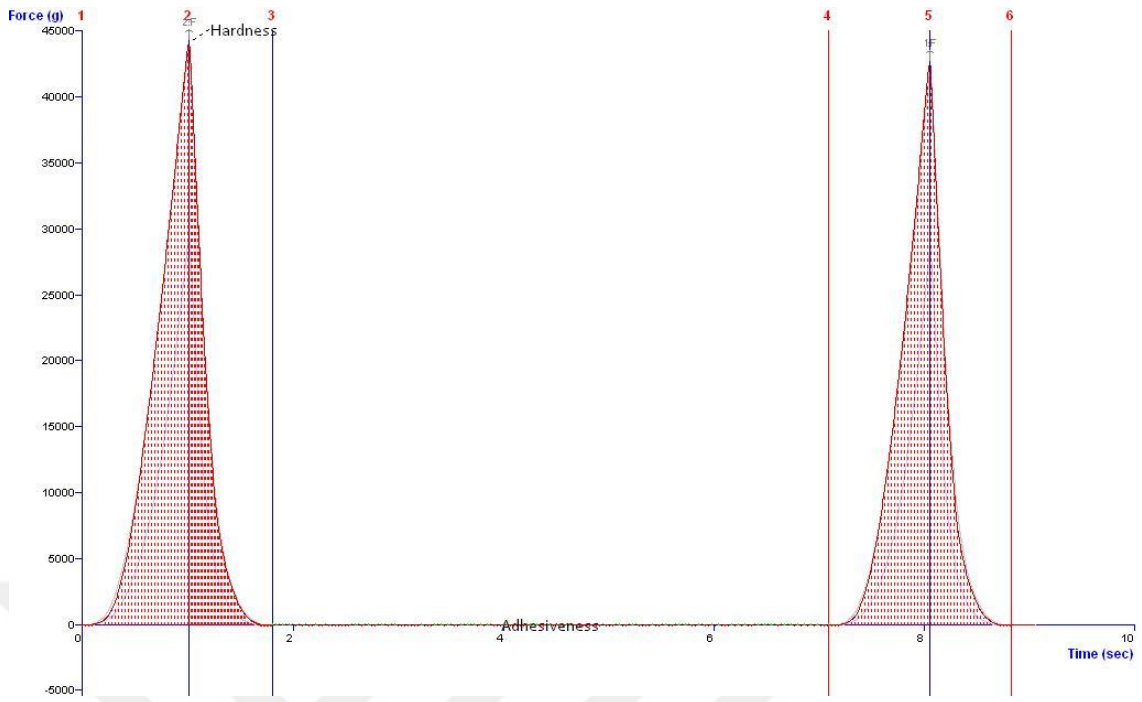
Köftelerin çiğnenebilirlik özelliği açısından grupların arasında önemli farkların olduğu tespit edilmiştir. FB ikame oranının artışına bağlı olarak çiğnenebilirlik özelliğinde azalma olmuştur. Gruplar arasında en düşük çiğnenebilirlik değerinin M3 grubuna ait olduğu görülmüştür. Ancak, grupların benzerlik değerine bakıldığında (Duncan önem seviyesi değeri) kontrol ve M1 grubunun p değeri 0.051 olarak bulunmuştur. Bu düşük benzerlik oranı bu iki grup arasında da önemli bir farkın olabileceğini ve %10'luk FB ilavesinin çiğnenebilirlik değerinde değişikliğe neden olabileceğini önerebilmektedir.

Çiğnenebilirlik özelliğinde görülen desen dayanıklılık özelliğinde de geçerli olup aynı şekilde grupların arasında farklar var iken kontrol ve M1 grupların arasındaki benzerliğin düşük olduğundan ($p = 0.052$) dolayı bu grupların farklı olabileceği göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

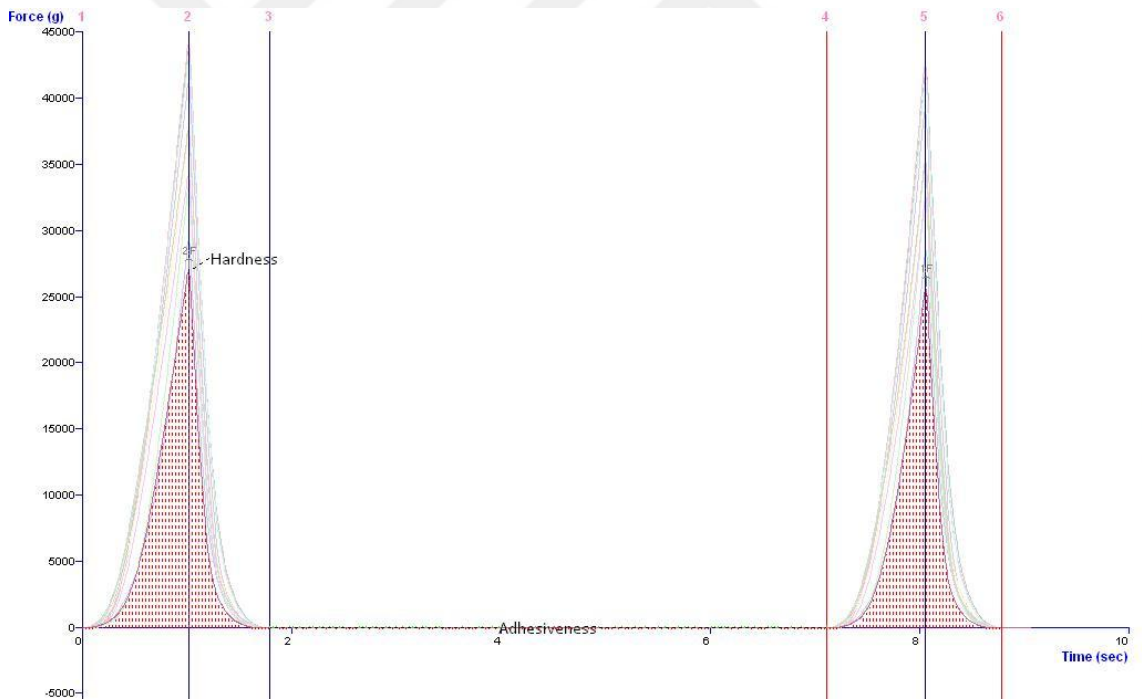
Bütün bu gruplar arasındaki farkların nedeni ise FB'nin daha yumuşak bir yapıya ve yüksek su içeriğine sahip olması olarak düşünülebilir. FB köftelere ilave edildiğinde köfte yapısının daha yumuşak ve dağınık bir hale gelmesine neden olup daha rahat çiğnenebilmesini sağlamaktadır.

Rosli vd. (2011) çalışmasında yapılan TPA sonuçları bu çalışmadan ortaya çıkan sonuçlar ile uyumlu olarak görülmektedir. Buna göre mantar meyve gövdesi veya FB fark etmeksizin *Pleurotus* fungusunun tavuk köftelerine ilavesi benzer sonuçların ortaya çıkmasına yol açabilir. Böylelikle, *Pleurotus* fungusunun tavuk köftelerine ilavesi tekstür profil analizinin sertlik, bütünlük, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik özelliklerinde azalışa neden olabilmektedir. Ancak, Ibrahim ve Huda-Faujan (2024) tarafından yapılan çalışmada bütün bu özelliklerde azalış görülmekle beraber istatistiksel olarak bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise Ibrahim ve Huda-Faujan (2024) çalışmasında, bu tez çalışmasındaki FB oranlarına yakın oranlarda mantar sapı ilave edilmiş iken sapın daha düşük su içeriğinden dolayı köfte formülasyonuna giren su miktarı daha az olup sonuç olarak daha az tekstürel değişikliğe neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi *Pleurotus* ikameli üretilen köftelerin tekstür profili kontrol amaçlı üretilen tavuk köftelerinden farklıdır. Sertlik değerlerinde (ilk sıkıştırma için gereken güç) fark görülmekte ancak yapışkanlık değerleri arasında fark gözlemlenmemektedir. Ayrıca, Şekil 4.5.d'de ve Ek.2'de mevcut olan çizelgede de görüldüğü gibi yapışkanlık değerleri oldukça düşüktür.



(a)

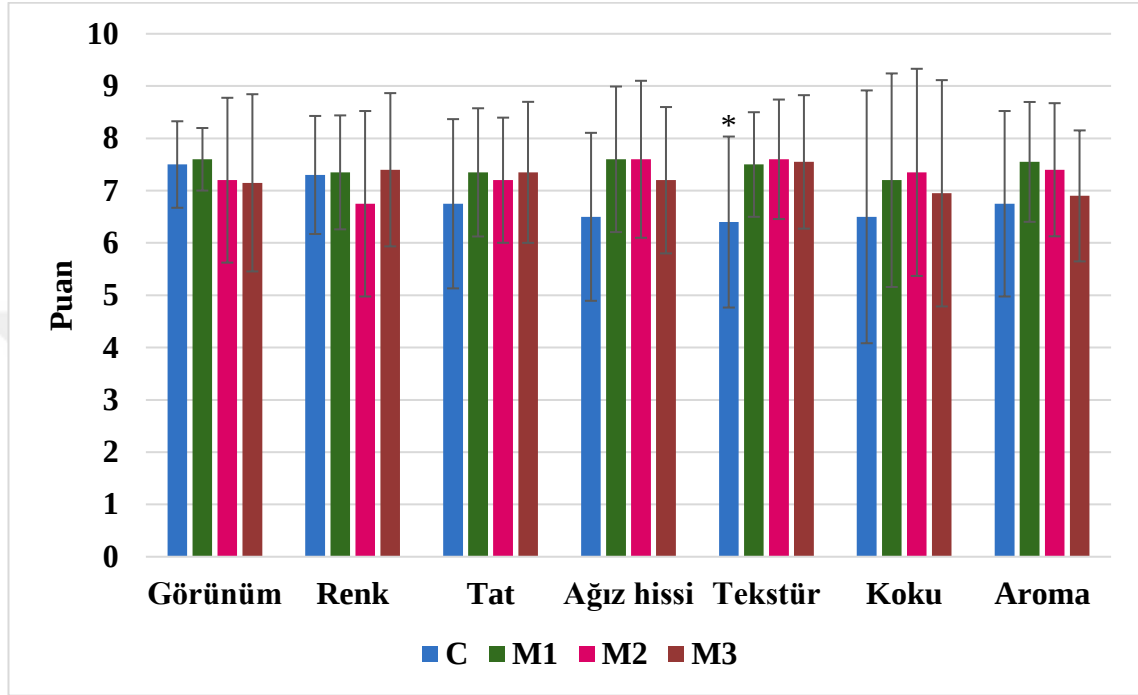


(b)

Şekil 4.6. Kontrol ve M3 gruplarına ait TPA grafikleri; a) Kontrol köfteden elde edilen TPA grafiği; b) %30 fungal biyokütle içeren köfte ile elde edilen TPA grafiği

4.3.6. Köftelerin duyuşal özellikleri

Köfte grupları için gerçekleştirilen duyuşal analizinin sonuçları Şekil 4.7’de sunulmuştur. Ayrıca, Ek.4’te mevcut olan çizelgede bu sonuçlar sayısal olarak gösterilmiştir. Burada köfte gruplarının 7 farklı duyuşal özelliğı panelistler tarafından incelenmiştir.



Şekil 4.7. Duyuşal analiz sonuçları¹

* ile işaretlenen sütun diğer sütunlardan anlamlı şekilde ($p < 0.05$) farklıdır.

¹ Değerler her grup ve her duyuşal özellik için 10 panelistten alınan puanların ortalama $\pm$ standart sapması olarak gösterilmiştir. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Duyuşal analiz sonuçlarına göre gruplar arasındaki farklar yapısal ve tekstürel özellikler ile ilgili olduğu görülmüştür. ANOVA ortalama testine göre köfte grupları arasında renk, tat, koku ve aroma kategorilerinde bir fark görülmemiş olup p değerleri sırası ile 0.423, 0.458, 0.621 ve 0.208 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre renk analizleriyle ortaya çıkan farklılıkların (köftelerin daha beyaz ve sarı bir renk kazanması) duyuşal olarak panelistler tarafından algılanmadığı ve farklı oranda FB ikamesi içeren köftelerin aynı renk algısına neden olduğu görülmüştür. Benzer şekilde FB ikamesinin artmasıyla tat, koku ve aroma özelliklerinde panelistler tarafından farklı algı oluşmadığı belirlenmiştir. Özetle, FB ikamesi sayılan duyuşal özellikler bakımından fark oluşturmamıştır.

Görünüm değerleri homojen varyans testine tabi tutulduğunda ortalamaya göre homojen varyansa sahip olmadığı bulunmuştur ($p = 0.044$). Bu kategorideki değerler

parametrik olmayan ANOVA testinin eş değeri, Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiştir. Hem ANOVA hem de Kruskal-Wallis testlerinin sonuçlarına göre görünüm özelliğinde de yukarıda söz edilen özellikler gibi gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı söz konusudur (ANOVA $p = 0.609$, Kruskal-Wallis $p = 0.456$). Buna göre yeniden renk farkının tüketici tarafından algılanmadığı ve FB ilavesi ile köftelerin görünümünde panelistler tarafından algılanabilecek herhangi olumsuz veya olumlu bir değişikliğin ortaya çıkmadığı anlaşılmaktadır.

Öte yandan FB ilavesi ile köftelerin tekstür özelliğinde panelistler tarafından değişikliklerin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Gruplar arasında FB içeren gruplar tekstür açısından kontrol grubuna göre daha fazla beğenilmişken FB'nin farklı oranları beğeni seviyesinde istatistiksel olarak önemli bir değişiklik yaratmamıştır. M1, M2 ve M3 grupları arasındaki benzerlik seviyesi Duncan metoduna göre 0.819 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ile tekstür profil analizinin sonuçları göz önünde bulundurulduğunda sertlik, bütünlük, sakızimsılık, çiğnenebilirlik ve dayanıklılık kategorilerindeki ortaya çıkan farklar duyuşsal olarak da onaylanmış olup olumlu değişikler olduğu anlaşılmaktadır. Köftelerin FB ilavesiyle yumuşaması, kolay dağılması, sakızimsılık özelliğinin azalması ve daha rahat çiğnenebilir olması tüketiciler tarafından olumlu değerlendirilerek köftelerin daha fazla beğenilmesini sağlamıştır. Kısaca, FB ikameli tavuk köfteleri daha yükek beğeni görmüştür.

Ağız hissi açısından gruplar arasında ANOVA analizi ve Tukey çoklu karşılaştırma testine göre bir fark görülmemiştir. ANOVA testinde p değeri 0.068 ve Tukey benzerlik seviyesi 0.095 olarak bulunmuştur. Ancak, ANOVA ve Tukey testlerindeki p değerinin 0.05 güven payına yakın olması ve Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bazı gruplar arasında farkların mevcut olmasından dolayı popülasyon seviyesinde daha büyük bir güven payında gruplar arasında farkların ortaya çıkabileceğine dair kuşkulara yol açmaktadır. Duncan testi sonuçlarına göre ağız hissi C ve M3 gruplar arasında panelistler tarafından daha düşük bir puan almış iken M1 ve M2 grupları daha fazla beğenilmiştir. C ve M3 benzerlik değeri 0.138, M1 ve M2 için bu değer 0.425 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, ağız hissi özelliğinin tekstür özelliğinden etkilenen bir parametre olduğu düşünüldüğünde bu farkın tekstürle ilintili değerlendirilmesi anlamlı olacaktır.

Sonuç olarak duyuşsal anlamda görünüm, renk, tat, koku ve aroma özelliklerinin FB ikamesi arttıkça köfte grupları arasında fark olmadığı ortaya konmuştur. Tekstür özelliğinde ise panelistlere göre FB'nin ilavesi olumlu bir değişim yaratmış ancak ikame oranının artmasına bağlı fark tespit edilmemiştir.

Ayrıca, tavuk köftelerine verilen toplam puanların ortalaması Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Burada gruplar arasında puan ortalaması açısından nasıl farkların olduğu ve hangi grupların daha fazla beğenildiği gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde aldığı puanların ortalaması¹

Köfte grupları	Puan
C	6.81 ^b ± 0.42
M1	7.45 ^a ± 0.15
M2	7.30 ^a ± 0.29
M3	7.21 ^a ± 0.24

¹ Farklı harflerle işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Bu değerlere uygulanan ANOVA analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testinin sonuçlarına göre kontrol grubu istatistiksel olarak önemli seviyede ($p = 0.003$) diğer gruplardan farklı bulunmuştur. Burada en fazla puanı almış grup M1 ve sonrasında sırası ile M2 ve M3 grupları en yüksek puanları almıştır. Ancak, FB içeren grupların arasındaki farkın önemli olmadığı belirlenerek benzerlik seviyesi Duncan testine göre 0.169 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre FB içeren köfte gruplarının genel olarak kontrol grubundan daha fazla beğenildiği ve tercih edildiği anlaşılmaktadır.

Rosli vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada elde edilen duyusal analiz sonuçlarına göre %25 ve % 50 seviyesinde ilave edilen (şapka/sap formunda) mantar duyusal özelliklerde önemli değişikliğe neden olmamıştır. Bu çalışmada tez çalışmasında ele alınan tat, renk ve aroma parametrelerinin yanı sıra esneklik ve sululuk parametreleri de araştırılmıştır. Ortak parametreler üzerinden yürütülen değerlendirmelerin benzerlik gösterdiği belirtilebilir.

4.4.Tavuk Köftelerinin Depolaması

Tavuk köftelerinin 2 hafta boyunca 3 farklı analiz metoduna tabi tutulup değişiklikleri değerlendirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda ortaya çıkan veriler ile köftelerin depolama stabilitesi araştırılmıştır. Köftelere FB ikame oranının artmasına bağlı olarak pH, malondialdehit içeriği ve mikrobiyal yük üzerindeki etkiler incelenmiştir.

4.4.1. Köftelerde pH Değişimi

Köfte örneklerindeki depolama sürecindeki pH değişimi Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. Çizelgede her köfte grubu için 12 tekrarlı okumaların aritmetik ortalaması ± standart sapma olarak verilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.8’de örneklerdeki pH değişimi grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama süresindeki pH değişimi^{1, 2}

Örnek kodları	1. Gün	4. Gün	7. Gün	10. Gün	14. Gün
C	6.27 ^A ± 0.06	6.22 ^{bB} ± 0.04	6.22 ^{bB} ± 0.04	6.29 ^{aA} ± 0.04	6.26 ^{AB} ± 0.04
M1	6.34 ^A ± 0.05	6.21 ^{bC} ± 0.04	6.30 ^{aB} ± 0.05	6.31 ^{aAB} ± 0.05	6.28 ^B ± 0.02
M2	6.35 ^A ± 0.09	6.24 ^{bB} ± 0.03	6.25 ^{bB} ± 0.05	6.24 ^{bB} ± 0.05	6.27 ^{AB} ± 0.09
M3	6.28 ^{AB} ± 0.10	6.27 ^{aB} ± 0.05	6.23 ^{bB} ± 0.04	6.32 ^{aA} ± 0.04	6.27 ^B ± 0.02

¹ Farklı küçük harflerle işaretlenmiş örnek grupların (aynı sütundaki) ve büyük harfler ile işaretlenmiş günlerin (aynı satırdaki) ortalamaları istatistiksel olarak önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

² Değerler her gruptan 2 tekerrür ve 2 paralelin 3 farklı ölçümün (toplam 12) ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir.

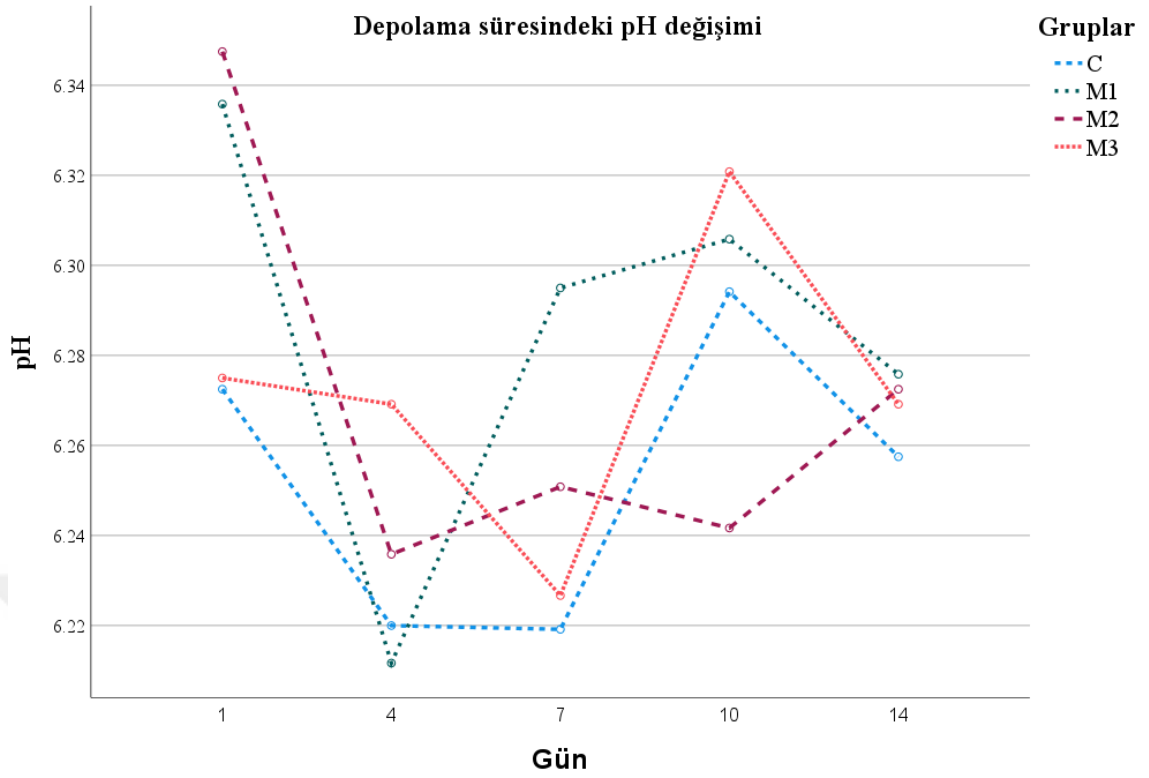
Grupların homojen varyans durumuna göre ANOVA veya Kruskal-Wallis analizleri yapılmıştır. Burada, 4. 7. ve 10. günlerin verileri ANOVA ile, 1. ve 14. günlerin verileri ise Kruskal-Wallis metodu ile değerlendirilmiştir. Depolama başında gruplar arasında anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir ($p = 0.057$). Depolamanın 4. gününde gruplarda arasında pH düşüşü gözlemlenmiş, kontrol, M1 ve M2 gruplarının pH değerleri birbirine yakın bulunmuştur ($p = 0.163$). M3 grubu ise daha yüksek bir pH değeri almıştır ($p = 0.005$). Sonraki depolama gününde (7. gün) M1 grubu aynı izlenim geçirmiştir ($p < 0.001$). M1 grubu en yüksek pH değerine sahip iken diğer gruplardan farklılaşmış ve diğer gruplar arasında bir farkın olmadığı görülmektedir ($p = 0.113$). Depolamanın 10. gününde ise M2 grubu daha düşük bir pH değeri ile diğer gruplardan farklı iken diğer gruplar arasında önemli bir fark ortaya çıkmamıştır ($p < 0.001$). Son depolama gününde (14. gün) ise Kruskal-Wallis testine göre gruplar arasında önemli bir farkın olmadığı görülmektedir ($p = 0.707$).

Kontrol grubunda depolama süresince pH değeri ilk olarak bir düşüş daha sonra ise artış göstermiş olup bu farklar ANOVA testine göre önemlidir ($p < 0.001$). Günler arasında Duncan çoklu karşılaştırma yöntemine göre 1., 10. ve 14. günde ölçülen pH değeri birbirine istatistiksel olarak benzerken 4. ve 7. günler ile farklılardır. M1 grubunda en yüksek pH değeri 1. günde görülmüş olup daha sonra bu değer azalır iken en düşük seviye 4. günde bulunmuştur. Daha sonraki günlerde önemli bir değişikliğin söz konusu olmadığı söylenebilmektedir. Grubun içindeki farklılıkların p değeri ise ANOVA testine göre < 0.001 olarak tespit edilmiştir. M2 grubunda homojen olmayan varyanslardan dolayı Kruskal-Wallis testi yapılmış olup günler arasında farkların olduğu tespit edilmiştir ($p = 0.006$). Burada kontrol grubuna benzer bir şekilde 1. ve 14. günlerin pH değerleri daha yüksek ve birbirine yakın iken ($p = 0.093$) diğer günlerde pH değeri daha

düşük bulunmuştur. M3 grubu örneklerinde dalgalı bir trend görülmekte olup farkların istatistiksel olarak önemli olması Kruskal-Wallis yöntemi ile tespit edilmiştir ($p = 0.003$). Burada pH değeri ilk günde en yüksek iken daha sonra azalmalar gerçekleşmiştir. Depolamanın 10. gününde birden bir artış söz konusu olup son depolama gününde yine 4. ve 7. günlerdeki değerler seviyesine bir düşüş izlenmektedir.

Genel lineer model yöntemi uygulanarak grupların ve günlerin pH değişimlerin üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mauchly küresellik testine göre küreselliği sağlamayan pH verileri için Greenhouse-Geisser düzeltme faktörü ile hesaplanan etki kat sayısı ele alınmış olup bu değer grup için 0.017, gün için < 0.001 ve gün*grup için < 0.001 olarak tespit edilmiştir. Buna göre köftelerdeki pH değişimi hem gün ve hem grup faktörlerinden etkilenmekte olup pH üzerindeki günün etkisi ayrıca köfte gruplarından da etkilenmektedir.

Öte yandan pH analizinin sonuçlarına bakıldığında minimum değer 6.21, maksimum değer ise 6.35'tir. Bu sonuçlara göre köfte grupları arasında ve günler boyunca istatistiksel olarak farklar ortaya çıkmış olsa da gıda bilimi açısından önemli farkların ortaya çıkmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla FB ilavesinin ve ikame oranının artmasıyla köfte gruplarının pH değerlerinde önemli bir fark ortaya çıkmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, bu tez çalışmasında elde edilen pH değerlerinin yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında sonuçlarının benzer aralıkta olduğu görülmüştür. Kumar vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada vakum ambalajlanmış ve farklı bitkisel katkı maddeleri içeren tavuk köftelerinin soğuk ($+4^{\circ}\text{C}$) depolaması araştırılmıştır. Burada depolamanın 14. gününe kadar kontrol grubunda ortaya çıkan değerler 6.20 ve 6.21'dir. Bu değer bu tez çalışmasında ortaya çıkan değerler ile yakın olup sonuçların uyumlu olduğu düşünülmektedir. Jamwal vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada farklı bitkisel ekstraktlerinin tavuk köftelerine ilave edilmesi ve depolamada ortaya çıkan değişimler incelenmiştir. Burada kontrol grubunda ortaya çıkan pH değerleri 14. güne kadar 6.01'den 6.49'a ulaşmaktadır. Bu rakamlar da bu tez çalışmasında elde edilen değerler ile uyumludur. Nardoia vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ise farklı katkı maddeleri içeren tavuk köftelerinin depolamadaki değişimleri incelenmiştir. Burada ise ortaya çıkan pH değerleri günler boyunca (9 gün) azalış göstermiş olup 6.14 ve 6.06 arasında değişmiştir. Bütün bu çalışmalarda da bu tez çalışmasına benzer bir şekilde depolama boyunca pH değişimleri kontrol grubunda istatistiksel olarak farklı bulunmuş olsa da büyük farkların ortaya çıkmadığından dolayı gıda bilimi açısından sonuçlarda önemli farklar olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 4.8. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama günlerindeki pH değişimi

C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

4.4.2. Köftelerde Oksidasyon Analizi

Köfte gruplarındaki lipid oksidasyonu seviyesi ve depolama süresi boyunca değişimi TBARS analizi ile izlenmiştir. Bu analizde köftelerdeki malondialdehit miktarındaki değişim tespit edilmiş olup Çizelge 4.13'te gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.9'da gruplar arasında depolama boyunca malondialdehit miktarının (mg/kg ürün) değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama sürecinde lipid peroksidasyonu^{1, 2}

Örnek kodları	1. Gün	4. Gün	7. Gün	10. Gün	14. Gün
C	2.41 ^{aC} ± 0.51	3.60 ^{aB} ± 0.33	3.58 ^{aB} ± 0.61	4.75 ^{aA} ± 0.32	3.97 ^{aBA} ± 0.87
M1	1.72 ^{bC} ± 0.25	2.32 ^{bCB} ± 0.38	2.73 ^{bB} ± 0.55	3.71 ^{bA} ± 0.25	2.45 ^{abB} ± 0.38
M2	1.53 ^{bB} ± 0.29	1.65 ^{cB} ± 0.19	2.08 ^{bcA} ± 0.27	2.40 ^{cA} ± 0.22	1.68 ^{bcB} ± 0.07
M3	1.81 ^{abA} ± 0.46	1.17 ^{cB} ± 0.36	1.73 ^{cA} ± 0.28	2.04 ^{cA} ± 0.26	1.02 ^{cB} ± 0.10

¹ Sütunlarda farklı küçük harfler ile işaretlenmiş gruplar ve satırlarda farklı büyük harfler ile işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

² Değerler her gruptan 2 tekrerr ve 2 paralel ölçümün ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir. Malondialdehit miktarı mg/kg ürün olarak hesaplanıp gösterilmiştir.

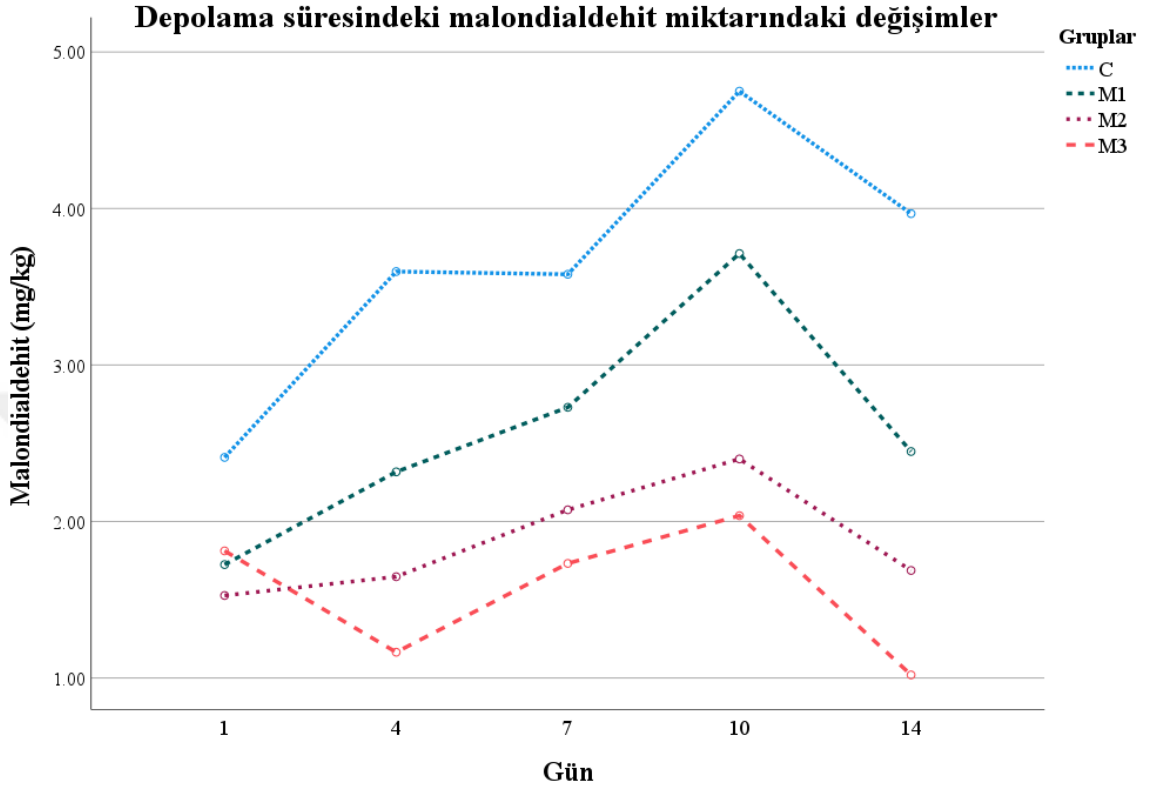
Depolamanın 1. gününde gruplar arasında ANOVA testine göre anlamlı farkların ortaya çıktığı görülmekte olup ($p = 0.040$) FB miktarı %20'ye arttıkça oksidasyonun azaldığı görülmektedir. Ancak, M3 grubunda oksidasyonda artış bulunmuş olup bu değer hem M1 ve M2 gruplarındaki değerlere benzerlik göstermiş ($p = 0.346$) hem kontrol grubunun değerleri ile benzer olmuştur ($p = 0.052$). M3 ile kontrol grubu değerlerde benzerliğin p değerinin düşük olduğuna bakıldığında ise ilişkinin zayıf olduğu anlaşılabilmektedir. Depolamanın 4., 7., 10. ve 14. gününde ortaya çıkan değerlere bakıldığında ise yine FB oranının artması ile oksidasyonda azalışlar görülüp bu değişiklikler istatistiksel olarak önemli olarak değerlendirilmiştir. Depolamanın 4., 7. ve 10. günleri için $p < 0.001$, 14. gün için ise Kruskal-Wallis testi yapılmış ve p değeri 0.003 olarak tespit edilmiştir. Ancak, bu günlerde %30 FB içeren M3 grubunda oksidasyon M2 grubuna göre azalmış olarak görülse de bu iki grubun arasında önemli seviyede fark görülmemiştir (4. gün için $p = 0.079$, 7. gün için $p = 0.308$, 10. gün için $p = 0.078$, 14. gün için $p = 0.072$). Bu sonuçlara göre FB ilavesi %20 oranına kadar oksidasyonun azalmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, %20'den daha fazla FB ilavesi oksidasyonda istatistiksel olarak önemli bir değişiklik ile sonuçlanmadığı da tespit edilmiştir. Bununla beraber, depolamanın 4., 10. ve 14. günleri için M3 ile M2 grupların arasındaki benzerliğin p değerinin büyük olmaması da görülmektedir. Bununla beraber popülasyon seviyesinde bunların arasında farkların olabileceği ve %20'den daha fazla FB ilavesinin oksidasyonun azalmasına yol açabileceğinin olası bir durum olması göz önünde bulundurulmalıdır.

Kontrol grubunun depolama sürecinde 1. ve 4. günler arasında oksidasyonda artış görülür iken 4. ve 7. günler arasında durgunluk izlenmiştir. Depolamanın 10. gününde ise önceki günlere göre bir artış görülüp 14. gününde yeniden bir azalış tespit edilmiştir. Kontrol grubu verileri Kruskal-Wallis testine tabi tutulup tespit edilen p değeri ise 0.009 olarak bulunmuştur. M1 grubunda kontrol grubuna benzer bir trend görülmüştür. Tespit edilen farkın p değeri ise ANOVA testine göre < 0.001 olarak bulunmuştur. M1 grubunda 1. ve 4. günler arasındaki benzerliğin ise 0.055 seviyesinde olması zayıf bir benzerlik olup bu 2 gün arasında anlamlı bir azalışın söz konusu olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. M2 grubunda gruplar arasında fark görülmüştür ($p < 0.001$). 1. ve 4. depolama günlerinde bu değer sabit kalarak ($p = 0.348$) 7. günde bir artış ortaya çıkmış ve 10. günde 7. güne göre sabit kalmıştır ($p = 0.055$). Ancak, görüldüğü gibi bu benzerliğin p değeri düşük olup 0.05 değerine çok yakındır. Buna göre bu iki günün arasında anlamlı farkların ortaya çıkabileceği de düşünülmektedir. İlk iki depolama gününde M3 grubunda azalış görülmüş, daha sonra 7. ve 10. günlerinde oksidasyon artmıştır ($p = 0.001$). Ancak, 7. ve 10. günlerindeki değerler 1. depolama gününde ölçülen oksidasyon miktarı ile istatistiksel olarak aynı önem seviyesinde yer aldıkları da görülmektedir ($p = 0.215$). Daha sonra 14. günde yine oksidasyon miktarında azalışlar söz konusudur.

Genel lineer model analizi uygulandığında köftelerdeki oksidasyon miktarları hem günlerin hem de grupların etkisi ile değişmekte olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$). Ayrıca, her iki faktörün oksidasyonu etkilemesi de birbirinden etkilenmektedir (gün-grup için $p < 0.001$).

Ortaya çıkan grupların arasındaki değişikliklerden FB ilavesi ve %20'ye kadar oranının artması ile tavuk köftelerinde oksidasyonun azaldığı anlaşılmaktadır. Bunun nedeni ise FB'nin ve genel olarak mantarların yüksek miktarda antioksidan maddelerini içermesi olarak düşünülmektedir. Bundan dolayı FB'nin eklenmesi ile köftelerin antioksidan içerikleri artmış olup daha yüksek FB içeren gruplar oksidasyona karşı daha dirençli hale gelmişlerdir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi gruplar arasında depolamanın ilk gününde bile farklı sonuçların ortaya çıkması başlamıştır. İlk günde M2 grubu M3 grubundan daha düşük bir oksidasyon gösterse bile sonraki günlerde daha fazla FB içeren M3 grubunda daha düşük oksidasyon ortaya çıkmıştır. Ayrıca, günler arasındaki değişim de gruplardan etkilenmiş olup FB miktarı arttıkça oksidasyon artış eğilimi azalma göstermiştir. Bu sonuçlar Cerón-Guevara vd. (2020), Pachekrepapol vd. (2022), Torres-Martínez vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalar ile uyumludur. Cerón-Guevara vd. (2020) çalışmasında *Agaricus bisporus* ve *P. ostreatus* mantarlarından alınan un kırmızı et köftelerine eklenmiş ve sonucunda hem soğukta muhafaza edilen hem de pişmiş köftelerde lipid oksidasyonunun mantar unu ilavesi ile azaldığı görülmüştür. Cerón-Guevara vd. (2020) ve Pachekrepapol vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda benzer denemeler sırası ile domuz eti köftesi ve balık köftesi için yapılmış olup sonucunda oksidasyonun mantar tozunun ilavesi ile azaldığı görülmüştür. Ayrıca, Pachekrepapol vd. (2022) çalışmasında bu oksidasyon azaltıcı etkisinin nedeni mantarlarda mevcut olan

antioksidan maddeler olarak bildirilmiş olup *Pleurotus* mantarlarının antioksidan etkisinin fenolik bileşenler, bazı karbonhidratlar ve C ve E vitamini gibi maddelerinden kaynaklandığı beyan edilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama günlerindeki malondialdehit miktarı değişimi

C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

4.4.3. Köftelerde Mikrobiyal Değişimler

Köfte gruplarında depolama süresince mikrobiyal stabilitesi analiz edilmiştir. Burada farklı depolama günlerinde 3 farklı agar besiyerinde 4 farklı mikroorganizma grubu test edilmiştir (Çizelge 4.14.). Ayrıca, Şekil 4.10. ve 4.11’de sırası ile toplam mezofilik aerobik bakteriler ve toplam maya ve küf sayımlarının zaman içinde değişimi için grafiksel gösterim yapılmıştır.

Çizelge 4.14. Depolama sürecinde köftelerdeki mikrobiyal değişimler¹

Örnek kodları	1. Gün	4. Gün	7. Gün	10. Gün	14. Gün
Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı (Log₁₀ KOB/mL)					
C	3.24 ± 0.33	0	2.80 ± 3.95	6.62 ± 1.11	7.69 ± 1.51
M1	3.06 ± 0.45	0	2.31 ± 3.27	4.21 ± 5.95	6.42 ± 0.34
M2	2.70 ± 0.30	1.89 ± 2.68	4.37 ± 0.60	2.72 ± 3.84	8.20 ± 0.43
M3	2.62 ± 0.01	3.74 ± 0.38	5.91 ± 1.43	2.69 ± 3.80	3.52 ± 4.98
Toplam maya ve küf sayısı (Log₁₀ KOB/mL)					
C	3.48 ± 0.61	0	3.09 ± 4.37	6.58 ± 1.07	7.18 ± 0.76
M1	3.01 ± 0.42	0	2.50 ± 3.53	4.20 ± 5.94	3.35 ± 4.73
M2	2.98 ± 0.09	2.04 ± 2.88	2.48 ± 3.51	2.75 ± 3.89	8.18 ± 0.20
M3	2.76 ± 0.02	4.03 ± 0.48	5.38 ± 1.57	2.71 ± 3.83	3.54 ± 5.01
Toplam koliform bakteri sayısı (Log₁₀ KOB/mL)					
C	0	0	0	0	0
M1	0	0	0	0	3.09 ± 4.37
M2	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0
Toplam psikrofil aerobik bakteri sayısı (Log₁₀ KOB/mL)					
C	0	0	0	0	3.34 ± 4.72
M1	0	0	0	0	6.63 ± 0.13
M2	0	0	0	0	7.18 ± 0.80
M3	0	0	0	5.54 ± 0.03	8.04 ± 1.28

¹ Değerler her gruptan 2 tekrerrün değerlerinin ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir. C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısındaki değerlere bakıldığında günler arasında 1., 10. ve 14. günlerde daha yüksek miktarlarda FB içeren gruplarda daha az mikrobiyal gelişmenin olduğu görülmektedir. Depolamanın 7. gününde ise tam tersi bir trend gözlemlenmekte olup FB artışı ile mikrobiyal gelişimin de arttığı görülmektedir. Ayrıca, FB ilavesi ile ilk günün mikrobiyal yükünün azaldığı görülmektedir. Ancak, toplam mezofilik aerobik bakterilerin ortalama değerlerinde gruplar arasında farkalar görüle bile ANOVA analizine göre gruplar arasında istatistiksel olarak bir fark tespit edilmemiştir. Bunun için tespit edilen p değerleri 1., 4., 7., 10. ve 14. günler için sırası ile 0.303, 0.128, 0.562, 0.751 ve 0.395 olarak bulunmuştur. Ayrıca, zaman içinde gruplardaki TMAB sayılarında genel olarak artış gözlemlenmekle beraber bu artışların istatistiksel olarak önemli olmadığı ANOVA analizine göre tespit edilmiştir. Köfte gruplarında C, M1, M2 ve M3 için sırası ile p değerleri 0.054, 0.411, 0.079, 0.785 olarak bulunmuştur.

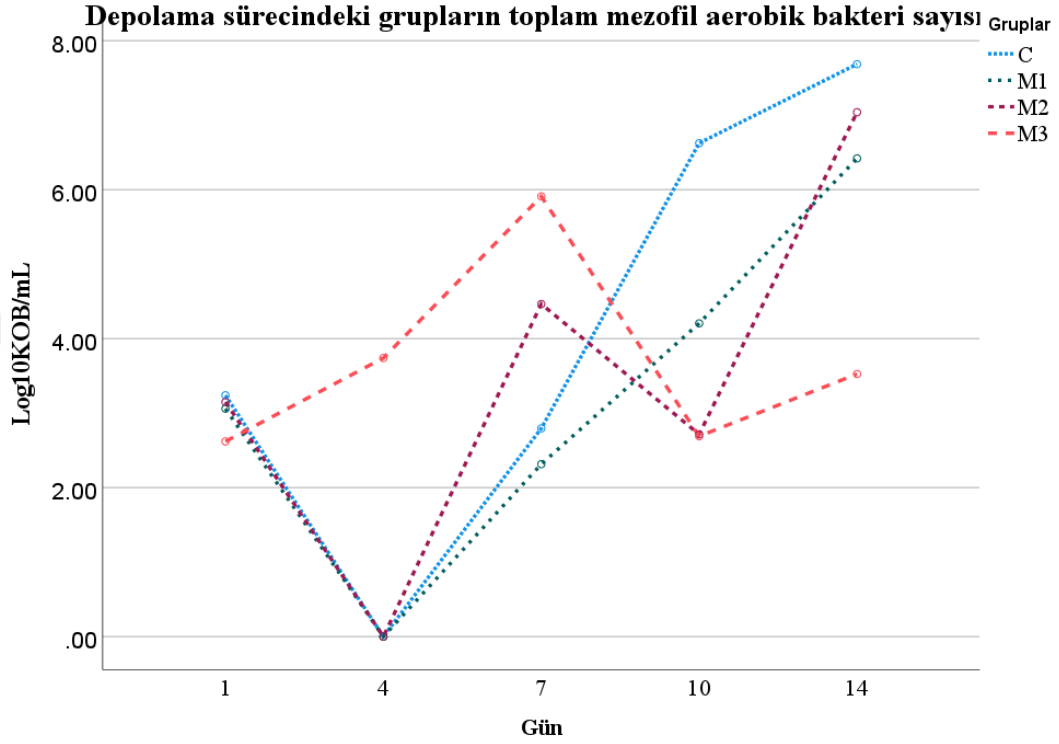
Toplam maya ve küf (TMK) sayımlarında ise TMAB sayımlarındaki izlenen trende benzer bir trend görülmektedir. Köfte gruplarında FB miktarı artar iken TMK sayımlarında düşüşler gözlemlenmekle beraber aralardaki farkların istatistiksel olarak önemli olmadığı ANOVA testine göre tespit edilmiştir. Bunun için tespit edilen p değerleri 1., 4., 7., 10. ve 14. günler için sırası ile 0.384, 0.129, 0.737, 0.762 ve 0.471 olarak bulunmuştur. Ayrıca, aynı grupta depolama boyunca istatistiksel olarak farkların ortaya çıkmadığı ANOVA analizine göre tespit edilmiştir. Burada C, M1, M2 ve M3 grupları için sırası ile p değeri 0.161, 0.324, 0.079, 0.343 olarak bulunmuştur.

Toplam koliform bakteri sayısında sadece son depolama gününde M2 grubunda bakterilerin olduğu görülmüştür.

Öte yandan toplam psikrofil aerobik bakteri (TPAB) sayılarına bakıldığında M3 grubunda 10. Ve 14. günlerde bakterilerin geliştiği ve diğer gruplarda ise sadece son depolama gününde bakterilerin ortaya çıktığı söz konusudur. Bu ürünlerinin bu noktada artık bozulmuş olduğunu gösterebilmektedir. Kruskal-Wallis testine göre ise bu grupların arasındaki farkların önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p = 0.280$). Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, gruplar arasında FB oranı artar iken TPAB sayılarının da düzenli bir trend şeklinde arttığıdır. Bunun nedeni, ilave edilen FB'nin uzun dönemli olarak -18 °C sıcaklıkta muhafaza edilmesinde psikrofil bakterilerinin gelişmesine yol açtığı ve köfteye ilave edildiğinde ise köftenin psikrofil bakterilerinin yükü arttırmış olmaları olarak düşünülmektedir.

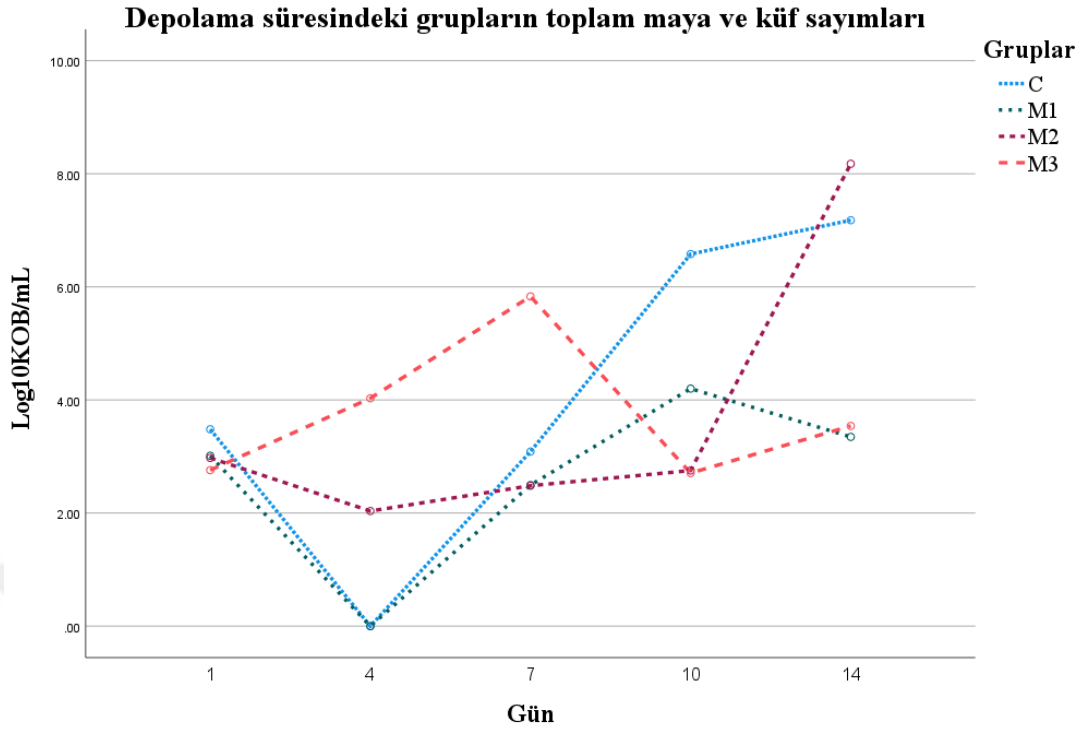
Yapılan bazı diğer çalışmalarda farklı mantarların et ürünlerine ilavesi ile mikrobiyal yükün ve gelişmesinin azaldığı rapor edilmiştir (Cerón-Guevara vd. 2020; Galih Julia Rakasivi ve Chin 2022; Nayak vd. 2015). Bunun nedeni ise fenolik ve tannin gibi antimikrobiyal etkisi gösteren bileşenlerin mantarlarda mevcut olması olarak beyan edilmiştir (Cerón-Guevara vd. 2020). Bu tez çalışması ve yapılan bu çalışmalar arasında görülen bir fark ise bu çalışmalarda mantar ilavesi ve oranının artması ile ilk günün

mikrobiyal yükün kontrol grubuna göre artması olarak dikkat çekmektedir. Ancak, bu tez çalışmasında FB'nin ilavesi ile mikrobiyal yük değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark ortaya çıkmamıştır. Bununla beraber ama ortaya çıkan mikrobiyal analiz sonuçlarında FB oranının artması ile mikrobiyal yükün azaldığı görülmektedir. Bunun için daha fazla çalışmamaların gerçekleştirilmesi gerektiği önem taşımaktadır.



Şekil 4.10. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama sürecinde toplam mezofil aerobik bakteri sayısı

C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte



Şekil 4.11. Farklı seviyelerde biyokütle ikamesi ile hazırlanan tavuk köftelerinde depolama sürecinde izlenen toplam maya ve küf sayımları
 C: Kontrol köfte; M1: %10 FB ikamesi içeren köfte; M2: %20 FB ikamesi içeren köfte; M3: %30 FB ikamesi içeren köfte

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada *Pleurotus ostreatus* EBK13 makro fungus suşu başarılı bir şekilde karıştırmalı ve özel tasarlanmış kabarcık sütun biyoreaktör sistemlerinde üretilmiştir. Üretilen FB uygun besin içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Kabarcık sütun fermentasyon sistemi ile karıştırmalı fermentöre göre daha kolay, ekonomik ve uygun kalite özelliklerine sahip *Pleurotus ostreatus* EBK13 FB'si üretilmiştir. Ek olarak, bu sistem, eş zamanlı olarak birden fazla üretimin gerçekleştirilmesine olanak tanıdığı için zamanın daha verimli kullanılmasını sağlamakta ve kısa sürede çok daha yüksek miktarda üretim yapılmasını mümkün kılmaktadır. Dondurarak yapılandırma işleminden sonra FB'nin su içeriği ve tekstür özellikleri tavuk köftelerinde katkı maddesi ve alternatif protein kaynağı olarak ilave edilmesi için uygun hale gelmiştir. Üretilen hibrit tavuk ve FB içerikli köfteler farklı kimyasal, fiziksel ve depolama analizlerle karakterize edilmiştir. Köftelerde protein içeriği FB ilavesi ile azalır iken %20'lik ikameye kadar bu fark önemsiz olarak tespit edilmiştir. Öte yandan köftelerin mineral ve yağ içeriğinde artış görülmüştür. Köftelere uygulanan tekstür analizi sonuçlarına göre FB ilavesi arttıkça köftelerde daha yumuşak yapının oluştuğu tespit edilmiştir. Duyusal analizler tekstür değerlendirmesine paralel sonuçlar verirken bu değişimin ise panelistler tarafından olumlu olarak algılandığını ortaya koymuştur. FB ilavesi 14 günlük +4 °C depolama sürecinde köftelerin pH değişiminde istatistiksel olarak önemli değişikliklere neden olmuştur. Ancak bu değişimlerin gıda bilimi açısından önemli olduğu düşünülmemektedir. FB ilavesi ve oranının artması ile köftelerdeki mikrobiyal yük miktarlarında azalmalar görülmüş ancak bu azalmalar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. FB ilavesi ve oranının artması neticesinde FB kaynaklı olabilecek antioksidan bileşenlerin etkisi ile depolama süresince köftelerdeki lipid oksidasyonunun önemli seviyede baskılandığı görülmüştür. Özetle, *Pleurotus ostreatus* EBK13 misel biyokütlesi ikamesi yapıldığında daha fazla beğenilen, daha yumuşak ve potansiyel olarak daha uzun raf ömrüne sahip besleyici nitelikte hibrit köfte ürünleri elde edilebilmektedir.

Halihazırda miktarca bu seviyede FB üretimini ve tavuk köftelere ilave ederek hibrit tavuk ve fungus köftelerinin üretimini, karakterizasyonunu ve depolama koşullarının incelemesini amaçlayan çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasındaki sonuçlar ise benzer çalışmalar ile genel olarak uyum göstermektedir. Bu çalışmalarda genel olarak fungusların farklı şekillerde et ürünlerine ilavesi ile ürünlerde protein içeriğinin azalması, tekstürel yumuşamalar, lipid oksidasyonda azalmalar ve mikrobiyal yüklerinde de düşüşler gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada kabarcık sütun fermentasyon sistemlerin makro fungusların fermentasyonu için üst düzeyde uygun olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmada sistemlerin ve tasarımlarının potansiyeli ve optimizasyonu araştırılamamıştır. Ayrıca, döngüsel ekonomi ve sıfır atık hedeflerine ulaşmak için makro fungusların potansiyelleri ve kabarcık sütun fermentasyon sistemlerinde tarımsal atıklarının bu mikroorganizmalar

ile değerlendirilmesi daha derin bir şekilde araştırmalarda konu olabilir. Özellikle makro fungusların büyük bir kısmında mevcut olan saprofit özelliği sayesinde tarımsal atıkların bir ön işleme tabi tutulmadan fermentasyon için kullanılabilmesi mümkün olup bu konu üzerinde araştırmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca, fermentasyon koşullarının (pH, sıcaklık, karıştırma hızı, hava akış miktarı vs.) besin içeriği, özellikle protein ve yağ miktarı, amino asit ve yağ asitlerinin profili üzerindeki etkilerinin araştırılması yararlı bilgilere yol açabilir. Dondurarak yapılandırma yöntemi başarılı bir şekilde bu çalışmada kullanılmış ancak bu işlemin farklı parametrelerinin (donma süresi, sıcaklığı vs.) sıvı kültürde üretilen makro funguslar yapısı ve stabilitesinin üzerindeki etkileri araştırılmamıştır. Bunun için optimizasyon çalışmaları da gerçekleştirilebilir. Öte yandan *Pleurotus* fungusunun biyokütle üretimi sürecinde yüksek miktarda biyoaktif maddeler (antioksidanlar, antimikrobiyaller vs.) de üretilmektedir. Bu yararlı maddelerin en az zarar görebileceği işleme yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu açıdan dondurarak yapılandırma işleminin FB su içeriğinin azaltılması için kullanılması uygun ancak daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, bu maddelerin gıda ürünlerinin muhafaza ve stabilitesindeki potansiyelleri daha derin, moleküler mekanizmalarını içerecek bir şekilde araştırılmalıdır. Ek olarak, fungal biyoaktif maddelerin aktif ambalaj materyallerindeki kullanım olanakları da gelecek vadede bir konudur. Bu çalışma FB'nin tavuk köftelerinde antimikrobiyal etkisinin incelenmesi için sınırlı kalmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Adebayo, E. A., Oloke, J. K. 2017. Oyster mushroom (*Pleurotus* species); A natural functional food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(3), 254-264.
- Aditya, Neeraj, Jarial, R. S., Jarial, K., Bhatia, J. N. 2024. Comprehensive review on oyster mushroom species (*Agaricomycetes*): Morphology, nutrition, cultivation and future aspects. *Heliyon*, 10(5).
- Afedzi, A. E. K., Rattanaporn, K., Parakulsuksatid, P. 2022. Impeller selection for mixing high-solids lignocellulosic biomass in stirred tank bioreactor for ethanol production. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100935.
- Amara, A. A., El-Baky, N. A. 2023. Fungi as a Source of Edible Proteins and Animal Feed. *Journal of Fungi*, 9(1), 73.
- Anonymous 1: Fungal Protein Market Report 2024 - Fungal Protein Market Scope And Segments 2033. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/fungal-protein-market>. [Son erişim tarihi: 04.01.2025].
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 17th edition. AOAC, Washington DC.
- Aragão, M.S., Menezes, D. B., Ramos, L. C., Oliveira, H. S., Bharagava, R. N., Romanholo Ferreira, R. L., Teixeira, J. A., Ruzene, D. S., Silva, D. P. 2020. Mycoremediation of vinasse by surface response methodology and preliminary studies in air-lift bioreactors. *Chemosphere*, 244: 125432.
- Bach, F., Helm, C. V., Bellettini, M. B., Maciel, G. M., Haminiuk, C. W. I. 2017. Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 2382-2392.
- Baeva, E., vd. 2019. Polysaccharides from Basidiocarps of cultivating mushroom *Pleurotus ostreatus*: Isolation and structural characterization. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(15), 2740-2756.
- Bakratsas, G., Polydera, A., Nilson, O., Chatzikonstantinou, A. V., Xiros, C., Katapodis, P., Stamatis, H. 2023. Mycoprotein production by submerged fermentation of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* in a batch stirred tank bioreactor using agro-industrial hydrolysate. *Foods*, 12(12), 2295-2313.
- Bakratsas, G., Tsoumanis, C., Stamatis, H., Katapodis, P. 2024. Exopolysaccharide Production in Submerged Fermentation of *Pleurotus ostreatus* under Red and Green Light. *Fermentation*, 10(6), 313-328.
- Bamigboye, C. O., Oloke, J. K., Burton, M., Dames, J. F., Lateef, A. 2019. Optimization of the Process for Producing Biomass and Exopolysaccharide from the King Tuber Oyster Mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (*Agaricomycetes*), for Biotechnological Applications. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 21(4), 311-322
- Barh, A., Sharma, V. P., Annepu, S. K., Kamal, S., Sharma, S., Bhatt, P. 2019. Genetic improvement in *Pleurotus* (oyster mushroom): a review. *3 Biotech*, 9(9), 322-346.

- Bellettini, M. B., vd. 2019. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646.
- Bettin, F., Montanari, Q., Calloni, R., Gaio, T. A., Silveira, M. M., Dillon, A. J. P. 2014. Additive effects of CuSO₄ and aromatic compounds on laccase production by *Pleurotus sajor-caju* PS-2001 using sucrose as a carbon source. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31, 335-346.
- Bokelmann, C., Bromley, J., Takors, R. 2025. Pros and cons of airlift and bubble column bioreactors: How internals improve performance. *Biochemical Engineering Journal*, 213, 109539.
- Boukid, F., Hassoun, A., Zouari, A., Tülbek, M. Ç., Mefleh, M., Aït-Kaddour, A., Castellari, M. 2023. Fermentation for designing innovative plant-based meat and dairy alternatives. *Foods*, 12(5), 1005-1026.
- Bulam, S., Şule Üstün, N., Pekşen, A. 2022. Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as a healthy ingredient for sustainable functional food production. *The Journal of Fungus*, 131-143.
- Cantorani, J. R. H., de Oliveira, M. R., Pilatti, L. A., de Sousa, T. B. 2025. Agri-Food sector: contemporary trends, possible gaps, and prospective directions. *Metrics*, 2(1), 3-20.
- Cerón-Guevara, M. I., vd. 2020. Effect of the addition of edible mushroom flours (*Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*) on physicochemical and sensory properties of cold-stored beef patties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3). e14351.
- Cerrone, F., O'Connor, K. E. 2025. Cultivation of filamentous fungi in airlift bioreactors: advantages and disadvantages. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 109(1), 41.
- Chandran Priyadarshni, K., Krishnamoorthi, R., Mumtha, C., Ulagan Mahalingam, P. 2022. Biochemical analysis of cultivated mushroom, *Pleurotus florida* and synthesis of silver nanoparticles for enhanced antimicrobial effects on clinically important human pathogens. *Inorganic Chemistry Communications*, 142, 109673.
- Chatterjee, S., Kuang, Y., Splivallo, R., Chatterjee, P., Karlovsky, P. 2016. Interactions among filamentous fungi *Aspergillus niger*, *Fusarium verticillioides* and *Clonostachys rosea*: fungal biomass, diversity of secreted metabolites and fumonisin production. *BMC Microbiology*, 16(1), 83.
- Chisti, Y., Moo-Young, M. 2003. "Bioreactors". In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third Edition) (ss. 247-271). New York: Academic Press.
- Cutroneo, S., Prandi, B., Faccini, A., Pellegrini, N., Sforza, S., Tedeschi, T. 2023. Comparison of protein quality and digestibility between plant-based and meat-based burgers. *Food Research International*, 172, 113183.
- Dade-Robertson, M., Gobbo, P., Gorochowski, T. E., Nguyen, P. Q., Zhang, M. 2024. Editorial: Biological fabrication beyond tissue engineering. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12.

- Derbyshire, E. J., Delange, J. 2021. Fungal Protein – What is it and what is the health evidence? a systematic review focusing on mycoprotein. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5.
- Deshmukh, S. K., Sridhar, K. R., Badalyan, S. M. 2022. Fungal biotechnology: prospects and avenues. *CRC Press*, 450s.
- Doğan, N., Doğan, C. 2022. Egzotik bazı mantarların (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii*, *Hericium erinaceus*) fizikokimyasal, biyoaktif ve duyu özelliklerinin belirlenmesi. *The Journal of Fungus*, 13(1), 30-36.
- Dong, C. -H., Yao, Y. -J. 2005. Nutritional requirements of mycelial growth of *Cordyceps sinensis* in submerged culture. *Journal of Applied Microbiology*, 99(3), 483-492.
- Dundar, A., Acay, H., Yildiz, A. 2008. Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. *African Journal of Biotechnology*, 7(19), 3497-3501.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., vd. 2025. Safety of frozen and dried forms of whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 23(1), e9155.
- Fitriana, E. L., Laconi, E. B., Astuti, D. A., Jayanegara, A. 2022. Effects of various organic substrates on growth performance and nutrient composition of black soldier fly larvae: A meta-analysis. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101061.
- Fredes Skogh, J., Johansson, C. 2023. Edible fungal biomass production using banana peel. PHD thesis, Univeristy of Boras, Boras, 49p.
- Galih Julia Rakasivi, K., Chin, K. B. 2022. Evaluation of product quality of chicken sausages with added cinnamon (*Cinnamomum cassia*) and mushroom (*Pleurotus sajur-caju*) powders at various concentrations. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e16958.
- Gan, Z. W., Yu, S. C. M., Law, A. W. K. 2011. Hydrodynamic stability of a bubble column with a bottom-mounted point air source. *Chemical Engineering Science*, 66(21), 5338-5356.
- Gmoser, R., Fristedt, R., Larsson, K., Undeland, I., Taherzadeh, M. J., Lennartsson, P. R. 2020. From stale bread and brewers spent grain to a new food source using edible filamentous fungi. *Bioengineered*, 11(1), 582-598.
- González, A., vd. 2020. Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods. *Food and Function*, 11(9), 7400-7414.
- Grasso, S., Jaworska, S. 2020. Part meat and part plant: are hybrid meat products fad or future? *Foods*, 9(12), 1888-1901.
- Grossmann, L., Weiss, J. 2021. Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(12), 93-117.
- Hu, H., vd. 2021. Use of *Tremella* as fat substitute for the enhancement of physicochemical and sensory profiles of pork sausage. *Foods*, 10(9), 2167-2177.
- Hughes, E., Cofrades, S., Troy, D. J. 1997. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Science*, 45(3), 273-281.

- Husain, H., Huda-Faujan, N. 2020. Potential application of grey oyster mushroom stems as halal meat replacer in imitation chicken nuggets. *Food Research*, 4, 179-186.
- Ibrahim, H. S. S., Huda-Faujan, N. 2024. Physicochemical properties and nutritional composition of chicken patties with grey oyster mushroom stems. *Malaysian Journal of Science Health & Technology*, 10(1), 50-57.
- Ingledeu, W. M. M., Lin, Y.-H. 2011. 3.04
- Ethanol From Starch-Based Feedstocks. İçinde M. Moo-Young (Ed.), *Comprehensive Biotechnology* (Third Edition). Oxford: Pergamon. pp. 35-48.
- Irbe, I., Andze, L., Blumfelde, M., Filipova, I., Verovkins, A., Zoldners, J. 2023. Harvesting mycelial biomass of selected basidiomycetes for chitosan biopolymer extraction. *Polymers*, 15(17), 3548-3561.
- Irshad, A., Sharif, S., Riaz, M., Anjum, F. 2018. An insight into nutritional profile of selected *Pleurotus* species. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 32(1), 107-113.
- Jacobson, M. F., DePorter, J. 2018. Self-reported adverse reactions associated with mycoprotein (Quorn-brand) containing foods. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 120(6), 626-630.
- Jafarzadeh, S., vd. Timms, W. 2024. Alternative proteins; A path to sustainable diets and environment. *Current Research in Food Science*, 9, 100882.
- Jamwal, A., Kumar, S., Bhat, Z. F., Kumar, A., Kaur, S. 2015. The quality and storage stability of chicken patties prepared with different additives. *Nutrition & Food Science*, 45(5), 728-739.
- Jannathulla, R., Dayal, J. s., Vasanthakumar, D., Ambasankar, K., Muralidhar, M. 2018. Effect of fungal fermentation on apparent digestibility coefficient for dry matter, crude protein and amino acids of various plant protein sources in *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 24(4), 1318-1329.
- Jaworska, G., Pogoń, K., Bernaś, E., Duda-Chodak, A. 2015. Nutraceuticals and antioxidant activity of prepared for consumption commercial mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Food Quality*, 38(2), 111-122.
- Jayakumar, T., Thomas, P. A., Sheu, J. R., Geraldine, P. 2011. In-vitro and in-vivo antioxidant effects of the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Food Research International*, 44(4), 851-861.
- Jing, X., Mao, D., Geng, L., Xu, C. 2013. Medium optimization, molecular characterization, and bioactivity of exopolysaccharides from *Pleurotus eryngii*. *Archives of Microbiology*, 195(10), 749-757.
- Jones, M., Gandia, A., John, S., Bismarck, A. 2021. Leather-like material biofabrication using fungi. *Nature Sustainability*, 4(1), 9-16.
- Jung, G. T., Ju, I. O., Yu, Y. Z., Ryu, J., Choi, J. S., Choi, Y. G. 2003. Mycelial yield of *Pleurotus ostreatus* using thinned apple, pear, and peach on submerged culture. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 8(5), 286-290.

- Kanwal, Hussein, H. A., Khan, K. M., Abdullah, M. A. 2021. Chapter 19 - Mass production and factors affecting biosurfactant productivity using bioreactors. In Inamuddin, C. O. Adetunji, & A. M. Asiri (Ed.), *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*. Elsevier, Amsterdam. pp. 379-398.
- Kirsch, L. de S., de Macedo, A. J. P., Teixeira, M. F. S. 2016. Production of mycelial biomass by the Amazonian edible mushroom *Pleurotus albidus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(3), 658-664.
- Koukoumaki, D. I., Papanikolaou, S., Ioannou, Z., Gkatzionis, K., Sarris, D. 2024. The development of novel edible films from single-cell protein produced by the biotechnological valorization of cheese whey. *Applied Microbiology*, 4(3), 1030-1041.
- Kumar, P., vd. 2023. New insights in improving sustainability in meat production: opportunities and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(33), 11830-11858.
- Kumar, P., vd. 2023. Potential alternatives of animal proteins for sustainability in the food sector. *Food Reviews International*, 39(8), 5703-5728.
- Kumar, R. r., Sharma, B. d., Kumar, M., and BISWAS, A. k. 2007. Storage quality and shelf life of vacuum-packaged extended chicken patties. *Journal of Muscle Foods*, 18(3), 253-263.
- Lavelli, V., Proserpio, C., Gallotti, F., Laureati, M., Pagliarini, E. 2018. Circular reuse of bio-resources: The role of: *Pleurotus* spp. in the development of functional foods. *Food and Function*, 9(3), 1353-1372.
- Le, J., Hu, S., Xu, M. 2007. Optimisation of submerged culture conditions for the production of mycelial biomass and exopolysaccharide by *Pleurotus nebrodensis*. *Annals of Microbiology*, 57(3), 389-393.
- Lebeque, Y., vd. 2018. Proximal composition, nutraceutical properties, and acute toxicity study of culinary-medicinal oyster mushroom powder, *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 20(12).
- Li, Y. P., Ahmadi, F., Kariman, K., Lackner, M. 2024. Recent advances and challenges in single cell protein (SCP) technologies for food and feed production. *Npj Science of Food*, 8(1), 66.
- Lindskog, E. K. 2018. Chapter 31 - The Upstream Process: Principal Modes of Operation. In G. Jagschies, E. Lindskog, K. Łacki, & P. Galliher (Ed.), *Biopharmaceutical Processing*. Elsevier, Amsterdam. pp. 625-635.
- Liu, D., Chen, Y.-Q., Xiao, X.-W., Zhong, R.-T., Yang, C.-F., Liu, B., Zhao, C. 2019. Nutrient properties and nuclear magnetic resonance-based metabonomic analysis of macrofungi. *Foods*, 8(9), 397-411.
- Maningat, C. C., Jeradechachai, T., Butshaw, M. R. 2022. Textured wheat and pea proteins for meat alternative applications. *Cereal Chemistry*, 99(1), 37-66.
- Maray, A. R. M., Mostafa, M. K., El-Fakhrany, A. E.-D. M. A. 2018. Effect of pretreatments and drying methods on physico-chemical, sensory characteristics

- and nutritional value of oyster mushroom. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13352.
- Maseko, K. H., Regnier, T., Bartels, P., Meiring, B. 2025. Mushroom mycelia as sustainable alternative proteins for the production of hybrid cell-cultured meat: A review. *Journal of Food Science*, 90(2), e70060.
- Maseko, K. H., Regnier, T., Wokadala, O. C., Bartels, P., Meiring, B. 2024. Effect of Culture Media on the Yield and Protein Content of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Kumm Mycelia. *International Journal of Food Science*, 2024(1), 5562732.
- Mattila, P., vd. 2001. Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2343-2348.
- Maza-Márquez, P., Vilchez-Vargas, R., Kerckhof, F. M., Aranda, E., González-López, J., Rodelas, B. 2016. Community structure, population dynamics and diversity of fungi in a full-scale membrane bioreactor (MBR) for urban wastewater treatment. *Water Research*, 105, 507-519.
- Menegas, L. Z., Pimentel, T. C., Garcia, S., Prudencio, S. H. 2013. Dry-fermented chicken sausage produced with inulin and corn oil: Physicochemical, microbiological, and textural characteristics and acceptability during storage. *Meat Science*, 93(3), 501-506.
- Michel-Villarreal, R., Hingley, M., Canavari, M., Bregoli, I. 2019. Sustainability in alternative food networks: A systematic literature review. *Sustainability*, 11(3), 859-879.
- Mohamad, A., Tan, C. K., Shah, N. N. A. K., Nayan, N., Ibrahim, A., Abdi, G., Aadil, R. M. 2025. Insect protein: a pathway to sustainable protein supply chains, challenges, and prospects. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101678.
- Molfetta, M., vd. 2022. Protein sources alternative to meat: state of the art and involvement of fermentation. *Foods*, 11(14), 2065-295.
- Murphy, E. W., Criner, P. E., Gray, B. C. 1970. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 23(6), 1154-1157.
- Nayak, H., vd. 2022. Economically viable mushroom (*Pleurotus djamor*) farming for nutritional security in Uttarakhand. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(5), 577-581.
- Nayak, P. C., Raju, C. V., Lakshmisha, I. P., Singh, R. R., Sofi, F. R. 2015. Influence of button mushroom (*Agaricus bisporus*) on quality and refrigerated storage stability of patties prepared from sutchi catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3529-3538.
- Neville, M., Tarrega, A., Hewson, L., Foster, T. 2017. Consumer-orientated development of hybrid beef burger and sausage analogues. *Food Science & Nutrition*, 5(4), 852-864.
- Nielsen, M. B., Meyer, A. S., Arnau, J. 2024. The next food revolution is here: recombinant microbial production of milk and egg proteins by precision fermentation. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15, 173-187.

- Novia, N., Hasanudin, H., Hermansyah, H., Fudholi, A., Pareek, V. K. 2023. Recent advances in CFD modeling of bioethanol production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113522.
- Olivieri, G., Marzocchella, A., Salatino, P., Giardina, P., Cennamo, G., & Sannia, G. 2006. Olive mill wastewater remediation by means of *Pleurotus ostreatus*. *Biochemical Engineering Journal*, 31(3), 180-187.
- Oluwafemi, G. I., Seidu, K. T., Fagbemi, T. N. 2016. Chemical composition, functional properties and protein fractionation of edible oyster mushroom (*pleurotus ostreatus*). *Food Science & Technology*, 17(1), 218.
- O'Sullivan, J. N. 2023. Demographic Delusions: World population growth is exceeding most projections and jeopardising scenarios for sustainable futures. *World*, 4(3), 545-568.
- Pachekrepapol, U., Thangrattana, M., Kitikangsadan, A. 2022. Impact of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on chemical, physical, microbiological and sensory characteristics of fish burger prepared from salmon and striped catfish filleting by-product. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30, 100598.
- Papaspyridi, L.-M., Katapodis, P., Gonou-Zagou, Z., Kapsanaki-Gotsi, E., Christakopoulos, P. 2010. Optimization of biomass production with enhanced glucan and dietary fibres content by *Pleurotus ostreatus* ATHUM 4438 under submerged cultur". *Biochemical Engineering Journal*, 50(3), 131-138.
- Pereira, P. M. de C. C., Vicente, A. F. dos R. B. 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93(3), 586-592.
- Ponbhagavathi, T. R. T., Kanchana, S., Hemalatha, C., Vellaikumar, S., Kalpana, K. 2022. Functional and microstructural properties of *pleurotus florida* and *calocybe indica* flour and protein concentrate. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 32(5), 1430-1439.
- Posch, A. E., Herwig, C., Spadiut, O. 2013. Science-based bioprocess design for filamentous fungi. *Trends in Biotechnology*, 31(1), 37-44.
- Prandi, B., Cigognini, I. M., Faccini, A., Zurlini, C., Rodríguez, Ó., Tedeschi, T. 2023. Comparative study of different protein extraction technologies applied on mushrooms by-products. *Food and Bioprocess Technology*, 16(7), 1570-1581.
- Rajabzadeh Shandiz, S., Ziaratnia, S. M., Pahlevanloo, A., Sarabi-Jamab, M. 2024. Optimizing the biomass production of *Pleurotus ostreatus* (oyster) in shake-flask and bioreactor. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 13(3), 181-186.
- Raman, J., Jang, K. Y., Oh, Y. L., Oh, M., Im, J. H., Lakshmanan, H., Sabaratnam, V. 2021. Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: an overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14.
- Ren, L., Perera, C., Hemar, Y. 2012. Antitumor activity of mushroom polysaccharides: A review. *Food and Function*, 3(11), 1118-1130.

- Rodger, G. W., Angold, R. E. 1991. The Effect of Freezing on some Properties of Quorn Myco-Protein. In W. B. Bald (Ed.), Food Freezing: Today and Tomorrow. London: Springer. pp. 87-95.
- Rosli, W., Raushan, W. I. 2015. The ability of oyster mushroom in improving nutritional composition, β -glucan and textural properties of chicken frankfurter *International Food Research Journal*, 22, 311-317.
- Rosli, W., Solihah, W. I., Aishah, M. A., Fakurudin, N., Mohsin, N. A., Kelantan, K. 2011. Colour, textural properties, cooking characteristics and fibre content of chicken patty added with oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) *International Food Research Journal*, 18, 621-627.
- Rosli, W., Solihah, W. I., Mohsin, M. A., Kelantan, K. 2011. On the ability of oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) conferring changes in proximate composition and sensory evaluation of chicken patty. *International Food Research Journal*, 18, 1463-1469.
- Samad, A., Kim, S.-H., Kim, C.-J., Lee, E.-Y., Kumari, S., Hossain, M. J., ... Joo, S.-T. 2025. From Farms to Labs: The New trend of sustainable meat alternatives. *Food Science of Animal Resources*, 45(1), 13-30.
- Santhiya, Abinaya, Aswini, Nitheshlee. 2022. Assessment of button and oyster mushroom nutritional quality using various drying methods. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 171-181.
- Schütte, L., Hausmann, K., Schwarz, C., Ersoy, F., Berger, R. G. 2024. The nitrogen content in the fruiting body and mycelium of *Pleurotus ostreatus* and its utilization as a medium component in thraustochytrid fermentation. *Bioengineering*, 11(3), 284-299.
- Singh, A., Sit, N. 2025. Optimization of ingredient composition for meat analogue prepared from Manila tamarind protein isolate by freeze texturization. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 39, 101095.
- Sławińska, A., vd. 2016. Study on vitamin D₂ stability in dried mushrooms during drying and storage. *Food Chemistry*, 199, 203-209.
- Songulashvili, G., Elisashvili, V., Wasser, S. P., Nevo, E., Hadar, Y. 2007. Basidiomycetes laccase and manganese peroxidase activity in submerged fermentation of food industry wastes. *Enzyme and Microbial Technology*, 41(1), 57-61.
- Stoll-Kleemann, S., O’Riordan, T. 2015. The sustainability challenges of our meat and dairy diets. *Environment*, 57(3), 34-48.
- Süfer, Ö., Bozok, F., Demir, H., Mantarların, Y., Gıda, Ç., Kullanımı, Ü. 2016. Usage of edible mushrooms in various food products. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 4, 144-149.
- Synytsya, A., Mičková, K., Jablonský, I., Sluková, M., Čopíková, J. 2008. Mushrooms of genus *Pleurotus* as a source of dietary fibres and glucans for food supplements. *Czech J. Food Sci*, 26, 441-446.
- Tang, X., vd. 2015. Diversity, population genetics, and evolution of macrofungi associated with animals. *Mycology*. 6(2), 94-109.

- Thavamani, A., Sfera, T. J., Sankararaman, S. 2020. Meet the meat alternatives: the value of alternative protein sources. *Current Nutrition Reports*, 9(4), 346-355.
- Tokarczyk, G., vd. 2023. Effect of oyster mushroom addition on improving the sensory properties, nutritional value and increasing the antioxidant potential of carp meat burgers. *Molecules*, 28(19), 6975-6988.
- Torres-Martínez, B. del M., vd. 2022. Use of *Pleurotus ostreatus* to enhance the oxidative stability of pork patties during storage and in vitro gastrointestinal digestion. *Foods*, 11(24), 4075-490.
- Türsen Uthan, E., Yamaç, M., Yildiz, Z. 2022. In vitro prebiotic activity of polysaccharides extracted from edible/medicinal macrofungi species. *The Journal of Fungus*, 13(1), 15-29.
- USDA. 2025, Chicken, broilers or fryers, breast, meat only, cooked, roasted - USDA FoodData Central Food Details. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/331960/nutrients> [son erişim tarihi: 05.01.2025]
- Valencia Del Toro, G., Vega, R. C., Garín-Aguilar, M. E., Lara, H. L. 2006. Biological quality of proteins from three strains of *Pleurotus* spp. *Food Chemistry*, 94(4), 494-497.
- van Dijk, B., Jouppila, K., Sandell, M., Knaapila, A. 2023. No meat, lab meat, or half meat? Dutch and Finnish consumers' attitudes toward meat substitutes, cultured meat, and hybrid meat products. *Food Quality and Preference*, 108, 104886.
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., Saghai, Y. 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), 494-501.
- Vargas-Sánchez, R. D., vd. 2023. Antioxidant and antibacterial effect of *Agaricus Brasiliensis* extract on raw and cooked pork patties during storage. *Agriculture*, 13(2), 346-346.
- Venturella, G., Ferraro, V., Cirlincione, F., Gargano, M. L. 2021. Medicinal mushrooms: bioactive compounds, use, and clinical trials. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), 1-31.
- Vikrant, K., Giri, B. S., Raza, N., Roy, K., Kim, K.-H., Rai, B. N., Singh, R. S. 2018. Recent advancements in bioremediation of dye: Current status and challenges. *Bioresource Technology*, 253, 355-367.
- Wang, Q., Xu, M., Zhao, L., Chen, L., Ding, Z. 2023. Novel insights into the mechanism underlying high polysaccharide yield in submerged culture of *Ganoderma Lucidum* revealed by transcriptome and proteome analyses. *Microorganisms*, 11(3), 772-786.
- Weiss, K. L., Fan, Y., Abraham, P., Odom, M., Pant, S., Zhang, Q., O'Neill, H. 2021. Fed-batch production of deuterated protein in *Escherichia coli* for neutron scattering experimentation. In: Z. Kelman & W. B. O'Dell (Ed.), *Methods in Enzymology*. Academic Press. 659, pp. 219-240.
- Whittaker, J. A., Johnson, R. I., Finnigan, T. J. A., Avery, S. V., Dyer, P. S. 2020. The Biotechnology of Quorn Mycoprotein: Past, Present and Future Challenges.

- Içinde H. Nevalainen (Ed.), Grand Challenges in Fungal Biotechnology. Cham: Springer International Publishing. pp. 59-79.
- Wijayarathna, E. R. Vd. 2022. Fungal textile alternatives from bread waste with leather-like properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106041.
- Wijayarathna, ERKB. 2021. Development of fungal leather-like material from bread waste. MSc thesis, University of Boras, Boras. 70p.
- Witte, V. C., Krause, G. F., Bailey, M. E. 1970. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *Journal of Food Science*, 35(5), 582-585.
- Wu, C.-Y. 2008. The Influence of Cultivation Conditions on Mycelial Growth and Exopolysaccharide Production of Culinary-Medicinal Mushroom *Pleurotus citrinopileatus* Singer (*Agaricomycetideae*). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 10(3), 279-292.
- Wyness, L., Weichselbaum, E., O'Connor, A., Williams, E. B., Benelam, B., Riley, H., Stanner, S. 2011. Red meat in the diet: An update. *Nutrition Bulletin*, 36(1), 34-77.
- Xu, B. 2023. Fungal Biotechnology and Applications. *Journal of Fungi*, 9(9), 871-875.
- Yahya, F., Ting, H. T. 2020. Effect of different ratios of chicken meat to fresh osyter mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) on the physicochemical properties and sensory acceptability of sausages. *International Journal on Food, Agriculture and Natural Resources*, 1(1), 7-14.
- Yan, M.-Q., Feng, J., Liu, Y.-F., Hu, D.-M., Zhang, J.-S. 2023. Functional Components from the Liquid Fermentation of Edible and Medicinal Fungi and Their Food Applications in China. *Foods*, 12(10), 2086-3003.
- Zahari, I., Östbring, K., Purhagen, J. K., Rayner, M. 2022. Plant-based meat analogues from alternative protein: A Systematic Literature Review. *Foods*, 11(18), 2870-2897.
- Zhu, H., Sun, J., Tian, B., Wang, H. 2015. A novel stirrer design and its application in submerged fermentation of the edible fungus *Pleurotus ostreatus*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38(3), 509-516.
- Zwinkels, J., Wolkers-Rooijackers, J., Smid, E. J. 2023. Solid-state fungal fermentation transforms low-quality plant-based foods into products with improved protein quality. *LWT*, 184, 114979.

7. EKLER

Ek.1. Köftelerin duysal analizinde kullanılan değerlendirme formu

Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 07070 Antalya

Duyusal analiz sorumlusu: Y.L. Öğrencisi Erfan Bagherzadehsurbagh

Tavuk Köfte Örneklerinin Duyusal Değerlendirme Formu

Tarih: ... /... /2024 Saat: ... : ...

Katılımcı adı soyadı*:

* Panelist kaydı sadece veri işleme amaçlı kullanılacaktır, herhangi bir ilişkilendirme veya yayına konu edilmeyecektir.

Size sunulan tavuk köfteleri değişen oranlarda tavuk göğsü eti, istiridye mantarı, galeta unu ve tuz, içermektedir. Üç haneden oluşan örnek kodları ile nemalandırılmış örnekleri dilediğiniz sırada tadabilirsiniz. Ürün özellikleri bakımından değerlendirmenizi tabloda yer alan uygun bölmede 1-9 puan aralığında işaretleyerek değerlendirin (9 – çok iyi, 1-çok kötü).

	Örnek Kodları			
Görünüş				
Renk				
Koku				
Lezzet				
Ağız hissi				
Aroma				
Yapı (Tekstür)				

Ürünlerle ilgili belirtmek isteklerinizi yazabilirsiniz:

Ek.2. Tekstür profil analizinin sonuçlarıKöftelerin tekstürel özellikleri^{1, 2}

Örnek kodları	Sertlik	Yapışkanlık	Esneklik	Bütünlük	Sakızimsılık	Çiğnenebilirlik	Dayanıklılık
C	41363.56 ^a ± 7836.51	-1.33 ± 0.84	0.94 ± 0.01	0.90 ^a ± 0.02	37066.56 ^a ± 7056.45	34672.04 ^a ± 6595.13	0.56 ^a ± 0.03
M1	34490.58 ^{ab} ± 7836.51	-0.88 ± 0.82	0.91 ± 0.01	0.84 ^{ab} ± 0.02	30432.19 ^{ab} ± 7056.45	27767.60 ^{ab} ± 6595.13	0.52 ^{ab} ± 0.03
M2	31960.74 ^{bc} ± 5364.23	-1.60 ± 2.88	0.92 ± 0.01	0.86 ^b ± 0.01	27341.97 ^b ± 4419.79	25225.60 ^{bc} ± 4211.82	0.49 ^{bc} ± 0.02
M3	26613.80 ^c ± 10292.30	-2.01 ± 1.94	0.86 ± 0.15	0.84 ^c ± 0.04	22106.54 ^c ± 8211.85	19946.46 ^c ± 7936.17	0.47 ^c ± 0.08

¹ Sütunlarda farklı harfler ile işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır.² Değerler her gruptan 5 farklı örnek ile yapılmış ölçümlerin ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir.

Ek.3. Kabarcık sütunu fermentasyon sistemlerinin üretim sonuçları

Kabarcık sütunu fermentörde yapılan üretimler

Fermentasyon sayısı	Besiyeri hacmi (mL)	Biyokütle (g)	Verim (g/L)
1	1500	332.75	221.83
2	1700	180.49	106.17
3	1700	242.16	142.45
4	1700	257.37	151.39
5	1700	240.1	141.24
6	1700	349.18	205.40
7	1700	222.36	130.80
8	1700	167.63	98.61
9	1700	114.45	67.32
10	1700	148.06	87.09
11	1700	292.63	172.14
12	1700	472.32	277.84
13	1500	327.8	218.53
14	1500	301.3	200.87
15	1500	229.5	153.00
16	1500	309.8	206.53

Ek.4. Duyusal analiz sonuçlarıDuyusal analiz sonuçları^{1, 2}

Örnek kodu	C	M1	M2	M3
Görünüm	7.5 ± 0.83	7.6 ± 0.60	7.2 ± 1.58	7.1 ± 1.69
Renk	7.3 ± 1.13	7.3 ± 1.09	6.7 ± 1.77	7.4 ± 1.47
Tat	6.7 ± 1.62	7.3 ± 1.23	7.2 ± 1.20	7.3 ± 1.35
Ağız hissi	6.5 ± 1.61	7.6 ± 1.39	7.6 ± 1.50	7.2 ± 1.40
Tekstür	6.4 ^b ± 1.64	7.5 ^a ± 1.00	7.6 ^a ± 1.14	7.5 ^a ± 1.28
Koku	6.5 ± 2.42	7.2 ± 2.04	7.3 ± 1.98	6.9 ± 2.16
Aroma	6.7 ± 1.77	7.5 ± 1.15	7.4 ± 1.27	6.9 ± 1.25

¹ Satırlarda farklı harfler ile işaretlenmiş gruplar istatistiksel olarak birbirinden önemli seviyede ($p < 0.05$) farklıdır.

² Değerler her grup ve her duyusal özellik için 10 panelistten alınan puanların ortalama ± standart sapması olarak gösterilmiştir.

Ek.5. Defined medium besiyerinin içeriği

Glikoz 30 g/L

NH_4NO_3 1 g/L

KH_2PO_4 0.8 g/L

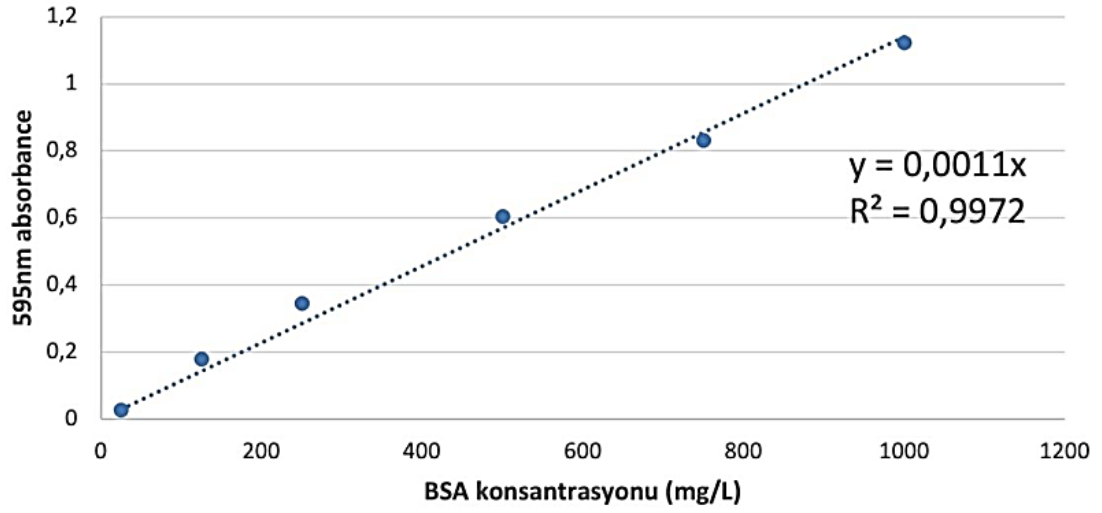
Na_2HPO_4 0.2 g/L

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/L

maya ekstraktı 2 g/L



Ek.6. Bradford Plus analiz yönteminde kullanılan sığır serum albümin (BSA) kalibrasyon eğrisi



BSA kalibrasyon eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

Erfan BAGHERZADEHSURBAGH

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2022 - 2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018 - 2022	Fen Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya