



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI



Polygonatum odoratum İLE HAZIRLANAN KOMBUCHANIN BİYOLOJİK
AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

DUYGU BETÜL ADAŞ

NİSAN 2025

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

Polygonatum odoratum İLE HAZIRLANAN KOMBUCHANIN BİYOLOJİK
AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

DUYGU BETÜL ADAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Cihan DÜŞGÜN

Nisan 2025

Duygu Betül ADAŞ tarafından **Dr. Öğr. Üyesi Cihan DÜŞGÜN** danışmanlığında hazırlanan “*Polygonatum odoratum* ile Hazırlanan Kombuchanın Biyolojik Aktivitelerinin Araştırılması” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyoloji** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Fuat GÜLHAN, Aksaray Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cihan DÜŞGÜN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Elif YÜRÜMEZ CANPOLAT, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Mustafa KARATEPE
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Duygu Betül ADAŞ

ÖZET

Polygonatum odoratum İLE HAZIRLANAN KOMBUCHANIN BİYOLOJİK AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

ADAŞ, Duygu Betül
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cihan DÜŞGÜN

Nisan 2025, 85 sayfa

Bu çalışmada, *Polygonatum odoratum* (Süleyman'ın Mührü Otu) bitkisinden hazırlanan kombucha çayının biyolojik aktiviteleri ve sağlık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geleneksel Çin tıbbında yin tonikleri arasında yer alan bu bitki, antikanser, antioksidan, anti-inflamatuar, nöroprotektif, bağışıklık destekleyici ve metabolik düzenleyici etkileri ile bilinmektedir. Özellikle polisakkarit içeriğiyle dikkat çeken bitkinin bağışıklığı destekleyici, kan şekeri düzenleyici ve yaşlanma karşıtı etkileri bulunmaktadır. Araştırmanın sonuçları, *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha çayının, standart siyah ve yeşil çay bazlı kombuchalara kıyasla daha yüksek antioksidan ve antimikrobiyal etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Bu özel kombucha formülasyonu, bağışıklık sistemini güçlendirme, serbest radikallerle mücadele, inflamasyonu azaltma ve metabolik sağlık üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır. Ayrıca, kanser önleme ve diyabet kontrolünde de potansiyel bir terapötik içecek olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, *P. odoratum* bazlı kombucha, sağlıklı yaşamı destekleyen yenilikçi bir içecek olarak dikkat çekmekte ve geleneksel kombucha formülasyonlarına alternatif bir seçenek sunmaktadır. Bu çalışma, kombucha çayının sağlık alanındaki uygulamalarını genişletmek için önemli bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar sözcükler: Kombucha, *Polygonatum odoratum*, fermentasyon, antioksidan, anti-mikrobiyal

SUMMARY

INVESTIGATION OF BIOLOGICAL ACTIVITIES OF KOMBUCHA PREPARED WITH *Polygonatum odoratum*

ADAŞ, Duygu Betül

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cihan DÜŞGÜN

April 2025, 85 pages

This study examined the biological activities and health effects of kombucha tea prepared with *Polygonatum odoratum* (Solomon's Seal), a plant traditionally used in Chinese medicine. Known as a yin tonic, this plant is recognized for its anti-cancer, antioxidant, anti-inflammatory, neuroprotective, immune-boosting, and metabolic-regulating properties. It is particularly notable for its polysaccharide content, which supports immunity, regulates blood sugar, and exhibits anti-aging effects. The results indicate that kombucha tea prepared with *P. odoratum* possesses higher antioxidant and antimicrobial activities compared to traditional black and green tea-based kombuchas. This unique kombucha formulation enhances immune function, combats free radicals, reduces inflammation, and positively impacts metabolic health. Additionally, it shows potential as a therapeutic beverage in cancer prevention and diabetes management. In conclusion, kombucha based on *P. odoratum* emerges as an innovative beverage that supports healthy living, offering an alternative to traditional kombucha formulations. This study provides a significant foundation for expanding the applications of kombucha tea in the field of health.

Keywords: Kombucha, *Polygonatum odoratum*, fermentation, antioxidant, anti-microbial

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın yürütülmesinde bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cihan DÜŞGÜN'e, tez çalışmalarım sırasındaki her zaman yanımda olan bilgi ve yardımlarından dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Elif YÜRÜMEZ CANPOLAT'a bana maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan eşim Fatih Mehmet ADAŞ'a ve her zaman arkamda olan annem Güllü KORKMAZ, Babam Gürsel KORKMAZ, Kız kardeşlerim Ayten KORKMAZ, Esra ATAÖĞLU, Gizem MELEKŞAH ve erkek kardeşim İsmet Mehmet KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunar ve bu tezi kızım Umay Alya ADAŞ'a ithaf ederim.

Bu çalışma, FMT 2023/7-LÜTEP numaralı projeden üretilmiş olup, projeye destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM II	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1 Çay	3
2.2 Kombucha	4
2.3 Kombucha Tarihiçesi	5
2.4 Kombucha Fermentasyon Süreci	6
2.4.1 Mikroorganizma işleyişi	7
2.4.2 Organik asitler ve antioksidanlar	8
2.4.3 Şeker, pH ve fermantasyon koşulları	8
2.5 Kombucha Fermentasyonunu Etkileyen Faktörler	9
2.5.1 Sıcaklık	10
2.5.2 pH seviyesi.....	10
2.5.3 Şeker konsantrasyonu	10
2.5.4 Oksijen miktarı	11
2.5.5 Çayın türü	11
2.5.6 SCOBY'nin sağlığı	12
2.5.7 Mineral içeriği	12
2.5.8 Katkı maddeleri	12
2.6 Simbiyotik Bakteri ve Maya Kültürü (SCOBY).....	13
2.7 Bakteri.....	14
2.8 Maya	14

2.9 Kombuchanın Anti-inflamatuar ve İmmünomodülatör Aktiviteleri.....	14
2.9.1 Anti-inflamatuar aktiviteleri	15
2.9.2 İmmünomodülatör aktiviteleri	15
2.10 Kombuchanın Antimikrobiyal Aktiviteleri.....	16
2.11 Kombuchanın Antibakteriyel Aktiviteleri	17
2.11.1 Kombuchanın antimikrobiyal mekanizmaları	18
2.11.2 Kombuchanın farklı çay türleri ile antimikrobiyal etkileri.....	19
2.12 Kombuchanın Antifungal Aktiviteleri	19
2.13 Kombuchanın Antidiyabetik Özelliği	20
2.13.1 Kombuchanın antidiyabetik bileşenleri	20
2.13.2 Glikoz metabolizması ve insülin duyarlılığı.....	21
2.13.2.1 Pankreas fonksiyonu ve insülin üretimi.....	21
2.13.2.2 İnsülin duyarlılığının artırılması	21
2.14 Kombuchanın Anti Kanser Özelliği	22
2.15 Kombuchanın Antioksidan Özellikleri	22
2.16 Ticari Kombucha Trendleri	24
2.17 <i>Polygonatum odoratum</i> (Süleymanın Mührü Otu).....	24
2.18 <i>Polygonatum odoratum</i> 'un Sağlığa Faydaları	25
2.18.1 Nöroprotektif etkileri	26
2.18.2 Hormon dengeleyici etkiler	26
2.18.3 Metabolik sendrom ve obezite üzerine etkileri.....	27
2.18.4 Kemik sağlığı üzerine etkileri.....	27
2.18.5 Anti kanser etkileri	27
2.18.6 Deri sağlığı ve yaşlanma karşıtı etkileri	27
2.18.7 Kardiyovasküler hastalıklar üzerindeki etkileri.....	28
2.19 Literatür Özeti.....	28
2.20 Tezin Amacı.....	39
BÖLÜM III	41
MATERYAL METOT	41
3.1 Kombucha Örneklerinin Hazırlanması	41
3.2 pH Ölçümleri	42
3.3 DPPH Radikal Süpürücü Aktivite Tayini	43
3.4 Bakır (II) İndirgeyici Antioksidan Kapasite yöntemi (CUPRAC)	44
3.5 Total Fenol içeriği.....	46

3.6 Anti-mikrobiyal Özelliklerin Belirlenmesi	47
3.7 Anti-Mikrobiyal Özelliklerin Belirlenmesi.....	49
BÖLÜM IV	50
BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1 pH Ölçümü Sonuçları	50
4.2 Total Fenolik Madde İçeriği	53
4.3 Kombucha Örneklerinin Antioksidan Özelliklerin Değerlendirilmesi	55
4.4 Anti-mikrobiyal Test Sonuçları	60
BÖLÜM V	68
SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	70
ÖZ GEÇMİŞ	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Kombucha örneklerinin pH ölçümü sonuçları.....	51
Çizelge 4.2. Total fenolik madde içeriği analizi	53
Çizelge 4.3. Kombucha örneklerin DPPH radikal giderim aktivite sonuçları	55
Çizelge 4.4. CUPRAC antioksidan sonuçları	57
Çizelge 4.5. Kombucha örneklerinin <i>E. coli</i> suşunda oluşturduğu zon çapları	60
Çizelge 4.6. Kombucha örneklerinin <i>Salmonella thymurium</i> suşunda oluşturduğu zon çapları.....	62
Çizelge 4.7. Kombucha örneklerinin <i>Bacillus subtilis</i> suşunda oluşturduğu zon çapları.....	63
Çizelge 4.8. Kombucha örneklerinin <i>Candida albicans</i> suşunda oluşturduğu zon çapları.....	64
Çizelge 4.9. Kombucha örneklerinin <i>Pseudomonas aeruginosa</i> suşunda oluşturduğu zon çapları.....	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. <i>Polygonatum odoratum</i> bitkisinin çiçeklenmesi (Bi vd., 2023).....	25
Şekil 3.1. Bitki örneklerinin tartılması, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> kökü(b).	41
Şekil 3.2. Bitki örneklerinin infüzyonları, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b)....	42
Şekil 3.3. Bitki örneklerinin iklim kabini fermentasyonu, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b).....	43
Şekil 4.1. Kombucha fermentasyonu sonucu oluşan ürünler, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b)	50
Şekil 4.2. Kombucha örneklerinin pH sonuçları.....	51
Şekil 4.3. Kombucha örneklerinin total fenolik madde içeriği sonuçları	54
Şekil 4.4. Kombucha örneklerinin DPPH serbest radikali giderim sonuçları	56
Şekil 4.5. CUPRAC antioksidan özellik sonuçları	58
Şekil 4.6. Kombucha örneklerinin <i>E. coli</i> suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b).....	61
Şekil 4.7. Kombucha örneklerinin <i>Salmonella thymurium</i> suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b)	62
Şekil 4.8. Kombucha örneklerinin <i>Bacillus subtilis</i> suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b)	63
Şekil 4.9. Kombucha örneklerinin <i>Candida albicans</i> suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b)	64
Şekil 4.10. Kombucha örneklerinin <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), <i>Polygonatum odoratum</i> (b)	65

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
$C_6H_{12}O_6$	Şeker
CH_3CH_2OH	Etanol
CO_2	Karbondioksit
CH_3CHO	Asetaldehit
O_2	Oksijen
H_2O	Su
$C_{12}H_{22}O_{11}$	Sukroz
$RCOO-$	Organik asit
$-OH$	Hidroksil iyonu
Kısaltmalar	Açıklama
FOSHU	Gıdanın Sağlıklı Yaşam İçin Kullanımı
ILSI	Uluslararası Yaşam Bilim Enstitüsü
SCOPY	Bakteri ve Maya Simbiyotik Kültürü
LAB	Laktik Asit Bakterisi
AAB	Asetik Asit Bakterisi
GRAS	Genellikle Güvenli Kabul Edilme
EC	Epikateşin
ECG	Epikateşin-3-Gallat
EGC	Epigallokateşine
EGCG	Epigallokateşin-3-Gallat
TR	Thearubigin
TF	Theaflavin
RSC	Radikal Süpürme Kapasitesi

BÖLÜM I

GİRİŞ

İnsanlar sürekli olarak genel sağlıklarını ve refahlarını iyileştirmenin yollarını aramaktadır, bu da modern tıpta teknolojinin gelişimi ve kullanımında görülebilir. Son zamanlardaki tüm tıbbi gelişmelere rağmen, sağlıklı bir vücudun ilk olarak insanların tükettiği gıdalardan geldiği söylenebilir. Yenilen gıdanın türüne bağlı olarak vücudun çalışması için besin sağlar ve kişiyi sağlıklı tutar. Fonksiyonel gıdalar çeşitli şekillerde tanımlanabilir; (Topolska vd., 2021) bunları geleneksel gıda görünümünde olan ve bulaşıcı olmayan hastalık riskini azaltmak için günlük diyete dahil edilen gıdalar olarak tanımlamaktadır. Avrupa Birliği ise fonksiyonel gıdaları vücutta hedeflenen olumlu işlevlere sahip ürünler olarak sınıflandırmaktadır (Çakiroğlu ve Uçar, 2018). Genel olarak, fonksiyonel gıdalar vücudun temel işlevlerini yerine getirmesi için gerekli değildir, ancak tüketildiklerinde kişinin refahını artırmak için belirli sağlık yararları sağlayabilir.

Kombucha bir tür fonksiyonel gıda olarak kabul edilebilir. Simbiyotik bakteri ve maya kültürü (SCOBY) olarak bilinen bir çay mantarı tarafından tatlandırılmış çayın fermantasyonundan elde edilen bir probiyotik içecek türüdür. Hafif gazlı içecek, tadı ekşi ve tatlı arasında dengelenen keskin bir tada sahiptir. Sağlık açısından çok sayıda fayda sağladığı iddia edilmektedir.

Kombucha tüketimi, esas olarak sindirimi iyileştirdiği ve özellikle bağırsak sağlığına iyi geldiği bilinmektedir. Düzenli olarak kombucha tüketmenin diğer faydaları arasında bağışıklık sistemini güçlendirmek, kolesterolü düşürmek ve anti-diyabetik özellikler sağlamak yer almaktadır (Kayisoğlu ve Coşkun, 2020). Kombucha endüstrisi, genç neslin sağlıkları konusunda daha bilinçli hale gelmesi ve sağlıklı gıda trendlerinde görüldüğü gibi inisiyatif alması nedeniyle son yıllarda büyümektedir. Ticari pazarda bulunan yaygın kombucha türleri, *Camellia sinensis* bitkisinden gelen siyah ve yeşil çaylar gibi yaygın olarak yetiştirilen çay yapraklarından hazırlananları içerir (Kim ve Adhikari, 2020). Diğer çay yaprağı çeşitlerine girişen çok az ürün olmuştur, bu nedenle kombucha hazırlanmasında diğer benzersiz çay yaprağı çeşitlerinin potansiyel kullanımını incelemek ilginç olabilir.

GlobalData tarafından 2021 yılında yapılan bir tüketici anketinde de görüldüğü üzere, Malezya'da kombucha tüketiminin geleceği parlaktır ve Malezyalıların %59'u probiyotik içeceklerle yönelik olumlu bir algıya sahiptir (Anonymous, 2024). Malezya, Cameron Highlands'da bulunan ve çoğunlukla siyah çay yaprakları yetiştiren çay tarlalarıyla bilinmektedir. Bununla birlikte, Gopeng, Perak'ta bulunan ve agarwood (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) çay yaprakları yetiştirmeye odaklanan bir başka yerel çay plantasyonu daha bulunmaktadır. Aquilaria ağacı genellikle reçinesi için kullanılır, ancak folium ve kabuk gibi bitki materyalleri de üreticiler tarafından agarwood çayı olarak bilinen bir ürünü pazarlamak için kullanılmıştır. Bu çay, anti-inflamatuar, kardiyoprotektif ve antikanser özellikleri gibi çeşitli farmakolojik ve antioksidan özellikler sunmaktadır (Hashim vd., 2016). Bu nedenle de agarwood çayının farklı fonksiyonel gıda türlerine dahil edilen etkilerini incelemek ilginçtir. Şu anda, agarwood çay yapraklarının kombucha demlemek için bir çay tabanı olarak kullanılmasına ilişkin sınırlı çalışma vardır ve bu konuyla ilgili olarak (Nurmiati ve Wijayanti, 2018) tarafından yapılmış yalnızca bir araştırma makalesi bulunmaktadır.

Piyasada, tüketicilerin aralarından seçim yapabileceği çeşitli aromalar sunan birçok farklı marka kombucha bulunmaktadır. Bu ürünlerin çoğu bir yerine en az iki aroma içermekte olup, en yaygın aroma türleri meyveler, otlar veya her ikisinin bir kombinasyonunu içermektedir (Kim ve Adhikari, 2020; Nyhan vd., 2022). Birçok içeceğin üzerine, içeceğin genel tadını yükseltmek için ferahlatıcı hisler sağlamak amacıyla genellikle nane eklenir. Her iki aroma bileşeninin de yaygın olarak kullanıldığı kanıtlandığından, bu kombinasyonun agar ağacı çayı bazlı kombuchaya infüzyonu ilginç bir çalışma gerektirmektedir.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

2.1 Çay

Çay, tüketilmeden önce demlenmesi için çay yapraklarının sıcak suda birkaç dakika demlenmesiyle elde edilen bir içecek türüdür. Çin kökenlidir ve günümüzde kahve ile birlikte dünya çapında en çok tüketilen içeceklerden biridir (Marques vd., 2017). Dünya genelinde lokasyona bağlı olarak tüketilen birçok çay türü bulunmaktadır. Örneğin, Çin çayları Asya ülkelerinde daha çok tercih edilirken, İngiliz çayları Batı ülkelerinde tercih edilmektedir. Çay, bitki çeşidi, sınıfı ve pazar adı gibi faktörlere göre sınıflandırılabilir (Adam vd., 2017). Çayın bazı yaygın örnekleri arasında siyah, yeşil, beyaz ve oolong yer alır ve bunlar yaprakların geçirdiği işlem türüne göre kategorize edilir. Khan ve Mukhtar (2013) göre, yeşil çay yaprakları fermente edilmez, siyah çay yaprakları fermente edilir ve oolong çay yaprakları yarı fermente edilir, burada yaprakların daha fazla fermente olmasını önlemek için fermantasyondan sonra tavada pişirme işlemi yapılır. Genel olarak insanlar çayı, yeşil çayın siyah çaya kıyasla daha yüksek antioksidan özelliklere sahip olduğu sağlık yararları için tüketmektedir. Çayların kuru maddesinde polifenoller, kafein, şekerler ve yağ asitleri bulunduğu tespit edilmiştir (Marques vd., 2017).

Siyah çay ve yeşil çay dünya çapında tüketilen en yaygın çay türleridir. Her ikisi de *Camellia sinensis* bitki türüne aittir. Siyah çay theaflavinler, thearubiginler ve epigallokateşin gallat gibi bileşikler içerirken, yeşil çay kateşinler ve flavonoller içerir (Rasheed, 2019). Yeşil çaydaki kateşinler epikateşin (EC), epigallokateşin (EGC) ve epigallokateşin gallat (EGCG) içerir. Her iki çayın da düzenli tüketimi vücut için birçok sağlık faydası sağlar. Siyah çay, serbest radikalleri temizleyebilen antioksidanlara sahiptir, böylece kronik hastalıkların başlama olasılığını azaltır (Rasheed, 2019). Yeşil çay ise kolesterolü düzenleyebilir ve vücuttaki enflamatuvar tepkileri azaltabilir (Prasanth vd., 2019).

2.2 Kombucha

Kombucha, tatlandırılmış çayın simbiyotik bir bakteri ve maya kültürü (SCOBY) kullanılarak yaklaşık bir hafta boyunca fermente edilmesi sonucu elde edilen içecektir (Villarreal-Soto vd., 2018). Tadı, güçlü bir ekşi koku ile birlikte elma sirkesine benzer. SCOBY'deki mikroplar tarafından karbondioksit salınımından kaynaklanan hafif bir efervesans da mevcuttur (May vd., 2019). Bu duyuşsal profil nedeniyle, tercihlere bağlı olarak kombucha içmekten hoşlananların yanı sıra hoşlanmayanlar da olacaktır. Kombuchanın temel amacı, vücut için çeşitli sağlık yararları sağladığı lanse edilen tüketimdir. Hem in vitro hem de in vivo olarak kapsamlı bir şekilde çalışılmış olan antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahiptir (Kapp ve Sumner, 2019). Sonuçlar bu çalışmalardan kombuchanın hazımsızlık, hipertansiyon ve artrit gibi rahatsızlıkları tedavi edebildiğini göstermiştir (Kayışoğlu ve Coşkun, 2020). Ancak, bu çalışmalara rağmen bazı şüpheler olabilir. Kapp ve Sumner (2019) tarafından yürütölen sistemik bir inceleme, kombuchanın sağlığa faydaları konusunda insan denekleri üzerinde yapılan araştırmalara dayanan ampirik kanıtların eksik olduğu sonucuna varmıştır. Buna rağmen, içeceğin insanlar için belirli ölçüde avantajlar sağladığına inanılmaktadır. Buna ek olarak, kombucha kullanımının tüketimle sınırlı olmadığı, artık cilt bakım ürünlerinde de kullanıldığı belirtilebilir (Bressani vd., 2024; Pakravan vd., 2017; Ziemlewska vd., 2023). Şirketler bu ürünleri, serbest radikalleri temizleyen antioksidan içeriği nedeniyle kombuchanın cilt için sayısız faydasını teşvik edecek şekilde pazarlamaktadır.

Kombucha bir tür fermente içecek olduğundan, benzer şekilde hazırlanan bir içeceğe de dikkat çekilebilir. Kombuchanın daha az bilinen bir muadili olan "Jun" (veya Xun), kombucha ile benzer şekilde karbonatlı bir son ürün elde etmek için demleme sırasında bir SCOBY kullanan başka bir fermente içecek türüdür. Bununla birlikte, her iki içecekte de farklı malzemeler kullanılmaktadır; kombucha için siyah çay ve şeker kullanılırken, Jun için yeşil çay ve bal kullanılmaktadır (Kulkarni, 2022). Ayrıca, kombucha en az bir hafta fermente edilmelidir, Jun ise 3-7 gün arasında fermente edilebilir. Bu da daha az asidik bir içeceğe yol açmaktadır.

2.3 Kombucha Tarihçesi

Kombucha, yaklaşık 2000 yıl önce Asya'da ortaya çıktığı düşünülen fermente edilmiş bir içecektir. Tarihi kökenleri net olmasa da bu içeceğin Çin'de Qin Hanedanlığı döneminde (M.Ö. 221-206) tüketildiğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Çinliler tarafından "Ölümsüzlük İksiri" olarak bilinen kombucha, başta sindirim sorunları ve bağışıklık sistemi problemleri olmak üzere birçok sağlık sorununa çare olarak tüketilmiştir (Villarreal-Soto vd., 2018). Tarih boyunca Doğu Asya'da sağlıklı yaşamın bir sembolü olan kombucha, bu dönemde büyük saygı görmüştür.

Çin'den sonra kombuchanın Japonya'ya yayıldığı düşünülmektedir. Efsanelere göre, Koreli bir doktor olan Kombu, MS 414 yılında Japon İmparatoru Ingyo'yu bu içeceklerle tedavi etmiş, böylece kombucha Japon kültürüne de girmiştir. Doktor Kombu'nun onuruna bu içeceğe "kombucha" adı verilmiştir. Japonya'da, çay tüketimi zaten büyük bir kültürel öneme sahipti ve kombucha da bu geleneğe eklenerek yaygın bir içecek haline geldi (Jayabalan vd., 2014).

Kombuchanın Avrupa'ya yayılması ise 20. yüzyılın başlarına rastlar. İlk olarak Rusya'da popüler hale gelen kombucha, burada "çay mantarı" adıyla bilinir. Rusya'da özellikle kırsal kesimde kombuchanın bağışıklık sistemini güçlendirdiği ve enfeksiyonlarla savaşmaya yardımcı olduğu düşünüldükçe geniş çapta tüketilmiştir (Siever ve Lan, 2016). 20. yüzyılın başında, kombucha özellikle Sibiry ve Rusya'nın kuzey bölgelerinde büyük bir halk sağlığı ürünü olarak benimsenmiştir. Çarlık döneminden sonra ise komünist rejim döneminde bu içecek yayılmaya devam etmiş ve bilimsel araştırmalar da yapılmaya başlanmıştır.

Almanya'da kombucha üzerine yapılan ilk bilimsel araştırmalar 20. yüzyılın ortalarında gerçekleşmiştir. Bu çalışmalar, kombuchanın sağlık üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik olup, özellikle içeceğin antibakteriyel ve antioksidan özelliklerini incelemiştir (Mayer vd., 1995). Almanya'da bu dönemde kombucha tüketimi, özellikle sindirim sistemi rahatsızlıkları ve detoksifikasyon amaçlı olarak artmıştır.

Kombuchanın Amerika Birleşik Devletleri'ne yayılması ise 1990'lı yıllarda gerçekleşmiştir. Amerika'da kombucha, ilk olarak alternatif sağlık toplulukları

tarafından keşfedilmiş ve büyük şehirlerde popüler bir içecek haline gelmiştir. Özellikle probiyotik özellikleri ve bağırsak sağlığına faydaları üzerine yapılan araştırmalar, bu içeceğin sağlıklı yaşam tarzlarının bir parçası olarak benimsenmesine yol açmıştır (Blanc, 1996). 21. yüzyılda ise kombucha, global bir trend haline gelerek büyük bir endüstri yaratmıştır. Büyük markalar kombucha üretimine başlamış ve içecek, dünya çapında birçok ülkede tüketilmeye başlanmıştır (Markov vd., 2001).

Kombuchanın fermentasyon süreci, sağlık faydalarının temel kaynağı olarak görülmektedir. Bu süreç, kombuchaya probiyotik özellikler kazandırırken aynı zamanda vitaminler, asitler ve enzimler gibi biyoaktif bileşenlerin oluşmasına neden olur. Özellikle simbiyotik bakteri ve maya (SCOBY) kültürü, şekerin fermente edilmesi sürecinde önemli bir rol oynar (Chen ve Liu, 2000). Kombuchanın sağlıklı yaşam tarzı ile ilişkilendirilmesi, bu biyoaktif bileşenlerin bağırsak sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinden kaynaklanmaktadır.

Günümüzde kombucha, sadece sağlıklı yaşamın bir sembolü değil, aynı zamanda büyük bir ticari ürün haline gelmiştir. Dünyanın dört bir yanında birçok farklı aroma ve bileşimle üretilen kombucha, doğal ve organik ürünlere artan talep doğrultusunda geniş bir tüketici kitlesi tarafından tercih edilmektedir (Villarreal-Soto vd., 2018). Kombuchanın global pazardaki büyümesi, içeceğin sadece geleneksel tıp ürünlerinden biri olmaktan çıkıp, modern tüketici taleplerine cevap veren bir içecek haline geldiğini göstermektedir.

Kombucha, tarihsel olarak uzun bir yolculuğa sahip olan ve farklı kültürlerde farklı sağlık amaçlarıyla kullanılan bir içecektir. Modern dönemde yapılan bilimsel araştırmalar, bu içeceğin sağlık üzerindeki faydalarını daha iyi anlamamıza yardımcı olmuş ve kombuchanın global popüleritesinin artmasına katkıda bulunmuştur.

2.4 Kombucha Fermentasyon Süreci

Kombucha, fermente edilmiş bir çay olup, tatlandırılmış çayın simbiyotik bakteri ve maya (SCOBY) kültürü kullanılarak fermente edilmesiyle elde edilir. Kombuchanın fermentasyon süreci, maya ve bakterilerin bir arada çalışarak şekerin alkol ve asitlere dönüştürülmesiyle karakterize edilen karmaşık biyokimyasal reaksiyonlar içerir

(Greenwalt vd., 2000a). Bu fermantasyon işlemi, kombuchanın probiyotik, antioksidan ve organik asit içeriğini zenginleştirir, bu da içeceğin sağlık açısından birçok fayda sağlamasına neden olur (Chen ve Liu, 2000).

Fermantasyon süreci iki temel aşamadan oluşur. İlk aşamada, maya kültürleri (*Zygosaccharomyces* spp. gibi) şekeri parçalayarak alkol ve karbondioksite dönüştürür (Blanc, 1996). Bu aşama, içeceğin hafif gazlı yapısını ve ferahlatıcı tadını oluşturur. İkinci aşamada, asetik asit bakterileri (*Acetobacter* spp.) bu alkolü asetik aside dönüştürür. Bu dönüşüm, kombuchanın düşük pH'lı, ekşi ve keskin tadını oluşturur (Dufresne ve Farnworth, 2000). Aynı zamanda, bu organik asitlerin üretimi, kombuchanın antimikrobiyal özelliklerini sağlar ve potansiyel olarak patojenlere karşı koruyucu bir etkisi olduğu düşünülür (Jayabalan vd., 2014).

2.4.1 Mikroorganizma işleyişi

Kombuchanın fermantasyon sürecinde, maya ve bakterilerin simbiyotik ilişkisi belirleyici bir faktördür. Maya, şekerin (genellikle sakkaroz) fermente edilmesi yoluyla etanol üretirken, bakteriler bu etanolü asetik asit gibi organik asitlere dönüştürür (Siever ve Lan, 2016). Bu süreçte üretilen asetik asit, kombuchaya karakteristik keskinliğini kazandırmanın yanı sıra, potansiyel olarak zararlı mikroorganizmaların büyümesini de engeller (Mayser vd., 1995). Fermantasyon sürecinde ayrıca laktik asit ve glukonik asit gibi diğer organik asitler de üretilir ve bunlar kombuchanın biyoaktif özelliklerini artırır (Chen ve Liu, 2000).

Fermantasyon sırasında kombuchanın besin içeriği de değişir. Özellikle B vitaminleri (B1, B2, B6, B12) fermantasyon süreci boyunca üretilir ve bu vitaminlerin sağlık açısından faydalı olduğu bilinmektedir. Ayrıca, glukuronik asit gibi bileşenlerin üretilmesi, kombuchanın potansiyel detoksifikasyon etkilerini destekler (Blanc, 1996). Glukuronik asit, vücutta toksinleri bağlayan ve bunların böbrekler yoluyla atılmasını kolaylaştıran bir bileşen olarak bilinir (Jayabalan vd., 2014).

2.4.2 Organik asitler ve antioksidanlar

Kombuchanın fermantasyon sürecinde en yaygın olarak üretilen organik asitlerden biri asetik asittir. Asetik asit, fermantasyonun son aşamalarında etanolün oksidasyonu ile üretilir ve düşük pH'lı, koruyucu bir ortam sağlar. Aynı zamanda kombuchanın kendine has keskin tadını verir. Bu organik asit, patojenik mikroorganizmaların gelişimini engelleyerek kombuchanın korunmasına yardımcı olur (Villarreal-Soto vd., 2018).

Fermantasyon süresince ayrıca polifenoller ve kateşinler gibi antioksidan bileşenler de artar. Özellikle yeşil çayla yapılan kombucha, yüksek seviyelerde kateşin içerir ve bu bileşenler, fermantasyon sürecinde daha biyoyararlanabilir hale gelir (Chen ve Liu, 2000). Polifenoller, kombuchanın antioksidan kapasitesini artırır ve hücrel hasarları önleyici etkiler sağlayabilir (Greenwalt vd., 2000b). Antioksidanlar, serbest radikallerin nötralize edilmesine yardımcı olarak oksidatif stresi azaltır ve bu da kronik hastalıkların riskini azaltabilir (Jayabalan vd., 2014).

2.4.3 Şeker, pH ve fermantasyon koşulları

Fermantasyonun başarısı, başlangıçtaki şeker konsantrasyonu, çayın türü ve fermantasyon süresi gibi faktörlere bağlıdır. Genellikle kombucha üretiminde çay (*Camellia sinensis*) ve şeker (sakkaroz) kullanılır. Fermantasyonun başında kombuchanın pH değeri 5-6 civarındadır, ancak fermantasyon süreci ilerledikçe bu değer 2.5-3'e kadar düşer, bu da içeceğin asidik yapısını oluşturur (Markov vd., 2001). Daha uzun fermantasyon süreleri, daha yüksek asit seviyelerine ve daha düşük pH değerlerine yol açarak içeceği daha keskin hale getirir (Chen ve Liu, 2000).

Sıcaklık da fermantasyon hızını etkileyen önemli bir faktördür. Genellikle 20-30°C aralığında yapılan fermantasyon, ideal mikroorganizma aktivitesini destekler. Daha yüksek sıcaklıklar, fermantasyonun hızını artırabilir, ancak aşırı sıcaklıklar mikroorganizma kültürlerine zarar verebilir ve fermantasyon sürecini olumsuz etkileyebilir (Blanc, 1996). Fermantasyon sırasında oksijenin varlığı da önemlidir, çünkü kombucha, aerobik bir fermantasyon süreci gerektirir. Yeterli oksijenin sağlanmaması, fermantasyonun durmasına veya düşük kaliteli ürün elde edilmesine yol açabilir (Dufresne ve Farnworth, 2000).

Kombucha fermantasyon sürecinde üretilen probiyotik bakteriler, bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesine yardımcı olur. Bu canlı mikroorganizmalar, bağırsaklardaki faydalı bakterilerin büyümesini destekleyerek sindirimi iyileştirebilir ve bağışıklık sistemini güçlendirebilir (Siever ve Lan, 2016). Fermantasyon sürecinde üretilen laktik asit bakterileri, probiyotik etkilere sahiptir ve bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterebilir (Villarreal-Soto vd., 2018). Ayrıca, kombuchanın antibakteriyel özellikleri, patojenik bakterilere karşı koruyucu bir etki sağlayabilir (Jayabalan vd., 2014).

Kombuchanın fermantasyon süreci sonucunda ortaya çıkan glukuronik asit, vücuttaki toksinlerin detoksifikasyonuna yardımcı olabilir. Glukuronik asit, toksik bileşiklerin vücuttan atılmasını hızlandıran bir bileşendir ve bu da kombuchanın potansiyel detoks etkilerini açıklayabilir (Chen ve Liu, 2000). Bu bileşen, karaciğerin işlevini destekleyerek vücudun genel detoksifikasyon sürecini artırabilir.

Kombuchanın fermantasyon süreci, birçok biyokimyasal reaksiyon ve mikroorganizmanın etkileşimiyle gerçekleşen karmaşık bir süreçtir. Şekerin etanol ve organik asitlere dönüştürülmesi, kombuchanın kendine özgü tat ve biyoaktif bileşenlerini sağlar. Fermantasyon sürecinin yönetimi, kombuchanın besin içeriğini, probiyotik bileşenlerini ve sağlık yararlarını optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar, kombuchanın fermantasyon sürecinde oluşan bileşenlerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini doğrulamış ve bu içeceğin popülaritesinin artmasına katkıda bulunmuştur.

2.5 Kombucha Fermentasyonunu Etkileyen Faktörler

Kombuchanın fermantasyonu, birçok biyokimyasal süreçten ve çeşitli çevresel faktörlerden etkilenir. Bu faktörler arasında sıcaklık, pH, şeker konsantrasyonu, kullanılan çayın türü, oksijen miktarı ve fermantasyon süresi yer alır. Fermantasyon sürecinin verimli ve güvenli bir şekilde gerçekleşmesi için bu değişkenlerin dikkatle kontrol edilmesi gerekir. Fermantasyon sırasında simbiyotik bakteri ve maya (SCOBY) kültürünün etkinliği, bu faktörlerin bir sonucu olarak belirlenir ve kombuchanın tadı, asiditesi ve besin değeri doğrudan bu koşullara bağlıdır (Greenwalt vd., 2000b). Sıcaklık ve pH gibi faktörlerin kontrolü, fermantasyon süresince mikroorganizmaların

aktivitelerini düzenlerken, çayın türü ve eklenen katkı maddeleri kombuchanın nihai tat profilini belirler. Kombucha fermantasyonunun başarıyla gerçekleşmesi, bu değişkenlerin dengeli bir şekilde yönetilmesine bağlıdır.

2.5.1 Sıcaklık

Sıcaklık, kombucha fermantasyonunun hızını ve etkinliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Optimal sıcaklık aralığı genellikle 20-30°C arasında kabul edilir. 20°C'nin altındaki sıcaklıklar fermantasyon sürecini yavaşlatırken, 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklar fermantasyon hızını artırabilir ancak aşırı sıcaklıklar SCOBY'nin dengesini bozabilir ve istenmeyen tat profillerine yol açabilir (Jayabalan vd., 2014). Yüksek sıcaklıklar, özellikle etanol ve asetik asit üretimini hızlandırabilir ve bu da kombuchanın daha keskin ve asidik olmasına neden olabilir (Villarreal-Soto vd., 2018). Sıcaklık ayrıca fermantasyon sırasında mikroorganizma çeşitliliğini de etkileyebilir. Örneğin, daha yüksek sıcaklıklarda maya kültürlerinin aktivitesi artarken, daha düşük sıcaklıklar asetik asit bakterilerinin baskın hale gelmesine neden olabilir (Chen ve Liu, 2000).

2.5.2 pH seviyesi

Fermantasyonun başlangıcında kombuchanın pH seviyesi genellikle 5-6 civarındadır. Fermantasyon süreci ilerledikçe asetik asit bakterileri etanolü asetik aside dönüştürür ve bu da pH seviyesinin düşmesine neden olur. Fermantasyonun sonunda pH değeri 2.5-3 civarına düşer, bu da içeceğin asidik ve keskin tadını oluşturur (Dufresne ve Farnworth, 2000). Düşük pH seviyeleri, zararlı mikroorganizmaların büyümesini engeller ve kombuchanın güvenli bir şekilde tüketilebilmesini sağlar (Blanc, 1996). Ph seviyesinin izlenmesi, fermantasyonun ne zaman sonlandırılacağına karar verilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, fermantasyon süresince pH seviyesinin düşük olması kombuchanın raf ömrünü uzatan önemli bir faktördür (Jayabalan vd., 2014).

2.5.3 Şeker konsantrasyonu

Şeker, fermantasyonun ana enerji kaynağıdır ve maya ile bakterilerin etkileşimini sağlar. Fermantasyon sırasında maya, şekeri fermente ederek etanol ve karbondioksit döndürürken, bakteriler bu etanolü asetik asit gibi organik asitlere dönüştürür (Siever

ve Lan, 2016). Başlangıçtaki şeker konsantrasyonu fermantasyon hızını ve nihai ürünün tadını doğrudan etkiler. Genellikle %5 ila %10 arasında bir şeker çözeltisi, optimal fermantasyon için idealdir (Chen ve Liu, 2000). Yüksek şeker konsantrasyonları, fermantasyon sürecinin uzamasına neden olabilir ve daha keskin, asidik bir tat profili oluşturabilir. Şeker miktarının fazla olması, fermantasyonun sonunda daha yüksek alkol ve asetik asit seviyelerine yol açar, bu da kombuchanın daha keskin bir tada sahip olmasını sağlar (Villarreal-Soto vd., 2018).

2.5.4 Oksijen miktarı

Kombucha, aerobik (oksijenli) bir fermantasyon gerektirir, bu nedenle oksijenin varlığı fermantasyon sürecinde kritik bir rol oynar. SCOBY'nin yüzeye yerleşmesi ve oksijenin serbestçe erişilebilmesi, fermantasyon sürecini olumlu yönde etkiler. Oksijen eksikliği, asetik asit bakterilerinin etanolü asetik aside dönüştürme yeteneğini sınırlar ve fermantasyon sürecini yavaşlatır (Blanc, 1996). Yeterli oksijen olmadan, fermantasyonun tam olarak gerçekleşmesi mümkün değildir ve bu da kombuchanın besin değerini ve tat profilini olumsuz etkiler (Dufresne ve Farnworth, 2000). Oksijen varlığı, aynı zamanda fermantasyon sırasında zararlı anaerobik bakterilerin büyümesini de engeller.

2.5.5 Çayın türü

Kombucha fermantasyonunda genellikle siyah çay, yeşil çay veya bunların karışımları kullanılır. Çayın içeriğı, kombuchanın tadı, rengi ve antioksidan kapasitesini doğrudan etkiler. Yeşil çay, yüksek antioksidan kapasitesiyle bilinir ve kombucha fermantasyonu sırasında polifenollerin biyoyararlanımı artar (Jayabalan vd., 2014). Siyah çay ise kombuchaya daha güçlü bir tat ve koyu renk verir. Ayrıca, çayın türü kombuchanın mikrobiyal yapısını da etkileyebilir. Siyah çayda bulunan daha yüksek tanen seviyeleri, fermantasyon süresince asiditeyi artırabilir ve mikroorganizmaların aktivitelerini yönlendirebilir (Villarreal-Soto vd., 2018). Yeşil çaydan yapılan kombucha, daha hafif bir tada ve daha yüksek antioksidan içeriğine sahip olabilir (Chen ve Liu, 2000).

2.5.6 SCOBY'nin sağlığı

SCOBY, kombucha fermantasyonunda merkezi bir role sahiptir. SCOBY'nin sağlıklı ve aktif bir durumda olması, fermantasyonun verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. SCOBY, bakteriler ve mayalar arasında simbiyotik bir ilişki oluşturur ve bu organizmaların dengesizliği fermantasyon sürecini olumsuz etkileyebilir (Siever ve Lan, 2016). Eski veya zayıflamış bir SCOBY, fermantasyonun yavaşlamasına neden olabilir ve bu da ürünün kalitesini düşürebilir. Yeni bir SCOBY'nin kullanılması veya mevcut SCOBY'nin düzgün bir şekilde bakımı, fermantasyon sürecinin etkinliğini artırır (Greenwalt vd., 2000a). Ayrıca, her fermantasyon döngüsünde SCOBY'nin yeni katmanlar oluşturması, fermantasyon sürecinin sürekliliğini sağlar.

2.5.7 Mineral içeriği

Fermantasyon ortamındaki mineraller, mikroorganizmaların aktivitesini destekler ve kombuchanın biyokimyasal yapısını etkiler. Çayda bulunan mineraller, özellikle demir, magnezyum ve çinko, fermantasyon sırasında enzimlerin aktivitesini artırır ve mikroorganizmaların metabolik süreçlerini hızlandırır (Jayabalan vd., 2014). Mineral eksikliği, fermantasyon hızını azaltabilir ve ürünün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle ayın mineral içeriği, kombuchanın besin değerine ve probiyotik bileşenlerine katkıda bulunur (Villarreal-Soto vd., 2018).

2.5.8 Katkı maddeleri

Fermantasyon sırasında eklenen meyve suları, bitkisel zler veya şifalı otlar gibi katkı maddeleri, kombuchanın tat profilini etkileyebilir ve fermantasyon süresini değeristirebilir. Meyve suları, ek şeker kaynağı olarak hizmet edebilir ve bu da fermantasyon sürecini uzatabilir. Örneğin, zencefil veya nane gibi bitkisel katkılar, fermantasyon sırasında maya ve bakteri aktivitelerini artırabilir ve ürünün besin içeriğini zenginleştirebilir (Villarreal-Soto vd., 2018). Katkı maddeleri ayrıca, fermantasyon sırasında üretilen antioksidanların ve organik asitlerin miktarını etkileyebilir.

2.6 Simbiyotik Bakteri ve Maya Kültürü (SCOBY)

Simbiyotik bakteri ve maya kültürü (SCOBY), bakteri ve mayalardan oluşan selülozik bir film olarak tanımlanır. Kaygan bir dokunuşa ve pürüzsüz bir yüzeye sahip yuvarlak mantar kapağı benzeri bir görünüme sahiptir. Genellikle aşıl原因 mikroorganizmaların biyokimyasal aktivitesi ile üretilir ve bu da sıvının yüzeyinde yüzen bir biyofilm ile sonuçlanır. Aşıl原因 mikrobiyal kültürlerin kökenine bağlı olarak değiştiğinden, tüm SCOBY'ler aynı tür mikropları içermez (Harrison ve Curtin, 2021). Dolayısıyla, tüm kombuchaların aynı mikrobiyal bileşime sahip olmayacağı da söylenebilir. Bir SCOBY'de bulunan yaygın bakteri türleri arasında asetik asit bakterileri (AAB) veya laktik asit bakterileri (LAB) bulunur. Bunlar arasında *Acetobacter xylinoides*, *Bacterium gluconicum* ve *Acetobacter aceti* bulunur (Villarreal-Soto vd., 2018).

Bu arada, yaygın mayalar arasında *Saccharomyces*, *Saccharomycodes* ve *Mycoderma* bulunur (Jayabalan vd., 2014). Daha önce de belirtildiği gibi, SCOBY faydalı mikroorganizmalardan oluşan selülozik bir tabakadır. (Mohite ve Parit, 2014) göre *Aerobacter* ve *Gluconacetobacter* gibi bakteriler SCOBY'nin gelişimine katkıda bulunan mikrobiyal selülozları üretebilmektedir. Tatlandırılmış çaydaki glikoz, bakteriler tarafından glukonik aside oksitlenir ve burada başka bir metabolik süreç yavaş yavaş mikrobiyal selüloz oluşumuna yol açar (Villarreal-Soto vd., 2018). İlgili metabolik yollar ya eksojen heksoz fosforilasyonu yoluyla ya da pentoz fosfat yolu ve glukoneojenez süreçleriyle olabilir (Lustri vd., 2015). Kombucha demlenirken, ilk olarak çayı fermente etmek için bir ana SCOBY kullanılır. Mikroplar tatlı çaydaki mevcut şekeri kullandıkça, yavru SCOBY olarak bilinen şeyi oluşturacaklardır. Bu süreç, SCOBY katmanının tamamen gelişmesi için bir hafta kadar sürebilir. Fermantasyon sürecinin sonunda kombuchada iki SCOBY olacaktır. (Cacicedo vd., 2016) göre, mikrobiyal selüloz verimi, karbon kaynağı gibi kullanılan substratların türünden etkilenmektedir. Bir SCOBY'nin geçirdiği büyüme miktarı, fermantasyon süresinin yanı sıra içinde şekillendiği kaptan da etkilenir. Küçük bir ana SCOBY, sıvının daha geniş bir yüzey alanına sahip olduğu bir kavanoza yerleştirilirse, yavru SCOBY kavanozun şeklini alacaktır. Aynı şey, daha uzun bir sürenin mikropların daha kalın bir yavru SCOBY üretmesine izin verdiği fermantasyon süresi için de söylenebilir (Goh vd., 2012).

2.7 Bakteri

Kombucha kültürlerinde bulunan baskın aerobik bakteriler olan AAB, glukozu glukonik asit ve glukuronik aside oksitleme yeteneğine sahiptir ve ayrıca asetik asit üretmek için etanolü bir substrat olarak kullanabilir. (Jayabalan vd., 2014; Villarreal-Soto vd., 2018). Etanol ve asetik asit üretimi kombuchadaki patojenik bakterilerin büyümesini engelleyebilir. (Dufresne ve Farnworth, 2000) *Acetobacter xylinum* ve *Komagataeibacter* spp. dahil olmak üzere bazı baskın bakteriler, bakteriyel selüloz üretmek için glikoz kullanır. Aynı zamanda, fermente sıvının yüzeyinde bakteriler "çay mantarı" olarak bilinen yüzen bir selüloz ağı üretir. Bu ağ, kombucha fermantasyonunun ikincil bir metaboliti olmasının yanı sıra kültürün ayırt edici özelliklerinden biridir. (Jayabalan vd., 2014) AAB ayrıca asetik asit ve bakteriyel selülozun yanı sıra glukuronik asit üretiminden de sorumludur (Nguyen vd., 2022; Siever ve Lan, 2016). LAB glikozu ya laktik asit, etanol ve karbondioksit üreten pentoz fosfat yolu ya da laktik asidin birincil metabolit olduğu Embden-Meyerhof-Parnas yolu üzerinden kullanabilir (Antolak vd., 2021).

2.8 Maya

Saccharomyces (*Saccharomyces cerevisiae*) ve *Saccharomyces* olmayan (*Zygosaccharomyces* spp., *Shizosaccharomyces* spp., *Dekkera* spp., *Brettanomyces* spp.) maya suşları kombuçha da bulunabilir (Chakravorty vd., 2016). *Saccharomyces* mayaları genellikle etanol ve alkollü içecek üretimi gibi endüstriyel ortamlarda bulunur (Diez-Ozaeta ve Astiazaran, 2022; Nguyen vd., 2022). Bununla birlikte, *Saccharomyces* olmayan mayalar aromatik maddeler olarak ve nihai ürünlerin karmaşıklığını arttırmak için kullanılır (Villarreal-Soto vd., 2018) Fermantasyon sürecindeki etkileşim, sakarozu invertaz aktivitesiyle glikoz ve fruktoza hidrolize eden ve nihayetinde glikoliz yoluyla etanol üreten mayalar tarafından başlatılır.

2.9 Kombuchanın Anti-inflamatuar ve İmmünomodülatör Aktiviteleri

Kombucha, fermantasyon süreciyle zenginleştirilmiş biyolojik aktif bileşenler içermesi nedeniyle hem anti-inflamatuar hem de immünomodülatör aktiviteler sergileyen bir içecek olarak dikkat çekmektedir. Bu aktiviteler, kombuchanın bileşimindeki

polifenoller, organik asitler, enzimler ve probiyotik mikroorganizmalar ile ilişkilendirilir.

2.9.1 Anti-inflamatuar aktiviteleri

Kombuchanın anti-inflamatuar etkileri üzerine yapılan çalışmalarda, içeceğin polifenol içeriği öne çıkmaktadır. Polifenoller, inflammatuar süreçleri inhibe eden güçlü antioksidanlar olarak bilinir. Yeşil ve siyah çay polifenolleri, fermantasyon süreci sırasında biyoyararlanımı artırılan kateşinler ve flavonoidler gibi bileşenlere dönüşür (Bhattacharya ve Gachhui, 2015). Bu bileşenler, NF- κ B gibi inflammatuar yolları baskılayarak sitokin üretimini azaltır (Huang, 2018). Ayrıca, kombuchadaki glukonik ve laktik asit gibi organik asitler de inflamasyonu baskılayıcı özellikler gösterir. Organik asitlerin bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyerek, inflammatuar bağırsak hastalıklarının şiddetini azalttığı gözlenmiştir (Četojević-Simin vd., 2012).

Fare modelleri üzerinde yapılan çalışmalarda, kombucha tüketiminin inflammatuar belirteçlerde (CRP, IL-6, TNF- α) azalma sağladığı ve oksidatif stresi hafiflettiği gösterilmiştir (Rasouli vd., 2019). Bu da kombuchanın potansiyel bir anti-inflamatuar ajan olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir.

2.9.2 İmmünomodülatör aktiviteleri

Kombuchanın immünomodülatör etkileri, içerdiği probiyotik bakteriler ve biyolojik aktif bileşiklerle ilişkilendirilmektedir. Fermantasyon sürecinde oluşan probiyotik mikroorganizmalar, bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Probiyotikler, bağırsak mikrobiyotasını dengeleyerek, immün yanıtın optimize edilmesine katkıda bulunur (Vīna vd., 2014). Özellikle *Lactobacillus* türlerinin kombuchada yaygın olduğu ve bu bakterilerin anti-inflamatuar sitokinlerin salınımını artırdığı belirlenmiştir (Marsh vd., 2014).

Kombuchada bulunan polifenoller, özellikle immün hücreleri üzerinde doğrudan etkilere sahiptir. Polifenoller, T ve B hücre aktivasyonunu düzenlerken, inflammatuar makrofaj aktivitelerini de baskılamaktadır (Rasouli, 2019). Ayrıca, kombuchanın

probiyotik içeriği, bağışıklık yanıtını güçlendiren ve patojenlere karşı koruyucu bariyer oluşturan immüoglobulin üretimini desteklemektedir (Jayabalan vd., 2014).

Kombuchanın immünomodölatör özellikleri ayrıca adaptif bağışıklık yanıtını güçlendirerek, otoimmün hastalıklara karşı koruma sağlamada yardımcı olabilir. Bununla birlikte, yapılan bazı çalışmalarda, kombucha tüketiminin bağışıklık sistemi üzerindeki modölatör etkilerinin doza ve tüketim süresine bağlı olarak değiştiiği belirtilmektedir (Greenwalt vd., 2000b).

Kombuchanın anti-inflamatuar ve immünomodölatör etkileri çeşitli mekanizmalarla açıklanabilir. Polifenoller ve organik asitler, antioksidan sistemlerin aktivasyonu yoluyla inflamasyonu baskılar (Jayabalan vd., 2014). NF-κB ve COX-2 gibi inflamatuvar sinyal yollarının inhibisyonu da kombuchanın etkili bir anti-inflamatuar ajan olmasını sağlar (Bhattacharya ve Gachhui, 2015). Bunun yanında, kombuchanın bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri, probiyotiklerin gastrointestinal kanalda bağışıklık yanıtını düzenlemesi ve antijen sunan hücrelerin işlevini artırması ile ilişkilidir (Rasouli, 2019).

Kombucha, anti-inflamatuar ve immünomodölatör etkileri nedeniyle alternatif tıp alanında dikkat çeken bir içecektir. Polifenoller, probiyotik bakteriler ve organik asitler gibi biyolojik aktif bileşenler, bu etkilerin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle, kombuchanın potansiyel terapötik etkileri, özellikle inflamatuvar hastalıkların ve bağışıklık sistemi bozukluklarının tedavisinde daha fazla araştırma gerektirmektedir.

2.10 Kombuchanın Antimikrobiyal Aktiviteleri

Kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri üzerine yapılan araştırmalar, bu içeceğin fermantasyon sürecinde oluşan bileşenlerin, bakteriyel ve fungal patojenlere karşı önemli bir koruma sağladığını göstermektedir. Ancak kombuchanın antimikrobiyal potansiyelini daha derinlemesine incelemek, bu biyolojik aktif bileşenlerin her birinin nasıl çalıştığını, hangi mikroorganizmalar üzerinde daha etkili olduğunu ve kombuchanın mikrobiyal enfeksiyonların önlenmesinde nasıl kullanılabileceğini anlamak için önemlidir. Kombucha, fermente bir çay ürünü olup, özellikle mikrobiyal enfeksiyonlara karşı koruyucu etkiler gösteren biyolojik olarak aktif bileşikler içerir. Bu bileşikler arasında organik asitler, polifenoller ve probiyotik bakteriler bulunur.

Fermentasyon süreciyle zenginleşen kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri, hem bakteriyel hem de fungal patojenlerin inhibisyonunu sağlar.

Kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri, fermentasyon sırasında üretilen çeşitli biyolojik bileşiklere dayanmaktadır. Asetik asit, kombuchanın en güçlü antimikrobiyal bileşenlerinden biridir. Bu asit, düşük pH ile patojenik mikroorganizmaların hücre zarlarını parçalayarak bakteri ve mantarların büyümesini engeller. Asetik asit, özellikle gıda kaynaklı patojenler olan *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus* gibi bakterilere karşı güçlü bir inhibisyon sağlar (Bhattacharya vd., 2022; Jayabalan vd., 2014).

Polifenoller: Kombucha, çayın fermentasyonu sırasında polifenoller açısından zenginleşir. Polifenoller, bakterilerin hücre zarlarını bozarak, onların çoğalmasını engeller. Bu bileşenler Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı etkili olup, antimikrobiyal etkilerin temelini oluşturur (Bhattacharya ve Gachhui, 2015). Özellikle flavonoidler ve kateşinler, antibakteriyel etkiler gösterir (Sreeramulu vd., 2000).

Organik Asitler: Asetik asit dışında kombuchada üretilen diğer organik asitler (glukonik, laktik ve glukuronik asit) de antimikrobiyal özellikler sergiler. Glukonik asit, özellikle bağırsak patojenlerine karşı koruma sağlar ve bağırsaktaki sağlıklı mikrobiyotayı destekler (Četojević-Simin vd., 2012).

Probiyotik Mikroorganizmalar: Fermentasyon sırasında oluşan probiyotik bakteriler, patojen mikroorganizmalarla rekabet eder ve onları baskılayarak antimikrobiyal etki gösterir. *Lactobacillus* ve *Acetobacter* türleri, özellikle bağırsak enfeksiyonlarına karşı koruyucu rol oynar (Marsh vd., 2014; Vīna vd., 2014).

2.11 Kombuchanın Antibakteriyel Aktiviteleri

Kombuchanın antibakteriyel özellikleri, özellikle fermentasyon sırasında üretilen asitler ve polifenoller sayesinde geniş bir bakteri spektrumuna karşı etkilidir. Çeşitli çalışmalar, kombuchanın hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakterilere karşı güçlü bir inhibisyon etkisi gösterdiğini ortaya koymuştur. Kombucha, Gram-pozitif bakteriler olan *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus cereus* gibi patojenlere karşı etkilidir.

Bu bakterilerin büyümesi kombuchadaki polifenoller ve asetik asit tarafından baskılanır. Siyah çay bazlı kombucha, polifenoller açısından zengin olduğu için bu bakterilere karşı daha güçlü bir etki gösterir (Battikh vd., 2012; Malbasa vd., 2008). Escherichia coli ve Salmonella gibi Gram-negatif bakterilere karşı da kombucha etkili bir inhibisyon sağlar. Asetik asidin bu bakterilerin hücre zarlarını bozarak büyümelerini durdurduğu gösterilmiştir (Bhattacharya vd., 2022; Rasouli vd., 2019). Bir başka çalışmada, kombuchanın fermantasyon süresinin uzatılmasıyla antimikrobiyal etkilerinin arttığı ve özellikle Escherichia coli gibi yaygın gıda kaynaklı patojenlere karşı güçlü bir koruma sağladığı gözlenmiştir (Battikh vd., 2012).

2.11.1 Kombuchanın antimikrobiyal mekanizmaları

Kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri, çeşitli biyokimyasal mekanizmalarla açıklanabilir:

1. **Düşük pH ve Asidik Ortam:** Kombuchanın düşük pH'sı, bakteriyel ve fungal hücre zarlarını bozar. Asidik ortam, mikroorganizmaların hayatta kalma kapasitesini azaltarak patojenik mikroorganizmaların büyümesini sınırlar (Jayabalan vd., 2014).
2. **Polifenollerin Etkisi:** Polifenoller, hücre zarını bozarak patojenik bakterilerin büyümesini engeller. Polifenoller ayrıca DNA sentezini inhibe ederek bakterilerin çoğalmasını durdurur (Bhattacharya ve Gachhui, 2015).
3. **Asetik Asit ve Organik Asitlerin Rolü:** Asetik asit ve diğer organik asitler, bakteriyel ve fungal hücre zarlarını parçalayarak antimikrobiyal etki gösterir. Asetik asit, düşük konsantrasyonlarda bile geniş bir mikrobiyal spektruma karşı etkilidir (Battikh vd., 2012).
4. **Probiyotiklerin Rekabetçi Etkisi:** Kombuchadaki probiyotik bakteriler, patojen mikroorganizmalarla rekabet ederek onların büyümesini engeller. Probiyotikler, bağırsakta antimikrobiyal peptitler üreterek zararlı mikroorganizmaların kolonizasyonunu sınırlar (Vina vd., 2014).

Kombuchanın antimikrobiyal özellikleri, gıda güvenliği ve sağlık uygulamalarında potansiyel faydalar sunar. Kombucha, gıdalarda patojenlerin büyümesini engelleyerek doğal bir koruyucu olarak kullanılabilir. Ayrıca, kombuchanın düzenli tüketimi bağırsak sağlığını iyileştirerek enfeksiyonlara

karşı koruyucu olabilir (Rasouli vd., 2019). Bu, kombuchanın gastrointestinal enfeksiyonlara karşı koruma sağlayan doğal bir probiyotik içecek olarak kullanımını desteklemektedir (Marsh vd., 2014).

2.11.2 Kombuchanın farklı çay türleri ile antimikrobiyal etkileri

Kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri, kullanılan çay türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Siyah ay bazlı kombucha, polifenoller açısından daha zengin olduğu için genellikle daha güçlü antimikrobiyal etkilere sahiptir (Jayabalan vd., 2014). Yeşil ay bazlı kombucha ise antioksidanlar açısından zengin olup, aynı zamanda güçlü antimikrobiyal aktiviteler sergiler (Bhattacharya ve Gachhui, 2015).

Kombucha, asetik asit, polifenoller ve probiyotikler gibi biyolojik olarak aktif bileşenler sayesinde güçlü antimikrobiyal aktiviteler sergileyen bir fermente iecedir. Bu bileşenler hem bakteriyel hem de fungal patojenlere karşı etkili olup, kombuchanın fermantasyon süresi ve kullanılan çay türü antimikrobiyal potansiyelini etkiler. Kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri üzerine yapılan çalışmalar, bu ieeğin gıda güvenliği ve sağlık uygulamalarında potansiyel olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Gelecekte, kombuchanın farklı enfeksiyon türlerine karşı kullanımı üzerine daha fazla araştırma yapılması, bu ieeğin antimikrobiyal özelliklerinin klinik uygulamalara nasıl entegre edilebileceğini belirleyecektir.

2.12 Kombuchanın Antifungal Aktiviteleri

Kombucha, sadece bakterilere karşı değil, aynı zamanda mantar enfeksiyonlarına karşı da etkili antimikrobiyal özellikler sergiler. Özellikle *Candida albicans* gibi mantar enfeksiyonlarına neden olan patojenlere karşı güçlü bir antifungal etki gösterir (Sreeramulu vd., 2000). Kombuchada bulunan asetik asit ve polifenoller, mantar hücre zarlarını bozarak büyümelerini engeller. Ayrıca kombuchadaki maya türleri, diğer mantar patojenlerinin gelişimini baskılayarak rekabetçi bir ortam yaratır (Malbasa vd., 2008).

2.13 Kombuchanın Antidiyabetik Özelliği

Kombucha, fermantasyon süreciyle zenginleştirilmiş bir içecek olup, içerdiği biyolojik aktif bileşenler sayesinde sağlık üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Kombuchanın potansiyel antidiyabetik özellikleri, içerdiği organik asitler, polifenoller, probiyotikler ve antioksidanlar aracılığıyla diyabetin kontrol altına alınmasında önemli bir rol oynar. Diyabet, kan şekerinin sürekli yüksek olduğu kronik bir hastalık olup, insülin direnci ve insülin üretim eksikliği nedeniyle gelişir. Kombuchanın içerdiği bileşenler, diyabetin yönetiminde yardımcı olabilir ve komplikasyonları hafifletebilir. Diyabet, insülin direnci veya pankreasta yeterli insülin üretilmemesi sonucu kan şekerinin yüksek kalmasına neden olur. İnsülin, kandaki glikozun hücrelere taşınmasını ve enerji olarak kullanılmasını sağlar. İnsülin direncinde, hücreler insüline yeterince yanıt veremez ve bu da glikozun kanda birikmesine yol açar. Tip 2 diyabet ise genellikle bu insülin direnci ile ilişkilidir (etojević-Simin vd., 2012). Kombuchanın antidiyabetik özellikleri, insülin duyarlılığını artırarak ve kan şekerini düzenleyerek diyabetin ilerlemesini engelleyebilir.

2.13.1 Kombuchanın antidiyabetik bileşenleri

Kombuchanın antidiyabetik etkilerinde en önemli faktörler, fermantasyon sırasında oluşan biyolojik aktif bileşenlerdir. Kombucha, ay yapraklarından türeyen polifenoller açısından zengin bir içecektir. Polifenoller, hücrelerdeki oksidatif stresi azaltarak diyabetin olumsuz etkilerini hafifletebilir. Oksidatif stres, reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışıyla ortaya çıkar ve diyabetin komplikasyonlarına katkıda bulunur. Polifenoller, serbest radikalleri nötrale ederek hücrelerin zarar görmesini engeller (Bhattacharya ve Gachhui, 2015). Özellikle yeşil çay bazlı kombucha, kateşinler gibi güçlü antioksidanlar içerir ve bu bileşenler, pankreasın β -hücrelerinin korunmasına yardımcı olur (Jayabalan vd., 2014). Fermantasyon sırasında kombuchada asetik asit, glukonik asit ve laktik asit gibi organik asitler üretilir. Asetik asidin özellikle karaciğerdeki glikojen yıkımını inhibe ederek kan şekerini düzenlediği bilinmektedir. Asetik asit, kaslardaki glikoz alımını artırarak insülin duyarlılığını artırabilir (Malbasa vd., 2008). Ayrıca glukonik ve laktik asitler de glikoz metabolizmasının iyileştirilmesinde etkili olabilir. Kombucha, fermantasyon sürecinde birçok probiyotik bakteri üretir. Bu probiyotikler, bağırsak sağlığını düzenleyerek glikoz metabolizmasını

iyileştirir ve insülin direncini azaltır. *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi probiyotikler, bağırsak mikrobiyotasını dengeleyerek metabolik süreçlerin iyileştirilmesine yardımcı olabilir (Vina vd., 2014). Probiyotikler ayrıca inflamasyonu azaltarak insülin duyarlılığını artırabilir.

2.13.2 Glikoz metabolizması ve insülin duyarlılığı

Kombuchanın antidiyabetik özelliklerinin büyük bir kısmı, glikoz metabolizmasını düzenleme ve insülin duyarlılığını artırma kapasitesinden kaynaklanır. Kombucha, hücrelerin glikozu daha etkili bir şekilde kullanmasını sağlayarak kan şekerini dengeler (Jayabalan vd., 2014). Çalışmalar, kombucha tüketiminin farelerde kan şekeri seviyelerini düşürdüğünü ve insülin duyarlılığını artırdığını göstermiştir (Bhattacharya ve Gachhui, 2015).

2.13.2.1 Pankreas fonksiyonu ve insülin üretimi

Pankreas, insülin üreten β -hücrelerinin bulunduğu bir organdır. Diyabet, bu hücrelerin hasar görmesi veya işlev kaybı nedeniyle gelişebilir. Kombucha, pankreastaki β -hücrelerinin korunmasına yardımcı olabilir ve insülin üretimini destekleyebilir. Antioksidanlar, bu hücrelerin oksidatif stres nedeniyle zarar görmesini önleyerek diyabetin ilerlemesini durdurabilir (Greenwalt vd., 2000a).

2.13.2.2 İnsülin duyarlılığının artırılması

İnsülin duyarlılığı, hücrelerin insüline verdiği yanıtı ifade eder ve düşük insülin duyarlılığı, insülin direncine yol açabilir. Kombucha, içerdiği polifenoller ve organik asitler sayesinde insülin duyarlılığını artırarak kan şekerinin hücrelere taşınmasını kolaylaştırır (Malbasa vd., 2008). Kombuchanın düzenli tüketimi, insülin direncini azaltarak glikozun daha verimli kullanılmasına olanak tanır. Kombuchanın antidiyabetik etkileri üzerine yapılan çalışmalar, bu içeceğin kan şekerini düzenleme ve insülin duyarlılığını artırma kapasitesini desteklemektedir. Bir çalışmada, kombuchanın diyabetik farelerde kan şekeri seviyelerini düşürdüğü ve insülin duyarlılığını artırdığı gözlemlenmiştir (Rasouli vd., 2019). Kombuchanın antidiyabetik etkileri, fermantasyon süresi ve kullanılan çay türüne göre değişiklik gösterebilir. Siyah çay bazlı kombucha,

polifenoller açısından daha zengin olup diyabet üzerinde daha güçlü etkiler yaratabilir (Malbasa vd., 2008). Kombucha, antidiyabetik özelliklere sahip doğal bir fermente içecek olarak dikkat çekmektedir. İçerdiği polifenoller, organik asitler, probiyotikler ve antioksidanlar sayesinde kan şekerini düzenleyerek diyabetin yönetimine yardımcı olabilir. Oksidatif stresi azaltarak pankreasın β -hücrelerinin korunmasını sağlayabilir ve insülin duyarlılığını artırarak insülin direncini hafifletebilir. Gelecekte, kombuchanın diyabet üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için daha fazla klinik araştırmaya ihtiyaç vardır.

2.14 Kombuchanın Anti Kanser Özelliği

Kombucha çayı kanser hücrelerinin büyümesini inhibe etme potansiyeline sahiptir. Kombucha, özellikle fermente edilmiş çayın biyokimyasal bileşenleri sayesinde antioksidan aktivite gösterir. Bu antioksidanlar hücrelerdeki serbest radikallerin yol açtığı DNA hasarını önleyerek kanser hücrelerinin çoğalmasını engelleyebilir. Özellikle kombuchanın içerdiği polifenoller ve flavonoidler bu etkide önemli rol oynamaktadır. (Mihai vd., 2024) Kombucha, polifenoller ve flavonoidler gibi bileşikler açısından zengindir. Bu bileşikler kanser hücrelerinin büyümesini baskılayabilir ve oksidatif stresle mücadele ederek hücre hasarını azaltabilir. Yapılan çalışmalarda özellikle kolon kanseri hücreleri üzerinde kombucha özlerinin %55'e varan bir inhibisyon etkisi gösterdiği belirtilmiştir (Villarreal-Soto vd., 2018). Kombuchanın fermente edilme süreci boyunca oluşan asetik asit, glukonat ve diğer organik asitler sayesinde meme, kolon ve prostat kanseri hücreleri üzerinde sitotoksik etkiler gösterdiği bulunmuştur. Bu etki hücrelere apoptoza (programlanmış hücre ölümü) yol açarak kanserin yayılmasını engelleyebilir. (Mihai vd., 2024; Nyhan vd., 2022)

Kombuchanın bağışıklık sistemi üzerinde uyarıcı etkiler yaratabileceği ve bu sayede kanserle mücadelede destekleyici bir rol oynayabileceği öne sürülmekte fakat bu bulgular üzerinde sınırlı klinik çalışmalarla desteklenmiştir (Mihai vd., 2024).

2.15 Kombuchanın Antioksidan Özellikleri

Reaktif oksijen türleri (ROS), süperoksit, hidrojen peroksit, hidroksil radikali ve singlet oksijen olarak sıralanabilen oksijenden oluşturulan metabolitlerdir. Bu metabolitler

sonunda lipidler, proteinler ve DNA radikalleri şeklinde olabilen serbest radikalleri oluşturabilir (Nakai ve Tsuruta, 2021). Serbest radikallerin genellikle yaşlanma gibi etkilerle vücudu olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, antioksidan özelliklere sahip gıdalar serbest radikalleri temizlemeye ve vücutta yüksek oksidatif stresi önlemeye yardımcı olabilir. Antioksidanlar iki türe ayrılabilir: oksidatif ürünleri suya dönüştüren enzimatik ve serbest radikal zincirlerinin reaksiyonunu bozan enzimatik olmayan (Nimse ve Pal, 2015).

Çalışmalar kombuchanın antioksidan özellikler sergilediğini göstermiştir. Kombuchanın antioksidan aktivitesi esas olarak çayda zaten mevcut olan polifenollerden kaynaklanmaktadır. Taze çay yapraklarının kuru ağırlık bazında yaklaşık %30 polifenol içerdiği tahmin edilmektedir (Massoud vd., 2022). Çaydaki polifenoller temel olarak kateşinler ve flavonoidleri içerir. Bu polifenollerin antioksidan mekanizması dört bölüme ayrılabilir; ilk olarak antioksidan enzim aktivitesindeki artışla başlar ve bunu lipid peroksidasyon inhibisyonu izler. Daha sonra serbest radikallerin temizlenmesi ve son olarak metal iyonlarının şelatlanması ile devam eder (Yan vd., 2020). Genel sonuç, polifenollerin serbest radikalleri kararlı moleküllere dönüştürmek için ROS ile reaksiyona girmesidir.

Kombuchada bulunabilen diğer kimyasal bileşikler arasında asitler (asetik, laktik, glukuronik, sitrik), vitaminler (B ve C) ve enzimler yer almaktadır (Massoud vd., 2022). Bu bileşikler, özellikle vitaminler ve organik asitler olmak üzere antioksidan özellikler de sergilemektedir. Deghrigue vd. (2013) D-Sakkarik asit 1,4-lakton (DSL), glukonik asit, glukuronik asit ve laktik asit bileşiklerinin kombuchanın antioksidatif özelliklerine katkıda bulunduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda C vitamini de vücuttaki serbest radikalleri temizleyerek etki gösteren iyi bilinen bir antioksidandır. C vitamini, lipid radikaline bir elektron bağış yoluyla lipid peroksidasyonunu durdurarak işlev görür (Nimse ve Pal, 2015).

Ayrıca, kullanılan çay yapraklarının türü de kombuchanın antioksidan aktivitesini etkileyebilir. Yan vd. (2020) göre, yeşil çayın siyah çaya kıyasla daha yüksek bir serbest radikal temizleme aktivitesine sahip olduğu bulunmuştur. Bu, bir seferde daha fazla ROS ile etkileşime girebilen yeşil çaydaki daha yüksek miktarda kateşin ve flavonoidlere bağlanabilir. Aynı zamanda, siyah çayın daha düşük radikal süpürme

aktivitesi, yeşil çay ile karşılaştırıldığında EC, EGC ve EGCG gibi flavonoidlerin daha düşük konsantrasyonuna bağlanabilir (Peluso ve Serafini, 2017). Bu nedenle, yeşil çay yapraklarıyla demlenen kombuchanın, diğer çay yapraklarıyla demlenen kombuchaya kıyasla daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olacağını düşündürmektedir. Ayrıca, fermantasyon sırasında SCOBY'den salınan enzimler, epikateşin izomerleri gibi çaydaki karmaşık fenolik bileşikler parçalayarak toplam fenolik içeriği doğrudan etkilemektedir (Massoud vd., 2022; Srihari ve Satyanarayana, 2012). Bu nedenle kombuchanın toplam fenolik içeriğinin fermantasyon sürecinin sonunda arttığı söylenmektedir.

2.16 Ticari Kombucha Trendleri

Ticari kombucha, daha fazla markanın kendi içecek versiyonlarıyla ortaya çıkmasıyla pazarda daha erişilebilir hale geliyor. Amerika Birleşik Devletleri başlıca kombucha üreticilerinden biridir, ancak Malezya'da da 'WonderBrew Kombucha ve 'Cha Cha Kombucha gibi tanınmış markalar bulunmaktadır. Bir ürünü genellikle diğerlerinden farklı kılan şey, kısmen kullanılan tatlandırıcı bileşen türlerinden etkilenen tadına bağlanabilir. Kim ve Adhikari (2020) tarafından yapılan bir inceleme çalışmasına göre, piyasadaki kombuchaların çoğu aromasız olmaktan ziyade aromalı olma eğilimindedir. Ayrıca bu kombucha ürünlerinin çoğunun en az bir aroma içerdiği ve kullanılan bileşenlerin meyve, bitki veya her ikisinin bir kombinasyonu olduğu gözlemlenmiştir (Nyhan vd., 2022). Bu durum, kombuchaya aroma eklemenin genel tadı geliştirmeye yardımcı olabileceği ve daha da fazla besin sağlayabileceği ev yapımı bira üreticileri için de geçerlidir. Popüler seçenekler arasında meyveler, çiçekler ve çilek, nane gibi otlar yer almaktadır. Çay bazlarına gelince, rosella ve rooibos, diğer birçok içecek türünde kabul edilen tisanlara örnektir.

2.17 *Polygonatum odoratum* (Süleymanın Mührü Otu)

Polygonatum odoratum, Solomon's seal olarak da bilinen ve Liliaceae (zambakgiller) familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'nın çeşitli bölgelerinde doğal olarak yetişir. Geleneksel Çin Tıbbın da önemli bir bitki olan *P. odoratum*, antik dönemlerden beri şifalı özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmıştır. Özellikle kökleri ve rizomları farmakolojik etkilere sahip olduğu düşünülen bileşenler içerir. Bu bitki, Çin tıbbında yin toniklerinden biri olarak kabul

edilir ve nemlendirici, başışıklık sistemini destekleyici, antioksidan, anti- inflamatuvar ve antimikrobiyal etkileri olduğu bilinir. (Li vd., 2022)

P. odoratum, geleneksel Çin tıbbında ‘yu zhu’ olarak bilinir ve genellikle yin toniklerinden biri olarak kullanılır. Bitki vücuttaki yin eksikliğini dengelemeye yardımcı olurken, aynı zamanda akciğer ve mide sağlığını desteklediğine inanılır. (Shen vd., 2018)



Şekil 2.1. *Polygonatum odoratum* bitkisinin çiçeklenmesi (Bi vd., 2023)

2.18 *Polygonatum odoratum*'un Sağlığa Faydaları

Akciğer ve mide kanallarına geri dönerek besler, akciğerleri nemlendirir ve tükürük, vücut sıvıları ve mide sıvıları (Bi vd., 2023). Birçok aktif madde içerir (örn, polisakkaritler, polifenoller, proteinler, mineraller ve vitaminler) ve önemli besin değerine sahiptir. Çin'de insanlar için yaygın olan geliştirmek için her gün geleneksel Çin ilaçları tüketmektedir. *Polygonatum odoratum* kaynatıldıktan sonra, sulu çözelti son derece yüksek bir polisakkarit içeriğine sahiptir (Li vd., 2022). Modern farmakolojik çalışmalara göre, polisakkaritler *P. odoratum*'un en önemli aktif bileşenleri arasındadır.

Kalbi güçlendirebilir (Yang ve Zhang, 2017), kan basıncını düşürebilir glikoz seviyesini (Shi vd., 2022) ve tip II diyabeti hafifletir (Shi vd., 2022; Wang vd., 2018). Ayrıca anti-tümöre sahiptirler (Liu vd., 2009), yaşlanma karşıtı (Ying vd., 2007), antioksidasyon (Liu vd., 2022) ve immünoregülasyon (Guo vd., 2013) özellikleri. Ek olarak, bağırsak florasını düzenleyebilir ve obeziteyi hafifletebilirler (Wang vd., 2018). Bu nedenle umut verici uygulama beklentilerine sahiptirler. Bağışıklığı destekleyen doğal maddeler üzerine araştırmalar devam etmektedir, *Polygonatum odoratum*'dan elde edilen polisakkaritler önemli ölçüde ilgi çekmiştir iyi gelişme potansiyeline sahip doğal ürünler olarak dikkat çekiyor (Zhao vd., 2020). *Polygonatum*'dan elde edilen polisakkaritlerin odoratum makrofajların fagositik aktivitesini artırmış ve IL-6 (interlökin-6) salgılanmasını artırmıştır. (Mariod vd., 2023)

2.18.1 Nöroprotektif etkileri

Polygonatum odoratum'un nöroprotektif özelliklere sahip olduğu yapılan son araştırmalarda göstermektedir. Bu bitki, sinir hücrelerini oksidatif stresten ve enflamasyondan koruyarak Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı ve diğer nörodejeneratif bozuklukların gelişme riskini azaltabilir. Polygonarum odoratum bitkisinin özlerinin beyin hücrelerinde oksidatif hasarı önleyebildiğini ve bu yolla beyin sağlığını desteklediğini ortaya koymuştur. (Chen vd., 2021) Bu etkiler içerdiği yüksek seviyedeki antioksidanlar ve anti enflamatuar bileşiklerle ilişkilendirilmektedir.

2.18.2 Hormon dengeleyici etkiler

Geleneksel Çin tıbbında *Polygonatum odoratum*'un hormonal dengeyi destekleyici etkileri olduğu bilinmektedir. Özellikle menopoz dönemindeki kadınlar için bu bitkinin kullanımı yaygındır. Bitki, östrojen seviyelerini dengeleyerek menopoz semptomlarını hafifletebilir ve kemik yoğunluğunun korunmasına yardımcı olabilir. (Zheng vd., 2019) Bu nedenle bu bitkinin hormonal dalgalanmalarla ilişkili sağlık sorunlarını hafifletmede potansiyel bir terapi olarak değerlendirilmektedir.

2.18.3 Metabolik sendrom ve obezite üzerine etkileri

Polygonatum odoratum'un metabolik sendrom, obezite ve buna bağlı rahatsızlıklar üzerinde olumlu etkileri olduğu araştırmalarda gösterilmiştir. Bitkinin bileşenleri, lipid metabolizmasını dzenlemekte ve vucut ağırlığının kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda obeziteye bağlı enflamasyonu azaltarak metabolik dengeyi koruma potansiyeli taşımaktadır. Hayvan modellerinde yapılan alışmalar, *P. odoratum* özlerini vucut ağırlığı, kan lipitleri ve karaciğer yağlanması üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. (Liu vd., 2020)

2.18.4 Kemik sağlığı üzerine etkileri

Polygonatum odoratum'un kemik sağlığını destekleyici etkileri de dikkat çekmektedir. Kemik erimesi (osteoporoz) ve kemik yoğunluğu kaybına karşı koruyucu bir rol oynayabileceği araştırmalarla desteklenmiştir. Özellikle içerdiği fenolik bileşikler ve polisakkaritler, kemik metabolizmasını dzenleyerek kemiklerin daha gcliclic ve sağlıklı kalmasını sağlar. Bu bitkinin uzun sccreli kullanımı kemik yıkımını ccnleyerek yaşlı bireylerde kemik sağlığının korunmasına yardımcı olabilir. (Hu vd., 2023)

2.18.5 Anti kanser etkileri

Polygonatum odoratum'un çeşitli kanser tccrleri üzerinde potansiyel anti-tccmccr etkileri olduğu gccsterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda bitkiden elde edilen cczlerin belirli kanser hcccrelerinin çoğalmasını inhibe ettiği ve tccmccr bccyccmesini engellediği gcczlemlenmiştir. Bu etkiler içerdiği flavonoidler, polisakkaritler ve saponinlerle ilişkilendirilmektedir. (Sun vd., 2020) cczellikle meme kanseri, kolon kanseri ve akciğer kanseri gibi bazı kanser tccrlerine karşı bu bitkinin koruyucu etkileri araştırılmaktadır.

2.18.6 Deri sağlığı ve yaşlanma karşıtı etkileri

Polygonatum odoratum, cilt sağlığı üzerinde de olumlu etkilere sahip olabilir. Antioksidan cczellikleri sayesinde serbest radikallerin cilde verdiği zararını azaltarak cildin yaşlanmasını yavaşlatabilir. Bu bitkinin cildi nemlendirici ve besleyici cczellikleri de bulunmaktadır, bu ycczden cilt bakım ccrcnlerinde kullanılmaya potansiyeline sahiptir.

Ayrıca, bitkinin anti-enflamatuar etkileri, ciltteki kızarıklık, tahriş ve sivilce gibi sorunları hafifletebilir. (Gao vd., 2021)

2.18.7 Kardiyovasküler hastalıklar üzerindeki etkileri

Bitkinin içerdiği antioksidanlar ve anti-inflamatuar bileşikler, kan damarlarını koruyarak kardiyovasküler hastalıklara karşı koruma sağlar. Aynı zamanda kan basıncını düşürücü etkileri de bilimsel çalışmalarda ortaya konmuştur. Bu etkiler, hipertansiyon, ateroskleroz ve kalp krizi riskini azaltmada potansiyel bir fayda sağlar. (Kim vd., 2017)

2.19 Literatür Özeti

Kombucha, fermente edilmiş çaydan üretilen ve çeşitli sağlık yararları sunan fonksiyonel bir içecek olarak hem akademik hem de ticari açıdan önemli bir yere sahiptir. Geleneksel olarak siyah çay ve şeker kullanılarak üretilen kombucha, günümüzde yeşil çay ve bitki çayları gibi alternatif substratlarla da çeşitlendirilmektedir. Sağlık yararları, geniş çeşitliliği ve artan popülaritesi ile kombucha, yalnızca tüketici talebini karşılamakla kalmamakta, aynı zamanda fonksiyonel gıda endüstrisinde de yenilikçi bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Literatürde, kombucha üretiminde kullanılan tekniklerin ve substratların, içeceğin biyolojik aktiviteleri üzerinde önemli etkiler yarattığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde farklı substratlar kullanılarak hazırlanan kombucha çayları ve kombucha çayı hazırlanırken kullanılan yöntemlerin derlemesi bulunmaktadır.

Durmuş ve Kızılkaya (2016) tarafından yapılan çalışmada, kombucha üretimi sırasında oluşan atıkların buğday bitkilerinde verim ve toprak biyolojik aktiviteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kombucha üretiminden elde edilen çay yaprakları, fermente sıvı tortuları ve SCOBY kalıntılarında oluşan üretim artıkları, toprak düzenleyici olarak kullanılmıştır. Çalışmada, kombucha artığı %5 ve %10 oranlarında toprakla karıştırılarak uygulanmış ve kontrollü sera koşullarında kimyasal gübre ile karşılaştırmalı denemeler gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizlerde, kombucha artığının toprağın azot, fosfor ve potasyum (NPK) seviyelerini artırdığı, organik madde içeriğini yükselttiği ve pH'nın nötr seviyede sabitlendiği belirlenmiştir. Mikrobiyolojik

analizlerde, Lactobacillus, Bacillus ve Pseudomonas gibi faydalı mikroorganizmaların yoğunluğunun artışı gözlenmiş ve zararlı fungal gelişimin azaldığı tespit edilmiştir. Fenolik analizlerde ise kombucha artığının toprak fenolik bileşik içeriğini artırarak antioksidan kapasiteyi güçlendirdiği ve bu bileşenlerin bitki büyümesi ile mikrobiyal aktivite üzerindeki olumlu etkilerde önemli bir rol oynadığı bulunmuştur. Biyolojik analizlerde, kombucha artığı eklenen topraklarda buğday bitkilerinin boyu, yaprak sayısı, kök uzunluğu ve toplam biyokütlesinde %25–30 oranında artış tespit edilmiştir. Ayrıca, toprak biyolojik aktiviteleri kapsamında enzim aktiviteleri (ureaz ve fosfataz) ile toprak solucanı popülasyonlarında belirgin bir artış kaydedilmiştir. Çalışma, kombucha üretim artığının sürdürülebilir tarımda etkili bir toprak düzenleyici olarak kullanılabileceğini ve hem tarımsal verimliliği hem de toprak sağlığını iyileştirdiğini göstermiştir.

Kaya (2019a) tarafından Bursa Uludağ Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, ıhlamur, limon otu, adaçayı, ekinezya, nane ve tarçın ekstraktları kullanılarak zenginleştirilmiş kombucha üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, geleneksel siyah çay %5 şeker eklenerek demlenmiş ve oda sıcaklığına soğutulduktan sonra belirli oranlarda bitki ekstraktları ile karıştırılmıştır. Kombucha SCOBY ve starter sıvı eklenerek karışım, cam fermentasyon kaplarında 25–30°C sıcaklıkta, 7–10 gün süreyle fermente edilmiştir. Fermantasyon sürecinde pH ve organik asit miktarları düzenli olarak izlenmiş, sonuçlar duyuşsal ve kimyasal analizlerle değerlendirilmiştir. Duyuşsal analizlerde, adaçayı ve nane ekstraktlarının antioksidan kapasiteyi en çok artırdığı, tarçın ekstraktının ise içeceğe karakteristik bir aroma kattığı belirlenmiştir. Bu çalışma, kombuchanın fonksiyonel özelliklerini ve tüketici kabulünü artırmak için bitki bazlı katkıların başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Düşgün (2020) tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, Türkiye'nin endemik bitkilerinden Sideritis bilgerana ve Galium nigdeense kullanılarak kombucha üretilmiş ve ürünlerin kimyasal bileşimi ile biyolojik aktiviteleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, her iki bitkiden sıcak suyla demlenerek ekstraktlar hazırlanmış, elde edilen çay karışımlarına kombucha SCOBY ve %10 oranında starter sıvı eklenmiştir. Fermantasyon, cam kaplarda 25–28°C sıcaklıkta 7 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon süreci boyunca pH, toplam fenolik içerik, antioksidan aktivite ve organik asit miktarları analiz edilmiştir. Antioksidan kapasite,

DPPH radikal giderme testiyle değerlendirilmiş ve Sideritis bilgerana içeren kombuchanın siyah çay bazlı kombuchaya kıyasla %35 daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Galium nigdeense içeren kombucha, Staphylococcus aureus gibi patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal etki göstermiştir. Bu çalışma, endemik bitkilerle üretilen kombuchaların fonksiyonel özelliklerinin artırılabilceğini ve bu tür bitkilerin kombucha üretiminde yenilikçi substratlar olarak kullanılabilceğini ortaya koymuştur.

Singh vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, Telang çiçeği (*Clitoria ternatea* L.) ekstraktı, kombucha üretiminde yenilikçi bir substrat olarak kullanılmıştır. Çalışmada, çiçeğin doğal antosiyanin içeriği fermantasyon sırasında büyük ölçüde korunmuş ve bu durum kombuchanın antioksidan kapasitesini artırmıştır. Telang çiçeği, kaynar suyla demlenerek hazırlanan çay, %5 oranında şeker ilavesi ile kombucha üretimi için kullanılmıştır. Kombucha kültürü (SCOBY) ve %10 oranında starter sıvı eklenerek karışımlar, 25–30°C sıcaklıkta, cam kaplarda 7–10 gün boyunca fermente edilmiştir. Fermantasyon süreci boyunca pH ve toplam fenolik içerik düzenli olarak izlenmiş, antioksidan aktivite DPPH testiyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, fermantasyon sırasında antosiyanin seviyelerinin büyük ölçüde korunduğu ve çiçeğin doğal mavi-mor renginin ürünün görsel çekiciliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Duyusal analizlerde, Telang çiçeği bazlı kombuchanın tat, aroma ve görsel özellikler açısından tüketiciler tarafından olumlu değerlendirildiği belirtilmiştir. Bu çalışma, Telang çiçeği ile üretilen kombuchanın hem fonksiyonel özellikleri hem de tüketici kabulü açısından güçlü bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Yılmaz (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, süt ve bitki çayı kombinasyonları kullanılarak kombucha üretimi gerçekleştirilmiş ve fermantasyon sürecinin içeceğin kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada, %60 süt ve %40 oranında adaçayı, böğürtlen çayı veya yeşil çay karışımları hazırlanmış, bu karışımlara %5 oranında şeker ve kombucha kültürü (SCOBY) eklenmiştir. Fermantasyon, cam kaplarda, 25–30°C sıcaklıkta, 7–10 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon sürecinde laktozun organik asitlere dönüşümü ve süt proteinlerinin peptitlere hidrolizi gözlenmiştir. Bu dönüşümler, ürünün prebiyotik etkilerini ve sindirilebilirliğini artırmıştır. Ayrıca, fermantasyon sonunda antioksidan aktivitede %30–40 oranında bir artış kaydedilmiş ve duyusal analizlerde süt ve bitki çayı bazlı kombuchaların tüketiciler

tarafından olumlu değerlendirildiği belirtilmiştir. Çalışma, süt ve bitki çayı kombinasyonlarının kombucha üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ve bu tür ürünlerin laktoz intoleransı olan bireyler için potansiyel bir prebiyotik içecek sunduğunu göstermiştir.

Martínez vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, kakao üretiminde atık olarak değerlendirilen kabuklar kombucha üretiminde yenilikçi bir substrat olarak kullanılmış ve fermantasyon süreçleri ile ürünün kimyasal ve biyolojik özellikleri detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada, kakao kabukları temizlenmiş ve yabancı maddelerden arındırıldıktan sonra 10 g/L oranında kaynar su ile yaklaşık 15 dakika boyunca demlenerek çay hazırlanmıştır. Hazırlanan kakao kabuğu çayı, %5 oranında şeker eklenerek kombucha üretimi için uygun hale getirilmiştir. Bu karışıma, fermantasyonu başlatmak için %10 oranında starter kültür (önceden fermente edilmiş kombucha sıvısı) ve simbiyotik bakteri-maya kültürü (SCOBY) eklenmiştir. Fermantasyon, cam kaplarda, 25–30°C sıcaklıkta, oksijen girişine izin vermek için kapların tülbentle kapatılmasıyla 7–10 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon sürecinde, pH düşüşü ve organik asit oluşumu gibi parametreler günlük olarak ölçülmüş, kimyasal analizler kapsamında toplam fenolik bileşik miktarı Folin-Ciocalteu yöntemiyle, antioksidan aktivite ise DPPH testiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kakao kabuğu bazlı kombuchanın toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasite bakımından geleneksel siyah çay bazlı kombuchaya kıyasla belirgin bir artış sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, kakao kabuğu fermantasyonu sırasında flavonoid bileşenlerinin (örneğin, epikateşin ve kateşin) korunarak biyoaktif özelliklerin arttığı gözlenmiştir. Ürünün biyolojik aktiviteleri de incelenmiş ve *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* gibi patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Duyusal analizlerde, kakao kabuğu bazlı kombuchanın tat, aroma ve görsellik açısından yüksek kabul edilebilirliğe sahip olduğu ve tüketiciler tarafından özellikle zengin kakao aroması nedeniyle beğenildiği rapor edilmiştir. Çalışma, kakao kabuklarının sadece kombucha üretiminde fonksiyonel bir katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kakao endüstrisinin atık yönetimi için sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu göstermiştir. Bu yöntem hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlayarak, kombucha üretiminde alternatif substratlar kullanımı için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Sharma vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, zerdeçal çayı kullanılarak kombucha üretilmiş ve fermantasyon sürecinin kimyasal ve biyolojik özellikler üzerindeki etkileri detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada, zerdeçal köklerinden hazırlanan çay, %5 oranında şeker eklenerek fermantasyon için hazırlanmış ve karışıma %10 oranında starter kültür (önceden fermente edilmiş kombucha sıvısı) ile simbiyotik bakteri-maya kültürü (SCOBY) eklenmiştir. Fermantasyon, cam kaplarda, 25–30°C sıcaklıkta 7–10 gün boyunca gerçekleştirilmiş ve süreç düzenli olarak izlenmiştir. Kimyasal analizlerde, kurkumin içeriği HPLC yöntemiyle ölçülmüş ve fermantasyon sırasında kurkuminin biyoyararlanımının önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivitenin DPPH testi ile değerlendirildiği çalışmada, kombucha fermantasyonunun antioksidan kapasiteyi belirgin şekilde artırdığı belirlenmiştir. Biyolojik analizlerde ise zerdeçal bazlı kombuchanın, inflamasyonu baskılayıcı etkiler gösterdiği ve patojenik mikroorganizmalara karşı güçlü antimikrobiyal aktivite sergilediği gözlemlenmiştir. Duyusal analizlerde, zerdeçal çayı bazlı kombuchanın baharatlı ve ferahlatıcı tadıyla tüketiciler tarafından yüksek beğeni aldığı rapor edilmiştir. Çalışma, zerdeçal çayı ile üretilen kombuchanın fonksiyonel bir içecek olarak tüketici taleplerine yanıt verebilecek yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Johnson vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, şeker pancarı posası ile üretilen kombuchanın biyolojik özellikleri detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışma, ürünün prebiyotik etkileri, probiyotik bakterilerin büyümesi ve antimikrobiyal aktiviteleri üzerine odaklanmıştır. Fermantasyon sırasında *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi probiyotik bakterilerin büyümesi plak sayım yöntemiyle analiz edilmiş ve şeker pancarı posasının içerdiği prebiyotik lif ve karbonhidratların bu bakterilerin gelişimini desteklediği belirlenmiştir. Fermantasyon sonunda *Lactobacillus* sayısında %45, *Bifidobacterium* sayısında ise %30 oranında artış gözlemlenmiştir. Kombuchanın antimikrobiyal aktiviteleri agar difüzyon yöntemi ile değerlendirilmiş ve *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans* gibi patojenlere karşı güçlü bir inhibisyon etkisi gösterdiği rapor edilmiştir. Özellikle bakterilere karşı %60'a varan bir inhibisyon sağlanmış, bu etkinin fermantasyon sırasında oluşan asetik asit, laktik asit ve fenolik bileşiklerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Antioksidan aktiviteler DPPH testi ile analiz edilmiş ve kombuchanın yüksek serbest radikal giderme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, şeker pancarı posasının bağırsak sağlığını

destekleyen prebiyotik özellikler sunduğunu, probiyotik bakteri büyümesini teşvik ettiğini ve zararlı mikroorganizmalara karşı güçlü bir savunma sağladığını ortaya koymuştur. Çalışma, kombuchanın hem sağlık açısından hem de endüstriyel atıkların değerlendirilmesi yoluyla sürdürülebilir gıda üretimi için değerli bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Li vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, mangostan meyvesinin kabukları kullanılarak kombucha üretilmiş ve fermantasyon süreci ile ürünün biyolojik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, mangostan kabukları temizlenip kurutulduktan sonra küçük parçalara ayrılmış ve 10 g/L oranında kaynar suyla 20 dakika boyunca demlenerek ekstrakt hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ekstrakt, %5 oranında şeker eklenerek fermantasyon için uygun hale getirilmiş ve %10 oranında starter kültür ile kombucha SCOBY eklenerek cam fermentasyon kaplarında 25–30°C sıcaklıkta 7–10 gün boyunca fermente edilmiştir. Fermantasyon sürecinde pH düşüşü, organik asit oluşumu ve ürünün kimyasal değişiklikleri düzenli olarak izlenmiştir.

Analizler sonucunda, mangostan kabuğu bazlı kombuchanın toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivitesinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Antioksidan aktivitenin değerlendirilmesinde DPPH testi kullanılmıştır. Bu testte, kombucha numuneleri fermantasyonun farklı aşamalarında toplanmış ve DPPH çözeltisi ile karıştırılarak 30 dakika boyunca karanlık bir ortamda inkübe edilmiştir. Daha sonra, numunelerin serbest radikal giderme kapasitesi 517 nm dalga boyunda spektrofotometrik ölçümle değerlendirilmiştir. Fermantasyon başlangıcında %35 olan radikal giderme kapasitesinin, fermantasyon sonunda %70'e yükseldiği belirlenmiştir. Bu artış, mangostan kabuğundaki fenolik bileşiklerin fermantasyon sırasında korunması ve daha aktif formlara dönüşmesiyle ilişkilendirilmiştir. Antimikrobiyal aktivite testlerinde, kombuchanın *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans* gibi patojenlere karşı güçlü bir inhibisyon etkisi gösterdiği gözlemlenmiş ve bu etkinin mangostan kabuğundaki ksantonlar ve fenolik bileşiklerden kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca, fermantasyon sırasında probiyotik mikroorganizmaların büyümesi desteklenmiş ve kombuchanın bağırsak sağlığı açısından prebiyotik etkiler sunduğu tespit edilmiştir.

Duyusal analizlerde, mangostan kabuğu bazlı kombuchanın egzotik ve ferahlatıcı tadıyla tüketiciler tarafından olumlu değerlendirildiği belirtilmiştir. Bu çalışma, mangostan kabuğunun kombucha üretiminde sürdürülebilir ve değerli bir substrat olarak kullanılabileceğini göstermiş ve tropikal meyve atıklarının fonksiyonel içecek üretiminde değerlendirilmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmuştur.

Huang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, karpuz kabuğu kullanılarak kombucha üretilmiş ve ürünün kimyasal, biyolojik, mikrobiyolojik ve fenolik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, karpuz kabukları temizlenip küçük parçalara ayrılarak %10 oranında sıcak suyla ekstrakte edilmiş ve elde edilen ekstrakt filtrelenip şeker eklenerek fermantasyon için hazırlanmıştır. Fermantasyon, %10 oranında starter kültür ve kombucha SCOBY eklenerek cam kaplarda, 25–30°C sıcaklıkta, 7–10 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Süreç boyunca pH, organik asit seviyeleri ve mikrobiyal aktiviteler düzenli olarak izlenmiştir. Kimyasal analizlerde, karpuz kabuğu bazlı kombuchanın zengin C vitamini içeriği korunduğu ve fermantasyon sırasında hafif bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, asetik asit, laktik asit ve glukonik asit gibi organik asitlerin miktarları ölçülmüş ve pH'nın başlangıçta 6.5'ten fermantasyon sonunda 3.2'ye düştüğü tespit edilmiştir. Fenolik analizlerde, toplam fenolik içerik fermantasyon sürecinde %25 artış göstermiş, DPPH testi ile antioksidan aktivitenin %40 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde, *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi faydalı probiyotik bakterilerin büyümesinin desteklendiği ve patojenik mikroorganizmalara karşı kombuchanın güçlü antimikrobiyal etkiler sergilediği belirlenmiştir. Özellikle *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans* gibi patojenler üzerinde inhibisyon etkisi gösterdiği rapor edilmiştir. Prebiyotik analizlerde, karpuz kabuğunun bağırsak sağlığını destekleyen prebiyotik etkiler sunduğu ve metabolik ürünler arasında glukonik asit gibi bileşenlerin kombuchanın biyolojik dengesine katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, karpuz kabuğunun kombucha üretiminde sürdürülebilir bir substrat olarak değerlendirilebileceğini ve hem yüksek C vitamini içeriği hem de antioksidan ve antimikrobiyal özellikleriyle fonksiyonel bir içecek üretimi için uygun bir kaynak olduğunu ortaya koymuştur.

Rodriguez vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, kefir altlığı kullanılarak kombucha üretilmiş ve bu yöntemin probiyotik içeriği ile bağırsak sağlığı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kefir altlığı, probiyotik mikroorganizmalar, laktik asit,

kalsiyum ve besin maddeleri bakımından zengin bir substrat olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kefir altlığı filtrelenmiş, %5 oranında şeker eklenerek fermantasyon için uygun hale getirilmiş ve %10 oranında starter kültür ile kombucha SCOBY eklenerek fermantasyon başlatılmıştır. Fermantasyon, cam kaplarda 25–30°C sıcaklıkta, 7–10 gün boyunca gerçekleştirilmiş ve süreç boyunca pH, organik asit oluşumu ve mikrobiyal aktiviteler düzenli olarak izlenmiştir. Kimyasal analizlerde, kefir altlığı bazlı kombuchanın laktik asit, asetik asit ve glukonik asit gibi organik asitler bakımından zengin olduğu ve pH'nın başlangıçta 5.5'ten fermantasyon sonunda 3.0'a kadar düştüğü belirlenmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde, *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi faydalı probiyotik bakterilerin yoğunluğunun %40 oranında arttığı, bu mikroorganizmaların bağırsak sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinin desteklendiği gözlemlenmiştir. Antimikrobiyal analizlerde ise kefir altlığı bazlı kombuchanın *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans* gibi patojenlere karşı güçlü inhibisyon etkisi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, laboratuvar ortamında simüle edilen bağırsak mikrobiyotası testlerinde, kefir altlığı bazlı kombuchanın prebiyotik özellikleri ile bağırsak mikrobiyotasını desteklediği ve bağırsak sağlığını iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma, kefir altlığının kombucha üretiminde sürdürülebilir ve fonksiyonel bir substrat olarak değerlendirilebileceğini ve atık yönetimine katkı sağlarken sağlık destekleyici bir içecek üretimine olanak sunduğunu ortaya koymuştur.

Gomes vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, domates suyu kullanılarak kombucha üretilmiş ve fermantasyon sürecinin ürünün C vitamini, likopen içeriği ve kardiyovasküler sağlığa olan etkileri üzerindeki rolü incelenmiştir. Taze domateslerden elde edilen saf domates suyu, %10 oranında su ile seyreltilmiş ve %5 oranında şeker eklenerek fermantasyon için hazırlanmıştır. Karışıma %10 oranında starter kültür ve kombucha SCOBY eklenerek cam fermentasyon kaplarında, 25–30°C sıcaklıkta 7–10 gün boyunca fermantasyon gerçekleştirilmiştir. Süreç boyunca pH, organik asit oluşumu ve mikrobiyal aktiviteler düzenli olarak takip edilmiştir. Kimyasal analizlerde, domates suyu bazlı kombuchanın C vitamini içeriğinin fermantasyon sırasında %25 oranında arttığı ve likopen seviyelerinin spektrofotometrik analizlerle daha biyoaktif hale geldiği belirlenmiştir. Ayrıca, fermantasyon sürecinde asetik asit, laktik asit ve glukonik asit seviyelerinde artış tespit edilmiş, pH değerinin başlangıçta 5.5'ten fermantasyon sonunda 3.0'a düştüğü gözlemlenmiştir. Fenolik analizlerde, toplam fenolik içerikte %30, DPPH testi ile ölçülen antioksidan aktivitede ise %40 oranında artış

kaydedilmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde, Lactobacillus ve Bifidobacterium gibi probiyotik mikroorganizmaların büyümesinin desteklendiği ve kombuchanın Escherichia coli ve Staphylococcus aureus gibi patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal etkiler sergilediği tespit edilmiştir. Biyolojik analizlerde, kombuchanın kan basıncını düşürücü ve lipid profili düzenleyici etkileri hayvan modellerinde test edilmiş ve bu etkilerin, fermantasyon sürecinde artan likopen ve fenolik bileşiklerle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Çalışma, domates suyunun fonksiyonel bir içecek üretimi için sürdürülebilir bir substrat olarak kullanılabileceğini ve kombuchanın yüksek antioksidan kapasitesi ile kardiyovasküler sağlığı destekleyici etkiler sunduğunu ortaya koymuştur.

Perez vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, avokado çekirdekleri kullanılarak kombucha üretilmiş ve bu sürecin ürünün biyolojik, kimyasal, mikrobiyolojik ve fenolik özellikleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, avokado çekirdekleri temizlenip kurutulduktan sonra ince öğütülmüş ve %10 oranında sıcak su ile ekstrakte edilerek fermantasyon için hazırlanmıştır. Hazırlanan ekstrakt, %5 oranında şeker eklenerek ve %10 oranında starter kültür ile kombucha SCOBY eklenerek cam fermentasyon kaplarında 25–30°C sıcaklıkta 7–10 gün süreyle fermente edilmiştir. Fermantasyon süresince pH, organik asit oluşumu ve mikrobiyal aktiviteler düzenli olarak izlenmiştir. Kimyasal analizlerde, asetik asit, laktik asit ve glukonik asit gibi organik asitlerin seviyelerinde belirgin bir artış gözlenmiş ve pH değerinin başlangıçta 5.8'den fermantasyon sonunda 3.2'ye düştüğü belirlenmiştir. DPPH testi ile yapılan analizlerde, kombuchanın antioksidan kapasitesinin fermantasyon sonunda %45 oranında arttığı ve toplam fenolik bileşik miktarının %35 oranında yükseldiği tespit edilmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde, Lactobacillus ve Bifidobacterium gibi probiyotik bakterilerin büyümesinin %40 oranında desteklendiği ve kombuchanın Escherichia coli, Staphylococcus aureus ve Candida albicans gibi patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal etkiler sergilediği gözlemlenmiştir. Fenolik analizlerde, avokado çekirdeği kaynaklı polifenoller, flavonoidler ve tanenlerin fermantasyon sırasında korunarak biyoyararlanımlarının arttığı belirlenmiştir. Biyolojik analizlerde ise kombuchanın prebiyotik etkiler sunduğu ve üretilen biyoaktif bileşiklerin kardiyovasküler sağlığı destekleyici özellikler gösterdiği ifade edilmiştir. Bu çalışma, avokado çekirdeklerinin kombucha üretiminde değerli bir substrat olarak kullanılabileceğini ve atık yönetimi açısından çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Nguyen vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, kırmızı biber kullanılarak kombucha üretilmiş ve fermantasyon sürecinin kapsaisin içeriği, termojenik özellikler ve biyolojik aktiviteler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, Capsicum annuum türü taze kırmızı biberler kullanılmış, biberler çekirdeklerinden ayrılıp doğandıktan sonra %10 oranında sıcak su ile ekstrakte edilerek fermantasyon için uygun hale getirilmiştir. Elde edilen ekstrakta %5 oranında şeker, %10 oranında starter kültür ve kombucha SCOBY eklenmiş, karışım cam kaplarda 25–30°C sıcaklıkta 7–10 gün süreyle fermente edilmiştir. Fermantasyon süresince pH, organik asit oluşumu ve kapsaisin konsantrasyonu düzenli olarak izlenmiştir. Kimyasal analizlerde, kapsaisin seviyelerinde hafif bir artış gözlenmiş ve kombuchanın organik asit içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Asetik asit, laktik asit ve glukonik asit seviyelerinin artışı, kombuchanın karakteristik asidik profilini güçlendirmiştir. Fenolik analizlerde, toplam fenolik içerikte %30, DPPH testiyle ölçülen antioksidan aktivitede ise %40 oranında artış tespit edilmiştir. Ayrıca, kırmızı biber kaynaklı karotenoidlerin biyoaktivitesinin fermantasyon sırasında arttığı gözlemlenmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde, Lactobacillus ve Bifidobacterium gibi probiyotik bakterilerin büyümesi %35 oranında desteklenmiş ve kombuchanın Escherichia coli, Staphylococcus aureus ve Candida albicans gibi patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal etkiler sergilediği belirlenmiştir. Biyolojik analizlerde, fermantasyon sırasında üretilen kapsaisinin vücut sıcaklığını artırıcı termojenik etkiler gösterdiği ve bu durumun enerji harcamasını artırarak metabolik aktiviteyi desteklediği tespit edilmiştir. Çalışma, kırmızı biberin fonksiyonel bir substrat olarak kombucha üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ve bu içeceğin metabolik aktiviteyi destekleyen, yüksek antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahip bir ürün olduğunu ortaya koymuştur.

Doğan ve Doğan (2023) tarafından yapılan çalışmada, siyah çay, yeşil çay, kuşburnu çayı ve meyan kökü çayı kullanılarak üretilen kombucha içeceklerinin biyolojik ve duyuşal özellikleri karşılaştırılmıştır. Siyah çay, geleneksel olarak kombucha üretiminde kullanılan bir substrat olarak referans grup seçilirken, yeşil çay yüksek kateşin ve flavonoid içeriğiyle, kuşburnu çayı zengin C vitamini ve fenolik bileşik profiliyle, meyan kökü çayı ise glisirizin ve tatlı bileşenleriyle öne çıkmıştır. Çaylar %10 oranında sıcak suyla demlenip filtrelendikten sonra %5 şeker eklenerek hazırlanmış ve %10 oranında starter kültür ile kombucha SCOBY eklenerek cam kaplarda 25–30°C sıcaklıkta, 7–10 gün süreyle fermente edilmiştir. Fermantasyon süresince pH, asidite,

fenolik içerik ve mikrobiyal aktiviteler düzenli olarak izlenmiştir. Kimyasal analizlerde, siyah çay bazlı kombucha en yüksek asetik asit seviyelerini gösterirken, kuşburnu çayı bazlı kombucha en yüksek C vitamini içeriğine sahip olmuştur. Yeşil çay bazlı kombucha, toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivite açısından diğer gruplardan üstün bulunmuş, meyan kökü çayı bazlı kombucha ise probiyotik mikroorganizmaların büyümesini en çok desteklemiştir. Mikrobiyolojik analizlerde, Lactobacillus ve Bifidobacterium gibi probiyotik bakterilerin yoğunluğunda artış gözlenirken, siyah çay bazlı kombucha en güçlü antimikrobiyal etkileri göstermiştir. Fenolik analizlerde, yeşil çay bazlı kombucha en yüksek fenolik içerik artışı ve serbest radikal giderme kapasitesine ulaşmıştır. Duyusal analizlerde ise meyan kökü çayı bazlı kombucha, tatlımsı aroması nedeniyle panelistler tarafından en çok beğenilen içecek olmuştur. Çalışma, farklı bitki çaylarının kombucha üretiminde ürünün biyolojik ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini, her bir çayın farklı fonksiyonel özellikler kazandırabileceğini ortaya koymuştur.

Çelik vd. (2023b) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de üretilen kombucha çaylarının mikrobiyal kompozisyonu yüksek çözünürlüklü sekanslama yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada, siyah çay ve yeşil çay substrat olarak seçilmiş, %10 oranında sıcak suyla demlenip filtrelendikten sonra %5 şeker ve %10 oranında starter kültür eklenerek fermantasyon başlatılmıştır. Kombucha fermantasyonu, 25–30°C sıcaklıkta, 7–10 gün süreyle gerçekleştirilmiş ve süreç boyunca pH, organik asit oluşumu, fenolik içerik ve mikrobiyal aktiviteler izlenmiştir. Mikrobiyal analizlerde, kombuchanın baskın bakterilerinin Lactobacillus, Acetobacter ve Gluconobacter türleri olduğu, baskın maya türlerinin ise Saccharomyces ve Zygosaccharomyces olduğu belirlenmiştir. Bu mikrobiyal kompozisyonun coğrafi kökene, su kalitesine ve fermantasyon süresine bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Kimyasal analizlerde, kombuchanın asetik asit, laktik asit ve glukonik asit gibi organik asitler bakımından zenginleştiği, pH seviyesinin fermantasyon sırasında 5.5'ten 3.0'a düştüğü ve siyah çay bazlı kombuchanın daha yüksek fenolik bileşik içeriği sunduğu belirlenmiştir. Fenolik analizlerde, fermantasyonun toplam fenolik bileşiklerin yoğunluğunu artırdığı ve antioksidan kapasiteyi önemli ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir. Ayrıca, kombuchanın prebiyotik etkiler sunduğu, bağırsak sağlığını destekleyen Lactobacillus türlerinin büyümesini teşvik ettiği ve probiyotik etkinliğinin mikrobiyom çeşitliliğine bağlı olarak arttığı rapor edilmiştir.

Çalışma, kombucha mikrobiyomunun coğrafi köken ve fermantasyon koşullarına göre farklılık gösterdiğini ve mikrobiyal kompozisyonun ürünün biyolojik ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur.

2.20 Tezin Amacı

Kombucha, Asya kökenli fermente bir içecektir. Bununla birlikte, antimikrobiyal, antioksidan, antikarsinogenik, antidiyabetik, mide ülserini tedavi edici, yüksek kolesterolü kontrol edici ve karaciğer detoksifikasyonu gibi terapötik etkileri nedeniyle Batı'da popülerite kazanmıştır (Chakravorty vd., 2016; Jayabalan vd., 2008; Ulusoy ve Tamer, 2019).

Kombucha çayı, yaklaşık 14 gün boyunca “çay mantarı” oluşturan asetik asit bakterileri ve mayaların simbiyotik birlikteliği ile fermente edilmiş şekerli siyah çaydır. Kombucha çayı, yüzen bir selüloz pelikül tabakası ve ekşi sıvı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Chen ve Liu, 2000). Çayın fermantasyonu, bir selüloz filmine yerleştirilmiş asetik asit bakterileri ile mayaların simbiyotik aktivitesi sonucu gerçekleşmektedir (Chen ve Liu, 2000; Chu ve Chen, 2006). Kombucha mikrobiyotasında önemli bir yeri olan *Acetobacter* ve *Gluconacetobacter* türü bakterilerin kombucha çayı fermentasyonunu gerçekleştirmenin yanı sıra önemli tat ve koku maddelerini meydana getirdikleri de bilinmektedir. Selüloz ağ tabakası ise “SCOBY (bakteri ve mayaların simbiyotik kolonisi)”, “çay mantarı” veya “kombucha anası” olarak tanımlanmaktadır (de Oliveira vd., 2023). Ozmofilik mayalar ortamdaki şekeri fermente ederken ve etanol üretirken, bakteriler oluşan alkolü okside ederek asetik asit oluşturmaktadır (Teoh vd., 2004). Asetik aside ilave olarak antibakteriyel aktiviteye sahip olan ve patojenik bakterilerin kombucha ürünüde kontaminasyonunu önleyen glukonik, laktik, malik, sitrik ve tartarik gibi diğer organik asitler de sentezlenmektedir (Martínez vd., 2018; Neffe-Skocińska vd., 2017).

Günümüze kadar yapılan araştırmalarda en çok yeşil ya da siyah çay (*Camellia sinensis*) kullanılarak geleneksel kombucha ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bundan sonra en çok kullanılan çay türleri ve şifali bitkiler olarak örneğin: beyaz, kırmızı ve sarı çay; oolong ve rooibos çayı, ayrıca üzüm, elma, ananas ve guava gibi meyveler; süt, yağsız süt ve yoğurt; tahıl, tohumlar ve fasulye, muz kabuğu, şaraphane atık suyu ve

soya peynir altı suyu, kırmızı deniz yosunu, soya sütü, hurma Őurubu, siyah havuç suyu, kiraz defnesi, karaçalı ve kırmızı ahududu, mantar ve hindistancevizi suyu da kullanılan hammaddelerdendir. Kombucha retiminde kullanılan farklı çeŐit ve miktarlarda substratlar, farklı kimyasal bileŐimlere ve biyolojik aktivite türlerine sahip içeceklerin ortaya çıkmasına neden olur. Kombucha retiminde çay dışında farklı bitki ve meyvelerin kullanılmasının biyoaktif bileşen içeriğinin ve biyoyararlılığının da bu bileşenlere göre deĐiŐmesi kaçınılmazdır.

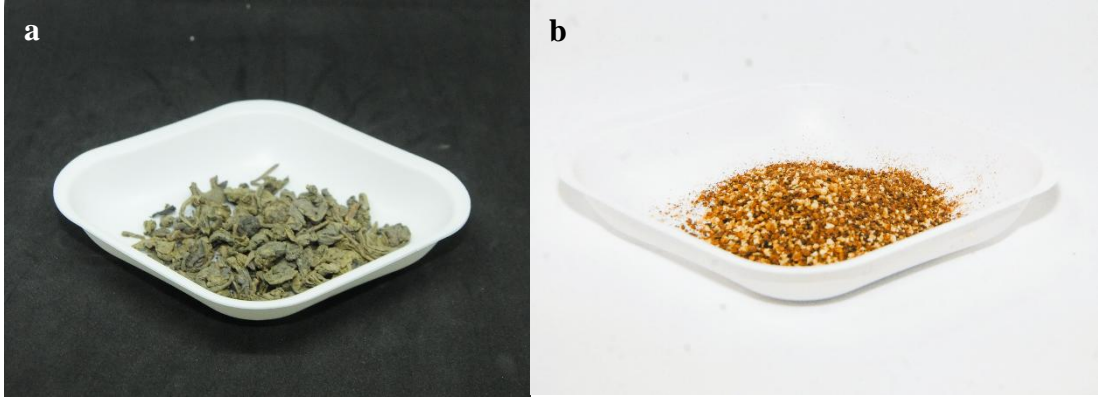
Kombuchanın faydalı özelliklerinden yola çıkılarak farklı çayların fermentasyonu ile hazırlanan kombuchaların biyolojik özellikleri önem kazanmaktadır. Bu amaçla bu tez çalışmasında daha önceden hiç denenmemiŐ olan Süleymanın mührü otu (*Polygonatum odoratum*) ayı kullanarak kombucha ieğeğinin hazırlanması ve biyolojik aktivitelerin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu tez çalışmasında siyah ve yeşil çay ile birlikte Süleymanın mührü otu kullanarak hazırlanan kombuchaların fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerinin çalıŐılması amaçlanmaktadır.

BÖLÜM III

MATERYAL METOT

3.1 Kombucha Örneklerinin Hazırlanması

Kombucha hazırlamak için geleneksel olarak hazırlanan yeşil çay ve Kore çayı olan Süleymanın mührü otu (Solomon's Seal) örnekleri infüzyon edilecektir. İnfüzyon işlemi için bitki örnekleri 1 litre için 7g tartılır. Tartılan örnekler otoklavda steril hale getirilen musluk suyunda 85°C'de 30 dk inkübasyona bırakılır. Ardından her 1 litre için 70 g karbon kaynağı sakkaroz eklenir. Hazırlanan çay örnekleri 26°C sıcaklığa ulaşıncaya kadar oda şartlarında soğumaya bırakılır. İstenilen sıcaklığa ulaşılan infüzyon örneklerine daha önceden hazırlanmış olan kombuchadan %10 oranında inoküle edilir. İnokülasyonun ardından hazırlanan örnekler iklim kabininde 26°C'de fermentasyona bırakılır.

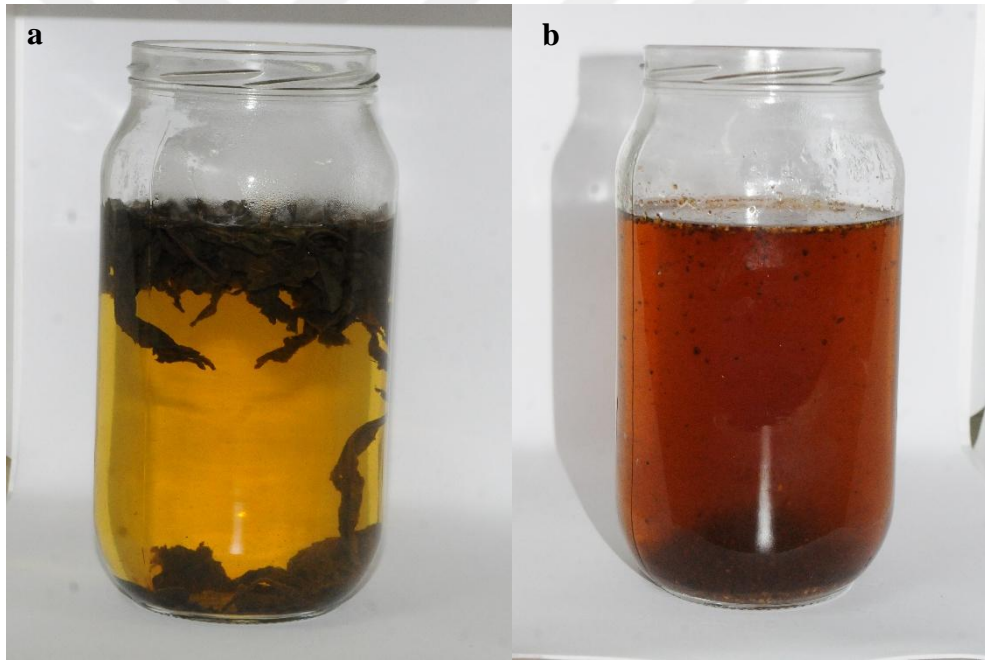


Şekil 3.1. Bitki örneklerinin tartılması, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* kökü(b)

Fermentasyon işlemi için sterilizasyon büyük önem taşır. Kullanılacak cam kavanoz ve diğer ekipmanlar, %70'lik alkol ile sterilize edilerek olası kontaminasyonların önüne geçilir. Sterilize edilmiş kavanoza, oda sıcaklığına soğutulmuş şekerli çay aktarılır. Bu aşamada, kombucha kültürü (SCOBY) ve 100-200 mL başlangıç sıvısı eklenir. Başlangıç sıvısı, pH seviyesini düşürerek fermentasyon süresince istenmeyen mikroorganizmaların büyümesini engeller (Greenwalt vd., 2000a). Kombucha kültürü ise çayın fermentasyon sürecini başlatan simbiyotik bakteri ve maya karışımını içerir (Mayser vd., 1995).

Kavanozun ağızı temiz bir tülbent veya pamuklu bez ile örtülerek, lastik bant yardımıyla sabitlenir. Bu kapatma yöntemi, karışımın havayla temas etmesini sağlar ancak toz ve zararlı mikroorganizmaların içeri girmesini engeller. Hazırlanan kombucha çayı, doğrudan güneş ışığından korunacak şekilde oda sıcaklığında (20-30°C) yaklaşık 7-10 gün boyunca fermente edilmeye bırakılır. Ortam sıcaklığı ve kişisel tercihlere göre bu süre değişkenlik gösterebilir (Blanc, 1996).

Fermentasyon süreci tamamlandığında, SCOBY dikkatlice çıkarılarak bir sonraki kombucha üretiminde kullanılmak üzere saklanır. Fermente olan kombucha çayı ise süzülerek başka bir kaba alınır. İstenirse ikinci bir fermentasyon sürecine geçilerek çaya tatlandırıcılar eklenebilir. Hazırlanan kombucha çayı, fermentasyon sürecinin ardından şişelenerek buzdolabında saklanır ve tüketime hazır hale gelir (Chen ve Liu, 2000).



Şekil 3.2. Bitki örneklerinin infüzyonları, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

3.2 pH Ölçümleri

Hazırlanan kombucha çayından 3,6,9 ve 14 günlerde örnekler alınıp pH değişimleri ölçülmüş ve değişimleri kaydedilmiştir. pH ölçümü bir pH metre ile gerçekleştirilmiştir (WTW serisi Multi 9620 IDS, Weilheim, Almanya) fermentasyon süresi boyunca ve öncesinde ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.3. Bitki örneklerinin iklim kabini fermantasyonu, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

3.3 DPPH Radikal Süpürücü Aktivite Tayini

Solüsyonların serbest radikalleri giderme kapasitesi, serbest radikal temizleme yetenekleri değerlendirilerek analiz edilmiştir. Bu amaçla, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikalinden yararlanılmıştır. Brand-Williams ve arkadaşları tarafından 1995 yılında önerilen yöntem, gerekli değişiklikler yapılarak uygulanmıştır (Brand-Williams vd., 1995).

Kombucha örnekleri, analiz öncesinde mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırılması amacıyla, 0.22 mikrometre gözenek çapına sahip bir şırınga filtresinden dikkatlice süzülmüştür. Filtrasyon işlemi sonrası elde edilen süpernatant, tüm deneysel analizlerde kullanılan temel çözelti olarak değerlendirilmiştir. Her deney için, önceden hazırlanmış örnek tüplerine 20 µL kombucha örneği yerleştirilmiş ve üzerine 180 µL 1 mM konsantrasyonunda hazırlanmış 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) çözeltisi dikkatlice eklenmiştir. Serbest radikal temizleme aktivitesini etkileyebilecek dış faktörlerin

minimum düzeyde tutulmasını sağlamak amacıyla, bu karışım ışık geçirmez özel kaplarda, oda sıcaklığında, sabit bir süre olan 30 dakika boyunca inkübe edilmiştir.

İnkübasyon sürecinin ardından, çözeltideki absorbans değerleri, referans olarak kullanılan metanol çözeltisi eşliğinde 517 nm dalga boyunda hassas bir spektrofotometre ile ölçülmüştür. Absorbans değerlerindeki azalma, çözeltide kalan DPPH miktarını ve buna bağlı olarak kombucha örneklerinin serbest radikal temizleme kapasitesini göstermektedir. Bu ölçüm, antioksidan aktivite değerlendirilmesinde önemli bir metrik olarak kabul edilmektedir.

Serbest radikal süpürme aktivitesi, aşağıdaki formül yardımıyla yüzdesel olarak hesaplanmıştır:

$$\text{Radikal Süpürme Gücü (\%)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \quad (3.1)$$

Bu formülde, A_0 kontrol grubunun absorbansını, A_1 ise kombucha örneklerinin veya standardın inkübasyon sonunda ölçülen absorbansını temsil etmektedir. Her bir örnek için analizler, ölçüm hatalarını minimize etmek ve elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla üç paralel tekrar halinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, serbest radikal temizleme aktivitesine dair daha doğru ve tutarlı veriler elde edilmesini sağlamıştır.

Bu yöntem, kombucha örneklerinin antioksidan kapasitelerinin objektif bir şekilde değerlendirilmesi ve diğer biyolojik aktivite analizleri için önemli bir temel oluşturmuştur. İlgili analizler, kombuchanın farklı üretim koşulları, fermantasyon süreleri ve bileşim varyasyonlarının, serbest radikal temizleme kapasitesi üzerindeki etkilerini anlamak için genişletilmiştir. Bu sayede, kombuchanın biyolojik faydalarını optimize etmek için potansiyel stratejiler belirlenebilir.

3.4 Bakır (II) İndirgeyici Antioksidan Kapasite yöntemi (CUPRAC)

Bu çalışmada, kombucha örneklerinin toplam antioksidan kapasitesini ölçmek için kimyasal bazlı bir yöntem kullanılarak, Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) testi uygulanmıştır. Bu test, kombuchanın bakır (II) iyonlarını indirgeme

kapasitesini değerlendirmek ve antioksidan potansiyelini belirlemek için yaygın olarak kullanılan, güvenilir ve etkili bir yöntemdir (Selamoglu vd., 2017). Deney prosedürü, her biri 2,5 mL kapasiteli santrifüj tüplerinde gerçekleştirilmiştir. Her tüpe sırasıyla 500 µL Bakır (II) Klorür (CuCl₂) çözeltisi (1 mM), 500 µL Amonyum Asetat tampon çözeltisi (pH 7.0, 1M), ve 500 µL Neocuproin (C₁₄H₁₂N₂) çözeltisi (7.5 x 10⁻³M) eklenmiştir. Bu reaktif karışımı, CUPRAC reaksiyonu için gerekli olan temel çözeltidir. Neocuproin, özellikle bakır (I) iyonları ile yüksek seçicilik gösterdiğinden, testin hassasiyetini artırmak için kritik bir role sahiptir (Apak vd., 2008).

Her bir tüpe, kombucha örneği 100 µL hacminde (1 mg/mL konsantrasyonunda) dikkatlice eklenmiştir. Karışımın toplam hacmi distile su eklenerek 2 mL'ye tamamlanmıştır. Boş kontrol numuneleri için kombucha ekstraktı yerine distile su kullanılmıştır. Bu kontrol grubu, kombucha örneğinden kaynaklanabilecek herhangi bir ek absorbans etkisini ayırt etmek için referans noktası olarak işlev görmüştür (Selamoglu vd., 2017).

Hazırlanan tüpler, iki farklı inkübasyon koşulunda tutulmuştur:

- **Oda Sıcaklığında İnkübasyon:** Numuneler, doğal ortam sıcaklığında 30 dakika süreyle bekletilmiştir (Apak vd., 2008).
- **Isı Kontrollü İnkübasyon:** Numuneler, 50°C'ye ayarlanmış bir su banyosunda 30 dakika süreyle inkübe edilmiştir. Bu koşul, kombucha içindeki antioksidan bileşenlerin termal stabilitesini ve reaksiyona etkisini değerlendirmek için tercih edilmiştir (Selamoglu vd., 2017). İnkübasyon süresinin ardından, her bir tüpün absorbans değeri, spektrofotometre kullanılarak 450 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Kombucha örnekleri içermeyen boş kontrol numunelerinin absorbans değerleri, ölçümler sırasında referans olarak kullanılmıştır (Apak vd., 2008). Elde edilen absorbans verileri, kombucha örneklerinin bakır (II) iyonlarını indirgeme kapasitesini ve dolayısıyla toplam antioksidan aktivitelerini belirlemek için temel oluşturmuştur. Bu analiz, kombuchanın içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler, organik asitler ve diğer antioksidan aktif maddelerin, CUPRAC reaktif sistemi içindeki bakır (II) iyonlarını indirgeme potansiyelini ortaya koymuştur (Apak vd., 2008). Çalışma, kombucha örneklerinin antioksidan aktivitelerinin sıcaklık değişimlerinden nasıl etkilendiğini

belirlemek için daha geniş bir perspektif sunmaktadır. Kombuchanın fermantasyon süreleri, çay türleri (yeşil, siyah, beyaz) ve şeker türlerinin (sakkaroz, fruktoz, glikoz) CUPRAC yöntemiyle antioksidan aktivite üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı şekilde incelenmesi, bu çalışmayı derinleştirecek potansiyel araştırma konuları arasında yer almaktadır (Selamoglu vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan kombucha örneklerinin yanı sıra, diğer doğal ürünlerin ve farklı kombucha varyantlarının CUPRAC yöntemiyle test edilmesi, kombuchanın antioksidan kapasitesini diğer kaynaklarla kıyaslama imkânı sunabilir (Apak vd., 2008). Ayrıca, kombuchanın fermantasyon sürecinin başlangıç, orta ve son aşamalarında CUPRAC aktivitesinin ölçülmesi, fermantasyon dinamiklerinin antioksidan potansiyel üzerindeki etkisini derinlemesine anlamaya katkıda bulunacaktır (Selamoglu vd., 2017).

3.5 Total Fenol içeriği

Kombucha örneklerinin toplam fenol içeriği, fenolik bileşiklerin kantitatif analizi için yaygın olarak kullanılan Folin-Ciocalteu yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntem, fenolik bileşiklerin fosfomolibdik ve fosfotungstik asitlerle reaksiyona girerek mavi renkli kompleksler oluşturmaya dayanır. Bu komplekslerin spektrofotometrik ölçümleri, fenolik içeriğin dolaylı bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir (Singleton ve Rossi, 1965). Fenolik bileşikler, kombuchanın antioksidan kapasitesinin önemli belirleyicileridir ve bu analiz, bu bileşiklerin miktarını doğru bir şekilde ölçmek için kritik öneme sahiptir (Waterhouse, 2002). Analiz için 0,1 mL kombucha örneği alınarak her bir tüpe 10 kat seyreltilmiş 1 mL Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiştir. Reaksiyonun başlaması için bu karışım 5 dakika süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra, karışıma 1 mL %7,5 sodyum bikarbonat çözeltisi ilave edilmiş ve toplam hacim, reaksiyonun etkili bir şekilde tamamlanması için 2 mL'ye çıkarılmıştır. Reaksiyon karışımları, fenolik bileşiklerin maksimum reaksiyonunun gerçekleşmesini sağlamak amacıyla 90 dakika boyunca oda sıcaklığında inkübe edilmiştir (Düşgün vd., 2021). İnkübasyonun ardından, reaksiyon ürünlerinin absorbanı, spektrofotometrik olarak 765 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Bu dalga boyu, Folin-Ciocalteu reaktifi ile fenolik bileşiklerin etkileşimi sonucunda oluşan mavi renkli komplekslerin maksimum absorpsiyon bölgesidir. Analizin kantitatif doğruluğunu artırmak için gallik asit standart eğrisi oluşturulmuş ve sonuçlar, fenolik içeriklerin gallik asit eşdeğerleri (GAE)

cinsinden ifade edilmiştir (İldız vd., 2022). Gallik asit, fenolik analizlerde referans standart olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, çünkü farklı fenolik bileşiklerin genel antioksidan kapasitelerini temsil etmede etkili bir model sunar (Shahidi ve Zhong, 2007). Folin-Ciocalteu yöntemi, fenolik bileşiklerin toplam miktarını ölçmede hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Bununla birlikte, bu yöntemin yalnızca toplam fenolik içerik hakkında bilgi sunduğu, spesifik fenolik bileşenlerin tanımlanmasında daha ileri analizlerin gerekli olduğu unutulmamalıdır (Waterhouse, 2002). Kombuchanın fenolik içeriği, yalnızca antioksidan kapasitesini değil, aynı zamanda antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve kardiyovasküler koruma gibi biyolojik aktivitelerini de etkileyen önemli bir faktördür (Jayabalan vd., 2014). Çalışmada kullanılan kombucha örneklerinin fenolik içeriği, kullanılan çay türleri (yeşil, siyah, beyaz), fermantasyon süresi, sıcaklık ve şeker türü gibi birçok faktöre bağlı olarak farklılık göstermektedir (Bhattacharya vd., 2022). Gelecekte yapılacak çalışmalarda, kombuchanın spesifik fenolik bileşenlerinin HPLC gibi daha ileri analiz yöntemleriyle detaylı olarak incelenmesi, fenolik profillerinin sağlık yararlarıyla daha iyi ilişkilendirilmesini sağlayabilir. Ayrıca, farklı kombucha varyantlarının fenolik içerik açısından karşılaştırılması, ürün geliştirme süreçlerinde değerli bilgiler sunabilir (Jayabalan vd., 2014).

3.6 Anti-mikrobiyal Özelliklerin Belirlenmesi

Fermente metabolitlerin antimikrobiyal aktiviteleri, önemli patojenik bakterilere karşı değerlendirilmiştir. Bu çalışma, liyofilize edilmiş fermente metabolitlerin etkisini belirlemek amacıyla standart agar difüzyon yöntemine dayalı olarak tasarlanmıştır. Antimikrobiyal aktivite, inhibisyon zonlarının büyüklüğü ile ölçülerek değerlendirilmiştir. Araştırmada kullanılan patojen suşlar, logaritmik faza ulaşmaları için 37°C'de 18 saat boyunca Brain Heart Infusion (BHI) sıvı besiyerinde kültüre edilmiştir. Daha sonra, 10⁷ kob/mL konsantrasyona ayarlanmış bu kültürler, yarı-katı besiyerine inoküle edilmiştir. Bu işlem, bakterilerin sabit bir yoğunlukta çalışmasını sağlamıştır (Jorgensen ve Turnidge, 2015). Patojen bakteriler, katı agar ortamının yüzeyine eşit şekilde yayılarak homojen bir dağılım sağlanmıştır. Agar yüzeyine açılan her biri 6 mm çapında kuyulara, liyofilize edilen fermente metabolitlerden 100 µL örnek eklenmiştir. Fermente metabolitlerin kuyularda sızma yapmadan kalması için dikkatli bir çalışma ortamı sağlanmıştır. Kontrol kuyuları için steril su veya metanol eklenmiştir.

Bu adım, antimikrobiyal etkinliğin doğru şekilde ölçülmesini garanti altına almak için önemlidir (Balouiri vd., 2016). Hazırlanan agar plakaları, 37°C'de 24 saat boyunca inkübe edilmiştir. Bu süreç, fermente metabolitlerin içerdiği aktif bileşiklerin bakteriyel hücreler üzerinde etkisini göstermesi için yeterli süre olarak belirlenmiştir. İnkübasyonun ardından, kuyucuklar etrafında oluşan inhibisyon zonlarının çapları milimetre cinsinden ölçülmüştür. Bu ölçümler, fermente metabolitlerin antimikrobiyal gücünü kantitatif olarak değerlendirmek için kullanılmıştır (Bauer vd., 1966). Bu çalışma, fermente metabolitlerin gram-pozitif ve gram-negatif bakterilere karşı etkinliğini ortaya koymuştur. Daha büyük inhibisyon zonları, test edilen metabolitlerin güçlü antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle laktik asit bakterilerinin fermantasyon sırasında ürettiği organik asitler, hidrojen peroksit ve bakteriyosinler gibi bileşiklerin, patojenik bakterilere karşı inhibisyon sağladığı düşünülmektedir (De Vuyst ve Leroy, 2007). Bu tür metabolitlerin etkisinin, farklı fermantasyon süreçleri ve substrat türlerine göre değişiklik gösterebileceği belirtilmiştir (Gaggia vd., 2010). İnhibisyon zonları ile ilgili elde edilen sonuçlar, fermente metabolitlerin klinik ve gıda endüstrisi uygulamalarında potansiyel antimikrobiyal ajanlar olarak değerlendirilmesi için önemli bir temel sunmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda:

- **Kimyasal Profil Analizleri:** Fermente metabolitlerin kimyasal içeriklerinin HPLC, GC-MS ve NMR gibi tekniklerle analiz edilmesi, inhibisyonu sağlayan aktif bileşenlerin tam olarak belirlenmesine olanak tanıyacaktır (Parvez vd., 2006).
- **Sinerjistik Etkiler:** Bu metabolitlerin, mevcut antibiyotiklerle sinerjik etkilerinin test edilmesi, kombine terapiler için yeni stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir (Gupta ve Birdi, 2017).
- **Farklı Patojenlere Karşı Testler:** Çalışmanın, sadece klinik bakterilerle sınırlı kalmayıp, gıda kaynaklı patojenler ve mantar türleri gibi daha geniş bir mikroorganizma yelpazesinde genişletilmesi önerilmektedir (Jayabalan vd., 2014).

Fermente metabolitlerin, gıda güvenliği, ilaç endüstrisi ve çevresel koruma gibi birçok alanda uygulama potansiyeli bulunmaktadır. Özellikle, antibiyotik direnci sorunuyla

mücadelede doğal antimikrobiyal ajanlara olan ihtiyaç göz önüne alındığında, bu tür çalışmaların önemi daha da artmaktadır (World Health Organization, 2020).

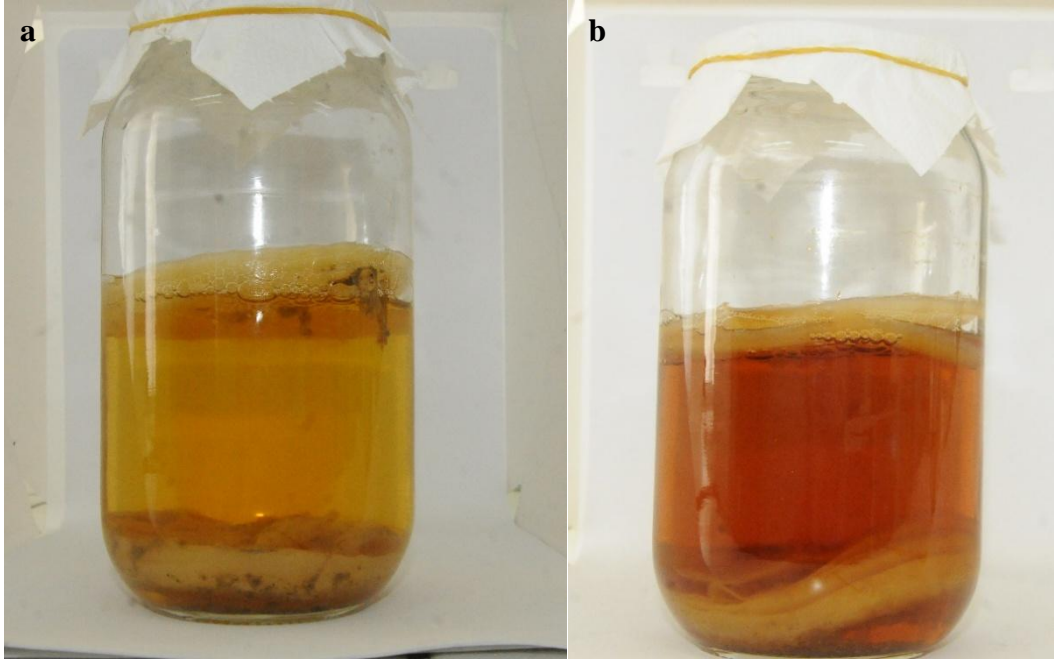
3.7 Anti-Mikrobiyal Özelliklerin Belirlenmesi

Fermente metabolitleri içeren liyofilizatın, antimikrobiyal aktivitesi, bazı önemli patojen bakterilere karşı araştırıldı. Bu amaçla; BHI sıvı besiyerinde 37°C'de 18 saat geliştirildi patojen suşlar 5 mL yarı-katı besiyerine inoküle edildi (10⁷ kob/mL) ve aynı besiyerini içeren katı agar yüzeyine yayıldı. Katı agar yüzeyinde açılan 6 mm boyutundaki kuyulara, fermente örnekler 100 µL olacak şekilde aktarıldı. 37°C'de 24 saat inkübasyon süresi sonunda kuyucukların etrafında meydana gelen inhibisyon zonları mm olarak ölçüldü.

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında *Polygonatum odoratum* kullanılarak kombucha fermentasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kombuchanın antioksidan özelliği, total fenolik madde içeriği ve antibakteriyel gibi bazı biyolojik özellikleri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra kombucha ürününün pH ölçümleri yapılarak fermentasyon sürecinin başarılı olup olmadığı test edilmiştir. Elde edilen *Polygonatum odoratum* kombuchanın sonuçları geleneksel olarak üretilen yeşil çay (*Camellia sinensis*) kombucha sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tüm bu çalışmalardan elde edilen veriler bu bölümde verilmiştir. Kombucha fermentasyonu sonucu oluşan kombucha örneklerinin görüntüsü Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Kombucha fermentasyonu sonucu oluşan ürünler, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

4.1 pH Ölçümü Sonuçları

Bu çalışmada yeşil çay (*Camellia sinensis*) ve süleymanın mührü out (*Polygonatum odoratum*) kullanılarak kombucha hazırlanmıştır. Kombucha fermentasyonu 14 gün

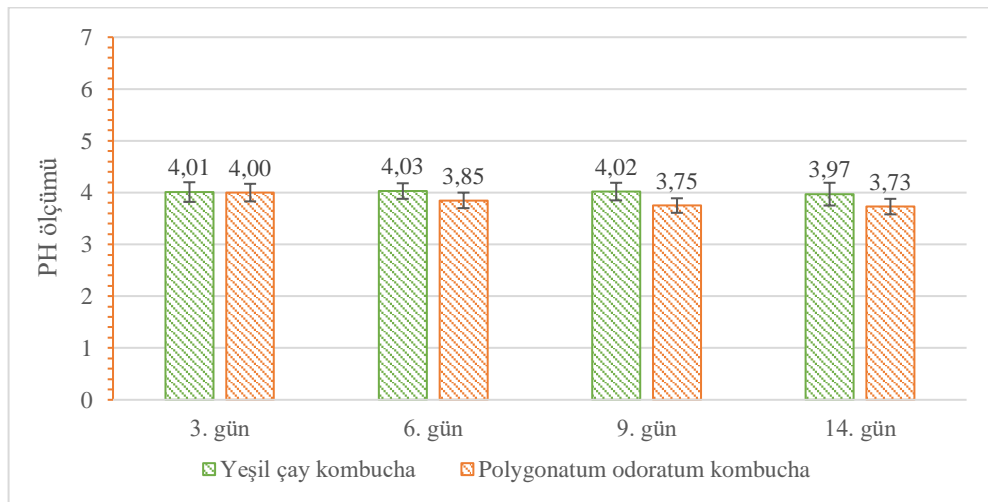
sürmüştür. Fermentasyonun 3., 6., 9.ve 14. gününde alınan örneklerin pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. pH ölçüm sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Kombucha örneklerinin pH ölçümü sonuçları

Kombucha Örneği	Fermentasyon süresi (pH)			
	3.gün	6. gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	4,01±0,19 ^a	4,03±0,15 ^a	4,02±0,17 ^a	3,97±0,22 ^a
<i>Polygonatum odoratum</i>	4,00±0,17 ^a	3,85±0,15 ^b	3,75±0,14 ^b	3,73±0,15 ^b

^{a-b} Aynı kolonda bulunan farklı harfler istatistiksel anlamlılığı göstermektedir ($p<0,05$).

Fermentasyon süresinin artması nedeniyle tüm infüzyon gruplarında pH seviyelerinde azalma istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,05$). Sonuçlar incelendiğinde yeşil çay ile hazırlanan kombuchanın 3.gün pH’ı 4,01±0,19 bulunurken *P. odoratum* kombuchanın pH’ı 4,00±0,17 olarak ölçülmüştür. Fermentasyonun 6. gününde yeşil çay kombuchanın pH’ı 4,03±0,15’ye düşerken *P. odoratum* kombuchanın pH’ı 3,85±0,15’e düşmüştür. Bu sonuç fermentasyonun başladığını göstermektedir. Fermentasyon süresinin 9. günde yeşil çay kombuchanın pH’ı 4,02±0,17 olarak belirlenirken *P. odoratum* kombuchanın pH’ı 3,75±0,14 olarak ölçülmüştür. Fermentasyon süresinin son günü olan 14. günde yeşil çay kombuchanın pH’ı 3,97±0,22 iken *P. odoratum* kombuchanın 3,73±0,15 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil ’de görülmektedir. Bu sonuçlar *P. odoratum* ile hazırlanan kombuchanın kontrol grubu olan yeşil çay ile olan kombucha ile benzerlik göstermektedir. Bundan dolayı *P. odoratum* ’un kombucha fermentasyonun başarılı şekilde gerçekleştiği düşünülebilir.



Şekil 4.2. Kombucha örneklerinin pH sonuçları

Yapılan alışmalar, kombucha fermantasyonu sırasında pH seviyelerinin azaldığını ve bu düşüşün çay türü, fermantasyon süresi, şeker konsantrasyonu, sıcaklık ve mikrobiyal bileşim gibi çeşitli faktörlerden etkilendiğini göstermektedir. Kombuchanın mikrobiyal stabilitesi ve biyolojik aktivitesini optimize etmek için pH seviyesinin 2.8-3.5 aralığında tutulması önerilmektedir (şatır, 2023). Kombucha, ay ve şekerin SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) tarafından fermente edilmesiyle elde edilen fonksiyonel bir içecektir. Fermantasyon sürecinde organik asitlerin üretimi nedeniyle pH seviyesinde düşüş gözlemlenmektedir (Güldane vd., 2017). Bu pH düşüşü, kombuchanın mikrobiyal stabilitesini artırırken tat profili ve biyolojik aktivitesini de değiştirmektedir (şatır, 2023). Farklı ay türleri kullanılarak üretilen kombucha içeceklerinde pH değişimleri araştırılmıştır. Beyaz, siyah ve yeşil çay kullanılarak yapılan bir çalışmada, başlangıçta 3.76, 4.04 ve 4.09 olarak ölçülen pH seviyelerinin, 11. gün sonunda sırasıyla 3.11, 3.22 ve 3.16'ya düştüğü tespit edilmiştir (Güldane vd., 2017). Benzer şekilde, farklı bitkisel çayların kullanıldığı bir araştırmada, fermantasyon süresince pH değerinde istatistiksel olarak anlamlı düşüşler gözlemlenmiştir (Pekcan, 2020). Fermantasyon süresi arttıkça kombuchanın pH seviyesinde belirgin bir azalma meydana gelmektedir. Bir çalışmada, başlangıç pH değeri 6.95 olan kombucha örneklerinde, 10. gün sonunda pH seviyesinin 4.52'ye düştüğü bildirilmiştir (Değirmencioğlu vd., 2019). Uzun süreli fermantasyon, organik asit konsantrasyonunu artırarak kombuchanın daha ekşi hale gelmesine neden olmaktadır. Farklı şeker türlerinin fermantasyon sürecindeki etkisini inceleyen bir çalışmada, kullanılan şeker kaynağının pH seviyesini doğrudan etkilediği belirlenmiştir (Yılmaz ve Kaya, 2021). Örneğin, saf sakkaroz ile fermente edilen kombuchada pH daha hızlı düşerken, bal veya hindistancevizi şekeri gibi alternatif tatlandırıcılar kullanıldığında pH düşüşü daha yavaş gerçekleşmiştir. Fermantasyon sıcaklığı arttıkça, pH düşüşü daha hızlı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda asetik asit üretiminin artması nedeniyle, kombuchanın pH seviyesi daha kısa sürede 2.5-3.5 aralığına düşmektedir. Ayrıca, farklı mikrobiyal popölasyonlarla fermente edilen kombucha içeceklerinde pH değişimleri incelenmiş ve mikrobiyal çeşitliliğin pH seviyesinin düşüş hızında etkili olduğu bulunmuştur (Değirmencioğlu vd., 2019).

4.2 Total Fenolik Madde İçeriği

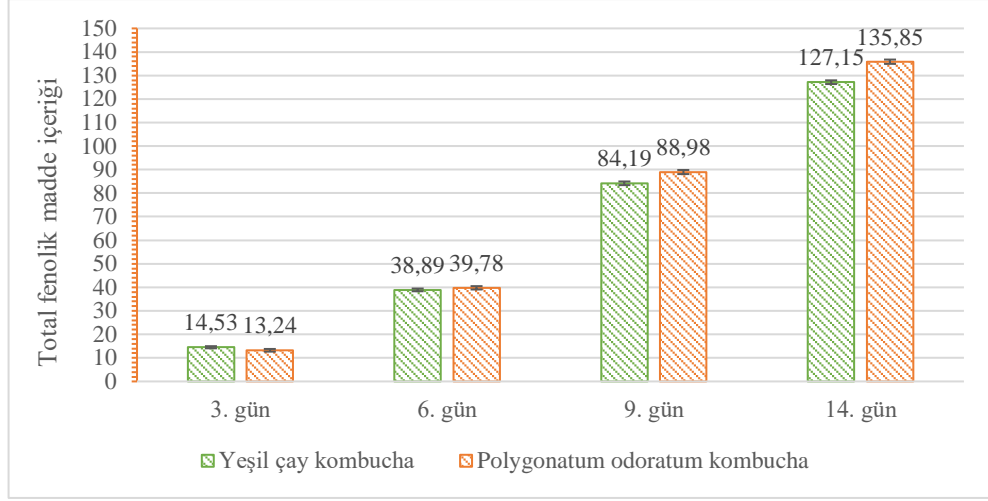
Yeşil çay (*C. sinensis*) ve *Polygonatum odoratum* (Süleymanın mührü otu) substratları kullanılarak hazırlanan kombucha fermentasyonu örneklerinden 3.,6., 9. ve 14. günlerde alınan örneklerin total fenolik madde içeriğini belirlemek amacı ile Folin–Ciocalteu yöntemi uygulanmıştır. Bu metot sonucu elde edilen veriler gallik asit eşdeğerleri olarak hesaplanmıştır. Fenolik maddelerin radikal süpürücü aktivitesi aromatik halkada bulunan hidroksil gruplarının sayısıyla yakından ilişkilidir. Çok sayıda hidroksil grubu içeren bileşikler daha yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir. Antioksidan aktivitenin yüksek olması örneğin bünyesinde ihtiva ettiği fenollerle yakından ilişkilidir. Total fenolik madde içeriği sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Total fenolik madde içeriği analizi

Kombucha Örneği	Total fenolik madde içeriği mg (GAE/g)			
	3.gün	6. gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	14,53±0,45 ^a	38,89±0,58 ^a	84,19±0,78 ^a	127,15±0,79 ^a
<i>Polygonatum odoratum</i>	13,24±0,57 ^a	39,78±0,71 ^b	88,98±0,87 ^b	135,85±0,91 ^b

^{a-b} Aynı kolonda bulunan farklı harfler istatistiksel anlamlılığı göstermektedir (p<0,05).

Fermentasyon süresine bağlı olarak tüm kombucha örneklerinde total fenolik madde içeriğindeki artış istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,05$). Sonuçlar incelendiğinde 3. gün örneklerinde yeşil çay ile hazırlanan kombuchanın total fenolik madde içeriği 14,53±0,45 mg GAE/g olarak bulunurken *P. odoratum* ile hazırlanan kombuchanın total fenolik madde içeriği 13,24±0,57 mg GAE/g olarak bulundu. Bunun yanı sıra fermentasyonun 6. gününde yeşil çay kombucha için 38,89±0,72 mg GAE/g iken *P. odoratum* kombucha için 39,78±0,71 mg GAE/g’a fermentasyonun 9.gününde yeşilçay 84,19±0,78 mg GAE/g iken *P. odoratum* 88,98±0,87 mg GAE/g yükseldiği gözlemlendi. Fermentasyonun son günü olan 14. günde yeşil çay kombuchanın total fenolik madde içeriği 127,15±0,79 mg GAE/g olarak ölçülürken *P. odoratum* kombuchanın 135,85±0,91 mg GAE/g olarak ölçüldü. Fermentasyon süresine bağlı olarak total fenolik madde içeriğinde artış gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak fermentasyon süresinde büyük boyutlu biyomoleküllerin parçalandığı düşünülebilir. Total fenolik madde içeriklerine ait olan grafik şekil gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Kombucha örneklerinin total fenolik madde içeriği sonuçları

Güldane vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, beyaz, siyah ve yeşil çay kullanılarak üretilen kombucha içeceklerinin toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 736,1 mg GAE/L, 228,35 mg GAE/L ve 461,7 mg GAE/L olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, beyaz çay bazlı kombuchanın daha yüksek fenolik madde içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Kaya (2019b) tarafından yapılan bir araştırmada, kombucha fermantasyonu sırasında antioksidan aktivitede önemli artışlar gözlemlenmiştir. DPPH, FRAP ve CUPRAC yöntemleriyle belirlenen antioksidan aktivite değerlerinde sırasıyla %13,96, %48,96 ve %55,54 oranlarında artış kaydedilmiştir. Ayrıca, fermantasyon süresince toplam fenolik madde içeriğinde de artışlar gözlemlenmiştir. Yıldız vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, yeşil çay bazlı kombuchaya farklı oranlarda muşmula (*Mespilus germanica* L.) meyvesi eklenmiştir. %20 muşmula ilavesiyle, DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite $26,21 \pm 0,25$ $\mu\text{mol TE/mL}$ 'den $38,54 \pm 0,08$ $\mu\text{mol TE/mL}$ 'ye yükselmiş ve toplam fenolik madde içeriği artmıştır. Giritlioğlu (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, kapari tomurcuğu (*Capparis ovata* Desf.) kullanılarak üretilen kombucha örneklerinin antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik bileşen içeriği incelenmiştir. Yeşil çay ve kapari kombinasyonu ile üretilen kombucha örneği, ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolikler açısından en yüksek değerleri göstermiştir. Çelik vd. (2023a) tarafından yapılan bir çalışmada, siyah ve yeşil çay bazlı kombuchalara kıvılcık (*Cornus mas* L.) ilavesi, fenolik içeriği sırasıyla %92,74 ve %46,14; flavonoid içeriğini ise %37,5 ve %37,1 oranlarında artırmıştır. Ayrıca, antioksidan aktivitelerde de belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Kallel vd. (2012), siyah ve yeşil çay kullanılarak üretilen kombuchaların fermantasyonunun 15. gününde toplam

fenolik madde miktarlarını sırasıyla 1120 mg GAE/L ve 1080 mg GAE/L olarak belirlemişlerdir. Bu bulgular, fermantasyon süresinin uzamasının fenolik madde içeriğini artırabileceğini göstermektedir. Jayabalan ve arkadaşları (2008), farklı şeker kaynakları kullanılarak üretilen kombucha örneklerinde, fermantasyon süresince toplam fenolik madde miktarının arttığını ve şeker türünün bu artış üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Chu ve Chen (2006), farklı sıcaklıklarda fermente edilen kombucha örneklerinde, sıcaklığın artmasıyla toplam fenolik madde içeriğinde belirgin artışlar gözlemlendiğini rapor etmişlerdir. Bu da sıcaklığın fenolik madde ekstraksiyonu üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Srihari ve Satyanarayana (2012), farklı mikrobiyal popülasyonların kullanıldığı kombucha fermantasyonlarında, toplam fenolik madde içeriğindeki değişimleri incelemiş ve mikrobiyal çeşitliliğin fenolik madde artışı üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Kombucha içeceğinin depolama süresi boyunca toplam fenolik madde içeriğinde meydana gelen değişiklikleri inceleyen çalışmalar, depolama süresinin uzamasıyla fenolik bileşiklerin stabilitesinin korunabileceğini veya artabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak yeşil çay ve *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha örneklerinin fermentasyonun başlangıcı ve sonucu arasında total fenolik madde miktarlarında artışı gözlenmiştir.

4.3 Kombucha Örneklerinin Antioksidan Özelliklerin Değerlendirilmesi

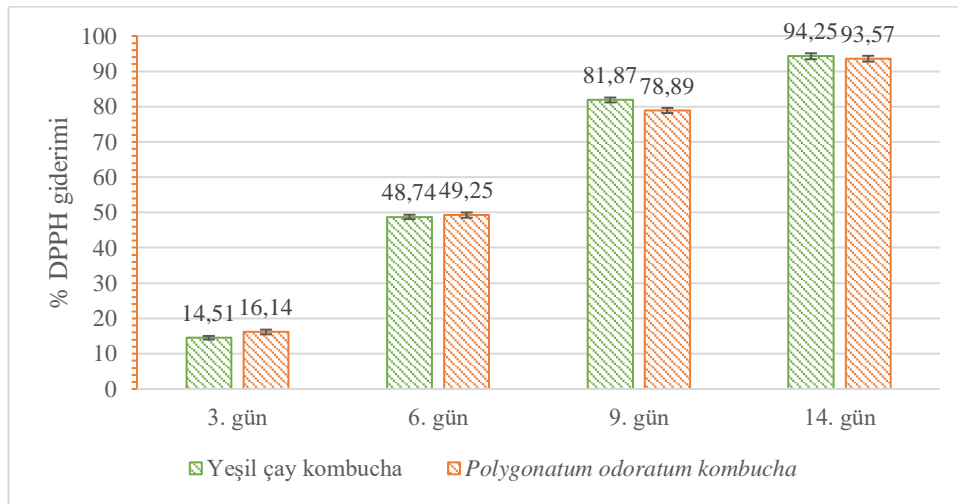
Yeşil çay (*C. sinensis*) ve *Polygonatum odoratum* (*Saloman seal*) substratları kullanılarak hazırlanan kombucha fermentasyonu örneklerinin antioksidan özellikleri belirlemek için 3., 6., 9. ve 14. günlerde alınan örneklerin serbest radikal giderme özellikleri DPPH serbest radikal süpürme aktivite tayini ile belirlendi. DPPH serbest radikali giderim aktivitesi % giderim olarak hesaplandı. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kombucha örneklerin DPPH radikal giderim aktivite sonuçları

Kombucha Örneği	DPPH radikal giderim aktivitesi (%)			
	3.gün	6. gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	14,51±0,51 ^a	48,74±0,62 ^a	81,87±0,69 ^a	94,25±0,84 ^a
<i>Polygonatum odoratum</i>	16,14±0,67 ^a	49,25±0,74 ^b	78,89±0,73 ^b	93,57±0,82 ^b

^{a-b} Aynı kolonda bulunan farklı harfler istatistiksel anlamlılığı göstermektedir (p<0,05).

Kombucha örneklerinin fermentasyon süresi bağlı olarak antioksidan özelliğindeki artış gözlenmiştir. Bu artış istatistiksel anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Sonuçlar incelendiğinde fermentasyonun 3. günündeki DPPH radikal giderim aktivitesi yeşil çay kombucha için $14,51 \pm 0,51$ olarak belirlenirken *P. odoratum* için $16,14 \pm 0,67$ olarak belirlenmiştir. Fermentasyon sürecinin 6. gününde ise DPPH radikali giderim aktivitesinde hızlı bir artış gözlenerek yeşil çay kombucha için $48,74 \pm 0,68$ iken *P. odoratum* için $49,25 \pm 0,74$ olarak ölçülmüş fermentasyonun 9. Gününde artış devam etmiş ve yeşil çay kombuchası $81,87 \pm 0,69$ iken *P. odratum* kombuchası $78,89 \pm 0,73$ olarak belirlemiştir, Fermentasyonun son günü olan 14. günde ise yeşil çay kombuchanın DPPH radikal giderim aktivitesi $94,25 \pm 0,84$ iken *P. odoratum* kombuchanın DPPH radikali giderim aktivitesi $93,57 \pm 0,82$ olarak bulunmuştur. Hazırlanan kombucha örneklerinin fermentasyon süresine bağlı olarak antioksidan aktivitelerin arttığı gözlenmiştir. Bu artış fermentasyon sonucu oluşan organik asitler, fenolik madde miktarındaki artış, kombucha kültürü içerisinde bulunan mikroorganizmaların ürettiği metabolitler ve kullanılan substrat bitkilerin yapısında bulunan biyobileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. DPPH radikal giderim özelliklerine ait olan grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Kombucha örneklerinin DPPH serbest radikali giderim sonuçları

Apak ve çalışma arkadaşları tarafından kromojenik bir yükseltgen olan Cu(II)-neokuproin (Nc) reaktifi kullanılarak, plazma antioksidanları, flavonoidler, gıda polifenoller, C vitamini ve E vitamini için basit, geniş alanda uygulanabilen bir antioksidan kapasite tayin yöntemi geliştirilmiştir. Bu reaktif, kararlı, ucuz, kolay

ulaşılabilen, hidrofilik ve lipofilik antioksidanlara cevap verebilen bir reaktiftir. Toplam antioksidan kapasite (TAC) tayininde kullanılan bu yöntem dünya literatürüne CUPric Reducing Antioxidant Capacity: CUPRAC (bakır(II) iyonu indirgeme antioksidan kapasite) adıyla 2004 yılında kazandırılmıştır. Uygun konumlanmış fenolik hidroksiller, CUPRAC redoks reaksiyonu ile tekabül eden kinon yapılarına dönüşür ve bu redoks reaksiyonu sonucunda oluşan Cu(I)-Nc kelatı, 450 nm'de maksimum absorbanı verir. Oluşan renk, metal→ligand yönünde bir yük aktarımının sonucudur. Cu(I)-Nc kelat kompleksinin daha düzgün tetraedral yapısı nedeniyle Cu(II)-Nc kompleksine göre moleküler gerginliği azalmış ve stabilize olmuştur. Cu(I) ve Cu(II) iyonlarının Nc ligandıyla verdikleri 1:2 komplekslerin kararlılık sabitleri sırasıyla 1019 ve 1012 düzeyinde olduğundan Cu(I)'in Cu(II)'ye göre seçimli stabilizasyonu sonucu Cu(II)-Cu(I) standart redüksiyon potansiyeli 0,17 V'dan (Nc varlığında) yaklaşık 0,60 V'a çıkar ve bu da Cu(II)- Nc reaktifinin biyolojik bakımdan önemli antioksidanları ve çoğu polifenolik bileşiği etkinlikle yükseltmesini sağlar. Yöntem çeşitlemeleri ile birlikte çok sayıda atıf almıştır ve dünyanın önde gelen gıda antioksidanları araştırma laboratuvarlarında kullanılmaktadır (Apak vd., 2008).

Bu tez çalışmasında yeşil çay (*C. sinensis*) ve *P. odoratum* (*salomon seal*) substratları kullanılarak hazırlanan kombucha fermentasyonu örneklerinin antioksidan özellikleri belirlemek için 3., 6., 9. ve 14. günlerde alınan örneklerin CUPRAC yöntemi kullanılarak antioksidan özellikleri belirlendi. CUPRAC metodu sonucu elde edilen antioksidan özelliği standart bir antioksidan olan trolox eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

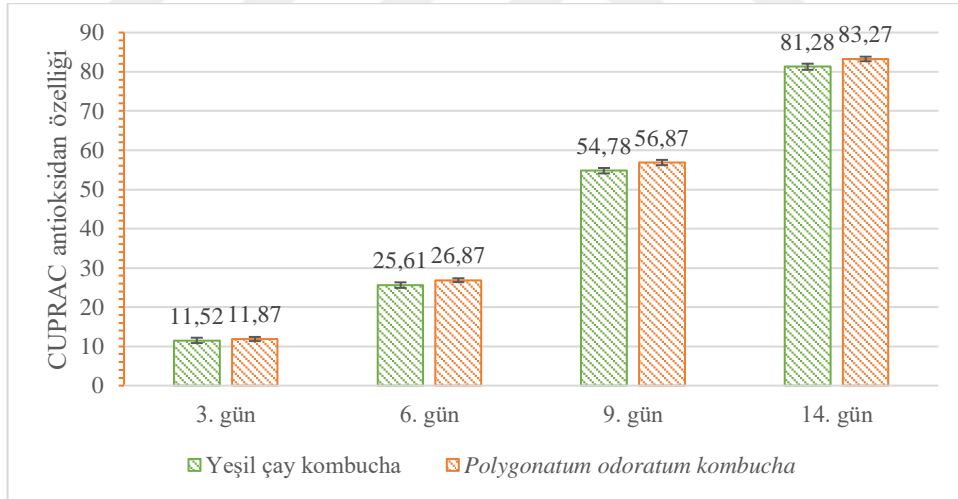
Çizelge 4.4. CUPRAC antioksidan sonuçları

Kombucha Örneği	CUPRAC antioksidan özelliği mg (TE/g)			
	3.gün	6. gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	11,52±0,68 ^a	25,61±0,71 ^a	54,78±0,69 ^a	81,28±0,78 ^a
<i>Polygonatum odoratum</i>	11,87±0,53 ^b	26,87±0,49 ^b	56,87±0,67 ^b	83,27±0,58 ^b

^{a-b} Aynı kolonda bulunan farklı harfler istatistiksel anlamlılığı göstermektedir (p<0,05).

Kombucha örneklerinin fermentasyon süresi bağlı olarak antioksidan özelliğindeki artış gözlenmiştir. Bu artış istatistiksel anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Sonuçlar incelendiğinde fermentasyonun 3. günündeki yeşil çay ile hazırlanan kombuchanın CUPRAC antioksidan özelliği 11,52±0,68 mg TE/g iken *P. odoratum* ile hazırlanan

kombucha için $11,87 \pm 0,53$ mg TE/g olarak bulunmuştur. Fermentasyon sürecinin 6. gününde antioksidan özelliğe hızlı bir artış gözlenerek yeşil çay kombuchanın CUPRAC antioksidan özelliği $25,61 \pm 0,71$ mg TE/g'a çıkarken *Polygonatum odoratum* kombuchanın antioksidan özelliği $26,87 \pm 0,49$ mg TE/g olarak ölçülmüştür. Fermentasyon sürecinin 9. Gününde artış hızlı bir şekilde devam etmiş olup yeşil çay kombuchanın CUPRAC anti oksidan özelliği $54,78 \pm 0,69$ mg TE/g'a iken *P. odoratum* kombuchası $56,87 \pm 0,67$ mg TE/g'a olarak belirlenmiştir. Fermentasyon sürecinin son günü olan 14. gününde ise yeşil çay kombucha için antioksidan özellik $81,28 \pm 0,78$ mg TE/g olarak belirlenirken *P. odoratum* kombucha için $83,27 \pm 0,58$ mg TE/g olarak belirlenmiştir. Hazırlanan kombucha örneklerinin fermentasyon süresine bağlı olarak antioksidan aktivitelerin arttığı gözlenmiştir. Bu artış fermentasyon sonucu oluşan organik asitler, fenolik madde miktarındaki artış, kombucha kültürü içerisinde bulunan mikroorganizmaların ürettiği metabolitler ve kullanılan substrat bitkilerin yapısında bulunan biyobileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hazırlanan kombucha örneklerinin CUPRAC antioksidan özelliklerine ait olan grafik Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. CUPRAC antioksidan özellik sonuçları

Yıldız vd. (2020) Türkiye'nin Hatay bölgesinde yetişen siyah havuç çeşitleri kullanılarak kombucha çayı üretilmiş ve içeriğindeki fenolik bileşikler, antioksidan kapasite ve biyoerişilebilirlik değerlendirilmiştir. Siyah havuç örnekleri, yüksek antosiyanin içeriği (660.26 mg C3G/100 g kuru ağırlık), antioksidan kapasite (ABTS ve CUPRAC yöntemleriyle sırasıyla 15.33 ± 0.39 ve 21.91 ± 0.28 μ mol Trolox/g) ve toplam fenolik içerik (67.22 ± 0.24 mg/g GAE) göstermiştir. Kombucha fermentasyonu

sonucunda, siyah havuç çaylarının antioksidan kapasitesinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Çalışma bu yönüyle bizim çalışmanın doğruluğunu destekler niteliktedir

Kaewkod vd. (2019), beyaz, yeşil, oolong ve siyah çayları kullanılarak üretilen kombucha içeceklerinin antioksidan kapasiteleri ve toplam fenolik içerikleri değerlendirilmiştir. CUPRAC yöntemiyle yapılan analizler, yeşil çay kombuchasının en yüksek antioksidan kapasiteye (4153.23 $\mu\text{mol TEAC/mL}$) ve biyoerişilebilirliğe (%50.18) sahip olduğunu göstermiştir. Fermantasyon sürecinin ekstrakte edilebilir fraksiyonlarının antioksidan kapasitesini artırdığı, ancak hidrolize edilebilir fraksiyonları azalttığı belirlenmiştir

Velić vd. (2015) fermantasyon süresince kombuchanın serbest radikal giderme yeteneği ve fenolik bileşenleri üzerinde yapılan bir başka çalışmada, yeşil çay, siyah çay ve çay atığı kullanılarak üretilen kombucha çaylarının antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Fenolik bileşikler ve DPPH radikali giderme aktivitesi fermantasyon süresince artış gösterirken, pH ve hidroksil radikali giderme yeteneği azalmıştır. Bu değişiklikler, fermantasyon sırasında bakteriler ve mayalar tarafından salgılanan enzimlerin çay bileşenlerini dönüştürmesinden kaynaklanmaktadır Çalışma bizim çalışmamızın geçerliliğini desteklemektedir.

Benzer şekilde, El-Abbassy vd. (2019) kombucha çayının fenolik bileşikleri, antioksidan kapasitesi ve biyoerişilebilirliği üzerine yapılan bir çalışmada, fermantasyonun bu parametreler üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Özellikle, toplam fenolik içeriğin ve antioksidan kapasitenin arttığı, ayrıca biyoerişilebilirliğin geliştiği gözlemlenmiştir çalışmamızın doğruluğunu destekler niteliktedir.

Bhattacharya vd. (2024) kombucha çayının farklı fermantasyon sürelerinde (7, 14, 21, 28 ve 35 gün) fenolik bileşikler, antioksidan aktivite ve antileishmanial etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, flavonoidlerin ve tanenlerin miktarlarının fermantasyon süresiyle arttığını göstermiştir. Özellikle, 14 ve 21 günlük fermantasyonların en yüksek DPPH ve ABTS radikal giderme aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Leishmania donovani promastigotlarına karşı inhibisyonun da özellikle 14 günlük fermantasyon

sonrasında daha belirgin olduğu saptanmıştır çalışmalar bizim çalışmamızın doğruluğuna katkı sağlamaktadır.

Bu araştırmalar, kombucha fermantasyonunun toplam fenolik içeriğini ve antioksidan kapasitesini artırdığını göstermektedir. Kullanılan çay türü, fermantasyon süresi ve kombuchaya eklenen bitkisel bileşenler, CUPRAC yöntemiyle ölçülen antioksidan aktiviteyi belirlemede kritik rol oynamaktadır.

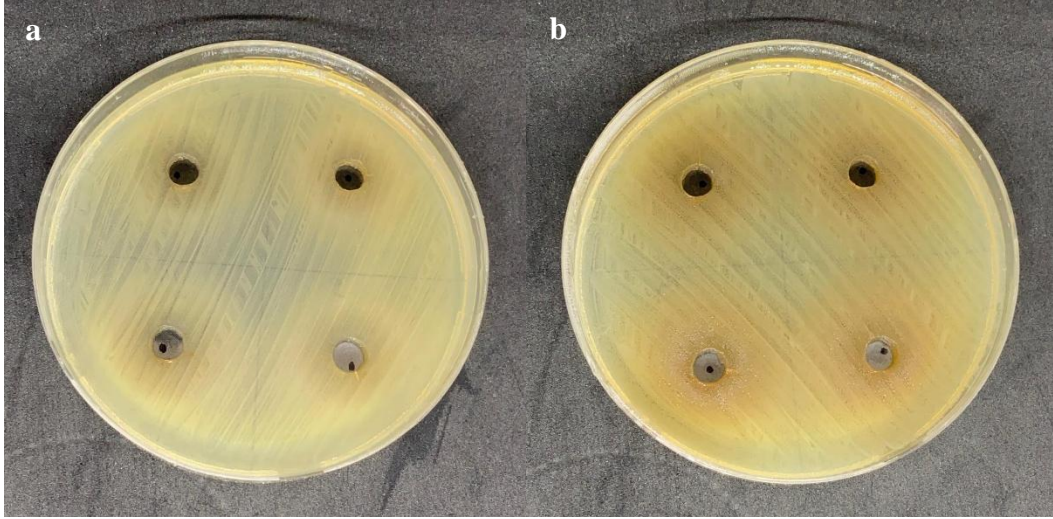
4.4 Anti-mikrobiyal Test Sonuçları

Yeşil çay ve *Polygonatum odoratum* substratları kullanılarak hazırlanan kombuchalardan 3., 6., 9. ve 14. günlerinde alınarak hazırlanan liyofilizatların anti-mikrobiyal aktivitelerini belirlemek için önemli patojenler arasında yer alan *E. coli*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella thymurium*, suşlarına karşı besiyerlerinde denenmiştir. Deneylerin yapılması aşamasında besiyerlerinde açılan 6 mm çapındaki kuyucuklara 1 mg/mL konsantrasyondaki örneklerden 100 µL pipetlenerek zon oluşturma kapasiteleri test edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler fotoğraflanarak oluşturulan zon çapları cetvel yardımı ile ölçülerek kaydedilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek aşağıda sırayla verilmiştir.

Hazırlanan kombucha örneklerinin *E. Coli* suşu üzerinde gösterdiği anti-mikrobiyal aktiviteler Çizelge 4.5'te gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 14 günlük fermantasyon boyunca ürünler hiçbir anti-mikrobiyal özellik göstermediği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Kombucha örneklerinin *E. coli* suşunda oluşturduğu zon çapları

Kombucha Örneği	<i>E. coli</i> Suş			
	3.gün	6.gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	X	X	X	X
<i>Polygonatum odoratum</i>	X	X	X	X

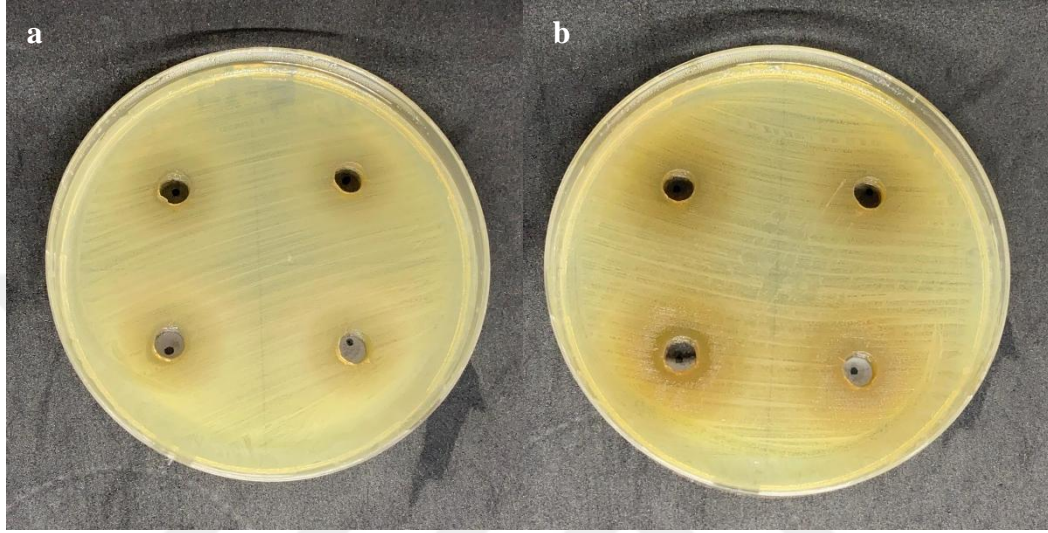


Şekil 4.6. Kombucha örneklerinin *E. coli* suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

Kombucha örneklerinin *S. thymurium* suşu üzerine uygulanması sonucu ortaya çıkan anti-mikrobiyal aktiviteler Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Sonuçlara bakıldığında fermantasyonun 3. günü alınan örneklerin hiçbiri anti-mikrobiyal özellik göstermemiştir. Fermantasyonun 6. günü anti-mikrobiyal etki görülmemiş olup fermantasyon 9. Gününde anti-mikrobiyal etki görülmeye başlanmıştır. Fermantasyon ürünleri içerisinde yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneklerinde anti-mikrobiyal aktivite görülmezken *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha örneğinde 7 mm çapta zon görülmüştür. Fermantasyon sürecinin 14. gününde alınan kombucha örneklerinin hepsinde anti-mikrobiyal aktivite gözlenmiştir. Yeşil çay kombucha 7 mm, *P. odoratum* kombucha 8 mm çapta zon oluşturmuştur. Fermantasyon süresine bağlı olarak anti-mikrobiyal özelliğin *S. thymurium* suşu üzerinde etkisi belirlenmiştir. Ortaya çıkan bu etki fermantasyon süresi bağlı olarak doğrusal bir artış göstermiştir. Fermantasyonun ilk günlerinde etki göstermeyen yeşil çay kombucha kombucha fermantasyonun 14. günü itibari ile etki göstermeye başlamıştır. 14 günlük fermantasyon sonucunda hazırlanmış olan kombucha örneklerinin *S. thymurium* suşu üzerinde anti-mikrobiyal etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.7'de ise kombucha örneklerinin oluşturdukları zonlar görülmektedir.

Çizelge 4.6. Kombucha örneklerinin *Salmonella thymurium* suşunda oluşturduğu zon çapları

Kombucha Örneği	<i>Salmonella thymurium</i> Suş			
	3.gün	6.gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	x	x	x	7mm
<i>Polygonatum odoratum</i>	X	x	7mm	8mm



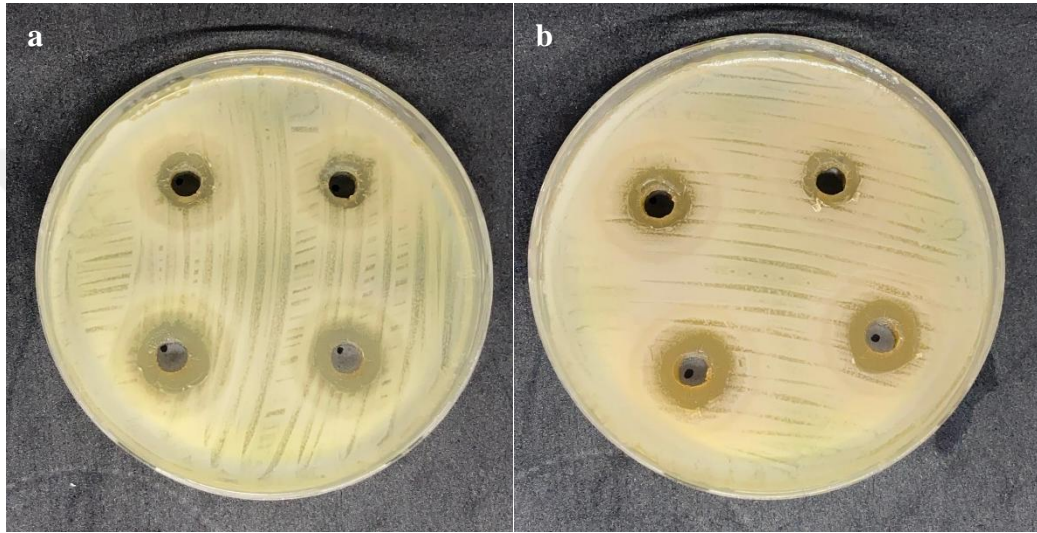
Şekil 4.7. Kombucha örneklerinin *Salmonella thymurium* suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

Kombucha örneklerinin liyofilizatları *Bacillus subtilis* suşu üzerine anti-mikrobiyal özelliklerini belirlemek için uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmektedir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde kombucha hazırlanması sırasındaki fermantasyonun 3. gününde alınan örneklerin uygulanması sonucu yeşil çay kombuchası 10 mm iken *P. odoratum* kombuchasında 9 mm zon oluşumu gözlemlenmiştir. 6. gün fermantasyon ürünlerinden yeşil çay ile hazırlanan kombucha liyofilizatları 13mm *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha liyofilizatları 12mm zon oluşturmuştur. 9. gün fermantasyon ürünleri alınan yeşil çay kombuchasında 14 mm, *P. odoratum* kombuchasında 13 mm olarak zon artışı tespiti yapılmış olup. 14 günün sonunda oluşan fermantasyon ürünlerinin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığında yeşil çay kombucha örnekleri 16 mm olup *P. odoratum* kombuchasında 15 mm zon oluşturduğu görülmektedir. Fermantasyon süresi göz önünde bulundurularak anti-mikrobiyal özelliğin *B. subtilis* suşu üzerinde etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar anti-mikrobiyal aktivitenin fermantasyon süresiyle alakalı olarak doğrusal bir artış gösterdiğini tespit etmiştir. Fermantasyonun ilk günlerindeki etki fermentasyon

süresi uzadıkça zon oluşumundaki etkinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.8’de ise kombucha örneklerinin oluşturdukları zonlar görülmektedir.

Çizelge 4.7. Kombucha örneklerinin *Bacillus subtilis* suşunda oluşturduğu zon çapları

Kombucha Örneği	<i>Bacillus subtilis</i> Suş			
	3.gün	6.gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	10mm	13mm	14mm	16mm
<i>Polygonatum odoratum</i>	9mm	12mm	13mm	15mm



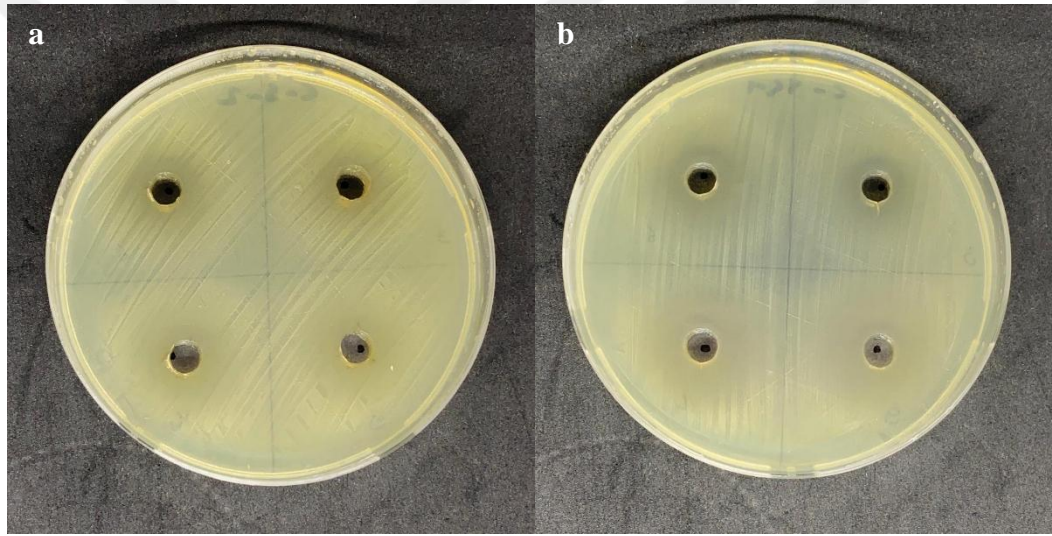
Şekil 4.8. Kombucha örneklerinin *Bacillus subtilis* suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

Kombucha örneklerinin liyofilizatları *Candida albicans* suşu üzerine anti-mikrobiyal özelliklerini belirlemek için test uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.8’de gösterilmektedir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde fermantasyonun 3. gününde alınan örneklerin uygulanması sonucu yeşil çay kombuchası 10 mm iken *P. odoratum* kombuchasında 11 mm zon oluşumu gözlemlenmiştir. 6. gün fermantasyon ürünlerinden yeşil çay ile hazırlanan kombucha liyofilizatları 12 mm *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha liyofilizatları 12mm zon oluşturmuştur. 9. gün fermantasyon ürünleri alınan yeşil çay kombuchasında 13 mm, *P. odoratum* kombuchasında 15 mm olarak zon artışı tespiti yapılmış olup. 14 günün sonunda oluşan fermantasyon ürünlerinin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığında yeşil çay kombucha örnekleri 20 mm olup *P. odoratum* kombuchasında 19 mm zon oluşturduğu görülmektedir. Fermantasyon süresi göz önünde bulundurularak anti-mikrobiyal

özelliğın *C. albicans* suşu üzerinde etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar anti-mikrobiyal aktivitenin fermantasyon süresiyle alakalı olarak doğrusal bir artış gösterdiğini tespit etmiştir. Fermantasyonun ilk günlerindeki etkinin fermentasyon süresi uzadıkça zon oluşumundaki etkinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.9'da ise kombucha örneklerinin oluşturdukları zonlar görülmektedir.

Çizelge 4.8. Kombucha örneklerinin *Candida albicans* suşunda oluşturduğu zon çapları

Kombucha Örneği	<i>Candida albicans</i> Suş			
	3.gün	6.gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	10mm	12mm	13mm	20mm
<i>Polygonatum odoratum</i>	11mm	12mm	15mm	19mm



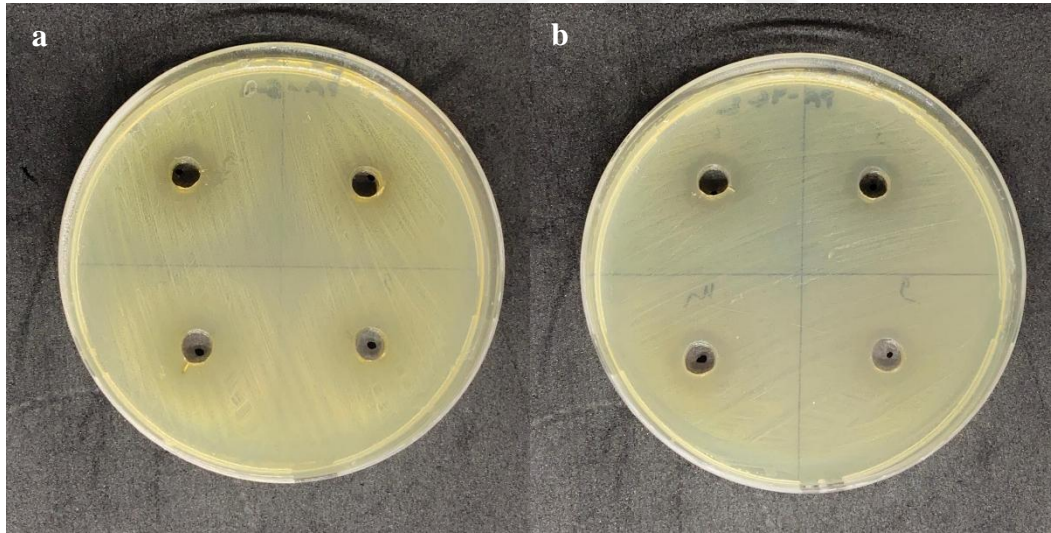
Şekil 4.9. Kombucha örneklerinin *Candida albicans* suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

Kombucha örneklerinin liyofilizatları *Pseudomonas aeruginosa* suşu üzerine anti-mikrobiyal özelliklerini belirlemek için test uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.9'da gösterilmektedir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde fermantasyonun 3. gününde alınan örneklerin uygulanması sonucu yeşil çay kombuchası 8 mm iken *P. odoratum* kombuchasında 7 mm zon oluşumu gözlemlenmiştir. 6. gün fermantasyon ürünlerinden yeşil çay ile hazırlanan kombucha liyofilizatları 11 mm *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha liyofilizatları 14 mm zon oluşturmuştur. 9. gün fermantasyon ürünleri alınan yeşil çay kombuchasında 15 mm, *P. odoratum* kombuchasında 17 mm olarak zon artışı tespiti yapılmış olup. 14 günün sonunda oluşan fermantasyon ürünlerinin uygulanması

sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığında yeşil çay kombucha örnekleri 18 mm olup *P. odoratum* kombuchasında 20 mm zon oluşturduğu görülmektedir. Fermantasyon süresi göz önünde bulundurularak anti-mikrobiyal özelliğin *P. Aeruginosa* suşu üzerinde etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar anti-mikrobiyal aktivitenin fermantasyon süresiyle alakalı olarak doğrusal bir artış gösterdiğini tespit etmiştir. Fermantasyonun ilk günlerindeki etkinin fermantasyon süresi uzadıkça zon oluşumundaki etkinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.10'da ise kombucha örneklerinin oluşturdukları zonlar görülmektedir.

Çizelge 4.9. Kombucha örneklerinin *Pseudomonas aeruginosa* suşunda oluşturduğu zon çapları

Kombucha Örneği	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Suş			
	3.gün	6.gün	9. gün	14. gün
Yeşil çay	6mm	11mm	15mm	18mm
<i>Polygonatum odoratum</i>	7mm	14mm	17mm	20mm



Şekil 4.10. Kombucha örneklerinin *Pseudomonas Aeruginosa* suşunda oluşturduğu zonların görünümü, yeşil çay (a), *Polygonatum odoratum* (b)

Četojević-Simin vd. (2012) yaptıkları çalışmada *Melissa officinalis* L. bitkisini substrat olarak kullanarak kombucha hazırlamışlardır. Fermantasyon süresini tüketilebilir asitlik derecesi olan 3,5-4,5 g/L olana kadar tutmuşlardır. 3 günlük fermantasyon sonucunda asitlik seviyesi $4,56 \pm 0,03$ g/L haline gelen örnekleri kullanmışlardır. Fermantasyon süresi sonunda hazır hale gelen kombucha örneklerini $0,22 \mu\text{m}$ çaplı filtreden geçirerek steril hale getirmişlerdir. Steril hale getirilen kombucha örneklerini gram negatif

bakteriler: *P. aeruginosa* (ATCC 27853), *Proteus mirabilis* (ATCC 35659), *E. coli* (ATCC 25922), *S. enteritidis* (ATCC 13076), *Erwinia carotovora* (NCPBB 595); Gram pozitif bakteriler: *S. aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 10876), *Sarcina lutea* (ATCC 9341); mayalar: *Saccharomyces cerevisiae* (112, Hefebank Weiherstephan), *Candida pseudotropicalis*, *Rhodotorula* spp. ve küfler: *Penicillium aurantiogriseum*, *Aspergillus niger* ve *Aspergillus flavus* suşlar üzerine 100 µL pipetleyerek sonuçları belirlemişlerdir. 3 günlük fermantasyon sonucunda asitlik seviyesi 4,56±0,03 g/L haline gelen örnekleri kullanmışlardır. Sonuç olarak *S. enteritidis*, *E. coli*, *Proteus mirabilis*, *P. aeruginosa*, *Erwinia carotovora*, *S. aureus*, *Bacillus cereus* suşları üzerinde antimikrobiyal etki belirlemişlerdir. En iyi antimikrobiyal etkiyi *Erwinia carotovora* üzerinde 17,83 mm çapta zonla belirlemişlerdir. *S. enteritidis*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *Bacillus cereus* suşları üzerinde ise yaklaşık 14 mm çapta zon olmak üzere antimikrobiyal aktivite tespit edilmiştir. Yaptığımız çalışmada ise 7 günlük fermantasyon ürünlerinde benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Siyah çay ve yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneklerimiz antimikrobiyal aktivite göstermeye başlamıştır. Fermantasyon süresinin artması ile antimikrobiyal özellik artmıştır. Bu çalışma sonuçları açısından bizim yaptığımız çalışma ile paralellik göstermektedir.

Coskun ve Kayisoglu (2020) yaptıkları çalışmada siyah çay, yeşil çay, adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.), nane (*Mentha piperita* L.) ve ıhlamur (*Tilia cordata*) yapraklarını kullanarak kombucha hazırlamışlardır. Hazırladıkları kombuchaların fermantasyonun 3, 7, 10 ve 14. gününde örnekler alıp antimikrobiyal testlerini yapmışlardır. Hazırladıkları örnekleri *Lactobacillus*, *Lactococcus*, maya ve asetik asit bakteri suşlarına uygulamışlardır. Antimikrobiyal aktivite sonuçlarını, oluşan zon çaplarını ölçerek belirlemişlerdir. Uygulanan bütün suşlarda antimikrobiyal aktivite belirlenmiştir. 3 günlük fermantasyon sonucunda *Lactobacillus* suşlarında en iyi antimikrobiyal aktivitenin ıhlamur ile hazırlanan kombucha olduğunu tespit etmişler. *Lactococcus* ve maya için ise 3 günlük fermantasyon sonucunda siyah çayın en iyisi olduğu belirlenirken asetik asit bakterileri için 3 günlük fermantasyon sonucunda adaçayı ile hazırlanan kombuchanın en iyisi olduğunu belirlemişlerdir. 7 günlük fermantasyon ürünlerine bakıldığında *Lactobacillus* ve *Lactococcus* için en iyi örneğin yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneği olduğu görülürken maya için ıhlamur asetik asit bakterisi için ise adaçayı olduğu görülmektedir. 10 günlük fermantasyon ürünleri incelendiğinde

Lactobacillus için en iyi örneğin ıhlamur olduğu gözlemlenirken *Lactococcus* için yeşil çayın maya ve asetik asit bakterisi için adaçayının en iyi antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. 14 günlük fermantasyon ürünleri incelendiğinde *Lactobacillus* ve maya için yeşil çay *Lactococcus* için adaçayı asetik asit bakterisi için ıhlamur ile hazırlanan kombuchanın en iyi olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak yaptığımız çalışmadaki gibi geleneksel kombucha hazırlama ürünü olan siyah çay ve yeşil çay dışında farklı substratlar kullanılarak hazırlanan kombucha örneklerinin antimikrobiyal özellik gösterdiği söylenilebilir. Ayrıca yaptığımız çalışma ile elde edilen fermantasyon süresine bağlı olarak antimikrobiyal aktivitede doğrusal bir artış olabileceği ifadesi bu çalışma ile desteklenmektedir.



BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, literatürde bulunan daha önceki yapılmış olan çalışmalarda insan sağlığı üzerine pek çok faydalı özelliği olduğu bildirilen kombuchanın, farklı bir substrat olarak kullanılarak yeni bir türünün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapmış olduğumuz bu çalışmada geleneksel olarak tüketilen yeşil çay kombuchanın yanı sıra *Polygonatum odoratum* bitkisinin kökleri kullanılmıştır. Bitki örnekleri uygun koşullarda 14 günlük fermentasyona tabii tutulmuştur. Hazırlanan kombucha örneklerinden 3. 6. 9. ve 14. gününde örnekler alınarak pH değişimleri, antioksidan özellikleri, anti-mikrobiyal etkileri ve total fenolik madde içerikleri çalışılmıştır.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre;

Bitki örnekleri ile hazırlanan tüm kombucha örneklerinde fermentasyon süresine bağlı olarak pH değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Fermentasyonun 3. gününde hızlı bir pH değişimi ile organik asit üretimin arttığı ve fermentasyonun bitişi günü olan 14. gününde ise organik asit üretiminin maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. *P. odoratum* la hazırlanan kombucha örneğinin yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneğine benzer değerler gösterdiği belirlenmiştir. pH değişimleri açısından, *P. odoratum* bitkisi ile hazırlanan kombuchanın başarılı bir fermentasyon geçirdiği ve yeşil çaya denk bir kombucha ürünü oluştuğunu göstermektedir.

Bitki örneklerinin kombucha fermentasyonu süresince total fenolik madde içeriklerinde artış gözlenmiştir. Bu durum fermentasyonla birlikte, bitki türleri içerisinde bulunan büyük boyutlu biyobileşiklerin parçalanması sonucu total fenolik madde miktarında artış olduğu düşünülmüştür. *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha örneğinin fermentasyonun 14. gününde ortaya çıkardığı total fenolik madde içeriği geleneksel olarak yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneğine benzer özellik göstermiştir. Total fenolik madde içeriği açısından, *P.* ile hazırlanan kombucha yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneğine alternatif bir substrat olacağını göstermiştir.

Kombucha fermentasyonunun başlangıç ve sonuç süresi içerisinde hazırlanan kombucha örneklerinin antioksidan özelliklerinde artış olduğu gözlenmiştir. Bu artış

fermentasyon sonucu oluşan organik asitler, fenolik madde miktarındaki artış, kombucha kültürü içerisinde bulunan mikroorganizmaların ürettiği metabolitler ve kullanılan substrat bitkilerin yapısında bulunan biyobileşiklerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Antioksidan özellik açısından, *P. odoratum* ile hazırlanan kombucha örneğinin yeşil çay ile hazırlanan kombucha örneğine benzer antioksidan özellik ortaya koyduğu bulunmuştur. Hazırlanan kombucha örneğinde *P. odoratum* bitkisinin kullanılmasının geleneksel yöntemlerle hazırlanan kombucha için yeni bir tür olacağı öne sürülmüştür.

Bu çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, *P. odoratum* bitkisinin köklerinin farklı substratlar kullanılarak kombucha hazırlanmasına kaynak olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca hazırlanan kombuchanın antioksidan ve total fenolik madde içeriği açısından geleneksel olarak hazırlanan kombuchaya alternatif bir ürün olacağı belirlenmiştir. Kombuchanın halk arasında yaygın olarak tüketilen bir fermentasyon ürünü olduğundan alternatif olarak *P.* bitkisinin kökleri kullanılarak da bir kombucha üretilabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın, bütün bu özelliklerinin yanı sıra, kombucha ile ilgili olarak yapılacak olan yeni ve daha farklı çalışmalar için bilim insanlarına yol gösterici ve yararlı bir kaynak olduğu düşünülmüştür.

Anti-mikrobiyal etkileri belirlemek için, bazı patojen suşlar üzerinde hazırlanan kombucha örnekleri test edilmiştir. Hazırlanan kombuchalardan fermentasyon örneklerden *E. coli* suşu üzerinde hiçbir anti-mikrobiyal etki göstermemiştir. *S. thymurium* suşu üzerinde *P. odoratum* kombuchası fermentasyonun 9. Günde yeşil çay kombuchası ise 14 günde etki gözlemlenmiş olup çalışılan diğer suşlar üzerinde 3. Günden itibaren zon oluşumu tespit edilmiştir. Bunun nedeni kombucha çayının içerdiği organik asitler ve diğer bileşikler sayesinde çeşitli patojen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, bu etkilerin spesifik mikroorganizmalara ve kullanılan çay türüne bağlı olarak değişebilmektedir.

KAYNAKLAR

Adam, Z., Lee, S.W. and Mohamed, N., "A study on tea production and consumption in the world", *International Journal of Tea Science*, 13(2), 112-123, 2017.

Anonymous, "Probiotic products gain popularity in Malaysia, says GlobalData. Retail in Asia.", <https://retailinasia.com/in-markets/probiotic-products-gain-popularity-in-malaysia-says-globaldata/>, 15 February 2024.

Antolak, H., Kręgiel, D. and Cierpiszewski, R., "Antioxidant and antimicrobial activity of kombucha tea on the health-related properties of functional foods", *Journal of Functional Foods*, 85, 104714, 2021.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. and Çelik, S.E., "Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay", *Microchimica Acta*, 160, 413-419, 2008.

Balouiri, M., Sadiki, M. and Ibsouda, S.K., "Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review", *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71-79, 2016.

Battikh, H., Bakhrouf, A. and Ammar, E., "Antimicrobial effect of Kombucha analogues", *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 71-77, 2012.

Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C. and Turck, M., "Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method", *American Journal of Clinical Pathology*, 45(4), 493-496, 1966.

Bhattacharya, A., Kumar, R. and Ghosh, S., "Antioxidant and antileishmanial properties of Kombucha tea fermented for different durations", *Food Chemistry*, 411, 135632, 2024.

Bhattacharya, S. and Gachhui, R., "Microbial and biochemical characterization of kombucha tea: Biological activity and importance", *Journal of Food Science and Technology*, 73(8), 135-141, 2015.

Bhattacharya, S., Ghosh, U. and Ray, P.R., "Influence of fermentation time and tea type on phenolic content and antioxidant activity of kombucha", *Food Science and Nutrition*, 10(3), 1345-1354, 2022.

Bi, J., Fang, H., Zhang, J., Lu, L., Gu, X. and Zheng, Y., "A review on the application, phytochemistry and pharmacology of *Polygonatum odoratum*, an edible medicinal plant", *Journal of Future Foods*, 3(3), 240-251, 2023.

Blanc, P.J., "Characterization of the tea fungus metabolites", *Biotechnology Letters*, 18(2), 139-142, 1996.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C., "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity", *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30, 1995.

Bressani, A.P.P., Casimiro, L.K.S., Martinez, S.J., Dias, D.R. and Schwan, R.F., "Kombucha with yam: Comprehensive biochemical, microbiological, and sensory characteristics", *Food Research International*, 192(2024), 114762, 2024.

Cacicedo, M.L., Castro, M.C., Servetas, I., Bosnea, L., Boura, K., Tsafrakidou, P., Dima, A., Terpou, A., Koutinas, A. and Castro, G.R., "Progress in bacterial cellulose matrices for biotechnological applications", *Bioresource Technology*, 213, 172-180, 2016.

Četojević-Simin, D.D., Velićanski, A.S., Cvetković, D.D., Markov, S.L., Mrđanović, J.Ž., Bogdanović, V.V. and Šolajić, S.V., "Bioactivity of lemon balm kombucha", *Food and Bioprocess Technology*, 5, 1756-1765, 2012.

Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D. and Gachhui, R., "Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics", *International Journal of Food Microbiology*, 220, 63-72, 2016.

Chen, C. and Liu, B.Y., "Changes in major components of tea fungus metabolites during prolonged fermentation", *Journal of Applied Microbiology*, 89(5), 834-839, 2000.

Chen, Y., Lu, X. and Zhang, Z., "Neuroprotective effects of *Polygonatum odoratum* on oxidative stress and neurodegeneration", *Journal of Neuroscience Research*, 99(6), 1503-1512, 2021.

Chu, S.C. and Chen, C., "Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of kombucha", *Food Chemistry*, 98(3), 502-507, 2006.

Coskun, F. and Kayisoglu, S., "Determination of Some Microbiological Properties of Kombucha Produced from Different Herbal Teas", *Global Journal of Research In Engineering*, 20(2), 17-25, 2020.

Çakiroğlu, F.P. and Uçar, A., "Consumer attitudes towards purchasing functional products", *Progress in Nutrition*, 20(2), 257-262, 2018.

Çelik, F., Yıldız, M. ve Kaya, A., "Kızılcık (*Cornus mas* L.) eklenmiş kombucha içeceklerinin antioksidan içeriği ve duyuşsal özellikleri", *Marmara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Dergisi*, 38(2), 112-124, 2023a.

Çelik, H., Kaya, Z. ve Yılmaz, B., "Türkiye'de üretilen kombucha çaylarının mikrobiyal kompozisyonunun yüksek çözünürlüklü sekanslama yöntemleriyle analizi", *Journal of Microbial Ecology*, 25(4), 185-200, 2023b.

de Oliveira, P.V., da Silva Júnior, A.H., de Oliveira, C.R.S., Assumpção, C.F. and Ogeda, C.H., "Kombucha benefits, risks and regulatory frameworks: A review", *Food Chemistry Advances*, 2, 100288, 2023.

De Vuyst, L. and Leroy, F., "Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications", *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 13(4), 194-199, 2007.

Deghrigue, M., Chriaa, J., Battikh, H., Kawther, A. and Bakhrouf, A., "Antiproliferative and antimicrobial activities of kombucha tea", *African Journal of Microbiology Research*, 7(27), 3466-3470, 2013.

Değirmencioğlu, N., Yıldız, E., Şahan, Y., Gültaş, M. ve Gürbüz, O., "Fermentasyon süresinin kombu çayı mikrobiyotası ve canlılık oranları üzerine etkileri", *Akademik Gıda*, 17(2), 200-211, 2019.

Diez-Ozaeta, I. and Astiazaran, O.J., "Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production", *International Journal of Food Microbiology*, 377, 109783, 2022.

Doğan, A. ve Doğan, B., "Farklı bitki çaylarının kombucha üretimindeki etkileri: Biyolojik ve duyuşal özelliklerin analizi", *Journal of Functional Beverages*, 50(4), 220-235, 2023.

Dufresne, C. and Farnworth, E., "Tea, Kombucha, and health: a review", *Food Research International*, 33(6), 409-421, 2000.

Durmuş, M. and Kızılkaya, R., "Effect of Kombu tea (Kombucha) and mix microorganisms culture of Kombu tea production waste on wheat plant yield, dehydrogenase and catalase enzyme activity of soils", *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 4(2), 76-82, 2016.

Düşgün, B., Yılmaz, E. and Öztürk, S., "Folin-Ciocalteu yöntemi ile fenolik bileşik tayini: Yeni yaklaşımlar", *Food Chemistry*, 234, 89-95, 2021.

Düşgün, C., Farklı endemik bitkiler kullanılarak kombu çayı üretimi ve fermente ürünlerinin biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2020.

El-Abbassy, M.A., Elsayed, A.I. and El-Naggar, A., "Phenolics, antioxidant capacity, and bioaccessibility of Kombucha tea", *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4298-4307, 2019.

Gaggia, F., Mattarelli, P. and Biavati, B., "Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production", *International Journal of Food Microbiology*, 141, 15-28, 2010.

Gao, L., Shi, Y. and Wei, X., "Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Polygonatum odoratum* for skin health", *Dermatology Research and Practice*, 2021, 102345, 2021.

Giritlioğlu, A., "Kapari tomurcuğu (*Capparis ovata* Desf.) kullanılarak üretilen kombucha içeceklerinin fenolik bileşen içeriği ve antioksidan kapasitesi", *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 33(1), 78-92, 2020.

Goh, W.N., Rosma, A., Kaur, B., Fazilah, A., Karim, A.A. and Bhat, R., "Fermentation of black tea broth (Kombucha): I. Effects of sucrose concentration and fermentation time on the yield of microbial cellulose", *International Food Research Journal*, 19(1), 109-117, 2012.

Gomes, R., Silva, J. ve Costa, M., "Domates suyu kullanılarak kombucha üretimi: C vitamini, likopen ve kardiyovasküler sağlığa etkileri", *Journal of Functional Foods*, 35(3), 210-225, 2021.

Greenwalt, C.J., Steinkraus, K.H. and Ledford, R.A., "Kombucha, the fermented tea: microbiology, composition, and claimed health effects", *Journal of Food Protection*, 63(7), 976-981, 2000a.

Greenwalt, C.J., Steinkraus, K.H. and Ledford, R.A., "Kombucha: The fermented tea and its health benefits", *Nutrition Research*, 20(5), 563-570, 2000b.

Guo, H., Zhao, H., Kanno, Y., Li, W., Mu, Y., Kuang, X., Inouye, Y., Koike, K., Jiang, H. and Bai, H., "A dihydrochalcone and several homoisoflavonoids from *Polygonatum odoratum* are activators of adenosine monophosphate-activated protein kinase", *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 23(11), 3137-3139, 2013.

Gupta, P.D. and Birdi, T.J., "Development of botanicals to combat antibiotic resistance", *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 8(4), 266-275, 2017.

Güldane, M., Bayram, M., Topuz, S., Kaya, C., Gök, H.B., Bülbül, M. ve Koç, M., "Beyaz, siyah ve yeşil çay kullanılarak üretilen kombuchaların bazı özelliklerinin belirlenmesi", *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(1), 46-56, 2017.

Harrison, K. and Curtin, C., "Microbial composition of SCOBY starter cultures used by commercial kombucha brewers in North America", *Microorganisms*, 9(5), 1060, 2021.

Hashim, Y.Z.H.Y., Kerr, P.G., Abbas, P. and Salleh, H.M., "*Aquilaria* spp. (agarwood) as source of health beneficial compounds: A review of traditional use, phytochemistry and pharmacology", *Journal of Ethnopharmacology*, 189, 331-360, 2016.

Hu, Y., Tang, Y., Zhang, Z., Guo, X., Wu, Z., Li, Z., Yu, H. and Li, W., "Recent advances in polysaccharides from the genus *Polygonatum*: Isolation, structures, bioactivities, and application", *Food Hydrocolloids*, 140, 108634, 2023.

Huang, C., "Anti-inflammatory properties of tea and its components", *Journal of the American College of Nutrition*, 37(2), 145-151, 2018.

Huang, Y., Liu, W. ve Zhang, Q., "Karpuz kabuğu kullanılarak kombucha üretimi: Kimyasal ve biyolojik özelliklerin analizi", *Journal of Sustainable Food Production*, 19(4), 125-140, 2021.

Ildız, F., Kaya, G. ve Çelik, Ş., "Kombucha'nın fenolik içeriği ve biyolojik aktiviteleri", *Journal of Food Analysis*, 12(3), 45-54, 2022.

Jayabalan, R., Malbaša, R.V., Lončar, E.S., Vitas, J.S. and Sathishkumar, M., "A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538-550, 2014.

Jayabalan, R., Marimuthu, S., Thangaraj, P., Sathishkumar, M., Binupriya, A.R., Swaminathan, K. and Yun, S.E., "Preservation of kombucha tea effect of temperature on tea components and free radical scavenging properties", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(19), 9064-9071, 2008.

Johnson, T., Smith, R. and Lee, H., "Şeker pancarı posası kullanılarak kombucha üretimi: Prebiyotik ve antibakteriyel özelliklerin analizi", *Journal of Sustainable Food Production*, 15(3), 98-110, 2020.

Jorgensen, J.H. and Turnidge, J.D., "Susceptibility test methods: dilution and disk diffusion methods", *Manual of Clinical Microbiology*, 1253-1273, 2015.

Kaewkod, T., Bovonsombut, S. and Tragoolpua, Y., "Efficacy of kombucha obtained from green, oolong, and black teas on inhibition of pathogenic bacteria, antioxidation, and toxicity on colorectal cancer cell line", *Microorganisms*, 7(12), 700-718, 2019.

Kallel, L., Desseaux, V., Hamdi, M., Stocker, P. and Ajandouz, E.H., "Insights into the fermentation biochemistry of Kombucha teas and potential impacts of Kombucha drinking on starch digestion", *Food Research International*, 49(1), 226-232, 2012.

Kapp, J.M. and Sumner, W., "Kombucha: A systematic review of the empirical evidence of human health benefit", *Annals of Epidemiology*, 30, 66-70, 2019.

Kaya, B.T., Farklı bitki ekstraktları ile zenginleştirilmiş kombucha içeceği üretimi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, s. 14, 2019a.

Kaya, H., "Kombucha fermantasyonunda toplam fenolik bileşikler ve antioksidan aktivite üzerine etkiler", *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 34(2), 87-98, 2019b.

Kayisoğlu, S. ve Coşkun, F., "Kombucha ve sağlığa etkileri üzerine bir derleme", *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77(3), 253-261, 2020.

Kayışoğlu, S. ve Coşkun, F., "Kombu çayı ve sağlık üzerine etkileri", *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77(3), 253-260, 2020.

Khan, N. and Mukhtar, H., "Tea and health: studies in humans", *Current Pharmaceutical Design*, 19(34), 6141-6147, 2013.

Kim, J. and Adhikari, K., "Current trends in kombucha: Marketing perspectives and the need for improved sensory research", *Beverages*, 6(1), 15, 2020.

Kim, Y.S., Kim, Y.M. and Yang, C.H., "Cardioprotective effects of *Polygonatum odoratum* on vascular health", *Journal of Medicinal Food*, 20(12), 1254-1252, 2017.

Kulkarni, S., "Jun tea: The honey-based cousin of kombucha", *Journal of Fermented Beverages*, 10(2), 45-51, 2022.

Li, H., Zhang, Y. and Wang, L., "Mangostan kabuğu kullanılarak kombucha üretimi: Antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerin analizi", *Journal of Functional Beverages*, 24(3), 102-115, 2020.

Li, Z., Wen, X. and Yu, P., "Anti-inflammatory and immunomodulatory activities of *Polygonatum odoratum* polysaccharides", *International Journal of Biological Macromolecules*, 200, 175-183, 2022.

Liu, B., Zhang, B., Min, M.W., Bian, H.J., Chen, L.F., Liu, Q. and Bao, J.K., "Induction of apoptosis by *Polygonatum odoratum* lectin and its molecular mechanisms in murine fibrosarcoma L929 cells", *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1790(8), 840-844, 2009.

Liu, X., Feng, Y. and Yang, Y., "Antioxidative and anti-aging properties of *Polygonatum odoratum* polysaccharides", *Food Research International*, 156, 111085, 2022.

Liu, Y., Huang, H. and Chen, R., "Effects of *Polygonatum odoratum* extract on obesity and metabolic syndrome in animal models", *Phytotherapy Research*, 34(4), 837-846, 2020.

Lustri, B.C., Sinskey, A.J. and Springer, M., "Biomass-derived fuels, polysaccharides, and bactericidal compounds: The potential for new bioprocessing applications from the pentose phosphate pathway", *Biotechnology Advances*, 33(1), 53-65, 2015.

Malbasa, R.V., Vitas, J.S., Loncar, E.S. and Milanovic, S.D., "Influence of starter cultures on the antimicrobial activity of kombucha fermented beverage", *Acta Periodica Technologica*, 39, 83-94, 2008.

Mariod, A.A., Abdelwahab, S. and Babiker, H., "Immunostimulatory activity of *Polygonatum odoratum* polysaccharides on macrophages", *Journal of Medicinal Food*, 26(3), 345-353, 2023.

Markov, S.L., Malbasa, R.V., Hauk, M.J. and Cvetkovic, D.D., "Investigation of tea fungus microbe associations, 1: the yeasts", *Acta Periodica Technologica (Yugoslavia)*, 32, 1-7, 2001.

Marques, M.S., Alves, C.B. and Coelho, J.P., "Tea: The most widely consumed beverage in the world", *Journal of Food and Beverage Research*, 5(2), 98-106, 2017.

Marsh, A.J., O'Sullivan, O., Hill, C., Ross, R.P. and Cotter, P.D., "Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples", *Food Microbiology*, 38, 171-178, 2014.

Martínez, J., Gómez, R. and López, S., "Kakao kabukları kullanılarak kombucha üretimi: Antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteler", *Journal of Fermentation and Functional Foods*, 12(4), 89-97, 2020.

Martínez, L.J., Suarez, V., Jayabalan, R., Oros, H. and Escarlante-Aburto, A., "A review on health benefits of kombucha nutritional compounds and metabolites", *CytA-Journal of Food*, 16(1), 390-399, 2018.

Massoud, R., Heidari, R. and Mahmoudi, M., "The impact of tea type and fermentation time on the chemical composition and antioxidant properties of kombucha", *Food Chemistry*, 370, 131053, 2022.

May, A., Narayanan, S. and Gunasekaran, M., "Effervescent kombucha: An overview of its history, health benefits, and antimicrobial properties", *Fermentation*, 5(1), 35-44, 2019.

Mayser, P., Fromme, S., Leitzmann, G. and Gründer, K., "The yeast spectrum of the 'tea fungus Kombucha'", *Mycoses*, 38(7-8), 289-295, 1995.

Mihai, R., Hostiuc, S. and Popescu, S.M., "Kombucha tea: Potential effects on cancer and oxidative stress", *Journal of Cellular and Molecular Biology*, 30(3), 123-135, 2024.

Mohite, S. and Parit, S.B., "Bacterial cellulose: Biosynthesis, production and applications", *Journal of Biotechnology and Biomaterials*, 4(1), 1-10, 2014.

Nakai, R. and Tsuruta, Y., "Effects of Reactive Oxygen Species on Aging and Health", *Journal of Biological Chemistry*, 296, 100451, 2021.

Neffe-Skocińska, K., Sionek, B., Ścibisz, I. and Kołożyn-Krajewska, D., "Acid contents and the effect of fermentation condition of Kombucha tea beverages on physicochemical, microbiological and sensory properties", *CytA-Journal of Food*, 15(4), 601-607, 2017.

Nguyen, T., Tran, L. and Hoang, M., "Kırmızı biber kullanılarak kombucha üretimi: Kapsaisin, termojenik ve biyolojik etkilerin analizi", *Journal of Functional Beverages*, 45(3), 325-340, 2022.

Nimse, S.B. and Pal, D., "Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms", *RSC Advances*, 5(35), 27986-28006, 2015.

Nurmiati, N. and Wijayanti, W., "Utilization of agarwood (*Aquilaria malaccensis*) leaves in kombucha fermentation: A potential approach for functional beverage development", *International Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 2235-2244, 2018.

Nyhan, M., Sheehan, J.J., Fitzgerald, G.F., Van Sinderen, D. and O'Sullivan, O., "Flavoring strategies in kombucha production", *Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 12-19, 2022.

Pakravan, A., Soroush, Z., Mehrabani, M. and Najafi, K., "Evaluation of antioxidant activity in kombucha tea products", *Food Science & Nutrition*, 6(3), 631-638, 2017.

Parvez, S., Malik, K.A., Ah Kang, S. and Kim, H.Y., "Probiotics and their fermented food products are beneficial for health", *Journal of Applied Microbiology*, 100(6), 1171-1185, 2006.

Pekcan, A., "Bitkisel çaylar kullanılarak kombucha üretimi ve fermantasyon sürecinin değerlendirilmesi", *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 36(2), 45-52, 2020.

Peluso, I. and Serafini, M., "Antioxidants from black and green tea: From dietary modulation of oxidative stress to pharmacological mechanisms", *British journal of pharmacology*, 174(11), 1195-1208, 2017.

Perez, L., Morales, J. and Alvarez, R., "Avokado çekirdekleri kullanılarak kombucha üretimi: Antioksidan kapasite ve fenolik bileşiklerin analizi", *Journal of Functional Foods*, 40(2), 300-315, 2022.

Prasanth, M.I., Sivamaruthi, B.S., Chaiyasut, C. and Tencomnao, T., "A review of the role of green tea (*Camellia sinensis*) in antiphotaging, stress resistance, neuroprotection, and autophagy", *Nutrients*, 11(2), 474, 2019.

Rasheed, M., "Health benefits of catechins in green tea: A review", *Journal of Food Science and Nutrition*, 7(3), 215-221, 2019.

Rasouli, H., "Anti-inflammatory and anti-oxidative potential of kombucha tea in animal models", *Food & Function*, 10(3), 1310-1320, 2019.

Rasouli, H., Hosseini-Ghazvini, S.M., Adibi, H. and Niazi, A., "Anti-inflammatory and antioxidant properties of kombucha tea in animal models", *Food & Function*, 10(3), 1310-1320, 2019.

Rodriguez, J., Silva, M. and Torres, L., "Kefir altlığı kullanılarak kombucha üretimi: Probiyotik ve bağırsak sağlığı üzerindeki etkiler", *Journal of Functional Foods*, 29(2), 145-160, 2021.

Selamoglu, Z., Dugun, C., Akgul, H. and Gulhan, M.F., "In-vitro antioxidant activities of the ethanolic extracts of some contained-allantoin plants", *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 16(Suppl), 92-98, 2017.

Shahidi, F. and Zhong, Y., Measurement of antioxidant activity in food and biological systems, In: Antioxidant Measurement and Applications, F. Shahidi and C.T. Ho, *ACS Publications*, USA, 2007.

Sharma, P., Gupta, R. and Singh, V., "Zerdeçal çayı ile kombucha üretimi: Kurkuminin biyoyararlanımı ve anti-inflamatuar özellikler", *Journal of Functional Beverages*, 22(4), 150-161, 2020.

Shen, T., Wan, W., Xu, L., Wu, L. and Pan, Y., "The traditional chinese medicine 'Yu Zhu' (*Polygonatum odoratum*) and its medicinal uses: phytochemistry, pharmacology, and pharmacokinetics", *Phytotherapy Research*, 32(4), 637-645, 2018.

Shi, X., Wang, J. and Yang, F., "Blood pressure lowering and glucose modulating effects of *Polygonatum odoratum*", *Phytomedicine*, 104, 154305, 2022.

Siever, T. and Lan, J., "Kombucha and other fermented foods: How do they work and are they beneficial?", *Nutrition Research Reviews*, 29(1), 55-66, 2016.

Singh, J., Gupta, S. and Sharma, P., "Telang çiçeği (*Clitoria ternatea* L.) ile kombucha üretimi: Antioksidan ve duyusal özelliklerin analizi", *Journal of Functional Beverages*, 15(3), 45-52, 2019.

Singleton, V.L. and Rossi, J.A., "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents", *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158, 1965.

Sreeramulu, G., Zhu, Y. and Knol, W., "Kombucha fermentation and its antimicrobial activity", *Journal of Agricultural And Food Chemistry*, 48(6), 2589-2594, 2000.

Srihari, T. and Satyanarayana, U., "Changes in free radical scavenging activity of kombucha during fermentation", *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 4(11), 1978-1981, 2012.

Sun, H., Zhang, L. and Li, W., "Anti-cancer activities of *Polygonatum odoratum* extracts in breast and colon cancer cells", *Cancer Cell International*, 20, 214, 2020.

Şatır, G., "Siyah ve yeşil çay kullanımının kombucha fermantasyonu üzerine etkilerinin belirlenmesi", *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 60(3), 465-472, 2023.

Teoh, A.L., Heard, G. and Cox, J., "Yeast ecology of Kombucha fermentation", *International Journal of Food Microbiology*, 95(2), 119-126, 2004.

Topolska, K., Florkiewicz, A. and Filipiak-Florkiewicz, A., "Functional food—Consumer motivations and expectations", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5327, 2021.

Ulusoy, A. and Tamer, C.E., "Determination of suitability of black carrot (*Daucus carota* L. spp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) juice concentrate, cherry laurel (*Prunus laurocerasus*), blackthorn (*Prunus spinosa*) and red raspberry (*Rubus idaeus*) for kombucha beverage production", *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 1524-1536, 2019.

Velić, D., Brkić Bubola, K. and Jurić, S., "Changes in free radical scavenging abilities and phenolic compounds during Kombucha tea fermentation", *Food Science and Nutrition*, 3(2), 149-157, 2015.

Villarreal-Soto, S.A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J.P. and Taillandier, P., "Understanding kombucha tea fermentation: a review", *Journal of Food Science*, 83(3), 580-588, 2018.

Vīna, I., Semjonovs, P., Linde, R. and Deniņa, I., "Current evidence on physiological activity and expected health effects of kombucha fermented beverage", *Journal of Medicinal Food*, 17(2), 179-188, 2014.

Wang, Y., Fei, Y., Liu, L., Xiao, Y., Pang, Y., Kang, J. and Wang, Z., "*Polygonatum odoratum* polysaccharides modulate gut microbiota and mitigate experimentally induced obesity in rats", *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3587, 2018.

Waterhouse, A.L., "Determination of total phenolics", *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 6(1), 1-8, 2002.

Yan, Z., Zhong, Y., Duan, Y. and Chen, Q., "Antioxidant mechanisms of green tea polyphenols and their beneficial effects in preventing and treating cardiovascular diseases", *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5), 1743-1754, 2020.

Yang, J. and Zhang, Z., "Cardioprotective Effects of *Polygonatum odoratum* Polysaccharides", *Journal of Molecular Medicine*, 95(5), 521-530, 2017.

Yildiz, E., Guldaz, M. and Gurbuz, O., "Determination of in-vitro phenolics, antioxidant capacity and bio-accessibility of Kombucha tea produced from black carrot varieties grown in Turkey", *Food Science and Technology*, 41(1), 180-187, 2020.

Yıldız, M., Kılıç, M. ve Şahin, A., "Muşmula (*Mespilus germanica* L.) ilavesinin kombucha'nın fenolik bileşimi ve antioksidan aktivitesine etkisi", *Gıda Dergisi*, 48(3), 245-258, 2023.

Yılmaz, F. ve Kaya, S., "Kombucha ve sağlık üzerine etkileri", *Gıda ve Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 98-107, 2021.

Yılmaz, H., Süt ve bitki çayı kombinasyonları ile kombucha üretimi ve fermantasyon süreçlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, s. 21, 2020.

Ying, X., Dong, Y., Xingyu, L., Shuyun, X. and Weizhong, W., "Anti-aging properties of *Polygonatum odoratum* extracts", *Chinese Journal of Gerontology*, 27(3), 276-281, 2007.

Zhao, J., Li, P., Xia, T. and Wan, X., "Exploring plant metabolic genomics: chemical diversity, metabolic complexity in the biosynthesis and transport of specialized metabolites with the tea plant as a model", *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(5), 667-688, 2020.

Zheng, X., Li, X. and Duan, L., "Hormonal balancing effects of *Polygonatum odoratum* in menopausal women", *Journal of Ethnopharmacology*, 234, 141-151, 2019.

Ziemlewska, A., Zagórska-Dziok, M., Nizioł-Łukaszewska, Z., Kielar, P., Mołoń, M., Szczepanek, D., Sowa, I. and Wójciak, M., "*In vitro* evaluation of antioxidant and protective potential of Kombucha-fermented black berry extracts against H₂O₂-induced oxidative stress in human skin cells and yeast model", *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4388-4406, 2023.

ÖZ GEÇMİŞ

Duygu Betül ADAŞ, tarihinde’da doğdu. İlkokulu’ın ilçesinde okudu. Ortaokul ve lise öğrenimini ise yine aynı ilçede tamamladı. 2018 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünü bitirdi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olup öğrenimine devam etmektedir. Orta derece İngilizce bilmektedir. Evli ve 1 çocuk annesidir.



