

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARABAŞ OTU (*Lavandula Stoechas*) İLE HAZIRLANAN KOMBUCHA
ÇAYININ FİZİKOKİMYASAL, ANTİOKSİDAN, ANTİBAKTERİYAL VE
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Hümeyra TOPAL

ŞUBAT-2026
GÜMÜŞHANE



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARABAŞ OTU (*Lavandula Stoechas*) İLE HAZIRLANAN KOMBUCHA
ÇAYININ FİZİKOKİMYASAL, ANTİOKSİDAN, ANTİBAKTERİYAL VE
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE PHYSICOCHEMICAL, ANTIOXIDANT,
ANTIBACTERIAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF KOMBUCHA
TEA PREPARED WITH *LAVANDULA STOECHAS* (KARABAŞ OTU)**

YÜKSEK LİSANS

Hümeýra TOPAL

**ŞUBAT-2026
GÜMÜŞHANE**



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KARABAŞ OTU (*Lavandula Stoechas*) İLE HAZIRLANAN KOMBUCHA
ÇAYININ FİZİKOKİMYASAL, ANTİOKSİDAN, ANTİBAKTERİYAL VE
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE PHYSICOCHEMICAL, ANTIOXIDANT,
ANTIBACTERIAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF
KOMBUCHA TEA PREPARED WITH *LAVANDULA STOECHAS* (KARABAŞ
OTU)

YÜKSEK LİSANS

Hümeyra TOPAL

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fırat YILMAZ

OCAK-2026
GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi çalışmam kapsamında hazırladığım “**Karabaş Otu (*Lavandula Stoechas*) İle Hazırlanan Kombucha Çayının Fizikokimyasal, Antioksidan, Antibakteriyal Ve Mikrobiyolojik Özelliklerinin Araştırılması**” isimli bu tezin, kendime ait bir çalışma olduğunu, danışmanımın sorumluluğunda hazırladığımı, her alıntıda kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakça bölümünde gösterdiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylıyorum.

02/02/2026

.....
Hümeýra TOPAL

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Lisansüstü eğitimim ve tez çalışmam süresince, konunun yapılandırılması ve yürütülmesinde bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her aşamada değerli geri bildirimleriyle rehberlik eden kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fırat YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, akademik bakış açısı ve tecrübeleriyle çalışmama ışık tutan, süreç boyunca desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Fevzi TOPAL'a en içten şükranlarımı sunarım.

Akademik yolculuğumdaki her adımda benden daha fazla heyecanlanan, merakını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli babam Ali TOPAL'a en özel teşekkürlerimi sunarım. Çocukluğumdan itibaren eğitime olan bakış açısıyla beni yetiştiren, öğrenmenin ve araştırmanın ne kadar keyifli olduğunu aşıl原因 vizyonu ve emekleri için sonsuz şükranlarımı sunarım.

Hümevra TOPAL
GÜMÜŞHANE- 2026

ÖZET

Küresel nüfus artışıyla birlikte, tüketicilerin fonksiyonel gıdalara olan ilgisi ve ürün çeşitliliği talebi giderek yükselmektedir. Terapötik özellikleriyle bilinen bitkiler, bu talebin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen çalışmada, fermente içecek olan kombucha çayına Karabaş Otu (*Lavandula stoechas*) eklenerek fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş örnekler oluşturulmuştur.

Çalışmada, geleneksel siyah çay bazlı kombucha ile karabaş otu infüzyonu zenginleştirilmiş fizikokimyasal, biyoaktif, antioksidan ve mikrobiyal özellikleri 14 günlük depolamada karşılaştırılmış ve nutrasötik potansiyelini nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Örnekler, siyah çay (Örnek 1), siyah çay-karabaş otu karışımı (Örnek 3) ve karabaş otu (Örnek 5) infüzyonlarından hazırlanmış; fermantasyon sonrası 0, 7 ve 14. günlerde pH, titre edilebilir asitlik, Brix, CIE Lab* renk parametreleri, toplam fenolik içerik (TPC), toplam flavonoid içerik (TFC), toplam antioksidan kapasite (TAC), DPPH/ABTS radikal temizleme, Demir (Oyaizu,1988)/Bakır (CUPRAC) indirgeme kapasiteleriyle mikrobiyal popülasyonlar (TAMB, maya, AAB, LAB) analiz edilmiştir.

Veriler ANOVA ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Karabaş otu katkısı, TPC ve TFC'yi anlamlı şekilde artırmış; saf karabaşotu varyantı en yüksek TPC (1344.71 ± 15.74 mg GAE/L) ve antioksidan kapasite değerlerini (DPPH % inhibisyon: 89.45; Demir (III) İndirgeme Gücü: $2333.75 \mu\text{M TE/L}$) sergilemiştir. Depolamada pH düşüşü ve asitlik artışı gözlenirken, mikrobiyal popülasyonlar erken dönemde artmış ve stabil hale gelmiştir; AAB ve LAB, substrata duyarlılık göstermiştir. Renk ve Brix parametreleri, bitkisel katkı ile daha stabil seyretmiştir. Karabaş otu entegrasyonu, kombucha'nın fenolik profilini optimize ederek fonksiyonel içecek geliştirme açısından umut verici bir strateji sunmaktadır. Bulgular, yerel bitkilerin nutrasötik uygulamalarda kullanımını desteklemekte olup, gelecek çalışmalar bileşik-spesifik analiz ve in-vivo validasyonları içermelidir.

Anahtar Kelimeler: Fermantasyon, Karabaş otu, Kombucha

SUMMARY

With the increase in global population, consumer interest in functional foods and the demand for product diversity are rising. Plants known for therapeutic properties play an important role for this demand. In this context, samples with functional properties were created by adding *Lavandula stoechas* to kombucha tea.

In the study, the physicochemical, bioactive, antioxidant, and microbial properties of traditional black-tea based kombucha and *Lavandula stoechas* infusion-enriched variants were compared during 14-day storage, and the effect of *Lavandula stoechas* addition on the nutraceutical potential of kombucha was evaluated. Samples were prepared from black-tea (Sample1), black tea-*Lavandula stoechas* mixture (Sample3), and *Lavandula stoechas* (Sample5) infusions. Fermentation, pH, titratable acidity, Brix, CIE Lab* color parameters, total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), total antioxidant capacity (TAC), DPPH/ABTS radical scavenging, Iron (Oyaizu, 1988)/Copper (CUPRAC) reducing capacities, and microbial populations (TAMB, yeast, AAB, LAB) were analyzed.

Data statistically evaluated by ANOVA. The addition of plant significantly increased TPC and TFC; the pure *Lavandula stoechas* variant exhibited the highest TPC (1344.71 mg GAE/L) and antioxidant-capacity values (DPPH %inhibition: 89.45; Iron(III) Reducing Power: 2333.75 μ M TE/L). While pH decrease, acidity increase were observed during storage, microbial populations increased in the early period and became stable; AAB and LAB showed sensitivity to the substrate. Color and Brix parameters followed more stable course. Integration of plant offers a promising strategy for developing functional beverages by optimizing the phenolic profile. Findings support the use of local plants in nutraceutical applications. Future studies should include compound-specific analysis and in-vivo validations.

Keywords: Fermentation, *Lavandula stoechas*, Kombucha

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Antioksidanlar	1
1.2. Fenolik Bileşikler	2
1.3. Kombucha Çayı.....	3
1.4. Karabaş Otu (<i>Lavandula stoechas</i>)	5
1.5. Fermantasyon	6
1.6. Karabaş Otu ile Kombucha Çayı Yapımı Akış Şeması	8
1.7. Çalışmanın Amacı.....	9
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Örneklerin Hazırlanması	13
3.2. Kullanılan Kimyasal ve Cihazlar	13
3.3. Analiz Yöntemleri.....	13
3.3.1. Suda Çözünür Kurumadde (Briks) Tayini	13
3.3.2. Titrasyon Asitliği	13
3.3.3. pH Tayini	14
3.3.4. Renk Analizi	14
3.3.5. Demir (III) İndirgeme Gücünün Belirlenmesi	14
3.3.6. Cu^{2+} - Cu^{+} İndirgeme Kapasitesi Metodu (CUPRAC)	15
3.3.7. ABTS ⁺ Radikal Giderme Aktivitesi Tayini	16
3.3.8. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Tayini	18
3.3.9. Toplam Flavonoid Bileşik Miktarı Tayini Yöntemi	19
3.3.10. Toplam Fenolik Madde Miktarı Tayini Yöntemi.....	20

3.3.11. Mikrobiyal Popülasyon Tayini.....	20
3.3.12. Antibakteriyel Aktivitenin Belirlenmesi	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
4.1. Suda Çözünür Kurumadde (°Briks) Analiz Sonuçları	22
4.2. Titrasyon Asitliği Analiz Sonuçları	23
4.3. pH Analiz Sonuçları.....	24
4.4. Renk Analizi Sonuçları	25
4.5. Demir (III) İndirgeme Gücü Analiz Sonuçları.....	26
4.6. Cu^{2+} - Cu^{+} İndirgeme Kapasitesi Analiz Sonuçları.....	27
4.7. ABTS Radikal Giderme Aktivitesi Sonuçları.....	28
4.8. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Sonuçları	30
4.9. Toplam Flavonoid Bileşik Miktarına Ait Sonuçlar	31
4.10. Toplam Fenolik Madde Miktarına Ait Sonuçlar	32
4.11. Toplam Antioksidan Kapasite (TAC) Analiz Sonuçları	33
4.12. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	34
4.13. Antibakteriyel Aktivite Sonuçları	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
KAYNAKÇA.....	38
ÖZGEÇMİŞ	50

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kombucha çayı örneklerinin suda çözünür kurumadde (Briks) değeri	22
Tablo 2. Kombucha çayı örneklerinin titrasyon asitliği (%) değeri.....	23
Tablo 3. Kombucha çayı örneklerinin pH değeri.....	24
Tablo 4. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince CIE L^* , a^* ve b^* değerleri..	25
Tablo 5. Kombucha çayı örneklerinin demir indirgeme güçleri ($\mu\text{M TE/L}$ ve $\mu\text{M BHAE/L}$).....	26
Tablo 6. Kombucha çayı örneklerinin bakır indirgeme kapasiteleri ($\mu\text{M TE/L}$ ve $\mu\text{M BHAE/L}$).....	27
Tablo 7. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince ABTS Radikal giderme aktiviteleri ($\mu\text{M TE/L}$, $\mu\text{M BHAE/L}$ ve % İnhibisyon)	28
Tablo 8. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince DPPH Radikal giderme aktiviteleri ($\mu\text{M TE/L}$, $\mu\text{M BHAE/L}$ ve % İnhibisyon)	30
Tablo 9. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince toplam flavonoid madde miktarı (mg QE/L)	31
Tablo 10. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/L)	32
Tablo 11. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince toplam antioksidan kapasiteleri ($\mu\text{M TE/L}$ ve $\mu\text{M BHAE/L}$)	33
Tablo 12. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince mikrobiyal sayım sonuçları (log CFU/mL)	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Demir (III) indirgeme gücünün belirlenmesi kullanılan standart eğri grafikleri	15
Şekil 2. Cu^{2+} - Cu^{+} İndirgeme Kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri.....	16
Şekil 3. ABTS^{+} radikal giderme aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri.....	17
Şekil 4. DPPH serbest radikal giderme aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri	18
Şekil 5. Toplam flavonoid bileşik miktarının belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri.....	19
Şekil 6. Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri.....	20

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μg	: Mikrogram
μL	: Mikrolitre
a^*	: Hunter a^*
abs	: Absorbans
ABTS	: 2,2-azinobis(3-etilbenzothiazolin-6-sulfonikasıit)
b^*	: Hunter b^*
BHA	: Bütillenmiş Hidroksianisol
CUPRAC	: Bakır (II) İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasite
DPPH	: 2-2-difenil-1-pikrilhidrazil
g	: Gram
L^*	: Hunter L^*
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat
TAC	: Toplam antioksidan kapasite
TAMB	: Toplam aerobik mezofilik bakteri
TFC	: Toplam flavonoid içerik
TPC	: Toplam fenolik içerik

1. GİRİŞ

1.1. Antioksidanlar

Hücressel düzeyde reaktif oksijen türleri (ROT) ile antioksidan savunma sistemi arasındaki dengenin bozulması sonucu ortaya çıkan biyolojik süreç, oksidatif stres olarak tanımlanmaktadır (Pisoschi ve Pop, 2015). ROT birikimi, hücre yapısında geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilme potansiyeline sahiptir (Sullivan vd., 2014). Vücutta biriken serbest radikaller; DNA, hücre membranı, proteinler, lipitler ve nükleik asitler gibi hayati bileşenler üzerinde yıkıcı etkiler göstermektedir (Velioğlu, 2000). Gerek insan metabolizmasında gerekse doğadaki bitkisel kaynaklarda ve gıdalarda yer alan antioksidanlar, bu zararlı türlere karşı savunma hattı oluşturan kritik kimyasal bileşiklerdir (Cakmakci vd., 2015). Doğal florada sayısız bitki türü, bu antioksidan bileşikleri bünyesinde barındırmaktadır (Sen vd., 2011).

Antioksidanlar, serbest radikallerin tetiklediği diyabet, kanser, kalp-damar hastalıkları ve yaşlanma gibi süreçlere karşı koruyucu bir kalkan oluşturarak terapötik (tedavi edici) etkinlik gösteren maddelerdir (Shinde, 2012). Ayrıca bu bileşiklerin Alzheimer hastalığına karşı nöroprotektif etkileri olduğu da literatürde belirtilmiştir (Sen vd., 2011). Serbest radikal hasarının karaciğerdeki en belirgin sonuçlarından biri sirozdur. Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada, antioksidan özellik taşıyan IGF-1'in (İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü), karaciğer sirozuna karşı bir savunma mekanizması geliştirdiği rapor edilmiştir (Garcia-Fernandez vd., 2005).

Antioksidanların biyolojik sistemlerdeki çalışma prensipleri çeşitlilik göstermektedir. Bu mekanizmalar arasında; oksidasyon reaksiyonlarında zincir kırıcı rol üstlenme, reaksiyon hızını düşürme, hasar görmüş hücresel yapıları onarma, serbest radikalleri yakalayarak (scavenging) stabilize etme ve vücudun kendi doğal antioksidan sentezini teşvik etme gibi özellikler ön plana çıkmaktadır (Dündar ve Aslan, 2000).

Kaynağına göre antioksidanlar, endojen (içsel) ve eksojen (dışsal) olmak üzere iki temel sınıfa ayrılır; her iki grup da oksidatif hasarı onarmada görev alır (Shinde, 2012; Agati vd., 2013). İnsan vücudu tarafından sentezlenen endojen antioksidanlar, enzimatik (katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon redüktaz) ve non-enzimatik (selenyum, glutatyon, lipoik asit, albümin, ürik asit) yapılar olarak sınıflandırılır. Vücut tarafından üretilmeyen ve dışarıdan alınması zorunlu olan eksojen antioksidanlar grubunda ise C ve E vitaminleri, β -karoten, folik asit ve çeşitli polifenoller ile farmakolojik ajanlar yer

almaktadır (Sen ve Chakraborty, 2011). Yaşlanma süreciyle birlikte organizmanın doğal antioksidan üretim kapasitesi zayıfladığından, bu bileşiklerin gıdalar yoluyla dışarıdan takviye edilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu durum, antioksidan potansiyeli yüksek tıbbi ve aromatik bitkilerin önemini artırmaktadır (Taner, 2005).

Sağlıklı bir yaşam için günlük beslenme düzeninde çeşitlilik sağlamak ve antioksidan açısından zengin gıdaları tüketmek, serbest radikal kaynaklı patolojilerin önlenmesinde etkili bir stratejidir (Devasagayam vd., 2004; Sen vd., 2011; Karabulut ve Günay, 2016). Antioksidanlar, hücreleri ROT saldırılarına karşı koruyarak oksidatif stresi minimize eder. Bu koruyucu etki; kanser, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve hiperkolesterolemi gibi sağlık sorunlarının iyileştirilmesine katkı sağlar (Yıldız vd., 2022). Gıda ve içeceklere antioksidan ilavesi ile elde edilen ürünler, fonksiyonel gıda niteliği kazanarak insan sağlığı üzerinde pozitif etkiler oluşturmaktadır (Meral vd., 2012).

1.2. Fenolik Bileşikler

Bitkiler aleminde yaygın bir dağılım gösteren fenolik bileşikler, bitkisel dokularda değişen oranlarda sentezlenen sekonder metabolitler olarak tanımlanmaktadır (Albuquerque vd., 2021). Bu bileşikler bitkilerin özellikle tohum, kök, çiçek ve yaprak gibi farklı organlarında doğal olarak yer almaktadır (de la Rosa vd., 2019). Kimyasal yapıları incelendiğinde fenolik bileşikler; bir veya daha fazla hidroksil grubunun aromatik halkaya bağlanmasıyla oluşan yapılar olarak karakterize edilir (Albuquerque vd., 2021). Meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin bileşiminde doğal olarak bulunan bu fitokimyasallar; flavonoidler, fenolik asitler, tanenler, stilbenler ve lignanlar olmak üzere beş temel alt sınıfta incelenmektedir.

Endüstriyel açıdan bakıldığında fenolik bileşikler; sentetik alternatiflerine kıyasla doğal kaynaklı olmaları, ekonomik avantajları ve kolay erişilebilirlikleri sayesinde ön plana çıkmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle gıda ve içecek formülasyonlarında, aktif ambalaj üretiminde, tarımsal atıkların geri kazanımında, kozmetik sektöründe ve farmasötik endüstrisinde yoğun ilgi görmektedir (Soto vd., 2015; Albuquerque vd., 2021).

İnsan sağlığı üzerindeki etkileri açısından değerlendirildiğinde, fenolik bileşiklerin geniş bir biyoaktif spektruma sahip olduğu görülmektedir. Güçlü antioksidan kapasitelerinin yanı sıra anti-inflamatuar, antimikrobiyal, antifungal, antiproliferatif, antikanser ve anti-koronavirüs gibi terapötik özellikler sergiledikleri literatürde rapor edilmiştir (Albuquerque vd., 2021; Sun ve Shahrajabian, 2023).

Özellikle serbest radikal hasarına karşı hücrel savunmayı güçlendirme, diyabet riskini azaltma, kemik gelişimini destekleme ve bilişsel hafıza fonksiyonlarına katkı sağlama gibi kritik biyolojik rolleri bulunmaktadır. Ayrıca kardiyovasküler koruma sağladıkları, LDL (Düşük Yoğunluklu Lipoprotein) kolesterol seviyelerini düşürdükleri ve tümör gelişimini baskıladıkları bilinmektedir (Albuquerque vd., 2021).

Bitki fizyolojisinde ise bu bileşikler, bitkinin çevresel stres faktörlerine, zararlı organizmalara ve biyolojik tehditlere karşı geliştirdiği doğal bir savunma mekanizması olarak görev yapmaktadır (Caleja vd., 2017; Durazzo vd., 2019). Fonksiyonel özelliklerinin yanı sıra fenolikler, bitkilerin renk profilini de belirler. Örneğin, bir fenolik alt grubu olan antosiyaninler, bitkilere karakteristik kırmızı ve mor renklerini veren pigmentlerdir (Carocho vd., 2015). Bu özellikleri sayesinde antosiyaninler, gıda endüstrisinde doğal renklendirici (katkı maddesi) olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Carocho vd., 2015).

Ancak fenolik bileşiklerin çevresel koşullara karşı duyarlı olması, endüstriyel kullanımlarında stabilite sorunlarını gündeme getirmektedir. Bu bileşiklerin stabilitesini korumak ve biyoyararlanımlarını artırmak amacıyla mikrokapsülleme teknolojilerine başvurulmaktadır. Bu bağlamda, püskürtmeli kurutma (spray drying), dondurarak kurutma (freeze drying) ve kompleks koaservasyon gibi teknikler en sık tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır (Mar vd., 2020; Souza vd., 2020).

1.3. Kombucha Çayı

Dünya genelinde en popüler içeceklerden biri olan çay, *Camellia sinensis* bitkisinden elde edilmekte olup işleme tekniklerine göre siyah, yeşil, beyaz, oolong, sarı ve koyu çay (pu-erh) gibi çeşitlere ayrılmaktadır (Bhattacharyya vd., 2007; Wang vd., 2008; Chen vd., 2009; Ning vd., 2017). Özellikle yeşil çay, diğer varyetelere kıyasla daha güçlü bir antioksidan profile sahiptir (Düşgün, 2022). Duyusal özellikleri (tat, koku, renk), ekonomik olması ve içerdiği biyoaktif bileşenler, çayın küresel ölçekteki popülaritesini artıran temel faktörlerdir (Şatır, 2023). Çay tüketiminin antioksidan, antibakteriyel ve antitümör etkilerinin yanı sıra diyabet ve obezite gibi metabolik rahatsızlıklara karşı da koruyucu olduğu bilinmektedir (de Oliveira vd., 2023).

Bu çay çeşitleri (siyah, yeşil, beyaz, oolong) kullanılarak üretilen Kombucha çayı; şekerli çay infüzyonunun, "SCOBY" (Bakteri ve Mayaların Simbiyotik Kültürü) adı verilen bir mikrobiyal konsorsiyum ile fermente edilmesi sonucu elde edilen fonksiyonel bir içecektir (Jarrell vd., 2000; Jayabalan vd., 2014; Leal vd., 2018; Yıldız vd., 2023). FDA tarafından güvenli gıda (GRAS) statüsünde kabul edilen kombucha,

probiyotik özellikleri ve zengin biyoaktif içeriği sayesinde son yıllarda tüketicilerden büyük ilgi görmüş ve tüketim hacmi hızla artmıştır (Watawana vd., 2015; Villarreal-Soto vd., 2018).

Kombucha üretiminde son ürünün kalitesini belirleyen temel parametreler; kullanılan hammaddenin türü, konsantrasyonu ve fermantasyon sıcaklığıdır (Bishop vd., 2022). Özellikle siyah çay, içerdiği kafein ve teofilin gibi azotlu bileşikler sayesinde fermantasyon için en uygun substrat olarak değerlendirilmektedir (Reiss, 1994; Jayabalan vd., 2007; Essawet vd., 2015). Literatürde, fermantasyon süresi uzadıkça kombucha'nın fenolik bileşik içeriğinin doğrusal bir artış gösterdiği belirtilmektedir (Chu ve Chen, 2006). Üretim koşullarının optimize edildiği bir çalışmada; 28°C sıcaklığın, oda sıcaklığına kıyasla süreci hızlandırdığı ve fenolik madde miktarını artırdığı tespit edilmiştir. İdeal üretim koşulları; 28°C sıcaklık, 10-15 günlük fermantasyon süresi ve 2.5-4.5 aralığında pH değeri olarak rapor edilmiştir (Sağlam vd., 2021).

Kombucha çayının kompleks kimyasal kompozisyonunda; organik asitler (asetik, glukonik, glukuronik, laktik, sitrik, malik, oksalik, usnik, bütirik, karbonik, D-sakkarik asit), suda çözünen vitaminler (B grubu vitaminleri ve C vitamini), amino asitler, enzimler, mineraller, polifenoller (kateşinler vb.), etanol ve karbondioksit yer almaktadır (Blanc, 1996; Liu vd., 1996; Tietze, 1996; Bauer-Petrovska ve Petrushevskatozi, 2000; Jayabalan vd., 2007; Wang vd., 2010; Srihari ve Satyanarayana, 2012; Jayabalan vd., 2014; Miranda vd., 2016; Lobo vd., 2017; Chandrakala vd., 2019; Cardoso vd., 2020).

Bu zengin metabolit profili, kombucha'ya çok yönlü terapötik özellikler kazandırmaktadır. Örneğin asetik asit patojenlere karşı antimikrobiyal etki gösterirken; glukuronik asit detoksifikasyon ve yaşlanma karşıtı etki, glukarik asit antikanser aktivite, usnik asit ise antiviral özellikler sergilemektedir (Blanc, 1996; Liu vd., 1996; Chandrakala vd., 2019). Ayrıca içerdiği güçlü antioksidanlar sayesinde oksidatif stresi baskılayarak kanser, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, romatizma ve enflamasyon gibi kronik rahatsızlıkların önlenmesinde ve tedavisinde potansiyel bir destekleyici olarak görülmektedir (Dufresne ve Farnworth, 2000; Jayabalan vd., 2008; Srihari vd., 2013a; 2013b; Jayabalan vd., 2014; Bhattacharya vd., 2016; Vázquez-Cabral vd., 2017; Selvaraj ve Gurumurthy, 2022).

Kombucha üzerine yapılan araştırmalar, farklı bitkisel kaynakların ve gıda teknolojisi uygulamalarının ürün üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır:

Antimikrobiyal Aktivite: Sreeramulu vd. (2001), kombucha'nın *E. coli*, *Salmonella* türleri ve *Shigella sonnei* üzerindeki inhibitör etkisini kanıtlamıştır. Benzer şekilde Kalkan vd. (2020), farklı çay türlerini kıyasladıkları çalışmada, en yüksek antimikrobiyal aktivitenin yeşil çay bazlı kombucha'da olduğunu bildirmiştir. Düşük pH ortamı da patojen gelişimini engelleyerek raf ömrüne katkı sağlamaktadır (Savan, 2022).

Fermantasyon ve Antioksidan Kapasite: Siyah ve yeşil çay bazlı kombucha örneklerinde fermantasyon süresince antioksidan ve fenolik madde içeriğinin önemli ölçüde arttığı Düşgün (2022) tarafından rapor edilmiştir. Ayrıca Cardoso vd. (2020), kombucha'daki baskın fenoliklerin flavonoidler ve fenolik asitler olduğunu vurgulamıştır.

Ürün Geliştirme: Kayışoğlu ve Coşkun (2021), kombucha'ya nane ilavesinin fenolik içeriği artırdığını ve duyuşal açıdan (siyah ve yeşil çaya kıyasla) daha çok beğenildiğini belirtmiştir. Savan (2022) ise Trabzon hurması özütü (%10) ilavesinin, antioksidan aktiviteyi ve fenolik içeriği diğer örneklere göre belirgin şekilde yükselttiğini tespit etmiştir.

Gıda Koruma ve İşleme: Kombucha, gıda koruyucu ajan olarak da araştırılmıştır. Zhou vd. (2019), üzümün kombucha içinde bekletilmesinin C vitamini kaybını önlediğini ve raf ömrünü uzattığını gözlemlemiştir. Et ürünlerinde ise Temizgül (2021), sucuk üretiminde nitrit kullanımını azaltmak amacıyla kombucha ekstraktı kullanmış; bu uygulamanın pH düşüşü sağlayarak mikrobiyal güvenliği artırdığını ve duyuşal olumsuzluk yaratmadığını bildirmiştir.

1.4. Karabaş Otu (*Lavandula stoechas*)

Ballıbabagiller (*Lamiaceae*) familyasına ait olan *Lavandula* cinsi, dünya genelinde ekonomik ve tıbbi değeri yüksek aromatik bitkileri kapsamaktadır. Bu cinsin Akdeniz havzasına özgü en karakteristik türlerinden biri olan *Lavandula stoechas* L., halk arasında "Karabaş otu", "Fransız lavantası" veya "yalancı lavanta" isimleriyle bilinmektedir (Kırmızıbekmez vd., 2009). Genellikle kuraklığa dayanıklı yapısı, her dem yeşil kalabilen çalı formu ve karakteristik koyu mor renkli çiçekleri ile tanınan bu bitki; Türkiye florasında özellikle Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinin kıyı şeritlerinde ve makilik alanlarda yaygın bir dağılım göstermektedir (Bayrak vd., 2017).

Fitokimyasal yapısı incelendiğinde, *Lavandula stoechas* türünün zengin bir biyoaktif bileşen profiline sahip olduğu görülmektedir. Bitkinin toprak üstü kısımları ve çiçekleri, başta monoterpenler olmak üzere uçucu yağlar, fenolik asitler, flavonoidler ve

tanenler açısından oldukça zengindir (Bouyahya vd., 2017). Yapılan kromatografik analizlerde (GC-MS), Türkiye'de yetişen karabaş otu uçucu yağının ana bileşenlerinin fenkon, kamfor ve 1,8-sineol (ökaliptol) olduğu, ayrıca mirtenil asetat ve viridiflorol gibi bileşikler de içerdiği tespit edilmiştir (Kırmızıbekmez vd., 2009). Uçucu olmayan fraksiyonda ise luteolin, apigenin ve rosmarinik asit gibi güçlü antioksidan özellik gösteren fenolik yapılar bulunmaktadır (Eziz vd., 2014).

Geleneksel halk tıbbında yüzyıllardır kullanılan karabaş otunun; analjezik (ağrı kesici), sedatif (sakinleştirici), antikonvülsan ve antiseptik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Eziz vd., 2014). Özellikle beyin fonksiyonlarını destekleyici etkisi nedeniyle hafıza güçlendirici olarak ve sindirim sistemi rahatsızlıklarına karşı infüzyon formunda tüketildiği literatürde yer almaktadır (Bayrak vd., 2017).

Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, karabaş otu ekstraktlarının gıda endüstrisindeki potansiyel uygulamalarına odaklanmaktadır. Bitkinin sahip olduğu güçlü antimikrobiyal aktivite, gıda kaynaklı patojenlere (örneğin *S. aureus*, *E. coli*) karşı doğal bir koruyucu ajan olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Bayrak vd., 2017). Ayrıca, yüksek serbest radikal giderme kapasitesi (DPPH ve ABTS aktiviteleri) sayesinde, eklendiği gıda matrisinin oksidatif stabilitesini artırarak raf ömrünü uzatmakta ve ürüne fonksiyonel nitelik kazandırmaktadır (Bouyahya vd., 2017). Bu özellikleriyle karabaş otunun kombucha gibi fermente içeceklerle entegrasyonu, hem duyuşsal aromayı zenginleştirilmesi hem de ürünün nutrasötik değerini artırması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

1.5. Fermantasyon

Fermantasyon; anaerobik koşullar altında büyük moleküllü organik maddelerin, mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri sonucu daha küçük ve basit bileşenlere parçalandığı biyokimyasal bir süreçtir. Bu işlem sonucunda, gıdanın duyuşsal özellikleri gelişmekte ve katma değeri yüksek, faydalı ürünler elde edilmektedir (Peggy ve Ofori, 2007). Uygulama tekniklerine göre fermantasyon süreçleri; spontane (doğal) fermantasyon, starter kültür kullanımı ile kontrollü fermantasyon ve "back-slopping" olarak bilinen bir önceki üründen aşılama yöntemi olmak üzere üç temel grupta sınıflandırılmaktadır (Voidarou vd., 2017; Oktay ve Özbaş, 2020).

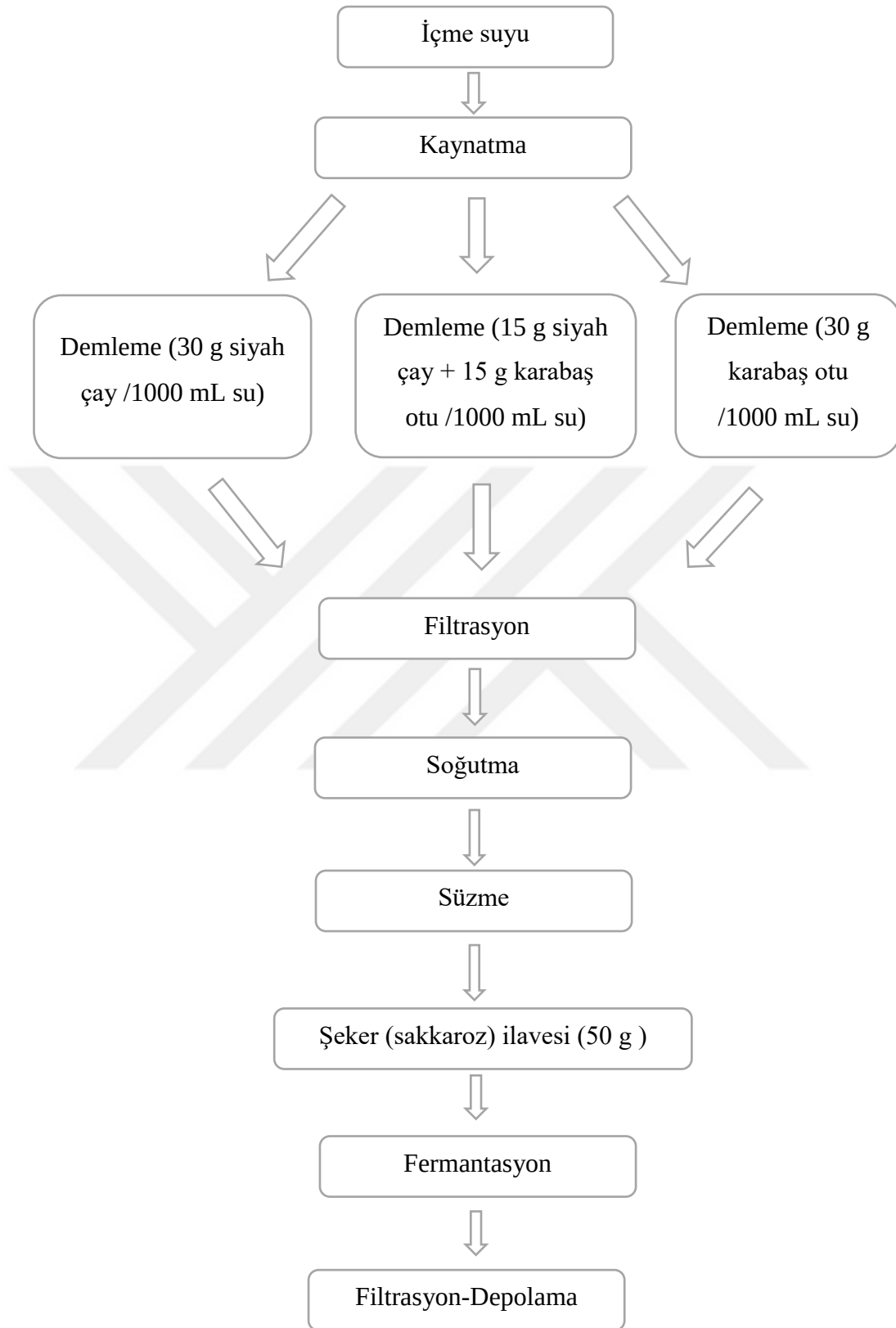
Gıda endüstrisinde fermantasyon teknolojisi geniş bir ürün yelpazesine sahiptir; süt ve süt ürünleri başta olmak üzere et, balık, tahıl ürünleri ile meyve ve sebze bazlı gıdaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumari vd., 2021; Ünsal ve Yıldırım, 2023). Bu süreç, gıdaların besin değerini ve biyoyararlanımını artırmasının

yanı sıra, ürünlerin duyusal profillerini iyileştirmekte ve depolama koşullarında raf ömrünün uzatılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Asghar vd., 2017; Samtiya vd., 2021; Yılmaz vd., 2023).

Fonksiyonel gıda niteliğindeki fermente ürünlerin, sahip oldukları biyoaktif özellikler (antioksidan, antimikrobiyal vb.) sayesinde sağlık üzerinde koruyucu ve tedavi edici rol oynadığı rapor edilmiştir (Ünsal ve Yıldırım, 2023). Ayrıca, probiyotik özellikleri sayesinde bağışıklığı güçlendiren bu gıdalar, günümüzde popülerliğini sürdürmektedir (Ünsal ve Yıldırım, 2023; Yılmaz vd., 2023).



1.6. Karabaş Otu ile Kombucha Çayı Yapımı Akış Şeması



Şekil 1. Karabaş otu ile elde edilen Kombucha Çayı'nın üretim akış şeması

1.7. Çalışmanın Amacı

Küresel çapta değişen yaşam koşulları ve artan sağlık bilinci, tüketicilerin beslenme alışkanlıklarını önemli ölçüde etkilemiş; sentetik ilaçlara ve yapay katkı gıdalara olan talebin yerini doğal, güvenilir ve fonksiyonel ürün arayışı almıştır. Zengin antioksidan, fenolik ve flavonoid içerikleriyle bilinen tıbbi ve aromatik bitkiler, bu talebin karşılanmasında hem ekonomik hem de sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde pek çok hastalığın tedavisinde modern tıbbın yanı sıra fitoterapötik yaklaşımların da destekleyici olarak kullanılması, henüz potansiyeli tam olarak keşfedilmemiş bitkilerin bilimsel araştırmalara konu olmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle halk sağlığını tehdit eden salgın hastalıkların artışı, bağışıklık sistemini destekleyen yeni gıda formülasyonlarının geliştirilmesini ve literatüre kazandırılmasını elzem hale getirmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı; popüler bir fermente içecek olan Kombucha çayını, yüksek biyoaktif bileşen profiline sahip Karabaş otu (*Lavandula stoechas* L.) ile zenginleştirerek fitokimyasal içeriği güçlendirilmiş, yeni ve fonksiyonel bir ürün geliştirmektir. Çalışma kapsamında, geleneksel siyah çay ve karabaş otu karışımlarıyla hazırlanan kombucha örneklerinin 14 günlük depolama süreci boyunca fizikokimyasal ve mikrobiyal değişimlerinin izlenmesi hedeflenmiştir.

Bu doğrultuda geliştirilen ürünün; toplam fenolik (TPC) ve flavonoid (TFC) madde miktarlarının belirlenmesi, serbest radikal giderme aktivitelerinin (DPPH $\cdot$ ve ABTS $\cdot^+$) ölçülmesi ve metal indirgeme kapasitelerinin (CUPRAC ve Oyaizu) saptanması suretiyle antioksidan potansiyelinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Ayrıca ürünün mikrobiyolojik kalitesi ve asitlik profili incelenerek fermantasyon sürecinin stabilitesi değerlendirilecektir. Karabaş otunun bilinen güçlü antimikrobiyal ve antioksidan etkilerini kombucha matrisine taşıyarak, literatürdeki veri bilgisine destek olmak ve endüstriyel üretime uygun, katma değeri yüksek, yenilikçi bir sağlık içeceği alternatifi sunmak bu tezin nihai hedefidir

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kartelias vd. (2024), kombucha çayını lavanta çiçeği (*lavender blossoms*), gül yaprakları ve hibiskus ile zenginleştirdikleri çalışmalarında; bitkisel ilavenin son ürünün mineral ve vitamin profilini önemli ölçüde geliştirdiğini rapor etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, lavanta ilavesi kombucha'nın C vitamini içeriğini 33.2 mg/100mL'den 48.4 mg/100mL'ye; kalsiyum içeriğini ise 31.0 mg/L'den 55.7 mg/L'ye yükseltmiştir. Ayrıca potasyum seviyesinin neredeyse iki katına çıktığı (64.7'den 115.7 mg/L'ye) ve ürünün alfa-amilaz enzim inhibisyonu göstererek antidiyabetik potansiyel kazandığı belirlenmiştir.

Radi vd. (2024), *Lavandula stoechas* (Karabaş otu) ve *Lavandula abrialis* türlerinin kimyasal ve biyolojik aktivitelerini kıyasladıkları güncel araştırmada; *L. stoechas* uçucu yağının diğer türe göre çok daha güçlü bir antioksidan kapasiteye (IC50: 12.94 µg/mL) sahip olduğunu saptamışlardır. Antimikrobiyal testlerde ise *L. stoechas* yağının özellikle *Escherichia coli* üzerinde çok düşük konsantrasyonlarda bile (MIC: 1.56 µg/mL) etkili olduğu ve gıda patojenlerine karşı güçlü bir inhibitör ajan olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Ganter vd. (2024), yeşil çay bazlı kombucha üretimine nane (*Mentha spicata*) ve hibiskus (*Hibiscus sabdariffa*) infüzyonları ekleyerek fermantasyon dinamiklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, bitkisel katkıların mikrobiyal popülasyon dengesini değiştirdiği; nane katkılı örneklerde Asetik Asit Bakterisi (AAB) sayısının daha sınırlı kaldığı, buna karşılık Laktik Asit Bakterisi (LAB) popülasyonunun en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Duyusal analizlerde ise bitkisel aromaların, kombucha'nın karakteristik asidik tadını dengeleyerek tüketici beğenisini artırdığı kaydedilmiştir.

Sriti vd. (2022), *Lavandula stoechas* bitkisinin farklı fenolojik evrelerindeki (vejetatif, çiçeklenme vb.) fenolik madde değişimini inceledikleri çalışmada; en yüksek toplam polifenol içeriğinin vejetatif dönemdeki metanol ekstraktlarında 232.77 mg GAE/g kuru ağırlık değerine ulaştığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, çiçeklenme döneminde elde edilen ekstraktların ise en güçlü antiradikal aktiviteyi (IC50 = 28 µg/mL) sergilediğini belirterek, bitkinin hasat zamanının biyoaktif kalite üzerinde kritik bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır.

Sentetik antioksidanların olası toksik ve kanserojen etkilerine dair endişelerin artması, gıda endüstrisinde ve tüketici tercihlerinde doğal antioksidanlara olan yönelimi

hızlandırmıştır. Doğal kaynaklı antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize ederek oksidatif stresi baskılamakta; böylece kanser, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve nörodejeneratif hastalıkların önlenmesinde sentetik türevlere kıyasla daha güvenli ve etkili bir koruma sağlamaktadır (Yavaşer, 2011; Gülçin, 2020). Bu bağlamda Topal (2014), antioksidanların serbest radikal zincir reaksiyonlarını kırarak gıdalardaki oksidatif bozulmaları engellediğini, aynı zamanda düzenli tüketimlerinin koroner ateroskleroz riskini önemli ölçüde azalttığını vurgulamıştır. Benzer şekilde Romero-Márquez vd. (2023), avokadonun zengin antioksidan içeriğinin Alzheimer hastalığına karşı potansiyel bir koruyucu olabileceğini belirtmişlerdir.

Bitkisel materyallerin antioksidan potansiyeli üzerine yapılan çalışmalarda, sadece meyve etinin değil, genellikle atık olarak değerlendirilen kabuk ve tohum kısımlarının da yüksek biyoaktivite gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin, Topal (2018, 2020) tarafından yürütülen çalışmalarda; *Picea orientalis* (Doğu ladini) ve *Pinus sylvestris* (Sarıçam) kozalaklarının önemli düzeyde antioksidan aktiviteye sahip olduğu saptanmış ve bu orman yan ürünlerinin doğal antioksidan kaynağı olarak değerlendirilebileceği rapor edilmiştir. Sir Elkhatim vd. (2018), narenciye grubu meyvelerde (greyfurt, portakal, limon) kabuk ve tohum ekstraktlarının, meyve suyuna kıyasla daha yoğun fenolik madde ve antioksidan kapasite barındırdığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde kuşburnu meyvesi de zengin fenolik profiliyle güçlü bir doğal antioksidan kaynağı olarak literatürde öne çıkmaktadır (Koczka vd., 2018).

Son yıllarda fonksiyonel içecek geliştirme çalışmalarında, kombucha çayının farklı bitkisel kaynaklarla zenginleştirilmesi üzerine yoğunlaşılmıştır. Gamboa-Gómez vd. (2016), Meksika defne yaprağı (*Litsea glaucescens*) ve okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis*) kullanarak ürettikleri kombucha örneklerinde, fermantasyon süreciyle birlikte antioksidan kapasitenin arttığını gözlemlemişlerdir.

Farklı bitkisel katkıların kıyaslandığı bir başka çalışmada; muz kabuğu ilaveli kombucha'nın DPPH radikal giderme aktivitesi %94.6 olarak ölçülürken, ısırgan otu katkılı örnekte bu değer %92.4 olarak tespit edilmiştir (Pure ve Pure, 2016). Sebze kaynaklı denemelerde ise Artanti vd. (2017), ıspanak (%20.80) ve brokoli (%12.51) ile zenginleştirilen kombucha çaylarının antioksidan aktivitelerini incelemiş; ıspanak ilavesinin daha yüksek radikal süpürücü etki gösterdiğini kaydetmişlerdir.

Güncel çalışmalarda ise Yıldız vd. (2023), muşmula meyvesi kullanımının kombucha'nın antioksidan potansiyelini önemli ölçüde yükselttiğini bildirirken; Çalışkan vd. (2023), *Aronia melanocarpa* (aronya) meyve suyu ile hazırlanan kombucha çaylarının yüksek antioksidan aktivite sergilediğini ve kanser gibi serbest

radikal kaynaklı hastalıkların tedavisinde umut verici bir fonksiyonel ürün olabileceğini rapor etmişlerdir.



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Örneklerin Hazırlanması

Materyaller siyah çay, içme suyu, karabaş otu, sakkaroz ve Scoby kültürü olarak belirlendi ve temin edildi. Karabaş otu laboratuvar çalışmaları için öğütülerek toz haline getirildi. İçme suyu kaynatıldı ve kontro (siyah çay), karabaş otu eklemesi ile siyah çay ve karabaş otu birlikte kullanılması ile oluşturulan üç örnek de 30 dakika demlenmeye bırakıldı. Tüm örnekler için filtrasyon işlemi sağlanarak 25°C ye kadar soğutmaya bırakıldı ve şeker ilavesi yapıldı. Daha sonra soğutulup süzülen örneklerle scoby kültürünün sıvı kısmından (%1) ve bir miktar da scoby kültürü eklenerek aynı sıcaklıkta steril ağzı tülbent ile kapalı cam kavanozlarda ışık olmayan ortamda 14 gün fermentasyona bırakıldı. Fermentasyon süresi boyunca 0., 7. ve 14. günlerde kombucha çayı örnekleri ayrılarak; analiz edilmek üzere -18°C’de muhafaza edilmiştir.

3.2. Kullanılan Kimyasal ve Cihazlar

Çalışmanın analitik aşamalarında kullanılan; 2,2-Azino-bis(3-etilbenztiyoazolin-6-sulfonikası) (ABTS), 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil (DPPH), Folin-Ciocalteu fenol reaktifi, sodyum karbonat (Na_2CO_3), demir (III) klorür (FeCl_3), bakır (II) klorür (CuCl_2), neokuprin (2,9-dimetil-1,10-fenantrolin), trikloroasetik asit (TCA), potasyum persülfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), gallik asit ve kuersetin standartları Sternheim (Almanya) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan diğer tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

Analizlerde ve örnek hazırlığında kullanılan temel cihazlar şunlardır: UV-VIS Spektrofotometre (Marka Model varsa yaz), dijital refraktometre, pH metre, hassas terazi, vorteks karıştırıcı, otomatik pipet setleri, inkübatör ve buzdolabı.

3.3. Analiz Yöntemleri

3.3.1. Suda Çözünür Kurumadde (Briks) Tayini

Örneklerin suda çözünür kuru madde içeriği (Brix), dijital refraktometre kullanılarak belirlenmiştir.

3.3.2. Titrasyon Asitliği

Titre edilebilir asitlik tayini, AOAC (2000) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Alınan örneklerle 2-3 damla fenolftalein indikatörü ilave edildikten sonra, karışım 0.1 N

NaOH çözeltisi ile pH 8.1 noktasına kadar titre edilerek toplam asitlik değeri hesaplanmıştır.

3.3.3. pH Tayini

Kombucha üretiminde düşük pH değeri, patojen mikroorganizmaların gelişimini engellemesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Savan, 2022). Çalışma kapsamında homojenize edilen örneklerin pH değerleri, pH 4.00, 7.00 ve 10.01 tampon çözeltileri ile kalibre edilmiş bir pH metre kullanılarak periyodik olarak ölçülmüştür (Cemeroğlu, 2010).

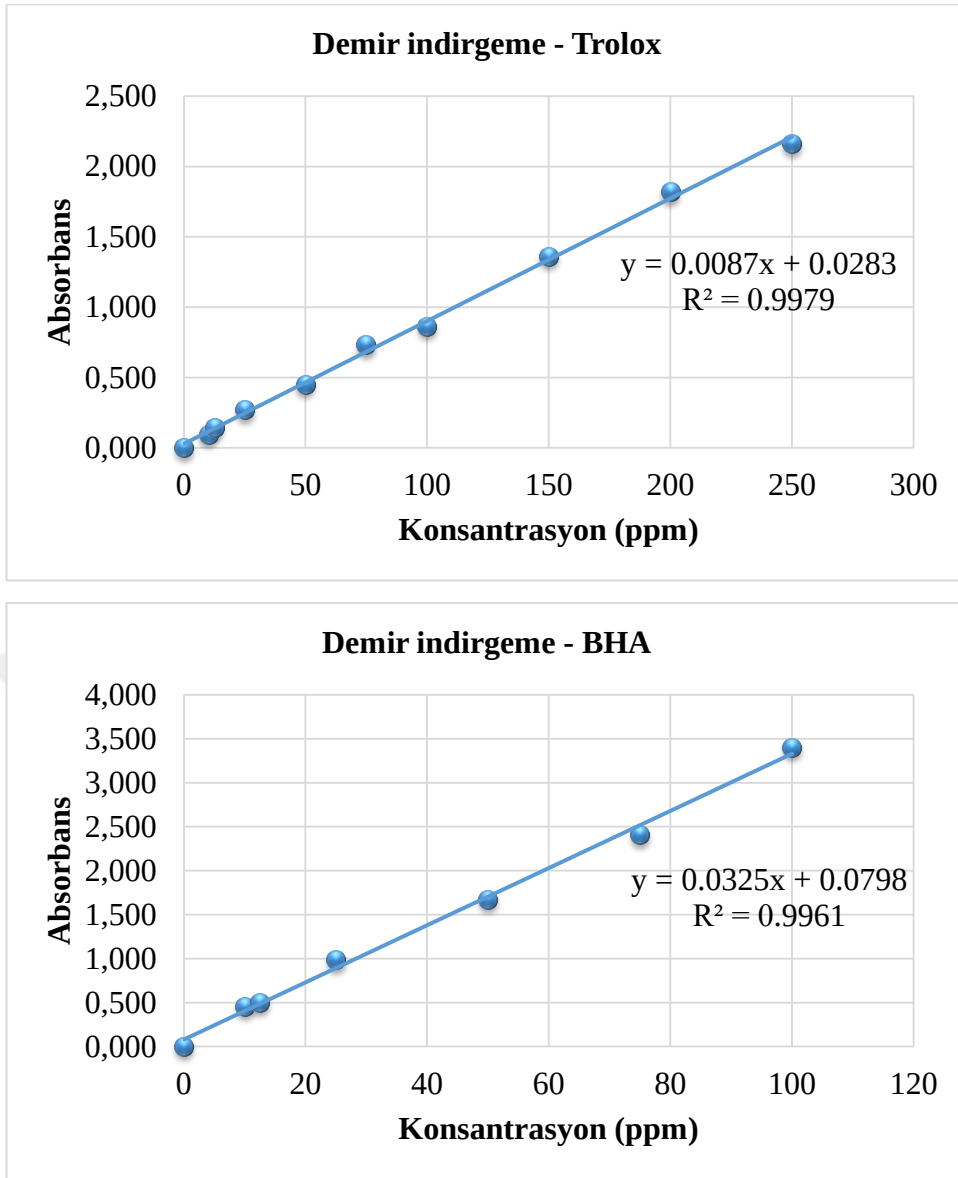
3.3.4. Renk Analizi

Örneklerin renk değerleri, kolorimetre cihazı (3NH NR10QC, Çin) kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda CIE L^* , a^* , b^* renk parametreleri kaydedilmiştir. Bu sistemde L^* değeri parlaklığı (0: siyah, 100: beyaz), $+a^*$ kırmızılığı, $-a^*$ yeşilliği, $+b^*$ sarılığı ve $-b^*$ maviliği ifade etmektedir. Elde edilen L^* , a^* ve b^* değerleri kullanılarak renk açısı (Hue angle) parametreleri hesaplanmıştır (Maskan, 2001).

3.3.5. Demir (III) İndirgeme Gücünün Belirlenmesi

Örneklerin indirgeme gücü, Oyaizu (1988) yöntemine göre belirlenmiştir. Buna göre; farklı konsantrasyonlardaki ekstraktlar, 2.5 mL fosfat tamponu (0.2 M, pH 6.6) ve 2.5 mL potasyum ferisiyanür [%1 (w/v)] ile karıştırılmıştır. Karışım 50°C’de 20 dakika inkübe edildikten sonra üzerine 2.5 mL trikloroasetik asit (TCA, %10) ilave edilerek reaksiyon durdurulmuştur. Karışımdan alınan 2.5 mL’lik üst faz, 2.5 mL distile su ve 0.5 mL $FeCl_3$ (%0.1) ile karıştırılmış ve absorbans 700 nm’de spektrofotometrede okunmuştur. Artan absorbans değeri, artan indirgeme gücünü ifade etmektedir.

Sonuçlar, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Trolox ve BHA standartları kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrileri üzerinden hesaplanmış ve μM Trolox Eşdeğeri (TE)/L ile μM BHA Eşdeğeri (BHA E)/L olarak ifade edilmiştir.

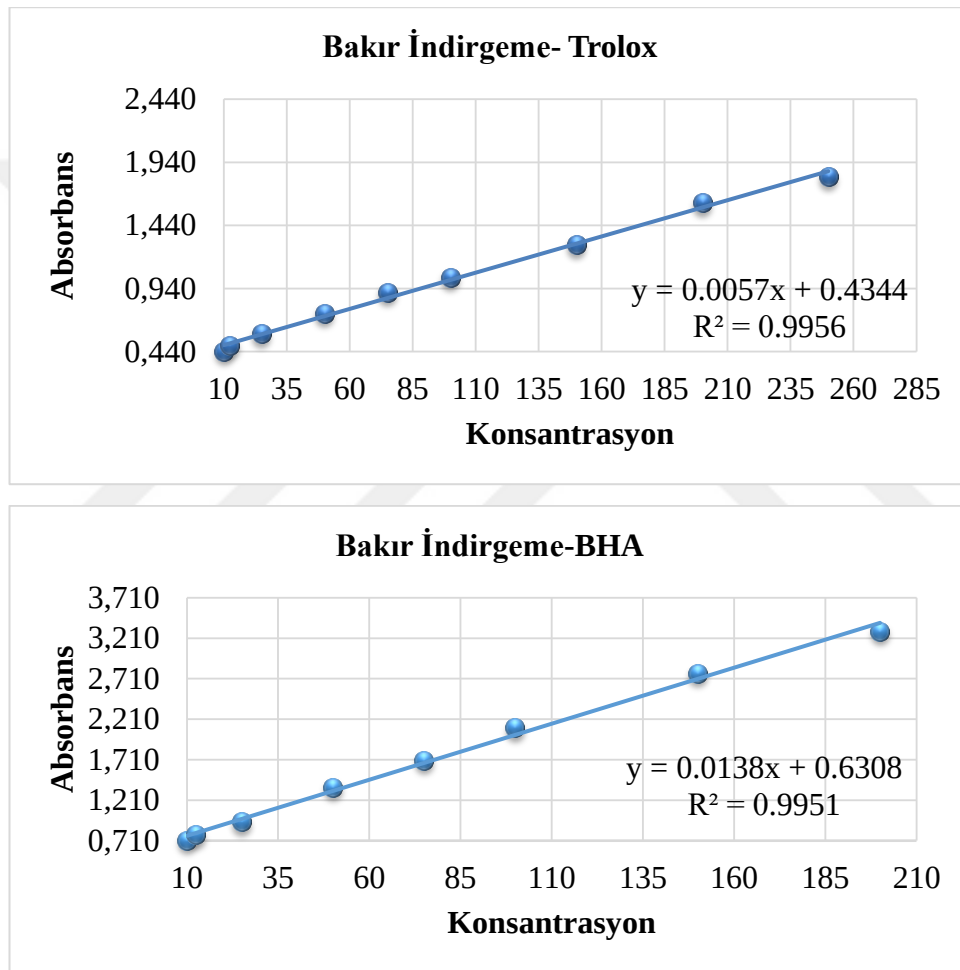


Şekil 1. Demir (III) indirgeme gücünün belirlenmesi kullanılan standart eğri grafikleri

3.3.6. Cu^{2+} - Cu^+ İndirgeme Kapasitesi Metodu (CUPRAC)

Örneklerin bakır indirgeme kapasitesi. Apak vd. (2004) tarafından geliştirilen CUPRAC yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yöntemin esası; nötr ortamda (pH 7.0) bakır(II)-neokuprin kompleksinin (Cu^{2+} -Nc). antioksidan bileşikler tarafından indirgenerek sarı-turuncu renkli bakır(I)-neokuprin (Cu^+ -Nc) şelatına dönüşmesi ve bu oluşumun 450 nm’de maksimum absorbans vermesine dayanmaktadır. 1 M Amonyum Asetat Tamponu (NH_4Ac): 7.708 g amonyum asetat ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) tartılarak 100 mL saf suda çözülmüş ve pH’sı yaklaşık 7.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. 0.01 M Bakır (II) Klorür Çözeltisi: 0.170 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tartılarak 100 mL saf su içerisinde çözülmüştür. 7.5 mM Neokuprin Çözeltisi: 0.156 g neokuprin (2.9-dimetil-1.10-fenantrolin) tartılarak 100 mL etanol (%96) içerisinde çözülmüştür. Deney tüpüne sırasıyla 1 mL CuCl_2

çözeltisi, 1 mL neokuprin çözeltisi ve 1 mL amonyum asetat tamponu ilave edilmiştir. Bu karışımın üzerine 0.5 mL homojenize örnek ve 0.5 mL saf su eklenerek toplam hacim 4 mL'ye tamamlanmıştır. Karışım vortekslendikten sonra oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dakika inkübe edilmiştir. Süre sonunda oluşan renk yoğunluğu 450 nm dalga boyunda spektrofotometre ile saf suya (kör) karşı okunmuştur. Sonuçlar, Trolox ve BHA standartları kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrileri üzerinden hesaplanmış; μM Trolox Eşdeğeri (TE)/L ve μM BHA Eşdeğeri (BHA_E)/L olarak ifade edilmiştir.

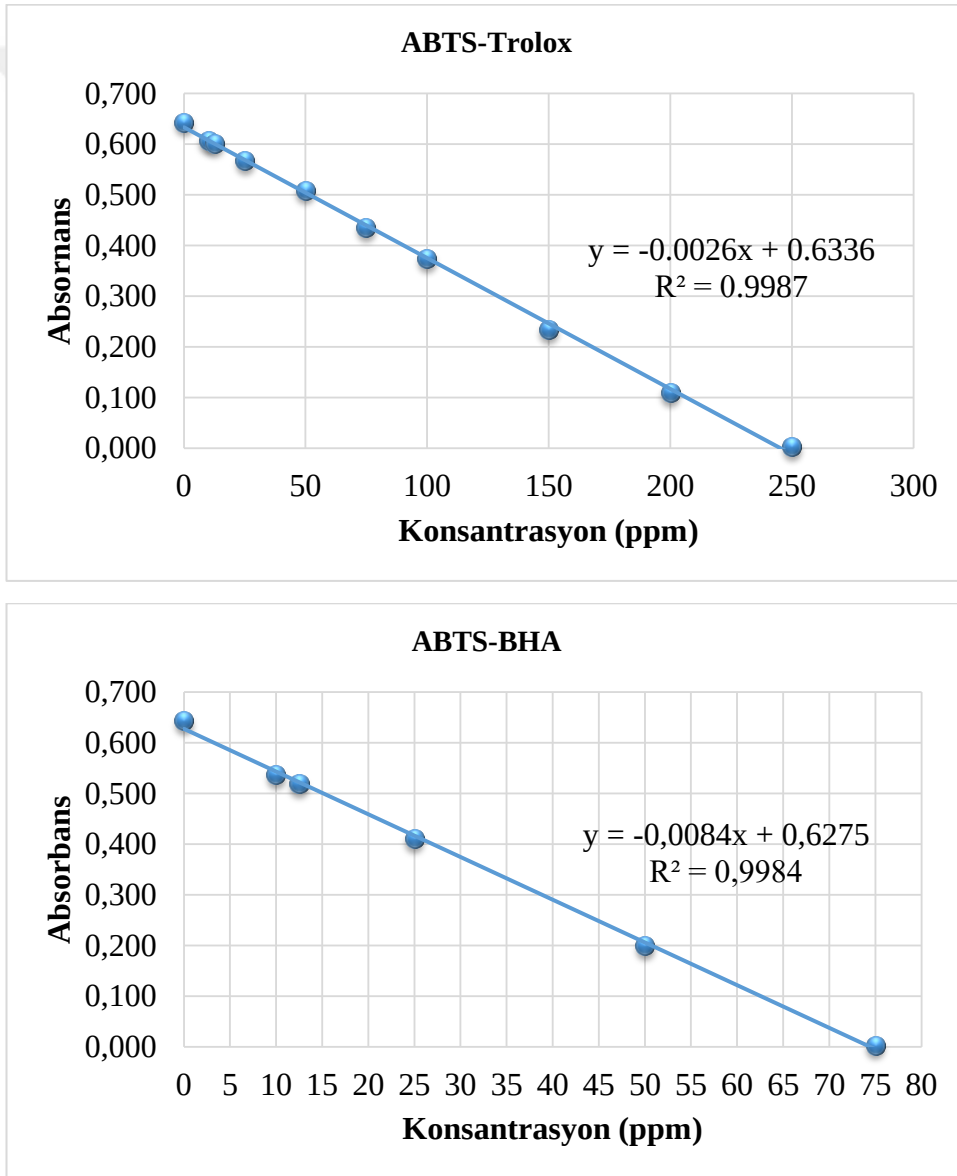


Şekil 2. Cu^{2+} - Cu^{+} İndirgeme Kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri

3.3.7. ABTS⁺ Radikal Giderme Aktivitesi Tayini

Örneklerin ABTS radikal katyonu giderme aktivitesi, Re vd. (1999) tarafından geliştirilen spektrofotometrik yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Analiz için öncelikle 38.4 mg ABTS (2.2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)) ve 13.4 mg potasyum persülfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) tartılarak 10 mL saf su içerisinde çözülmüştür. Elde

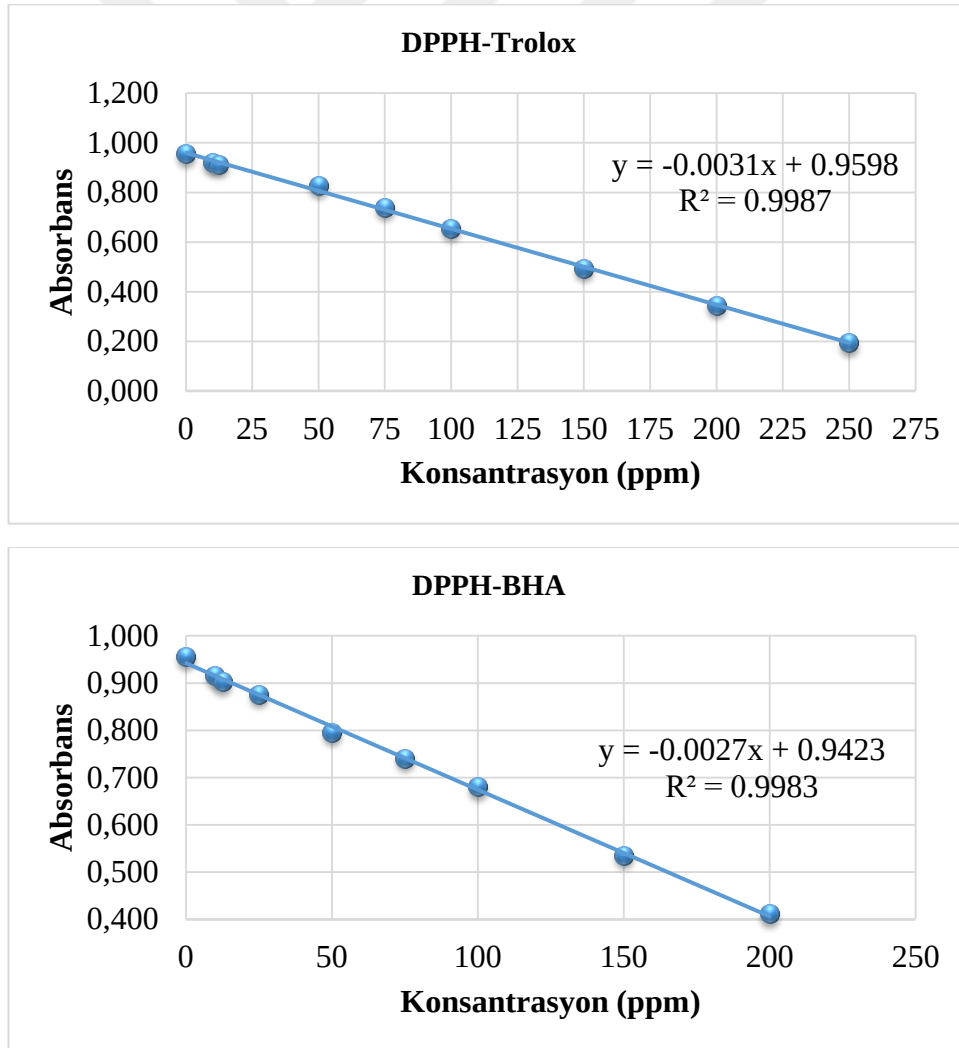
edilen karışım. radikal oluşumunun tamamlanması ve stabil hale gelmesi için oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 12 saat bekletilmiştir. Süre sonunda hazırlanan stok çözeltiden belirli bir miktar alınarak (yaklaşık 25 mL). 734 nm dalga boyundaki absorbans değeri 0.706 ± 0.001 olana kadar metanol ile seyreltilmiştir. Deney tüpüne 150 µL homojenize örnek alınmış ve üzerine 2850 µL ABTS çalışma çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vortekslendikten sonra 10 dakika karanlıkta inkübe edilmiştir. Süre sonunda absorbans değerleri 734 nm dalga boyunda spektrofotometre ile saf suya/metanole karşı ölçülmüştür. Sonuçlar, Trolox ve BHA standartları kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrileri üzerinden hesaplanmış; değerler µM Trolox Eşdeğeri (TE)/L, µM BHA Eşdeğeri (BHA E)/L ve % İnhibisyon olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3. ABTS⁺ radikal giderme aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri

3.3.8. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Tayini

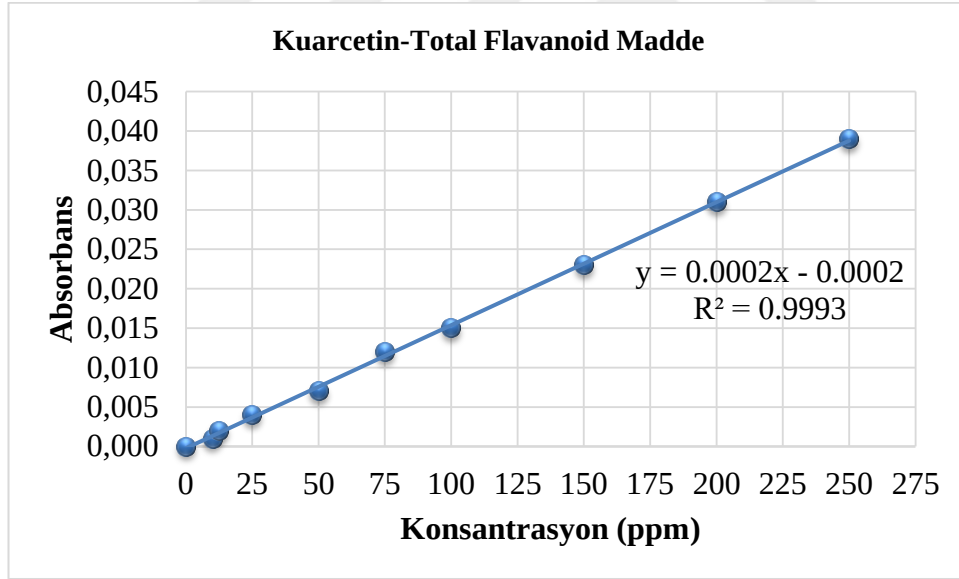
Örneklerin serbest radikal giderme aktivitesi, Blois (1958) metoduna dayalı olarak spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. 39.5 mg DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) tartılarak 10 mL metanol içerisinde çözülmüş ve 10 mM'lık ana stok çözelti elde edilmiştir. Analizlerde kullanılacak çalışma çözeltisi için; ana stoktan 2.5 mL alınarak metanol ile 250 mL'ye tamamlanmış ve 517 nm dalga boyundaki absorbansı 0.980 ± 0.02 olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney tüpüne 100 µL homojenize örnek alınmış ve üzerine 3000 µL DPPH çalışma çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vortekslendikten sonra oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 30 dakika inkübe edilmiştir. Süre sonunda absorbans değerleri 517 nm dalga boyunda spektrofotometre ile metanole (kör) karşı ölçülmüştür. Sonuçlar, Trolox ve BHA standartları kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrileri üzerinden hesaplanmış; değerler µM Trolox Eşdeğeri (TE)/L, µM BHA Eşdeğeri (BHAEL) ve % İnhibisyon olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4. DPPH serbest radikal giderme aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri

3.3.9. Toplam Flavonoid Bileşik Miktarı Tayini Yöntemi

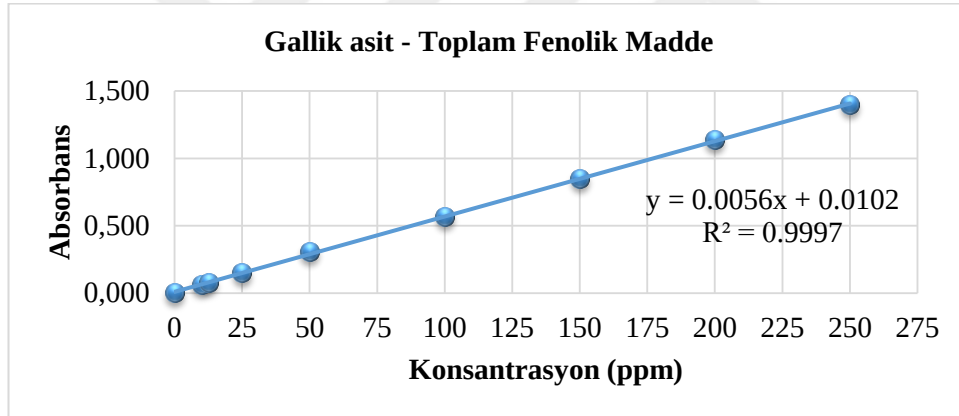
Örneklerdeki toplam flavonoid içeriği. Kasangana vd. (2015) tarafından belirtilen spektrofotometrik yöntem esas alınarak belirlenmiştir. %10'luk $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ çözeltisinin hazırlanması: İlk olarak 5 g Alüminyum nitrat alınarak 45 mL destile su içerisinde çözündürülmüştür. Analiz öncesinde 0.5 M Sodyum Nitrit (NaNO_2), 0.3 M Alüminyum Klorür (AlCl_3) ve 1 M Sodyum Hidroksit (NaOH) çözeltileri hazırlanmıştır. Seyreltme işlemleri için %30'luk (v/v) metanol çözeltisi kullanılmıştır. Deney tüpüne 500 μL homojenize örnek alınarak üzerine 3200 μL metanol (%30) ilave edilmiştir. Karışıma 150 μL NaNO_2 (0.5 M) ve hemen ardından 150 μL AlCl_3 (0.3 M) çözeltisi eklenmiştir. Karışım 5 dakika bekletildikten sonra üzerine 1 mL NaOH (1 M) ilave edilmiştir. Tekrar vortekslenen karışım, reaksiyonun tamamlanması için oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda absorbans değerleri 506 nm dalga boyunda spektrofotometre ile saf suya (kör) karşı ölçülmüştür. Sonuçlar, Kuersetin (Quercetin) standardı kullanılarak oluşturulan kalibrasyon grafiği üzerinden hesaplanmış ve mg Kuersetin Eşdeğeri (QE)/L olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5. Toplam flavonoid bileşik miktarının belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri

3.3.10. Toplam Fenolik Madde Miktarı Tayini Yöntemi

Örneklerin toplam fenolik madde içeriği, Folin-Ciocalteu ayırıcı kullanılarak spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Analiz öncesinde sodyum karbonat (Na_2CO_3) çözeltisi %10'luk konsantrasyonda hazırlanmıştır. Standart grafik oluşturmak için farklı konsantrasyonlarda (20-160 $\mu\text{g/mL}$) Gallik Asit stok çözeltileri kullanılmıştır. Deney tüpüne 300 μL homojenize örnek alınarak üzerine 3.4 mL deiyonize su ve 0.5 mL metanol ilave edilmiştir. Karışıma 200 μL Folin-Ciocalteu reaktifi eklenerek vortekslenmiş ve oda sıcaklığında 10 dakika inkübe edilmiştir. Süre sonunda karışıma 600 μL %10'luk Na_2CO_3 çözeltisi ilave edilmiştir. Tekrar vortekslenen tüpler, renk oluşumunun tamamlanması için oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 120 dakika (2 saat) bekletilmiştir. İnkübasyon sonunda absorbans değerleri 760 nm dalga boyunda spektrofotometre ile köre karşı ölçülmüştür. Sonuçlar, Gallik Asit standardı kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisi üzerinden hesaplanmış ve mg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE)/L olarak ifade edilmiştir.



Şekil 6. Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde kullanılan standart eğri grafikleri

3.3.11. Mikrobiyal Popülasyon Tayini

Kombucha çayı örneklerinin mikrobiyal flora değişimi; Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri (TAMB), Maya, Asetik Asit Bakterisi (AAB) ve Laktik Asit Bakterisi (LAB) sayımları gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Fermantasyonun 0, 7 ve 14. günlerinde alınan örneklerden 10 mL alınarak 90 mL steril peptonlu su (%0.1) ile karıştırılmış ve homojenize edilmiştir. Hazırlanan seri seyreltilerden ($10^{-1} - 10^{-7}$) uygun besiyerlerine ekim yapılmıştır. Ekim işlemleri, her bir mikroorganizma grubu için spesifik referans yöntemlere göre şu koşullarda gerçekleştirilmiştir;

Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri (TAMB) için Plate Count Agar (PCA) besiyerine dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış ve plaklar 30°C'de 48 saat inkübe edilmiştir (ISO 4833-1:2013).

Maya Sayımı için Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerine (tartarik asit ile asitlendirilmiş) yayma plak yöntemiyle ekim yapılmış ve plaklar 25°C'de 3-5 gün inkübe edilmiştir (ISO 21527-1:2008).

Asetik Asit Bakterileri (AAB) için Kalsiyum karbonat içeren GYC (Glucose Yeast Extract Calcium Carbonate) agar besiyerine ekim yapılmış ve 30°C'de 72 saat aerobik koşullarda inkübe edilmiştir. Sayımda etrafında şeffaf zon (asit oluşumu) görülen koloniler esas alınmıştır (Sievers ve Swings. 2005).

Laktik Asit Bakterileri (LAB) içinse MRS (de Man, Rogosa ve Sharpe) Agar besiyerine çift katmanlı dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış ve 37°C'de 72 saat anaerobik koşullarda inkübe edilmiştir (De Man, Rogosa ve Sharpe. 1960).

İnkübasyon sürelerinin sonunda karakteristik koloniler sayılarak sonuçlar log CFU/mL .logaritmik koloni oluşturan birim. cinsinden hesaplanmıştır.

3.3.12. Antibakteriyel Aktivitenin Belirlenmesi

Antibakteriyel aktivite, disk difüzyon yöntemine göre gerçekleştirilmiştir (Matuschek vd., 2014). Tüm test mikroorganizmaları Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'ndan temin edilmiş olup, antibakteriyel analizler Gıda Mühendisliği Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Çalışmada, farklı kombuça çayı örneklerinin antibakteriyel aktiviteleri disk difüzyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Antibakteriyel aktivitenin belirlenmesi amacıyla toplam 4 farklı bakteri suşu kullanılmıştır: *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 62238, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Escherichia coli* ATCC 25922. Steril diskler üzerine 20 µL kombuça çayı uygulanmış ve petri kutuları 36 °C'de 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda disklerin etrafında oluşan şeffaf inhibisyon zonları ölçülerek antibakteriyel aktivite değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında; geleneksel siyah çay (%100). siyah çay-karabaş otu karışımı (%50:50) ve tamamen karabaş otu (%100) infüzyonları kullanılarak üç farklı kombucha çayı formülasyonu üretilmiştir. Elde edilen örneklerin 14 günlük depolama süreci boyunca fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca örneklerin biyoaktif profilini belirlemek amacıyla toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları saptanmış; antioksidan kapasiteleri ise DPPH ve ABTS radikal giderme aktiviteleri ile Oyaizu (Demir İndirgeme) ve CUPRAC (Bakır İndirgeme) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Antioksidan analizlerinde kıyaslama standardı olarak Trolox. BHA. Gallik Asit ve Kuersetin kullanılmış; elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilerek grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

4.1. Suda Çözünür Kurumadde (°Briks) Analiz Sonuçları

Tablo 1. Kombucha çayı örneklerinin suda çözünür kurumadde (Briks) değeri

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
°Briks	0	4.21±0.01 ^c	3.97±0.02 ^b	4.07±0.02 ^c
	7	3.82±0.01 ^b	3.77±0.01 ^a	3.63±0.01 ^a
	14	3.48±0.03 ^a	3.76±0.01 ^a	3.68±0.01 ^b
Ortalama		3.83±0.32 ^A	3.83±0.11 ^A	3.79±0.21 ^A
ANOVA P-Örnek		0.915		
ANOVA P-Gün		0.000	0.000	0.000

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Toplam çözünür katı madde içeriğini temsil eden Brix değerlerinde gözlenen düşüşler, depolama süreci boyunca tüm formülasyonlarda yüksek derecede anlamlı farklılık göstermiştir ($P < 0.001$). Bu düşüş, SCOBY'nin sukrozu organik asitlere, alkollere ve ara metabolitlere dönüştüren metabolik yollarının tipik bir çıktısıdır. Örnek 1'de (%100 Siyah Çay) 0. gün ile 14. gün arasında gözlenen belirgin azalma, siyah çay matriksinde mikrobiyal tüketimin daha yoğun gerçekleştiğini göstermektedir. Bitkisel bileşenli örneklerde (Örnek 3 ve 5) gözlenen nispeten daha kontrollü düşüş ise *Karabaş otunun* çözünür polisakkarit ve fenolik yapıları sayesinde aşırı şeker tüketimini kısmen tamponladığını düşündürmektedir. Tüm formülasyonların ortalama Brix değerlerinin birbirine çok yakın olması (3.79–3.83) ve örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı

bir fark bulunmaması ($P = 0.915$); her üç grupta da benzer fermentatif dönüşüm seviyelerine ulaşıldığını kanıtlamaktadır. Bu bulgular, bitki katkılı kombucha çalışmalarında rapor edilen, antioksidan yönünden zengin matrislerin Brix düşüşünü dengeleyerek fermantasyon kinetiğini stabilize ettiği yönündeki sonuçlarla uyumludur (Cheepchirasuk et al., 2025)

4.2. Titrasyon Asitliği Analiz Sonuçları

Tablo 2. Kombucha çayı örneklerinin titrasyon asitliği (%) değeri

Titre Edilebilir Asitlik (%)	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
	0	1.04±0.01 ^a	1.64±0.03 ^a	1.29±0.03 ^a
	7	1.86±0.02 ^b	1.93±0.03 ^b	2.30±0.04 ^c
	14	3.77±0.15 ^c	1.94±0.03 ^b	2.19±0.02 ^b
ANOVA P-Gün		0.000	0.000	0.000
Ortalama		2.22 ± 1.42 ^A	1.84 ± 0.14 ^A	1.93 ± 0.42 ^A
ANOVA P-Örnek		0.758		

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Kombucha çayı örneklerinin titrasyon asitlik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre; Kombucha örneklerinin titre edilebilir asitlik değerleri incelendiğinde, depolama süresi boyunca tüm gruplarda belirgin bir artış eğilimi gözlenmiş ve bu değişim istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı bulunmuştur ($P < 0.001$). Bu artış, fermantasyon sürecinde mayaların ürettiği etanolün asetik asit bakterileri (AAB) tarafından okside edilerek asetik asit ve diğer organik asitlere dönüştürülmesiyle açıklanmaktadır. Örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farkın bulunmaması ($P = 0.758$), kullanılan bitkisel substrat türünden bağımsız olarak benzer toplam asit üretim seviyelerine ulaşıldığını göstermektedir. Ancak gruplar içindeki gelişim dinamikleri farklılıklar sergilemiştir: Örnek 1’de asitlik değeri %1.04’ten %3.77’ye yükselerek en keskin artışı göstermiştir. Bu durum, siyah çayın fermentatif mikroorganizmalar için daha uygun bir karbon ve azot matriksi sağlayarak AAB aktivitesini teşvik ettiğine işaret etmektedir. Karabaş Otu İçeren Örnek 3 ve Örnek 5’te asitlik artışı daha ılımlı seyretmiş ve özellikle 14. günde stabilizasyon eğilimi göstermiştir. Bu durum, *Lavandula stoechas* (Karabaş otu) bünyesindeki uçucu yağların ve fenolik bileşiklerin, asetik asit bakterilerinin metabolizmasını belirli bir seviyeden sonra inhibitör bir etki oluşturabileceğini düşündürmektedir.

4.3. pH Analiz Sonuçları

Tablo 3. Kombucha çayı örneklerinin pH değeri

pH	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
	0	4.29±0.01 ^c	3.98±0.02 ^b	4.11±0.02 ^c
	7	3.77±0.01 ^b	3.71±0.02 ^a	3.53±0.02 ^a
	14	3.32±0.04 ^a	3.70±0.02 ^a	3.59±0.01 ^b
ANOVA P-Gün		0.000	0.000	0.000
Ortalama		3.79± 0.31 ^A	3.80± 0.13 ^A	3.74± 0.25 ^A
ANOVA P-Örnek		0.810		

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Fermente bir içecek olan kombucha çayının en iyi pH aralığının literatürde genellikle 2.5 – 4.5 arasında değiştiği bildirilmektedir (Sağlam vd., 2021). Ürünün içilebilir nitelikte olması ve mikrobiyal güvenliğin sağlanması için pH değerinin bu aralığa düşmesi gerekmektedir. Eğer bu düşüş sağlanamazsa, fermantasyonun gerçekleşmediği veya numunenin kontaminasyona uğradığı düşünülebilir (Nummer. 2013). Bu çalışmada 14 günlük fermantasyon sonunda tüm örneklerin pH değerlerinin 3.32 ile 3.70 aralığına gerilediği ve güvenli tüketim sınırları içerisinde olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslandığında; Güldane vd. (2017) siyah çay ile üretilen kombucha çayında 11. günde pH değerini 3.22 olarak bildirmiştir. Bu çalışmada da siyah çay grubunun (Örnek 1) 14. günde 3.32 değerine ulaşması bu bulguyla uyumludur. Öte yandan İsmailoğlu Özkan (2024). sebze katkılı kombucha çaylarında pH değerlerinin 2.40-2.83 aralığına kadar düştüğünü rapor etmiştir. Karabaş otu içeren grupların (Örnek 3 ve 5) pH değerlerinin biraz daha yüksek kalması (3.59-3.70). kullanılan bitkisel materyalin tamponlama kapasitesinden kaynaklanmaktadır. İstatistiksel analizler sonucunda; depolama süresinin pH üzerinde yüksek derecede anlamlı bir etkisi olduğu ($P < 0.001$). ancak örnek türünün genel ortalamalar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmadığı ($P = 0.810$) belirlenmiştir. Fermantasyon süreciyle birlikte tüm örneklerde pH düşüşü gözlemlenmiştir.

4.4. Renk Analizi Sonuçları

Tablo 4. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince CIE L^* , a^* ve b^* değerleri

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
L^*	0	21.22±0.01 ^a	13.11±0.12 ^a	11.79±0.11 ^a
	7	19.46±0.15 ^b	14.97±0.01 ^b	13.53±0.20 ^c
	14	22.96±0.21 ^c	16.25±0.10 ^c	13.07±0.05 ^b
	Ortalama	21.21±1.47 ^C	14.11±1.21 ^B	12.80±1.01 ^A
	ANOVA P-Örnek	0.000		
a^*	0	7.11±0.10 ^b	8.77±0.03 ^c	10.13±0.19 ^b
	7	7.13±0.13 ^b	7.49±0.01 ^b	9.16±0.03 ^a
	14	6.84±0.16 ^a	6.98±0.17 ^a	9.06±0.09 ^a
	Ortalama	7.03±0.16 ^A	7.74±0.92 ^B	9.45±0.51 ^C
	ANOVA P-Örnek	0.000		
b^*	0	6.62±0.10 ^b	-6.73±0.06 ^a	-7.29±0.10 ^a
	7	3.83±0.10 ^a	-5.58±0.03 ^b	-6.52±0.15 ^b
	14	3.79±0.10 ^b	-5.32±0.12 ^c	-6.15±0.06 ^b
	Ortalama	5.60±1.36 ^C	-2.29±1.02 ^B	-6.65±0.73 ^A
	ANOVA P-Örnek	0.000		
	ANOVA P-Gün	0.000	0.000	0.000

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Kombucha çayı örneklerinin renk parametrelerine (L^* , a^* , b^*) ilişkin analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Renk parlaklığını ifade eden L^* değerleri incelendiğinde; Karabaş otu ilavesinin kombucha çayının rengini siyah çaya kıyasla daha koyu/mat bir yapıya dönüştürdüğü görülmektedir. Ancak fermentasyon süresi boyunca tüm örneklerde L^* değerinde artış tespit edilmiş, yani içeceğin renginin zamanla açıldığı ve berraklaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, fermentasyon sırasında gerçekleşen mikrobiyal berraklaşma veya pigmentlerin asidik ortamda parçalanması ile ilişkilendirilebilir. Kırmızılık (a^*) değerleri değerlendirildiğinde; fermentasyon süreci uzadıkça tüm örneklerde a^* değerinin düştüğü belirlenmiştir. Tarhan (2017), kuşburnu ile üretilen kombucha çaylarında fermentasyon süresi uzadıkça a^* değerinin düşüş gösterdiğini bildirmiş olup, bu bulgu çalışmamızla uyumluluk göstermektedir. Karabaş otu içeren örneklerin siyah çaya göre daha yüksek kırmızılık değerine sahip olması, bitkinin kendine has antosiyanin ve pigment içeriğinden kaynaklanmaktadır. Sarılık-mavilik (b^*) değerlerinde ise gruplar arasında belirgin bir fark saptanmıştır. Siyah çay içeren Örnek 1 pozitif (+) değerler olarak sarı tonlarını korurken; Karabaş otu içeren Örnek 3 ve Örnek 5, negatif (-) değerler olarak mavi/soğuk renk tonlarına sahip olmuştur. Fermentasyon

süresince b^* değerlerindeki değişimler incelendiğinde; İsmailoğlu Özkan (2024) ve Açıklı (2024)'in çalışmalarında belirttikleri gibi, zamanla meydana gelen oksidatif reaksiyonların ve flavonoid dönüşümlerinin renk tonlarında dalgalanmalara neden olduğu görülmüştür. Bu çalışmada da karabaş otu örneklerinde mavilik tonunun zamanla sayısal olarak küçülerek, sıfıra yaklaşarak, mavimsi tonun dengelendiği tespit edilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda; renk değerlerinde (L^* , a^* , b^*) hem kontrol grubu ile karabaş otu grupları arasında, hem de zamana bağlı değişimlerde istatistiksel açıdan yüksek derecede anlamlı farklar olduğu gözlemlenmiştir ($P < 0.001$).

4.5. Demir (III) İndirgeme Gücü Analiz Sonuçları

Kombucha çayı örneklerinin indirgeme kapasiteleri, Oyaizu (1988) yöntemine göre belirlenmiş ve sonuçlar Trolox ve BHA eşdeğerleri üzerinden Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Kombucha çayı örneklerinin demir indirgeme güçleri ($\mu\text{M TE/L}$ ve $\mu\text{M BHAE/L}$)

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
Trolox	0	1981.26 $\pm$ 11.81 ^b	2059.81 $\pm$ 28.62 ^a	2414.60 $\pm$ 47.96 ^c
	7	2086.25 $\pm$ 10.92 ^c	2185.10 $\pm$ 18.68 ^b	2209.23 $\pm$ 19.13 ^a
	14	1861.72 $\pm$ 5.06 ^a	2370.15 $\pm$ 14.96 ^c	2377.43 $\pm$ 11.81 ^b
Ortalama		1976.41 $\pm$ 13.37 ^A	2205.02 $\pm$ 19.47 ^B	2333.75 $\pm$ 27.39 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.087	0.145	0.089
BHA	0	514.52 $\pm$ 29.93 ^b	535.55 $\pm$ 66.55 ^a	630.52 $\pm$ 12.84 ^c
	7	542.63 $\pm$ 27.28 ^c	569.09 $\pm$ 37.12 ^b	575.55 $\pm$ 31.89 ^a
	14	482.52 $\pm$ 22.77 ^a	618.63 $\pm$ 4.00 ^c	620.57 $\pm$ 29.93 ^b
Ortalama		513.22 $\pm$ 24.90 ^A	574.42 $\pm$ 52.59 ^B	608.88 $\pm$ 21.10 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.087	0.145	0.089

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir.

Demir (III) indirgeme gücü analizi, biyoaktif bileşenlerin elektron verme yeteneğinin bir göstergesidir. Yöntem, ortamdaki ferrik siyanür (Fe^{3+}) kompleksinin, antioksidan maddeler tarafından ferro (Fe^{2+}) formuna indirgenmesi prensibine dayanır. Bu reaksiyon sonucunda ortamın rengi sarıdan yeşil-mavi tonlarına döner ve 700 nm'de ölçülen absorbanstaki artış, indirgeme gücünün yüksekliğini ifade eder. Analiz sonuçları incelendiğinde; kullanılan bitkisel kaynağın indirgeme gücü üzerinde istatistiksel olarak son derece anlamlı bir fark yarattığı ($P < 0.001$) belirlenmiştir. En yüksek indirgeme kapasitesi, tamamen karabaş otu ile hazırlanan Örnek 5 grubunda kaydedilmiştir. Bunu

sırasıyla %50 karışım olan Örnek 3 ve %100 siyah çay olan Örnek 1 takip etmiştir. Bu bulgu, *Lavandula stoechas* (karabaş otu) bitkisinin yapısındaki fenolik bileşenlerin (özellikle rosmarinik asit ve luteolin türevlerinin). siyah çay polifenollerine kıyasla daha güçlü birer elektron verici olarak davrandığını göstermektedir. Karışım örneğinin (Örnek 3) siyah çaydan daha yüksek sonuç vermesi, karabaş otu ilavesinin ürünün antioksidan potansiyelini güçlendirdiğini kanıtlamaktadır. Depolama süresinin etkisi değerlendirildiğinde ise; tüm örnek gruplarında 14 günlük süreç boyunca indirgeme gücünde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmemiştir (Örnek 1: P=0.087, Örnek 3: P=0.145, Örnek 5: P=0.089; P > 0.05). Günlere bağlı bu stabilite, fermantasyon sırasında oluşan organik asitlerin ve fenolik bileşiklerin oksidatif bozulmaya karşı dirençli olduğunu ve ürünün raf ömrü süresince indirgeyici gücünü koruduğunu işaret etmektedir.

4.6. Cu²⁺-Cu⁺ İndirgeme Kapasitesi Analiz Sonuçları

Tablo 6. Kombucha çayı örneklerinin bakır indirgeme kapasiteleri (µM TE/L ve µM BHAE/L)

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
Trolox	0	2333.80±41.68 ^b	3416.26±10.24 ^a	4354.85±70.31 ^c
	7	2004.56±43.15 ^a	3751.35±53.80 ^c	3317.43±51.16 ^a
	14	2544.33±11.68 ^c	3540.23±23.88 ^b	3808.07±33.47 ^b
Ortalama		2294.23±32.14 ^A	3569.28±28.82 ^B	3826.78±51.85 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.136	0.003	0.136
Ortalama		2294.23±32.14 ^A	3569.28±28.82 ^B	3826.78±51.85 ^C
BHA	0	821.64±17.21 ^b	1268.74±41.40 ^a	1656.43±29.04 ^c
	7	685.65±19.56 ^a	1407.15±22.22 ^c	1227.92±21.13 ^a
	14	908.60±4.82 ^c	1319.95±9.87 ^b	1430.58±13.83 ^b
Ortalama		805.30±13.66 ^A	1331.95±24.50 ^B	1438.31±21.63 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.136	0.002	0.136

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Kombucha çayı örneklerinin bakır indirgeme antioksidan kapasiteleri (CUPRAC) incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Trolox ve BHA eşdeğerleri cinsinden Tablo 6'da sunulmuştur. CUPRAC yöntemi, antioksidan maddelerin bakır (II) iyonlarını (Cu²⁺), bakır (I) formuna (Cu⁺) indirgeme yeteneğini ölçmektedir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde kullanılan bitkisel kaynağın indirgeme kapasitesi üzerinde anlamlı bir fark yarattığı belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, en yüksek bakır indirgeme kapasitesi Örnek 5'te tespit edilmiştir. Karabaş otu içeren örneklerin siyah çaya kıyasla

yaklaşık 1.5 - 1.7 kat daha yüksek bir indirgeme gücüne sahip olması. *Lavandula stoechas* bitkisinin yapısında bulunan rosmarinik asit ve flavonoid türevi bileşenlerin güçlü elektron verici özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu bulgu, bitkisel katkıların kombucha fermantasyonunda antioksidan profili zenginleştirdiğini ve CUPRAC değerlerini artırdığını bildiren Düşgün (2024) ve Yıldız vd. (2020) çalışmalarıyla uyumludur. Depolama süresinin etkisi incelendiğinde ise gruplar arasında farklılıklar gözlenmiştir. Örnek 1 ve Örnek 5'te depolama süresince meydana gelen değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış, antioksidan kapasitenin 14 gün boyunca stabil kaldığı görülmüştür. Örnek 3'te ise zamana bağlı değişim istatistiksel olarak anlamlı çıkmış özellikle 7. günde en yüksek kapasiteye (3751.35 $\mu\text{M TE/L}$) ulaşmıştır. Sonuç olarak, siyah çay yerine karabaş otu kullanımının kombucha içeceğinin bakır iyonlarını indirgeme potansiyelini belirgin şekilde artırdığı ve bu etkinin fermantasyon süresince korunduğu tespit edilmiştir.

4.7. ABTS Radikal Giderme Aktivitesi Sonuçları

Tablo 7. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince ABTS Radikal giderme aktiviteleri ($\mu\text{M TE/L}$, $\mu\text{M BHAE/L}$ ve % İnhibisyon)

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
Trolox	0	170.62 $\pm$ 5.92 ^a	204.08 $\pm$ 3.79 ^c	204.72 $\pm$ 1.73 ^a
	7	177.67 $\pm$ 4.49 ^c	199.21 $\pm$ 2.56 ^b	204.72 $\pm$ 6.73 ^a
	14	172.54 $\pm$ 5.82 ^b	193.44 $\pm$ 7.27 ^a	212.79 $\pm$ 1.11 ^b
	Ortalama	173.61 $\pm$ 5.68 ^A	198.91 $\pm$ 6.30 ^B	207.41 $\pm$ 5.36 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.330	0.100	0.081
BHA	0	52.08 $\pm$ 1.83 ^a	62.44 $\pm$ 1.17 ^c	62.64 $\pm$ 0.54 ^a
	7	54.27 $\pm$ 1.39 ^c	60.93 $\pm$ 0.79 ^b	62.64 $\pm$ 2.08 ^a
	14	52.68 $\pm$ 1.80 ^b	59.15 $\pm$ 2.25 ^a	65.14 $\pm$ 0.34 ^b
	Ortalama	53.01 $\pm$ 1.76 ^A	60.84 $\pm$ 1.95 ^B	63.47 $\pm$ 1.66 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.330	0.100	0.081
% İnhibisyon	0	71.46 $\pm$ 2.31 ^b	83.98 $\pm$ 1.53 ^c	84.24 $\pm$ 0.70 ^a
	7	73.30 $\pm$ 1.82 ^c	82.01 $\pm$ 1.04 ^b	84.24 $\pm$ 2.72 ^a
	14	71.23 $\pm$ 2.35 ^a	79.68 $\pm$ 2.94 ^a	87.51 $\pm$ 0.45 ^b
	Ortalama	71.99 $\pm$ 2.08 ^A	81.89 $\pm$ 2.55 ^B	85.33 $\pm$ 2.17 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.497	0.100	0.081

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama süresindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir.

Kombucha çayı örneklerinin ABTS radikal katyonunu giderme kapasiteleri incelenmiş; sonuçlar Trolox ve BHA eşdeğerleri ile yüzde (%) inhibisyon cinsinden Tablo 7'de sunulmuştur. Analiz bulguları, kullanılan bitkisel substratın radikal giderme

kapasitesi üzerinde belirgin bir farklılık yarattığını göstermektedir. Örnekler arasındaki genel sıralama incelendiğinde; en yüksek radikal giderme aktivitesine Örnek 5 (%100 Karabaş Otu) sahip olmuştur. Bu örneğin ortalama Trolox eşdeğeri 207.41 μ M TE/L ve % İnhibisyon oranı %85.33 olarak belirlenmiştir. Saf karabaş otunu, %81.89 inhibisyon oranı ile karışım örneği (Örnek 3) ve %71.99 ile siyah çay örneği (Örnek 1) takip etmiştir. Örnek 1 istatistiksel analizlerde en yüksek P değerine ($P = 0.497$) sahip olarak fermantasyon süresince en yüksek stabiliteyi sergileyen örnek olmuştur. Başlangıçta tespit edilen radikal giderme kapasitesini (%71.46). 14. gün sonunda (%71.23) neredeyse birebir korumuştur. Ancak genel antioksidan kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, karabaş otu içeren Örnek 3 ve Örnek 5'in gerisinde kalmıştır. Bu durum, siyah çayın fermantasyon koşullarına karşı oldukça dirençli bir matris olduğunu, ancak radikal süpürme potansiyelinin bitkisel katkılı örneklerle kıyasla daha sınırlı kaldığını göstermektedir. Karabaş otu içeren formülasyonların siyah çaya göre daha yüksek aktivite göstermesi, *Lavandula stoechas* bitkisinin yapısında bulunan fenolik bileşenlerin ve terpenoidlerin güçlü radikal süpürücü etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar, farklı çay ve bitki türleriyle üretilen kombucha örneklerinde ABTS değerlerinin substrat bileşimine bağlı olarak arttığını bildiren Vitas vd. (2018) ve Jakubczyk vd. (2020) çalışmalarıyla uyumludur. Depolama süresinin etkisi incelendiğinde ise tüm gruplarda stabilite gözlemlenmiştir. Tablo 4.7'de görüldüğü üzere, Trolox ve % İnhibisyon değerlerinde günlere bağlı olarak küçük rakamsal dalgalanmalar yaşansa da, bu değişimler istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. Özellikle Örnek 5'te P değerinin 0.081 çıkması, katyon radikali temizleme kapasitesinin depolama koşullarından ve asidite artışından minimum düzeyde etkilendiğini göstermektedir. Bu durum, karabaş otu bazlı kombucha örneklerinin raf ömrü (14 gün) boyunca antioksidan potansiyellerini koruduğunu ve oksidatif degradasyona karşı dirençli olduklarını kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, karabaş otu ilavesinin hem toplam kapasiteyi artırdığı hem de fermantasyon süresince stabil bir antioksidan profil sunduğu tespit edilmiştir.

4.8. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Sonuçları

Tablo 8. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince DPPH Radikal giderme aktiviteleri ($\mu\text{M TE/L}$, $\mu\text{M BHA/L}$ ve % İnhibisyon)

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
Trolox	0	269.40 $\pm$ 1.62 ^a	271.66 $\pm$ 0.74 ^a	269.18 $\pm$ 0.99 ^a
	7	273.70 $\pm$ 0.37 ^b	275.42 $\pm$ 0.85 ^c	281.33 $\pm$ 0.19 ^c
	14	270.47 $\pm$ 2.46 ^b	274.13 $\pm$ 0.97 ^b	280.69 $\pm$ 0.19 ^b
Ortalama		271.19 $\pm$ 2.44 ^A	273.73 $\pm$ 1.82 ^B	277.07 $\pm$ 5.94 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.050	0.005	0.000
BHA	0	302.83 $\pm$ 1.86 ^a	305.42 $\pm$ 0.86 ^a	302.58 $\pm$ 1.13 ^a
	7	307.77 $\pm$ 0.43 ^b	309.74 $\pm$ 0.98 ^c	316.53 $\pm$ 0.21 ^c
	14	304.06 $\pm$ 2.83 ^b	308.26 $\pm$ 1.11 ^b	315.79 $\pm$ 0.21 ^b
Ortalama		304.88 $\pm$ 2.81 ^A	307.81 $\pm$ 2.09 ^B	311.63 $\pm$ 6.82 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.050	0.005	0.000
% İnhibisyon	0	87.24 $\pm$ 0.30 ^b	87.69 $\pm$ 0.24 ^a	86.89 $\pm$ 0.32 ^a
	7	88.35 $\pm$ 0.12 ^b	88.91 $\pm$ 0.28 ^c	90.83 $\pm$ 0.06 ^c
	14	87.31 $\pm$ 0.80 ^b	88.49 $\pm$ 0.31 ^b	90.62 $\pm$ 0.06 ^b
Ortalama		87.68 $\pm$ 0.71 ^A	88.37 $\pm$ 0.59 ^B	89.45 $\pm$ 1.93 ^C
ANOVA P-Örnek		0.026		
ANOVA P-Gün		0.096	0.005	0.000

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Kombucha çayı örneklerinin DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikalini giderme aktiviteleri incelenmiş; sonuçlar Trolox ve BHA eşdeğerleri ile yüzde (%) inhibisyon cinsinden Tablo 8’de sunulmuştur. Analiz sonuçları, kullanılan bitkisel substratın radikal giderme kapasitesi üzerinde belirgin bir farklılık yarattığını göstermektedir. Tabloya eklenen istatistiksel veriler incelendiğinde; örnek grupları arasında Trolox ve BHA değerleri için yüksek derecede anlamlı, % İnhibisyon değerleri için ise istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre antioksidan hiyerarşisi Örnek 5 > Örnek 3 > Örnek 1 şeklinde sıralanmıştır. Örnek 5 en yüksek aktiviteyi sergilemiştir. Ortalama % İnhibisyon oranı %89.45. Trolox eşdeğeri ise 277.07 $\mu\text{M TE/L}$ olarak ölçülmüştür. Örnek 3, ortalama %88.37 inhibisyon ve 273.73 $\mu\text{M TE/L}$ Trolox değeri ile ikinci sırada yer almıştır. Örnek 1 ortalama %87.68 inhibisyon ve 271.19 $\mu\text{M TE/L}$ değeri ile en düşük aktiviteyi göstermiştir. Karabaş otu bazlı örneklerin siyah çaya göre istatistiksel olarak daha üstün performans göstermesi, *Lavandula stoechas* bitkisinin yapısında bulunan rosmarinik asit ve fenolik bileşenlerin, fermantasyon sürecinde serbest radikalleri yakalama kapasitesini artırmasıyla açıklanabilir (Antolak vd., 2021). Depolama süresinin etkisi incelendiğinde

ise gruplar arasında farklı dinamikler gözlenmiştir. Örnek 1’de depolama süresince % İnhibisyon değerlerindeki değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (P = 0.096). Siyah çay kombuchasının radikal giderme kapasitesi 14 gün boyunca stabil kalmıştır. Örnek 3 ve Örnek 5 ise zamana bağlı değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Özellikle Örnek 5 grubunda, 0. günde %86.89 olan inhibisyon oranı, 7. günde %90.83'e yükselmiş ve 14. günde %90.62 seviyesinde korunmuştur. Bu artış, bitkisel katkıların fermantasyon süresince biyotransformasyon yoluyla antioksidan potansiyellerini geliştirdiğini göstermektedir. Karabaş otu ilavesinin kombuchanın DPPH radikalini süpürme yeteneğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığı ve fermantasyon süresince bu aktivitenin korunduğu tespit edilmiştir.

4.9. Toplam Flavonoid Bileşik Miktarına Ait Sonuçlar

Kombucha çayı örneklerinin toplam flavonoid içeriği, kuersetin (Quercetin) standardı kullanılarak belirlenmiş; sonuçlar mg Kuersetin Eşdeğeri (mg QE/L) cinsinden Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince toplam flavonoid madde miktarı (mg QE/L)

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
Toplam Flavanoid Madde (Kuarsetin)	0	2960.00±50.00 ^c	3493.33±14.08 ^a	3826.66±52.31 ^c
	7	2693.33±28.87 ^b	3276.66±15.83 ^a	2726.66±28.87 ^b
	14	2526.66±22.07 ^a	3460.00±10.00 ^a	2526.66±76.37 ^a
Ortalama		2726.67±33.65 ^B	3410.00±13.19 ^A	3026.67±52.52 ^{AB}
ANOVA P-Örnek		0.007		
ANOVA P-Gün		0.013	0.106	0.008

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Analiz sonuçları incelendiğinde; kullanılan bitkisel kaynağın toplam flavonoid içeriği (TFC) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yarattığı belirlenmiştir. Genel ortalamalar baz alındığında en yüksek flavonoid içeriği Örnek 3 grubunda kaydedilmiş, bunu Örnek 5 ve Örnek 1 izlemiştir. Bu durum, karışım formülasyonunun flavonoid stabilitesini optimize ettiğini düşündürmektedir. Karabaş otu bazlı Örnek 5, fermantasyonun başlangıcında (0. Gün) 3826.66 mg QE/L ile en yüksek değere sahipken, depolama süresince belirgin bir düşüş yaşamıştır. Buna karşın Örnek 3, fermantasyon süresince en kararlı profilini çizmiştir. Bu bulgu, siyah çayın oksidatif polimerizasyona yatkın yapısının tek başına fermente edildiğinde daha düşük flavonoid değeri verdiğini, ancak bitkisel karışımların flavonoid bağlantılı antioksidan aktiviteyi

koruduğunu bildiren çalışmalarla (Jakubczyk vd., 2020; Sutthiphatkul vd., 2023) uyumludur. Depolama süresinin etkisi incelendiğinde ise gruplar arasında zıt eğilimler gözlenmiştir. Örnek 1 ve Örnek 5 (Saf Gruplar) flavonoid miktarları zamanla istatistiksel olarak anlamlı şekilde azalmıştır. Bu azalış, flavonoidlerin fermantasyon ortamındaki asidik koşullar ve enzimler etkisiyle parçalanarak daha basit fenolik bileşiklere, fenolik asitlere, dönüştüğü bir metabolik yeniden dengelenmeye işaret etmektedir. Örnek 3 flavonoid içeriği ise 14 gün boyunca stabil kalmıştır. Siyah çayın teafavin bileşikleri ile karabaş otunun uçucu fenoliklerinin bir arada bulunmasının, flavonoid yapısını koruyan güçlü bir sinerjik matriks oluşturduğu düşünülmektedir. Karabaş otunun başlangıçta ortama çok yüksek miktarda flavonoid sağladığı, karışım (Siyah Çay + Karabaş Otu) kullanımının ise bu flavonoidlerin fermantasyon boyunca bozulmadan korunması için en ideal ortamı sunduğu tespit edilmiştir.

4.10. Toplam Fenolik Madde Miktarına Ait Sonuçlar

Kombucha çayı örneklerinin toplam fenolik madde içeriği, Gallik Asit standardı kullanılarak belirlenmiştir. sonuçlar mg Gallik Asit Eşdeğeri (mg GAE/L) cinsinden Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/L)

Toplam Fenolik Madde (Gallik Asit)	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
	0	1040.80±22.32 ^a	1272.90±26.98 ^a	1275.37±14.46 ^a
	7	1107.47±14.01 ^a	1278.46±13.14 ^a	1356.85±11.11 ^b
	14	1000.68±4.66 ^a	1314.26±3.70 ^a	1401.91±5.95 ^c
Ortalama		1049.65±13.67 ^A	1288.54±29.63 ^B	1344.71±15.74 ^C
ANOVA P-Örnek		0.000		
ANOVA P-Gün		0.369	0.054	0.000

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Gallik asit eşdeğerleri üzerinden belirlenen toplam fenolik madde (TPC) değerleri incelendiğinde örnekler arasında istatistiksel olarak son derece anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. Genel ortalamalar baz alındığında en yüksek fenolik içerik Örnek 5 (%100 Karabaş Otu) grubunda tespit edilmiş (1344.71 mg GAE/L). bunu karışım grubu (Örnek 3) ve siyah çay (Örnek 1) takip etmiştir. Karabaş otu içeren örneklerin siyah çaya göre belirgin üstünlüğü, *Lavandula stoechas* bitkisinin yapısında bulunan rosmarinik asit, luteolin gibi doğal polifenollerin zenginliğiyle ilişkilidir. Karışım örneğinin (Örnek 3) siyah çaya göre daha yüksek değer göstermesi ise, siyah çayın

kateşinleri ile karabaş otunun terpenoid bileşenleri arasındaki tamamlayıcı fenolik matris oluşumunu desteklemektedir. Depolama süresinin etkisi incelendiğinde ise gruplara özgü önemli metabolik farklar ortaya çıkmıştır. Örnek 1. depolama süresince toplam fenolik madde miktarı istatistiksel olarak değişmemiş ve stabil kalmıştır. Örnek 3'te değerler arasında rakamsal artışlar olsa da, değişim istatistiksel sınırdan kalarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, karışım formülasyonunun kararlı bir fenolik profil sunduğunu göstermektedir. Örnek 5 'in depolama süresince istatistiksel olarak son derece anlamlı bir artış kaydedilmiştir. Değerleri, düzenli olarak artarak 14. günde 1401.91 mg GAE/L seviyesine ulaşmıştır. Bu artış, fermantasyon sırasında SCOBY'nin ürettiği enzimlerin bitki dokusundaki bağlı fenolik bileşikler parçalayarak serbest ve daha biyoyararlanabilir formlara dönüştürdüğünü kanıtlamaktadır (Anantachoke vd., 2023).

4.11. Toplam Antioksidan Kapasite (TAC) Analiz Sonuçları

Kombucha çayı örneklerinin toplam antioksidan kapasiteleri (TAC) incelenmiş; sonuçlar Trolox ve BHA eşdeğerleri cinsinden Tablo 11'de sunulmuştur.

Tablo 11. Kombucha çayı örneklerinin depolama süresince toplam antioksidan kapasiteleri ($\mu\text{M TE/L}$ ve $\mu\text{M BHAE/L}$)

	Gün	Örnekler		
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek 5
Trolox	0	6376.30 $\pm$ 26.75 ^a	7757.78 $\pm$ 18.60 ^a	5817.04 $\pm$ 20.16 ^a
	7	5665.19 $\pm$ 17.82 ^a	5322.59 $\pm$ 14.48 ^a	7661.48 $\pm$ 31.34 ^a
	14	6041.11 $\pm$ 23.42 ^a	5487.41 $\pm$ 34.82 ^a	6092.96 $\pm$ 19.82 ^a
	Ortalama	6027.53 $\pm$ 22.66 ^A	6189.93 $\pm$ 22.63 ^A	6523.83 $\pm$ 23.77 ^A
ANOVA P-Örnek		0.837		
ANOVA P-Gün		0.930	0.129	0.404
BHA	0	4280.49 $\pm$ 17.50 ^a	5201.48 $\pm$ 12.40 ^a	3907.65 $\pm$ 13.10 ^a
	7	3806.42 $\pm$ 11.88 ^a	3578.02 $\pm$ 9.32 ^a	5137.28 $\pm$ 20.56 ^a
	14	4057.04 $\pm$ 15.28 ^a	3687.90 $\pm$ 22.88 ^a	4091.60 $\pm$ 13.5 ^a
	Ortalama	4047.98 $\pm$ 14.05 ^A	4155.80 $\pm$ 14.87 ^A	4378.85 $\pm$ 11.37 ^A
ANOVA P-Örnek		0.837		
ANOVA P-Gün		0.930	0.130	0.404

Örnek 1: 30 g siyah çay. Örnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu. Örnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağlı farklılıkları ifade etmektedir

Toplam antioksidan kapasite (TAC) sonuçları değerlendirildiğinde; diğer analiz parametrelerinin aksine, örnek grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Tüm örnekler Trolox eşdeğeri olarak yaklaşık 6000–6500 μM . BHA eşdeğeri olarak ise 4000–4400 μM aralığında yüksek bir antioksidan potansiyel sergilemiştir. Örnekler arasında fenolik içerik bakımından farklar olmasına rağmen toplam kapasitenin (TAC) benzer çıkması kombuchanın antioksidan gücünün sadece

fenolik maddelere bağılı olmadığını göstermektedir. Fermantasyon sırasında üretilen organik asitler, asetik asit, glukuronik asit, vitaminler ve diğ er metabolitler, toplam kapasiteye önemli katkılar sağlayarak bitkisel kaynak farkını dengelemiştir (Chou vd., 2024). Hiçbir  rnek grubunda günlere bağılı istatistiksel olarak anlamlı bir değişim yaşanmamıştır. Bu durum, kombucha örneklerinin 14 günlük raf ömrü süresince fonksiyonel özelliklerini kaybetmediğini ve oksidatif strese karşı dirençli, kararlı bir yapı sergilediğini kanıtlamaktadır. Siyah  ay yerine karabaş otu kullanımının veya bunların karışımının tercih edilmesi, ürünün toplam antioksidan gücünde herhangi bir kayba yol açmamakta, aksine tüm formülasyonlar yüksek ve stabil bir antioksidan potansiyel sunmaktadır.

4.12. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Kombucha  ayı  rneklerinin (Siyah  ay, Karışım ve Karabaş otu) 0, 7 ve 14 günlük depolama süresince mikrobiyal popülasyonlarında meydana gelen değişimler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12. Kombucha  ayı  rneklerinin depolama süresince mikrobiyal sayım sonuçları (log CFU/mL)

	Gün	�rnekler		
		örnek 1	örnek 3	�rnek 5
TAMB	0	5.93±0.21 ^a	5.97±0.20 ^a	5.96±0.22 ^a
	7	7.26±0.29 ^c	7.11±0.25 ^c	7.18±0.28 ^c
	14	7.12±0.27 ^b	6.94±0.23 ^b	6.97±0.26 ^b
	Ortalama	6.77±0.55 ^A	6.67±0.49 ^A	6.70±0.52 ^A
	ANOVA P-�rnek	0.902		
	ANOVA P-G�n	0.000	0.000	0.000
Maya	0	5.67±0.18 ^a	5.63±0.17 ^a	5.71±0.19 ^a
	7	7.04±0.24 ^c	6.82±0.20 ^c	7.03±0.23 ^c
	14	6.89±0.22 ^b	6.69±0.19 ^b	6.72±0.21 ^b
	Ortalama	6.53±0.58 ^A	6.38±0.50 ^A	6.49±0.55 ^A
	ANOVA P-�rnek	0.870		
	ANOVA P-G�n	0.000	0.000	0.000
AAB	0	5.12±0.17 ^a	5.08±0.16 ^a	4.94±0.16 ^a
	7	6.87±0.23 ^c	6.17±0.18 ^c	5.93±0.20 ^c
	14	6.63±0.21 ^b	5.92±0.17 ^b	5.68±0.19 ^b
	Ortalama	6.21±0.72 ^A	5.72±0.56 ^B	5.52±0.52 ^B
	ANOVA P-�rnek	0.016		
	ANOVA P-Gün	0.000	0.000	0.000
Mezofilik LAB	0	3.41±0.14 ^a	3.33±0.13 ^a	3.27±0.14 ^a
	7	4.58±0.17 ^c	3.92±0.15 ^c	3.77±0.16 ^c
	14	4.29±0.16 ^b	3.81±0.14 ^b	3.69±0.15 ^b
	Ortalama	4.09±0.50 ^A	3.68±0.34 ^B	3.58±0.29 ^B
	ANOVA P-�rnek	0.025		
	ANOVA P-Gün	0.000	0.000	0.000

 rnek 1: 30 g siyah çay.  rnek 3: 15 g siyah çay + 15 g karabaş otu.  rnek 5: 30 g karabaş otu. Tabloya yansıtılan büyük harfler, örnek grupları arasındaki istatistiksel farklılıkları; küçük harfler ise depolama sürecindeki zamana bağılı farklılıkları ifade etmektedir.

Analiz sonuçları incelendiğinde; depolama süresinin TAMB, Maya, AAB ve LAB popülasyonları üzerinde yüksek derecede anlamlı bir etki yarattığı ($P<0.001$) görülmüştür. Tüm örneklerde mikrobiyal sayılar 0. günden 7. güne kadar hızlı bir artış göstermiş, 14. günde ise stabil bir faza geçerek hafif bir düşüş eğilimi sergilemiştir. Bu durum, kombucha'nın simbiyotik kültürünün (SCOBY) fermentasyon sonrasında da metabolik olarak aktif kaldığını göstermektedir (Grassi vd., 2022). Örnekler arası karşılaştırmalarda ise çok önemli bir bulgu elde edilmiştir: TAMB ($P=0.902$) ve Maya ($P=0.870$) popülasyonları substrat türünden, siyah çay veya karabaş otu, etkilenmezken; Asetik Asit Bakterileri (AAB) ($P=0.016$) ve Laktik Asit Bakterileri (LAB) ($P=0.025$) substrat bileşimine duyarlılık göstermiştir. Özellikle Örnek 5 (%100 Karabaş Otu) grubunda ortalama AAB ($5.52 \log \text{CFU/mL}$) ve LAB ($3.68 \log \text{CFU/mL}$) değerleri, siyah çay bazlı Örnek 1'e göre (AAB: 6.21; LAB: 4.09) istatistiksel olarak daha düşük bulunmuştur. Bu durum, karabaş otunun (*Lavandula stoechas*) içeriğindeki sineol ve lavandulol gibi uçucu bileşenlerin ve yüksek fenolik içeriğin, bakteriyel gelişim üzerinde kısmi bir inhibitör etki oluşturduğunu, ancak maya popülasyonunu etkilemediğini göstermektedir (Dadalioglu ve Evrendilek, 2004; Angioni et al., 2006; Bakkali et al., 2008).

4.13. Antibakteriyel Aktivite Sonuçları

Disk difüzyon analizleri sonucunda, kombucha çayı örneklerinin test edilen patojen suşlara karşı antibakteriyel aktivite sergilemediği ve buna bağlı olarak inhibisyon zonu oluşumunun gözlenmediği tespit edilmiştir (Battikh vd., 2012b).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde sentetik gıda katkı maddelerine olan güvensizlik ve doğal ürünlere yönelim, fonksiyonel gıdaların önemini her geçen gün artırmaktadır. Özellikle geleneksel fermente içeceklerin, tıbbi ve aromatik bitkilerle zenginleştirilerek sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin artırılması, gıda endüstrisinde güncel bir araştırma konusudur. Bu çalışmada kullanılan Karabaş Otu (*Lavandula stoechas*), içerdiği zengin fenolik bileşikler, uçucu yağlar ve biyoaktif moleküller sayesinde, popüler bir fermente içecek olan kombucha çayına fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla seçilmiştir.

Çalışma kapsamında siyah çay (%100), siyah çay-karabaş otu karışımı (%50-%50) ve karabaş otu (%100) infüzyonları ile hazırlanan kombucha çaylarının fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve biyoaktif özellikleri 14 günlük depolama süresince incelenmiştir. Fizikokimyasal analizler sonucunda, karabaş otu ilavesinin fermentasyon ortamındaki asitlik gelişimini dengelediği ve daha stabil bir pH profili sunduğu belirlenmiştir. Renk analizlerinde ise karabaş otu katkısı, örneklerle daha düşük L^* değerleri ve kendine has yeşil tonlar kazandırarak özgün bir ürün profili oluşturmuştur.

Antioksidan aktivite testlerinde (DPPH ve ABTS), karabaş otu bazlı örneklerin siyah çaya kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek radikal giderme performansı sergilediği tespit edilmiştir. Özellikle DPPH analizinde saf karabaş otu kombuchası (Örnek 5), %90'a varan inhibisyon oranlarıyla en güçlü aktiviteyi göstermiştir. Benzer şekilde, demir (Oyaizu) ve bakır (CUPRAC) indirgeme kapasiteleri incelendiğinde, bitkisel katkının indirgeyici gücü son derece anlamlı düzeyde artırdığı görülmüştür. Bu durum, karabaş otunun yapısındaki rosmarinik asit ve diğer polifenollerin, fermentasyon sırasında SCOBY enzimleri tarafından biyotransformasyona uğrayarak daha aktif formlara dönüştüğünü göstermektedir.

Toplam fenolik madde (TPC) içeriği bakımından örnekler arasında belirgin bir hiyerarşi gözlenmiş ve en yüksek değerler karabaş otu grubunda kaydedilmiştir. Depolama süresince TPC miktarının artması, fermentasyonun bağlı fenoliklerin serbestleşmesini sağladığını kanıtlamaktadır. Buna karşın, toplam flavonoid içeriği (TFC) açısından en başarılı sonuç 50:50 karışım grubunda elde edilmiştir. Karışım grubunun flavonoid stabilitesini koruması, siyah çay kateşinleri ile bitkisel terpenoidler arasında sinerjistik bir etkileşim olduğunu ortaya koymuştur.

Toplam antioksidan kapasite (TAC) analizinde ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$). Bu sonuç, siyah çay yerine karabaş otu

kullanılmasının veya karıştırılmasının. ürünün genel antioksidan gücünde herhangi bir kayba yol açmadığını; aksine ürünün fenolik çeşitliliğini artırarak fonksiyonelliğini koruduğunu göstermesi açısından oldukça önemlidir.

Karabaş otu ilavesinin kombucha çayını fenolik ve flavonoid içerik, indirgeme kapasitesi ve radikal süpürme etkinliği bakımından zenginleştirdiği, ürüne özgün bir renk ve aroma profili kazandırdığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler, karabaş otunun fonksiyonel içecek üretiminde siyah çaya güçlü bir alternatif veya tamamlayıcı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma doğrultusunda, literatüre ve endüstriye yönelik şu öneriler sunulabilir:

1. Gelecek çalışmalarda, karabaş otu kombuchasının uçucu bileşen profilinin (GC-MS) ve spesifik fenolik maddelerinin (HPLC) detaylı olarak aydınlatılması önerilmektedir.

2. Ürünün tüketici beğenisini belirlemek amacıyla duyusal analiz testlerinin yapılması ticari potansiyelin belirlenmesi açısından önemlidir.

3. Farklı depolama sıcaklıklarının ve daha uzun raf ömrü sürelerinin ürün stabilitesi üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

4. İn vitro sindirim simülasyonları ile bu biyoaktif bileşenlerin biyoyararlanımlarının incelenmesi, ürünün sağlık beyanlarını güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

- Abuduaibifu, A. ve Tamer, C. E.(2019). Evaluation of physicochemical and bioaccessibility properties of goji berry kombucha. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14077>
- Açikel, G.(2024). *Bazı meyve sularıyla hazırlanan kombu çaylarının özellikleri üzerine bir araştırma*. Yüksek lisans tezi. Ege Üniversitesi, İzmir.
- Agati, G. Azzarello, E., Pollastri, S. ve Tattini, M.(2012). Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Science*, 196, 67-76.
- Akış, T.(2010). *Piyasada çay olarak tüketilen bazı bitkilerin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi ve fenolik yapılarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, (266055).
- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L. ve Ferreira, I. C. F. R.(2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations, and future challenges. *Food Function*, 12(1), 14-29.
- Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S. ve Cabras, P. (2006). Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves ve flowers. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(12), 4364-4370.
- AOAC.(2000). *Official methods of analysis of AOAC. International* (17. Baskı). Gaithersburg, MD: Association of Analytical Communities.
- Apak, R., Calokerinos, A., Gorinstein, S., Segundo, M. A., Hibbert, D. B., Gülçin, İ., ...Arancibia-Avila, P.(2022). Methods to evaluate the scavenging activity of antioxidants toward reactive oxygen and nitrogen species (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 94(1), 87-144.
- Artanti, N., Susilowati, A., Aspiyanto, L. P. D. N. ve Maryati, Y.(2017). Antioxidant activity of fermented broccoli and spinach by Kombucha culture, In: *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, India.
- Asghar F, Ali S, Goraya A. A., Javaid I ve Hussain Z.(2017). A Review on the Role of Fermented Foods as Health Promoters. *International Journal of Scientific Research in Science ve Technology*, 3, 141-8.
- Ayed, L., Ben Abid, S. ve Hamdi, M.(2017). Development of a beverage from red grape juice fermented with the Kombucha consortium. *Annals of Microbiology*, 67(1), 111-121. <https://doi.org/10.1007/s13213-016-1242-2>

- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. ve Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food ve chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
- Battikh H, Chaieb K, Bakhrouf A. ve Ammar E.(2012a). Antibacterial and antifungal activities of black and green kombucha teas. *Journal of Food Biochemistry*, 37, 231-236.
- Battikh H., Bakhrouf A. ve Ammar E.(2012b). Antimicrobial effect of kombucha analogues. *LWT- Food Science ve Technology*, 47, 71-77.
- Bauer-Petrovska, B. ve Petrushevska-Tozi, L.(2000). Mineral and water soluble vitamin content in the Kombucha drink, *International Journal of Food Science and Technology*, 35(2), 201-205.
- Bayrak, D., Ökmen, G. ve Arslan, A. (2017). The biological activities of *Lavandula stoechas* L. against food pathogens. *International Journal of Secondary Metabolite*, 4(3), 270-279.
- Bhattacharya, D., Bhattacharya, S., Patra, M. M., Chakravorty, S., Sarkar, S., Ghosh, W.,...Sarkar, S. (2016). Antibacterial activity of polyphenolic fraction of kombucha against enteric bacterial pathogens. *Current Microbiology*, 73(6), 885-896.
- Bhattacharyya, N., Seth, S., Tudu, B., Tamuly, P., Jana, A., Ghosh, D.,... Sabhapandit, S. (2007). Detection of optimum fermentation time for black tea manufacturing using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 122(2), 627-634.
- Bishop, P., Pitts, E. R., Budner, D. ve Thompson-Witrick, K. A.(2022). Kombucha: Biochemical and microbiological effects on chemical ve flavor profiles. *Food Chemistry Advances*, 1, 100025.
- Blanc, P. J.(1996). Characterization of the tea fungus metabolites, *Biotechnology Letters*, 18(2), 139-142.
- Blois, M. S.(1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
- Bouyahya, A., Abrini, J., El-Bakri, Y., Dakka, N., Bakri, A., Maleb, Y.,...El-Mstafa, Y. (2017). Phytochemical analysis and antimicrobial activity of *Lavandula stoechas* L. essential oils. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(1), 11-19.
- Bozkoyun Dusak Z., Yaşar Y. Z. ve Şaparak A.(2023). Oksidatif stres ve kolorektal kanser ilişkisinde antioksidanların önemli rolü. *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, 17(2),119-124.

- C. Caleja, A. Ribeiro, M. F. Barreiro ve I. C. F. R. Ferreira(2017). Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients, *Current Pharmaceutical Design*, 23, 2787.
- Cakmakci S., Topdaş, E. F., Kalın, P., Han, H., Şekerci, P., Köse, L. P.,...Gülçin, İ. (2015). Antioxidant capacity and functionality of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) flour and crust in a new kind of fruity ice cream. *International Journal Of Food Science and Technology*, 50(2), 472-481.
- Cardoso R. R., Neto R. O., dos Santos D'Almeida C. T., do Nascimento T. P., Pressete C. G., Azevedo L.,... de Barros, F.A.R. (2020). Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. *Food Research International*, 128, 108782.
- Chandrakala, S. K., Lobo, R. O. ve Dias, F. O.(2019). Kombucha (Bio-Tea): An Elixir for Life?, *In: Nutrients in Beverages*, Elsevier, India.
- Chen, L., Chen, Q., Zhang, Z. ve Wan, X.(2009). A novel colorimetric determination of free amino acids content in tea infusions with 2,4-dinitrofluorobenzene. *Journal of Food Composition ve Analysis*, 22(2), 137-141.
- Chu S. C., Chen C.(2006). Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of kombucha . *Gıda Kimyası*, 98, 502 – 7.
- Çalışkan, Z., Yıldız, E., Güldaş, M. ve Gürbüz, O.(2023). Bioactive and anti-carcinogenic properties of Kombucha prepared with *Aronia melanocarpa* juice. *Journal of Medical Sciences*, 4(4), 198-206. <http://jms.yeniyuzyil.edu.tr>
- Dadaloğlu, I. ve Evrendilek, G. A. (2004). Chemical compositions and antibacterial effects of essential oils of Turkish oregano (*Origanum minutiflorum*), bay laurel (*Laurus nobilis*), Spanish lavender (*Lavandula stoechas* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare*) on common foodborne pathogens. *Journal of agricultural ve food chemistry*, 52(26), 8255-8260.
- Das, N., Goshwami, D., Hasan, M. S., Mahmud, Z. A. ve Raihan, S. Z.(2016). Evaluation of antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of *Terminalia citrina* leaves. *Journal of Pharmacy Research*, 10(1), 8-15.
- Das, N., Hasan, M. S., Mahmud, Z. A. ve Raihan, S. Z.(2016). *Evaluation of anti-diarrheal, central nervous system (CNS), hypoglycemic and thrombolytic activities of methanolic extract of Terminalia citrina leaves. World Journal of Pharmaceutical Research*, 6(7), 2099-2111.

- de la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J. ve Alvarez-Parrilla, E.(2019). Phenolic compounds. In E. M. Yahia ve A. Carrillo-Lopez (Eds.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*, (s. 253–271). Woodhead Publishing.
- De Man, J. C., Rogosa, M. ve Sharpe, M. E. (1960). A medium for the cultivation of lactobacilli. *Journal of Applied Bacteriology*, 23(1), 130-135.
- de Oliveira, P. V., A. H. da Silva Júnior, C. R. S. de Oliveira, C. F. Assumpção ve C. H. Ogeda(2023). Kombucha benefits, risks and regulatory frameworks: A review. *Food Chemistry Advances*, 2, 100288.
- Değirmencioğlu, N., Yıldız, E., Şahan, Y., GÜltaş, M. ve Gürbüz, O.(2019). Fermentasyon süresinin kombu çayı mikrobiyotası ve canlılık oranları üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 17(2), 200-211. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.613567>
- Devasagayam, T. P. A., Tilak, J. C., Boloor, K. K., Sane, K. S., Ghaskadbi, S. S. ve Lele, R.D.(2004). Free radicals and antioxidants in human health: Current status and future prospects. *Journal of the Association of Physicians of India*, 52(794804), 4.
- Dufresne C, Farnworth E.(2000). Tea, kombucha, and health: a review. *Food Research International*, 33, 409-421.
- Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E. B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A. A.,...Santini, A.(2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, 33(9), 2221–2243. <https://doi.org/10.1002/ptr.6419>
- Dündar Y, Aslan R.(2000). Hekimlikte oksidatif stres ve antioksidanlar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları. Afyonkarahisar.
- Düşgün, C.(2022). *Farklı endemik bitkiler kullanılarak kombu çayı üretimi ve fermente ürünlerinin biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Niğde, (650690).
- Essawet, N.A., Cvetkovic, D. velicanski, A., Canadanovic-Brunet, J., Vulic, J., Maksimovic, V. ve Markov, S.(2015). Polyphenols and Antioxidant Activities of Kombucha Beverage Enriched with Coffee berry Extract, *Chemical Industry&Chemical Engineering Quaterly*, 21 (3), 399-409.

- Eziz, B., Bagri, A., El-Haitoum, M., ve El-Mansouri, A. (2014). Antioxidant activity of *Lavandula stoechas* and *Lavandula dentata* extracts. *Journal of Coastal Life Medicine*, 2(2), 115-120.
- Gamboa-Gómez, C. I., González-Laredo, R. F., Gallegos-Infante, J. A., Pérez, M. L., Moreno-Jiménez, M. R., Flores-Rueda, A. G....Rocha-Guzmán, N. E.(2016). Antioxidant and angiotensin-converting enzyme inhibitory activity of *Eucalyptus camaldulensis* and *Litsea glaucescens* infusions fermented with kombucha consortium, *Food Technology and Biotechnology* 54(3), 367-374.
- Gantner, M., Piotrowska, A., Kostyra, E., Hallmann, E., Ponder, A., Sionek, B.,...Neffe-Skocińska, K.(2024). Influence of Herbal Additives on the Physicochemical, Microbiological, Polyphenolic, and Sensory Profile of Green Tea-Based Kombucha. *Applied Sciences*, 14(1), 256.
- Garcia –Fernandez M., Castilla- Cartazar I. ve Diaz- Sanchez M.(2005). Antioxidant Effects of Insulin-like Growth Factor-I (IGF-I) in Rats with Advanced Liver Cirrhosis. *BMC Gastroenterol*, 5, 5-7.
- Grassi, A., Cristani, C., Palla, M., Di Giorgi, R., Giovannetti, M. ve Agnolucci, M. (2022). Storage time and temperature affect microbial dynamics of yeasts and acetic acid bacteria in a kombucha beverage. *International Journal of Food Microbiology*, 382, 109934.
- Gülçin, I.(2008). Measurement of antioxidant ability of melatonin and serotonin by the DMPD and CUPRAC methods as trolox equivalent. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 23(6), 871-876.
- Gülçin, İ.(2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview, *Archives of Toxicology*, 94, 651-715.
- Gülçin, İ., Küfrevioğlu, Ö. İ., Oktay, M. ve Büyükokuroğlu, M. E.(2004b). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.), *Journal of Ethnopharmacology*, 90(2), 205-215.
- Gülçin, İ., Oktay, M., Kireççi, E. ve Küfrevioğlu, Ö. İ.(2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts, *Food Chemistry*, 83(3), 371-382.
- Gülçin, İ., Şat, İ. G., Beydemir, Ş., Elmastaş, M. ve Küfrevioğlu, Ö. İ.(2004a). Comparison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lavandula stoechas* L.), *Food Chemistry*, 87(3), 393-400.

- Gülçin, İ., Topal, F., Oztürk Sarıkaya, S. B., Bursal, E., Gören, A. C. ve Bilsel M.(2011a). Polyphenol contents and antioxidant properties of medlar (*Mespilus germanica* L.), *Records of Natural Products*, 5, 158-175.
- Güldane, M., Bayram, M., Topuz, S., Kaya, C., Gök, H. B., Bülbül, M....Koç, M.(2017). Beyaz, siyah ve yeşil çay kullanılarak üretilen kombuchaların bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 34(1), 46-56. <https://doi.org/10.13002/jafag1101>
- Hacanlı, Y.(2023). Antioksidanların Kardiyovasküler Hastalıklara Karşı Önemi. *Zenodo* . <https://doi.org/10.5281/zenodo.10431183>
- Hsieh, Y.-H. P. ve Ofori, J. A.(2007). Innovations in food technology for health. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16(1), 65-73.
- Hussain, M. M.(2021). A short review on the bioactive constituents from six *Terminalia* species. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 24(1), 76-82.
- ISO 21527-1:2008. Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0.95.
- ISO 4833-1:2013. Microbiology of the food chain - Horizontal method for the enumeration of microorganisms - Part 1: Colony count at 30 degrees C by the pour plate technique.
- İsmailoğlu Özkan, E.(2024). *Bazı sebzelerle hazırlanan kombucha çaylarının özellikleri üzerine bir araştırma*. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, İzmir (846598).
- Jarrell, J., Cal, T., Bennett, J. W.(2000). The Kombucha consortia of yeasts and bacteria. *Mycologist*, 14(4), 166-170.
- Jayabalan, R., Malbaşa, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S. ve Sathishkumar, M.(2014). 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. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>
- Jayabalan, R., Marimuthu, S. ve Swaminathan, K.(2007). Changes in Content of Organic Acid and Tea Polyphenols During Kombucha Tea Fermentation, *Food Chemistry* 102, 392- 398.
- Jayabalan, R., Subathradevi, P., Marimuthu, S., Sathishkumar, M. ve Swaminathan, K.(2008). Changes in free radical scavenging ability of Kombucha tea during fermentation, *Food Chemistry*, 109, 227-34.
- Kalkan, S., Otağ, M. R., Sarmusak, S., Gönültaş, F. B. ve Yaşar, A.(2020). Farklı çay türleri ile hazırlanan kombuchaların biyoaktif ve duyuşal özelliklerinin

- belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 283-295.
- Karabulut, H. ve Gülay, M. Ş.(2016). Antioksidanlar. *MAE Veteriner Fakültesi Dergisi*, 1(1).
- Kartelias, I. G., Panagiotakopoulos, I., Nasopoulou, C. ve Karantonis, H. C.(2024). Evaluating the Effect of Adding Selected Herbs, Spices, and Fruits to Fermented Olympus Mountain Tea (*Sideritis scardica*) Kombucha. *Fermentation*, 10, 156.
- Kasapçopur Özel, G. S. ve Birdane, Y. O.(2014). Antioksidanlar. *Kocatepe Veterinary Journal*, 7(2), 41–52.
- Kayısoğlu, S. ve Coşkun, F.(2021). Determination of physical ve chemical properties of kombucha teas prepared with different herbal teas. *Food Science ve Technology (Campinas)*, 41(1), 393-397.
- Kırmızıbekmez, H., Demirci, B., Yeşilada, E., Başer H. C., Demirci F.(2009). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of *Lavandula stoechas* L. growing wild in Turkey. *Natural Product Communications*, 4(7), 1001-1006.
- Koczka, N., Stefanovits-Bányai, É. ve Ombódi, A.(2018). Total polyphenol content and antioxidant capacity of rosehips of some Rosa species, *Medicines*, 5(3), 84.
- Kumari, R., Sanjukta, S., Sahoo, D. ve Rai, A. K.(2022). Functional peptides in Asian protein rich fermented foods: production and health benefits. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2(1), 1-13.
- Leal J. M., Suárez V. L., Jayabalan R, Oros J. H. ve Escalante-Aburto A.(2018). A review on health benefits of kombucha nutritional compounds and metabolites, *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 390-9.
- Liu, C. H., Hsu, W. H., Lee, F. L. ve Liao, C. C.(1996). The isolation and identification of microbes from a fermented tea beverage, Haipao, and their interactions during Haipao fermentation, *Food Microbiology* 13(6), 407-415.
- Lobo, R. O., Dias, F. O. ve Shenoy, C. K.(2017). Kombucha for healthy living: evaluation of antioxidant potential and bioactive compounds, *International Food Research Journal* 24(2), 541-546.
- Lourenço S. C., Moldão-Martins M., Alves V. D.(2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), 4132.
- M. Caroch, P. Morales ve ICFR Ferreira(2015). Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science ve Technology*, 45 , 284-29.

- M. L. Soto, E. Falqué ve H. Domínguez(2015). Relevance of natural phenolics from grape and derivative products in the formulation of cosmetics, *Cosmetics*, 259-276.
- Mar, J. M., da Silva, L. S., Lira, A. C., Kinupp, V. F., Yoshida, M. I., Moreira, W. P., ...Sanches, E. A.(2020). Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. *Powder Technology*, 360, 383-391.
- Meir, S., Kanner, J., Akiri, B. ve Philosoph-Hadas, S.(1995). Determination and involvement of aqueous reducing compounds in oxidative defense systems of various senescing leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), 1813-1819.
- Meral, R., Doğan, İ. S. ve Kanberoğlu, G. S.(2012). Fonksiyonel gıda bileşeni olarak antioksidanlar. *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(2), 45-50.
- Miranda B., Lawton N. M., Tachibana S. R., Swartz N. A. ve Hall W. P.(2016). Titration and HPLC characterization of kombucha fermentation: a laboratory experiment in food analysis. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1770- 5.
- Ning, J., Sun, J., Li, S., Sheng, M. ve Zhang, Z.(2017). Classification of five Chinese tea categories with different fermentation degrees using visible and near-infrared hyperspectral imaging. *International Journal of Food Properties*, 20 (2), 1515-1522.
- Nummer, B. A.(2013). Kombucha brewing under the food and drug administration model food code: risk analysis and processing guidance. *Journal of Environmental Health*, 76 (4), 8-11.
- Oktay B. A ve Özbaş Z. Y.(2020). Fermente Gıdaların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri *Gıda*, 45(6), 1215-26.
- Oyaizu, M. (1988). Antioxidative activities of browning products of glucosamine fractionated by organic solvent and thin-layer chromatography. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 35(11), 771-775.
- Özler, E., Topal, F., Topal, M. ve Öztürk Sarıkaya, S. B.(2023). LC-HRMS profiling and phenolic content, cholinesterase, and antioxidant activities of *Terminalia citrina*. *Chemistry and Biodiversity*, 20(4), e202201250.
- Pisoschi A. M. ve Pop A.(2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55- 74.

- Pure, A. E. ve Pure, M. E.(2016). Antioxidant and antibacterial activity of kombucha beverages prepared using banana peel, common nettles and black tea infusions, *Applied Food Biotechnology* 3(2), 125-130.
- Radi, M., Eddardar, Z., Drioiche, A., Remok, F., Hosen, E., Zibouh, K., ...Zair, T. (2024). Comparative study of the chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activity of the essential oils extracted from *Lavandula abrialis* and *Lavandula stoechas*. *Frontiers in Chemistry*, 12, 1353385.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. ve Rice-Evans, C.(1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Reiss, J.(1994). Influence of Different Sugars on The Metabolism of The Tea Fungus, *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 198, 258-261.
- Romero-Márquez J. M., Navarro-Hortal M. D., Orantes F. J., Esteban-Muñoz A, Pérez-Oleaga C. M., Battino M., SánchezGonzález C.,...Forbes-Hernández T. Y.(2023). In vivo anti-alzheimer and antioxidant properties of avocado (*Persea americana* Mill.) honey from Southern Spain. *Antioxidants*, 12(2), 404.
- Sağlam, H., Karaaslan, A., Malkaç, K., Türbeci, U., Demir, M. ve Yıldız, M. C.(2021). Kombu çayı üretiminde inkübasyon sıcaklığının etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(1), 82-92.
- Samtiya M., Aluko R. E., Puniya A. K. ve Dhewa T.(2021). Enhancing Micronutrients Bioavailability through Fermentation of Plant-Based Foods: A Concise Review. *Fermentation*, 7(2), 63.
- Sarıburun, E.(2009). *Bursa’da yetiştirilen bazı Ahududu (Rubus idaeus L.) ve Böğürtlen (Rubus fruticosus L.) çeşitlerinin fenolik bileşiklerinin sıvı kromatografisi kütle spektrometresi (lc-ms) ile incelenmesi ve antioksidan aktivite tayinleri*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, (246463).
- Sarıkaya, B.(2022). Bağışıklık sistemi ve antioksidanlar. In M.G. Bal Albayrak (Ed.), *Kanserde obezitenin rolü* (Bölüm). Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Savan, H. N. ve Akpınar Bayizit, A.(2022). *Trabzon hurması ile yapılan kombucha içeceğinin fonksiyonel özelliklerinin ve biyokimyasal bileşiminin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa Uludağ Üniversitesi, (764854).
- Selvaraj, S. ve Gurumurthy, K.(2022). An overview of probiotic health booster-kombucha tea. *Chinese Herbal Medicines Review*.

- Sen, S. ve Chakraborty, R.(2011). The role of antioxidants in human health. *In Oxidative stress: diagnostics, prevention, ve therapy*. American Chemical Society, 1-37.
- Shinde, A., Ganu, J. ve Naik, P.(2012). Effect of free radicals and antioxidants on oxidative stress: A review. *Journal of Dental and Allied Sciences*, 1(2), 63–66.
- Sievers, M. ve Swings, J. (2005). Family Acetobacteraceae. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (41-95). Springer, New York.
- Sindhi, V., Gupta, V. ve Sharma, K., Bhatnagar, S., Kumari, R., Dhaka N.(2013). Potential applications of antioxidants–A review. *Journal of pharmacy research*, 7(9), 828-835.
- Sir Elkhatim, K. A., Elagib, R. A. ve Hassan, A. B.(2018). Content of phenolic compounds and vitamin C and antioxidant activity in wasted parts of Sudanese citrus fruits, *Food Science and Nutrition*, 6(5), 1214-1219.
- Sreeramulu G., Zhu Y. ve Knol W. J.(2000). Kombucha fermentation and its antimicrobial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 2589-2594. doi: 10.1021/jf991333m
- Sreeramulu, G., Zhu,Y. ve Knol, W.(2001). Characterization of Antimicrobial Activity in Kombucha Fermentation, *Acta Biotechnologica*, 21, 49-56.
- Srihari T., Arunkumar R., Arunakaran J. ve Satyanarayana U.(2013a). Downregulation of signalling molecules involved in angiogenesis of prostate cancer cell line (PC-3) by kombucha (lyophilized). *Biomedicine ve Preventive Nutrition* 3, 53-58. doi: 10.1016/j.bionut.2012.08.001
- Srihari T., Karthikesan K., Ashokkumar N. ve Satyanarayana U.(2013b). Antihyperglycaemic efficacy of kombucha in streptozotocininduced rats. *Journal of Functional Foods* 3, 1794-1802. doi: 10.1016/j.jff.2013.08.008
- Srihari, T. ve Satyanarayana, U.(2012). Changes in free radical scavenging activity of kombucha during fermentation, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 4(11), 1978-1981.
- Sriti, J., Fares, N., Msaada, K., Zarroug, Y., Boulares, M., Djebbi, S.,...Limam, F. (2022). Phenological stage effect on phenolic composition, antioxidant, and antibacterial activity of *Lavandula stoechas* extract. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 7, 1-10.
- Sullivan L. B. ve Chandel N. S.(2014). Mitochondrial reactive oxygen species and cancer. *Cancer and Metabolism*, 2, 1-12.

- Sun, W. ve Shahrajabian, M. H.(2023). Therapeutic potential of phenolic compounds in medicinal plants-Natural health products for human health. *Molecules*, 28(4), 1845.
- Şatır, G.(2023). Siyah ve yeşil çay kullanımının kombu çayı fermantasyonu üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60(3), 465-472.
- Tan, W. C., Muhialdin, B. J. ve Meor Hussin, A. S. (2020). Influence of storage conditions on the quality, metabolites, and biological activity of soursop (*Annona muricata* L.) kombucha. *Frontiers in Microbiology*, 11, 603481.
- Tarhan, K.(2017), *Kombucha çayı üretiminde farklı substrat kaynaklarının kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Türkiye, (468028).
- Temizgül, S.(2021). *Sucukta nitrit içeriğinin azaltılmasında kombucha ekstraktının kullanım olanağı*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (662215).
- Tietze, H. W.(1996). *Kombucha: The Miracle Fungus*, Phree Books, Australia.
- Topal, F.(2014). *Bazı eugenol türevlerinin sentezi ve biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, (361157).
- Topal, M.(2018). Determination of antioxidant and antiradical properties of *Picea orientalis* cone, *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 33, 232-236.
- Topal, M.(2020). Secondary Metabolites of Ethanol Extracts of *Pinus sylvestris* Cones from Eastern Anatolia and Their Antioxidant, Cholinesterase and α -Glucosidase Activities, *Records of Natural Products*, 14,2, 129-138.
- Ünsal, S. ve Yıldırım, İ. G.(2023). Besinler ilacımız olabilir mi? Fermente besinler ve sağlık ilişkisi. *YIU Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4(103-108).
- Vázquez-Cabral B. D., Larrosa-Pérez M., Gallegos-Infante J. A., MorenoJiménez M. R., González-Laredo R. F, Rutiaga-Quñones, J. G.,...Rocha-Guzmán, N. E. (2017). Oak kombucha protects against oxidative stress and inflammatory processes. *Chemico-Biological Interactions* 272, 1-9.
- Velioğlu S.(2000). Doğal Antioksidanların İnsan Sağlığına Etkileri. *Gıda* 25, 167-176.
- Villarreal-Soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J. P. ve Taillandier, P.(2018). Understanding kombucha tea fermentation: A review. *Journal of Food Science*, 83(3), 580-588.

- Voidarou C., Antoniadou M., Rozos G., Tzora A., Skoufos I., Varzakas T.,...Bezirtzoglou, E.(2020). Fermentative foods: Microbiology, biochemistry, potential human health benefits and public health issues. *Foods*, 10(1).
- Wang, K., Gan, X., Tang, X., Wang, S. ve Tan, H.(2010). Determination of d-saccharic acid1, 4-lactone from brewed kombucha broth by high-performance capillary electrophoresis, *Journal of Chromatography B* 878(3-4), 371-374.
- Wang, L. F., Lee, J. Y., Chung, J. O., Baik, J. H., So, S. ve Park, S. K.(2008). Discrimination of teas with different degrees of fermentation by SPME-GC analysis of the characteristic volatile flavour compounds. *Food Chemistry*, 109(1), 196-206.
- Watawana, M. I., Jayawardena, N., Gunawardhana, C. B. ve Waisundara, V. Y.(2015). Health, wellness, and safety aspects of the consumption of kombucha. *Journal of Chemistry*, 11, 1-11.
- Yavaşer, R.(2011). *Doğal ve sentetik antioksidan bileşiklerin antioksidan kapasitelerinin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, (300122).
- Yıldız H., Semerci B. ve Bişgin S.(2022). Antioksidanların insan sağlığı açısından önemi ve bitkilerdeki bazı antioksidan tayin yöntemleri. *ISPEC Journal of Science Institute*, 1(1), 10-16.
- Yıldız, E., Özcan Sinir, G., Aykas, D. P. ve Gürbüz, O.(2023). Kombü çayı üretiminde muşmula (*Mespilus germanica L.*) kullanımının antioksidan kapasite ve biyoerişilebilirlik üzerine etkisinin araştırılması. *Gıda*, 48(5), 1021-1035.
- Yılmaz, G., Vatansever, E. ve Yüksel, Z.(2023). Kombucha, Tempeh ve Kimçi'nin Üretim Teknikleri ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Aydın Gastronomy*, 8(1), 201-214.
- Zhou, X., Tan, J., Gou, Y., Liao, Y., Liu, S., Xu, F., ...Chen, Z. (2019). The biocontrol of postharvest decay of table grape by the application of kombucha during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 253, 134-139.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Belçika’da, ortaokulu Gümüşhane’de ve lise öğrenimini Trabzon’da tamamladı. 2018 yılında İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İngilizce Gıda Mühendisliği Bölümü’nü tam burslu olarak kazandı ve 2023 yılında mezun oldu. 2023-2024 Eğitim öğretim yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen İstanbul’da gıda mühendisi olarak mesleki kariyerine devam etmektedir.

