



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**MANGAL VE AIR FRYERDA PİŞİRİLMİŞ
SIĞIR BURGERLERİNDE POLİSİKLIK
AROMATİK HİDROKARBON OLUŞUMU
ÜZERİNE ÇEŞİTLİ BİTKİLERİN
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Vildan ÇAKIR ERÇEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Vildan ÇAKIR ERÇEK tarafından hazırlanan “Mangal Ve Air Fryerda Pişirilmiş Sığır Burgerlerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumu Üzerine Çeşitli Bitkilerin Etkilerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 10/04/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA

Danışman

Doç. Dr. Kübra ÜNAL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem AŞÇIOĞLU

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

Bu tez çalışması **Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü** tarafından **23201070** nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Vildan ÇAKIR ERÇEK

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MANGAL VE AIR FRYERDA PİŞİRİLMİŞ SIĞIR BURGERLERİNDE POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBON OLUŞUMU ÜZERİNE ÇEŞİTLİ BİTKİLERİN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Vildan ÇAKIR ERÇEK

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Kübra ÜNAL

2025, 84 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Kübra ÜNAL

Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem AŞÇIOĞLU

Bu çalışmada biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktları, sığır burgerlerde formülasyonlarına ilave edilmiştir. Ekstraktlarda; kullanıma hazırlama aşamasında DPPH, Toplam Fenolik Madde ve Toplam Flavonoid Madde içerikleri belirlenmiştir. Hazırlanan sığır burger örneklerine air fryerda pişirme ve mangalda pişirme işlemleri uygulanmıştır. Pişirme işlemi uygulanmış sığır burgerlerinde nem, protein, yağ, kül, pH, renk (L^* , a^* , b^*) parametreleri, pişirme verimi, tekstür profil analizi (TPA), Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) analizleri ve duyu analizi yapılmıştır.

Tüketime hazır sığır burger örneklerimizin nem içerikleri %45.51-%54.21, yağ içerikleri %4.66-%8.68 arasında, protein içerikleri %22.33-%30.53 arasında, kül içerikleri %3.51-%4.1, pH değerleri ise 5.93-6.01 arasında tespit edilmiştir.

Sığır burgerlerinin Σ PAH içerikleri; 21.8 ile 256.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişim göstermiştir. Mangalda pişirilmiş sığır burgerlerindeki PAH bileşiklerinin ortalama miktarının air fryerda belirlenen PAH bileşiklerinin ortalama miktarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Biberiye ekstraktı ilave edilmiş air fryerda pişirilmiş sığır burgerlerin ortalama PAH miktarlarının en yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun biberiye'nin prooksidan özellik göstermesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. En düşük Σ PAH içeriği, air fryerda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde saptanmıştır.

Bu çalışmada hem air fryer hemde mangalda pişirilen sığır burgerlerde değişen düzeylerde PAH oluşumunun varlığı tespit edilmiştir. İnovatif pişirme yöntemi olan air fryerda et ve et ürünlerinin pişirilmesi ile ilgili gelecekte yeni çalışmaların yapılması önerilebilir. Bitki ekstraktlarının PAH oluşumunda azaltıcı ve/veya önleyici etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Biberiye ekstraktının et ve et ürünlerine farklı konsantrasyonlarda ilave edilerek yeni çalışmaların yapılmasını önerebiliriz.

Anahtar Kelimeler: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH), Air Fryer, Mangal, Biberiye, Kırmızı Soğan Kabuğu, Yeşil Çay

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF EFFECTS OF VARIOUS PLANTS ON FORMATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN BEEF BURGERS COOKED IN BARBECUE AND AIR FRYER

Vildan ÇAKIR ERÇEK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF PHILOSOPHY IN FOOD ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Kübra ÜNAL

2025, 84 Pages

Jury

Assoc. Prof. Kübra ÜNAL

Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA

Assist. Prof. Çiğdem AŞÇIOĞLU

In this study, rosmarý, red onion peel and green tea extracts were added to the formulations. In the extracts; DPPH, Total Phenolic Substance and Total Flavonoid Substance contents were determined during the preparation phase. Air fryer cooking and barbecue cooking processes were applied to prepared beef burger samples. Moisture, protein, fat, ash, pH, color (L^* , a^* , b^*) parameters, cooking efficiency, texture profile analysis (TPA), Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) analysis and sensory analysis were performed on cooked beef burgers.

The moisture contents of our ready to eat beef burger samples were determined to be 45.51%-54.21%, fat contents were between 4.66%-8.68%, protein contents were between 22.33%-30.53%, ash contents were between 3.51%-4.10%, and pH values were between 5.93-6.01.

\sum PAH contents of beef burgers varied between 21.80 ile 256.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The average amount of PAH compounds in barbecued beef burgers was determined to be higher than the average amount of PAH compounds determined in the air fryer. The average PAH levels were found to be highest in air fryer cooked beef burgers with rosemary extract added. It is thought that this situation may be due to the prooxidant properties of rosemary. The lowest \sum PAH content was detected in beef burgers with red onion peel extract added and cooked in an air fryer.

In this study, the presence of varying levels of PAH formation was detected in both air fryer and barbecued beef burgers. It may be recommended that new studies be conducted in the future regarding cooking meat and meat products in the air fryer, which is an innovative cooking method. Plant extracts have been found to have reducing and/ or preventive effects on PAH formation. We can suggest new studies be conducted by adding rosemary extract to meat and meat products in different concentrations.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH), Air Fryer, Barbecu, Rosmarý, Red Onion Peel, Green Tea

ÖNSÖZ

Lisansüstü öğrenimim ve tez çalışmam boyunca her daim varlığıyla yanımda olduğunu hissettiren, bilgi, fikir, tecrübe ve görüşleriyle bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, anlayışıyla beni motive eden, yapıcı tutumuyla isteklendiren, pozitif tavrıyla kucaklayan, her zaman değer verdiğini hissettiğim, anlayışıyla beni motive eden, öğrencisi olmaktan onur duyduğum, hem bilimsel okul dönemimde hem de sosyal hayatta emeğini derinden hissettiğim, güler yüzünü, samimiyetini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, her türlü alanda kendisini örnek almaktan gurur duyacağım, engin bilgi ve tecrübelerinden istifade etmemi sağlarken göstermiş olduğu özveri ve ilerlememde çok büyük emekleri olan çok kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Kübra ÜNAL'a saygı, minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışma sürecimde laboratuvarlarında çalışma fırsatı veren Sayın Prof. Dr. Mustafa KARAKAYA hocama, çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Tudi AİNİWAER'e, laboratuvar analizlerimde yardımlarını esirgemeyen Akdeniz Üniveristesi Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezi'ne ve Öğr. Gör. Dr. Emrah EROĞLU'na, iş hayatımı sürdürdüğüm ve bir mensubu olmaktan onur duyduğum Tarım ve Orman Bakanlığı'na teşekkürlerimi borç bilir saygılarımı sunarım.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi bu basamağı tırmanışında da sabrı, sevgisi, desteği ve anlayışıyla hep yanımda olan, kızları olmaktan gurur duyduğum canım annem Fatma ÇAKIR ve babam Adem ÇAKIR'a; yardım ve desteklerinden dolayı biricik kardeşim Gülname Asya ÇAKIR'a; çalışmalarındaki emeği ile, yol arkadaşım, destekçim, hayatımı paylaştığım sevgili eşim Mutlu ERÇEK'e ve yaşamımızın anlamı, meleşimiz, biricik kızımız Duha Umay ERÇEK'e sonsuz minnet ve sevgilerimi sunarım.

Vildan ÇAKIR ERÇEK
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Sığır Burger.....	3
2.2. Biberiye.....	4
2.3. Kırmızı Soğan Kabuğu	5
2.4. Yeşil Çay.....	7
2.5. Farklı Pişirme Yöntemleri	8
2.5.1. Air fryerda pişirme.....	10
2.5.2. Mangalda pişirme	12
2.6. Gıdaların Pişirilmesi İle Oluşan Kimyasal Tehlikeler	13
2.6.1. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Sağlık Üzerine Etkileri	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Materyal	19
3.2. Yöntem.....	19
3.2.1. Bitki ekstraktlarına yapılan analizler	19
3.2.1.1. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat) analizi	19
3.2.1.2. Toplam fenolik madde tayini (TPC)	19
3.2.1.3. Toplam flavonoid madde tayini (TFC)	20
3.2.2. Sığır burgerlerin hazırlanması	20
3.2.3. Nem analizi	22
3.2.4. Protein analizi	22
3.2.5. Yağ analizi	22
3.2.6. Kül analizi.....	22
3.2.7. pH analizi	22
3.2.8. Pişirme verimi analizi	22
3.2.9. Renk analizi	22

3.2.10. Tekstür profil analizi.....	23
3.2.11. Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) analizi	24
3.2.12. Duyusal analiz.....	24
3.2.13. İstatistiksel analizler	24
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	25
4.1. Hammade Sığır Etinin Fizikokimyasal Özellikleri.....	25
4.2. Bitki materyallerine ait Antioksidan Aktivite (DPPH), Toplam Fenolik ve Toplam Flavonoid Madde analiz sonuçları	26
4.3. Sığır burgerlerine uygulanan analiz sonuçları	27
4.3.1. Nem analiz sonuçları.....	27
4.3.2. Protein analiz sonuçları.....	30
4.3.3. Yağ analiz sonuçları.....	32
4.3.4. Kül analiz sonuçları	34
4.3.5. pH analiz sonuçları.....	37
4.3.6. Renk analiz sonuçları	39
4.3.7. Pişirme verimi analiz sonuçları.....	43
4.3.8. Tekstür profil analizi sonuçları	46
4.3.8.1. Hardness (Sertlik)	46
4.3.8.2. Springiness (Elastikiyet)	49
4.3.8.3. Cohesiveness (İç Yapışkanlık)	50
4.3.8.4. Chewiness (Çiğnenebilirlik)	53
4.3.8.5. Resilience (Geri Dönüşüm)	55
4.3.9. Polisiklik Aromatik Hidrokarbon analiz sonuçları	58
4.3.9.1. Polisiklik aromatik hidrokarbonların LOD, LOQ ve geri kazanım değerleri.....	58
4.3.10. Duyusal analiz sonuçları	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1 Sonuçlar	67
5.2 Öneriler	69
KAYNAKLAR	71
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L^*	:Parlaklık değeri
a^*	:Kırmızılık değeri
b^*	:Sarılık değeri
μL	:Mikrolitre
μg	:Mikrogram
Σ	:Toplam
\pm	:Standart sapma

Kısaltmalar

N	:Newton
ng	:Nanogram
nm	:Nanometre
ppb	:Milyardabir parça
GHz	:Gigahertz
AB	:Avrupa Birliği
KS	:Kırmızı Soğan Kabuğu Ekstraktı
PAH	:Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
HCA	:Heterosiklik Aminler
TFC	:Toplam Flavonoid Madde
TPA	:Tekstür Profil Analizi
TPC	:Toplam Fenolik Madde
YÇ	:Yeşil Çay Ekstraktı
EGCG	:Epi Gallo Katesin Gallat
EFSA	:Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
AGE	:İleri Glikasyon Ürünü
MDA	:Malonaldehit
COP	:Kolesterol Oksidasyon Ürünleri
DPPH	:2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
UV	:Morötesi
KO	:Kontrol Grubu
Bİ	:Biberiye ekstraktı
KS	:Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı
YÇ	:Yeşil çay ekstraktı
QuEChERS	:Quick, easy, cheap, effective, rugged, safe
GC	:Gaz kromatografisi
MS	:Kütle spektrometresi
AF	:Air Fryer
M	:Mangal
SV	:Sous-Vide
LOD	:Tespit Edilebilme Sınırı
LOQ	:Tayin Edilme Sınırı
R^2	:Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
Na	:Naphthalene
Ac	:Acenaphthylene
Ace	:Acenaphthene
F	:Fluorene

Pa	:Phenanthrene
An	:Anthracene
Flu	:Fluoranthene
Py	:Pyrene
BaA	:Benzo[a]anthracene
BbF	:Benzo[b]fluoranthene
BkF	:Benzo[k]fluoranthene
BaP	:Benzo[a]pyrene
Incdp	:Indeno(1,2,3-cd)pyrene
DahA	:Dibenz[a,h]anthracene
BghiP	:Benzo[ghi]perylene
ND	:Tespit Edilemedi



1. GİRİŞ

Beslenme, sağlıklı bir yaşam sürdürmenin en temel gereksinimlerinden biridir. Günümüzde sağlıklı beslenme, sadece enerji ihtiyacını karşılamak değil, aynı zamanda hastalıklardan korunmayı desteklemek için temel besin bileşenlerini dengeli bir şekilde almayı ifade etmektedir. Et ve et ürünleri, yüksek biyoyararlanımlı proteinler, esansiyel amino asitler, vitaminler (özellikle B grubu), demir ve çinko gibi mikro besin öğeleri bakımından zengin olduklarından, hayvansal kaynaklı beslenmenin temelini oluşturmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı, hayvansal protein kaynakları insan sağlığı ve diyet dengesinde önemli bir yere sahiptir.

2020 yılında dünyada kişi başı yıllık sığır eti tüketiminin 6.4 kg/ yıl olduğu, en fazla sığır eti tüketiminin 26.1 kg/yıl ile Amerika Birleşik Devletlerinde olduğu, ülkemizde bu miktarın 15.88 kg/yıl olduğu rapor edilmiştir. 2022 verilerine göre ülkemizde bu miktarın 18.44 kg/ yıl olduğu bildirilmiştir (Anonim, 2020; Anonim, 2022a; Anonim, 2022b).

Et ve et ürünlerinin tüketimi, genellikle pişirme işlemi sonrası gerçekleştirilir. Gıdalara uygulanan pişirme işlemi, gıdanın lezzet, aroma ve sindirilebilirlik özelliklerini iyileştirir. Ancak, yüksek sıcaklıklarda ve uzun süre pişirilen et ürünlerinde bazı bileşikler oluşmaktadır. Bu bileşiklerden biri de Polisiklik aromatik hidrokarbonlardır (PAH'lar). PAH bileşikleri, kimyasal yapıları gereği lipofilik yani yağda çözünebilen yapıya sahiptir. PAH'ların özellikle doğrudan ateşte pişirme, mangalda kömürle pişirme veya tütsüleme gibi yöntemlerle hazırlanan et ürünlerinde oluşma olasılığı daha yüksektir.

Son zamanlarda popüler bir pişirme tekniği olan airfryer, hızlı pişirme özelliğinin yanı sıra çok daha az yağ kullanımıyla dikkat çekmektedir.

PAH oluşumunu azaltma amacıyla yapılan araştırmalar, özellikle bitkisel kökenli doğal antioksidanların kullanılabileceğini göstermiştir. Antioksidan özelliğe sahip biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktları, et ürünlerine ilave edilerek pişirme işlemleri sırasında toksik bileşiklerin oluşumunu sınırlandırma potansiyeline sahiptir. Bu doğal ekstraktlar, içeriklerindeki antioksidan bileşenler sayesinde, etin yüksek sıcaklıktaki oksidasyona karşı direncini artırarak PAH oluşumunu engelleyebilmektedir. Bu sayede, et ürünlerinin pişirme sonrası kimyasal

yapısında meydana gelebilecek olumsuz değişiklikler azaltılabilir ve böylece daha sağlıklı ürünlerin tüketimi sağlanabilir.

Bu çalışma, sığır burgerlerine biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktları eklenmesi ile air fryer ve mangal gibi farklı pişirme yöntemlerinin PAH oluşumu üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Çalışma kapsamında, her iki pişirme yönteminin PAH seviyeleri karşılaştırılarak, ekstraktların toksik madde oluşumunu azaltmadaki etkileri incelenmiştir. Böylece; hem daha sağlıklı pişirme yöntemleri hem de bitkisel ekstraktların PAH oluşumu üzerindeki etkileri değerlendirilerek, gıda güvenliğine konusunda katkı sağlaması hedeflenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Sığır Burger

Sığır burgerler, günlük yaşamda en çok tercih edilen ve severek tüketilen et ve et ürünlerinden biridir. Küçük yaştaki çocukların yanısıra her yaştaki insan tarafından beğenilen sığır burgerler, hızlı hazırlama tekniği ve lezzetinin dışında yüksek yağ içeriğine sahip olması bir takım endişeleri de beraberinde getirmektedir. Son dönemlerde tercih edilebilirlik ve tüketici beğenisindeki algıları geliştirmek, raf ömrünü uzatmak adına burgerlerin ticari üretiminde formülasyonlarında köklü değişiklikler yapmak, üreticiler için her ne kadar zorlu bir süreç olarak düşünülse de, gıda teknolojisi alanında çalışan araştırmacılar bu alanda çalışmalarına devam etmektedir. Burgerlerin formülasyon üzerine yapılan iyileştirmelerden biri de bitkisel orijinli bileşenlerin kullanımınıdır. Bu kapsamda özellikle raf ömrünü uzatmak adına oksidasyon stabilitesini sağlamak için antioksidan özelliklere sahip bileşenlerin kullanımı konusu hala dikkat çeken çalışmaların başında gelmektedir.

Akarca ve ark. (2018) ile Salama ve ark. (2023); kırmızı et dışında formülasyona ilave edilen diğer ingrediyeentler olarak tuz, kimyon, karabiber, kırmızı biber, galeta unu veya ekmek kırıntısı, maydanoz, sarımsak, soğan ve suyun sığır burgerlerinde kullanıldığını bildirmişlerdir.

Soya proteini ve ekmek kırıntısı yerine kinoa ve karabuğday unu ilave edilen sığır etinden üretilen burger çalışmasında; kinoa ve karabuğday unu ile hazırlanan örneklerin daha düşük yağ emilimine sahip olduğu bildirilmiştir. Ancak soya proteini ve ekmek kırıntısı kullanarak hazırlanan burgerlerde, nem tutma kapasitesinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Bahmanyar ve ark., 2021).

Tarçının antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin buzdolabı koşullarında (4 °C) muhafaza edilen sığır köfteleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada; formülasyonda kullanılan tarçının DPPH değerinin %85.97 olduğu bildirilmiştir. Tarçının artan oranlarının örneklerin pH' sını arttırdığı ve uzayan depolama günlerinde ise pH'nın düşme eğilimi gösterdiği ifade edilmiştir (Shoqairan ve ark., 2023).

2.2.Biberiye

Biberiye (*Rosmarinus officinalis L.*); Lamiaceae (Labiatae) familyasından tıbbi ve aromatik bitki olarak önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde 50-100 cm yüksekliklere kadar ulaşabilen biberiye bitkisi akpüren, hasalbal ve kuşdili olarak farklı isimlerle de adlandırılmaktadır. Kış aylarında yaprak dökmeyen, çalı görüntüsüne sahip, soluk mavi çiçekleri olan çok yıllık bir bitkidir. Kimyasal yapısı ve antioksidan etkisinin incelendiği bilimsel araştırmalarda, biberiyenin yaş veya kuru formda direkt kendisini veya su distilasyonu- su buharı ile elde edilen uçucu yağı veya farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen ekstraktı bulunmaktadır (Baytop, 1984; Malayoğlu, 2010; Meziane ve ark., 2024).



Şekil 2.1. Biberiye

Biberiyeden elde edilen uçucu yağ ve belirli oranlarda karnosol ile karnosik asit içeren ekstraktlarının hem Avrupa Birliği (E392) hem de Amerika Birleşik Devletleri tarafından doğal antioksidan kaynağı olarak kullanılabileceği bildirilmiştir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), biberiyenin güvenilir dozunu incelemiş ve günlük alınabilecek karnosol ve karnosik asit miktarlarının yaşlılar için 0.09 mg/kg ve çocuklar için 0.81 mg/kg aralıklarında değişmesi gerektiği bildirilmiştir. (Aguilar ve ark., 2008; Additives ve ark., 2018; EFSA, 2018; Phipps ve ark., 2021).

Gibis ve Weiss (2012); yaptıkları çalışmada; biberiye ve üzüm çekirdeği ekstraktları ile hazırlanan soslarla marine edilerek kızartılmış sığır köftelerinde

heterosiklik aromatik amin oluşumunu incelemişlerdir. Etlerin pişirilmeden önce marine edilmesi ön işleminin, bazı heterosiklik aromatik aminlerin miktarlarını önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Bologna tipi sosislerde biberiye veya yeşil çay ekstraktlarının protein oksidasyonu üzerine etkileri araştırılmış, lipid oksidasyonunun biberiye ve yeşil çay ekstraktlarının eklenmesiyle etkili bir şekilde engellendiği ayrıca protein karbonil oluşumuna karşı koruyucu etkilerle pozitif olarak ilişkilendirildiği rapor edilmiştir (Jongberg ve ark., 2013).

Mercanköşk, biberiye ve maydanoz ekstraktlarının antioksidan etkilerinin değerlendirilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada genel olarak mercanköşk ve biberiye oranlarının artması ile örneklerin antioksidan değerlerinin arttığı bildirilmiştir. Biberiye ve maydanoz ekstraktlarının birlikte sinerjistik etkileri incelendiğinde; ortamda biberiye oranı arttıkça antioksidan aktivitenin doğrusal bir artış gösterdiği rapor edilmiştir. Biberiyenin antioksidan etkisinin 0.61 mmol/g olduğu belirtilmiştir (Villanueva-Bermejo ve ark., 2024). Dumitriu ve ark. (2024); biberiye ekstraktını elektrospin yöntemiyle muamele etmişler, çok düşük miktarlarda kullanımının önemli ölçüde antioksidan aktivite gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Biberiye ekstraktlarının mide, meme, akciğer, kolon, prostat, cilt, karaciğer ve rahim ağzı kanseri dahil olmak üzere çeşitli kanser hücrelerinin büyümesini ve koloni oluşturmasını engelleyen; güçlü anti-tümör ve anti-kanser özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Alinaghi ve ark., 2024).

2.3.Kırmızı Soğan Kabuğu

Bazı gıda atıkları, gıda endüstrisi için bir takım sorunlar teşkil ediyor olsa da değerli besleyicilik unsurları ve bazı fitokimyasallar içermektedirler. İşlenmiş gıdalara yönelik artan tüketici talebi, gıda atıklarını yararlı ürünlere dönüştürerek gıda atığı sorununu en aza indirmektedir. Sürdürülebilir gıda üretimi bilincinin artmasıyla birlikte gıda atıklarının değerlendirilmesi fikri, son zamanlarda üzerinde çalışılan konulardan biridir. Soğan (*Allium cepa*) kabuğu da zengin içeriği sebebiyle bu değerlendirmeye tabi tutulmuş ve bununla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır.



Şekil 2.2. Kırmızı soğan

Celano ve ark. (2021), sarı soğan (*Ramata di Montoro*) ve kırmızı soğan (*Rossa di Tropea*) kabuk ekstraktlarının antioksidan özelliklerini incelemişlerdir. Antioksidan içeriklerini tespit etmek amacıyla ORAC ($\mu\text{mol TE/g} \pm \text{SD}$) ve ABTS ($\mu\text{mol TE/g} \pm \text{SD}$) olmak üzere iki yöntem kullanmışlardır. ORAC ve ABTS yöntemiyle sarı soğan kabuğu antioksidan içerikleri sırasıyla 4.13 ± 0.29 ve 5.77 ± 0.88 ; kırmızı soğan kabuğu antioksidan içerikleri 7.82 ± 0.72 ve 11.32 ± 1.40 olarak belirlenmiştir. Kırmızı soğan kabuğunun, sarı soğan kabuğundan yaklaşık iki kat fazla antioksidan içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir.

Al-Ansari ve ark. (2023); soğan kabuğunun (*Allium cepa L. var. aggregatum Don.*) kuersetin içeriğine bağlı antioksidan özelliklerini incelemişlerdir. Soğan ekstraktlarının; %73.1 ile %79.2 düzeyinde DPPH aktivitesi gösterdiği, farklı etanol ve su oranlarıyla ekstraksiyonunda kuersetin içeriklerinin önemli derecede yüksek çıktığı bildirilmiştir. Soğan kabuğunun zengin kuersetin miktarı açısından etkili bir antioksidan ve antikanser ajanı olarak etki gösterebileceği rapor edilmiştir.

Farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen beyaz soğan ekstraktlarının DPPH içeriklerinin 12.07 ± 0.95 ve 54.58 ± 3.15 arasında değiştiği bildirilmiştir (Salama ve ark., 2023).

Farklı konsantrasyon ve çeşitlerde (beyaz, kırmızı ve mor) soğan kabuğu ekstraktları ilave edilerek hazırlanmış sığır köftelerinde, depolamanın başlangıç aşamasında L^* değerlerinin; 47.63- 50.82 arasında a^* değerlerinin; 27.44- 32.68 ve b^* değerlerinin; 13.15- 16.56 arasında değiştiği belirlenmiştir (Akarca ve ark., 2018).

Bir başka çalışmada; kırmızı soğan kabuğu ekstraktının ABTS ve DPPH yöntemleri kullanılarak belirlenmiş antioksidan aktivite içeriklerinin sırasıyla 98 ± 0.3 ve 85 ± 1.1 olduğu rapor edilmiştir (da Cruz ve ark., 2023).

2.4.Yeşil Çay



Şekil 2.3. Yeşil çay

Yeşil çay, *Camellia sinensis* bitkisinin yapraklarından elde edilen ve sağlığa faydalı özellikleriyle bilinen bir çay çeşididir. Fermente edilmemiş olması, yaprakların doğal antioksidan bileşenlerini, özellikle kateşinleri yüksek oranda korumasını sağlar. Bu bileşenler arasında, özellikle epigallokateşin gallat (EGCG), antioksidan, anti-enflamatuvar ve antikanser özellikleriyle öne çıkmaktadır (Hinojosa-Nogueira ve ark., 2021).

Yeşil çay, et ve et ürünlerinde doğal bir katkı maddesi olarak kullanıldığında, ürün kalitesini artırma ve gıda güvenliğini sağlama açısından birçok olumlu etki göstermektedir. İçeriğindeki temel bileşenlerden epigallokateşin gallat başta olmak üzere çeşitli polifenoller, güçlü antioksidan özelliklere sahiptir. Bu özellik sayesinde yeşil çay, et ürünlerinde oksidatif bozulmayı yavaşlatır; lipit oksidasyonunu engelleyerek yağların zamanla acılaşmasını ve bu durumun neden olabileceği lezzet, koku, renk kayıplarını önler. Ayrıca yeşil çayın, et ürünlerinde çeşitli patojen bakterilerin üremesini engellediği; *Listeria*, *Salmonella* ve *Staphylococcus* gibi sağlığa zararlı mikroorganizmaların gelişimini sınırlayarak, ürünlerin mikrobiyal güvenliğini artırdığı bildirilmiştir. Yeşil çayın bu antioksidan ve antimikrobiyal etkileri, özellikle et ürünlerinin kırmızı renginin korunmasını sağlar ve raf ömrünü uzatır. Ancak yeşil çay fazla miktarlarda kullanıldığında acı bir tat verebileceğinden, uygun miktarlarda kullanım önemlidir. Buna rağmen, sentetik katkı maddelerine alternatif olarak daha doğal bir seçenek sunan yeşil çay ekstraktı, aynı zamanda fonksiyonel bir gıda bileşeni olarak da değerlendirilebilir. Antioksidan kapasitesi ile insan sağlığına katkı sağlayabilmesi, tüketiciler için de yeşil çayı daha cazip hale getirir. Bu nedenle, yeşil

çay ekstraktının et ürünlerinde kullanımı hem ürün kalitesini ve güvenliğini iyileştirici hem de doğal içeriklerle zenginleştirilmiş ürünlere duyulan talebi karşılayıcı bir çözüm sunmaktadır.

Biberiye ve yeşil çay ekstraktları içeren taze domuz sosislerinin tüketim sürecinde fiziko-kimyasal, mikrobiyal ve duyuşal özellikler üzerindeki değişimler incelenmiştir. Doğal bitki ekstraktlarının lipit oksidasyonunu önemli ölçüde engellediği ve kontrol grubu örneklerle karşılaştırıldığında psikrotrof bakterilerin çoğalmasını azaltıcı etki gösterdiği rapor edilmiştir. Biberiye ve yeşil çay ekstraktı kombinasyonlarının, renk bozulmasını önemli ölçüde engellediği ancak uzun süreli depolama şartlarında sosisin kırmızı renginin kaybını engellemede etkisiz kaldığı rapor edilmiştir. Biberiye ve yeşil çay ekstraktlarının duyuşal özellikleri iyileştirdiği ifade edilmiştir (Schilling ve ark., 2018).

Farklı kurutma sıcaklıkları uygulanan yeşil çaylardaki tat bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Temiz aromalı, kestane benzeri aromalı, fasülye benzeri aromalı ve yüksek sıcaklıkta pişmiş aromalı olmak üzere dört farklı aromalı yeşil çay üretilmiştir. Toplamda 95 uçucu ve 858 uçucu olmayan bileşen tanımlanmıştır. Kurutma sıcaklığı arttıkça çay örneklerinde bulunan aminoasitler azalırken, kateşinler ve flavonollerin artma eğilimi gösterdiği rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2022).

Hamburger köftelerine ilave edilen yeşil çay ekstraktlarının, örneklerin L^* değerini önemli düzeyde artırdığı belirlenmiştir (Özvural ve ark., 2016).

2.5. Farklı Pişirme Yöntemleri

Et ve et ürünlerinin pişirilmesi, gıdanın lezzetini, tekstürünü ve besleyicilik değerini etkileyen önemli bir işlemdir. Gıda güvenliğini sağlamanın yanısıra kimyasal ve fiziksel değişimlere de yol açar. Literatür çalışmalarına göre, pişirme işlemleri sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonu, karamelizasyon ve denatürasyon gibi süreçlerin, etin organoleptik özelliklerini büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Izgara (Grilling): Yüksek sıcaklıkta (150-260 °C) doğrudan ısıya maruz kalan et yüzeyinde Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon oluştuğu, bunun da lezzet gelişimini artırdığı bilgisi verilmiştir (Cross ve Sinha, 2004).

Fırında Pişirme (Roasting/Baking): 150-200°C aralığında uygulanan sıcaklığın gıdanın her yerine eşit şekilde ulaşmasını sağlayan pişirme işlemi olduğu bildirilmiştir.

Fırında pişirme süresince Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarıyla birlikte aromatik bileşikler ve lezzet bileşenleri de gelişmektedir. Besin öğelerinin korunması açısından uygun bir yöntem olduğu rapor edilmiştir (Santé-Lhoutellier ve ark., 2008).

Tavada Pişirme (Searing/Pan-Frying): Yüksek sıcaklıkta kısa süreli olarak etin tavada pişirilmesini ifade etmektedir. Özellikle Maillard reaksiyonu burada belirgin olur, bu da etin yüzeyinde koyu kahverengi ve lezzetli bir kabuk oluşturur. Tavada pişirme işleminde kısa süreli pişirme ile sulu yapı korunur ancak etteki proteinin denatürasyonu sonucunda istenilmeyen bileşikler oluşabilir (Hur ve ark., 2014).

Haşlama (Boiling/Simmering): Düşük sıcaklıkta (85-95°C) su içerisinde pişirme yöntemi olduğu bildirilmiştir. Proteinler denatüre olurken, et suyu ve yağ kaybı azalır; etin yumuşak bir dokuya ulaşması sağlanır. Bu yöntemle proteinler ve minerallerin korunduğu, ancak suya geçen vitaminlerde (özellikle B vitamini) kayıplar oluşabildiği rapor edilmiştir (Meynier ve Mottram, 1995).

Buharda Pişirme (Steaming): Et, kaynayan suyun buharıyla pişirilir ve et doğrudan suyla temas etmediği için besin öğeleri daha iyi korunur. Buharda pişirme, etin yapısını yumuşak ve lezzetli hale getirir. Besin öğelerinin maksimum korunumu açısından en sağlıklı pişirme yöntemlerinden biri olarak kabul edildiği rapor edilmiştir (Roldan ve ark., 2015).

Sous Vide (SV) Pişirme: Etin, vakumlu poşetler içerisinde su banyosunda, genellikle 65-95°C aralığında pişirilmesi işlemidir. Sous vide yönteminde etin proteinleri hassas bir şekilde denatüre olurken, su kaybının en aza indiği ve lezzet bileşenlerinin korunduğu belirtilmiştir (Baldwin, 2012; Kathuria ve ark., 2022). Farklı pişirme yöntemlerinin tavuk nuggetların bazı kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, SV pişirme yöntemi ile pişen nuggetların pişirme veriminin en yüksek olduğu rapor edilmiştir (Ateş, 2022).

Mikro Dalga Pişirme: Mikrodalga, 300 MHz ile 300 GHz frekanslar arasında değişen elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanmaktadır. Enerji tüketiminin az olması ve pişirme süresinin kısa olması sebebiyle son dönemlerde oldukça sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Pişirilen ürünlerde biyoaktif bileşenlerin, renk değerlerinin ve antioksidan aktivitelerinin oldukça iyi bir düzeyde korunduğu belirtilmiştir (Guo ve ark., 2017).

Derin Yağda Kızartma (Deep-Frying): Genellikle 150-190°C aralığındaki sıcaklık değerlerinde uygulanan bir pişirme yöntemidir. Derin yağda kızartılmış ürünlerin kalitesi kullanılan yağın çeşidi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir (Sánchez-

Gimeno ve ark., 2008; de Carvalho ve ark., 2022). Kızartma işlemi sırasında etin dış kısmında çıtır bir yapı oluşur, iç kısmı ise sulu kalmaktadır. Ancak bu yöntem, pişirme sırasında yağın et tarafından emilmesine neden olarak yağ oranını ve kalori miktarını artırmaktadır. Yağın yüksek sıcaklıkta uzun süre kullanımının, trans yağ asitleri ve akrilamid gibi zararlı bileşiklerin oluşumuna yol açabileceği rapor edilmiştir (Stier, 2013).

Çalışmamızda air fryerda pişirme ve mangalda pişirme yöntemleri kullanılmıştır.

2.5.1. Air fryerda pişirme



Şekil 2.5 Air fryerda pişmeye hazır sığır eti burgerleri

Air fryerda pişirme işlemi, çok az yağ kullanımı ile veya yağ kullanımı olmadan, mevcut geleneksel kızartma-pişirme işlemlerine seçenek olarak geliştirilen teknolojik bir yöntemdir. Sıcak hava sirkülasyonunun gıda üzerindeki etkisi ile pişirme işlemi gerçekleşmektedir. Düşük yağ oranı kabuk oluşumu başta olmak üzere birçok duyuşal faktörü etkilemektedir (Heredia ve ark., 2010; Andrés ve ark., 2013). Fırında pişirme işleminden farklı olarak daha hızlı hava hareketleri ile havanın içerisindeki yağ damlacıkları sayesinde homojen bir şekilde gıdanın yüzeyine temas eder ve böylece fırında pişirme işlemine göre daha gevrek ürünlerin oluşumunu sağlamaktadır (Wang ve ark., 2021). Şekil 2.5.'de air fryerda pişmeye hazır sığır eti burgerleri verilmiştir.

Derin yağla kızartmaya göre, air fryer kullanımı ile yağın sıçraması ile birlikte olabilecek ev kazalarının önüne geçildiği, istenmeyen koku oluşumunun engellendiği, daha az yağ kullanımına bağlı olarak israfın önüne geçildiği, atık olarak daha az yağ

atığının oluştuğu, yerden ve zamandan tasarruf sağladığı gibi avantajları söz konusudur (Carvalho ve ark., 2018; Spearpoint ve Hopkin, 2021; Auyong ve ark., 2022). Günlük yaşantıda ev ortamında kullanılan air fryer teknolojisi sonucu oksidasyon sonucu oluşan bileşenlerin doğal antioksidan kullanılarak istenmeyen bileşenlerin oluşumunun engellenmesi ve / veya azaltılması ile ilgili çalışmaların devam etmesi ile ilgili öneride bulunulmuştur (de Oliveira ve ark., 2024).

Deniztarağı (*Patinopecten yessoensis*); air fryer ve fırında pişirerek fizikokimyasal özellikleri ve in vitro özellikleri incelenmiştir. Bu özellikler değerlendirildiğinde; 160⁰C'de air fryerda pişirilmiş deniztarağı örnekleri tercih sebebi olmuştur (Wang ve ark., 2023). Diğer bir çalışmada; farklı sıcaklık derecelerinde (140 ⁰C, 160 ⁰C, 180 ⁰C ve 200 ⁰C) air fryerda pişirilen Deniztarağı örnekleri incelendiğinde; 160 ⁰C'de pişirilen örneklerin protein çözünürlüğünün diğer sıcaklıklarda pişirilen örneklere göre en iyi sonucu verdiği ve in vitro değerlendirme açısından uygun olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2024b).

Şekil 2.4.'de kullanım yerleri ve büyüklüklerine göre farklı air fryer örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.4. Farklı air fryer ekipmanları a) Ev tipi air fryer b) Dolap tipi yüksek kapasiteli air fryer ekipmanı c) Endüstri tipi sıcak hava fırını (Moralez ve ark., 2024).

Farklı sıcaklık ve sürelerde air fryerda pişirilen falafel örnekleri ile derin yağda kızaran falafel örnekleri karşılaştırılmıştır. 178.8 ⁰C sıcaklık ve 11 dk pişirme süresinde air fryerda pişirilmiş örneklerin, en iyi duyusal özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca air fryerda pişirilmiş falafel örneklerinin derin yağda kızartılmış örneklere göre daha düşük yağ içeriğine, daha yüksek sertliğe, daha fazla kabul edilebilir görünüm ve gevrekliğe sahip olduğu belirlenmiştir (Fikry ve ark., 2021).

Bir başka çalışmada; 180 ⁰C 15 dk air fryerda pişirilmiş Kalamar örneklerinin en iyi duyusal özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Luo ve ark., 2022).

Derin yağda kızartma işlemi uygulanan ve air fryerda pişirilen domuz derileri incelendiğinde; air fryerda pişirilen örneklerin derin yağda pişirilen örneklere göre daha düşük su aktivitesi ve nem içeriklerine sahip olduğu belirlenmiştir. (Chan ve ark., 2023).

Air fryer ve diğer geleneksel pişirme yöntemlerinde (derin yağda kızartma, tavada kızartma, fırında pişirme) pişirilen balık köftelerinde oluşan AGE (İleri glikasyon son ürünü) değerleri incelenmiştir. AGE'lerin oluşumunun daha çok balık köftelerinin dış yüzeyinde meydana geldiği, dört pişirme yöntemi arasında; air fryerda kızartma işleminin, derin yağda kızartma işlemine göre daha az AGE içeriği oluşturduğu; lezzet ve görünüm olarak derin yağda kızartma işlemine benzer özellikler gösterdiği bildirilmiştir. Air fryer pişirme yönteminin diğer pişirme yöntemlerine göre daha sağlıklı bir yöntem olabileceği önerilmiştir (Qin ve ark., 2022).

Dört farklı pişirme yönteminin (Derin yağda kızartma, elektrostatik kızartma, air fryer kızartma ve vakum kızartma) çizgili balık derisindeki tekstürel değişimleri incelenmiştir. Derin yağda kızartma (180 ° C), elektrostatik kızartma (180 ° C), air fryerda kızartma (180 ° C) ve vakumda kızartmanın (120 ° C), çizgili balığın su aktivitesi ve tat özelliklerine göre pişirme süreleri sırasıyla 6, 6, 10 ve 24 dakika olarak bulunmuştur. Derin yağda kızartma ve elektrostatik kızartma da yüksek yağ (%47) içerikli ürün elde edildiği bildirilmiştir. En düşük yağ içeriği (%10) ve en yüksek hacim, air fryerda kızartma yönteminde belirlenmiştir (Fang ve ark., 2021).

2.5.2.Mangalda pişirme

Barbekü ve /veya mangalda pişirme, yaygın pişirme yöntemlerinden biridir. En temel özelliği gıdanın açık ateşte pişirilmesidir. Diğer pişirme yöntemlerine nazaran pişirme sıcaklığı çok yüksek derecelere çıkabilmektedir. Etin mangalda pişirilmesi esnasında et yüzeyindeki su hızla buharlaşarak dış yüzde Maillard reaksiyonunun başlamasına zemin hazırlamaktadır (Du ve ark., 2025).

Rose ve ark. (2015), kızartma, ızgara, mangal ve kavurma gibi farklı pişirme yöntemleri uyguladıkları evde hazırlanan gıdalarda PAH oluşumunun etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda en yüksek PAH içeriklerinin, odun kömürü kullanılarak mangalda pişirilen sığır burger ve domuz sosislerinde tespit edildiğini belirtmişlerdir.

Zastrow ve ark. (2022); elektrikli ve gazlı ızgarada pişirme yöntemine göre, mangalda pişirme yönteminde pişirilen sığır eti köftelerinde PAH oluşumunun varlığını bildirmişlerdir. Mangalda pişirme yönteminin; örnek ve kullanılan kömür arasındaki mesafenin açılmasıyla PAH içeriğinin azaltılabileceğini rapor etmişlerdir.

Pouzou ve ark. (2018), farklı pişirme yöntemleri ile oluşan PAH bileşenlerini kıyasladığı çalışmada; en yüksek PAH içeriklerinin mangalda pişirme yöntemiyle pişirilen gıdalarda olduğunu bildirmişlerdir.

Şekil 2.6.'da mangalda pişmeye hazır sığır burger örneklerinin görselleri verilmiştir.



Şekil 2.6. Mangalda pişmeye hazır sığır burger örnekleri

2.6. Gıdaların Pişirilmesi İle Oluşan Kimyasal Tehlikeler

Et ve et ürünlerinin pişirilmesi için seçilecek olan pişirme yöntemine göre, heterosiklik aromatik aminler (HAA) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) gibi bazı bileşiklerin oluşma riski bulunmaktadır.

Sığır etinin özellikle yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi, kompleks kimyasal reaksiyonlarla çeşitli bileşiklerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyonların başlıcası Maillard reaksiyonu olarak tanımlanabilir. Uzun pişirme süreçleri ve yüksek sıcaklığın etkisiyle ortaya çıkan polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), heterosiklik aminler (HCA), akrilamid, nitrozaminler ve bunun gibi benzer bileşenler; lezzet, aroma ve etin besleyicilik değerini etkileyen önemli bileşenlerdir. Bu etkilerinin yanısıra insan vücudu üzerinde zararlı etkileri olan bazı tehlikelerin oluştuğu da bildirilmiştir (Ekici ve ark., 2012; Gülcan ve ark., 2020; Suleman ve ark., 2020).

Piştirilmiş, tütülenmiş ve işlenmiş et ürünlerinde kurutma, ısıtma, fermantasyon veya pişirme gibi farklı işlemler arasındaki çeşitli etkileşimlerden bir takım kimyasal bileşikler meydana gelmektedir. Bunları genel olarak, N-nitrozaminler, lipid ve protein oksidasyon ürünleri, Maillard reaksiyon ürünleri; polisiklik aromatik hidrokarbonlar, heterosiklik aromatik aminler ve biyojenik aminler olarak sıralayabiliriz (Toldr ve Reig, 2007; Flores ve ark., 2019). Gıdaların pişirilmesi ile oluşan kimyasal tehlikeler incelendiğinde;

Nitrozaminler: Nitrit veya nitrat içeren işlenmiş etlerde, yüksek sıcaklıklarda nitrozamin oluşumu gözlenir. Nitrozaminler kanserojen özellikleri nedeniyle dikkat çeker (Mirvish, 1995; Park ve ark., 2015).

Lipid Oksidasyonu Ürünleri: Etin içeriğinde bulunan yağların oksidasyona uğraması ile çeşitli tat ve koku bileşenleri açığa çıkar. Bu bileşikler, lezzeti etkilerken, bazıları sağlık üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir (Guyon ve ark., 2016).

Malondialdehit (MDA): Yüksek sıcaklıklarda pişirilen etlerde, lipid oksidasyonunun bir sonucu olarak malondialdehit gibi aldehitler oluşur. MDA, hücre zarlarına zarar veren reaktif oksijen türlerinin oluşmasına katkıda bulunabilir (Lynch ve Frei, 1993; Jung ve ark., 2016a).

Kolesterol Oksidasyon Ürünleri (COP): Kolesterolün yüksek sıcaklıklarda oksidasyonu sonucu oluşur. COP; kardiyovasküler hastalıklar gibi sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir (Yang ve Chen, 2001; Deng ve ark., 2023).

Protein Oksidasyonu Ürünleri: Yüksek sıcaklıklarda pişirme sırasında proteinlerin oksidasyona uğraması, protein yapısında bozulmalara yol açarak etin besleyicilik değerini ve yapısını etkiler (Guyon ve ark., 2016).

Karbonil Gruplarının Artışı: Proteinlerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sırasında amino asitler karbonil gruplarıyla reaksiyona girer, bu durum proteinlerin denatürasyonuna ve yapısal bozulmalarına neden olur (Martínez-Herrera ve ark., 2006).

Amino Asitlerin Kaybı: Yüksek sıcaklık, özellikle 160 °C üzerinde, etin bazı temel amino asitlerini parçalayarak protein biyoyararlanımını azaltır. Bu durumda lisin gibi amino asitler tahrip olabilir ve besin değerini düşürür (Jung ve ark., 2016b).

Diğer Bileşikler: Maillard reaksiyonu, sığır etindeki amino asitler ve şekerler arasında gerçekleşen kimyasal bir reaksiyondur ve etin karakteristik lezzet ve aromasının gelişiminde önemli rol oynar. Bu reaksiyon sonucu, heterosiklik aminler (HCA'lar) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) gibi bileşikler oluşabilir.

110 °C ve üzeri sıcaklıklarda Maillard reaksiyonunun olduğu bildirilmiştir (Bejerholm ve Aaslyng, 2004; Lund ve Ray, 2017).

Akrilamid: Yüksek sıcaklıkta pişirme sırasında karbonhidrat ve amino asitlerin reaksiyonu sonucu oluşan bir bileşiktir. Her ne kadar akrilamid oluşumu etlerde daha düşük karbonhidrat içeren gıdalarda yüksek miktarlarda olduğu bilinse de, etin yanında karbonhidrat içeren gıdalar (örn. patates) ile birlikte pişirilmesi veya bu tür gıdalarla tüketilmesi sonucu bu bileşiğin alımı artabilir (Lingnert ve ark., 2002; Pandiselvam ve ark., 2024).

Heterosiklik Aminler (HCA'lar): 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda Maillard reaksiyonu sürecinde açığa çıkar. HCA'lar, etin içerdiği amino asitlerle kreatin ve şekerlerin reaksiyonu sonucunda oluşur. Uzun süre ve yüksek sıcaklıkta pişirme, HCA birikimini artırır (Knize ve Felton, 2005; Unal ve ark., 2018).

Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar): Özellikle ızgara ve mangalda pişirme sırasında, et yağının damlayarak yanmasıyla açığa çıkan bileşenlerde PAH'lar oluşur ve et yüzeyine yapışır. PAH'lar, yüksek sıcaklıklarda (200 °C üzeri) ve açık alevde pişirildiğinde daha yoğun olarak meydana gelir ve muhtemel kanserojen özellik gösterir (Phillips, 1999; Oz ve Yuzer, 2016)

Sonuç olarak; yüksek sıcaklıkta pişirme, etin lezzet ve tekstürü üzerine olumlu etki yapmakla birlikte, sağlığa zararlı olabilecek bileşiklerin oluşumuna da neden olabilir. Sığır etinin optimum pişirme koşullarının seçimi; lezzet ve besleyici değeriyle zararlı bileşen oluşumu arasında bir denge sağlamayı gerektirir. Bu konuda yapılan araştırmalar, pişirme süresini kısaltmak ve sıcaklığı kontrol altında tutmak gibi önlemlerin, zararlı bileşenlerin oluşumunu azaltmada etkili olabileceğini göstermektedir.

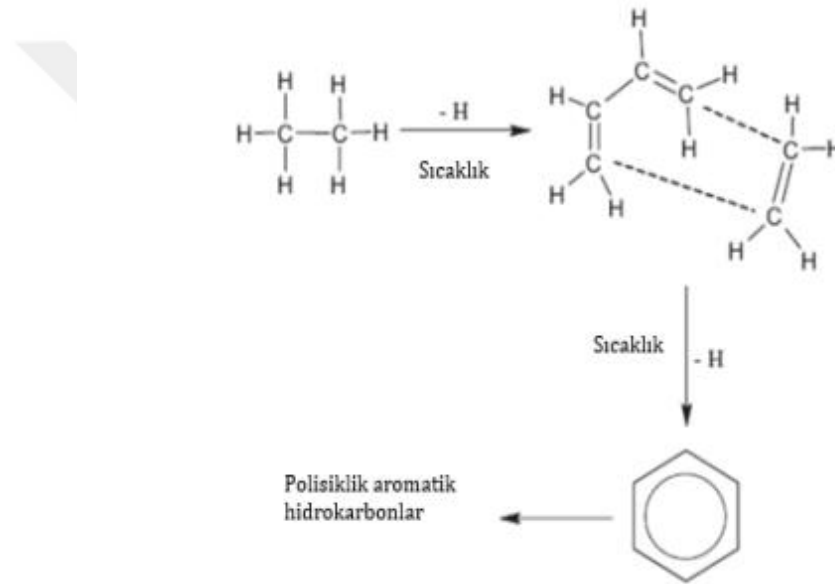
Etin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucunda heterosiklik amino asitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve N-Nitrozo bileşikler oluşmaktadır. Bu bileşiklerin oluşumunun azaltılması için etleri çok yüksek sıcaklıklarda ve sürelerde pişirme işleminden kaçınılmalıdır (Özlü ve Ercoşkun, 2021).

Yanma işlemi, gıdalardaki en önemli PAH oluşum kaynağıdır. PAH oluşumunun, pişirme işlemi sonucu tespit edilmesi veya açığa çıkması ile ilgili birçok önemli nokta aydınlatılmıştır. PAH oluşum mekanizması incelendiğinde; benzenin, ilk aromatik halka oluşum adımı olarak kabul edilmesiyle birlikte, bazı reaksiyonlar aromatiklerin benzen olmadan da oluşabileceğini göstermiştir (Reizer ve ark., 2019).

Et ve et ürünlerinin pişirilmesi sırasında gerçekleşen yanma işleminde, odunun kurumaya başlaması ile beraber alevın bazı kısımlarında piroliz başlamakta ve aleve en yakın kısımlarda ise etlerde tam yanma meydana gelmektedir. Bununla birlikte, etlerin kömür ateşinde pişirilmesi esnasında yağların eriyerek sıcak kömür üzerine damlamasıyla uçucu PAH bileşikleri oluşmakta ve buna bağlı duman içeriğindeki PAH konsantrasyonunda da artış gösterdiği bildirilmiştir (Ledesma ve ark., 2016).

Mangalda pişirilen et ve et ürünlerinde oluşabilecek olan PAH4 ve BaP (benzo[a]pyrene) için maksimum değerler sırasıyla 30 ve 5 µg/kg olarak belirlenmiştir (EU, 2011).

Şekil 2.7.'de etandan itibaren PAH'ların pirosentezi görülmektedir.



Şekil 2.7. Etandan itibaren PAH'ların pirosentezi (Hanedar, 2009).

2.6.1. Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) sağlık üzerine etkileri

Gelişen sanayileşme insan yaşamına birçok noktada olumlu etkilerde bulunurken beraberinde birçok çevre sorununu da getirmiştir. İnsan, yaşamının devam etmesi için elzem olan hava, su ve toprak, çevre kirliliğinden kaçınılmaz olarak etkilenmektedir. Gıda, kirli hava veya su ile temas halinde olarak, toksik ve kanserojenik bileşenlere maruz kalır. Tarım ilaçları, çöpler, sigara dumanı, endüstriyel atıklar gibi zararlı maddelerden çevreye etki eden kimyasallar; hava, su, toprak ve

gıdalara nüfuz ettiklerinden dolayı bu çevresel kirleticiler insan sağlığı üzerine önemli bir risk oluşturmaktadır (Alver ve ark., 2012).

EFSA'nın yayınladığı raporda, PAH'ların teratojenik, hematolojik ve immünotoksik etkilerinin olduğu özellikle, benzo[a]pyrene bileşiğinin fare ve sıçanlarda gastrointestinal sistem tümörleri, karaciğer, akciğer ve meme bezi tümörüne yol açtığı rapor edilmiştir (Authority, 2008). Vücuda alınan PAH bileşenlerinin küçük bir kısmı boşaltım sistemi ile vücuttan uzaklaştırılmasının yanında diğer kısmının vücuttaki farklı organlarda birikim göstereceği düşünülmektedir (Jin ve ark., 2021).

Oz ve Yuzer (2016); tel ve taş mangalda farklı pişirme seviyelerinde PAH oluşumunu gözlemek için yaptıkları çalışmada toplam mutajen ve/veya kanserojen miktarına bakıldığında orta hariç tüm pişirme kademelerinde tel mangalda pişirilen örneklerin toplam PAH miktarlarının taş mangalda pişirilenlere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada belirtilen PAH miktarlarının yasal limitlerin altında olduğu belirtilmiştir.

Gysel ve ark. (2018), Kaliforniya eyaletinde ticari olarak tüketime sunulan ızgara etler üzerinde yaptıkları çalışmada; halkın pişirme işlemi sonucunda olumsuz etkilerden haberdar olmamasına karşın az ateşlenmiş kömürde ızgarada et pişirme işlemlerinin, PAH ve nitro-PAH gibi yüksek konsantrasyonlarda toksik bileşikler oluşabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 2.1.'de bazı et ve et ürünlerinde oluşan PAH bileşikleri ile önleyici ve/veya azaltıcı yaklaşımlar verilmiştir.

Çizelge 2.1. PAH oluşumunu önleyici ve/ veya azaltıcı bazı yaklaşımlar

Et ve Et Ürünleri	Uygulanan Strateji	Oluşan PAH Bileşikleri	Eldedilen Bulgular	Kaynaklar
Mangalda pişirilmiş domuz Sosisi	İki farklı sirke (damıtılmış sirke ve fermente sirke) ile marinasyon uygulaması yapılmıştır	benzo[a]pyrene (BaP)	Damıtılmış sirke ve özellikle fermente sirkenin BaP oluşumunu önemli ölçüde engelleyebileceği bildirilmiştir.	(Zhang ve ark., 2023).
Mangalda pişirilmiş somon fileto	Farklı tütüleme talaşları (meşe, elma, burbona batırılmış meşe, kiraz ve ceviz) ile somon fileto dumanlanmıştır.	ΣPAH8 (benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene, indeno[1,2,3-cd]pyrene) ve ΣPAH4 (benzo[a]antrasen, krisen, benzo[b]floranten, benzo[a]piren)	BaA ve Krisenin (Chry) çığ somon etlerinde bulunduğu, tütüleme işlemiyle toplam PAH içeriğinin arttığı ve Burbona batırılmış meşe ve kiraz tütüleme talaşlarının PAH üzerinde inhibitör etkiye sahip oldukları bildirilmiştir.	(Oz, 2020).
Kömürde izgara edilmiş siğir eti	Epikateşin solüsyonuna basınçlı daldırma yöntemiyle uygulanmıştır.	Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[a]pyrene	Epikateşin solüsyonunun lezzet içeriklerinden ödün vermeden siğir etinde PAH oluşumunu azalttığı bildirilmiştir.	(Hui ve ark., 2023).
Mangalda izgara edilmiş ve tavada kızartılmış siğir eti	Adaçayı ve kekik ekstraktı eklenerek hazırlanan marinata daldırma yöntemiyle muamelesi yapılmıştır.	Anthracene D10, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[a]pyrene,	Tavada kızartma, PAH'lara maruz kalma açısından mangalda ızgara yaparak pişirmeden daha güvenilir bir yöntem olarak belirlenmiştir. Marinasyon solüsyonuna eklenen adaçayı ve kekik ekstraktının PAH oluşumunda önemli ölçüde inhibe edici özellik gösterdiği sonucuna ulaşıldığı bildirilmiştir.	(Büyükkurt ve ark., 2020).
Kıbnista; Geleneksel olarak tütülenmiş et ürünleri (tütülenmiş domuz sosisi, domuz pastırması, jambon) ve mangalda izgara edilmiş et ürünleri (domuz ve kütmes hayvan etleri)	Geleneksel olarak tütüleme ve Mangalda ızgara edilmiştir.	PAH4; benzo(a)anthracene (BaA), chrysene (Chr), benzo(b)fluoranthene (BbF) and benzo(a)pyrene (BaP)	Analiz sonuçlarında örneklerin çoğunda en az bir PAH içeriği belirlenmiştir. Tütülenmiş örneklerin %12'si mangalda pişirilmiş ürünlerin %15 i AB mevzuatındaki maksimum değer seviyelerini aşmıştır. En yüksek PAH konsantrasyonları, daha yüksek yağ içeriği ve daha uzun tütüleme ve/ veya pişirme süresi olan örneklerde görülmüş olduğu bildirilmiştir.	(Kafouris ve ark., 2020).
Izgarada pişirilmiş siğir eti	4 farklı marinasyonda bekleme süresi (0, 4, 8, 12 saat) Formülasyon içerikleri 7 farklı şekilde belirtildi; (Klasik marinasyon, ticari marinasyon, klasik+yağ ilaveli, klasik+yağ+limon suyu ilaveli, klasik+yağ+demirhindi ilaveli, ticari+demirhindi ilaveli) işlem yapılmıştır.	benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene and fluoranthene	%1.2 konsantrasyon içerikli asidik marinasyon sosu ile marine işleminin PAH oluşumunu %70 kadar düşürdüğü, PAH içeriğinin azalmasında marinasyon süresinin etkili olmadığı bildirilmiştir.	(Farhadian ve ark., 2012).
Sırbistanda; geleneksel koşullarda üretilen ve tütülenen kuru fermente sosisi	Duman kaynağından farklı mesafelerde tütülenmiş 9 grup örneğin PAH oluşum değerleri incelenmiştir.	PAH4 ve PAH16	4-5 m mesafede tütülenen sosislerle 2 m mesafede tütülenen sosislerle kıyasla PAH16 içeriğinin önemli ölçüde az olduğu görülmüştür. Daha açık renk yüzeyine sahip fermente dana sucuğunun PAH içeriğinin daha koyu renk içeriğine sahip sucuğa göre az olduğu bildirilmiştir.	(Şkaljac ve ark., 2023).
Açık ateş sobasında bambu kömürü üzerinde kızartılmış ördek kanadı	5 farklı konsantrasyonda (200, 400, 600, 800, 1000 mg/ L) kişniş kökü ekstresi ve kişniş yaprağı ekstresi marinasyon uygulaması yapılmıştır.	PAH8 (BaA, CH, BbF, BaP, DhA, BgP, IP)	Kızarmış kökü ekstraktının kişniş yaprağı ekstraktına göre kızarmış ördek kanadı üzerinde PAH oluşumunda daha fazla (%65-%87) inhibe edici özelliği olduğu bulgulanmıştır. PAH'lar üzerindeki bu etkinin kişniş marinatlarında tanımlanan fenolik bileşiklerle bağlantılı olduğu tahmin edildiği bildirilmiştir.	(Yu ve ark., 2023).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma materyali olarak köfte yapımında kullanılan sığır etleri, yerel bir marketten (Mert Kasap, Cihanbeyli, Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Selçuk Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Et ve Et Ürünleri Araştırma Laboratuvarına 4⁰C'de soğuk zincir koşullarına dikkat edilerek getirilen etler, kıyma makinasında (Kitchen Aid, Classic Model, USA) kıyma haline getirilmiştir. Sığır burger formülasyonunda kullanılan tuz, su ve galeta unu Konya piyasasındaki yerel bir marketten elde edilmiştir. Kontrol örnek grubu dışındaki diğer grup formülasyonlarında kullanılan biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktları spray dryer yöntemi ile kurutulmuş halde toz formda temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Bitki ekstraktlarına yapılan analizler

3.2.1.1. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat) analizi

Bitki ekstraktlarının antioksidan aktivitesi 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) yöntemine göre gerçekleştirilmiş ve 516 nm dalga boyunda spektrofotometrede (UV-160 A, UV-Visible Recording Spectrophotometer, Shimadzu, Tokyo, Japan) okumalar yapılmıştır (Li ve ark., 2005).

3.2.1.2. Toplam fenolik madde tayini (TPC)

Örneklerin TPC içerikleri;(AOAC, 2000); Babiker ve ark. (2021)'nin tarafından bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.1.3. Toplam flavonoid madde tayini (TFC)

Örneklerin TFC içerikleri Babaoğlu ve ark. (2022) tarafından bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.2. Sığır burgerlerin hazırlanması

Sığır burgerler Çizelge 3.1.'de gösterilen formülasyona göre hazırlanmıştır. Formülasyonda kullanılan bitki ekstraktları ön denemelerle belirlenmiştir. Formülasyondaki bileşenler ayrı ayrı tartılmış ve dört gruba ayrılarak birinci grup; ekstrakt ilave edilmeyen kontrol grubu (KO) olarak hazırlanmıştır. İkinci grup, biberiye ekstraktı (Bİ); üçüncü grup, kırmızı soğan kabuğu ekstraktı (KS) ve dördüncü grup, yeşil çay ekstraktı (YÇ) ilave edilerek 7 dk süre ile karıştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Sığır eti burgerlerinin formülasyonu

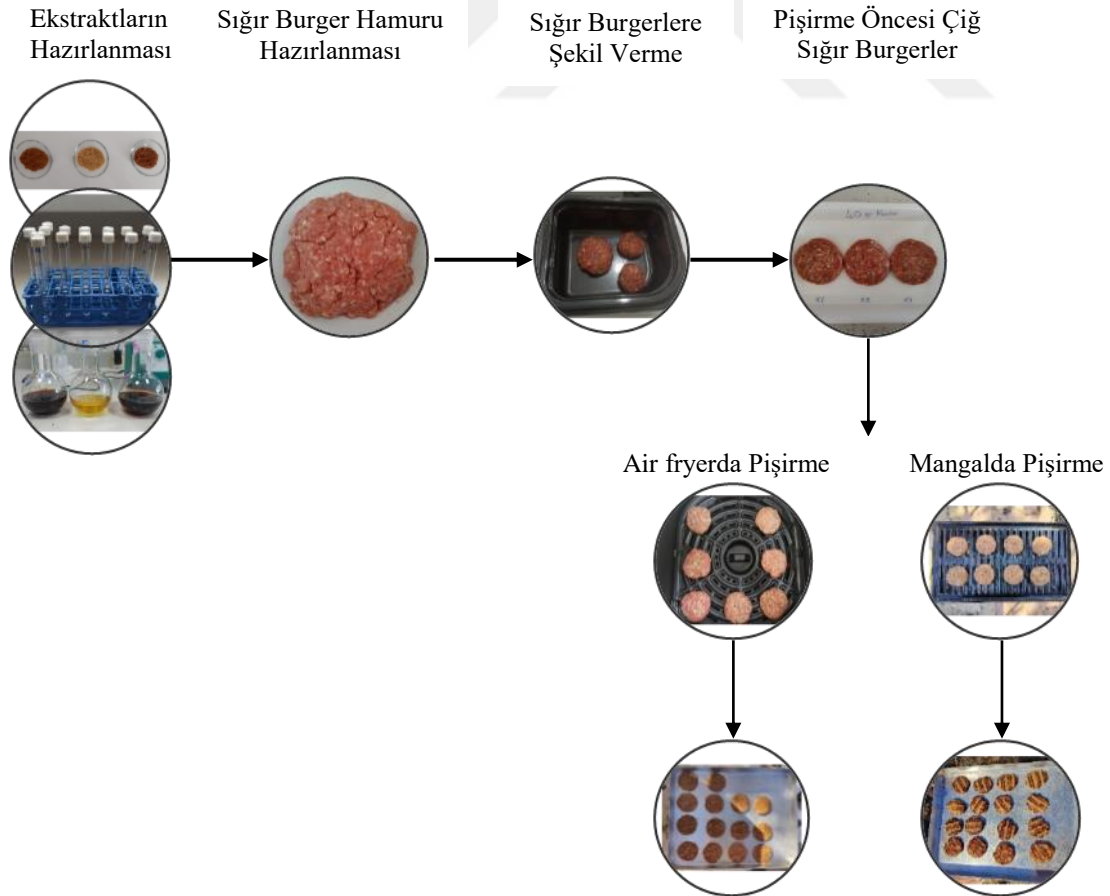
	İçerik	Burger Hamur Formülasyonu (%)
Kontrol Grubu Burger	Sığır Eti Kıyma	83
	Galeta Unu	10
	Tuz	1
	Su	6
	Ekstrakt	0
Biberiye Ekstraktı ilaveli Burger	Sığır Eti Kıyma	83
	Galeta Unu	9
	Tuz	1
	Su	6
	Ekstrakt (Biberiye)	1
Kırmızı Soğan Kabuğu Ekstraktı İlaveli Burger	Sığır Eti Kıyma	83
	Galeta Unu	9
	Tuz	1
	Su	6
	Ekstrakt (Kırmızı Soğan Kabuğu)	1
Yeşil Çay Ekstraktı İlaveli Burger	Sığır Eti Kıyma	83
	Galeta Unu	9
	Tuz	1
	Su	6
	Ekstrakt (Yeşil Çay)	1

Halka şeklindeki kalıplar (2 cm x 4 cm) kullanılarak, sığır burger hamurları yaklaşık 100±1 g ağırlığında tartılarak şekil verilmiştir. Bu işlemler, her bir ekstrakt ilave edilen grup için ayrı ayrı yapılmıştır. Hazırlanan sığır burgerler 4 °C'deki buzdolabı şartlarında üzerleri streçlenerek 12 saat süreyle bekletilmiştir. Şekil 3.1'de çalışmamızda kullanılan sığır burger örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Kontrol grubu, biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş çiğ sığır burgerler

Air fryerde pişirme işleminde (Tefal, BH570DF, P.R.C.) sığır burgerler 190°C sıcaklıkta 4 dk süre ile pişirilmiştir. Mangalda pişirme işleminde; (50 cm x 30 cm alana ve 45 cm genişliğe sahip geleneksel ev tipi mangal) kömür ile burger örnekleri arası mesafe 5-8 cm şeklinde bırakılarak, meşe kömürü kullanılarak 190°C-200 °C'de aralığında 4 dk (2 dk ön tarafı 2 dk arka tarafı) süre ile pişirilmiştir. Çalışmaya ait iş akış planı Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerin iş akış diyagramı.

3.2.3. Nem analizi

Nem içerikleri(%); (AOAC, 2000)'de bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.4. Protein analizi

Protein içerikleri(%); (AOAC, 2000)'de bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.5. Yağ analizi

Yağ içerikleri(%); (AOAC, 2000)'de bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.6. Kül analizi

Kül içerikleri(%); (AOAC, 2000)'de bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.7. pH analizi

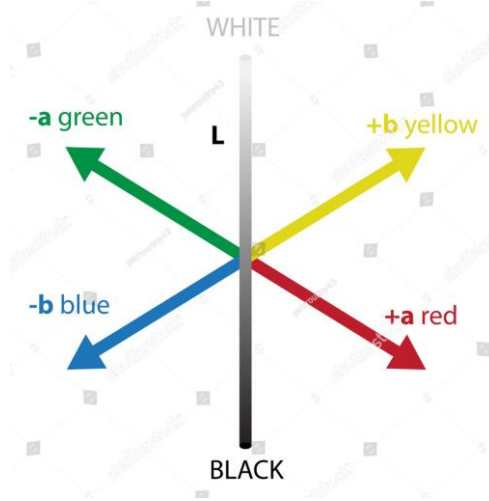
Örneklerin pH değerleri; pH metre (Testo 205 pH-Temperatur- Messgerat, AG Postfach 1140, 79849, Lenzkirch Almanya) yardımıyla belirlenmiştir.

3.2.8. Pişirme verimi analizi

Pişirme işlemleri öncesi ve sonrası sığır burger ağırlıkları tartılmış, aradaki fark alınarak yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

3.2.9. Renk analizi

Kromometre cihazı (CR-400 Minolta Co, Osaka, Japan) kullanılarak renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) belirlenmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. CIE L^* , a^* , b^* renk koordinat sistemi (Anonymous, 2022).

3.2.10. Tekstür profil analizi (TPA)

Piştirme işlemi uygulanmış her bir sığır burger örneğinin tekstürel özellikleri, tekstür profil analiz cihazında (TA-XT Plus Texture Analyser, UK) yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. TA-XT Plus Texture Analyser cihazı

3.2.11. Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) analizi

Homojenize edilmiş sığır burger örneklerinden 5 g örnek alınarak 50 mL'lik santrifüj tüpüne aktarılmış ve üzerine 15 mL asetronitril eklenmiştir. Daha sonra örnekler çalkalanarak karıştırılmış ve üzerine QuEChERS ekstraksiyon kiti eklenmiş, 1 dk süreyle tekrar çalkalanmış ve 4000 rpm'de 10 dk süreyle santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 5-6 mL alınarak QuEChERS saflaştırma tüplerine aktarılmış ve tekrar 1 dk süreyle çalkalanmış, ardından aynı şartlarda tekrar santrifüj edilmiştir. Süpernatant viallere aktararak 1 µL GC MS cihazına enjekte edilmiştir. Analizler; Thermo GC-MS (Trace GC - ISQ MS) cihazında, TRB-5MS kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon bloğu sıcaklığı 250 °C olarak ayarlanmıştır. GC fırın sıcaklığı başlangıçta 50 °C'ye ayarlanmış ve 15°C/dk hızla 185 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış, bu sıcaklıkta 5 dk bekletilmiştir. Son olarak yine aynı hızla 250 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 5 dk süreyle bekletilerek analiz tamamlanmıştır.

3.2.12. Duyusal analiz

Kontrol grubu, biberiye, kırmızı soğan kabuğu, yeşil çay ekstraktları ile hazırlanmış, air fryer ve mangalda pişirme yöntemleriyle pişirilmiş sığır burgerlerin duyusal analizleri, Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve lisansüstü öğrencilerinden oluşan 20 deneyimli panelist yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Sunum kapları içerisinde rastgele kodlanmış bir şekilde sunulan sığır burgerlerine renk, tat, koku, gevreklik ve genel kabul edilebilirlik parametreleri için 1 ile 9 arasında puanlama (1:oldukça kötü- 9: mükemmel) yapılmıştır.

3.2.13. İstatistiksel analizler

Analiz sonuçlarında elde edilen veriler, deneme desenine uygun olarak hazırlanan çizelgeler halinde MINITAB® release 16.0 programı kullanılarak Varyans Analizi'ne tabi tutulmuştur. Grup ortalamaları arasındaki farkların önemli olup olmadığını kontrol etmek için Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılmıştır.

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hammadde Sığır Etinin Fizikokimyasal Özellikleri

Sığır burger formülasyonunda kullanılan sığır eti kıymasına ait nem, protein, yağ, kül içerikleri, pH ve renk değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Sığır eti kıymasına ait ortalama nem içeriği; %69.21, protein; %19.97, yağ; %9.15, kül; %2.54, L^* (parlaklık); 45.85, a^* (kırmızılık); 14.35, b^* (sarılık); 13.80 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Burger formülasyonunda kullanılan sığır etlerinin nem, protein, yağ, kül içerikleriyle (%), L^* , a^* ve b^* değerleri

KIYMA	NEM	PROTEİN	YAĞ	KÜL	L^*	a^*	b^*
K1	69.36	20.05	9.29	2.66	46.4	14.5	13.8
K2	69.80	19.89	9.00	2.41	45.3	14.2	13.8

K1: I. Tekerrürde kullanılan sığır etinin ortalama değerleri
K2: II. Tekerrürde kullanılan sığır etinin ortalama değerleri

Abdallah ve ark. (2024); sığır eti kıymasının nem içeriğini; %68.18±1.32, protein içeriğini; %19.38±0.57, yağ içeriğini; %11.27±0.36 ve kül içeriğini; %1.02±0.04 olarak belirlemişlerdir.

Morsy ve Elsabagh (2021); sığır eti nem, protein ve yağ içeriklerini sırasıyla; %63.33±0.58, %19.26±0.11 %16.18±0.24 olarak belirlemişlerdir.

Trujillo-Santiago ve ark. (2021); sığır etinin nem içeriğini %70.21±0.11, protein içeriğini; %23.35±3.93, yağ içeriğini; %5.39±0.02 ve kül içeriğini; %1.01±0.05 olarak tespit etmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise; sığır eti nem içerikleri; %76.88, protein içerikleri; %22.83, yağ içerikleri; %3.51 ve kül içerikleri; %1.10 olarak belirlenmiştir (de Alencar ve ark., 2022).

Sığır eti kıyması ile formülize edilen köfte örneklerinde, hammadde sığır eti nem, protein, yağ ve kül miktarları sırasıyla; %73.09, %22.56, %2.46 ve %1.12 olarak belirlenmiştir (Villalobos-Delgado ve ark., 2020).

Sığır eti kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada renk analiz sonuçları; L^* 39.69, a^* 13.0, b^* 2.05 olarak rapor edilmiştir (Sun ve ark., 2019).

Bir başka çalışmada; sığır eti nem içeriği; %71.12, protein; 21.87, yağ; 5.82, kül; 1.09 ve renk değerleri ise; L^* 39.61, a^* 19.55, b^* 6.92 olduğu bildirilmiştir (Cheng ve ark., 2023).

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların, literatür bulguları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4.2. Bitki Materyallerine Ait Antioksidan Aktivite (DPPH), Toplam Fenolik ve Toplam Flavonoid Madde Analizi Sonuçları

Biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktlarına ait DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat), toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde içeriklerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.2.'de; Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.2.'deki Varyans Analizi sonuçları incelendiğinde; bitki materyallerinin antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde içerikleri arasındaki farkların istatistiki açıdan çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Bitki materyallerinin antioksidan aktivite, toplam fenolik ve toplam flavonoid madde içeriklerine ait Varyans Analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	Antioksidan Aktivite DPPH		SD	Toplam Fenolik Madde TPC		SD	Toplam Flavonoid Madde TFC	
		KO	F		KO	F		KO	F
Muamele	2	709.86	151.88**	2	1954.80	84.59**	2	555.67	299.99**
Hata	3	4.67		3	23.10		3	1.85	
Genel	5			5			5		

** $P < 0.01$, seviyesinde önemli

Çizelge 4.3. Bitki materyallerinden elde edilen ekstraktların ortalama antioksidan aktivite, toplam fenolik ve toplam flavonoid madde içeriklerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları*

Bitki Materyali	DPPH (%)	TPC (mg GAE/100 mL)	TFC (mg CE/100 mL)
Biberiye	70.02±2.01 ^A	59.07±8.32 ^A	33.31±1.44 ^A
Kırmızı Soğan Kabuğu	38.24±1.21 ^B	2.80±0.31 ^A	0.05±0.02 ^C
Yeşil Çay	71.66±2.92 ^A	54.53±0.17 ^B	18.70±1.87 ^B

*Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak ($P < 0.01$) birbirinden farklıdır.

Biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktlarının antioksidan aktiviteleri sırasıyla; %70.02, % 38.24 ve % 71.65 şeklinde belirlenmiştir.

Toplam fenolik madde içeriği; en düşük kırmızı soğan kabuğu ekstraktında 2.8 mg CE/100 mL, en yüksek yeşil çay ekstaktında 59.07 mg CE/100 mL olarak belirlenmiştir.

Andrade ve ark. (2023); sığır etinin raf ömrü için aktif ambalaj maddesi olarak kullandıkları biberiye ve yeşil çayın antioksidan aktivite, toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriklerini belirlemişlerdir. Bir başka çalışmada biberiyenin antioksidan aktivitesi (%), toplam fenolik (mg/g) ve toplam flavonoid madde (mg/g) içerikleri sırasıyla; %92.34±0.28, 857.14±18.16 ve 611.93±5.55 şeklinde tespit edilmiştir. Yeşil çayın antoksidan aktivitesi (%), toplam fenolik (mg/g) ve toplam flavonoid madde (mg/g) içeriklerinin sırasıyla; 90.07±0.14, 478.20±42.85 ve 174.25±2.24 olduğu rapor edilmiştir.

Civanperçemi, sinirli otu ve biberiye ekstraktlarının toplam fenolik madde içerikleri incelendiğinde biberiye ekstraktının %11.73 ile en yüksek değere sahip olduğu bilgisi verilmiştir (Kaygısız, 2021).

Salman ve ark. (2022); yeşil çay, oolong ve siyah çayların fenolik madde içerikleri, antioksidan aktivite ve antimikrobiyal etkilerini araştırdıkları çalışmalarında; yeşil çayın DPPH ve toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla; 24.92±0.64 ve 11.45±0.01 şeklinde belirlemişlerdir.

Kwon ve ark. (2023); biberiyenin TPC içeriğinin 36.47±0.44 mg GAE/g kuru madde ve DPPH aktivitesinin ise; %46.35±0.05 olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat), toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde içerikleri, literatür ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

4.3. Sığır burgerlerine uygulanan analiz sonuçları

4.3.1. Nem analiz sonuçları

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilip air fyer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerin nem içeriklerine ait Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.4. ve Çizelge 4.5’de, Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise; Çizelge 4.8.’de verilmiştir.

Çizelge 4.4.'deki Varyans analizi sonuçlarına göre mangalda pişirilmiş burgerlerin nem içerikleri istatistiki olarak etkilenmemiştir ($P > 0.05$). Air fryerda pişirme işlemi burgerlerin nem içeriğini istatistiki olarak çok önemli düzeyde etkilemiştir ($P < 0.01$).

Çizelge 4.4. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin nem içeriklerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	26.81	32.52**	0.74	0.71
Hata	4	0.82		1.04	
Genel	7				

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.5.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; biberiye ve yeşil çay ilave edilen sığır burgerlerin nem içerikleri istatistiki yönden çok önemli ($P < 0.01$), kırmızı soğan kabuğu ilave edilmiş sığır burgerlerin nem içerikleri ise istatistiki yönden önemli ($P < 0.05$) düzeyde etkilenmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin nem içeriklerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Piştirme Yöntemi	1	17.98	13.61	43.23	112.31**	84.09	67.15*	195.16	252.13**
Hata	2	1.32		0.39		1.25		0.78	
Genel	3								

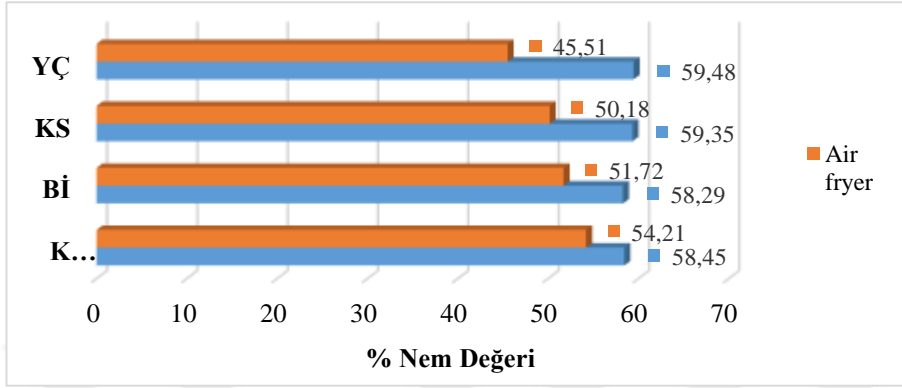
** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.6. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama nem içeriklerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Piştirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	54.21±1.24 ^{Aa}	51.72±0.35 ^{ABb}	50.18±1.18 ^{Bb}	45.51±0.50 ^{Cb}
Mangal	2	58.45±1.05 ^{Aa}	58.29±0.81 ^{Aa}	59.35±1.05 ^{Aa}	59.48±1.14 ^{Aa}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı piştirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait piştirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Çizelge 4.6. incelendiğinde; kontrol grubu ile biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ilave edilmiş örneklerin nem içeriklerine bakıldığında; mangalda pişirilmiş örneklerin nem içeriğinin, air fryerda pişirilmiş olanlara göre daha yüksek nem içeriklerine sahip olduğu belirlenmiştir.



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.1. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin nem içeriklerindeki değişim

Air fryerda pişirilmiş muamele gruplarına bakıldığında, örneklerin nem içeriklerinin %45.51-54.21 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek nem içeriği (%54.21) kontrol grubu örneklerde belirlenirken, en düşük nem içeriği (%45.51) yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş burgerlerde tespit edilmiştir.

Mangalda pişirilmiş örneklerin nem içeriğinin %58.29 ile %59.48 arasında değiştiği görülmüştür. Mangalda pişirilmiş örneklerin nem içerikleri arasında önemli farklılıklar görülmemiştir ($P > 0.05$).

Akcan ve ark. (2024), farklı meşe palamutu unu oranlarıyla (%0, %3, %6, %9) hazırladıkları pişirilmiş köftelerdeki nem içeriklerinin sırasıyla; 50.37 ± 8.06 , 50.28 ± 1.75 , 48.88 ± 1.43 , 49.88 ± 0.55 olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar kullanmış oldukları meşe palamutu ununun, pişmiş sığır köftelerinin nem içerikleri üzerine önemli bir etkisinin ($P > 0.05$) olmadığını bildirmişlerdir. Farklı oranlarda meşe palamudu unu eklenerek elde edilen köfteler karşılaştırıldığında pişirme işleminin ve pişirme süresinin nem içeriklerinin azalmasında etkili olabileceğini rapor etmişlerdir.

Sığır burger ve vegan burgerlerin pişirme işlemi sonucunda nem içeriklerini karşılaştırmak için yapılan çalışmada, sığır burgerlerin nem içeriğinin ortalama; %50.3±0.2 olduğu bildirilmiştir (Ariz ve ark., 2024).

Sucuk formülasyonlarında kullanılan sığır etinin ortalama nem içeriğinin %48.98 olduğu belirtilmiştir (Babaoğlu, 2020).

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen nem değerleri literatür bulguları ile uyumlu sonuçlar göstermektedir.

4.3.2. Protein analiz sonuçları

Çizelge 4.7.'de air fryerda pişirilmiş örneklerin protein içerikleri; %27.37-30.53 aralığında değiştiği görülmüştür. Air fryerda pişirilmiş burgerlere ilave edilen bitki ekstraktlarının burgerlerin protein içeriğini istatistiki olarak çok önemli düzeyde etkilemiştir ($P < 0.01$). Mangalda pişirilmiş burgerlere ilave edilen bitki ekstraktları burgerlerin protein içeriğini istatistiki olarak etkilememiştir ($P > 0.05$).

Çizelge 4.7. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin protein içeriklerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	4.39	18.11**	0.19	0.29
Hata	4	0.24		0.63	
Genel	7				

** $P < 0.01$, seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.8. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin protein içeriklerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Piştirme Yöntemi	1	27.51	1272.14**	9.57	369.43**	25.50	21.74*	52.13	2888**
Hata	2	0.02		0.03		1.17		0.02	
Genel	3								

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

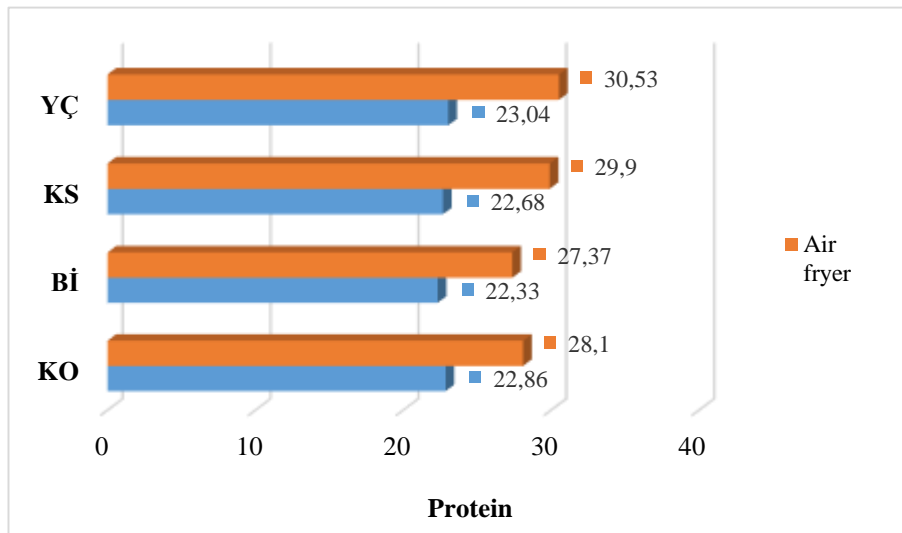
Çizelge 4.8.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; sadece pişirme yöntemi faktörü incelendiğinde kontrol, biberiye ve yeşil çay içeren sığır burgerlerinin protein içerikleri çok önemli ($P<0.01$) düzeyde etkilenirken; kırmızı soğan kabuğu ekstaktı ilavesinin protein içerikleri üzerine etkisi önemli ($P<0.05$) düzeyde bulunmuştur.

Çizelge 4.9. verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları incelendiğinde; kontrol gurubu ve ekstrakt ilaveli gruplarda mangalda pişirme yöntemine göre, air fryerda pişirme yönteminde protein içerikleri daha yüksektir. Bu durumun muhtemelen air fryerda pişirme işlemi sırasında sıcak hava ile buharlaşan suyla birlikte artan kuru maddeye bağlı oransal olarak protein içeriğindeki artıştan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Protein içerikleri air fryerda ve mangalda pişirme yöntemlerinde en düşük, biberiye ekstaktı ilave edilmiş sığır burgerlerinde belirlenirken en yüksek yeşil çay ekstaktı ilave edilmiş sığır burgerlerde görülmüştür. Örnek gruplarının protein içerikleri %22.33-30.53 aralığında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.9. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama protein içeriklerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	28.10±0.20 ^{BCb}	27.37±0.94 ^{Cb}	29.9±0.13 ^{ABb}	30.53±0.17 ^{Ab}
Mangal	2	22.86±0.06 ^{Aa}	22.33±1.21 ^{Aa}	22.68±0.13 ^{Aa}	23.04±1.02 ^{Aa}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstaktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstaktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstaktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.2. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin protein içeriklerindeki değişim

Patinho ve ark. (2021), farklı konsantrasyonlarda (%5, %10, %15) kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) ilave ederek hazırladıkları sığır burgerlerinin protein içeriklerini sırasıyla; %16.14, %15.83, %16.05 şeklinde belirlemişlerdir.

Sığır burgerlerine farklı konsantrasyonlarda bakla tohumları (*Vicia faba L.*) ve keten tohumu unu ilave edilerek elde edilen formülasyonlar sonucunda, örnek gruplarının protein içeriklerinin %22.4- %26.4 aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Ribes ve ark., 2024).

Çalışmamızda sığır burgerlerdeki protein değerleri, literatür sonuçları ile uyum göstermiştir.

4.3.3. Yağ analiz sonuçları

Kontrol grubu ve biberiye, kırmızı soğan kabuğu, yeşil çay ekstaktları ilave edilerek; air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerinin yağ içeriklerine ait Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.10. ve 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. daki Varyans Analizi sonuçları incelendiğinde pişirme yöntemlerinin istatistikî açıdan çok önemli ($P<0.01$) düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin yağ içeriklerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	1.45	62.64**	1.92	58.31**
Hata	4	0.02		0.03	
Genel	7				

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.11.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; farklı pişirme yönteminin, kontrol ve biberiye ekstraktı ilave ettiğimiz sığır burgerlerinin yağ içerikleri istatistiki yönden çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkilenmiştir. Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilavesinin etkisi önemli ($P < 0.05$) ve yeşil çay ekstraktı ilavesinin etkisinin ise önemsiz ($P > 0.05$) düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin yağ içeriklerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Piştirme Yöntemi	1	7.81	1197.25**	9.57	369.43**	2.79	57.98*	0.02	0.5
Hata	2	0.01		0.03		0.05		0.03	
Genel	3								

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

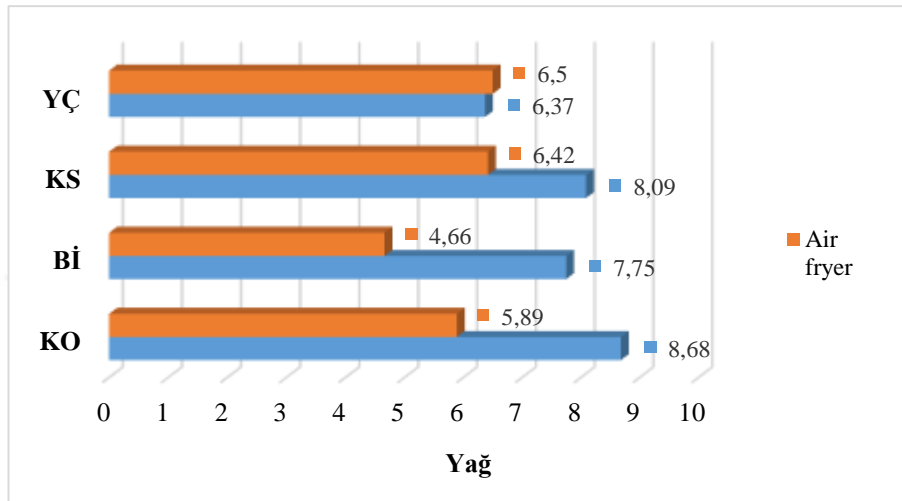
Çizelge 4.12. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama yağ içeriklerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Piştirme Yöntemi	n	Muamele			
		KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	5.89±0.11 ^{Ab}	4.66±0.13 ^{Ab}	6.42±0.21 ^{Ab}	6.50±0.13 ^{Ba}
Mangal	2	8.68±0.04 ^{Aa}	7.75±0.18 ^{ABa}	8.09±0.23 ^{Ba}	6.37±0.21 ^{Ca}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı piştirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait piştirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Çizelge 4.12.'de verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları incelendiğinde; air fryerda piştirme işlemi sonucu mangalda piştirme sonucuna göre yağ

içerikleri kontrol, biberiye ve kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerde düşük çıkarken, yeşil çay ilave edilmiş guruptaki burgerlerde yüksektir. En düşük yağ içeriği air fryerda pişmiş biberiye ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerde belirlenirken en yüksek yağ içerikleri mangalda pişmiş kontrol grubu sığır burgerlerde tespit edilmiştir.



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.3. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin yağ içeriklerindeki değişim

Kurutulmuş hibisküs (*Hibiscus sabdariffa L.*) yapraklarının farklı düzeylerde ilave edildiği sığır burgerlerinin yağ oranları; 7.55 ± 0.35 - 7.66 ± 0.37 aralığında belirlenmiştir (do Nascimento ve ark., 2024).

Çalışmada elde ettiğimiz sığır burgerlere ait yağ değerlerinin literatür verileri ile benzer olduğu görülmüştür.

4.3.4. Kül analiz sonuçları

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilip air fryer ve mangalda pişirilen sığır burgerlerine ait kül içeriklerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.13. ve Çizelge 4.14.'de; Tukey Çoklu karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.13.'e ait Varyans Analiz sonuçlarına göre muamele faktörünün sığır burger gruplarının air fryerda pişirme yöntemi üzerine çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde olduğu, ancak mangalda pişirme yöntemi üzerine etkisinin önemsiz ($P > 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.13. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin yağ içeriklerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	0.04	34.57**	0.04	0.79
Hata	4	0.00		0.05	
Genel	7				

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.14.'deki Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi faktörü incelendiğinde; kontrol grubu ve biberiye, kırmızı soğan kabuğu, yeşil çay ilavesinin sığır burgerlerinin yağ içeriklerine etkisi istatistiki yönden önemsiz ($P > 0.05$) düzeydedir.

Çizelge 4.14. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin yağ içeriklerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

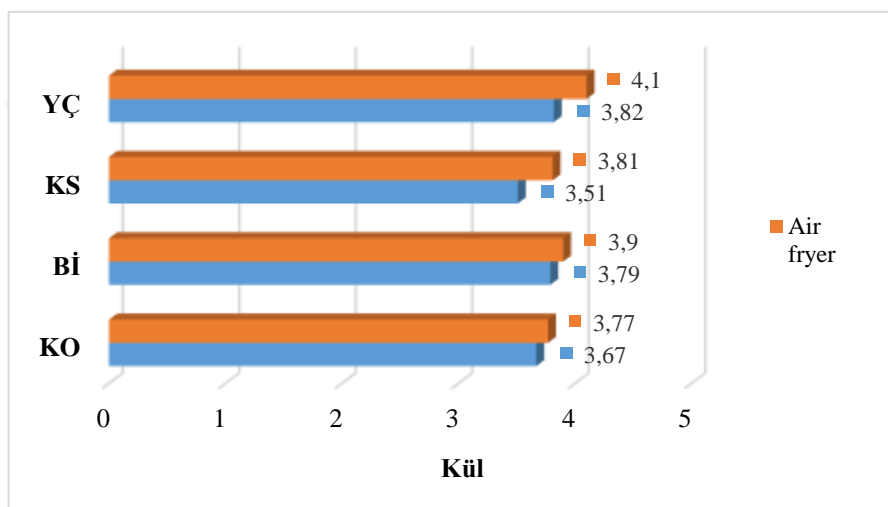
Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Pişirme Yöntemi	1	0.01	0.54	0.01	12.1	0.09	1.15	0.08	17.9
Hata	2	0.02		0.00		0.08		0.00	
Genel	3								

Çizelge 4.15'de verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma test sonuçlarına göre; air fryerda pişirme sonucu örneklerin kül içeriklerinin, mangalda pişirmeye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük kül içerikleri; kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilip mangalda pişirilmiş sığır burgerlerinde saptanmıştır. En yüksek kül içeriği ise yeşil çay ekstraktı ilave edilip air fryerda pişirilmiş örneklerde belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama kül içeriklerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	3.77±0.06 ^{Aa}	3.9±0.01 ^{Ba}	3.81±0.01 ^{Ba}	4.1±0.04 ^{Ba}
Mangal	2	3.67±0.18 ^{Aa}	3.79±0.04 ^{Aa}	3.51±0.40 ^{Aa}	3.82±0.09 ^{Aa}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.4. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin kül içeriklerindeki değişim

Çeşitli formülasyonlarda çemen otu tohumunun unu ilave edilerek hazırlanmış az yağlı sığır burgerlerin pişirilmesi sonucu örneklerin kül miktarlarının $2.70\pm 0.0-3.03\pm 0.06$ aralığında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Tabarestani ve ark., 2024).

Kılıç ve ark. (2018), sığır hamburger köftelerinin kül içeriklerinin %1.87 ile %2.79 aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda sığır burgerlere ait ortalama kül içeriklerinin, literatür bulguları ile uyumlu sonuçlar gösterdiği düşünülmektedir.

4.3.5. pH analiz sonuçları

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilip air fryer ve mangalda pişirilen sığır burgerlere ait pH değerlerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.16. ve Çizelge 4.17.'de; Tukey Çoklu karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.18'te verilmiştir.

Çizelge 4.16.'daki Varyans Analizi sonuçları incelendiğinde muamele faktörünün air fryer pişirme yönteminde istatistiki açıdan önemli ($P<0.05$) mangalda pişirme yönteminde ise çok önemli ($P<0.01$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.16. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin pH değerlerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	pH AF		pH M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	0.000713	14.25*	0.00274	51.51**
Hata	4	0.00005		0.000053	
Genel	7				

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.17.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi faktörü incelendiğinde bitki ekstraktları ilavesinin pH değerleri üzerinde istatistiki yönden önemsiz ($P>0.05$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin pH değerlerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

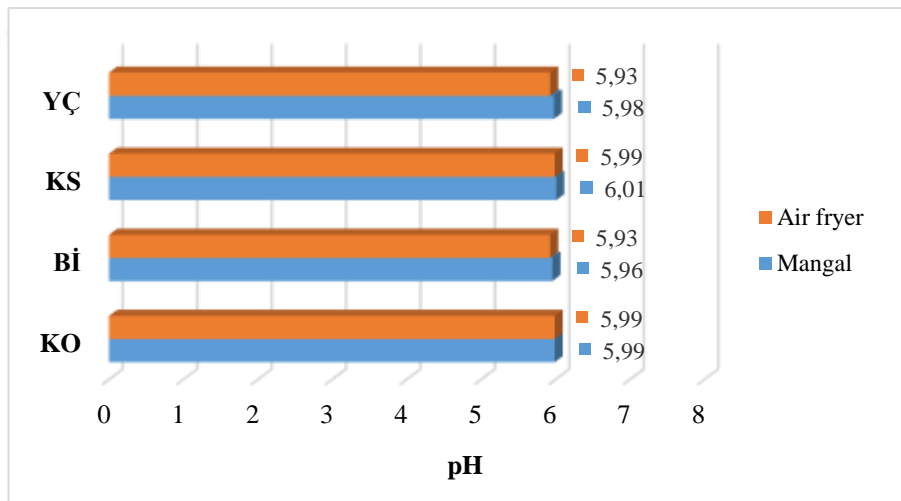
Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	0.000030	1.00	0.001600	12.80	0.000400	***	0.002360	40.11
Hata	2	0.000030		0.000130		0.000000		0.000056	
Genel	3								

Çizelge 4.18'de; çeşitli bitki ekstraktları ilave edilmiş air fryer ve mangalda pişirilen sığır burger örneklerinin pH değerleri verilmiştir. En düşük (5.93 ± 0.01) pH değeri; biberiye ekstraktı ilave edilerek mangalda pişirilmiş sığır burger örneklerinde belirlenmiştir. En yüksek (6.01 ± 0.00) pH değeri ise kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş air fryerda pişirilen sığır burger örneklerinde görülmüştür.

Çizelge 4.18. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama pH değerlerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	5.99±0.00 ^{Aa}	5.96±0.02 ^{ABa}	6.01±0.00 ^{Ba}	5.98±0.00 ^{Ba}
Mangal	2	5.99±0.01 ^{Aa}	5.93±0.01 ^{Aa}	5.99±0.00 ^{Ba}	5.93±0.01 ^{Ba}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.5. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin pH değerlerindeki değişim

Mujović ve ark. (2023), rezene (*Foeniculum vulgare*) esansiyel yağı ve süper kritik sıvı ekstraktları ilave ettikleri sığır burgerlerde; antioksidan ve antimikrobiyal etkileri incelemişlerdir. Pişirme işlemi uygulanmamış kontrol grubu sığır burgerlerin pH değeri 5.58±0.01 olarak belirlenmiştir. Muamele grubuna ait sığır burger örneklerinin pH değerlerinin ise 5.50±0.04 ile 5.57±0.04 aralığında olduğunu ifade etmişlerdir.

Oz (2021), üç farklı grup pişmiş sığır eti köftelerine ait pH değerlerini 6.07±0.04, 6.07±0.02, 6.10±0.02 olarak belirlemiştir.

Lee ve ark. (1999), formülasyonunda %1 oranında carnosin kullanılarak elde ettikleri sığır eti köftelerinin pH değerlerini birinci günde 6.31 üçüncü günde 6.09;

kontrol örneklerinde ise birinci günde 5.71 üçüncü günde 5.47 olduğunu rapor etmişlerdir.

Farklı pişirme teknikleri kullanılarak pişirilmiş hamburger köftelerinin pH değerleri 5.94- 5.98 olarak rapor edilmiştir (Şimşek, 2020). Sığır burger ve köfte örneklerine uygulanan pişirme işlemiyle birlikte örneklerin pH değerlerinde artış olduğu ifade edilmiştir (Li KaWang ve ark., 2018).

Çalışmamızda elde edilen pH değerlerinin literatür verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Literatür verileri ile uyum göstermeyen değerlerin burger örneklerine ilave edilen bitki ekstraktlarının kendilerine özgü etken madde içeriklerinin etkilerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Benzer şekilde yapılan bir çalışmada biberiye ekstresi, üzüm çekirdeği ekstresi ve yeşil çay ekstresi içeriğindeki polifenollerin N-nitrozaminlerin oluşumu ve tütsülenmiş sos kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Örneklerdeki pH düşüşünün, bitki ekstraktlarındaki fenolik asitler ve asidik bileşiklerin varlığıyla ilişkili olduğu bilgisi verilmiştir (Zhou ve ark., 2020).

4.3.6. Renk analiz sonuçları

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilip air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerine ait renk parametrelerinin (L^* , a^* , b^*) verilerine ait Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.19. ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.19.’a ait Varyans Analiz sonuçlarına göre pişirme yöntemi faktörünün air fryer ve mangalda pişmiş sığır burger gruplarının a^* renk parametresi üzerine, istatistiki olarak çok önemli ($P<0.01$) düzeyde etkisi olduğu belirlenmiştir. Air fryer ile pişirme faktörünün parlaklık ve sarılık (L^* ve b^*) renk parametreleri üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemsiz ($P>0.05$) düzeyde saptanmıştır.

Mangalda pişirme yönteminin L^* ve b^* sığır burgerlerinin renk parametreleri üzerine etkisinin önemli ($P<0.05$) düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.19. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin renk parametrelerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF						M					
		L^*		a^*		b^*		L^*		a^*		b^*	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	3	3.44	2.36	1.24	16.36	3.27	4.84	22.81	43.25*	1.13	129.65**	1.36	9.19*
Hata	4	1.46		0.08		0.68		0.52		0.01		1.15	
Genel	7												

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.20.'e ait Varyans analiz sonuçlarına göre; L^* değerlerinin kontrol grubu ve yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş gruplarda etkisinin istatistiki açıdan önemsiz ($P > 0.05$), biberiye ve kırmızı soğan kabuğu ekstraktları eklenmiş gruplarda ise önemli ($P < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Kontrol ve kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilavesinin; örneklerin a^* değerleri üzerine etkisi istatistiki açıdan önemsiz ($P > 0.05$) iken biberiye ekstraktı ilave edilmiş grupta önemli ($P < 0.05$) ve yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş grupta çok önemli ($P < 0.01$) olduğu tespit edilmiştir. b^* değerleri incelendiğinde; kontrol, kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ve yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş gruplarda istatistiki açıdan önemli ($P < 0.05$); biberye ekstraktı eklenmiş gruplarda çok önemli ($P < 0.01$) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.20. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin renk parametrelerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO						Bİ					
		L^*		a^*		b^*		L^*		a^*		b^*	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	11.87	14.72	0.74	5.83	9.64	40.5*	6.15	34.98*	0.64	41.52*	19.51	252.02**
Hata	2	0.81		0.13		0.24		0.18		0.02		0.08	
Genel	3												

Varyasyon Kaynağı	SD	KS						YÇ					
		L^*		a^*		b^*		L^*		a^*		b^*	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	43.82	66.07*	0.01	0.41	23.62	78.66*	13.82	5.95	3.32	300.42**	21.00	20.35*
Hata	2	0.66		0.02		0.30		2.32		0.01		1.03	
Genel	3												

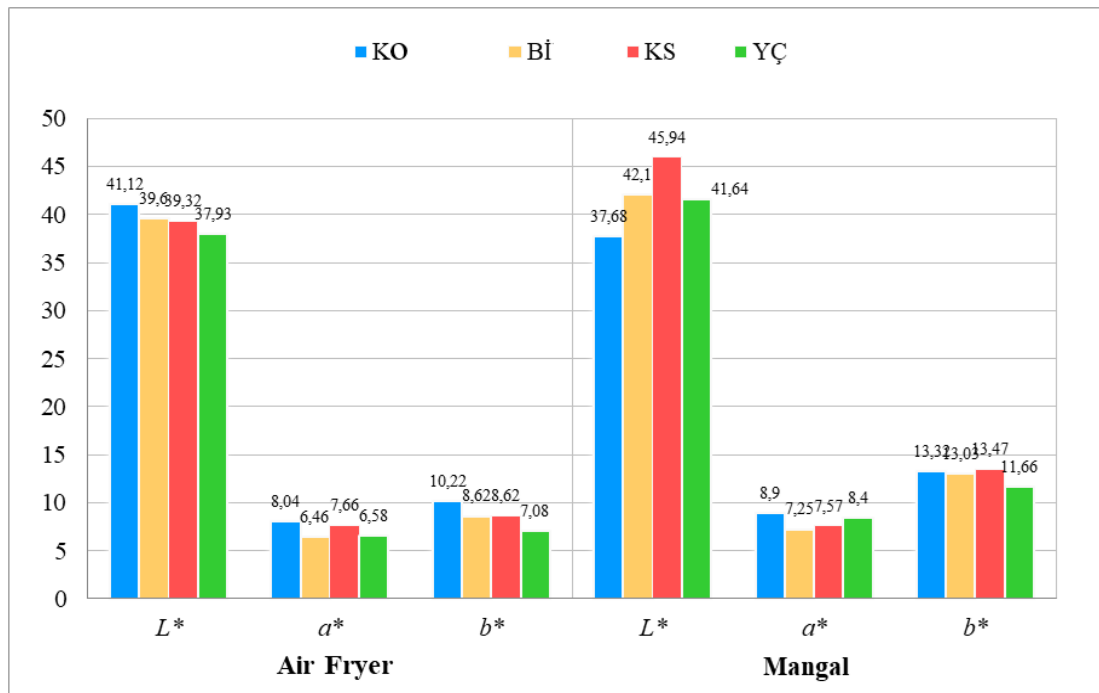
** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

Air fryer ve mangal kullanılarak pişirilmiş, çeşitli bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burger örneklerinin L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) değerlerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.21. de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama renk parametrelerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Muamele		n	Pişirme Yöntemi	
			AF	M
L^*	KO	2	41.12±1.10 ^{Aa}	37.68±0.65 ^{Aa}
	Bİ	2	39.60±0.26 ^{Ab}	42.10±0.54 ^{Ca}
	KS	2	39.32±1.10 ^{Ab}	45.94±0.34 ^{ABa}
	YÇ	2	37.93±1.83 ^{Aa}	41.64±1.14 ^{BCa}
Renk a^*	KO	2	8.04±0.50 ^{Aa}	8.90±0,01 ^{Aa}
	Bİ	2	6.46±0.16 ^{Cb}	7.25±0,07 ^{Ca}
	KS	2	7.66±0.08 ^{ABa}	7.57±0.16 ^{Ca}
	YÇ	2	6.58±0.13 ^{BCb}	8.40±0.08 ^{Ba}
b^*	KO	2	10.22±0.24 ^{Ab}	13.32±0.63 ^{Aa}
	Bİ	2	8.62±0.39 ^{Ab}	13.03±0.06 ^{ABa}
	KS	2	8.62±0.77 ^{Ab}	13.47±0.03 ^{Aa}
	YÇ	2	7.08±1.37 ^{Ab}	11.66±0.44 ^{Ba}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.6. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin renk değerlerindeki değişim

Çizelge 4.21. incelendiğinde; L^* değerleri karşılaştırıldığında biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktlarının sığır burgerlere ilavesinin air fryer pişirme yönteminde mangalda pişirme yöntemine göre düşük değerlere sahip olduğu, kontrol grubunun ise mangalda pişirme yöntemine göre yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

a^* değeri istatistiki olarak incelendiğinde; kırmızı soğan kabuğu ilavesi ile air fryer yöntemiyle pişirmede mangalda pişirme yöntemine göre düşük değerler gösterirken, diğer muamele grupları yüksek değerler göstermiştir. En yüksek a^* değeri 8.90 ± 0.01 ile mangalda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde görülürken en düşük a^* değeri 6.46 ± 0.16 ile biberiye ekstraktı ilave edilip air fryerda pişirilmiş burger örneklerinde görülmüştür.

Örnek gruplarının b^* değeri; mangalda pişirme yöntemine göre air fryerda pişirme yönteminde düşük değerler göstermiştir. Air fryerda pişirme yönteminde bitki ekstraktlarının sığır burgerlere ilavesi b^* değerleri üzerinde etkisizdir ($P > 0.05$). En yüksek b^* değeri 13.47 ± 0.03 ile kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş mangalda pişirilmiş sığır burger örneklerinde görülürken, en düşük b^* değeri 7.08 ± 1.37 ile air fryerda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş sığır burger örneklerinde belirlenmiştir.

Wang ve ark. (2024a); farklı sürelerde fırında pişirilmiş istiridyelere çeşitli konsantrasyonlarda yeşil çay ekstraktı ilave etmişlerdir. Genel olarak yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş örneklerin kontrol grubu örneklerine göre daha az parlaklık (L^*) değerlerine sahip olduğu raporlanmıştır. Tüm gruplarda L^* değeri artan pişirme süresiyle birlikte azalan bir eğilim göstermiştir. Pişirme süresiyle birlikte örneklerin a^* değerleri artmıştır. Yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş örneklerde kontrol grubu örneklerine göre a^* değerinin arttığı rapor edilmiştir ($P < 0.05$).

Çeşitli konsantrasyonlarda su mercimeği ekstraktı ve askorbik asitin ilave edilerek modifiye atmosferde paketlenmiş sığır burgerlerinin raf ömrü, 19 gün boyunca 4°C 'de incelenmiştir. Çalışmada genel olarak askorbik asit kullanımının örneklerin a^* değerlerini diğer gruplara göre koruduğu belirtilmiştir (Rocchetti ve ark., 2023).

Soya proteini eklenmiş tam sorgum unu, tanen içeren sorgum unu ve tanen içermeyen sorgum unları ilave edilerek hazırlanmış sığır burgerlerinin fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada; %3 oranında soya proteini eklenmiş

sığır burgerlerde pişirme sonrası parlaklık (L^*) değerinde azalma olduğu belirtilmiştir ($P<0.05$) (do Prado ve ark., 2019).

Bir başka çalışmada; Sicilya sumacı (*Rhus coriaria L*) ilave edilen sığır burgerlerin kalite ve duyu özellikleri incelenmiştir. Pişirme işlemiyle birlikte örneklerin L^* ve b^* değerleri artarken a^* değeri azalmıştır. Sicilya sumacı ilave edilmiş muamele grupları kontrol grubu örneklerinden daha düşük L^* değerlerine, daha yüksek a^* ve b^* değerlere sahip olduğu rapor edilmiştir ($P<0.05$) (Grassi ve ark., 2024).

Air fryerda 3 dakika süre ile pişirilen sığır eti köftelerinin renk parametreleri; L^* : 52.0 ± 0.9 , a^* : 8.6 ± 0.6 b^* : 17.8 ± 0.9 ; 6 dakika pişirilen sığır eti köftelerinin renk parametreleri L^* : 45.8 ± 1.0 a^* : 8 ± 0.3 b^* : 17.3 ± 1.3 olarak tespit edildiği bildirilmiştir (Vu ve ark., 2022).

Pişirme işlemi esnasında L^* değeri; enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesine bağlı olarak azalırken a^* değeri genellikle kademeli olarak artar ve b^* değeri ise başlangıçta artar ve pişirilen gıdada meydana gelen esmerleşme reaksiyonları ilerledikçe giderek azalır (Teruel ve ark., 2015; Cao ve ark., 2020; Ding ve ark., 2022).

Elde ettiğimiz renk parametrelerinin literatür verileri ile aralarında görülen farklılıkların sebebi olarak ilave edilen bitki materyallerinin kendilerine özgü renk pigmentlerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

4.3.7. Pişirme verimi analiz sonuçları

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilerek air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlere ait pişirme verimi değerlerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.22. ve Çizelge 4.23.'da; Tukey Çoklu karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. incelendiğinde; muamele faktörü etkisinin, air fryerda pişirme işlemi üzerine istatistiksel açıdan önemli ($P<0.05$) mangalda pişirme işlemi üzerine ise çok önemli ($P<0.01$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge.4.22. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerin pişirme verimi değerlerine ait verilerin Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	4.31	7.40*	12.16	208.88**
Hata	4	0.58		0.06	
Genel	7				

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.23.'da verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi incelendiğinde kontrol grubu sığır burger örneklerinin pişirme verimi değerleri ve bitki ekstraktları ilave edilen sığır burger örneklerinin pişirme verimi değerleri istatistiki yönden çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkilenmiştir.

Çizelge.4.23. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin pişirme verimi değerlerine ait verilerin Varyans analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Pişirme Yöntemi	1	186.75	637.7**	241.33	313.29**	497.75	10793**	367.28	2118.27**
Hata	2	0.29		0.770		0.05		0.173	
Genel	3								

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.24. Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları incelendiğinde; mangalda pişirme uygulanmış sığır burger örneklerinin pişirme verimi değerleri, air fryerda pişen sığır burger örneklerinin pişirme verimi değerlerindenedaha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. En yüksek (89.64 ± 0.26) pişirme verimi değerleri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş mangalda pişirilen sığır burger örneklerinde görülürken en düşük (67.33 ± 0.16) pişirme verimi değerleri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş air fryerda pişirilen sığır burger örneklerinde görülmüştür.

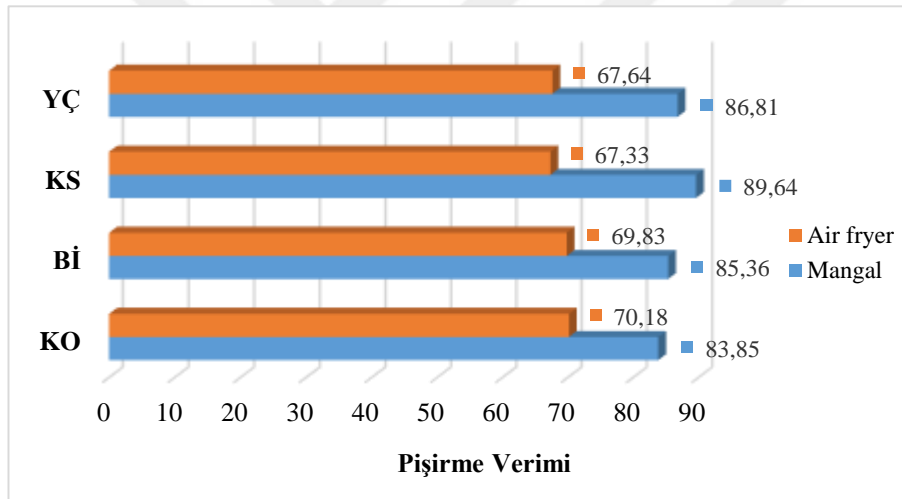
Air fryerda pişirilmiş sığır burger örneklerinin en yüksek pişirme verimi değerleri sırasıyla; kırmızı soğan kabuğu ekstrakt ilaveli, yeşil çay ekstraktı ilaveli, biberiye ekstraktı ilaveli ve kontrol grubu olarak tespit edilmiştir. Mangalda pişirilmiş sığır burger örneklerinin en yüksek pişirme verimi değerleri sırasıyla; kontrol grubu

örnekleri, biberiye ekstraktı ilaveli, biberiye ekstraktı ilaveli, yeşil çay ekstraktı ilaveli ve kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş sığır burger örneklerinde görülmüştür.

Çizelge.4.24. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama pişirme verimi değerlerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	n	Muamele			
		KO	Bİ	KS	YÇ
Piştirme Verimi					
Air fryer	2	70.18±0.70 ^{Ab}	69.83±1.23 ^{Ab}	67.33±0.16 ^{Ab}	67.64±0.55 ^{Ab}
Mangal	2	83.85±0.32 ^{Da}	85.36±0.16 ^{Ca}	89.64±0.26 ^{Aa}	86.81±0.19 ^{Ba}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı piştirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait piştirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.7. Air fryer ve mangalda piştirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin piştirme verimi değerlerindeki değişim

Fadiloglu ve ark. (2023), ceviz yağı, aspir yağı ve karabuğday ile formüle edilmiş glutensiz sığır burger örneklerinin piştirme verimi değerleri incelendiğinde; %68.48±1.14-%78.77±0.98 aralığında değişim gösterdiği rapor edilmiştir.

Karabuğday, nohut, mısır ve darı unu ile ekme kırıntılarının yer değiştirerek formüle edilmiş glutensiz sığır eti köftelerinin özellikleri incelendiğinde çalışmada;

örneklerin pişirme verimi değerlerinin 80.53 ± 0.44 - 85.28 ± 1.29 aralığında değiştiği bildirilmiştir (Babaoğlu, 2022).

Akcan ve ark. (2024), meşe palamudu unu ilavesiyle elde ettikleri sığır eti köftelerinin; kontrol grubu ve %3, %6, %9 meşe palamudu unu ilaveli, pişirme verimlerini sırasıyla 69.59 ± 7.27 , 72.57 ± 4.78 , 76.61 ± 3.00 ve 82.55 ± 2.29 olarak bulgulamışlardır.

Çalışmamızda sığır burgerlere ait yapışkanlık değerlerinin literatür bulguları ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

4.3.8. Tekstür profil analizi

4.3.8.1. Hardness (Sertlik)

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilerek air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerine ait sertlik değerlerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.25. ve Çizelge 4.26.'da; Tukey Çoklu Karşılaştırma testi sonuçları; Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.25.'e ait Varyans Analiz sonuçlarına göre muamele faktörünün farklı pişirme yöntemlerinde sertlik değerleri üzerinde istatistiki açıdan çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkisi olduğu belirlenmiştir.

Çizelge.4.25. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerinin sertlik değerlerine ait verilerin ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	1246.26	416.63**	519.4	36.80**
Hata	4	2.99		14.1	
Genel	7				

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.26.'da verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi faktörü incelendiğinde, biberiye ekstraktı ilave ettiğimiz sığır burgerlerinin sertlik değerleri istatistiki açıdan önemsiz ($P > 0.05$) düzeyde etkilenirken; kontrol grubu, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilavesinin etkisi istatistiki açıdan çok önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir ($P < 0.01$).

Çizelge.4.26. Farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin sertlik değerlerine ait verilerin Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Piştirme Yöntemi	1	11423.26	2806.80**	360.6	17.50	1331.58	178.19**	634.57	307.31**
Hata	2	4.07		20.6		7.47		2.07	
Genel	3								

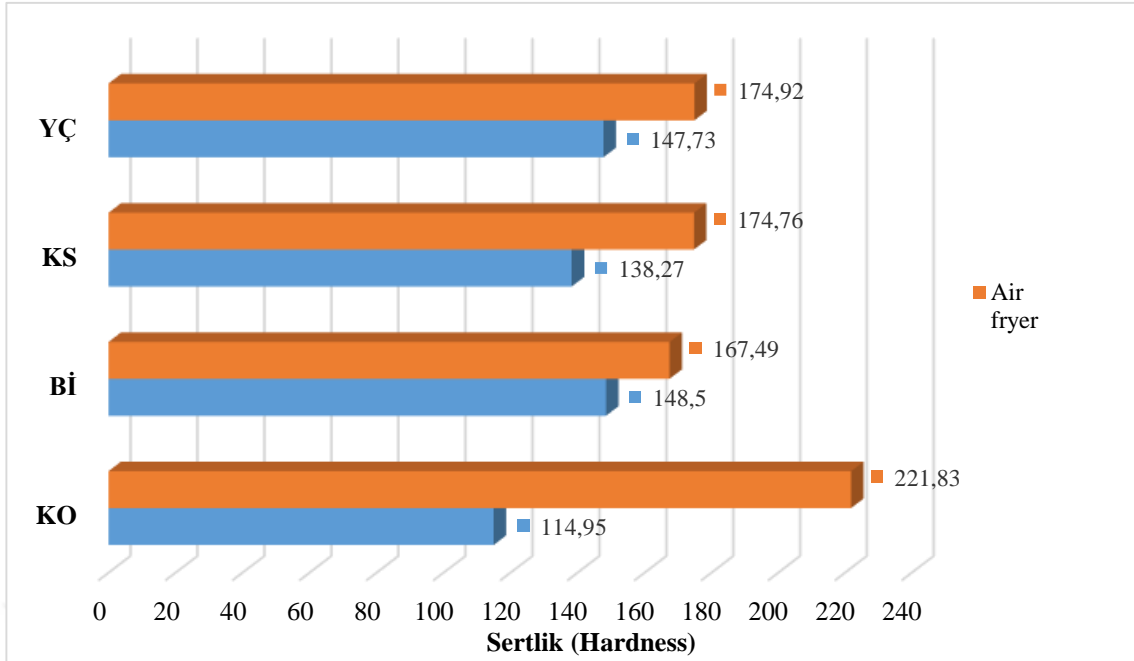
** $P < 0.01$, seviyesinde önemli

Çizelge 4.27.'de verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları incelendiğinde; air fryerda pişen sığır burgerlerin sertlik değerleri, mangalda pişen sığır burgerlerin sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Air fryerda pişen sığır burgerlerde kontrol grubu sertlik değerleri, bitki ekstraktlarının ilave edildiği sığır burgerlerin sertlik değerlerinden daha yüksek iken; mangalda pişirilen sığır burgerlerde kontrol grubu sertlik değerlerinin bitki ekstraktı ilave edilen sığır burgerlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 221.83 N ile air fryerda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde, en düşük sertlik değeri 114.95 N ile mangalda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde belirlenmiştir.

Çizelge.4.27. Farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama sertlik değerlerine ait (N) Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Piştirme Yöntemi	n	Muamele			
		KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	221.83±2.34 ^{Aa}	167.49±0.37 ^{Ca}	174.76±1.49 ^{Ba}	174.92±2.03 ^{Ba}
Mangal	2	114.95±1.63 ^{Bb}	148.50±6.41 ^{Aa}	138.27±3.57 ^{Ab}	147.73±0.16 ^{Ab}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı piştirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait piştirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.8. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin sertlik değerlerindeki (N) değişim

Kırmızı soğan kabuğu ilave edilmiş sığır burgerlerinin her iki pişirme yönteminde de diğer bitki ekstraktı ilave edilen sığır burgerlerine göre daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Liu ve ark. (2024); sığır burgerlerinde hayvansal yağ yerine ikame edilen Hindistan cevizi yağının sığır burgerlerde pişirme kaybını korurken, buna bağlı olarak nemli yapısını koruduğunu ve yumuşaklık olarak hayvansal yağ kullanılan gruplara kıyasla sertlik değerlerinin daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir.

Farklı tuz konsantrasyonlarına sahip, Şitaki Mantarı (*Lentinula edodes*) ekstraktı ilavesi ile elde edilen sığır burger örneklerinde hardness (sertlik) değerlerinin 190.39 N-251.74 N aralığında ölçüldüğü rapor edilmiştir (França ve ark., 2022).

Keten tohumu türevi digliserit bazlı yüksek iç fazlı Pickering emülsiyonu ile yeniden formüle edilmiş sığır köftelerinin kalite özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmada; sertlik, çignenebilirlik ve sakızimsılık özelliklerinin yağ ikamesinin azalmasıyla %50 seviyelerine kadar azaldığı ve daha sonra yağ ilavesinin artmasıyla birlikte bu değerlerde de artış görüldüğü rapor edilmiştir. Sertlik değerlerinin 18.42 ± 0.38 - 30.72 ± 0.42 N aralığında değişkenlik gösterdiği ifade edilmiştir (Badar ve ark., 2024).

Yu ve ark. (2024), biberiye ekstraktı ilaveli sığır eti köftelerinin sertlik değerlerini; 4669.92 ± 93.66 g olarak belirlemişlerdir.

Air fryerda yüksek sıcak hava muamelesi ile pişirilen surumi örneklerinin sertlik değerlerinin, çiğ surumilerle kıyaslandığında yaklaşık iki katına ulaştığı bilgisi verilmiştir (Yu ve ark., 2020). Bu durumun sebebinin; air fryerda pişirme işlemi ile birlikte hızlı bir sürede yüksek sıcaklığa ulaşıldığı, ve gıdalarda mevcut yağ damlacıklarının tutunduğu havanın gıdanın etrafında sert bir kabuk oluşturmasıyla bağlantılı olabileceği ileri sürülmüştür (Teruel ve ark., 2015; Zaghi ve ark., 2019).

Sığır burgerlerine ait sertlik (hardness) değerlerinin literatür verilerine benzerlik gösterdiği ancak bazı çalışmalardan da farklı olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu farklılıkların bitki ekstraktlarının çeşidi, ekstraktların ilave edildiği materyal, ekstraktların uygulandığı formülasyon gibi etkenlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

4.3.8.2. Springiness (Elastikiyet)

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilerek air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlere ait elastikiyet değerlerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.28. ve Çizelge 4.29.'da verilmiştir.

Çizelge.4.28. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerinin elastikiyet değerlerine ait verilerin ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	0.001	21.52**	0.004	3.83
Hata	4	0.00003		0.0011	
Genel	7				

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge.4.29. Farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin elastikiyet değerlerine ait verilerin Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	0.0010	0.40	0.001	1.41	0.00013	0.43	0.0100	126.06**
Hata	2	0.0012		0.001		0.00030		0.0001	
Genel	3								

** $P < 0.01$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.30.'de verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde; air fryer ile pişirilen sığır burger örneklerinin mangalda pişirilen aynı grup sığır burger örneklerine göre elastikiyet değerleri daha yüksektir. Her iki tip pişirme yönteminde de en yüksek elastikiyet değerleri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerde görülmekte iken en düşük elastikiyet değerleri yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerde görülmüştür. Tüm gruplar incelendiğinde sığır burgerlerdeki elastikiyet değerleri 0.67 ± 0.01 ile 0.79 ± 0.002 aralığında değişmektedir.

Çizelge.4.30. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama elastikiyet değerlerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	0.76 ± 0.01^{Ba}	0.76 ± 0.01^{Ba}	0.79 ± 0.002^{Aa}	0.75 ± 0.01^{Ba}
Mangal	2	0.74 ± 0.05^{Aa}	0.73 ± 0.04^{Aa}	0.78 ± 0.02^{Aa}	0.67 ± 0.01^{Ab}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Martín-Mateos ve ark. (2022), yapmış oldukları çalışmada; farklı konsantrasyonlarda kirazı (*pico negro variety*) ilave ederek burgerlerin tekstürel özelliklerini incelemişlerdir. Pişmiş sığır burgerlerde %2, %6 ve %10 oranlarında kiraz ilavesi sonucunda örneklerin elastikiyet değerleri sırasıyla 0.80 cm, 0.84 cm ve 0.85 cm olarak rapor edilmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda açılı yağ ilave edilerek ızgarada pişirilmiş sığır eti köftelerinin springiness değerlerinin 0.2 ± 0.01 ile 0.48 ± 0.03 aralığında değiştiği bilgisi rapor edilmiştir (Hanula ve ark., 2022).

Çalışmamızda sığır burgerlere ait elastikiyet değerleri literatür bulguları ile uyumlu sonuçlar göstermektedir.

4.3.8.3. Cohesiveness (İç Yapışkanlık)

İç yapışkanlık verilerine ait Varyans Analiz sonuçlarına göre, çeşitli bitki ekstraktı kullanımının sığır burgerlerin iç yapışkanlık değerleri üzerine etkisinin istatistikî açıdan önemli ($P<0.05$) düzeyde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge.4.31. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerinin iç yapışkanlık değerlerine ait verilerin ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	0.004	10.94*	0.003	10.43*
Hata	4	0.00034		0.0003	
Genel	7				

* $P < 0.05$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.32.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi incelendiğinde iç yapışkanlık değerleri kontrol grubu çok önemli ($P < 0.01$), biberiye ekstraktı ilave edilen sığır burgerler önemli ($P < 0.05$) ve kırmızı soğan kabuğu ile yeşil çay ekstraktı ilave edilen sığır burger gruplarını istatistikî yönden önemsiz ($P > 0.05$) düzeyde etkilemiştir.

Çizelge.4.32. Farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin iç yapışkanlık değerlerine ait verilerin Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	0.02	152.36**	0.01	41.77*	0.001	1.35	0.001	3.14
Hata	2	0.0001		0.0002		0.001		0.00043	
Genel	3								

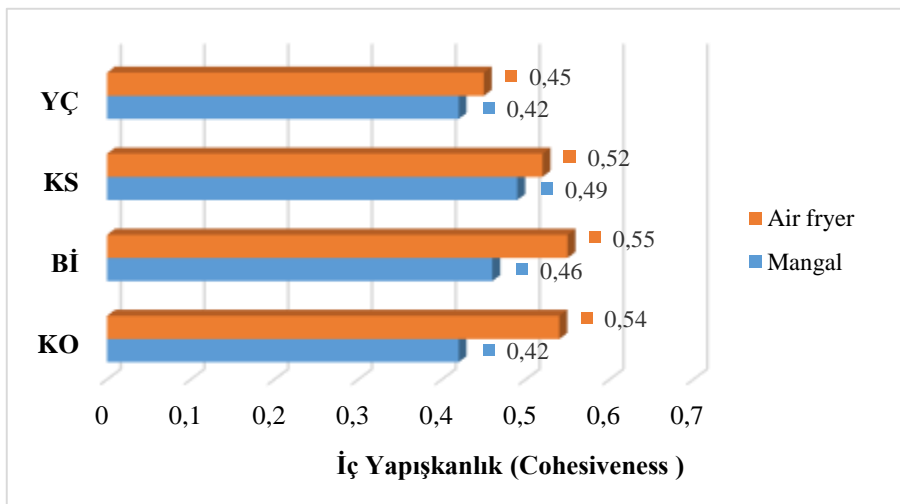
** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.33.'de verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde; air fryer ile pişirilen sığır burgerlerin iç yapışkanlık değerleri mangalda pişirilen sığır burgerlerin iç yapışkanlık değerlerine göre daha yüksektir. Air fryerda pişirilen sığır burger örneklerinde en yüksek iç yapışkanlık değeri biberiye ekstraktı ilave edilen grupta görülürken mangalda pişirme yönteminde en yüksek iç yapışkanlık değeri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş sığır burger gruplarında görülmüştür. Her iki grupta da iç yapışkanlık değerlerinin 0.42 ± 0.01 ila 0.55 ± 0.02 aralığında olduğu görülmüştür.

Çizelge.4.33. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama iç yapışkanlık değerlerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	0.54±0.01 ^{Aa}	0.55±0.02 ^{Aa}	0.52±0.01 ^{ABa}	0.45±0.03 ^{Ba}
Mangal	2	0.42±0.01 ^{Bb}	0.46±0.01 ^{ABb}	0.49±0.03 ^{Aa}	0.42±0.01 ^{Ba}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil 4.10. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; kontrol grubu, biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlere ait iç yapışkanlık (cohesiveness) değerlerindeki değişim

Kurkumin ve sodyum bikarbonatın farklı konsantrasyonlarda birlikte uygulamalarının 1, 3, 5 ve 7. günlerinde sığır köfteleri üzerindeki tekstürel özellikleri incelendiğinde dış yapışkanlık değerlerinin 0.26 ± 0.01 - 0.51 ± 0.01 aralığında değiştiği rapor edilmiştir. En yüksek dış yapışkanlık değerleri sırasıyla kurkumin ve sodyumbikarbonatın birlikte ilave edildiği köftelerde, sodyum bikarbonat ilaveli köftelerde, kurkumin ilaveli ve kontrol grubu köftelerinde olduğu vurgulanmıştır (Chen ve ark., 2024).

Deng ve ark. (2024), %0.05, %0.25 ve %0.50 oranlarında yeşil çay ekstraktı ilave edilen domuz eti köftelerinin iç yapışkanlık değerleri sırasıyla; 0.73 ± 0.03 , 0.71 ± 0.05 ve 0.70 ± 0.02 olarak belirlenmiştir.

Çalışmamızda sığır burgerlere ait iç yapışkanlık değerleri literatür bulguları ile uyumlu sonuçlar vermekle beraber, sonuçların bazı çalışmalardan da farklı olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu farklılıkların bitki ekstraktlarının çeşidi, ekstraktların ilave edildiği materyal, ekstraktların uygulandığı formülasyon gibi etkenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.3.8.4. Chewiness (Çiğnenebilirlik)

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilip air fryer ve mangalda pişirilen sığır burgerlere ait çiğnenebilirlik değerlerinin Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.34. ve Çizelge 4.35.'de; Tukey Çoklu karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.36'de verilmiştir.

Çizelge 4.34.'deki Varyans analizi sonuçlarına göre mangal kullanılarak pişirilmiş örneklerde yapılan muameleler örneklerin çiğnenebilirlik değerini istatistiki olarak önemli ($P < 0.05$) düzeyde etkilemiştir; air fryer kullanılarak pişirilmiş örneklerde ise istatistiki olarak çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkilemiştir.

Çizelge.4.34. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerinin çiğnenebilirlik değerlerine ait (N) verilerin ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	337.65	42.30**	131.00	12.33*
Hata	4	7.98		10.60	
Genel	7				

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.38.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi faktörü incelendiğinde, biberiye ekstraktı, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilave edilen sığır burger örneklerinin çiğnenebilirlik değerleri istatistiki açıdan önemli ($P < 0.05$) düzeyde etkilenirken; kontrol grubu sığır burgerlerin çiğnenebilirlik değerlerinin istatistiki açıdan çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge.4.35. Farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin çiğnenebilirlik değerlerine ait (N) verilerin Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	3019.87	1414.80**	380.80	27.74*	488.97	52.77*	303.50	25.10*
Hata	2	2.13		13.70		9.27		12.10	
Genel	3								

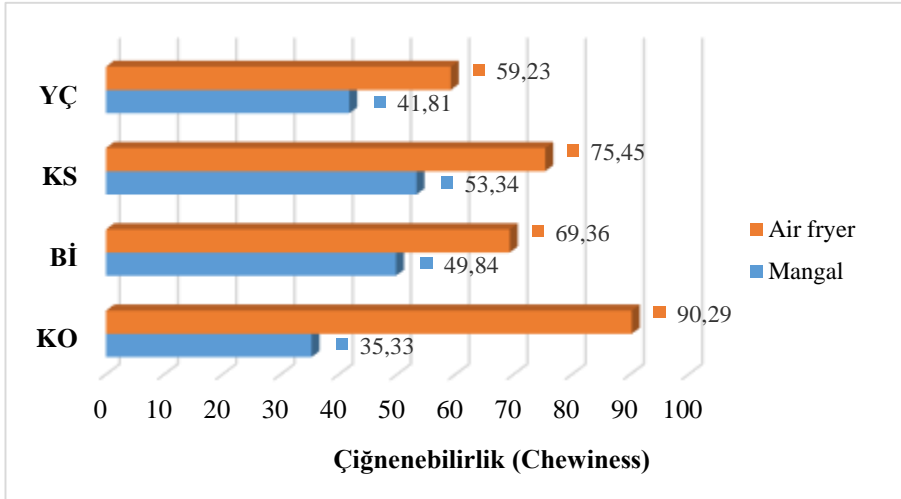
** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.39.'de verilen Tukey Çoklu Karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde; air fryerda pişirilmiş sığır burgerlerin mangalda pişirilmiş sığır burgerlere kıyasla çiğnenebilirlik değerleri belirgin bir şekilde yüksek olarak tespit edilmiştir. Air fryerda pişirilen sığır burgerlerin çiğnenebilirlik değerleri arasında belirgin farklılıklar mevcuttur. Mangalda pişirilen sığır burgerlerin biberiye ve kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş burgerlerin çiğnenebilirlik değerleri arasında anlamlı farklılıklar görülmezken kontrol grubu sığır burgerlerin çiğnenebilirlik değerleri belirgin şekilde düşük olduğu tespit edilmiştir. Her iki pişirme yöntemi incelendiğinde; en düşük (35.33 ± 2.03) N çiğnenebilirlik değerleri mangalda pişirilmiş kontrol grubu örneklerde belirlenirken en yüksek (90.29 ± 0.35) N çiğnenebilirlik değerleri air fryerda pişirilmiş sığır burger örneklerinde görülmüştür.

Çizelge.4.36. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama çiğnenebilirlik değerlerine ait (N) Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	n	Muamele			
		KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	90.29 ± 0.35^{Aa}	69.36 ± 2.48^{BCa}	75.45 ± 1.23^{Ba}	59.23 ± 4.91^{Ca}
Mangal	2	35.33 ± 2.03^{Bb}	49.84 ± 4.62^{Ab}	53.34 ± 4.13^{Ab}	41.81 ± 0.20^{ABb}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (\rightarrow), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (\downarrow), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup
Şekil 4.11. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; kontrol grubu, biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlere ait çiğnenebilirlik (chewiness) değerlerindeki değişim

Tabarestani ve ark. (2024), düşük yağlı sığır burgerlere %0.05, %0.25 ve %0.5 oranlarında ilave edilen çemen tohumunun pişirme işlemi sonucunda örneklerin chewiness değerleri sırasıyla 104 ± 13.4 , 60 ± 3.8 ve 35 ± 5.1 olarak rapor edilmiştir. Çemen tohumu sakızının artan oranlarda ilavesinin chewiness değerleri üzerinde azaltıcı etkisi olduğu belirtilmiştir.

Zhang ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada sığır eti köftesine ait maksimum çiğnenebilirlik değerlerini 65 ile 82 aralığında olduğunu rapor etmiştir.

Sığır burgerlere ait çiğnenebilirlik değerlerimizin literatür verileri ile uyumlu sonuçlar verdiği fakat bazı çalışmalardan da farklı olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu farklılıkların bitki ekstraktlarının çeşidi, ekstraktların ilave edildiği materyal, ekstraktların uygulandığı formülasyon gibi etkenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.3.8.5. Resilience (Geri Dönüşüm)

Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilip air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlere ait geri dönüşüm değerlerinin verilerine ait Varyans Analiz sonuçları; Çizelge 4.37. ve Çizelge 4.38.'de verilmiştir.

Çizelge 4.39.'daki Varyans analizi sonuçlarına göre mangal kullanılarak pişirilmiş örneklerde yapılan muameleler örneklerin geri dönüşüm değerini istatistiki olarak çok önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkilemiştir. Air fryerda pişirilmiş örneklerde yapılan muameleler örneklerin esneklik değerini istatistiki olarak önemli ($P < 0.05$) düzeyde etkilemiştir.

Çizelge.4.37. Pişirme yöntemine göre sığır burgerlerinin geri dönüşüm değerlerine ait verilerin ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	AF		M	
		KO	F	KO	F
Muamele	3	0.002	9.37*	0.0011	30.27**
Hata	4	0.0002		0.00004	
Genel	7				

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli, AF: Air fryer, M: Mangal

Çizelge 4.38.'de verilen Varyans Analiz sonuçlarına göre; pişirme yöntemi faktörü incelendiğinde iç esneklik değerleri kontrol grubu sığır burger örneklerini çok önemli ($P < 0.01$), biberiye ekstraktı ilave edilen sığır burgerleri önemli ($P < 0.05$) ve kırmızı soğan kabuğu ile yeşil çay ekstraktı ilave edilen sığır burger gruplarını istatistiki yönden önemsiz ($P > 0.05$) düzeyde etkilemiştir.

Çizelge.4.38. Farklı bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerinin geri dönüşüm değerlerine ait verilerin Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO		Bİ		KS		YÇ	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	1	0.01	131.50**	0.003	44.80*	0.0002	2.55	0.001	2.04
Hata	2	0.0001		0.0001		0.0001		0.00024	
Genel	3								

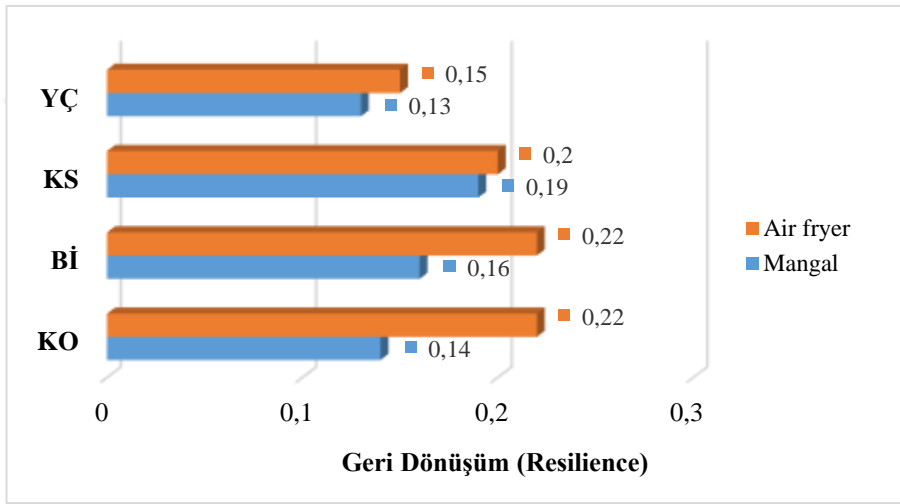
* $P < 0.05$ seviyesinde önemli; ** $P < 0.01$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.39. sonuçları incelendiğinde; air fryerda pişirilen sığır burgerlerin esneklik değerleri mangalda pişirilen sığır burgerlerin esneklik değerlerinden daha yüksek olarak belirlenmiştir. Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup dışındaki gruplarda pişirme yöntemi belirgin şekilde farklılıklar göstermiştir. Her iki pişirme yönteminde de en düşük esneklik değerleri yeşilçay ekstraktı ilave edilen sığır burgerlerde görülmüştür.

Çizelge.4.39. Farklı bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama geri dönüşüm değerlerine ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

Pişirme Yöntemi	Muamele				
	n	KO	Bİ	KS	YÇ
Air fryer	2	0.22±0.010 ^{Aa}	0.22±0.010 ^{Aa}	0.20±0.010 ^{ABa}	0.15±0.020 ^{Ba}
Mangal	2	0.14±0.003 ^{BCb}	0.16±0.001 ^{Bb}	0.19±0.010 ^{Aa}	0.13±0.002 ^{Ca}

Aynı satırdaki farklı harfler (A-C) (→), aynı pişirme yöntemine ait muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Aynı sütun farklı harfler (a-c) (↓), aynı muamele gruplarına ait pişirme yöntemleri arasındaki önemli farklılıkları belirtir. KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup



KO: Kontrol grubu Bİ: Biberiye ekstraktı ilave edilen grup, KS: Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilen grup, YÇ: Yeşil çay ekstraktı ilave edilen grup

Şekil.4.12. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; kontrol grubu, biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlere ait geri dönüşüm (resilience) değerlerindeki değişim

Soupez ve ark. (2025), düşük sığır eti ve yüksek sığır eti formülasyonları ile hazırlanan sığır burgerlerin Tekstür Profil Analizi üzerine yapmış oldukları çalışmada, Resilience değerlerinin 0.139- 9.159 aralığında olduğu rapor edilmiştir.

Bir başka çalışmada; dana burger köftelerinin resilience (geri dönüşüm) değerlerinin 0.04 ile 0.07 aralığında değiştiği belirtilmiştir (Kılıç ve ark., 2018).

Tekstür Profil Analizi sonucu olarak ortalama değerlere bakıldığında sığır burgerlerin hazırlanmasında kullanılan pişirme yönteminin etkisi görülmektedir. Air fryerda pişirilen sığır burger örneklerinin; hardness, springiness, cohesiveness, gumminess chewiness ve resilience değerlerinde mangalda pişirilen sığır burger örneklerinin değerlerine göre yükseklik görülmektedir. Özellikle air fryerda pişirilen

sığır burgerlerin artan sertliği esasen miyosin ve aktinin denatürasyonu ve agregasyonu ile ilişkilendirilebilir. Bu da protein matrisinin büzülmesine ve sıvıların dışarı çıkmasına sebep olabildiği bildirilmiştir (Ismail ve ark., 2019).

Çalışmamızda sığır burgerlere ait yapışkanlık değerlerinin literatür bulguları ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

4.3.9. Polisiklik aromatik hidrokarbon analiz sonuçları

4.3.9.1. Polisiklik aromatik hidrokarbonların LOD, LOQ ve geri kazanım değerleri

Çalışmamızda elde edilen Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) bileşiklerine ait tespit edilebilme sınırı (LOD), tayin edilme sınırı (LOQ) ve geri kazanım verileri Çizelge 4.40.'de verimiştir.

Çizelge 4.40. incelendiğinde; PAH'lara ait LOD değerleri 1.12-4.39 ppb arasında değişiklik gösterirken, LOQ değerleri ise 3.40-13.28 ppb değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Geri kazanım değerleri %99.398- 126.224 arasında değişiklik göstermiştir. Mevcut LOD, LOQ ve geri kazanım değerlerinin literatür verileri ile uyumlu olduğunu ifade edebiliriz (Babaoğlu, 2023).

Çizelge.4.40. Poliskilik Aromatik Hidrokarbonlara ait LOD, LOQ ve Geri Kazanım Değerleri

Bileşen	LOD (ppb)	LOQ (ppb)	R ²	% Geri Kazanım
Na	3.06	9.26	0.992024045	106.868
Ac	3.21	9.72	0.990598320	108.296
Ace	2.25	6.83	0.992993164	126.224
F	2.48	7.51	0.993922765	105.428
Pa	2.41	7.30	0.994259795	101.620
An	2.08	6.31	0.995707778	101.070
Flu	2.38	7.20	0.994408388	103.334
Py	2.35	7.13	0.994518771	103.720
BaA	1.12	3.40	0.998545347	99.398
Chry	2.72	8.22	0.990244245	101.200
BbF ve BkF	1.99	6.03	0.995424421	101.782
BaP	1.78	5.39	0.995628712	100.404
Incdp	4.39	13.28	0.980606580	99.988
DahA	3.95	11.97	0.985325116	101.612
BghiP	2.71	8.21	0.991925348	100.790

Na: Naphthalene Ac: Acenaphthylene Ace: Acenaphthene F: Fluorene Pa: Phenanthrene An: Anthracene Flu: Fluoranthene Py: Pyrene BaA: Benzo[a]anthracene Chry: Chrycene BbF: benzo[b]fluoranthene BkF: benzo[k]fluoranthene BaP: benzo[a]pyrene DahA: dibenz[a,h]anthracene BghiP: benzo[ghi]perylene Icdp: indeno(1,2,3-cd)pyrene

Çizelge 4.41. incelendiğinde; Acenaphthene, Fluorene ve Phenanthrene miktarları istatistiki yönden çok önemli ($P<0.01$) düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Acenaphthylene miktarı istatistiki açıdan önemli ($P<0.05$) düzeyde tespit edilmiştir.

Çizelge.4.41. Air fyer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerin formülasyonuna ilave edilen çeşitli bitki ekstraktlarının Polisiklik Aromatik Hidrokarbon analiz verilerine ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	Ace		F		Ac		Pa	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	4	4074.90	199.79**	3196.42	461.70**	30.77	10.87*	2174.70	39.52**
Hata	5	20.04		6.92		2.83		55.00	
Genel	9								

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ seviyesinde önemli

Çizelge 4.42. incelendiğinde; air fryerda pişirilen sığır burgerlerin PAH değerlerinin, mangalda pişirilen sığır burgerlerinin PAH değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Her iki pişirme yönteminde de en düşük toplam PAH değerleri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ve yeşilçay ekstraktı ilave edilen sığır burgerlerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.42. Bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burgerlerinin ortalama Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) miktarlarına ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ait Tukey Çoklu Karşılaştırma Test sonuçları

PAH Bileşikleri ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MKO	MBİ	MKS	MYÇ	AKO	ABİ	AKS	AYÇ
Na	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac	70.55±0.01 ^b	104.69±1.10 ^a	16.47±2.69 ^c	4.80±2.35 ^c	ND	93.47±9.38 ^a	ND	ND
Ace	8.91±1.160 ^{ab}	12.03±0.658 ^a	3.59±1.966 ^b	3.78±2.242 ^b	ND	ND	ND	3.44±1.867 ^b
F	10.62±1.195 ^b	83.46±0.926 ^a	ND	ND	ND	75.60±4.299 ^a	ND	ND
Pa	21.86±6.42 ^b	99.98±2.22 ^a	29.41±1.83 ^b	20.69±15.04 ^b	26.77±5.31 ^b	87.72±6.12 ^a	21.78±6.07 ^b	19.45±7.88 ^b
A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BaA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chry	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BbF ve BkF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BaP	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
InP	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DahA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BghiP	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ΣPAH4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ΣPAH16	111.95±8.78	195.48±4.90	49.47±6.48	29.28±19.63	26.77±5.31	256.79±19.79	21.78±6.07	22.89±9.74

Aynı satırdaki farklı harfler (a-c) (→), muamele grupları arasındaki önemli farklılıkları belirtir. Ortalama±standart hata

AFKO: Air fryerda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerler, AFBİ: Air fryerda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerler, AFKS: Air fryerda pişirilmiş Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerler, AFYÇ: Air fryerda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerler, MKO: Mangalda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerler, MBİ: Mangalda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerler, MKS: Mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerler, MYÇ: Mangalda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerler. Na: Naphthalene Ac: Acenaphthylene Ace: Acenaphthylene F: Fluorene Pa: Phenanthrene An: Anthracene Flu: Fluoranthene Py: Pyrene BaA: Benzo[a]anthracene Chry: Chrysene BbF: benzo[b]fluoranthene BkF: benzo[k]fluoranthene BaP: benzo[a]pyrene DahA: dibenz[a,h]anthracene BghiP: benzo[ghi]perylene Icdp: indeno(1,2,3-cd)pyrene

Air fryer ve mangalda pişirilen örneklerin her ikisinde de; Naphthalene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene+ benzo[k]fluoranthene (toplam), Benzo[a]pyrene, İndeno (1,2,3,-cd)pyrene, Dibenzo[a,h]anthracene, Benzo[ghi]perylene tespit edilememiştir.

Air fryer ve mangalda pişirilmiş biberiye ekstraktlı burger örneklerinde Acenaphthylene'nin değerlerinin en yüksek değerlerde olduğu görülürken, air fryer pişirme yöntemi uygulanmış diğer muamele gruplarında ise Acenaphthylene tespit edilememiştir.

Acenaphthene'nin değerleri; mangalda pişirilmiş sığır burger örneklerinde air fryerda pişirilmiş sığır burgerlere göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Air fryerda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burger grubu dışında herhangi bir grupta Acenaphthene tespit edilememiştir.

Fluorene değerleri incelendiğinde; mangalda pişirilmiş sığır burger örneklerinde ortalama en yüksek (83.465 µg/kg) değerler biberiye ekstraktı ilave edilmiş sığır burger örneklerde belirlenirken yine air fryerda pişirilmiş sığır burger gruplarında biberiye ekstraktı ilaveli burgerler dışında diğer gruplarda Fluorene tespit edilememiştir.

Phenanthrene ait en yüksek değerler her iki pişirme yönteminde de biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerlerinde tespit edilmiştir.

∑ PAH16 değerleri mangalda pişirilmiş, kontrol grubu sığır burgerlerde 111.95 µg/kg; biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde 195.5 µg/kg; kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde 49.5 µg/kg; yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde 29.28 µg/kg olarak tespit edilmiştir. ∑ PAH16 değerleri air fryerda pişirilmiş, kontrol grubu sığır burgerlerde 26.77 µg/kg; biberiye ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerde 256,79 µg/kg kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş burgerlerde 21,78 µg/kg; yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş burgerlerde 22.89 µg/kg şeklinde tespit edilmiştir.

Babaoğlu (2023); meşe odun kömürü kullanarak pişirmiş olduğu sığır eti köftelerinde oluşan PAH bileşenlerini değerlendirdiğinde, ∑ PAH16 değerinin 62.89 µg/kg olduğunu belirlemiştir. Sığır eti köftelerinde BbF, BkF, BaP, IP, DhA, Na, A, Fl, BaA bileşikleri tespit edilememiştir. ∑ PAH4 değeri ise tespit edilemedi şeklinde ifade edilmiştir.

Derin yağda pişirilmiş tavuk eti örneklerinde toplam Polisiklik Aromatik Hidrokarbon içerikleri (∑ PAH) 264-317 µg/kg iken, air fryerda 180 °C'de 20 dakika pişirilen örneklerde ise ∑ PAH 96-271 µg/kg düzeylerinde belirlenmiştir (Jong-Sun ve ark., 2020).

Farklı hayvansal yağlarla formülize edilmiş ve mangalda pişirilmiş sığır eti köftelerinde (ng/g) BaA; 2.37- 4.48, Chry; 2.10- 3.91, BbF; 1.57- 2.26, BaP; 2.33- 4.30; PAH4; içerikleri ise 8.41- 15.48 arasında değişim göstermiştir (Oz, 2021).

Aoudeh ve ark. (2023), farklı konsantrasyonlarda siyah sarımsak ilave edip 60°C, 70°C, 80°C sıcaklıklarda pişirdikleri sığır eti köftelerinde (ng/g) BaA; 0.15- 0.72, Chry; 0.12- 0.66, BbF; 0.30- 1.68, BaP ∑ PAH4 miktarlarını 0.26- 3.45, ∑ PAH8 miktarlarını ise 0.13- 4.30 şeklinde rapor etmişlerdir. Siyah sarımsağın köftelerde PAH oluşumunu önleyici etkiye sahip olduğunu belirtilmiştir.

Zastrow ve ark. (2022); mangalda pişmiş sığır eti köftelerindeki PAH4 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) değerini; 4.00 ± 0.5 olarak tespit ettiklerini rapor etmişlerdir.

Aydın ve Şahan (2018), bazı et türlerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon oluşumuna farklı pişirme yöntemlerinin etkisini incelemek üzere yaptıkları çalışmada; haşlama, tavada pişirme, fırında pişirme ve ızgarada pişirme yöntemlerinde PAH4 oluşumu görülmezken, mangalda pişirme işlemi sonucunda PAH4 varlığını tespit etmişlerdir.

Oz ve Yuzer (2016), taş ve tel mangal ızgarası kullanarak dana bifteklerdeki PAH oluşumunu inceledikleri çalışmada; toplam PAH içeriğinin; $nd-2.63 \text{ ng/g}$ aralığında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Duedahl-Olesen ve ark. (2015); Danimarka'da çeşitli lokantalardan aldıkları mangalda pişirilmiş hamburger köftelerinde ortalama PAH 4 ve BaP içeriklerinin sırasıyla; 7.70 ve $3.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ olduğunu rapor etmişlerdir.

Odun kömürü kullanılarak mangalda pişirme yöntemi ile pişirilmiş köftelerde görülen PAH miktarlarının yağ pirolizi sonucu oluştuğu, oluşan PAH bileşenlerinin köfte örneklerinin yüzeyinde tutunmaya neden olduğu bildirilmiştir. Yüksek sıcaklık değerlerinin lipit oksidasyonuna ve dolayısıyla da PAH değerlerinin yüksekliğine sebebiyet verdiği düşünülmüştür (Chen ve Chen, 2001).

Bostan (2021), odun kömürü ile mangalda pişirmiş oldukları Akçaabat köftelerinin BaP ve \sum PAH miktarlarının sırasıyla $0.63\pm 0.03-2.97\pm 0.11 \mu\text{g}/\text{kg}$ ve $45.89\pm 0.32-112.38\pm 0.57 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir.

Air fryer ile pişirilmiş sığır burgerlerinde; kontrol grubu örneklerin Phenanthrene değerleri dışında, diğer PAH çeşitleri sonuçları tespit edilemedi şeklinde belirlenmiştir. Biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde her iki pişirme yönteminde de kontrol gruplarına göre PAH bileşiklerinde yüksek değerler görülmüştür. Fluorene değerlerinde biberiye ekstraktı ilave edilmiş örneklerde istatistiki olarak önemli derecede artış görülmesinin sebebi, biberiyenin yüksek konsantrasyonlarda ilave edilmesiyle birlikte görülen prooksidan etkisinin sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Literatürde bildirilen bulguların birçoğu potansiyel antioksidan olarak tanımlanan doğal materyallerin eklenmesiyle ilgili olumlu bir etki gösterse de her materyalin spesifik özellikleri adına araştırma yapılmasının faydalı olacağını ifade edebiliriz. Yapılan bir çalışmada; limon suyuyla muamele edildikten sonra air fryerda pişirilen sardalyalarda Kolesterol Oksidasyon Ürünleri (COP) ürünlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu oluşumu mevcut antioksidan bileşiklerin prooksidan özellikler gösterebilecek asit

ortamının oluşması ile bağlantılı olabileceği rapor edilmiştir (de Carvalho ve ark., 2021). Ünal ve ark. (2014), biberiye esansiyel yağını %2 oranında kullandıkları çalışmalarında biberiyenin prooksidan özellikler gösterdiğini bildirmişlerdir. Genel olarak bazı bitkilerin düşük konsantrasyonlarının anti-inflamatuar etkilere sahip antioksidanlar olarak işlev gösterdiği düşünülmektedir. Buna karşın yüksek konsantrasyonların prooksidan olarak işlev gösterebileceği ihtimali doğrultusunda zararlı fenolik radikallerin oluşumuna yol açtığı belirtilmiştir (Decker, 1997; Ogata ve ark., 2000; Fujisawa ve ark., 2002).

Bazı polifenollerin çevre koşullarına bağlı olarak pro-oksidatif özellik gösterdiği bilinmektedir. Antioksidan özelliklere sahip maddelerin kullanımı sırasında mutlaka istenilen şekilde antioksidan özelliklerle sonuçlanamayabileceğini ve/ veya daha yüksek miktarda polifenol eklenmesinin antioksidan ve pro-oksidan dengesini bozabileceği bildirilmiştir (Ferysiuk ve Wójciak, 2020; Tian ve ark., 2022).

Farklı odun talaşları ile tütsüleme ve mangalda pişirmenin Somon balığının bazı özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada bazı odun talaşı çeşitlerinin hem antioksidan ve hem de prooksidan etki gösterdiği bildirilmiştir (Oz, 2020).

Hou ve ark. (2024); soğuk plazma yöntemini kullanarak sığır köftelerinde PAH bileşenlerinin oluşumunu incelemişlerdir. Farklı yağ oranlarına sahip köftelerde tüm gruplarda ortalama en yüksek miktarlar Chry ve BgP PAH bileşenlerinde görüldüğü bildirilmiştir.

Farklı tip odun kömürleri ile ızgarada pişirilen sığır etinde oluşan PAH bileşenlerinden ortalama en yüksek değerler; Phenanthrene ve Pyrene'de görülürken Dibenzo[a,h]anthracene ve Chrysene ise farklı odun kömürleri ile ızgara edilmiş sığır etinde tespit edilemedi şeklinde rapor edilmiştir (Kim ve ark., 2021).

Kavak odun talaşından elde edilen ligninin model sistem kurularak sığır etinin tütsülenmesi ile oluşabilecek PAH seviyeleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda lignin etkisinin PAH seviyesini artırdığı bildirilmiştir. Tüm gruplarda ortalama en yüksek değerler benzo[ghi]perylene'de belirlenirken, indeno(1,2,3-cd)pyrene değerlerinin tespit edilemediği şeklinde rapor edilmiştir (Ma ve ark., 2024).

Farklı sıcaklıklar kullanılarak (150 °C, 250 °C ve 350 °C) ızgara edilmiş kuşbaşı etler baharat karışımı (kişniş tohumu, rezene tohumu, kimyon tohumları, taze zerdeçal, taze limon otu ve havlıcan) ile marine edilerek, baharatların PAH oluşumu üzerine etkileri araştırılmıştır. Marine edilmiş gruplardaki örnekler, kontrol örnekleri ile

karşılaştırılmıştır. PAH'ların en yüksek konsantrasyonları, 350 °C'de pişirilme işlemi sonucunda oluşmuştur. 15 farklı PAH çeşidinden en belirgin olanı Phenanthrene şeklinde bildirilmiştir. Marinasyon işleminin önemli ölçüde naphthalene, fluorene ve pyrene üzerinde indirgeyici etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Nor Hasyimah ve ark., 2022). Farklı bölgelerden elde edilen sığır etinin ızgara ile pişirilmesi sonucu elde edilen \sum PAH4 içeriklerinin; 9.20±2.43 µg/kg - 28.70±20.09 µg/kg arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir. En düşük değerlerin B[a]P bileşenlerinde, en yüksek değerlerin ise B[b]F bileşenlerinde olduğu rapor edilmiştir (Lee ve ark., 2016).

Babaoğlu (2015); dana ve kuzu ince bağırsaklarına ilave edilen kuzu iç yağı, kuzu kabuk (et) yağı ve kuyruk yağı ile üretilen kokoreçlerde oluşan polisiklik aromatik hidrokarbonların konsantrasyonlarını belirlemiştir. Çalışma sonunda; örneklerin toplam PAH8 içeriğinin 3.07-40.11 µg/kg arasında değiştiği bildirilmiştir. Kuyruk yağının, iç yağı çeşidine göre ortalama toplam PAH içeriğini artırdığı, en düşük ortalama toplam PAH8 içeriğinin, iç yağı kullanılan kokoreçlerde olduğu belirtilmiştir. En yüksek (40.11 µg/kg) ortalama toplam PAH8 içeriği, kuyruk yağı ilavesiyle üretilen dana kokoreçlerinde belirlenirken; en düşük (3.07 µg/kg) ortalama toplam PAH8 içeriği ise kuzu kuyruk yağından üretilen kokoreçlerde tespit edildiği bildirilmiştir.

Oz ve Yuzer (2016); tel ve taş (granit) olan iki farklı malzemedden yapılmış mangal tiplerinin ve farklı pişirme seviyelerinin pişirilen dana bifteklerdeki polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH'ların) oluşumu üzerine etkilerini araştırmışlardır. PAH'ların oluşum durumuna bakıldığında BaA, Chry, BbF, BkF, BaP ve BghiP lere belirli ölçülerde oluşum belirlenirken, DahA ve IncdP nin oluşmadığı ifade edilmiştir. Taş mangalda pişirilen örneklerdeki toplam PAH miktarlarının, telde pişirilen örneklere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Kendirci ve ark. (2014), ohmik ısıtma ile ön pişirme işleminin sığır köftelerinde polisiklik aromatik hidrokarbon oluşumuna etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada sığır köftelerinde oluşan \sum PAH miktarlarının 4.47 µg/kg ile 64.06 µg/kg aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamız sonucunda elde edilen PAH miktarlarının literatür verilerinden sonucu farklılıklar içermesinin nedeninin çalışmamızda kullandığımız çeşitli bitki ekstraktlarının antioksidan, fenolik ve flavonoid içeriklerinde farklılıklar göstermesinden kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir. Pişirme yöntemi, pişirme sıcaklığı, pişirmede kullanılan yakıt içeriği, pişen ürünün yağ içeriği, pişirme

mesafesi gibi parametrelerde PAH oluşumu üzerine etkili olmaktadır. Çalışmamızda elde edilen BaP ve Σ PAH4 miktarları yasal limitlerin altında kalmıştır.

4.3.10. Duyusal analiz sonuçları

Biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktları ilave edilerek hazırlanmış sığır burgerlerin duyusal özellikleri incelenmiştir. Çeşitli bitki ekstraktları ilave edilerek hazırlanmış sığır burgerlerine ait duyusal analiz verilerine ait Varyans Analiz sonuçları, Çizelge 4.43.'de verilmiştir. Varyans Analiz sonuçları değerlendirildiğinde; bitki ekstrakt çeşitlerinin koku, renk, lezzet, tekstür ve genel beğeni parametreleri üzerine istatistiki açıdan etkisinin önemsiz ($P>0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge.4.43. Air fyer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerin formülasyonuna ilave edilen çeşitli bitki ekstraktlarının duyusal analiz verilerine ait Varyans Analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	Koku		Renk		Lezzet		Tekstür		Genel Beğeni	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Muamele	7	5.34	1.26	3.34	1.02	4.28	1.32	1.31	0.51	2.86	0.95
Hata	72	4.25		3.29		3.25		2.57		3.02	
Genel	79										

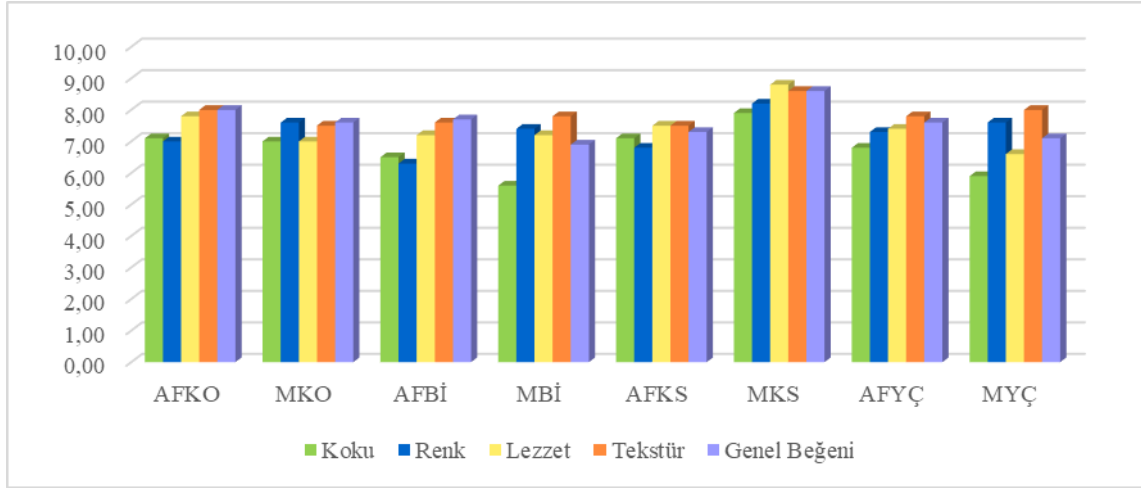
Şekil 4.13. incelendiğinde ortalama koku puanı; en yüksek mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde tespit edilirken, en düşük koku puanı mangalda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli örneklerde tespit edilmiştir.

Ortalama renk puanı; en yüksek mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ilaveli örneklerde görülürken, en düşük air fryerda pişirilmiş biberiye ilaveli örneklerde belirlenmiştir.

Ortalama lezzet puanı; en yüksek mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ilaveli örneklerde tespit edilirken, en düşük mangalda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli örneklerde tespit edilmiştir.

Ortalama tekstür puanı; en yüksek mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli örneklerde görülürken, en düşük mangalda pişirilmiş kontrol grubu örneklerde saptanmıştır.

Duyusal analiz sonuçları incelendiğinde ortalama genel beğeni puanı en yüksek grubun mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Air fryer ve mangalda pişirilmiş; kontrol grubu, biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlere ait Duyusal Analiz sonuçları

AFKO: Air fryerda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerler, AFBİ: Air fryerda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerler, AFKS: Air fryerda pişirilmiş Kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerler, AFYÇ: Air fryerda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerler, MKO: Mangalda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerler, MBİ: Mangalda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerler, MKS: Mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerler, MYÇ: Mangalda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerler.

Babaoğlu ve ark. (2022); böğürtlen, aronya, yaban mersini ve frenk üzümü ekstraktları ilave ederek ürettikleri sığır eti köftelerinin duyusal özelliklerini incelemişlerdir. Depolamanın birinci gününde lezzet parametresi açısından, kontrol grubu köftelerin en çok beğenildiği, yaban mersini ekstraktlı ilave edilen grubun ise en düşük lezzet puanına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Depolamanın altıncı gününde lezzet puanları arasındaki farkın önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir. Depolamanın birinci gününde lezzet puanı hariç diğer duyusal özellikler arasında anlamlı farklılıkların görülmediğini rapor etmişlerdir.

Turan ve Şimşek (2021), %0.1, %0.2 ve %0.4 oranlarında liyofilize karadut suyu ekstraktı ilave edilmiş sığır eti köftelerinin pişirilmesi sonucunda duyusal analiz sonuçlarını incelemişlerdir. Lezzet ve renk özelliklerinde %0.2 oranında karadut ekstraktı ilave edilmiş sığır köftelerinin en yüksek beğeni değerlerine sahip olduğu; kontrol grubu ve karadut ekstraktı ilave edilmiş gruplar arasında anlamlı farklılıkların görülmediği, %0.4 seviyesinde karadut ekstraktı ilavesinin koku puanlarını olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada; biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktları formülasyona ilave edilerek sığır burgerleri hazırlanmıştır. Hazırlanan sığır burgerleri 0-4°C'de 12 saat süreyle buzdolabı koşullarında bekletilmiştir. Daha sonra sığır burgerlerin bir kısmı air fryerda, bir kısmı meşe kömürü kullanılarak mangalda pişirilmiştir. Çeşitli bitki ekstraktlarının ve pişirme yöntemlerinin raf ömrü ve kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sığır burger yapmak için kullanılan kıymalarda nem, protein, yağ, kül ve renk analizleri yapılmıştır. Bitki ekstraktlarında (biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay) DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat) analizi, fenolik madde tayini ve flavonoid madde tayini yapılmıştır. Hazırlanan sığır burgerlerinde ise nem, protein, yağ, kül, pH, pişirme verimi, renk (L^*, a^*, b^*), TPA (tekstür profil analizi), PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbon) analizleri ve duyu analizleri yapılmıştır.

Burger yapımında kullanılan sığır kıymasının ortalama nem içeriği; %69.58, protein içeriği; %19.97, yağ içeriği; %9.15, kül içeriği; %2.54 ve pH değeri ise 5.77 olarak tespit edilmiştir. Sığır kıymasının L^* değeri; 45.85, a^* değeri; 14.35 ve b^* değeri; 13.8 şeklinde bulunmuştur.

Biberiye ekstraktının DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat) içeriği %70.02, toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde içerikleri ise sırasıyla; 59.07 mg CAE/100 mL ve 33.31 mg CE/100 mL olarak tespit edilmiştir. Kırmızı soğan kabuğu ekstraktının DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat) içeriği; %38.24, toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde içerikleri ise sırasıyla; 2.8 mg CAE/100 mL ve 0.05 mg CE/100 mL olarak tespit edilmiştir. Yeşil çay ekstraktının DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil hidrat) içeriği; %71.66, toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde içerikleri ise sırasıyla; 54.53 mg CAE/100 mL ve 18.7 mg CE/100 mL olarak tespit edilmiştir.

Bitki ekstraktı ilaveli sığır burgerlerin pH değerleri; 5.93-6.01 aralığında değişmiştir. Pişirme işlemi ile birlikte örneklerin pH değerlerinde artış meydana gelmemiştir. Air fryerda pişmiş sığır burgerlerde, mangalda pişmiş burgerlerin pH değerlerine kıyasla daha yüksek pH değerleri görülmüştür. Sığır burger formülasyonlarında bitki ekstraktları kullanımı ile air fryer pişirilmiş sığır burgerlerin

L^* değerini azalmış, mangalda pişirilmiş sığır burgerlerin L^* değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bitki ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerin L^* değerleri, air fryerda pişirilen burgerlerde 37.93 ile 39.6 aralığında görülürken mangalda pişmiş burgerlerde 42.10 ile 45.94 aralığında belirlenmiştir. Her iki pişirme yönteminde de en yüksek L^* değeri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş mangalda pişirilmiş sığır burgerlerde görülürken, en düşük L^* değeri mangalda pişirilmiş kontrol grubu örneklerde tespit edilmiştir. Kırmızılık değeri incelendiğinde; bitki ekstraktlarının ilavesi kontrol grubuna göre her iki pişirme yönteminde de ortalama olarak düşük değerler aldığı belirlenmiştir. Sığır burgerlerin b^* değerleri incelendiğinde ise b^* değerlerinin 7.08 ile 13.47 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Sığır burgerlerin pişirme verimi sonuçlarına göre en yüksek değeri (89.64) mangalda pişirilmiş kırmızı soğan ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerler alırken, en düşük değeri (67.33) air fryerda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerler almıştır. Mangalda pişirilmiş sığır burger örneklerinin pişirme verimi değerleri air fryerda pişirilmiş sığır burgerlere göre yüksek değerlere sahip olduğu görülmüş ve pişirme yönteminin pişirme verimi üzerinde çok önemli ($P < 0.01$) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Hazırlamış olduğumuz sığır burgerlerin TPA (Tekstür Profil Analizi) sonuçlarını incelediğimizde; hardness (sertlik) parametresine ait değerlerin 114.95 N ile 221.83 N arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri air fryerda pişirilmiş kontrol grubu burgerlerde tespit edilmiştir. Springiness (elastikiyet) parametresine ait değerlerin bitki ekstraktlarının ilave edilmiş olduğu; air fryer ve mangalda pişirilmiş burgerlerde 0.73 ile 0.79 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. En yüksek elastikiyet değeri kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş ve air fryerda pişirilmiş burgerlerde görülürken en düşük elastikiyet değerleri yeşil çay ekstraktı ilave edilmiş mangalda pişirilmiş sığır burgerlerde görülmüştür. Cohesiveness (iç yapışkanlık) parametresine ait değerlerin; bitki ekstraktları ilave edilmiş, air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerde 0.42 ile 0.55 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama iç yapışkanlık değerlerinin air fryerda pişirilmiş sığır burgerlerde, mangalda pişmiş sığır burgerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Gumminess (sakızimsızlık) parametresi incelendiğinde değerlerin 47.97 N ile 119.34 N aralığında değiştiği görülmüştür. En yüksek sakızimsızlık değeri air fryerda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde belirlenirken en düşük sakızimsızlık değeri mangalda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde görülmüştür. Chewiness

(Çiğnenebilirlik) parametresinin 35.33 N ile 90.29 N aralığında değiştiği görülmüştür. Geri dönüşüm (Resilience) değerlerinin 0.13 ile 0.22 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Air fryer ve mangalda pişirilmiş bitki ekstrakt ilaveli sığır burgerlerde; mangalda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde, Ac, Ace, F, Pa; mangalda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde, Ac, Ace, F, Pa; mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ilaveli sığır burgerlerde Ac, Ace, Pa; mangalda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde Ac, Ace, Pa; air fryerda pişirilmiş kontrol grubu sığır burgerlerde Pa; air fryerda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli Ac, F, Pa; air fryerda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde Pa; air fryerda pişirilmiş yeşil çay ekstraktı ilaveli sığır burgerlerde Ace, Pa bileşikleri tespit edilmiştir. Air fryer ve mangalda pişirilmiş bitki ekstraktları ilave edilmiş sığır burger örneklerinde Na, An, Flu, Py, BaA, Chry, BbF ve BkF, BaP, InP, DahA, BghiP ve \sum PAH4 bileşikleri tespit edilmemiştir. Ortalama \sum PAH16 değerleri incelendiğinde; en yüksek değer (256.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$) air fryerda pişirilmiş biberiye ekstraktı ilaveli burgerlerde olduğu görülürken en düşük değer (21.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$) air fryerda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilave edilmiş sığır burgerlerde görülmüştür. Mangalda pişirilmiş sığır burgerlerde oluşan PAH bileşen değerlerinin air fryerda pişirilen sığır burgerlerde oluşan PAH bileşen değerlerinden air fryerda pişirilmiş biberiye ekstraktlı sığır burgerler dışında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Tespit edilen değerler kritik limitler üzerinde olmamıştır. Sığır burgerlerin pişirilmesi sonucu oluşan \sum PAH16 bileşikleri incelendiğinde; air fryer pişirme yöntemi kullanılarak pişirilen sığır burgerlerde, mangalda pişirme yöntemi kullanılarak pişirilen sığır burgerlere göre daha az \sum PAH16 oluşumu tespit edilmiştir. Her iki pişirme yönteminde de kontrol grubuna göre bitki ekstraktlarının \sum PAH16 oluşumunu azaltıcı yönde etki gösterdiği görülmüştür. Her iki pişirme yönteminde de biberiye prooksidan özellik gösterdiği tahmin edilmekte olup \sum PAH16 içeriği üzerine azaltıcı etki göstermediği tespit edilmiştir.

Duyusal değerlendirme sonuçlarında renk, koku, lezzet, tekstür ve genel beğeni ortalama puanları en yüksek mangalda pişirilmiş kırmızı soğan kabuğu ilaveli sığır burger örneklerinde gözlemlenmiştir. Duyusal parametre puanlarında bitki ekstraktı ilaveli; air fryer ve mangalda pişirilmiş sığır burgerlerde önemli farklılıklar gözlemlenmemiştir.

5.2 Öneriler

Oldukça sık tercih edilen bir et ürünü olan sığır burgerlerinin formülasyonlarına ilave edilen biberiye, kırmızı soğan kabuğu ve yeşil çay ekstraktların kalite parametreleri açısından tüketiciler için bir seçenek oluşturacağı düşünülmüştür

PAH bileşiklerinin oluşumunu azaltmak ve/ veya önlemek için ilave edilen ekstrakt çeşitlerinden yararlanılabileceği kanısına varılmıştır. PAH oluşum değerlerine göre pişirme yöntemi olarak air fryerda pişirme yönteminin mangalda pişirme yöntemine göre tercih edilebileceğini önerebiliriz. Geleneksel pişirme yöntemi olan mangalda pişirme ile ilgili literatür verileri mevcuttur fakat air fryerda pişirme yönteminin henüz yeni bir pişirme yöntemi olması ve literatür verilerinin az olması dolayısı ile air fryer pişirme yöntemi kullanılarak yeni çalışmaların yapılmasını önerebiliriz. Air fryer ve mangalda PAH oluşumunun belirlenmesi için farklı sıcaklık değerlerinde çalışmalar yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, R., Moustafa, N. Y., Kirrella, G. A., Gaballah, I., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Elrais, A. M., Kasem, N. G. ve Sallam, K. I., 2024, Improvement of the chemical quality and sensory attributes of ground beef incorporated with probiotics, *Food Bioscience*, 59, 103981.
- Additives, E. P. o. F., Food, N. S. a. t., Younes, M., Aggett, P., Aguilar, F., Crebelli, R., Dusemund, B., Filipič, M., Frutos, M. J., Galtier, P. ve Gott, D., 2018, Refined exposure assessment of extracts of rosemary (E 392) from its use as food additive, *EFSA Journal*, 16 (8), e05373.
- Aguilar, F., Autrup, H., Barlow, S., Castle, L., Crebelli, R., Dekant, W., Engel, K.-H., Gontard, N., Gott, D. ve Grilli, S., 2008, Use of rosemary extracts as a food additive-Scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food, *EFSA J*, 721, 1-29.
- Akarca, G., Özalp, E., Sakarya, E. ve Tomar, O., 2018, Değişik Oranlarda Soğan Kabuğu Ekstraktı İlave Edilmiş Köftelerde Çeşitli Kalite Parametrelerinin İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (3), 932-945.
- Akcan, T., Önel, E. ve Ergezer, H., 2024, Acorn (*Quercus ithaburensis*) Flour's effect on the physicochemical, textural, and sensory characteristics of raw and cooked beef meatballs, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 35, 100887.
- Al-Ansari, M. M., Al-Humaid, L., Aldawsari, M., Abid, I. F., Jhanani, G. ve Shanmuganathan, R., 2023, RETRACTED: Quercetin extraction from small onion skin (*Allium cepa* L. var. aggregatum Don.) and its antioxidant activity, *Environmental Research*, 224, 115497.
- Alinaghi, M., Mokarram, P., Ahmadi, M. ve Bozorg-Ghalati, F., 2024, Biosynthesis of palladium, platinum, and their bimetallic nanoparticles using rosemary and ginseng herbal plants: Evaluation of anticancer activity, *Scientific Reports*, 14 (1), 5798.
- Alver, E., Demirci, A. ve Özçimder, M., 2012, Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3 (1), 45-52.
- Andrade, M. A., Barbosa, C. H., Cerqueira, M. A., Azevedo, A. G., Barros, C., Machado, A. V., Coelho, A., Furtado, R., Correia, C. B. ve Saraiva, M., 2023, PLA films loaded with green tea and rosemary polyphenolic extracts as an active packaging for almond and beef, *Food Packaging and Shelf Life*, 36, 101041.
- Andrés, A., Arguelles, Á., Castelló, M. L. ve Heredia, A., 2013, Mass transfer and volume changes in French fries during air frying, *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1917-1924.
- Anonymous, 2022, <https://www.shutterstock.com/tr/search/cielab+color+space> [16.05.2022].
- AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of AOAC Int. (17th ed.), 481 North Frederick Avenue Gaithersburg, Maryland 20877-2417 USA, AOAC Int. Suite 500.
- Aoudeh, E., Oz, E. ve Oz, F., 2023, Effect of beef patties fortification with black garlic on the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content and toxic potency, *Food Chemistry*, 428, 136763.

- Ariz, I., Ansorena, D. ve Astiasaran, I., 2024, In vitro digestion of beef and vegan burgers cooked by microwave technology: Effects on protein and lipid fractions, *Food Research International*, 186, 114376.
- Ateş, E., 2022, Çeşitli glutensiz unlar ile hazırlanan tavuk nuggetların bazı kalite özellikleri üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Authority, E. F. S., 2008, Polycyclic aromatic hydrocarbons in food-scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain, *EFSA Journal*, 6 (8), 724.
- Auyong, T. A. S., De Jesus, S. C. M., Maralit, D. D. G., Obeles, A. J. T. ve De Jesus, F. L. B., 2022, A case study on factors affecting the perception of customers in purchasing air fryer products: Basis for a proposed enhanced marketing promotion program, *Journal of Business and Management Studies*, 4 (2), 396-422.
- Aydın, Ö. Ş. ve Şahan, Y., 2018, Bazı et türlerinde polisiklik aromatik hidrokarbon oluşumuna farklı pişirme yöntemlerinin etkisi, *Akademik Gıda*, 16 (4), 387-394.
- Babaoğlu, A. S., 2015, Dana ve kuzu kokoreçlerinde polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşum düzeyi üzerine farklı hayvansal yağların etkisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Babaoğlu, A. S., 2020, Kurutulmuş bazı sebze tozlarının fermente sucuk üretiminde alternatif kürlenme ajanı olarak kullanılabilme imkanları, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Babaoğlu, A. S., 2022, Effects of replacing breadcrumbs with buckwheat, chickpea, corn and millet flour in gluten-free meatball formulation, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36 (3), 399-404.
- Babaoğlu, A. S., Unal, K., Dilek, N. M., Poçan, H. B. ve Karakaya, M., 2022, Antioxidant and antimicrobial effects of blackberry, black chokeberry, blueberry, and red currant pomace extracts on beef patties subject to refrigerated storage, *Meat Science*, 187, 108765.
- Babaoğlu, A. S., 2023, Assessing the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled beef steak and beef patty with different charcoals by the quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) method with gas chromatography–mass spectrometry, *Food Science of Animal Resources*, 43 (5), 826.
- Babiker, E. E., Uslu, N., Al Juhaimi, F., Ahmed, I. A. M., Ghafoor, K., Özcan, M. M. ve Almusallam, I. A., 2021, Effect of roasting on antioxidative properties, polyphenol profile and fatty acids composition of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds, *LWT*, 139, 110537.
- Badar, I. H., Wang, Z., Zhou, Y., Guo, X., Jaspal, M. H., Kong, B. ve Liu, H., 2024, Effect of flaxseed-derived diglyceride-based high internal phase Pickering emulsion on the quality characteristics of reformulated beef burgers, *Meat Science*, 212, 109474.
- Bahmanyar, F., Hosseini, S. M., Mirmoghtadaie, L. ve Shojaee-Aliabadi, S., 2021, Effects of replacing soy protein and bread crumb with quinoa and buckwheat flour in functional beef burger formulation, *Meat Science*, 172, 108305.
- Baldwin, D. E., 2012, Sous vide cooking: A review, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1 (1), 15-30.
- Baytop, T., 1984, Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi (Geçmişte ve Bugün), Üniversitesi Yayınları 3255, Eczacılık Fakültesi, 40.

- Bejerholm, C. ve Aaslyng, M. D., 2004, The influence of cooking technique and core temperature on results of a sensory analysis of pork—Depending on the raw meat quality, *Food Quality and Preference*, 15 (1), 19-30.
- Bostan, S., 2021, Farklı pişirme yöntemlerinin Akçaabat köftesinde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumuna etkisi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, *Gümüşhane Üniversitesi*.
- Büyükkurt, Ö. K., Dinçer, E. A., Çam, İ. B., Candal, C. ve Erbaş, M., 2020, The influence of cooking methods and some marinades on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in beef meat, *Polycyclic Aromatic Compounds*, 40, 195-2025.
- Cao, Y., Wu, G., Zhang, F., Xu, L., Jin, Q., Huang, J. ve Wang, X., 2020, A comparative study of physicochemical and flavor characteristics of chicken nuggets during air frying and deep frying, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 97 (8), 901-913.
- Carvalho, M., Grilo, M. M. d. S. ve Abrahao, R., 2018, Comparison of greenhouse gas emissions relative to two frying processes for homemade potato chips, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37 (1), 481-487.
- Celano, R., Docimo, T., Piccinelli, A. L., Gaggero, P., Tucci, M., Di Sanzo, R., Carabetta, S., Campone, L., Russo, M. ve Rastrelli, L., 2021, Onion peel: Turning a food waste into a resource, *Antioxidants*, 10 (2), 304.
- Chan, D.-S., Lin, H.-T. V., Huang, Y.-H., Syu, Y.-J. ve Sung, W.-C., 2023, Prediction and optimization of frying conditions of air fried pork rind using a direct linking model, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 34, 100837.
- Chen, B. H. ve Chen, Y. C., 2001, Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the smoke from heated model lipids and food lipids, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (11), 5238-5243.
- Cheng, H., Jung, E.-Y., Song, S. ve Kim, G.-D., 2023, Effect of freezing raw meat on the physicochemical characteristics of beef jerky, *Meat Science*, 197, 109082.
- Cross, A. J. ve Sinha, R., 2004, Meat-related mutagens/carcinogens in the etiology of colorectal cancer, *Environmental and molecular mutagenesis*, 44 (1), 44-55.
- da Cruz, E. P., Jansen, E. T., Fonseca, L. M., dos Santos Hackbart, H. C., Siebeneichler, T. J., Pires, J. B., Gandra, E. A., Rombaldi, C. V., da Rosa Zavareze, E. ve Dias, A. R. G., 2023, Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning, *Food Chemistry*, 406, 134954.
- de Alencar, M. G., de Quadros, C. P., Luna, A. L. L. P., Neto, A. F., da Costa, M. M., Queiroz, M. A. Á., de Carvalho, F. A. L., da Silva Araújo, D. H., Gois, G. C. ve dos Anjos Santos, V. L., 2022, Grape skin flour obtained from wine processing as an antioxidant in beef burgers, *Meat Science*, 194, 108963.
- de Carvalho, A. G. A., Olmo-García, L., Gaspar, B. R. A., Carrasco-Pancorbo, A., Castelo-Branco, V. N. ve Torres, A. G., 2022, Evolution of the metabolic profile of virgin olive oil during deep-frying: Assessing the transfer of bioactive compounds to the fried food, *Food Chemistry*, 380, 132205.
- de Carvalho, I. O. A. M., de Oliveira, V. S., Chávez, D. W. H., Gamallo, O. D., Castro, R. N., Sawaya, A. C. H. F., Sampaio, G. R., da Silva Torres, E. A. F. ve Saldanha, T., 2021, The use of lemon juice and its role on polyunsaturated fatty acids and cholesterol oxides formation in thermally prepared sardines, *Journal of Food Composition and Analysis*, 104, 104087.
- de Oliveira, V. S., Viana, D. S. B., Keller, L. M., de Melo, M. T. T., Mulandeza, O. F., Barbosa, M. I. M. J., Júnior, J. L. B. ve Saldanha, T., 2024, Impact of air frying

- on food lipids: Oxidative evidence, current research, and insights into domestic mitigation by natural antioxidants, *Trends in Food Science & Technology*, 104465.
- Decker, E. A., 1997, Phenolics: prooxidants or antioxidants? *Nutrition Reviews*, 55 (11), 396-398.
- Deng, C., Li, M., Liu, Y., Yan, C., He, Z., Chen, Z.-Y. ve Zhu, H., 2023, Cholesterol oxidation products: Potential adverse effect and prevention of their production in foods, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71 (48), 18645-18659.
- Ding, Y., Zhou, T., Liao, Y., Lin, H., Deng, S. ve Zhang, B., 2022, Comparative studies on the physicochemical and volatile flavour properties of traditional deep fried and circulating-air fried hairtail (*Trichiurus lepturus*), *Foods*, 11 (17), 2710.
- do Nascimento, N. P., Borges, Í. G. A. V., de Castro, J. S., do Nascimento, C. P., Bitu, L. A., de Sousa, P. H. M. ve da Silva, E. M. C., 2024, Enhancing the quality and antioxidant properties of beef burgers with dried *Hibiscus sabdariffa* L. leaves: Characterization and sensory evaluation, *Food Bioscience*, 57, 103568.
- do Prado, M. E. A., Queiroz, V. A. V., da Veiga Correia, V. T., Neves, E. O., Ronchetti, E. F. S., Gonçalves, A. C. A., de Menezes, C. B. ve de Oliveira, F. C. E., 2019, Physicochemical and sensorial characteristics of beef burgers with added tannin and tannin-free whole sorghum flours as isolated soy protein replacer, *Meat Science*, 150, 93-100.
- Du, W., Jiang, S., Lei, Y., Wang, J., Cui, Z., Xiang, P., Chang, Z., Duan, W., Shen, G. ve Qin, Y., 2025, Occurrence, formation mechanism, and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in barbecued food, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 293, 118046.
- Duedahl-Olesen, L., Aaslyng, M., Meinert, L., Christensen, T., Jensen, A. ve Binderup, M.-L., 2015, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat, *Food Control*, 57, 169-176.
- Dumitriu, R. P., Stoleru, E., Rosnes, J. T., Sharmin, N., Doroftei, F. ve Brebu, M., 2024, Rheological properties influence on the electrospinning of caseinate for loading with antioxidant rosemary extract, *Food Hydrocolloids*, 151, 109883.
- EFSA, 2018, Refined Exposure Assessment of Extracts of Rosemary (E 392) from Its Use as Food Additive. EFSA J., 16, e05373. .
- Ekici, L., Sağdıç, O. ve Yetim, H., 2012, Et tüketimi ve kanser, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28 (2), 136-145.
- EU, 2011, Commission Regulation (EU) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs. Official Journal of the European Union, 215(4), 1-5., <https://www.legislation.gov.uk/eur/2011/835/annexes>. :
- Fadiloglu, E. E., Turp, G. Y., Celebioglu, C. ve Sel, G., 2023, Influence of different cooking methods on quality characteristics and nutritional value of gluten-free beef burger patties formulated with walnut oil, safflower oil and buckwheat, *Meat Science*, 204, 109251.
- Fang, M., Huang, G.-J. ve Sung, W.-C., 2021, Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying, *LWT*, 137, 110494.
- Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A. ve Zaidul, I., 2012, Effects of marinating on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (benzo [a] pyrene, benzo [b] fluoranthene and fluoranthene) in grilled beef meat, *Food Control*, 28 (2), 420-425.

- Ferysiuk, K. ve Wójciak, K. M., 2020, Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients, *Antioxidants*, 9 (8), 711.
- Fikry, M., Khalifa, I., Sami, R., Khojah, E., Ismail, K. A. ve Dabbour, M., 2021, Optimization of the frying temperature and time for preparation of healthy falafel using air frying technology, *Foods*, 10 (11), 2567.
- Flores, M., Mora, L., Reig, M. ve Toldrá, F., 2019, Risk assessment of chemical substances of safety concern generated in processed meats, *Food Science and Human Wellness*, 8 (3), 244-251.
- França, F., dos Santos Harada-Padermo, S., Frasceto, R. A., Saldana, E., Lorenzo, J. M., de Souza Vieira, T. M. F. ve Selani, M. M., 2022, Umami ingredient from shiitake (*Lentinula edodes*) by-products as a flavor enhancer in low-salt beef burgers: Effects on physicochemical and technological properties, *LWT*, 154, 112724.
- Fujisawa, S., Atsumi, T., Kadoma, Y. ve Sakagami, H., 2002, Antioxidant and prooxidant action of eugenol-related compounds and their cytotoxicity, *Toxicology*, 177 (1), 39-54.
- Gibis, M. ve Weiss, J., 2012, Antioxidant capacity and inhibitory effect of grape seed and rosemary extract in marinades on the formation of heterocyclic amines in fried beef patties, *Food Chemistry*, 134 (2), 766-774.
- Grassi, G., Di Gregorio, P., Rando, A. ve Perna, A. M., 2024, Quality and sensorial evaluation of beef burgers added with Sicilian sumac (*Rhus coriaria* L), *Heliyon*, 10 (5).
- Guo, Q., Sun, D.-W., Cheng, J.-H. ve Han, Z., 2017, Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry, *Trends in Food Science & Technology*, 67, 236-247.
- Guyon, C., Meynier, A. ve de Lamballerie, M., 2016, Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments, *Trends in Food Science & Technology*, 50, 131-143.
- Gülcan, Ü., Uslu, C. C., Mutlu, C., Arslan-Tontul, S. ve Erbaş, M., 2020, Impact of inert and inhibitor baking atmosphere on HMF and acrylamide formation in bread, *Food chemistry*, 332, 127434.
- Gysel, N., Dixit, P., Schmitz, D. A., Engling, G., Cho, A. K., Cocker, D. R. ve Karavalakis, G., 2018, Chemical speciation, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and toxicity of particles emitted from meat cooking operations, *Science of the Total Environment*, 633, 1429-1436.
- Hanedar, A., 2009, İstanbulda polisiklik aromatik hidrokarbonların atmosferik birikiminin ve konsantrasyon dağılımının belirlenmesi ve değerlendirilmesi, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Bilim Dalı, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Hanula, M., Szpicer, A., Górska-Horczyzak, E., Khachatryan, G., Pogorzelska-Nowicka, E. ve Poltorak, A., 2022, Quality of beef burgers formulated with fat substitute in a form of freeze-dried hydrogel enriched with açai oil, *Molecules*, 27 (12), 3700.
- Heredía, A., Castelló, M. ve Andrés, A., 2010, Air Frying: a new process for healthier French fried potatoes, *Proceedings of the International Conference on Food Innovation (cd-Rom)*.
- Hinojosa-Nogueira, D., Pérez-Burillo, S., de la Cueva, S. P. ve Rufián-Henares, J. Á., 2021, Green and white teas as health-promoting foods, *Food & Function*, 12 (9), 3799-3819.

- Hou, Y., Hu, Y., Li, M., Nong, J., Xie, F., Fan, Y., Zhang, J., Zeng, X., Han, M. ve Xu, X., 2024, Mitigation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in roasted beef patties by cold plasma treatment and products quality evaluation, *Food Science and Human Wellness*, 13 (5), 2993-3005.
- Hui, T., Fang, Z., Hamid, N., Ma, Q. ve Cai, K., 2023, Effect of variable pressure-assisted immersion process using (-)-epicatechin on the color, flavor, and polycyclic aromatic hydrocarbons content in roasted beef meat, *LWT*, 178, 114602.
- Hur, S. J., Lee, S. Y., Moon, S. S. ve Lee, S. J., 2014, In vitro effects of cooking methods on digestibility of lipids and formation of cholesterol oxidation products in pork, *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34 (3), 280.
- Ismail, I., Hwang, Y.-H. ve Joo, S.-T., 2019, Interventions of two-stage thermal sous-vide cooking on the toughness of beef semitendinosus, *Meat Science*, 157, 107882.
- Jin, X., Hua, Q., Liu, Y., Wu, Z., Xu, D., Ren, Q., Zhao, W. ve Guo, X., 2021, Organ and tissue-specific distribution of selected polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in ApoE-KO mouse, *Environmental Pollution*, 286, 117219.
- Jong-Sun, L., Ji-Won, H., Jung, M., Kwang-Won, L. ve Chung, M.-S., 2020, Effects of thawing and frying methods on the formation of acrylamide and polycyclic aromatic hydrocarbons in chicken meat, *Foods*, 9 (5), 573.
- Jongberg, S., Tørngren, M. A., Gunvig, A., Skibsted, L. H. ve Lund, M. N., 2013, Effect of green tea or rosemary extract on protein oxidation in Bologna type sausages prepared from oxidatively stressed pork, *Meat Science*, 93 (3), 538-546.
- Jung, S., Nam, K. C. ve Jo, C., 2016a, Detection of malondialdehyde in processed meat products without interference from the ingredients, *Food Chemistry*, 209, 90-94.
- Jung, S. M., Kang, S. G., Son, J. S., Jeon, J. H., Lee, H. J. ve Shin, H. W., 2016b, Temporal and spatial variations in the proximate composition, amino acid, and mineral content of *Pyropia yezoensis*, *Journal of Applied Phycology*, 28, 3459-3467.
- Kafouris, D., Koukkidou, A., Christou, E., Hadjigeorgiou, M. ve Yiannopoulos, S., 2020, Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus, *Meat Science*, 164, 108088.
- Kathuria, D., Dhiman, A. K. ve Attri, S., 2022, Sous vide, a culinary technique for improving quality of food products: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 119, 57-68.
- Kaygısız, A., 2021, Sınırlı otu, civanperçemi ve biberiye ekstraktlarının antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi, Gıda Mühendisliği Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi*.
- Kendirci, P., İcier, F., Kor, G. ve Onogur, T. A., 2014, Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs, *Meat Science*, 97 (2), 123-129.
- Kılıç, B., Şimşek, A., Claus, J., Karaca, E. ve Bilecen, D., 2018, Improving lipid oxidation inhibition in cooked beef hamburger patties during refrigerated storage with encapsulated polyphosphate incorporation, *LWT*, 92, 290-296.
- Kim, H.-J., Cho, J. ve Jang, A., 2021, Effect of charcoal type on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats, *Food Chemistry*, 343, 128453.

- Knize, M. G. ve Felton, J. S., 2005, Formation and human risk of carcinogenic heterocyclic amines formed from natural precursors in meat, *Nutrition Reviews*, 63 (5), 158-165.
- Kwon, J., Kim, I., Moon, B., Lee, K.-W., Jung, M. ve Lee, J., 2023, The effects of different cooking methods and spices on the formation of 11 HCAs in chicken wing and pork belly, *Food Control*, 147, 109572.
- Ledesma, E., Rendueles, M. ve Díaz, M., 2016, Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention, *Food Control*, 60, 64-87.
- Lee, B. J., Hendricks, D. G. ve Cornforth, D. P., 1999, A comparison of carnosine and ascorbic acid on color and lipid stability in a ground beef pattie model system, *Meat Science*, 51 (3), 245-253.
- Lee, J.-G., Kim, S.-Y., Moon, J.-S., Kim, S.-H., Kang, D.-H. ve Yoon, H.-J., 2016, Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats, *Food Chemistry*, 199, 632-638.
- Li KaWang, L. K., McKeith, A., Shen CangLiang, S. C. ve McKeith, R., 2018, A comparison study of quality attributes of ground beef and veal patties and thermal inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 after double pan-broiling under dynamic conditions, *Foods*, 7(1), 1.
- Li, W., Shan, F., Sun, S., Corke, H. ve Beta, T., 2005, Free radical scavenging properties and phenolic content of Chinese black-grained wheat, *Journal of agricultural and food chemistry*, 53 (22), 8533-8536.
- Lingnert, H., Grivas, S., Jägerstad, M., Skog, K., Törnqvist, M. ve Åman, P., 2002, Acrylamide in food: mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods, *Scandinavian Journal of Nutrition*, 46 (4), 159-172.
- Liu, X., Liu, Y., Meng, F., Wan, Z. ve Yang, X., 2024, Oleogels by zein-tea saponin complex nanoparticles-stabilized Pickering emulsions templating and application as animal fat replacers in beef burger, *LWT*, 203, 116328.
- Lund, M. N. ve Ray, C. A., 2017, Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65 (23), 4537-4552.
- Luo, X., Hu, S., Xu, X., Du, M., Wu, C., Dong, L. ve Wang, Z., 2022, Improving air-fried squid quality using high internal phase emulsion coating, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16 (5), 3844-3854.
- Lynch, S. M. ve Frei, B., 1993, Mechanisms of copper-and iron-dependent oxidative modification of human low density lipoprotein, *Journal of Lipid Research*, 34 (10), 1745-1753.
- Ma, Y., Lin, J., Li, M., Zhu, Y., Zhao, L., Liang, D., Cho, D. H. ve Zhao, G., 2024, Effect of lignin on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked and grilled meat products, *International Journal of Biological Macromolecules*, 261, 129574.
- Malayoğlu, H. B., 2010, Biberiyenin (*Rosmarinus officinalis* L.) antioksidan etkisi, *Hayvansal Üretim*, 51 (2).
- Martín-Mateos, M. J., Ortiz, A., Curbelo, P., Barraso, C., León, L., López-Parra, M. M., Tejerina, D. ve García-Torres, S., 2022, New beef burger formulation with added cherry (pico negro variety) as a potential functional ingredient, *Applied Food Research*, 2 (2), 100132.
- Martínez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila-Ortíz, G. ve Becker, K., 2006, Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different

- treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico, *Food Chemistry*, 96 (1), 80-89.
- Meynier, A. ve Mottram, D. S., 1995, The effect of pH on the formation of volatile compounds in meat-related model systems, *Food Chemistry*, 52 (4), 361-366.
- Meziane, H., Zraibi, L., Albusayr, R., Bitari, A., Oussaid, A., Hammouti, B. ve Touzani, R., 2024, *Rosmarinus officinalis* Linn.: Unveiling its multifaceted nature in nutrition, diverse applications, and advanced extraction methods, *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 1-29.
- Mirvish, S. S., 1995, Role of N-nitroso compounds (NOC) and N-nitrosation in etiology of gastric, esophageal, nasopharyngeal and bladder cancer and contribution to cancer of known exposures to NOC, *Cancer letters*, 93 (1), 17-48.
- Morsy, M. K. ve Elsabagh, R., 2021, Quality parameters and oxidative stability of functional beef burgers fortified with microencapsulated cod liver oil, *LWT*, 142, 110959.
- Mujović, M., Šojić, B., Danilović, B., Kocić-Tanackov, S., Ikonić, P., Đurović, S., Milošević, S., Bulut, S., Đorđević, N. ve Savanović, J., 2023, Fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil and supercritical fluid extracts as novel antioxidants and antimicrobial agents in beef burger processing, *Food Bioscience*, 56, 103283.
- Nor Hasyimah, A., Jinap, S., Sanny, M., Ainaatul, A., Sukor, R., Jambari, N., Nordin, N. ve Jahurul, M., 2022, Effects of honey-spices marination on polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic amines formation in gas-grilled beef satay, *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42 (4), 1620-1648.
- Ogata, M., Hoshi, M., Urano, S. ve Endo, T., 2000, Antioxidant activity of eugenol and related monomeric and dimeric compounds, *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 48 (10), 1467-1469.
- Oz, E., 2020, Effects of smoking with different wood chips and barbecuing on some properties of salmon fish, *Gıda*, 45 (1), 1-8.
- Oz, E., 2021, The presence of polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic aromatic amines in barbecued meatballs formulated with different animal fats, *Food Chemistry*, 352, 129378.
- Oz, F. ve Yuzer, M. O., 2016, The effects of cooking on wire and stone barbecue at different cooking levels on the formation of heterocyclic aromatic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in beef steak, *Food Chemistry*, 203, 59-66.
- Öztlü, S. ve Ercoşkun, H., 2021, Et ve Sağlıklı Beslenme, *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi* (25), 15-29.
- Özvural, E. B., Huang, Q. ve Chikindas, M. L., 2016, The comparison of quality and microbiological characteristic of hamburger patties enriched with green tea extract using three techniques: Direct addition, edible coating and encapsulation, *LWT-Food Science and Technology*, 68, 385-390.
- Pandiselvam, R., Süfer, Ö., Özaslan, Z. T., Gowda, N. N., Pulivarthi, M. K., Charles, A. P. R., Ramesh, B., Ramniwas, S., Rustagi, S. ve Jafari, Z., 2024, Acrylamide in food products: Formation, technological strategies for mitigation, and future outlook, *Food Frontiers*, 5 (3), 1063-1095.
- Park, J.-E., Seo, J.-E., Lee, J.-Y. ve Kwon, H., 2015, Distribution of seven N-nitrosamines in food, *Toxicological Research*, 31, 279-288.
- Patinho, I., Selani, M. M., Saldaña, E., Bortoluzzi, A. C. T., Rios-Mera, J. D., da Silva, C. M., Kushida, M. M. ve Contreras-Castillo, C. J., 2021, *Agaricus bisporus* mushroom as partial fat replacer improves the sensory quality maintaining the instrumental characteristics of beef burger, *Meat Science*, 172, 108307.

- Phillips, D. H., 1999, Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet, *Mutation research/genetic toxicology and environmental mutagenesis*, 443 (1-2), 139-147.
- Phipps, K. R., Danielewska-Nikiel, B., Mushonganono, J. ve Baldwin, N., 2021, Reproductive and developmental toxicity screening study of an acetone extract of rosemary, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 120, 104840.
- Pouzou, J. G., Costard, S. ve Zagmutt, F. J., 2018, Probabilistic assessment of dietary exposure to heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons from consumption of meats and breads in the United States, *Food and Chemical Toxicology*, 114, 361-374.
- Qin, R., Wu, R., Shi, H., Jia, C., Rong, J. ve Liu, R., 2022, Formation of AGEs in fish cakes during air frying and other traditional heating methods, *Food Chemistry*, 391, 133213.
- Reizer, E., Csizmadia, I. G., Palotás, Á. B., Viskolcz, B. ve Fiser, B., 2019, Formation mechanism of benzo (a) pyrene: one of the most carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), *Molecules*, 24 (6), 1040.
- Ribes, S., Aubry, L., Kristiawan, M., Jebalia, I., Dupont, D., Guillevic, M., Germain, A., Chesneau, G., Sayd, T. ve Talens, P., 2024, Fava bean (*Vicia faba* L.) protein concentrate added to beef burgers improves the bioaccessibility of some free essential amino acids after in vitro oral and gastrointestinal digestion, *Food Research International*, 177, 113916.
- Rocchetti, G., Rebecchi, A., Zhang, L., Dallolio, M., Del Buono, D., Freschi, G. ve Lucini, L., 2023, The effect of common duckweed (*Lemna minor* L.) extract on the shelf-life of beef burgers stored in modified atmosphere packs: A metabolomics approach, *Food Chemistry: X*, 20, 101013.
- Roldan, M., Loebner, J., Degen, J., Henle, T., Antequera, T. ve Ruiz-Carrascal, J., 2015, Advanced glycation end products, physico-chemical and sensory characteristics of cooked lamb loins affected by cooking method and addition of flavour precursors, *Food Chemistry*, 168, 487-495.
- Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, S. R., White, S., Fernandes, A. ve Mortimer, D., 2015, Investigation into the formation of PAHs in foods prepared in the home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting, *Food and Chemical Toxicology*, 78, 1-9.
- Salama, M. F., Mahmoud, K. F., Amin, A. A., Abd El-Rahman, N. M. ve Seliem, E. I., 2023, The Influence of green extraction methods on the municipal onion extracts nano-capsules and their application in beef burger, *Food and Humanity*, 1, 471-481.
- Salman, S., Öz, G., Felek, R., Haznedar, A., Turna, T. ve Özdemir, F., 2022, Effects of fermentation time on phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of green, oolong, and black teas, *Food Bioscience*, 49, 101884.
- Sánchez-Gimeno, A., Negueruela, A., Benito, M., Vercet, A. ve Oria, R., 2008, Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process, *Food Chemistry*, 110 (3), 654-658.
- Santé-Lhoutellier, V., Astruc, T., Marinova, P., Greve, E. ve Gatellier, P., 2008, Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (4), 1488-1494.
- Schilling, M., Pham, A., Williams, J., Xiong, Y., Dhowlaghar, N., Tolentino, A. ve Kin, S., 2018, Changes in the physicochemical, microbial, and sensory characteristics of fresh pork sausage containing rosemary and green tea extracts during retail display, *Meat Science*, 143, 199-209.

- Shoqairan, Y. I., Darwish, H. K., Hamami, M. A., Al-Juhaimi, F. Y., Ahmed, I. A. M. ve Babiker, E. E., 2023, The influence of cinnamon powder on the antioxidant and antimicrobial properties of beef burger during refrigerated storage, *LWT*, 188, 115422.
- Škaljac, S., Jokanović, M., Tomović, V., Kartalović, B., Ikonić, P., Čučević, N., Vranešević, J., Ivić, M., Šojić, B. ve Peulić, T., 2023, Influence of traditional smoking on the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented beef sausage from Serbia, *Food Control*, 150, 109766.
- Soupeze, J.-B. R., Dages, B. A., Pavar, G. S., Fabian, J., Thomas, J. M. ve Theodosiou, E., 2025, Mechanical properties and texture profile analysis of beef burgers and plant-based analogues, *Journal of Food Engineering*, 385, 112259.
- Spearpoint, M. ve Hopkin, C., 2021, Household cooking oil use and its bearing on fire safety, *Journal of fire sciences*, 39 (4), 265-284.
- Stier, R. F., 2013, Ensuring the health and safety of fried foods, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115 (8), 956-964.
- Suleman, R., Wang, Z., Aadil, R. M., Hui, T., Hopkins, D. L. ve Zhang, D., 2020, Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects, *Meat Science*, 167, 108172.
- Sun, S., Rasmussen, F. D., Cavender, G. A. ve Sullivan, G. A., 2019, Texture, color and sensory evaluation of sous-vide cooked beef steaks processed using high pressure processing as method of microbial control, *LWT*, 103, 169-177.
- Şimşek, A., 2020, Hamburger Köftelerin Oksidatif Stabilitesi Üzerine Farklı Pişirme Teknikleri ve Merkez Sıcaklığı Uygulamalarının Etkisi, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8 (4), 807-817.
- Tabarestani, H. S., Mahoonak, A. S. ve Ghorbani, M., 2024, Formulating low-fat beef burger with fenugreek seed gum: Impact on texture, chemistry, and sensory characteristics, *Food and Humanity*, 2, 100260.
- Teruel, M. d. R., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A. ve Niranjana, K., 2015, A comparative study of the characteristics of French fries produced by deep fat frying and air frying, *Journal of Food Science*, 80 (2), E349-E358.
- Tian, L., Zhang, S., Yi, J., Zhu, Z., Cui, L., Decker, E. A. ve McClements, D. J., 2022, Factors impacting the antioxidant/prooxidant activity of tea polyphenols on lipids and proteins in oil-in-water emulsions, *LWT*, 156, 113024.
- Toldr, F. ve Reig, M., 2007, Chemical origin toxic compounds, *Handbook of fermented meat and poultry*, 469-475.
- Trujillo-Santiago, E., Villalobos-Delgado, L. H., Guzmán-Pantoja, L., López, M., Zafra-Ciprián, D., Nevárez-Moorillón, G. ve Santiago-Castro, J., 2021, The effects of Hierba Santa (*Piper auritum* Kunth) on the inhibition of lipid oxidation in beef burgers, *LWT*, 146, 111428.
- Turan, E. ve Şimşek, A., 2021, Effects of lyophilized black mulberry water extract on lipid oxidation, metmyoglobin formation, color stability, microbial quality and sensory properties of beef patties stored under aerobic and vacuum packaging conditions, *Meat Science*, 178, 108522.
- Unal, K., Karakaya, M. ve Oz, F., 2018, The effects of different spices and fat types on the formation of heterocyclic aromatic amines in barbecued sucuk, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 (2), 719-725.
- Ünal, K., Babaoglu, A. S. ve Karakaya, M., 2014, Effect of oregano, sage and rosemary essential oils on lipid oxidation and color properties of minced beef during refrigerated storage, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17 (5), 797-805.

- Villalobos-Delgado, L., González-Mondragón, E., Ramírez-Andrade, J., Salazar-Govea, A. ve Santiago-Castro, J., 2020, Oxidative stability in raw, cooked, and frozen ground beef using Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.), *Meat Science*, 168, 108187.
- Villanueva-Bermejo, D., de las Nieves Siles-Sánchez, M., Hernández, D. M., García-Risco, M. R., Jaime, L., Santoyo, S. ve Fornari, T., 2024, Theoretical framework to evaluate antioxidant synergistic effects from the coextraction of marjoram, rosemary and parsley, *Food Chemistry*, 437, 137919.
- Vu, G., Zhou, H. ve McClements, D. J., 2022, Impact of cooking method on properties of beef and plant-based burgers: Appearance, texture, thermal properties, and shrinkage, *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100355.
- Wang, B., Qu, F., Wang, P., Zhao, L., Wang, Z., Han, Y. ve Zhang, X., 2022, Characterization analysis of flavor compounds in green teas at different drying temperature, *LWT*, 161, 113394.
- Wang, H., Shi, B., Wang, W., Zhang, Y. ve Cheng, K.-W., 2024a, Effect of marinating with green tea extract on the safety and sensory profiles of oven-baked oyster, *Food Chemistry*, 448, 139090.
- Wang, Y., Wu, X., McClements, D. J., Chen, L., Miao, M. ve Jin, Z., 2021, Effect of new frying technology on starchy food quality, *Foods*, 10 (8), 1852.
- Wang, Z.-Y., Wu, Z.-X., Zhao, G.-H., Li, D.-Y., Liu, Y.-X., Qin, L., Jiang, P.-F. ve Zhou, D.-Y., 2023, Effect of air frying and baking on physicochemical properties and digestive properties of scallop (*Patinopecten yessoensis*) adductor muscle, *Food Bioscience*, 52, 102460.
- Wang, Z.-Y., Luo, Y., Zheng, R., Lv, S., Li, D.-Y., Liu, Y.-X., Qin, L., Jiang, P.-F. ve Zhou, D.-Y., 2024b, Effects of air frying on protein digestive properties in scallop (*Patinopecten yessoensis*) adductor muscles and the mechanisms involved, *Food Bioscience*, 60, 104429.
- Yang, S. ve Chen, K., 2001, The oxidation of cholesterol in the yolk of selective traditional Chinese egg products, *Poultry science*, 80 (3), 370-375.
- Yu, X., Li, L., Xue, J., Wang, J., Song, G., Zhang, Y. ve Shen, Q., 2020, Effect of air-frying conditions on the quality attributes and lipidomic characteristics of surimi during processing, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102305.
- Yu, Y., Cheng, Y., Wang, C., Huang, S., Lei, Y., Huang, M. ve Zhang, X., 2023, Inhibitory effect of coriander (*Coriandrum sativum* L.) extract marinades on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted duck wings, *Food Science and Human Wellness*, 12 (4), 1128-1135.
- Yu, Z., Lu, Y., Wei, F., Zhang, Y., Dong, L. ve Wang, S., 2024, The impact of natural spices additions on hazards development and quality control in roast beef patties, *Food Chemistry*, 435, 137644.
- Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L. ve Otoboni, A. M., 2019, Frying process: From conventional to air frying technology, *Food Reviews International*, 35 (8), 763-777.
- Zastrow, L., Judas, M., Speer, K., Schwind, K.-H. ve Jira, W., 2022, Barbecue conditions affect contents of oxygenated and non-oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in meat and non-meat patties, *Food Chemistry: X*, 14, 100351.
- Zhang, X.-M., Xu, C.-M., Hui, T., Cai, K.-Z., Zhou, H., Chen, C.-G. ve Xu, B.-C., 2023, Vinegars inhibiting of the generation of BaP in barbecued pork sausages by decreasing the pH and free radical scavenging, *Food Control*, 145, 109404.

- Zhang, Y., Sala, G., Scholten, E. ve Stieger, M., 2024, Role of bolus properties in dynamic texture perception of meat analogue and beef patties: Juiciness is driven by serum release during early stages of mastication, *Food Hydrocolloids*, 157, 110450.
- Zhou, Y., Wang, Q. ve Wang, S., 2020, Effects of rosemary extract, grape seed extract and green tea polyphenol on the formation of N-nitrosamines and quality of western-style smoked sausage, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44 (6), e14459.



EKLER

EK-1 Sığır Burger duyuusal analiz değerlendirme formu

**PİŞMİŞ SIĞIR BURGER
DUYUSAL DEĞERLENDİRME FORMU**

13/02/2023

Panelistin Adı Soyadı:

Panelistin Yaşı ve Cinsiyeti:

Formu doldurmadan önce notlar bölümünü okuyunuz.

Örnek Kodu	Koku ^a	Renk ^b	Lezzet ^c	Tekstür ^d	Genel Beğeni ^e
483					
435					
402					
497					
436					
457					
414					
445					

**Puanlama 0-10 aralığında yapılacaktır. Değerlendirme puanınızı, ilgili özelliğin bulunduğu kutucuğa yazınız. 10; özelliğin en yoğun algılandığı puan, 0; özelliğin hiç algılanmadığı puandır.*

Notlar:

- Tabaklarda sunulan pişmiş sığır burgerler koklanarak, bitki ekstraktlarının kendilerine özgü kokuları koku yönünden değerlendirilecektir. Panelistler, bir örneği kokladıktan sonra, su koklayarak bir önceki koku hissini etkisini azaltabilirler.
- Örneklerin kesit yüzey renkleri bir arada değerlendirilir. Tipik sığır burger rengi dikkate alınarak değerlendirme yapılır.
- Arka dişlerle iyice çiğnenen küçük bir parça sığır burger dilimi yutulduktan sonra algılanan baharatsız tat yönlerinden değerlendirilir. Örnekler arasında, ağızındaki bir önceki tadın etkisini gidermek için bir parça ekmek ve sudan yararlanınız.
- Arka dişlerle iyice çiğnenen küçük bir parça burger dilimi, çiğnemeye karşı gösterdiği direnç yönünden değerlendirilir.
- Yukarıda değerlendirilen beş özellik yönünden en beğenilenden (10) en az beğenilene (0) doğru puanlama yapılır.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Vildan ÇAKIR ERÇEK
Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Of Taşhan Lisesi	2005
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2025
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2020-	Cihanbeyli İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü	Gıda Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Et Bilimi ve Teknolojisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Erçek Çakır, V., Ünal, K. 2023. Et ve Et Ürünlerinde Isıl İşlem ile Oluşan Bileşiklerden Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar. 3rd. Int. Conference on Scientific and Academic Research ICSAR 2023, 25-26 December 2023. 54-57 s. (Sözlü Sunum)