



**MANGALDA DİREKT VE İNDİREKT PİŞİRME
İŞLEMLERİNİN POLİSİKLIK AROMATİK
HİDROKARBON OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİSİ**

Gülşah SÜMER

**Yüksek Lisans Tezi
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fatih ÖZ
2023**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MANGALDA DİREKT VE İNDİREKT PİŞİRME İŞLEMLERİNİN POLİSİKLIK
AROMATİK HİDROKARBON OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİSİ**

(The Effect of Direct and Indirect Cooking Process During Barbecue on the Formation of
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah SÜMER

Danışman: Prof. Dr. Fatih ÖZ

Erzurum
Ocak, 2023



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Direkt ve İndirekt Mangalda Pişirme İşlemlerinin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumu
Üzerine Etkisi

Prof Dr. Fatih ÖZ danışmanlığında, Gülşah SÜMER tarafından hazırlanan bu çalışma, 27.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Gıda Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oy birliği / oy çokluğu (.3 / 3.)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Sadettin TURHAN <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Fatih ÖZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Şeyma ŞİŞİK OĞRAŞ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma, BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No:FYL-2022-11160

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Prof. Dr. Fatih ÖZ* danışmanlığında sunulan “Direkt ve İndirekt Mangalda Pişirme İşlemlerinin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumu Üzerine etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	15	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Metot	22	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	14	20
Sonuçlar ve Öneriler	10	20
Tezin Geneli	21	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Gülşah SÜMER	Prof. Dr. Fatih ÖZ
27.1.2023	27.1.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde, çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyip, karşılaştığım her zorlukta yanımda olan desteğini sürekli hissettiğim başta kıymetli sayın danışman hocam Prof. Dr. Fatih ÖZ'e,

Araştırmam süresince anlayışı ve bilgi birikimiyle yol gösteren Doç. Dr. Emel ÖZ'e ve laboratuvar çalışmaları boyunca yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Eyad AOUDEH'e, Arş. Gör. Elif EKİZ'e, Adem SAVAŞ'a, Müşerref BİNGÖL'e ve Seray ERHAN'a teşekkür ederim.

Öncelikle beni bu yaşa kadar sevgiyle büyüten, eğitim öğretim yıllarım boyunca her zaman maddi manevi desteklerini gördüğüm çok kıymetli canım babam Mehmet SÜMER'e, canım annem Saadet SÜMER'e, tüm aileme ve nişanlım Kadir DEMİR'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunar ve tezimi onlara armağan etmekten onur duyarım.

Gülşah SÜMER

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MANGALDA DİREKT VE İNDİREKT PİŞİRME İŞLEMLERİNİN POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBON OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİSİ

Gülşah SÜMER

Danışman: Prof. Dr. Fatih ÖZ

Amaç: Mevcut araştırmada, direkt ve indirekt yöntemle mangalda farklı seviyelerde pişirilen et örneklerinde, karsinojenik ve/veya mutajenik bileşikler olan polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) çeşit ve oluşum düzeyleri araştırılmıştır. Ayrıca direkt ve indirekt yöntemle mangalda pişirme işlemlerinin et örneklerinin çeşitli kalite parametreleri (su içeriği, pişirme kaybı, pH, lipit oksidasyonu) üzerine etkileri de incelenmiştir.

Yöntem: Araştırmada, Erzurum Et ve Süt Kurumu Et Kombinasyonundan temin edilen sığır sırt kası (*M. Longissimus dorsi*) hammadde olarak kullanılmıştır. 1,5 cm kalınlığına getirilen etler, direkt ve indirekt yöntemle mangalda farklı derecelerde (orta ve iyi) pişirilmiştir. Direkt yöntemle mangalda pişirme işleminde geleneksel mangal kullanılırken indirekt yöntemle mangalda pişirme işleminde ise Tokat mangalı olarak bilinen özel bir mangal çeşidi kullanılmıştır. Isıl işlem öncesi et örneklerinde su, pH ve lipit oksidasyonu analizleri yapılmış, ısıl işlem sonrası ise bu analizlere ilaveten pişirme kaybı ve PAH analizleri yapılmıştır. Araştırma Tam Şansa Bağlı deneme desenine göre kurulup üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Bulgular: Araştırmada pişirme yönteminin su içeriği, pişirme kaybı, Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriği üzerine önemli bir etkisi tespit edilmezken ($p>0,05$), pH değeri üzerine önemli ($p<0,05$), TBARS değeri üzerine ise çok önemli etkisinin ($p<0,01$) olduğu belirlenmiştir. Pişirme derecesinin ise TBARS değeri üzerine önemli bir etkisi tespit edilmezken ($p>0,05$), su içeriği ve pH değeri üzerine önemli ($p<0,05$), pişirme kaybı üzerine ise çok önemli etkisinin ($p<0,01$) olduğu belirlenmiştir. Direkt ve indirekt yöntemle mangalda farklı seviyelerde pişirilen et örneklerinin tümünde BaA ve BaP bileşikleri tespit edilirken, örneklerin hiçbirinde DahA bileşiği tespit edilememiştir. Örneklerde değişen düzeylerde BaA (5,62 ng/g'a kadar), Chry (0,43 ng/g'a kadar), BbF (LOD-.-LOQ), BkF (LOD-.-LOQ), BaP (0,49 ng/g'a kadar), BghiP (0,82 ng/g'a kadar) ve IncdP (4,99 ng/g'a kadar) bileşikleri belirlenmiştir. Örneklerin Σ PAH4 içerikleri 0,71-6,35 ng/g arasında değişirken, Σ PAH8 içerikleri ise 1,12-11,34 ng/g arasında değişiklik göstermiştir. Pişirme derecesinin artması Σ PAH4 içeriğini etkilemezken Σ PAH8 içeriğinde önemli artışa neden olmuştur. En yüksek BaP (0,49 ng/g), Σ PAH4 (6,35 ng/g) ve Σ PAH8 (11,34 ng/g) içerikleri, direkt olarak mangalda iyi seviyede pişirilen et örneklerinde tespit edilmiştir.

Sonuç: Mevcut araştırmada elde edilen sonuçlar, hem direkt yöntemle mangalda pişirilen hem de indirekt yöntemle mangalda pişirilen örneklerde PAH'ların değişen düzeylerde oluştuğunu kanıtlamıştır. Öte yandan, en yüksek BaP ve Σ PAH4 içeriğine sahip olan etlerden 100 g yenmesi durumunda bile, alım miktarının, PAH'lar için belirtilen sınır değerlerin çok altında kaldığı belirlenmiştir. Ancak yine de mangalda pişirme işlemine çok dikkat edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Mangal, Lipit Oksidasyonu, Direkt Pişirme Yöntemi, İndirekt Pişirme Yöntemi

Ocak 2023, 54 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

THE EFFECT OF DIRECT AND INDIRECT COOKING PROCESSES ON THE FORMATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN BARBECUE

Gülşah SÜMER

Supervisor: Prof. Dr. Fatih ÖZ

Purpose: In the current research, the types and formation levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which are carcinogenic and/or mutagenic compounds, were investigated in meat samples cooked at different levels in barbecue by direct and indirect methods. In addition, the effects of the barbecue cooking process by direct and indirect cooking methods on various quality parameters (water content, cooking loss, pH, lipid oxidation) of meat samples were also investigated.

Method: In the research, beef muscle (*M. Longissimus dorsi*) obtained from the meat combine of Erzurum Meat and Milk Institution was used as raw material. The meat, which was sliced to a thickness of 1,5 cm, was barbecued at different degrees (medium and well) by direct and indirect methods. While a traditional barbecue was used in the direct method of barbecue cooking, a special type of barbecue known as Tokat barbecue was used in the indirect method of barbecue cooking. In meat samples, water, pH, and lipid oxidation analyzes were performed before the heat treatment, and cooking loss and PAH analyzes were carried out in addition to these analyzes after the heat treatment. The present study was established according to the Completely Randomized Block Designs and was carried out with three replications.

Findings: In the study, while no significant effect ($p>0,05$) of the cooking method was detected on the water content, cooking loss, $\sum\text{PAH}_4$, and $\sum\text{PAH}_8$ content, it was determined that it had a significant effect ($p<0,05$) on pH value and a very significant effect ($p<0,01$) on the TBARS value. While the degree of cooking did not have a significant effect ($p>0,05$) on the TBARS value, it was determined that it had a significant effect ($p<0,05$) on the water content and pH value, and a very significant effect ($p<0,01$) on the cooking loss. While BaA and BaP compounds were detected in all of the meat samples cooked at different levels in the barbecue by a direct and indirect method, DahA compound could not be detected in any of the samples. Varying levels of BaA (up to 5,62 ng/g), Chry (up to 0,43 ng/g), BbF (LOD-...-LOQ), BkF (LOD-...-LOQ), BaP in samples (up to 0,49 ng/g), BghiP (up to 0,82 ng/g), and IncdP (up to 4,99 ng/g) compounds were determined in the samples. While the $\sum\text{PAH}_4$ contents of the samples varied between 0,71-6,35 ng/g, the $\sum\text{PAH}_8$ contents varied between 1,12-11,34 ng/g. While the increase in cooking degree did not affect the $\sum\text{PAH}_4$ content, it caused a significant increase in the $\sum\text{PAH}_8$ content. The highest BaP (0,49 ng/g), $\sum\text{PAH}_4$ (6,35 ng/g), and $\sum\text{PAH}_8$ (11,34 ng/g) contents were detected in the meat samples which well cooked in barbecue by direct method.

Conclusion: The results obtained in the current research have proven that PAHs are formed at varying levels in both meat samples cooked in the barbecue by direct method and indirect method. On the other hand, it has been determined that even if 100 g of the meat with the highest BaP and $\sum\text{PAH}_4$ content is eaten, exposure amount remains far below the limit values specified for PAHs. However, it is still recommended to pay close attention to the barbecue cooking process.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Barbeque, Lipid Oxidation, Direct Cooking Method, Indirect Cooking Method

January 2023, 54 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	6
MATERYAL VE METOT	9
Materyal	9
Hammadde	9
Yöntem.....	9
Pişirme işlemi.....	9
Analizler.....	10
Su içeriği	10
Pişirme kaybı.....	10
pH değeri.....	10
Lipit oksidasyon düzeyinin belirlenmesi	10
Polisiklik aromatik hidrokarbon içeriğinin belirlenmesi.....	10
İstatistiksel analiz	11
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	12
Hammaddeye Ait Analiz Sonuçları	12
Pişirilmiş Et Örneklerinin Su İçeriği Sonuçları	12
Et Örneklerinin Pişirme Kaybı Sonuçları	14
Pişmiş Et Örneklerinin pH Değeri Sonuçları	16
Et Örneklerinin TBARS Sonuçları.....	19
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Geri Kazanımları, LOD ve LOQ Değerleri	22
Pişmiş Et Örneklerinin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği Sonuçları	23

BaA içeriği	23
Chry içeriği.....	24
BbF içeriği.....	24
BkF içeriği.....	25
BaP içeriği.....	25
DahA içeriği	26
BghiP içeriği	26
IncdP içeriği	26
Örneklerin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriği.....	27
SONUÇ ve ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Mevcut Araştırmada Analiz Edilen PAH'ların İsimleri, Kimyasal Yapıları ve Molekül Ağırlıkları (WHO, 2006).....	3
Tablo 2. Hammadde Olarak Kullanılan Et Örneklerine Ait Ortalama Su, pH ve TBARS Analiz Sonuçları ve Standart Sapma Değerleri ($\bar{x}\pm SD$).....	12
Tablo 3. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin Su İçerikleri (%) ($\bar{x}\pm SD$).....	13
Tablo 4. Su İçeriğine Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$)	13
Tablo 5. Su İçeriği Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	14
Tablo 6. Su İçeriği Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	14
Tablo 7. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin Pişirme Kaybı Değerleri ($\bar{x}\pm SD$)	15
Tablo 8. Pişirme Kaybına Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	15
Tablo 9. Pişirme Kaybı Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	15
Tablo 10. Pişirme Kaybı Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	16
Tablo 11. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin pH Değerleri ($\bar{x}\pm SD$)	17
Tablo 12. pH Değerlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	17
Tablo 13. pH Değeri Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	18
Tablo 14. pH Değeri Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	18
Tablo 15. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin TBARS Değerleri ($\bar{x}\pm SD$)	20
Tablo 16. TBARS Değerlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	20
Tablo 18. TBARS Değerleri Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x}\pm SD$).....	21
Tablo 19. PAH'lara ait LOD, LOD ve Geri Kazanım Değerleri	22
Tablo 20. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin Bireysel PAH İçerikleri (ng/g).....	23

Tablo 21. Örneklerin Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçeriği (ng/g)	28
Tablo 22. Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçerikleri ile İlgili Varyans Analizi	28
Tablo 23. Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçerikleri Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları (ng/g)	29
Tablo 24. Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçerikleri Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları (ng/g)	29



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Et örneklerinin direkt ve indirekt olarak pişirilmesinde kullanılan mangal çeşitleri	9
Şekil 2. Et örneklerin pH değeri üzerine pişirme yöntemi × pişirme derecesi interaksyonunun etkisi	19
Şekil 3. Et örneklerin TBARS değeri üzerine pişirme yöntemi × pişirme derecesi interaksyonunun etkisi	22
Şekil 4. Et örneklerin Σ PAH4 (a) ve Σ PAH8 (b) içeriği üzerine pişirme yöntemi × pişirme derecesi interaksyonunun etkisi	30



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
BaA	Benzo[a]antrasen
BaP	Benzo[a]piren
BbF	Benzo[b]floranten
BghiPy	Benzo[g,h,i]perilen
BkF	Benzo[k]floranten
Chry	Krisen
DahA	Dibenzo[a,h]antrasen
IcdP	İndeno[1,2,3-cd]piren
dk	Dakika
g	Gram
Kg	Kilogram
KO	Kareler Ortalaması
LOD	Tespit Edilebilme Sınırı
LOQ	Miktarın Belirlenebilme Sınırı
M	Molarite
mm	Milimetre
n	Örnek sayısı
nd	Tespit edilemedi (<LOD)
ng	Nanogram
nm	Nanometre
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
pH	Hidrojen gücü
rpm	Dakikada Dönme Hızı
s	Saniye
SD	Standart Sapma
TBARS	Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeler
VK	Varyasyon Kaynakları
$\bar{x}$	Ortalama
μg	Mikrogram

μl

Mikrolitre

μm

Mikrometre



GİRİŞ

İnsan yaşamını devam ettirebilmesi için en temel ihtiyaçlardan biri olan beslenme, yaşam standartlarının yükseltilebilmesi için gerekli olan gıdaların, beslenme sistemine dahil edilmesidir. Beslenme yalnızca tokluk hissi yaratmak için değil aynı zamanda vücudun ihtiyaç duyduğu temel besin öğelerini vücuda kazandırarak sağlığı korumak ve kaliteli bir yaşam sunarak vücudun direncini artırmak için yapılan bir eylem olarak tanımlanabilmektedir. Gıdalar, tüketiciler için faydalı olduğu tespit edilen birçok bileşik içermektedir. Yeterli ve dengeli bir beslenme için günde her bir kg vücut ağırlığı için en az 1 g ham protein tüketilmesi ve bu protein miktarının yaklaşık yarısının hayvansal kaynaklı olması önerilmiştir (Gökalp vd 2010). Gıdalarımız arasında önemli bir yere sahip olan hayvansal kaynaklı gıdalar; bunlar arasında da özellikle et ve et ürünleri; protein, amino asitler, yağ, yağ asitleri, vitamin ve mineral madde gibi vücudun ihtiyacı olan makro ve mikro bileşiklerin temel kaynaklarından birisidir (Williams 2007; Ledesma *et al.* 2016; Aydın ve Şahan 2018; Oz 2022). Hayvansal gıdaların insan diyetindeki en önemli faktörlerinden biri bünyesinde bulunan esansiyel aminoasitlerdir. Etin bünyesinde taşıdığı bu esansiyel aminoasitlerin insan vücudunda; enerji üretimi, bağışıklık sistemi, doku üretimi ve gıda bileşenlerinin emilimi gibi önemli etkilerinin bulunduğu belirtilmektedir (Uğur ve Unal 2017; Ünsal 2019). Kırmızı etin yapısında barındırdığı bazı mikro bileşiklerin bitkisel kaynaklı gıdalarda ya hiç bulunmadığı ya da çok düşük bir biyoyararlılığa sahip olduğu belirtilmektedir. Bu durum da et tüketimi ile insan sağlığına birçok açıdan fayda sağlayan besin öğelerinin (esansiyel aminoasit, esansiyel yağ asitleri, vitaminler özellikle B grubu vitaminleri ve Fe, Zn gibi mineral maddeler) vücuda kazandırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra et tüketimi, yüksek protein ve düşük karbonhidrat içeriği ile de birçok hastalığa (obezite, diyabet, kanser) sebebiyet veren glisemik indeksin düşük seviyelerde tutulmasına katkı sağlamaktadır (Biesalski 2005).

Et ve et ürünleri, çiğ tüketime uygun ürünler dışında genellikle ısıl işlem uygulandıktan sonra tüketilmektedir. Pişirme işlemi etin renk, tat-koku ve tekstürel özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca sıcak servis edildiğinde daha çekici ve lezzetli olan et, usulüne uygun olarak pişirildiğinde neredeyse steril hale gelirken sindirimi de kolaylaşmaktadır. Ancak etin pişirilmesi, bünyesindeki çeşitli bileşenlerde görülebilen değişiklikler neticesinde etin besin değerini ve güvenilirliğini olumsuz yönde de etkileyebilmektedir (Babür ve Gürbüz 2015; Cordeiro *et al.* 2020).

Dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan pişirme yöntemlerinden birisi de mangalda pişirmedir. Mangalda pişirme; fırın, elektrikli veya dış mekân ızgarası gibi ısı kaynakları ile kuru pişirme esasına dayanmaktadır. Mangalda pişirme işleminde genellikle bağ doku miktarı az olan etler tercih edilmektedir. Ancak ısı kaynağı tek bir yönden yayıldığı için işlem sırasında etlerin çevrilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Rose *et al.* 2015).

Mangalda pişirme, ürüne verdiği kendine has tat, aroma ve tekstürel özelliklerden dolayı tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Mangalda pişirme işlemi temelde direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Direkt pişirme işleminde ısı kaynağı ile gıda arasına tel ızgara yerleştirilmekte ve ısı kaynağından çıkan duman (tütsü) gıda ile doğrudan temas etmektedir. İndirekt pişirme işleminde ise ısı kaynağı ile gıda farklı bölmelerde olup dumanın doğrudan gıda ile teması kesilmekte ve böylelikle gıdadaki yağın eriyerek kömürün üzerine damlaması engellenmektedir (Onopiuk *et al.* 2021).

Mangalda pişirme işlemi ürünlere kendine has bazı önemli özellikler kazandırırken, aynı zamanda çeşitli ısı işlem toksikantlarının oluşumuna da neden olabilmektedir. Bu toksikantlardan biri de polisiklik aromatik hidrokarbonlardır (PAH'lar) (Chung *et al.* 2011; Sun *et al.* 2019).

PAH'lar saf bileşik halinde renksiz, beyaz, açık sarı, yeşil renkli, katı halde ve hafif hoş bir kokuya sahiptirler. İlaveten PAH'ların, hidrofobik yapılarından dolayı sudaki çözünürlükleri oldukça az olup yüksek oranda lipofilik özelliğe sahiptirler (Alver *et al.* 2012; Günc Ergönül ve Kaya 2015; Kılıç vd 2017). PAH bileşiklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri molekül ağırlıklarına göre farklılık göstermektedir. Yapısında dörtten az benzen halkası bulunduran PAH'lar hafif PAH, dört ve daha fazla benzen halkası bulunduran PAH'lar ise ağır PAH'lar olarak sınıflandırılmakta ve çoğunun insan sağlığına büyük bir tehdit oluşturan teratojenite, kanserojenlik ve mutajeniteye sahip olduğu kanıtlanmıştır (Günc Ergönül ve Kaya 2015; Sun *et al.* 2019). Ayrıca, yüksek molekül ağırlığına sahip PAH bileşikleri düşük uçuculuk ve çözünürlük özelliklerine sahip iken, PAH'ların yapısındaki halka sayısının artmasıyla uçuculukları daha da azalmaktadır. PAH bileşiklerinin molekül ağırlıkları arttıkça erime noktası ve kaynama noktası yükselmekte, buhar basınçları azalmaktadır. Çoğu PAH bileşiğinin erime noktası 250°C'nin altında ve kaynama noktası da 300°C'nin üzerindedir. Bazı araştırmalara göre, molekül ağırlıkları 216 g/mol'den daha düşük olan PAH'ların karsinojen özellik göstermediği, daha yüksek molekül ağırlığına sahip olan PAH'ların ise karsinojen özellik gösterdiği bildirilmiştir (Günc Ergönül ve Kaya 2015; Kılıç vd 2017).

Büyük bir kimyasal sınıfı oluşturan PAH'lar, genel olarak polisakkaritler, organik asitler ve şekerler gibi karbon içeren organik materyallerin pirolizi sonucu oluşan iki veya daha

fazla kaynaşmış aromatik halka içeren bileşikler olarak tanımlanmaktadır. PAH'lar tütün dumanı, makine egzozları, petrol distilatları ve özellikle de kömür kaynaklı ürünler gibi organik materyalin tam yanmaması sonucu oluşmasının yanı sıra su, hava ve toprakta doğal olarak da bulunabilmektedir (Shen *et al.* 2011; Domingo and Nadal 2015; Lee *et al.* 2016; Gümüş ve Yardımcı 2019).

Bugüne kadar yaklaşık 660 farklı PAH bileşiğinin belirlendiği ve bunlardan 16 tanesinin karsinojen ve/veya mutajen bileşikler olmaları nedeniyle Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından öncelikli kontaminantlar olarak seçildiği belirtilmektedir (Stolyhwo and Skorski 2005; Oz and Yuzer 2016; Masuda *et al.* 2019). Ayrıca Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından PAH bileşikleri insanlar için karsinojen (Grup 1A) ve muhtemel karsinojen (Grup 2A) olarak sınıflandırılmıştır (Malarut and Vangnai 2018). PAH'ların, kansere neden olan en geniş kimyasal sınıf olduğu belirtilmektedir (Chen ve Chen 2005).

Tablo 1. Mevcut Araştırmada Analiz Edilen PAH'ların İsimleri, Kimyasal Yapıları ve Molekül Ağırlıkları (WHO, 2006)

Kimyasal İsmi	Kısaltması	Molekül Ağırlığı	Yapı
Benzo[a]antrasen	BaA	228	
Krisen	Chry	228	
Benzo[b]floranten	BbF	252	
Benzo[k]floranten	BkF	252	
Benzo[a]piren	BaP	252	
İndeno[1,2,3-cd]piren	IcdP	276	
Benzo[g,h,i]perilen	BghiPy	276	
Dibenzo[a,h]antrasen	DahA	278	

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), PAH bileşikleri arasında kanserojen etki ve oluşum bakımından indikatör olan BaP'yi insan kanserojeni olarak tanımlamıştır.

Epidemiyolojik çalışmalar doğrultusunda işlenmiş et ürünleri tüketimi ile kolorektal, bağırsak, göğüs, prostat ve pankreas gibi çeşitli kanser türleri arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya konmuştur (Duedal- Olesen *et al.* 2015; Malarut and Vangnai 2018; Kim *et al.* 2021). Ayrıca, PAH'lar yağ içeren çoğu vücut dokularına girebildiklerinden dolayı da çoğunlukla karaciğer, yağ dokuları ve böbrekte depolanma eğilimi de göstermektedir (Günç Ergönül ve Kaya 2015).

Çevre Koruma Ajansı (US EPA) insan sağlığı için PAH'ların varlığının ciddi bir tehdit olduğunu belirtmiş ve kanser riskinin kabul edilebilir ve öncelikli risk limitlerini (10^{-6} ve 10^{-4} sırasıyla) tanımlamıştır. Bu araştırmalar, çocukları ve yetişkinleri gıdalarda PAH'ların zararlı ve kanserojen etkisiyle karşı karşıya kalan başlıca toplumsal gruplar olarak nitelendirmiştir. Kanser vaka sayılarının son yıllarda önemli ölçüde arttığı ve 2018 yılında dünya genelinde tahminen 9,6 milyon ölüme neden olduğu belirtilmektedir. Diyetten günlük olarak alınan PAH'ların kanser vakalarındaki bu artışın nedenlerinden biri olabileceği belirtilmektedir (Singh *et al.* 2020).

PAH'ların gıdalarda oluşumları ile ilgili farklı mekanizmalar öne sürülmüştür. Bunlar;

- 1) Yağ, protein ve karbonhidrat gibi organik maddelerin yüksek sıcaklıklarda (500-900°C) pirolizi,
- 2) Kömür ateşi üzerinde pişirilen gıdalardan ayrılan yağ damlalarının yanan kömür üzerine düşmesi neticesinde yüksek sıcaklık ile karşılaşması,
- 3) Kömürün tam olarak yanmaması sonucu PAH bileşiklerinin oluşması ve bunların gıda yüzeyine kontamine olması olarak ifade edilmektedir (Farhadian *et al.* 2012; Kılıç vd 2017; Aydın ve Şahan 2018; Onopiuk *et al.* 2021).

Yapılan çalışmalar neticesinde, et ve et ürünlerinde PAH bileşiklerinin, özellikle mangalda pişirme veya tütsüleme işlemleriyle daha çok oluştukları ortaya konmuştur (Farhadian *et al.* 2010). Ayrıca PAH bileşiklerinin miktar ve çeşidi; et çeşidi, yağ içeriği, pişirme şartları (metot, sıcaklık, süre, kullanılan ekipman vb.), kullanılan yakıtın tipi, ısı kaynağına olan yakınlığı ve gıdanın ateş ile direkt teması gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Farhadian *et al.* 2012; Günç Ergönül ve Kaya 2015; Aydın ve Şahan 2018; Onopiuk *et al.* 2021; Oz 2021).

Et ve et ürünlerinde PAH'ların oluşumunda ısı kaynağı ile direkt temasının çok önemli bir faktör olduğu ve elektrikli ızgara veya diğer uygun tasarımlı ızgaralarda pişirme işlemi ile erimiş yağın ısı kaynağı üzerine damlamaması halinde kanserojen PAH'ların tespit edilemediği belirlenmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda araştırmacılar; etin yüksek sıcaklıklarda

pişirilmesi esnasında, alev veya ızgara ile doğrudan temasından kaçınılması gerektiğini vurgulamışlardır (Jaegerstad and Skog 2005; Fahradian *et al.* 2011).

Mangalda pişirme işleminin PAH oluşumu üzerine etkisini araştıran içinde ekibimizin de olduğu çok sayıda çalışma literatürde halihazırda mevcuttur. Fakat ülkemizde Tokat mangalı olarak nitelendirilen bir mangal çeşidi kullanılarak indirekt yöntemle mangalda pişirme işleminin PAH oluşumu üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmaya literatürde bildiğimiz kadarıyla rastlanılmamıştır. Bu nedenle, mevcut çalışmada, direkt ve indirekt yöntemle göre dizayn edilmiş mangallarda pişirme işleminin sığır pirzolarının çeşitli kalite kriterleri (su, pH, TBARS ve pişirme kaybı) ve PAH oluşumu üzerine etkisi araştırılmıştır.



KURAMSAL TEMELLER

Yüzyıllar boyunca insan beslenmesinde önemli rol oynayan et ve et ürünleri, içermiş olduğu makro ve mikro bileşenlerden dolayı yeterli ve dengeli beslenmede elzem rol oynamaktadır. Ayrıca glisemik indeks değerinin düşük olması da beslenme ve sağlık açısından önem arz etmektedir. Diğer taraftan tüketimleri öncesinde et ve et ürünlerine çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemlerden biri olan pişirme işlemi ile et ve et ürünlerine lezzet, aroma ve mikrobiyal açıdan güvenilirlik gibi çeşitli avantajlar sağlanırken, mutajen ve/veya karsinogen bileşiklerin oluşumu da görülebilmektedir. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), bu mutajen ve/veya karsinogen bileşikler arasında yer almaktadır. Pişirme yönteminde et ve et ürünlerinin doğrudan ısıya yakınlığı, ısı derecesi, ürün çeşidi, pişirme süresi gibi birçok faktör oluşan PAH miktar ve çeşidini de etkilemektedir. Konuyla ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Chen and Lin (1997), farklı süre ve pişirme yöntemlerinin ördek göğüs etlerinde (tütsüleme, kızartma, buharda, sıvı duman aroması ve mangal) PAH oluşumu üzerine etkisini incelemişlerdir. Örneklerin toplam PAH içeriklerinin 0,3–526,8 ppb arasında değişirken, kanserojen PAH içeriklerinin ise nd–52,6 ppb arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda PAH seviyesinin en yüksek olduğu pişirme yönteminin mangalda pişirilen ördek göğüs etlerinde olduğu belirlenmiştir.

Kazerouni *et al.* (2001) farklı et türleri ve farklı pişirme yöntemleri kullanarak pişirilen örneklerde PAH oluşumunu incelemişlerdir. Örneklerin BaP içeriğinin nd–4,86 ng/g arasında değiştiği ve en yüksek BaP içeriğinin ızgara/mangalda pişirilen biftek etlerinde olduğu belirlenmiştir.

Başak and Karakoç (2010) dumanlanmış somon ve gökkuşağı alabalığı örneklerinde potansiyel kanserojen PAH'ların miktarlarını incelemişlerdir. Somon ve gökkuşağı alabalıklarının ortalama toplam PAH içeriklerinin 23,83 – 79,74 µg/kg arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Chung *et al.* (2011) sığır ve domuz etlerinde farklı pişirme yöntemlerinin (ızgara ve kavurma) PAH oluşumu üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar sığır eti örneklerinde toplam PAH içeriğinin nd – 3,03 µg/kg arasında ve domuz eti örneklerinde ise nd – 30,1 µg/kg arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Aasliyng *et al.* (2013) mangalda pişirilen sığır, domuz ve tavuk etlerinde PAH oluşum düzeylerini incelemişlerdir. Sığır, domuz ve tavuk etlerinde toplam PAH içeriklerinin sırasıyla 18 – 867 µg/kg, 7,3 – 122 µg/kg ve 5,4 – 43 µg/kg arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek BaP içeriğinin sığır eti numunelerinde (24 µg/kg) olduğu belirlenmiştir.

Duedalh-olesen *et al.* (2015) mangalda pişirilmiş farklı et örneklerinde (sığır, domuz, tavuk, somon ve kuzu) PAH oluşum düzeylerini araştırmışlardır. Örneklerin ortalama toplam PAH içeriklerinin 0,1 – 195 µg/kg arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Babaoğlu *et al.* (2017) farklı hayvansal yağlar kullanılarak hazırlanan farklı et örneklerinin PAH içeriklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, tüketime hazır kokoreçlerin ortalama toplam PAH içeriklerinin 3,07 – 40,11 µg/kg arasında değiştiğini tespit etmiştir.

Oz and Yuzer (2016) mangal ızgara tipinin (taş ve tel) dana bifteklerde PAH oluşum düzeyleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Örneklerin bireysel PAH içerikleri nd – 0,43 ng/g'a arasında değişirken toplam PAH içeriklerinin ise nd – 2,63 ng/g arasında değiştiği bildirilmiştir.

Erhunmwunse *et al.* (2016) mangalda pişirilmiş farklı balık örneklerinin (kroka ve yaygın) PAH içeriklerini incelemişler ve örneklerin toplam PAH içeriklerinin 1797,72 – 3031,44 µg/g aralığında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Aydın ve Şahan (2018) dana, kuzu, tavuk ve hindi et örneklerinde farklı pişirme yöntemlerinin PAH oluşumu üzerine etkisini araştırmışlardır. Örneklerin toplam PAH4 seviyelerinin 1,10 ve 3,30 µg/kg arasında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca en yüksek PAH seviyesinin mangalda pişirilmiş tavuk etlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Lu *et al.* (2018) köftelerde baharat ve et çeşidinin PAH oluşumu üzerine etkisini incelemişlerdir. Örneklerin toplam PAH miktarlarının 0,08 – 3,87 ng/g arasında değiştiği ve tüm baharatlar içerisinde zencefil tozunun (%97,93), hem sığır hem de tavuk köftelerinde toplam PAH oluşumunu önemli ölçüde engelleyen tek baharat olduğu bildirilmiştir.

Kafouris *et al.* (2020) geleneksel olarak tütsülenmiş (füme jambon, füme domuz pastırması, füme domuz eti ve füme sosis) ve ızgarada pişirilmiş et örneklerinde PAH düzeylerini araştırmışlardır. Araştırmada, tütsülenmiş et örneklerinin toplam PAH4 içeriğinin 0,63 – 85 µg/kg arasında değiştiği belirlenirken, ızgarada pişirilen örneklerde ise 0,81 – 105,4 µg/kg arasında değiştiği belirlenmiştir.

Oz (2021) köftelerde farklı hayvansal yağların kullanımının PAH oluşumu üzerine etkisini incelemiştir. Araştırmada, BaP ve PAH4 düzeylerinin sırasıyla 2,33 – 4,30 ng/g ve 8,41 – 15,48 ng/g arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca farklı hayvansal yağ kullanımının BaP ve toplam PAH4 miktarını önemli ölçüde etkilediği de rapor edilmiştir.

Bostan (2021) farklı pişirme yöntemleri kullanılarak pişirilen köfte örneklerinde PAH içeriğini incelemiştir. Örneklerin toplam PAH içeriğinin 7,06 – 112,77 µg/kg arasında değiştiği ve en yüksek PAH içeriğine sahip örneklerin mangalda pişirilenlere ait olduğu belirlenmiştir.

Et ve et ürünlerinin pişirilmesinde en çok tercih edilen pişirme yöntemlerinden biri olan mangalda pişirme, tüketiciye sağladığı farklı organoleptik özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Öte yandan, mangalda pişirme sırasında karsinojen ve/veya mutajen oldukları tespit edilen PAH bileşiklerinin oluştuğu da bilinmektedir. Literatürde yapılan çalışmaların büyük bir kısmında farklı pişirme yöntemleri veya sürelerinin PAH bileşiklerinin oluşumu üzerine etkisine odaklanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda mevcut araştırmada, direkt ve indirekt yöntemle mangalda farklı seviyelerde pişirilen et örneklerinde, PAH bileşiklerinin çeşit ve oluşum düzeyleri araştırılmıştır. Ayrıca, mevcut araştırmanın PAH bileşiklerinin oluşumlarının incelenmesi ve önlenmesi açısından literatüre önemli datalar kazandıracığı ve özellikle indirekt pişirme yönteminin PAH oluşumu üzerine etkisinin açıklanması konusunda literatürdeki eksikliği gidereceği düşünülmektedir. İlaveten et örneklerinde direkt ve indirekt pişirme yöntemlerinin çeşitli kalite parametreleri üzerine etkisi de incelenmiş ve kıyaslanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Hammadde

Yapılan araştırmada, Erzurum Et ve Süt Kurumu Et Kombinasından temin edilen sığır pirzola etleri (*M.Longissimus dorsi*) materyal olarak kullanılmıştır. Soğuk zincir altında laboratuvara getirilen etler 1,5 cm kalınlığında ve aynı büyüklükte dilimlere ayrıldıktan sonra kullanılmıştır.

Yöntem

Piştirme işlemi

Mevcut çalışmada, piştirme işlemi iki farklı şekilde dizayn edilen mangal (direkt yöntem için geleneksel mangal ve indirekt yöntem için Tokat mangalı) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Her iki yöntemde de et örnekleri 2 farklı piştirme seviyesinde (orta, İyi) pişirilmiştir. Piştirme işleminde, homojen bir piştirme işlemi sağlanmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla, direkt piştirme işlemi için toplam 6 dk (3+3 dk) pişirilen örnekler orta seviyede pişirilmiş; toplam 12 dk (6+6 dk) pişirilen örnekler ise iyi seviyede pişirilmiş örnekler olarak değerlendirmeye alınmıştır. İndirekt piştirme yöntemi için toplam 11 dk pişirilen örnekler orta seviyede pişirilmiş; toplam 17 dk pişirilen örnekler ise iyi seviyede pişirilmiş örnekler olarak değerlendirmeye alınmıştır.



a) Direkt



b) İndirekt

Şekil 1. Et örneklerinin direkt ve indirekt olarak pişirilmesinde kullanılan mangal çeşitleri

Analizler

Su içeriği

Örneklerin su içerikleri, yaklaşık 10 g et örneğinin sabit tartıma ulaşınca kadar etüvde ($100 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik) (yaklaşık 18 saat) kurutulması sonucunda belirlenen ağırlık kaybı üzerinden hesaplanmıştır (Gökalp *et al.* 2010).

Piştirme kaybı

Et örneklerinin piştirme kaybı; piştirme işleminden önce ve piştirme işleminden sonra oda sıcaklığına soğutulduktan sonra belirlenen ağırlık kaybı üzerinden hesaplanmıştır (Öz and Kızıl 2013).

pH değeri

Örneklerin pH değeri, 10 g örneğin 100 ml saf su ile ultra-turrax kullanılarak yaklaşık 1 dk homojenize edilmesinden sonra pH metre kullanılarak belirlenmiştir. pH metre kullanılmadan önce uygun tampon çözeltiler (pH 4,0 – 7,0 ve 10,0) ile kalibre edilmiş ve daha sonra okuma işlemi gerçekleştirilmiştir (Gökalp *et al.* 2010).

Lipit oksidasyon düzeyinin belirlenmesi

Et örneklerinin lipit oksidasyon düzeyi, tiyobarbitürik asit reaktif maddeler (TBARS); analizi ile Kılıç and Richards (2003) tarafından verilen yöntem kullanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, 2 g et örneği, 12 ml trikloroasetik asit (TCA) solüsyonu ile 30 sn boyunca ultra-turrax kullanılarak homojenize edilmiştir (IKA Werk T 25, Germany). Ardından Whatman 1 filtre kağıdından süzdürölüp, 3 ml süzüntü üzerine 3 ml tiyobarbitürik asit (TBA) solüsyonu eklenmiştir. Mevcut karışım, 100°C 'lik su banyosunda 40 dk bekletildikten sonra soğuk su içerisinde soğutulmuş ve 2000 rpm'de 5 dk santrifüj edildikten sonra spektrofotometrede 530 nm'de kör numuneye karşı absorbans değerleri belirlenmiştir. TBARS değerleri mg malondialdehit (MDA)/kg olarak verilmiştir.

Polisiklik aromatik hidrokarbon içeriğinin belirlenmesi

PAH bileşiklerinin belirlenmesinde uygulanan ekstraksiyon yöntemi (Oz 2021) referans alınarak yapılmıştır. Bu amaçla 5 g et örneği üzerine 15 ml soğuk 1 M NaOH eklenip 2 saat homojenize edilmiştir. Ardından 10 g Extrelut NT paketleme materyali ilave edilmiştir. Karışım, kolona alınarak PRS kartuş bağlandıktan sonra PAH fraksiyonu diklorometan ile yıkanmıştır. Ardından toplanan fraksiyon azot gazı ile uzaklaştırılmıştır. Fraksiyondan kalan kısım 1 ml n-hekzan içinde yeniden çözündürölüp 10 g deaktivate edilmiş silika jel ile

doldurulmuş bir kolonun üzerine yerleştirilmiştir. Kolondan ön şartlandırma amacıyla 25 ml n-hekzan geçirilmiştir. Ardından PAH fraksiyonu ilave edilen kolon 60:40 (v/v) n-hekzan ve diklorometan ile yıkanmıştır. Çözücü tekrar azotla uzaklaştırılmış ve 1 ml asetronitril ile yıkandıktan sonra viallere alınıp HPLC’de okuma yapılmıştır. PAH’lar flüoresan detektörlü (FLD-3000) HLPC cihazında (Thermo Ultimates-3000, Waltham, MA, USA) Hypersil™ Green PAH LC (150 mm × 2,1 mm, 3 µm) kolon kullanılarak su ve asetronitril mobil fazları ile gradyan programı uygulanarak analiz edilmiştir.

İstatistiksel analiz

Mevcut çalışma Tam Şansa Bağlı Deneme Desenine göre düzenlenmiş, analizler üç tekerrür olacak şekilde yapılmıştır. Sonuçlar SPSS paket programı ile analiz edilmiş, önemli olduğu belirlenen ortalama değerler arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testinden ($p<0,05$) yararlanılmıştır (Yıldız ve Bircan 1991).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Hammaddeye Ait Analiz Sonuçları

Mevcut araştırmada, Erzurum Et ve Süt Kurumu Et Kombinasyonundan temin edilen sığır pirzola etlerinin (*M. Longissimus dorsi*) su, pH ve TBARS değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Mevcut araştırmada, hammadde olarak kullanılan et örneklerinde su içeriği %77,27, pH değeri 5,69 ve TBARS değeri ise 0,480 mg MDA/kg olarak bulunmuştur. Sığır eti ile ilgili yapılan literatür çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Oz and Yuzer (2016) yaptıkları çalışmada sığır pirzolasının su içeriğini %76,91, pH değerini 5,41 ve TBARS değerini 0,293 mg MDA/kg olarak tespit etmişlerdir. Kılıç (2021) sığır *M. Longissimus thoracis* kasının su içeriğini %74,54 ve TBARS değerini ise 0,127 mg MDA/kg olarak belirlemiştir. Fencioğlu *et al.* (2022) ise yaptıkları çalışmada, sığır biftek etlerinin su içeriğini %78,09, pH değerini 5,76 ve TBARS değerini 0,181 mg MDA/kg olarak bulduklarını rapor etmişlerdir. Öte yandan, Aşçıoğlu (2013) kendi çalışmalarında kullandıkları sığır pirzola etlerinin pH değerini (6,07) mevcut araştırmada belirlenen pH değerinden daha yüksek olarak belirlemiştir. Mevcut araştırma sonuçları ile literatürde yer alan çalışmaların sonuçları arasındaki farklılıkların hayvanın türü, cinsiyeti, yaşı, yetiştirilme şartları, kas çeşidi vb. faktörler nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 2. Hammadde Olarak Kullanılan Et Örneklerine Ait Ortalama Su, pH ve TBARS Analiz Sonuçları ve Standart Sapma Değerleri ($\bar{x} \pm SD$)

Hammadde	n	Su (%)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
Et	3	77,27 $\pm$ 0,05	5,69 $\pm$ 0,03	0,480 $\pm$ 0,02

Piştirilmiş Et Örneklerinin Su İçeriği Sonuçları

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin su içerikleri Tablo 3’te sunulmuştur. Isıl işlem görmemiş ette %77,27 olarak belirlenen su içeriği, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinde %58,62 – 64,98 arasında değişiklik göstermiştir. Pişirme işlemi; ulaşılan sıcaklık, myofibriler proteinlerde görülen şirink ve perimisyal bağ dokuda görülen büzülme nedeniyle etin su içeriğini azaltmaktadır. Ayrıca, pişirme işlemi sırasında uygulanan yüksek sıcaklık nedeniyle etin suyu buharlaşmakta ve bu da su içeriğinin azalmasına neden olmaktadır (Sánchez del Pulgar *et al.* 2012).

Tablo 3. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin Su İçerikleri (%) ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Derecesi	n	Su (%)	
		Direkt	İndirekt
Orta	3	64,25 $\pm$ 4,72	64,98 $\pm$ 1,80
İyi	3	60,27 $\pm$ 2,81	58,62 $\pm$ 1,18

Direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin su içeriklerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Örneklerin su içeriği üzerine sadece pişirme derecesinin önemli ($p < 0,05$) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. Su İçeriğine Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

VK	SD	KO	F
Pişirme Yöntemi (PY)	1	0,619	0,071
Pişirme Derecesi (PD)	1	80,109	9,217*
PY $\times$ PD	1	4,228	0,486
Hata	8	8,691	

*: $p < 0,05$

Su içeriği üzerine pişirme yönteminin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 5’te sunulmuştur. İndirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin su içerikleri, direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin su içeriklerinden düşük olsa da aralarında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Genel olarak düşünüldüğünde, indirekt pişirme yöntemi ile pişirme işleminin, örneklerin su içeriği üzerine anlamlı bir farklılık göstermesi ve daha düşük su içeriğine neden olması beklenebilirdi. Ancak mevcut araştırmada, direkt ve indirekt yöntem kullanılarak pişirilen örneklerin eşit seviyede pişirilmeleri için pişirme süreleri farklı tutulmuştur. Dolayısıyla, indirekt yöntem ile pişirilen örneklerin direkt yöntem ile pişirilen örneklere kıyasla daha uzun süre pişirme işlemine tabii tutulması ve pişirme esnasında et örneklerinin her iki yüzünün de ısıya maruz kalmasının bu sonuca etki ettiği düşünülmektedir. Öte yandan, mangalda pişirme işleminde tel ve taş ızgara kullanımının et örneklerinin PAH içeriği üzerine olan etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Oz and Yuzer 2016), mangal ızgara tipinin (tel ve taş) örneklerin su içeriği üzerine önemli etkisinin olduğunu rapor edilmiştir. Araştırmacılar, tel mangalda pişirilen et örneklerinin su içeriğini %56,98, taş mangalda pişirilen et örneklerinin su içeriğini ise %65,83 olarak rapor etmişlerdir.

Tablo 5. Su İçeriği Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Yöntemi	n	Su (%)
Direkt	6	62,26 $\pm$ 4,10a
İndirekt	6	61,80 $\pm$ 3,74a

Su içeriği üzerine pişirme derecesinin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 6’da sunulmuştur. Mevcut araştırmada, örneklerin pişirme derecesinin artması su içeriğinde anlamlı bir azalmaya neden olmuştur. Bu sonuca uzun pişirme süresinin etki ettiği düşünülmektedir.

Tablo 6. Su İçeriği Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Derecesi	n	Su (%)
Orta	6	64,61 $\pm$ 3,22a
İyi	6	59,44 $\pm$ 2,13b

Et Örneklerinin Pişirme Kaybı Sonuçları

Pişmiş etin kalitesinde ve besin değerinde pişirme kaybı, önemli faktörlerden bir tanesidir. Pişirme esnasında, etin su tutma kapasitesinde kayıplar yaşanmaktadır. Pişirme kaybı olarak adlandırılan bu kayıplar birçok faktöre (hayvanın cinsiyeti, yaşı, kas yapısı, pişirilme şekli ve süresi vb.) bağlı olup pişirme neticesinde, üründe aroma oluşumu, renk, boyut, gevreklik, yağ miktarı ve protein fraksiyonlarında değişiklik, mineral kayıpları ve mikrobiyolojik yükün azalması gibi bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimler yaşanabilmektedir (Babür ve Gürbüz 2015; Şireli 2018; Sanwo *et al.* 2019).

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin pişirme kaybı değerleri Tablo 7’de sunulmuştur. Direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerin pişirme kaybı değerleri %30,15 – 41,68 arasında değişiklik göstermiştir. Viegas *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada, farklı kömür çeşidi kullanarak mangalda pişirdikleri sığır etinin pişirme kaybının %40’a kadar çıkabildiğini rapor etmişlerdir. Iwasaki *et al.* (2010) farklı pişirme seviyelerinde Brezilya usulü mangalda pişirilmiş sığır etinin pişirme kaybının %5–52 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Jinap *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada mangalda pişirilen sığır etinin (satay) pişirme kaybının %25,45–39,31 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Pişirme sırasında et proteinlerinin denatürasyonu ve koagülasyonu, etin su tutma özelliğini azaltarak etin organoleptik özellikler açısından kayba uğramasına ve etteki serbest su ile beraber suda

çözünen vitaminler, uçucu ve uçucu olmayan aromatik maddeler, ısı etkisiyle parçalanmış yağ ve protein gibi bileşenlerin ürünün dışarı sızmasına neden olmaktadır (Sánchez del Pulgar *et al.* 2012; Öz *et al.* 2015; Babür ve Gürbüz 2015; Khan *et al.* 2019).

Tablo 7. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin Pişirme Kaybı Değerleri ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme derecesi	n	Pişirme Kaybı (%)	
		Direkt	İndirekt
Orta	3	31,40 $\pm$ 6,41	30,15 $\pm$ 1,51
İyi	3	41,38 $\pm$ 4,21	41,68 $\pm$ 2,22

Direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin pişirme kaybı değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Örneklerin pişirme kaybı değeri üzerine sadece pişirme derecesinin çok önemli ($p < 0,01$) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 8. Pişirme Kaybına Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

VK	SD	KO	F
Pişirme Yöntemi (PY)	1	0,681	0,0241
Pişirme Derecesi (PD)	1	346,636	21,034**
PY $\times$ PD	1	1,797	0,109
Hata	8	16,480	

** $: P < 0,01$

Pişirme kaybı üzerine pişirme yönteminin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 9’da sunulmuştur. İndirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin pişirme kaybı değeri (%35,91), direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin pişirme kaybı değerinden (%36,39) düşük olsa da aralarında anlamlı bir farklılık ($p > 0,05$) belirlenmemiştir. Oz and Yuzer (2016) tel ve taş ızgara üzerinde pişirilen örneklerin pişirme kaybı değerlerinin sırasıyla %42,61 ve %34,45 olduğunu belirtmişler ve mangal ızgara tipinin (tel ve taş) örneklerin pişirme kaybına önemli etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

Tablo 9. Pişirme Kaybı Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Yöntemi	n	Pişirme Kaybı (%)
Direkt	6	36,39 $\pm$ 7,30a
İndirekt	6	35,91 $\pm$ 6,54a

Piştirme kaybı üzerine piştirme derecesinin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 10’da gösterilmiştir. Mevcut araştırmada, örneklerin piştirme derecesinin artması piştirme kaybı değerinde anlamlı bir artışa neden olmuştur. Piştirme kaybı üzerine piştirme derecesinin etkisini gösteren sonuçların, araştırmada elde edilen su içeriği sonuçlarını desteklediği belirlenmiştir. En düşük su içeriği ile en yüksek piştirme kaybı değerleri, iyi derecede pişirilmiş et örneklerinde belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç mevcut araştırmada, piştirme işlemi neticesinde etten uzaklaşan ana bileşenin etin suyu olduğunu göstermektedir. Öte yandan, piştirme işlemi neticesinde gerçekleşen kayıplarda, etten uzaklaşan tek bileşenin su olmadığı, suda çözünen vitamin, mineral ve protein gibi bazı bileşenlerin de et suyu ile birlikte etten uzaklaştığı bilinmektedir (Sánchez del Pulgar et al. 2012).

Tablo 10. Piştirme Kaybı Üzerine Piştirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Piştirme Derecesi	n	Piştirme Kaybı (%)
Orta	6	30,78 $\pm$ 4,22b
İyi	6	41,53 $\pm$ 3,01a

Literatürde et ve et ürünlerinin piştirme sıcaklığı ve/veya derecesinin artması ile piştirme kaybının artış gösterdiği çalışmalar bulunmaktadır (Oz et al. 2015; Kılıç et al. 2021). Öte yandan, bazı araştırmalarda ise piştirme derecesinin piştirme kaybı üzerine etkisi olmadığı bildirilmiştir (Oz and Yuzer 2016). Iwasaki et al. (2010) Brezilya usulü mangalda az, orta, iyi ve çok iyi derecede pişmiş sığır etlerin piştirme kayıplarının, piştirme derecesi ile arttığını ve piştirme kayıplarının sırasıyla %5, 31, 48 ve 52 olduğunu bildirmişlerdir. Jinap et al. (2013) yaptıkları çalışmada, mangalda orta derecede pişirilen sığır etinde (satay) piştirme kaybını %25,45 ve iyi derecede pişirilen sığır etinde (satay) ise piştirme kaybını %39,31 olarak belirlemişler ve değerler aralarında istatistiksel olarak farklılık bulunduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Gu et al. (2001) piştirme derecesinin (orta, iyi ve çok iyi) artması ile mangalda pişirdikleri sığır etlerin piştirme kaybı değerinin %31,3’ten %55,0’e arttığını bildirmişleridir.

Pişmiş Et Örneklerinin pH Değeri Sonuçları

Et ve et ürünlerinde pH seviyesi, kalite üzerine etki eden önemli faktörlerden biridir. Etin pH değeri canlı hayvanda 7,3 iken, kesimle birlikte kanın akıtılması sonucu pH 7 dolaylarına düşmektedir. Kesimden sonra başlayan glikoliz ve diğer biyokimyasal olaylar ette pH değeri düşüşüne neden olmakta ve kesimden kısa bir süre sonra 5,6–6,2’lere kadar düşmektedir (Savell et al. 2005; Kaya 2021).

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin pH değerleri Tablo 11’de sunulmuştur. Isıl işlem görmemiş ette 5,69 olarak belirlenen pH değeri, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinde artarak 5,90 – 6,00 arasında değişiklik göstermiştir. Pişirme işlemi ile etin bünyesinde bulunan hidroksil, sülfidril ve imidazol gruplarını ihtiva eden bağların serbest duruma gelmesi, etin pH değerinde artışa neden olmaktadır (Girard 1992). Fencioğlu *et al.* (2022) yaptıkları çalışmada, ısıtılmış sığır etinde 5,76 olarak belirledikleri pH değerinin, ısıtılmış et örneklerinde ait 5,90’a yükseldiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Oz and Yuzer (2016) ısıtılmış sığır etinde pH değerini 5,41 olarak belirlerken, tel ve taş ızgara kullanılarak mangalda pişirilen et örneklerinin pH değerinin 5,72–6,63 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Tablo 11. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin pH Değerleri ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme derecesi	n	pH	
		Direkt	İndirekt
Orta	3	5,99 $\pm$ 0,01	5,90 $\pm$ 0,06
İyi	3	6,00 $\pm$ 0,01	5,99 $\pm$ 0,03

Direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 12’de verilmiştir. Örneklerin pişirme kaybı değeri üzerine pişirme yönteminin, pişirme derecesinin ve pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonunun önemli ($p < 0,05$) bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 12. pH Değerlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

VK	SD	KO	F
Pişirme Yöntemi (PY)	1	0,007	6,421*
Pişirme Derecesi (PD)	1	0,007	6,133*
PY $\times$ PD	1	0,006	5,575*
Hata	8	0,001	

*: $P < 0,05$

pH değeri üzerine pişirme yönteminin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 13’te sunulmuştur. İndirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin pH değerinin (5,95), direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin pH değerinden (5,99) istatistiksel ($p < 0,05$) olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, tel ve taş ızgara kullanılarak mangalda pişirilen et örneklerinin pH değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı rapor edilmiştir (Oz and Yuzer 2016). Araştırmacılar, tel mangalda pişirilen et

örneklerinin pH değerini 5,71, taş mangalda pişirilen et örneklerinin pH değerini ise 5,66 olarak rapor etmişlerdir. Aradaki farklılıkların hammadde, pişirme koşulları vb. faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 13. pH Değeri Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

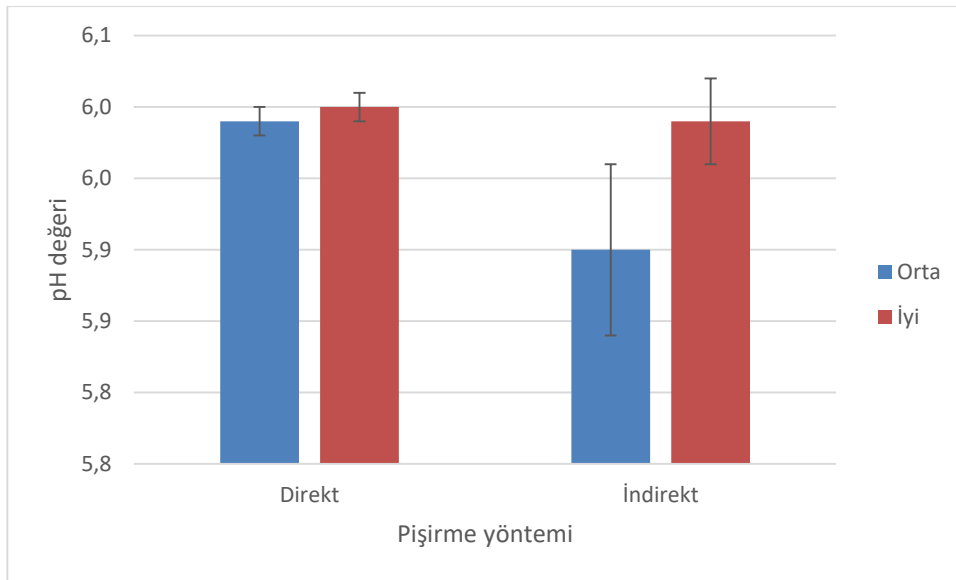
Pişirme Yöntemi	n	pH
Direkt	6	5,99 $\pm$ 0,01a
İndirekt	6	5,95 $\pm$ 0,07b

pH değeri üzerine pişirme derecesinin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 14’te sunulmuştur. Mevcut araştırmada, örneklerin pişirme derecesinin artması pH değerinde anlamlı ($p < 0,05$) bir artışa neden olmuştur. Bu sonuca, mevcut araştırmada uygulanan koşullar altında yüksek sıcaklığa daha uzun süre maruz kalan et örneklerinde daha fazla alkali karakterde bileşiğin açığa çıkması etki ettiği düşünülmektedir. Oz and Cakmak (2016) ve Oz *et al.* (2016) yaptıkları çalışmalarda pişirilen sığır köfte örneklerin pişirme sıcaklığının artması ile pH değerlerinin arttığını belirlemişlerdir. Öte yandan, Oz and Yuzer (2016) ise mangalda pişirme işleminde, pişirme derecesinin örneklerin pH değeri üzerine önemli bir etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

Tablo 14. pH Değeri Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Derecesi	n	pH
Orta	6	5,95 $\pm$ 0,06b
İyi	6	5,99 $\pm$ 0,02a

Pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonun pH değeri üzerine olan etkisi Şekil 2’de sunulmuştur. Direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin pH değeri 5,99 – 6,00 arasında ve indirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin pH değeri 5,90 – 5,99 arasında değişiklik göstermiştir. Direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak pişirme derecesinin artması örneklerin pH değerinde artışa neden olmuştur.



Şekil 2. Et örneklerin pH değeri üzerine piştirme yöntemi × piştirme derecesi interaksiyonun etkisi

Et Örneklerinin TBARS Sonuçları

Lipit oksidasyonu, gıdalarda ransiditeye (acılaşma) yol açan önemli kimyasal reaksiyondur. Ransidite, özellikle doymamış yağ asitlerinin oksijenle reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir. Ürünün yağ miktarının ve doymamışlık derecesinin fazla olması, işleme, ısıl işlem veya depolamanın da etkisiyle ürünü lipit oksidasyonuna karşı daha hassas hale getirmektedir. Ayrıca lipit oksidasyonu, ürünün besin değerini, rengini, dokusunu, tat ve aromasını da etkilemektedir (Aşcıoğlu 2013; Estévez 2017; Sabuncular vd. 2021). Et ürünlerinde yağların oksidasyonu, hammadde, katkı maddeleri, sıcaklık, pH, katalizörler ve zaman gibi pek çok parametreye bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir (Visessanguan *et al.* 2004). Bununla birlikte, et ve et ürünlerindeki oksidasyonun asıl nedenlerinden birinin de ısıl işlem olduğu belirtilmektedir (Lepper– Blilie *et al.* 2014). Et ve et ürünlerinde lipit oksidasyonu tespit etmede yaygın olarak TBARS analizinden yararlanılmaktadır.

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt piştirme yöntemleri kullanılarak farklı piştirme derecelerinde piştirilen et örneklerinin TBARS değerleri Tablo 15’te sunulmuştur. Isıl işlem görmemiş ette 0,480 mg MDA/kg olarak belirlenen TBARS değeri, direkt ve indirekt piştirme yöntemleri kullanılarak farklı piştirme derecelerinde piştirilen et örneklerinde artarak 0,489 – 0,641 mg MDA/kg arasında değişiklik göstermiştir. Isıl işlem neticesinde et örneklerinin TBARS değerinin artma sebebi, piştirme işlemi ile denatüre olan myoglobin ve hemoglobin bileşiklerinden açığa çıkan demirin lipit oksidasyonu katalizlemesi, etin piştirilmesi ile hücre yapısında meydana gelen tahrip sonucu lipit oksidasyonunu teşvik eden çoklu doymamış yağ asitlerinin açığa çıkması olarak izah edilmektedir (Ramirez *et al.* 2005; Rojas and Brewer 2007). Fencioğlu *et al.* (2022) yaptıkları çalışmada, ısıl işlem görmemiş sığır bifteklerin

TBARS değerini 0,181 mg MDA/kg olarak tespit ederken, kontrol grubu pişmiş et örneklerinin TBARS değerini 0,271 mg MDA/kg olarak belirlemişler ve farklı sirke çeşitleri kullanarak marine edildikten sonra pişirilmiş et örneklerinin TBARS değerlerinin ise 0,271 – 0,353 mg MDA/kg arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Öz (2021) de yaptığı çalışmada farklı hayvansal yağlarla hazırlanan ısıtıl işlem görmemiş köftelerin TBARS değerlerinin 0,24 – 0,28 mg MDA/kg arasında değiştiğini ve mangalda pişirme sonucu örneklerin TBARS değerlerinin 0,36 – 0,44 mg MDA/kg arasında değiştiğini rapor etmiştir. Öte yandan, literatürde pişirme yöntemine bağlı olarak pişirme işleminin etin TBARS değerini artırdığını, azalttığını veya hiç etkilemediğini gösteren çalışmalara da rastlanabilmektedir (Alfaia *et al.* 2010; Juárez *et al.* 2010; Korkmaz and Oz 2020; Uzun and Oz 2021; Zikarov 2014).

Tablo 15. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin TBARS Değerleri ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme derecesi	n	TBARS (mg MDA/kg)	
		Direkt	İndirekt
Orta	3	0,566 $\pm$ 0,02	0,511 $\pm$ 0,02
İyi	3	0,641 $\pm$ 0,03	0,489 $\pm$ 0,03

Direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin TBARS değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 16’da verilmiştir. Örneklerin TBARS değeri üzerine pişirme yönteminin çok önemli ($p < 0,01$), pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonunun ise önemli ($p < 0,05$) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 16. TBARS Değerlerine Ait Varyans Analiz Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

VK	SD	KO	F
Pişirme Yöntemi (PY)	1	0,032	29,498**
Pişirme Derecesi (PD)	1	0,002	1,945
PY $\times$ PD	1	0,007	6,591*
Hata	8	0,001	

**, $p < 0,01$, *, $p < 0,05$

TBARS değerleri üzerine pişirme yönteminin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 17’de sunulmuştur. İndirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin TBARS değerinin (0,500 mg MDA/kg), direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin TBARS değerinden (0,603 mg MDA/kg) istatistiksel ($p < 0,05$) olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca, indirekt yöntemle pişirilen örneklere kıyasla, direkt yöntem ile pişirilen örneklere ısının daha iyi bir şekilde nüfuz etmesi ve reaksiyonun gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan aktivasyon enerjisinin maruz kalınan ısı nedeniyle azalmasının etki ettiği

düşünülmektedir. Benzer etki örneklerin pH değerlerinde de gözlenmiş ve direkt yöntem ile pişirilen örneklerde alkali karakterli bileşiklerin daha fazla açığa çıkması nedeniyle pH değeri, indirekt yöntem ile pişirilen örneklerden daha yüksek belirlenmiştir.

Tablo 17. TBARS Değerleri Üzerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Yöntemi	n	TBARS (mg MDA/kg)
Direkt	6	0,603 $\pm$ 0,05a
İndirekt	6	0,500 $\pm$ 0,03b

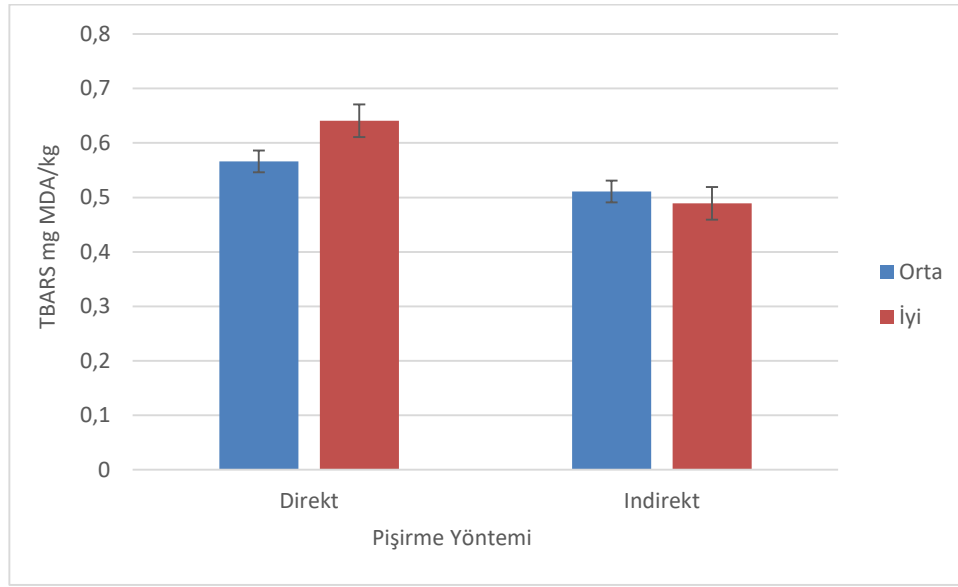
TBARS değerleri üzerine pişirme derecesinin etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 18’de sunulmuştur. Mevcut araştırmada, örneklerin pişirme derecesinin artmasının, TBARS değerinde anlamlı ($p > 0,05$) bir etkiye neden olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuç, orta seviyede pişirme işleminde bile, lipid oksidasyonunun gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan aktivasyon enerjisine ulaşıldığını göstermektedir. Benzer şekilde, Kılıç *et al.* (2021), farklı seviyelerde mühürlendikten sonra pişirilen sığır et örneklerinin TBARS değerinin 0,905–1,692 mg MDA/kg arasında değiştiğini ve mühürleme derecesinin TBARS değeri üzerine etkili olmadığını tespit etmiştir. Öte yandan, pişirme sıcaklığının farklı katkı maddeleri ile hazırlanan sığır eti köftelerinin TBARS değeri üzerine önemli bir etkiye sahip olmadığını rapor eden çalışmalar da literatürde bulunmaktadır (Kilic *et al.* 2021; Uzun and Oz 2021).

Tablo 18. TBARS Değerleri Üzerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\bar{x} \pm SD$)

Pişirme Derecesi	n	TBARS (mg MDA/kg)
Orta	6	0,539 $\pm$ 0,05a
İyi	6	0,565 $\pm$ 0,09a

Pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonun TBARS değeri üzerine olan etkisi Şekil 3’te sunulmuştur. Direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin TBARS değeri 0,566 – 0,641 mg MDA/kg arasında değişiklik göstermiş ve pişirme derecesinin artması ile TBARS değerinde bir artış görüldüğü belirlenmiştir. İndirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin TBARS değeri ise direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin TBARS değerinden düşük olarak tespit edilmiş, örneklerin TBARS değerinin 0,489–0,511 mg MDA/kg aralığında değiştiği ve pişirme derecesinin artması ile TBARS değerinde az olsa da bir azalma görüldüğü belirlenmiştir. Bu sonuca uçucu ve düşük molekül ağırlıklı Tiyobarbütirik asit reaktif

maddelerinin su ile beraber uzaklaşabileceği ve/veya kondensasyon veya termal degradasyon reaksiyonları neticesindeki kayıpların etki edebileceği düşünülmektedir (Ferioli *et al.* 2008).



Şekil 3. Et örneklerin TBARS değeri üzerine piştirme yöntemi × piştirme derecesi interaksiyonunun etkisi

Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Geri Kazanımları, LOD ve LOQ Değerleri

Mevcut araştırmada incelenen polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşiklerine ait tespit edilebilme sınırı (limit of detection, LOD, tespit sınırı = 3), tayin edilme sınırı (limit of quantification, LOQ, ölçüm sınırı = 10) ve geri kazanım (recovery) değerleri Tablo 19’da verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi PAH’lara ait geri kazanım değerleri %49,03-92,57 arasında değişiklik göstermiştir. LOD değerleri (tespit sınırı = 3) 0,027–0,125 ng/g arasında değişiklik gösterirken, LOQ değerleri ise 0,089-0,415 ng/g arasında değişiklik göstermiştir. Mevcut LOD, LOQ ve geri kazanım değerlerinin literatürle uyum içerisinde olduğu görülmektedir (Oz 2020).

Tablo 19.PAH’lara ait LOD, LOQ ve Geri Kazanım Değerleri

PAH’lar	LOD (ng/g)	LOQ (ng/g)	Geri Kazanım (%)
BaA	0,027	0,089	92,57
Chry	0,034	0,112	74,64
BbF	0,086	0,284	87,69
BkF	0,065	0,215	80,00
BaP	0,069	0,228	89,23
DahA	0,083	0,274	55,13
BghiP	0,125	0,415	70,07
IncdP	0,113	0,373	49,03

Pişmiş Et Örneklerinin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği Sonuçları

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinde benzo[*a*]antrasen (BaA), krisen (Chry), benzo[*b*]floranten (BbF), benzo[*k*]floranten (BkF), benzo[*a*]piren (BaP), dibenzo[*a,h*]antrasen (DahA), benzo[*g,h,i*]perilen (BghiP) ve ideno[1,2,3-*cd*]piren (IncdP) olmak üzere toplam 8 adet PAH bileşiği araştırılmıştır.

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin bireysel PAH miktarları Tablo 20’de sunulmuştur. Analiz edilen örneklerin tümünde BaA ve BaP bileşikler belirlenirken, örneklerin hiçbirinde DahA bileşikler saptanamamıştır. Diğer PAH bileşikler (Chry, BbF, BkF, BghiP ve IncdP) ise pişirme yöntemi ve pişirme derecesine bağlı olarak farklı miktarlarda tespit edilmiştir.

Tablo 20. Direkt ve İndirekt Pişirme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Pişirme Derecelerinde Pişirilen Et Örneklerinin Bireysel PAH İçerikleri (ng/g)

Pişirme Yöntemi	n	Pişirme Derecesi	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	DahA	BghiP	IncdP
Direkt	3	Orta	0,40±0,18	nd	nd	nd	0,31±0,13	Nd	Nd	0,41±0,03
	3	İyi	5,62±2,97	0,23±0,15	nd	nd	0,49±0,26	Nd	Nd	4,99±3,29
İndirekt	3	Orta	3,78±2,06	nd	nd	nd	0,27±0,07	Nd	0,51±0,06	Nd
	3	İyi	2,25±1,76	0,43±0,24	nd	nd	0,39±0,25	Nd	0,82±0,66	0,48±0,10

BaA içeriği

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemi kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin tümünde BaA bileşiği saptanmıştır. Direkt pişirme yöntemi kullanılarak orta seviyede pişirilen et örneklerinin BaA içeriği 0,40 ng/g olarak belirlenirken, iyi seviyede pişirilen et örneklerinin BaA içeriği ise 5,62 ng/g olarak tespit edilmiştir. İndirekt pişirme yöntemi kullanılarak orta seviyede pişirilen et örneklerinin BaA içeriği 3,78 ng/g olarak tespit edilirken, iyi seviyede pişirilen et örneklerinin BaA içeriği ise 2,25 ng/g olarak belirlenmiştir. Direkt pişirme yöntemi kullanılarak pişirilen et örneklerinde pişirme derecesine bağlı olarak BaA miktarında artış gözlenmiş olup, indirekt pişirme yönteminde ise azalma gözlenmiştir. En yüksek BaA içeriği (5,62 ng/g) direkt pişirme yöntemi kullanılarak iyi seviyede pişirilmiş et örneklerinde belirlenmiştir. Babaoğlu (2015), farklı et türlerinin ve farklı hayvansal yağların PAH oluşumu üzerine etkisini incelediği çalışmasında, et örneklerindeki BaA içeriğinin 0,47 – 4,86 µg/kg arasında değiştiğini tespit etmiştir. Aydın ve Şahan (2018) dana, kuzu, tavuk ve hindi eti örneklerinde PAH oluşumunu araştırdıkları çalışmalarında, en düşük BaA içeriğini dana eti örneklerinde 0,59 µg/kg olarak tespit ederlerken, en yüksek BaA içeriğini ise tavuk eti örneklerinde 2,85 µg/kg olarak saptamışlardır.

Öte yandan, literatürde BaA içeriğinin belirlenemediği çalışmalar da mevcuttur. Nitekim, Oz and Yuzer (2016), iki farklı ızgara tipi (tel ve taş) kullanarak mangalda farklı seviyelerde pişirdikleri et örneklerinin hiçbirinde BaA bileşimini tespit edemediklerini rapor etmişlerdir.

Chry içeriği

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak orta seviyede pişirilen et örneklerinde Chry bileşiği tespit edilemezken, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak iyi seviyede pişirilen et örneklerinde ise sırasıyla 0,23 ng/g ve 0,43 ng/g düzeyinde Chry bileşiği belirlenmiştir. Gosetti *et al.* (2011) Chry bileşimini ızgarada pişirilmiş dana bonfile örneklerinde 0,152 ng/g olarak tespit ederlerken, zeytinyağı ile ızgarada pişirilen dana bonfile örneklerinde ise 0,158 ng/g olarak saptamışlardır. Babaoğlu (2015), farklı et türlerinin ve farklı hayvansal yağların PAH oluşumu üzerine etkisini incelediği çalışmasında, et örneklerindeki Chry içeriğinin 0,56–5,60 µg/kg arasında değiştiğini rapor etmiştir. Aydın ve Şahan (2018) dana, kuzu, tavuk ve hindi et örneklerinde farklı pişirme yöntemlerinin PAH oluşumu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, Chry bileşiğinin sadece hindi eti örneklerinde 1,13 ng/g belirlendiğini rapor etmişlerdir. Oz and Yuzer (2016), Chry içeriğinin tel mangalda pişirilen et örneklerinde pişirme derecesine bağlı olarak artış gösterdiğini ve 0,12–0,14 ng/g arasında değiştiğini saptamışlardır. Ayrıca araştırmacılar taş mangalda pişirilen et örneklerinde pişirme derecesinin artmasıyla Chry içeriğinde azalma tespit etmişler ve taş mangalda orta, iyi ve çok iyi pişmiş et örneklerinde sırasıyla 0,28 ng/g, 0,15 ng/g ve 0,12 ng/g düzeyinde Chry bileşiği belirlemişlerdir.

BbF içeriği

Mevcut çalışmada, indirekt pişirme yöntemi kullanılarak orta ve iyi derecede pişirilen örneklerde BbF bileşiği tespit edilememiştir. Buna karşın, direkt pişirme yöntemi kullanılarak orta derecede pişirilen örneklerde de BbF bileşiği tespit edilemezken, iyi derecede pişirilen örneklerde ise BbF bileşiği tespit edilmiş, ancak miktarı tayin edilememiştir. Farhadian *et al.* (2010) farklı ızgara tipi (kömürlü, gazlı) ve fırın kullanarak pişirdikleri farklı et (dana, tavuk, balık) örneklerinde BbF miktarının nd–13,8 ng/g aralığında değiştiğini rapor etmişlerdir. Babaoğlu *et al.* (2017) araştırmasında analiz ettikleri et örneklerinde BbF içeriğinin 0,50 – 5,37 µg/kg arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Oz and Yuzer (2016) BbF içeriğinin tel mangalda pişirilen et örneklerinde nd- 0,33 ng/g arasında değiştiğini, taş mangalda pişirilen et örneklerinde ise nd-0,39 ng/g arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

BkF içeriği

Mevcut araştırmada, indirekt pişirme yöntemi kullanılarak orta ve iyi derecede pişirilen örneklerde BkF bileşiği tespit edilememiştir. Buna karşın, direkt pişirme yöntemi kullanılarak orta derecede pişirilen örneklerde de BkF bileşiği tespit edilemezken, iyi derecede pişirilen örneklerde ise BkF bileşiği tespit edilmiş, ancak miktarı tayin edilememiştir. Gosetti *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada, BkF içeriğini ızgarada pişirdikleri dana bonfile örneklerinde 1,303 ng/g olarak ve zeytinyağı ile ızgarada pişirdikleri dana bonfile örneklerinde ise 1,351 ng/g olarak belirlemişlerdir. Onyango *et al.* (2012) yerel pişirme yöntemleri kullanarak pişirdikleri sığır eti örneklerinde BkF içeriğinin 0,143–0,202 ng/g arasında değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Oz and Yuzer (2016), iki farklı ızgara tipi (tel ve taş) kullanarak mangalda farklı seviyelerde pişirdikleri et örneklerinde BkF bileşiğini, sadece taş ızgarada orta seviyede pişirilen et örneklerinde (0,90 ng/g) tespit etmişlerdir. Babaoğlu *et al.* (2017) ise sığır ve kuzu kokore lerde farklı hayvansal yağların kullanımının PAH oluşumu üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, dana kokore lerin BkF içeriğinin nd–2,83 ng/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

BaP içeriği

Mevcut  alışmada, PAH'ların indikatörü olarak nitelendirilen BaP bileşiği, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin tamamında saptanmıştır. BaP içeriği her iki yöntem kullanılarak pişirilen et örneklerinde de pişirme derecesine bağlı olarak artış göstermiştir. Direkt pişirme yöntemi kullanılarak orta seviyede pişirilen et  rneklerinin BaP içeriği 0,31 ng/g olarak belirlenirken, iyi seviyede pişirilen et  rneklerinin BaP içeriği ise 0,49 ng/g olarak tespit edilmiştir. İndirekt pişirme yöntemi kullanılarak orta seviyede pişirilen et  rneklerinin BaP içeriği 0,27 ng/g olarak tespit edilirken, iyi seviyede pişirilen et  rneklerinin BaP içeriği ise 0,39 ng/g olarak belirlenmiştir. Oz and Yuzer (2016) BaP içeriğinin, tel ızgara kullanılarak mangalda pişirdikleri et örneklerinde nd–0,26 ng/g arasında, taş ızgara kullanılarak mangalda pişirdikleri et örneklerinde ise nd–0,29 ng/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Aaslyng *et al.* (2013) mangalda pişirdikleri sığır, domuz ve tavuk eti örnekleri arasında en yüksek BaP içeriğinin (24 µg/kg) sığır eti örneklerinde tespit edildiğini bildirmişlerdir. Duedalh-olesen *et al.* (2015) mangalda pişirdikleri farklı et örneklerinde (sığır, domuz, tavuk, somon ve kuzu) ortalama BaP içeriğinin 0–63 µg/kg arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Oz (2021) farklı hayvansal yağ kullanarak üretilen köfte örneklerinde BaP bileşiğini tüm örneklerde tespit etmiş ve BaP miktarının 2,33–4,30 ng/g arasında değiştiğini rapor etmiştir.

DahA içeriği

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin hiçbirinde DahA bileşiği tespit edilememiştir. Gosetti *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada, DahA içeriğini; ızgarada pişirilen dana biftek örneklerinde 0,434 ng/g olarak, zeytinyağında pişirilen dana biftek örneklerinde ise 0,450 ng/g olarak tespit etmişlerdir. Babaoğlu *et al.* (2017) farklı hayvansal yağlar kullandıkları sığır kokorelerinde DahA içeriğinin 0,46–3,25 ng/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Diğer taraftan, literatürde DahA bileşiğinin saptanamadığı gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Nitekim, Oz and Yuzer (2016) yaptıkları çalışmada iki farklı ızgara tipi (tel ve taş) kullanarak mangalda farklı seviyelerde pişirdikleri et örneklerinde DahA bileşiğini tespit edemediklerini rapor etmişlerdir.

BghiP içeriği

Mevcut çalışmada, direkt pişirme yöntemi kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinde BghiP bileşiği tespit edilememiştir. Öte yandan, indirekt pişirme yöntemi ile pişirilen et örneklerinin tamamında tespit edilen BghiP bileşiğinin miktarının, pişirme derecesindeki artışa paralel olarak arttığı belirlenmiştir. İndirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerinin 0,51–0,82 ng/g arasında BghiP bileşiği içerdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Oz and Yuzer (2016) yaptıkları çalışmada, BghiP bileşiğinin tel mangalda pişirilen et örneklerinde saptanamadığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar taş ızgarada pişirilen et örneklerinde ise BghiP bileşiğinin sadece orta derecede pişmiş et örneklerinde (0,43 ng/g) belirlendiğini rapor etmişlerdir. Babaoğlu *et al.* (2017) ise farklı hayvansal yağlar kullandıkları sığır kokore örneklerinde BghiP içeriğinin 1,80–3,66 ng/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

IncdP içeriği

Mevcut çalışmada, indirekt pişirme yöntemi kullanılarak orta derecede pişirilen örneklerde IncdP bileşiği tespit edilemezken, iyi derecede pişirilen örneklerde 0,48 ng/g düzeyinde IncdP bileşiği tespit edilmiştir. Öte yandan, direkt pişirme yöntemi ile pişirilen et örneklerinin tamamında tespit edilen IncdP bileşiğinin miktarının, pişirme derecesindeki artışa paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerinin 0,41 – 4,99 ng/g arasında IncdP bileşiği içerdiği tespit edilmiştir. Oz and Yuzer (2016) yaptıkları çalışmada iki farklı ızgara tipi (tel ve taş) kullanarak mangalda farklı seviyelerde pişirdikleri et örneklerinde IncdP bileşiğini tespit edemediklerini rapor etmişlerdir. Onyango *et al.* (2012) ise farklı pişirme yöntemleri kullanarak pişirdikleri farklı et örneklerinde IncdP içeriğinin 0,097–0,253 ng/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Örneklerin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriği

Avrupa Birliği Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından gıdalarda bulunan PAH düzeylerinin sadece BaP bileşiği kullanılarak yorumlanması yerine BaP, BaA, Chry ve BbF toplamını ifade eden Σ PAH4 ile BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, DahA, BghiP ve IncdP toplamını ifade eden Σ PAH8'in daha iyi bir indikatör olacağı bildirilmiştir (EFSA, 2008).

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin ortalama Σ PAH4 ve Σ PAH8 içerikleri Tablo 21'de sunulmuştur. Direkt pişirme yöntemi kullanılarak orta ve iyi seviyede pişirilen et örneklerinin Σ PAH4 içerikleri sırasıyla 0,71 ng/g ve 6,35 ng/g olarak belirlenirken, Σ PAH8 içerikleri ise sırasıyla 1,12 ng/g ve 11,34 ng/g olarak tespit edilmiştir. İndirekt pişirme yöntemi kullanılarak orta ve iyi seviyede pişirilen et örneklerinin ise Σ PAH4 içerikleri sırasıyla 4,06 ng/g ve 3,07 ng/g olarak tespit edilirken, Σ PAH8 içerikleri sırasıyla 4,57 ng/g ve 4,37 ng/g olarak saptanmıştır. Direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerinin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerinin pişirme derecesine bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilirken, indirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin ise pişirme derecesinin artması neticesinde Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerinin azaldığı gözlenmiştir. Oz and Yuzer (2016) tel ızgara kullanarak mangalda az ve orta derecede pişirdikleri örneklerde PAH bileşiklerini belirleyemezken iyi ve çok iyi derecede pişirdikleri et örneklerinde Σ PAH4 içeriklerini sırasıyla 0,77 ng/g ve 0,87 ng/g olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar taş ızgara kullanarak mangalda az pişmiş örneklerde PAH bileşiklerini belirleyemezken orta, iyi ve çok iyi derecede pişirdikleri et örneklerinde ise Σ PAH4 içeriklerini sırasıyla 1,30 ng/g, 0,92 ng/g ve 0,78 ng/g olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, tel ızgara kullanarak mangalda pişirdikleri örneklerin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerinin aynı olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan, taş ızgara kullanarak mangalda iyi ve çok iyi derecede pişirdikleri et örneklerinin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerinin aynı olduğunu, ancak orta derecede pişirdikleri örneklerde Σ PAH8 içeriğinin 2,63 ng/g olduğunu bildirmişlerdir. Aaslyng *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada, mangalda pişirilen sığır, domuz ve tavuk eti örnekleri arasında en yüksek Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerinin sığır eti örneklerinde belirlendiğini ve Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerinin sırasıyla 0,4–65 μ g/kg ile 18–867 μ g/kg arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Gorji *et al.* (2016), farklı mangal tiplerinde pişirdikleri et örneklerinin Σ PAH4 içeriklerinin 1,87–6,91 Σ PAH8 içeriklerinin ise 2,39–7,73 ng/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Aydın ve Şahan (2018) dana, kuzu, tavuk ve hindi eti örneklerinde farklı pişirme yöntemlerinin PAH oluşumu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, PAH4 bileşiklerini sadece mangalda pişmiş et örneklerinde belirlemişlerdir. Araştırmacılar en yüksek Σ PAH4 içeriğini mangalda pişirdikleri et örneklerinde 3,30 ppb olarak tespit etmişlerdir. Oz (2021) köftede farklı

hayvansal yağların kullanımının PAH oluşumu üzerine etkisini incelediği çalışmada, Σ PAH4 içeriğinin 8,41– 15,48 ng/g arasında değiştiğini rapor etmiştir. Araştırmacı Σ PAH4 içeriğinin yüksek düzeyde çıkmasını, farklı hayvansal yağların kullanımından kaynaklı olduğu bildirmiştir. Duedalh-olesen *et al.* (2015) ise mangalda pişirdikleri farklı et örneklerinde (sığır, domuz, tavuk, somon ve kuzu) ortalama toplam PAH içeriklerinin 0,1–195 μ g/kg arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Tablo 21. Örneklerin Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçeriği (ng/g)

Pişirme Yöntemi		n	Σ PAH4		Σ PAH8	
			Direkt	İndirekt	Direkt	İndirekt
Pişirme Derecesi	Orta	3	0,71±0,08	4,06±2,13	1,12±0,07	4,57±2,12
	İyi	3	6,35±2,73	3,07±1,78	11,34±3,59	4,37±2,41

Mevcut çalışmada, direkt ve indirekt pişirme yöntemleri kullanılarak farklı pişirme derecelerinde pişirilen et örneklerinin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriklerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 22’de sunulmuştur. Pişirme yönteminin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içerikleri üzerine önemli bir etkisi gözlenmezken pişirme derecesinin ise sadece Σ PAH8 içeriği üzerine etkisinin olduğu ($p<0,01$) belirlenmiştir. Öte yandan, pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonunun Σ PAH4 içeriği üzerine önemli ($p<0,05$), Σ PAH8 içeriği üzerine ise çok önemli ($p<0,01$) etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 22. Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçerikleri ile İlgili Varyans Analizi

Varyasyon Kaynakları	Bağımlı değişken	SD	KO	F
Pişirme Yöntemi (PY)	PAH4	1	0,003	0,001
	PAH8	1	9,308	1,605
Pişirme Derecesi (PD)	PAH4	1	16,177	4,270
	PAH8	1	75,396	12,999**
PY $\times$ PD	PAH4	1	32,907	8,687*
	PAH8	1	81,309	14,018**
Hata	PAH4	8	3,788	
	PAH8	8	5,800	

** : $P<0,05$, * : $P<0,05$

Mevcut araştırmada, Σ PAH4 ve Σ PAH8 içerikleri üzerine pişirme yönteminin etkisini gösteren Duncan oklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 23'te sunulmuştur. Pişirme yönteminin, örneklerin Σ PAH4 ve Σ PAH8 içerikleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır ($p>0,05$). Bu durum, hem Σ PAH4 hem de Σ PAH8 içeriklerinin her iki yöntemde de benzer seviyelerde olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi mangalda direkt pişirme yönteminde, pişirme esnasında ulaşılan sıcaklık nedeniyle etten uzaklaşan yağ damlalarının kömür üzerine damlayıp tütsü oluşturması ve bu tütsünün yeniden ete ulaşıp daha fazla PAH bileşiği oluşturması olasıdır. Öte yandan, indirekt pişirme yönteminde ise kömür ile etin farklı bölmelerde pişirilmesi, belirtilen bu problemin önüne geçmektedir. Dolayısıyla, indirekt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerin, direkt pişirme yöntemi ile pişirilen örneklerle kıyasla daha düşük seviyede Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriğine sahip olması beklenirdi. Ancak mevcut araştırmada, hem direkt pişirme yönteminde kömürün tamamen kor haline dönüştürüldükten sonra pişirme işlemine başlanması, hem pişirme işleminde nispeten daha az yağlı et parçasının (pirzola) materyal olarak kullanılması, hem de direkt pişirme yönteminin aksine indirekt pişirme yönteminde, etin her iki yüzeyinden de ısı uygulanmasının bu sonuca etki ettiği düşünülmektedir. Neticede, mevcut araştırmada, Σ PAH4 içerikleri ve Σ PAH8 içerikleri bakımından, direkt ve indirekt yöntemle farklı seviyelerde pişirilen örneklerin anlamlı bir farklılığının olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 23. Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçerikleri zerine Pişirme Yönteminin Etkisini Gösteren Duncan oklu Karşılaştırma Test Sonuçları (ng/g)

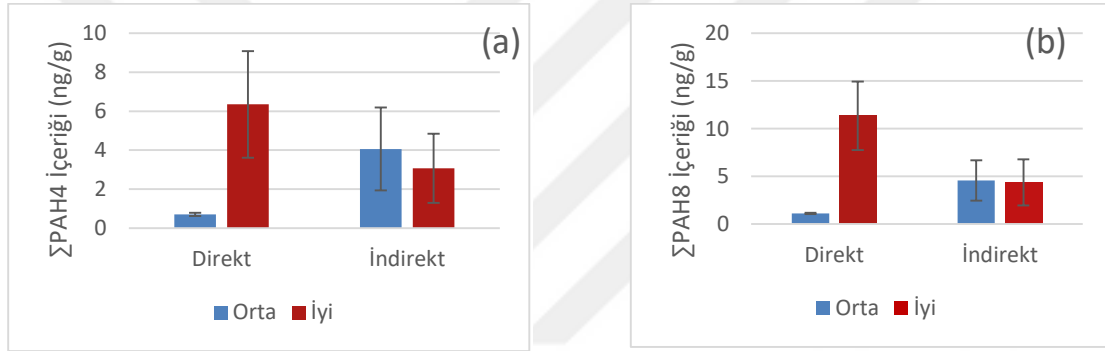
Pişirme Yöntemi	n	Σ PAH4	Σ PAH8
Direkt	6	3,53 $\pm$ 3,53a	6,23 $\pm$ 6,04a
İndirekt	6	3,56 $\pm$ 1,83a	4,47 $\pm$ 2,04a

Mevcut araştırmada, Σ PAH4 ve Σ PAH8 içerikleri üzerine pişirme derecesinin etkisini gösteren Duncan oklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 24'te sunulmuştur. Pişirme derecesi arttıkça örneklerin hem Σ PAH4 hem de Σ PAH8 içeriği artmış, ancak bu artış sadece Σ PAH8 içeriğinde anlamlı olmuştur.

Tablo 24. Σ PAH4 ve Σ PAH8 İçerikleri zerine Pişirme Derecesinin Etkisini Gösteren Duncan oklu Karşılaştırma Test Sonuçları (ng/g)

Pişirme Derecesi	n	Σ PAH4	Σ PAH8
Orta	6	2,39 $\pm$ 2,73a	2,84 $\pm$ 2,32b
İyi	6	4,71 $\pm$ 2,73a	7,86 $\pm$ 4,70a

Piştirme yöntemi $\times$ piştirme derecesi interaksyonun Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriği üzerine olan etkisi Şekil 4'te sunulmuştur. Direkt piştirme yöntemi ile piştirilen örneklerin Σ PAH4 içeriği 0,71–6,35 ng/g arasında ve Σ PAH8 içeriği 1,12–11,34 ng/g arasında değişiklik göstermiştir. Direkt piştirme yönteminde, piştirme derecesinin artması ile hem Σ PAH4 hem de Σ PAH8 içeriğinde göze çarpan bir artış belirlenmiştir. Bu sonuca, piştirme derecesinin artması ile et örneklerinin piştirme esnasında oluşan dumana ve ısıya daha uzun süre maruz kalmasının etki ettiği düşünülmektedir. Öte yandan, indirekt piştirme yöntemi ile piştirilen örneklerin ise Σ PAH4 içeriği 3,07–4,06 ng/g aralığında ve Σ PAH8 içeriği 4,37–4,57 ng/g aralığında değişmiştir. Piştirme derecesinin artması ile hem Σ PAH4 hem de Σ PAH8 içeriğinde bir azalma tespit edilmiştir. Bu sonuca, piştirme derecesinin artması ile daha uzun süre sıcaklığa maruz kalan etlerde oluşan PAH bileşiklerinin yapılarında yaşanan bozulmanın etki ettiği düşünülmektedir (Oz and Yuzer 2016).



Şekil 4. Et örneklerin Σ PAH4 (a) ve Σ PAH8 (b) içeriği üzerine piştirme yöntemi $\times$ piştirme derecesi interaksyonunun etkisi

Et ve et ürünlerinin mangal veya ızgara gibi piştirme işlemlerine tabii tutulması esnasında çeşitli PAH bileşikleri oluşmakta ve bu oluşum esasen ateşle temas sonucu gıdada bulunan yağın pirolizi veya yağın aleve damlayarak oluşturduğu dumanın et yüzeyine kontaminasyonu ile meydana gelmektedir (Oz 2020; Oz 2021). PAH oluşumunda gıdada bulunan yağ içeriğine ilaveten ısı işlem süresi ve ısı kaynağına olan mesafenin de önemli olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, mangalda pişirilmiş et ürünlerinde ızgara tipi/şekli ve ısı kaynağının mesafesi PAH'ların oluşumu üzerinde etkili başlıca faktörler olarak sıralanabilmektedir (Oz 2020; Oz 2021; Zhu *et al.* 2022). Öte yandan, Min *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada PAH oluşumunda sıcaklığın, piştirme süresinden daha etkili olduğu bildirilmiştir. Adeyeye and Ashaolu (2022) ise PAH'ların duman partiküllerine tutunarak gıdaya kontamine olması nedeniyle gıda ve duman kaynağı arasındaki mesafenin açılması ile PAH seviyesinin azaltılabileceğini vurgulamışlardır.

Mevcut araştırmada, direkt ve indirekt yöntem kullanılarak farklı seviyelerde piştirilen et örneklerinin (sığır pirzolaarında) değişen seviyelerde farklı PAH bileşiklerinin oluştuğu

tespit edilmiştir. Literatürdeki verilerle karşılaştırıldığında mevcut araştırmada elde edilen sonuçların genellikle daha düşük olduğu görülmektedir. PAH bileşiklerinin karsinojenik ve/veya mutajenik etkilerinden dolayı çeşitli gıda maddelerinde bulunma miktarlarına sınırlama getirilmiştir. Isıl işlem görmüş et ve et ürünlerinde maksimum bulunma limit; BaP için 5 g/kg, Σ PAH4 için ise 30 g/kg olarak belirtilmektedir (Commission Regulation, EU, 2011). Mevcut araştırmada, en yüksek BaP (0,49 ng/g), Σ PAH4 (6,35 ng/g) ve Σ PAH8 (11,34 ng/g) içerikleri, direkt olarak mangalda iyi seviyede pişirilen et örneklerinde tespit edilmiştir. Bu koşullarda pişirilen etlerden 100 g yenmesi durumunda bile toplam alım miktarının belirtilen bu sınırların çok altında kaldığı görülmektedir. Ancak genel değerlendirme yapılacak olursa PAH'lar açısından riskli ürünler arasında yer alan et ve et ürünlerinin mangalda pişirilmesine çok dikkat etmek gerekir.



SONUÇ ve ÖNERİLER

Mevcut araştırmada direkt ve indirekt yöntemle mangalda farklı seviyelerde pişirilmiş et örneklerinin çeşitli kalite kriterleri (su, pişirme kaybı, pH ve lipit oksidasyon) ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) içerikleri araştırılmış ve bulunan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Örneklerin su içeriği üzerine pişirme yönteminin önemli bir etkisi gözlenmezken pişirme derecesinin ise önemli ($p<0,05$) etki gösterdiği belirlenmiştir. Pişirme derecesi arttıkça örneklerin su içeriğinde azalma tespit edilmiştir.
2. Örneklerin pişirme kaybı üzerine pişirme yönteminin önemli bir etkisi gözlenmezken pişirme derecesinin ise çok önemli ($p<0,01$) etki gösterdiği belirlenmiştir. Pişirme derecesi arttıkça örneklerin pişirme kaybında artış tespit edilmiştir.
3. Örneklerin pH değeri üzerine pişirme yöntemi, pişirme derecesi ve pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonunun önemli etkileri ($p<0,05$) belirlenmiştir. Direkt yöntemle pişirilen örneklerin pH değerinin, indirekt yöntemle pişirilen örneklerin pH değerinden daha yüksek olduğu ve pişirme derecesi arttıkça örneklerin pH değerinde artış olduğu tespit edilmiştir.
4. Örneklerin TBARS değeri üzerine pişirme yönteminin çok önemli ($p<0,01$), pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksiyonunun önemli etkisinin ($p<0,05$) olduğu belirlenirken pişirme derecesinin ise önemli bir etkisinin olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir. Direkt yöntemle pişirilen örneklerin TBARS değerinin, indirekt yöntemle pişirilen örneklerin TBARS değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
5. Direkt ve indirekt yöntemle mangalda farklı seviyelerde pişirilen et örneklerinin tümünde BaA ve BaP bileşikleri tespit edilirken, örneklerin hiçbirinde DahA bileşiği tespit edilememiştir.
6. Örneklerde değişen düzeylerde BaA (5,62 ng/g'a kadar), Chry (0,43 ng/g'a kadar), BbF (<LOQ), BkF (<LOQ), BaP (0,49 ng/g'a kadar), BghiP (0,82 ng/g'a kadar) ve IncdP (4,99 ng/g'a kadar) belirlenmiştir.
7. Örneklerin Σ PAH4 içerikleri 0,71-6,35 ng/g arasında değişirken, Σ PAH8 içerikleri ise 1,12-11,34 ng/g arasında değişiklik göstermiştir.

8. Örneklerin Σ PAH4 içeriği üzerine pişirme yöntemi ve pişirme derecesinin önemli etkisinin olmadığı ($p>0,05$) belirlenirken pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksyonunun ise önemli etkisinin ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir.
9. Örneklerin Σ PAH8 içeriği üzerine pişirme yönteminin önemli bir etkisi gözlenmezken pişirme derecesi ve pişirme yöntemi $\times$ pişirme derecesi interaksyonunun ise ($p<0,01$) çok önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir.
10. Pişirme derecesinin artması Σ PAH4 içeriğini etkilemezken Σ PAH8 içeriğinde önemli artışa neden olmuştur.
11. En yüksek BaP (0,49 ng/g), Σ PAH4 (6,35 ng/g) ve Σ PAH8 (11,34 ng/g) içerikleri, direkt olarak mangalda iyi seviyede pişirilen et örneklerinde tespit edilmiştir.
12. Mevcut araştırmada uygulanan pişirme koşullarında oluşan PAH içeriklerinin, PAH'lar ile ilgili belirtilen yasal sınırların altında kaldığı tespit edilmiştir. Ancak yine de PAH bileşikleri açısından mangalda pişirme işlemine oldukça dikkat edilmesi gerektiği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aaslyng, M. D., Duedahl-Olesen, L., Jensen, K., Meinert, L., 2013. Content of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in pork, beef and chicken barbecued at home by Danish consumers. *Meat Sci.*, 93(1), 85-91.
- Adeyeye, S. A. O., and Ashaolu, T. J., 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons formation and mitigation in meat and meat products. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1-11.
- Additives, F., 2006. Evaluation of certain food contaminants. WHO Technical Report Series, 930.
- Alfaia, C. M., Alves, S. P., Lopes, A. F., Fernandes, M. J., Costa, A. S., Fontes, C. M., Prates, J. A., 2010. Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat. *Meat Science*, 84(4), 769-777.
- Alver, E., Demirci, A., Özçimder, M., 2012. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 45-52.
- Aşçıoğlu, Ç., 2013. Farklı pişirme yöntemlerinin sığır bonfilelerinin (*Longissimus dorsi*) besinsel ve kalite özellikleri üzerine etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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 (Master's thesis, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Babür, T. E., ve Gürbüz, Ü., 2015. Geleneksel pişirme yöntemlerinin et kalitesine etkileri. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 3(4), 58-64.
- Basak, S., and Karakoç, F. T., 2010. The detection of potential carcinogenic PAH using HPLC procedure in two different smoked fish, case study: Istanbul/Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(3).
- Biesalski, H. K., 2005. Meat as a component of a healthy diet—are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet?. *Meat Science*, 70(3), 509–524.
- Bostan, S., 2021. Farklı pişirme yöntemlerinin Akçaabat köftesinde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumuna etkisi (Master's thesis, Gümüşhane Üniversitesi).
- Chen, B. H., and Lin, Y. S., 1997. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during processing of duck meat. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(4), 1394-1403.
- Chen, J., and Chen, S., 2005. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons by low density polyethylene from liquid model and roasted meat. *Food chemistry*, 90(3), 461-469.
- Chung, 2. S., Yettella, R. R., Kim, J. S., Kwon, K., Kim, M. C., Min, D. B., 2011. Effects of grilling and roasting on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and pork. *Food Chemistry*, 129(4), 1420-1426.
- Cordeiro, T., Viegas, O., Silva, M., Martins, Z. E., Fernandes, I., Ferreira, I. M., Calhau, C., 2020. Inhibitory effect of vinegars on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork. *Meat science*, 167, 108083.

- Domingo, J. L., and Nadal, M., 2015. Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review of the scientific literature. *Food and Chemical Toxicology*, 86, 144-153.
- Duedahl-Olesen, L., Aaslyng, M., Meinert, L., Christensen, T., Jensen, A. H., Binderup, M. L., 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat. *Food Control*, 57, 169-176.
- Dutta, K., Shityakov, S., Zhu, W., Khalifa, I., 2022. High-risk meat and fish cooking methods of polycyclic aromatic hydrocarbons formation and its avoidance strategies. *Food Control*, 109253.
- Erhunmwunse, N. O., Ainerua, M. O., Ogboghodo, I. B., Ekene, B., 2016. Effects of Barbecuing on the Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fish (*Pseudotolithus Elongatus* and *Clarias Gariepinus*).,.
- Estévez, M., 2017. What's New In Meat Oxidation. In P. P. Purslow (Ed.). *New Aspects Of Meat Quality* (Pp. 91–109). (1st Ed.). Buenos Aires, Argentina: Woodhead Publishing.
- European Commission, E. C., 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.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2008. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food-Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA journal*, 6(8), 724.
- Farhadian, A., Jinap, S., Abas, F., Sakar, Z. I., 2010. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food control*, 21(5), 606-610.
- Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A., Zaidul, I. S. M., 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.s
- Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H. N., Zaidul, I. S., 2011. Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food chemistry*, 124(1), 141-146.s
- Fencioglu, H., Oz, E., Turhan, S., Proestos, C., Oz, F., 2022. The Effects of the Marination Process with Different Vinegar Varieties on Various Quality Criteria and Heterocyclic Aromatic Amine Formation in Beef Steak. *Foods*, 11(20), 3251.
- Feroli, F., Caboni, M. F. and Dutta, P. C., 2008. “Evaluation of cholesterol and lipid oxidation in raw and cooked minced beef stored under oxygen-enriched atmosphere”, *Meat Science*, 80(3), 681-685.
- Gerber, N., Scheeder, M. R. L. and Wenk, C., 2009. “The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat”, *Meat Science*, 81(1), 148-154.
- Girard, P.J., 1992. *Cooking. Technology of Meat and Meat Products*. France, 32– 83.
- Gorji, M. E. H., Ahmadkhaniha, R., Moazzen, M., Yunesian, M., Azari, A., Rastkari, N., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Iranian Kebabs. *Food control*, 60, 57-63.
- Gosetti, F., Chiuminatto, U., Mazzucco, E., Robotti, E., Calabrese, G., Gennaro, M. C., Marengo, E., 2011. Simultaneous determination of thirteen polycyclic aromatic hydrocarbons and twelve aldehydes in cooked food by an automated on-line solid phase extraction ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1218(37), 6308-6318.

- Gökalp, H.Y., Kaya, M., Tülek, Y., Zorba, Ö., 2010. Et ve ürünlerinde kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama klavuzu. (V. Baskı), Atatürk Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 751, Ziraat Fakültesi, Yayın No: 318.Ders kitapları seri no:69 Atatürk Üniversitesi, Ofset Tesisi, Erzurum.
- Gu, Y. S., Kim, I. S., Park, J. H., Lee, S. H., Park, D. C., Yeum, D. M., Kim, S. B., 2001. Effects of seasoning and heating device on mutagenicity and heterocyclic amines in cooked beef. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 65(10), 2284-2287.
- Gümüş, A. B., Yardımcı, H., 2019. Pişirme sonucu meydana gelen mutajenik-karsinojenik bileşikler. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 22(2), 136-141.
- Günç Ergönül, P., Kaya, D., 2015. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve gıdalarda önemi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 143-153.
- Iwasaki, M., Kataoka, H., Ishihara, J., Takachi, R., Hamada, G. S., Sharma, S., Tsugane, S., 2010. Heterocyclic amines content of meat and fish cooked by Brazilian methods. *Journal of Food Composition and analysis*, 23(1), 61-69.
- Jaegerstad, M., and Skog, K., 2005. Genotoxicity of heat-processed foods. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 574(1-2), 156-172.
- Jinap, S., Mohd-Mokhtar, M. S., Farhadian, A., Hasnol, N. D. S., Jaafar, S. N., Hajeb, P., 2013. Effects of varying degrees of doneness on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and beef satay. *Meat science*, 94(2), 202-207.
- Joint, F. A. O., World Health Organization, and WHO Expert Committee on Food Additives. 2017. Evaluation of certain contaminants in food: eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization.
- Juárez, M., Failla, S., Ficco, A., Peña, F., Avilés, C., Polvillo, O., 2010. Buffalo meat composition as affected by different cooking methods. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3), 145-148.
- Kafouris, D., Koukkidou, A., Christou, E., Hadjigeorgiou, M., Yiannopoulos, S., 2020. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus. *Meat Science*, 164, 108088.
- Kaya, M., 2021. Et teknolojisi ders notu. Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C. H., Greenberg, A., Rothman, N., 2001. Analysis of 200 food items for benzo [a] pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food and chemical toxicology*, 39(5), 423-436.
- Khan, I.A., Liu, D., Yao, M., Memon, A., Huang, J. and Huanga, M., 2019. Inhibitory effect of *Chrysanthemum morifolium* flower extract on the formation of heterocyclic amines in goat meat patties cooked by various cooking methods and temperatures. *Meat Science*, 147, 70– 81.
- Kılıç, B. and Richards, M., 2003. “Lipid oxidation in poultry döner kebab: Pro-oxidative and anti-oxidative factors”, *Journal of Food Science*, 68(2), 1-5.
- Kılıç, Ö., Dinçer, E. A., Erbaş, M., 2017. Gıdalarda Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Bileşiklerinin Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Gıda*, 42(2), 127-135.
- Kılıç, S., 2021. Mühürleme İşleminin Etin Tekstür, Protein Profili ve Heterosiklik Aromatik Amin Oluşumu Üzerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği, Y. Lisans Tezi, Erzurum.
- Kiliç, S., Öz, E., Öz, F., 2021. Effect of turmeric on the reduction of heterocyclic aromatic amines and quality of chicken meatballs. *Food Control*, 128, 108189.

- Kim, H. J., Cho, J., Jang, A., 2021. Effect of charcoal type on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 343, 128453.
- Kim, M. J., Kim, S., Choi, S., Lee, I., Moon, M. K., Choi, K., Park, J., 2021. Association of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals with thyroid hormones in general adult population and potential mechanisms. *Science of the Total Environment*, 762, 144227.
- Korkmaz, A., and Oz, F., 2020. Effect of the use of dry breadcrumb in meatball production on the formation of heterocyclic aromatic amines. *British Food Journal*.
- Larsen, J. C., 2008. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. *EFSA J*, 724, 1-114.
- Ledesma, E., Rendueles, M., Díaz, M. J. F. C., 2016. Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 60, 64-87.
- Lee, J. G., Kim, S. Y., Moon, J. S., Kim, S. H., Kang, D. H., Yoon, H. J., 2016. Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632-638.
- Lepper– Blilie, A.N., Berg, E.P., Buchanan, D.S., Keller, W.L., Maddock– Carlin, K.R. and Berg, P.T., 2014. Effectiveness of oxygen barrier oven bags in low temperature cooking on reduction of warmed– over flavor in beef roasts. *Meat Sci*, 96(3), 1361– 1364.
- Lu, F., Kuhnle, G. K., Cheng, Q., 2018. The effect of common spices and meat type on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in deep-fried meatballs. *Food Control*, 92, 399-411.
- Malarut, J. A., and Vangnai, K., 2018. Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of smoked sausages. *Food Control*, 85, 98-106.
- Masuda, M., Wang, Q., Tokumura, M., Miyake, Y., Amagai, T., 2019. Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their chlorinated derivatives in grilled foods. *Ecotoxicology and environmental safety*, 178, 188-194.
- Min, S., Patra, J. K., Shin, H. S., 2018. Factors influencing inhibition of eight polycyclic aromatic hydrocarbons in heated meat model system. *Food Chemistry*, 239, 993-1000.
- Onopiuk, A., Kołodziejczak, K., Marcinkowska-Lesiak, M., Poltorak, A., 2021. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons using different extraction methods and HPLC-FLD detection in smoked and grilled meat products. *Food Chemistry*, 131506.
- Onopiuk, A., Kołodziejczak, K., Szpicer, A., Wojtasik-Kalinowska, I., Wierzbicka, A., Półtorak, A., 2021. Analysis of factors that influence the PAH profile and amount in meat products subjected to thermal processing. *Trends in Food Science & Technology*.
- Onyango, A. A., Lalah, J. O., Wandiga, S. O., 2012. The effect of local cooking methods on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contents in beef, goat meat, and pork as potential sources of human exposure in Kisumu City, Kenya. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 32(5), 656-668.
- 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., and 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.
- Öz, F. and Çakmak İ.H., 2016. The effects of conjugated linoleic acid usage in meatball production on the formation of heterocyclic aromatic amines. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 1031– 1037.
- Öz, F. and Kızıl, M., 2013. Determination of heterocyclic aromatic amines in cooked commercial frozen meat products by ultrafast liquid chromatography. *Food Analytical Methods*, 6(5), 1370-1378.
- Öz, F., Kızıl, M., Çakmak, İ. and Aksu, M.İ., 2015. The effect of direct addition of conjugated linoleic acid on the formation of heterocyclic aromatic amines in beef chops. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 2820– 2833.
- Öz, F., Kızıl, M., Zaman, A. and Turhan, S., 2016. The effects of direct addition of low and medium molecular weight chitosan on the formation of heterocyclic aromatic amines in beef chop. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 861-867.
- Ramirez MR, Morcuende D, Estevez M, Lopez RC., 2005. Fatty acid profiles of intramuscular fat from pork loin chops fried in different culinary fats following refrigerated storage. *Food Chem* 92:159–167
- Regulation, C., 2011. 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 L*, 215, 4-8.
- Rengarajan, T., Rajendran, P., Nandakumar, N., Lokeshkumar, B., Rajendran, P., Nishigaki, I., 2015. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(3), 182-189.
- Rojas, M.C. and Brewer, M.S., 2007. Effect of natural antioxidants on oxidative stability of cooked, refrigerated beef and pork. *Journal of Food Science*, 72, 282– 288.
- Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, S. R., White, S., Fernandes, A., 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.
- Sabuncular, G., Akbulut, G., Yaman, M., 2021. Ette Lipit Oksidasyonu ve Etkileyen Faktörler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 362-369.
- Sánchez del Pulgar, J., Gázquez, A. and Ruiz– Carrascal, J., 2012. Physico – chemical, textural and structural characteristics of sous – vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. *Meat Science*, 90(3), 828– 835.
- Sanwo, K. A., Adegoke, A. V., Akinola, O. S., Njoku, C. P., Okolo, S. O., Oladipo, N. A., Oladejo, A. S., 2019. Meat quality characteristics of improved indigenous chickens (FUNAAB-ALPHA) fed turmeric (*Curcuma longa*) or clove (*Syzygium aromaticum*) as feed additives. *Journal of Agricultural Science and Environment*, 19(1), 102-112.
- Savell, J. W., Mueller, S. L., Baird, B. E., 2005. The chilling of carcasses. *Meat Science* 70 (2005) 449–459.
- Shen, G., Wang, W., Yang, Y., Ding, J., Xue, M., Min, Y., Russell, A. G., 2011. Emissions of PAHs from indoor crop residue burning in a typical rural stove: emission factors, size distributions, and gas– particle partitioning. *Environmental science & technology*, 45(4), 1206-1212.

- Šimko, P., 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. *Journal of chromatography B*, 770(1-2), 3-18.
- Singh, L., Agarwal, T., Simal-Gandara, J., 2020. PAHs, diet and cancer prevention: cooking process driven-strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 487-506.
- Singh, L., Agarwal, T., Simal-Gandara, J., 2022. Summarizing minimization of polycyclic aromatic hydrocarbons in thermally processed foods by different strategies. *Food Control*, 109514.
- Skjøth-Rasmussen, M. S., Glarborg, P., Østberg, M., Johannessen, J. T., Livbjerg, H., Jensen, A. D., Christensen, T. S., 2004. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and soot in fuel-rich oxidation of methane in a laminar flow reactor. *Combustion and Flame*, 136(1-2), 91-128.
- Stołyhwo, A., and Sikorski, Z. E., 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish—a critical review. *Food Chemistry*, 91(2), 303-311.
- Sun, Y., Wu, S., Gong, G., 2019. Trends of research on polycyclic aromatic hydrocarbons in food: A 20-year perspective from 1997 to 2017. *Trends in food science & technology*, 83, 86-98.
- Şireli, H., D., 2018. Karkaslarda Et Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılan Geleneksel Yöntemler ve Yeni Teknikler. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7(3) 126– 132
- Uğur, E. ve Unal, R., 2017. Diyetle Proteinler, Aminoasitler ve Bazı Diğer Aminli Bileşiklerin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Metabolik Etkileri. *Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1): 71-83.
- Uzun, İ., and Öz, F., 2021. Effect of basil use in meatball production on heterocyclic aromatic amine formation. *Journal Of Food Science And Technology-Mysore*, cilt.58, ss.3001-3009.
- Ünsal, A., 2019. Beslenmenin Önemi ve Temel Besin Öğeleri. *Nutrition and Basic Food Items*. 2 (3), 4-5.
- Viegas, O., Novo, P., Pinto, E., Pinho, O., Ferreira, I. M. P. L. V. O., 2012. Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. *Food and Chemical Toxicology*, 50(6), 2128-2134.
- Visessanguan W., Benjakul, S., Riebroy, S., Yarchai, M., Wanaporn Tapingkae, W., 2004. Changes In Lipid Composition And Fatty Acid Profile Of Nham, A Thai Fermented Pork Sausage, During Fermentation. *Food Chemistry* 94 (2006) 580–588.
- Wang, C., Xie, Y., Wang, H., Bai, Y., Dai, C., Li, C., Zhou, G., 2019. The influence of natural antioxidants on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in charcoal-grilled chicken wings. *Food Control*, 98, 34-41.
- Williams, P., 2007. Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics*, 64, S113-S119.
- Zhu, Z., Xu, Y., Huang, T., Yu, Y., Bassey, A. P., Huang, M., 2022. The contamination, formation, determination and control of polycyclic aromatic hydrocarbons in meat products. *Food Control*, 109194.
- Zikirov, E., 2014. Sous– Vide Pişirme Yönteminin Sığır Etinde Heterosiklik Aromatik Amin Oluşumu ve Bazı Kalitatif Kriterler Üzerine Etkisi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler
Adı Soyadı: Gülşah SÜMER
Doğum tarihi:
Doğum Yeri:
Uyruğu:
Adres:
Tel:
E-mail:
Eğitim
Lise:
Lisans:
Yüksek lisans:
Bildiriler
Savaş A., Sümer G., Öz F.Tavuk eti biyoaktifpeptitlerin çeşitli fonksiyonel özellikleri. 2ndInternationalEurasian Conference on Science, EngineeringandTechnology, Gaziantep.