

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**DÖNERLERDE POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBONLARIN
OLUŞUMU ÜZERİNE FARKLI PİŞİRME YÖNTEMLERİ VE SÜRELERİNİN
ETKİSİ**

Betül KARSLIOĞLU OKAY

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2020**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

DÖNERLERDE POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBONLARIN OLUŞUMU ÜZERİNE FARKLI PIŞIRME YÖNTEMLERİ VE SÜRELERİNİN ETKİSİ

Betül KARSLIOĞLU OKAY

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nuray KOLSARICI

Araştırmada, fast-food tüketim alışkanlıkları arasında önemli bir yeri olan et ve tavuk dönerlerde polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) üzerine farklı yağ içeriklerinin (az yağlı ve çok yağlı), farklı pişirme sürelerinin (orta ve çok pişmiş) ve pişirme yöntemlerinin (gazlı, kömürlü ve elektrikli) etkileri incelenmiştir. Çalışmada tavuk ve et dönerlerde 16 PAH bileşiminin aranmasının yanısıra, Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları ve diyet alım düzeyleri de hesaplanmıştır. Farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde pişirilmiş et dönerlerde çeşitli düzeylerde benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene ve benzo[ghi]perylene bulunmuştur. Dönerlerde Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH düzeyine etin yapısının, pişirme yönteminin ve pişmişlik derecesinin önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Her iki döner tipinde (et ve tavuk döner) elektrikli pişirme tekniği sonucu oluşan Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH içeriği daha az oluşmuştur. Kömürlü yöntemle pişirme tekniği ise en yüksek Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH içeriğinin oluşmasına neden olmuştur. PAH'lara maruziyetin önemli bir işaretçisi olan benzo[a]pyrene miktarı et dönerlerde belirleme sınırı ile 7.38 μ g/kg; tavuk dönerlerde ise kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grup hariç bütün gruplarda belirleme sınırı veya tayin sınırının altında kalmıştır. Her iki döner tipinde de benzo[a]pyrene oluşumuna hem yağ oranı hem de pişirme süresinin etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Bununla birlikte hem et hem de tavuk dönerlerde en baskın PAH bileşeni benzo[a]anthracene olmuştur. Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH içeriğine tüm örnek gruplarında pişirme yönteminin ve pişirme süresinin etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Ayrıca çok yağlı et ve tavuk dönerlerde az yağlı gruplarına göre daha fazla oranda Σ PAH varlığı tespit edilmekle birlikte et dönerlerde tespit edilen bileşenlerin yanısıra tavuk dönerlerde 5-Methylchrysene bileşeninin oluştuğu da görülmüştür.

Temmuz 2020, 174 sayfa

Anahtar Kelimeler: Polisiklik aromatik hidrokarbon, kanser, tavuk döner, et döner pişirme yöntemleri, pişirme süreleri

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EFFECTS OF DIFFERENT COOKING METHODS AND COOKING TIME ON THE FORMATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON IN DONERS

Betül KARSLIOĞLU OKAY

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nuray KOLSARICI

In the research, meat and chicken döner kebabs, which have an important place among fast food consumption habits, different fat contents (low-fat and high-fat), different cooking times (medium and overcooked) and cooking methods (gas, coal-fired and electric) effects on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) were investigated. In addition to searching for 16 PAH compounds in chicken and meat döner, Σ PAH4, Σ PAH8 and Σ PAH amounts and dietary intake levels were also calculated in the study. Various levels of benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene and benzo[ghi]perylene compounds have been found in different types of cooking and cooked meat döner with different cooking times. It has been determined that the composition of the meat, the cooking method and the degree of cooking are important on the level of Σ PAH4, Σ PAH8 and Σ PAH. In both döner types (meat and chicken döner), the contents of Σ PAH 4, Σ PAH 8 and Σ PAH were formed less as a result of the electric cooking technique. The coal-fired cooking technique caused the highest content of Σ PAH4, Σ PAH8 and Σ PAH. The amount of benzo[a]pyrene which is an important marker of exposure to PAHs is LOD-7.38 μ g/kg in meat döner; in chicken döner kebabs, it remained under LOD or LOQ in all groups except for the group cooked with coal-fired cooking method. In both döner types, the effect of both fat level and cooking time on benzo[a]pyrene formation was important ($p < 0.05$). However, the most dominant PAH component in both meat and chicken döner kebabs was benzo[a]anthracene. The effect of cooking method and cooking time on Σ PAH 4, Σ PAH 8 and Σ PAH content was found to be significant in all sample groups ($p < 0.05$). In addition, although the presence of Σ PAH was higher in high fatty meat and chicken döner than the low-fat groups, it was observed that 5-Methylchrysene component was formed in chicken döner as well as the components detected in meat döner.

July 2020, 174 pages

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbon, cancer, chicken döner, meat döner, cooking methods, cooking time.

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim süresince her aşamada desteğini aldığım, en kötü zamanımda elimden tutarak kalkmama yardım eden danışman hocam Prof. Dr. Nuray KOLSARICI'ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi), üzerimde emeği bulunan Prof. Dr. Kamuran AYHAN'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi), Prof. Dr. Kezban Candoğan'a, Prof. Dr. Halil VURAL'a (Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi), Prof. Dr. Abdülkadir AKAY (Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Öğretim Üyesi), Dr. Öğretim Üyesi Eda DEMİROK SONCU'ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi), Mühendis Dr. Aysu TOLUN'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı) ve üzerimde emeği bulunan diğer tüm hocalarıma,

Bütün eğitim hayatım boyunca bana sürekli destek olup; cesaret veren ve üzerimdeki hak ve emeklerini asla ödeyemeyeceğim, sevgili aileme desteğini hep yanımda hissettiğim tüm iş arkadaşlarıma ve bütün sevdiklerime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu doktora tezi, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi (BAP) tarafından desteklenen 18L0443006 nolu ve “*Dönerlerde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumu Üzerine Farklı Pişirme Yöntemleri ve Sürelerinin Etkisi*” konulu proje kapsamında desteklenmiştir.

Betül KARSLIOĞLU OKAY
Ankara, Temmuz 2020

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAKÖZETLERİ	5
2.1 Döner.....	5
2.2 Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)	7
2.2.1 Polisiklik aromatik hidrokarbonların özellikleri	8
2.2.2 Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşum mekanizmaları.....	14
2.3 Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşumuna etki eden faktörler ..	19
2.3.1 Polisiklik aromatik hidrokarbonların oluşumuna pişirmenin etkisi	21
2.3.1.1 Pişirme sıcaklığı ve süresinin etkisi	21
2.3.1.2 Pişirme yönteminin etkisi	23
2.3.2 PAH oluşumuna etin türünün etkisi.....	28
2.3.3 PAH oluşumuna yağ içeriğinin etkisi	29
2.3.4 PAH oluşumuna kullanılan yakıt türünün etkisi	32
2.3.5 PAH oluşumuna ısı kaynağının konumu ve mesafesinin etkisi	34
2.3.6 PAH oluşumuna diğer faktörlerin etkisi.....	34
2.4 PAH oluşumunu azaltıcı yaklaşımlar	35
2.4.1 Pişirme koşullarının modifikasyonu ile azaltma	36

2.4.2 Marinasyon veya bazı marinatların ilavesi ile azaltma	38
2.5 PAH bileşikleri ve sağlık ilişkisi.....	41
2.5.1 PAH bileşiklerinin biyodönüşümleri	46
2.6 Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) için yasal düzenlemeler	50
3. MATERYAL VE YÖNTEM	52
3.1 Materyal.....	52
3.1.1 Dönerlerin hazırlanması	52
3.1.2 Deneme planı.....	53
3.1.3 Pişirme koşulları	54
3.1.4 Örneklerin alınması.....	55
3.2 Analiz yöntemleri.....	55
3.2.1 Kimyasal bileşim	55
3.2.2 pH değeri	56
3.2.3 L^* , a^* , b^* renk değerleri.....	56
3.2.4 TBARM değeri.....	57
3.2.5 Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) analizi	57
3.2.5.1 PAH'ların ekstraksiyonu.....	57
3.2.5.2 PAH'ların saflaştırılması.....	58
3.2.5.3 HPLC analizi	58
3.2.6 PAH alım düzeyi	59
3.2.7 İstatistik analiz.....	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	60
4.1 Çiğ et ve tavuk dönerlere ilişkin sonuçlar	60
4.1.1 Kimyasal bileşim ve pH değeri.....	60
4.1.2 TBARM değeri	61
4.1.3 L^* , a^* , b^* renk değerleri.....	62

4.2	Pişmiş et ve tavuk dönerlerin analiz sonuçları.....	63
4.2.1	Kimyasal bileşim ve pH değeri	63
4.2.1.1	Et dönerlerin kimyasal bileşim ve pH değeri	63
4.2.1.2	Tavuk dönerlerin kimyasal bileşim ve pH değeri	63
4.2.2	TBARM değeri.....	71
4.2.2.1	Et dönerlerin TBARM değerleri	71
4.2.2.2	Tavuk dönerlerin TBARM değerleri	73
4.2.3	Polisiklik aromatik hidrokarbon sonuçları.....	74
4.2.3.1	Geri kazanım	74
4.2.3.2	Et dönerlerin PAH analiz sonuçları	74
4.2.3.2.1	Benzo[c]fluorene miktarı.....	74
4.2.3.2.2	Cyclopenta[cd]pyrene miktarı	81
4.2.3.2.3	Benzo[a]anthracene miktarı.....	85
4.2.3.2.4	Chrysene miktarı.....	88
4.2.3.2.5	Benzo[a]pyrene miktarı	90
4.2.3.2.6	Dibenz[a,h]anthracene miktarı.....	94
4.2.3.2.7	Benzo[ghi]perylene miktarı.....	96
4.2.3.2.8	Et dönerlerin toplam PAH miktarı	99
4.2.3.3	Tavuk dönerlerin PAH analiz sonuçları	107
4.2.3.3.1	Benzo[c]fluorene miktarı.....	107
4.2.3.3.2	Cyclopenta[cd]pyrene miktarı	109
4.2.3.3.3	Benzo[a]anthracene miktarı.....	111
4.2.3.3.4	Chrysene miktarı.....	114
4.2.3.3.5	5-Methychrysene miktarı	115
4.2.3.3.6	Benzo[a]pyrene miktarı	117
4.2.3.3.7	Dibenz[a,h]anthracene miktarı.....	120

4.2.3.3.8 Benzo[ghi]perylene miktarı.....	122
4.2.3.3.9 Tavuk dönerlerin toplam PAH miktarı	124
4.2.4 PAH alım düzeyi	130
4.2.4.1 Et dönerlerin PAH alım düzeyi.....	130
4.2.4.2 Tavuk dönerlerin PAH alım düzeyi.....	130
4.2.5 L^* , a^* , b^* renk değerleri.....	136
4.2.5.1 Et dönerlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri	136
4.2.5.2 Tavuk dönerlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri	136
5. SONUÇ.....	142
KAYNAKLAR	149
EKLER.....	165
EK 1 Kromatogram Örnekleri.....	166
EK 2 Dönerlerin Pişirme İşlemi Sırasında Termal Kamera İle Sıcaklık Ölçümü Fotoğrafları.....	170
ÖZGEÇMİŞ.....	172

SİMGELER DİZİNİ

°C	santigrat
%	yüzde
‰	binde
cm	santimetre
dk	dakika
g	gram
kg	kilogram
L	litre
M	Molar
mL	mililitre
mm	milimetre
ng	nanogram
Ort±SH	Ortalama ± Standart Hata
ppb	milyarda bir kısım
ppm	milyonda bir kısım
rpm	dakikada devir
sn	saniye
α	alfa
β	beta
µg	mikrogram
µL	mikrolitre
µm	mikrometre

Kısaltmalar

HCl	Hidroklorik asit
HPLC	Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
LOD/bs	Belirleme sınırı
LOQ/ts	Tayin sınırı
MA	Malonaldehit
max.	maksimum
min.	minimum
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
SH	Standart hata
TBARM	Tiyobarbutirik asit reaktif madde
TCA	Triklor asetik asit
TGK	Türk Gıda Kodeksi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
USA	Amerika Birleşik Devletleri

IARC	Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Kurumu
JECFA	Gıda Katkı Maddelesi Uzman Komitesi
UV	Ultraviyole
UV/VIS	Ultraviyole ve görünür ışık
PAH	Polişiklik aromatik hidrokarbon
BcFlu	Benzo[c]fluorene
CPp	Cyclopenta[cd]pyrene
BaA	Benzo[a]anthracene
Chr	Chrysene
5-MCH	5-Methychrysene
BjFlu	Benzo(j)fluoranthene
BbFlu	Benzo[b]fluoranthene
BkFlu	Benzo[k]fluoranthene
BaP	Benzo[a]pyrene
DBa1P	Dibenzo[a,l]pyrene
DBahA	Dibenz[a,h]anthracene
BghiP	Benzo[ghi]perylene
IP	Indeno[1,2,3-cd]pyrene
DBaeP	Dibenzo[a,e]pyrene
DBaiP	Dibenzo(a,i)pyrene
DBahP	Dibenzo(a,h)pyrene
Nd	Tespit edilemedi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Bazı önemli PAH bileşiklerinin molekül yapısı	9
Şekil 2.2	PAH'ların etandan itibaren pirosentezi.....	16
Şekil 2.3	Biyokütlenin dönüşümü sırasında birincil, ikincil ve üçüncül (PAH) katran ürünlerinin oluşumu	17
Şekil 2.4	Benzo[a]pyrene' nin metabolik yolu	47
Şekil 2.5	7,12-dimetilbenzo antrasen'nin metabolik yolu	47
Şekil 4.1	Çiğ et ve tavuk dönerlerin L^* , a^* ve b^* renk değerleri	62
Şekil 4.2	PAH bileşenlerini içeren standart mikse (10 µg/kg) ait kromatogram	77
Şekil 4.3	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarında pişirmeye bağlı olarak görülen değişim düzeyleri (µg/kg).....	101
Şekil 4.4	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarında pişirmeye bağlı olarak görülen değişim düzeyleri (µg/kg).....	126
Şekil 4.5	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH diyet alım düzeyleri (µg/100 g döner)	131
Şekil 4.6	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH diyet alım düzeyleri (µg/100 g döner)	135
Şekil 4.7	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı et dönerlerin L^* , a^* ve b^* renk değerleri.....	137
Şekil 4.8	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş çok yağlı et dönerlerin L^* , a^* ve b^* renk değerleri	137
Şekil 4.9	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı tavuk dönerlerin L^* , a^* ve b^* renk değerleri	140
Şekil 4.10	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş çok yağlı tavuk dönerlerin L^* , a^* ve b^* renk değerleri	140

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Bazı önemli PAH bileşiklerinin kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleri ...	11
Çizelge 2.2	Kanserojenik ve mutajenik PAH bileşiklerinin özellikleri	43
Çizelge 3.1	Et ve tavuk döner deneme planı.....	53
Çizelge 3.2	Et ve tavuk dönerlere ilişkin pişirme koşulları	54
Çizelge 4.1	Çiğ et ve tavuk dönerlerin kimyasal bileşimi (nem, yağ, kül, protein, tuz) ile pH değerleri.....	60
Çizelge 4.2	Çiğ et ve tavuk dönerlerin TBARM içerikleri (mg MA/kg)	61
Çizelge 4.3	Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin nem, protein, yağ, kül ve tuz içerikleri ile pH değerleri	64
Çizelge 4.4	Farklı yağ içeriğine sahip pişirilmiş et dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri.....	65
Çizelge 4.5	Farklı pişirme süresinde pişirilmiş et dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri.....	66
Çizelge 4.6	Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri	68
Çizelge 4.7	Tavuk dönerlerin pH değeri üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi...69	
Çizelge 4.8	Farklı yağ içeriğine sahip tavuk dönerlerin nem, protein, yağ, kül ve tuz içerikleri ile pH değerleri	69
Çizelge 4.9	Farklı pişirme sürelerinde pişirilmiş tavuk dönerlerin nem, protein, yağ, ve kül içerikleri ile pH değerleri	70
Çizelge 4.10	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin TBARM değerleri (mg MA/kg)	72
Çizelge 4.11	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin TBARM değerleri (mg MA/kg)	73
Çizelge 4.12	Analizi yapılan PAH'ların regresyon çizgisinin katsayıları (R^2), geri kazanımları ile belirleme sınırı (bs) ve tayin sınırı (ts) değerleri	76
Çizelge 4.13	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	79
Çizelge 4.14	Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	80

Çizelge 4.15 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin cyclopenta[cd]pyrene miktarları (µg/kg)	82
Çizelge 4.16 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[a]anthracene miktarları (µg/kg)	85
Çizelge 4.17 Et dönerlerin benzo[a]anthracene bileşiğine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi (µg/kg).....	86
Çizelge 4.18 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin chrysene miktarları (µg/kg).....	87
Çizelge 4.19 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[a]pyrene miktarları (µg/kg).....	90
Çizelge 4.20 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[a]pyrene miktarları (µg/kg).....	91
Çizelge 4.21 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin dibenz[a,h]anthracene miktarları (µg/kg)	94
Çizelge 4.22 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin dibenz[a,h]anthracene içeriğine yağ miktarlarının etkisi (µg/kg).....	95
Çizelge 4.23 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[ghi]perylene miktarları (µg/kg).....	96
Çizelge 4.24 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları (µg/kg).....	99
Çizelge 4.25 Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi (µg/kg)	102
Çizelge 4.26 Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme sürelerinin etkisi (µg/kg).....	103
Çizelge 4.27 Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı yağ oranlarının etkisi (µg/kg)	103
Çizelge 4.28 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları (µg/kg)	106
Çizelge 4.29 Farklı yağ içeriğine sahip tavuk dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları ile p değeri(µg/kg)	108
Çizelge 4.30 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin cyclopenta[cd]pyrene miktarları (µg/kg)	109

Çizelge 4.31 Farklı yağ içeriğine sahip tavuk dönerlerin cyclopenta[cd]pyrene miktarları (µg/kg)	110
Çizelge 4.32 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[a]anthracene miktarları (µg/kg)	111
Çizelge 4.33 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin chrysene miktarları (µg/kg).....	113
Çizelge 4.34 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin 5-Methychrysene miktarları (µg/kg).....	115
Çizelge 4.35 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[a]pyrene miktarları (µg/kg).....	117
Çizelge 4.36 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin dibenz[a,h]anthracene miktarları (µg/kg)	120
Çizelge 4.37 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[ghi]perylene miktarları (µg/kg).....	122
Çizelge 4.38 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları (µg/kg).....	124
Çizelge 4.39 Tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi (µg/kg)	127
Çizelge 4.40 Tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme sürelerinin etkisi (µg/kg).....	128
Çizelge 4.41 Tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı yağ oranlarının etkisi (µg/kg).....	128

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze değişen sosyo-ekonomik ve kültürel faktörler, tüketicilerin de beslenme alışkanlıklarının da değişikliklere neden olmuş, fast food olarak adlandırdığımız kısa sürede hazırlanıp servis edilen gıdaları sıklıkla tercih edilir duruma getirmiştir (Al- Shadefat 2011, Bostan vd. 2011, Turp ve Yıldırım 2019). Hamburger, pizza, patates kızartması gibi fast food ürünlerinden olan döner, geleneksel et ürünlerimizden biri olmasının yanı sıra geniş tüketim portföyüne de sahiptir.

İnsan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan et; mineral maddeleri, vitaminleri ve özellikle esansiyel amino asitleri ve yağ asitlerini yeterli miktarda yapısında bulundurmaktadır (Ferguson 2010, Behnsilian vd. 2014, Ledesma vd. 2014). Ancak et beslenme için elzem bir gıda olmasına rağmen kanser gibi hastalıkların kaynağı da olabilmektedir. Günümüzde, gıda güvenliği ve sağlık konusundaki en önemli konulardan biri kanser olduğundan tüm dünyada endişe duyulan konuların başında gelmektedir (Wang ve Sun 2017).

Son yıllarda yapılan birçok araştırma yüksek oranda et tüketimi ile kanser riski arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir (Chao vd. 2005, Larsson vd. 2005, Andrée vd. 2010, Chan vd. 2011, Olatunji vd. 2013, Behnsilian vd. 2014, Chiang ve Quek 2017, Domingo ve Nadal 2015, Garcia- Lomillo vd. 2017, Kim vd. 2014). Bu çalışmalara paralel olarak Dünya Kanser Araştırma Merkezi ve Dünya Sağlık Örgütü gibi birçok kuruluş tarafından da kırmızı et ve et ürünlerinin tüketiminin kanser oluşumuna sebep olduğu bildirilmiştir. Bu rapora göre etin yüksek yağ içeriğine sahip oluşu, karsinojenik bir metal olan heme-demirini içermesi ve et ürünlerinde nitrozasyon sonucu oluşan karsinojenik özellikteki N-nitrozo bileşikleri içermesi kanser riskini artıran faktörlerdir (Alomirah vd. 2011, Domingo ve Nadal 2017).

Bu üç faktöre ilaveten, raporda et ve et ürünlerinin prosesleri gereği kabul edilebilir duyuşal özelliklere sahip olamsı ve bakteriyolojik olarak güvenli gıdalar üretmek için

uygulanan pişirme işleminin yüksek sıcaklıkta yapılması sonucu oluşan mutajenik ve karsinojenik aktivite gösteren polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)'lar gibi kontaminantlar önem kazanmıştır (Aaslyng vd. 2013, Domingo ve Nadal 2016, Nerin vd. 2016).

PAH'lar et-kanser ilişkisinin açıklanmasında, son yıllarda yapılan araştırmaların yoğunlaştığı konuların başında yer almaktadır Bu noktadan hareketle gıda kaynaklı hastalıkların görülme sıklığının fazla olması ve PAH bileşikleri gibi kontaminantların önem kazanması dünyada ve ülkemizde çok popüler bir fast food gıda olan ve kontrolsüz yüksek sıcaklıklarda ve sürelerde pişirilen dönerlerin gıda güvenliği açısından riskli gıdalar grubunda değerlendirilmesine neden olmaktadır.

Pişirme toksik maddesi olarak kabul edilen PAH'lar; organik materyallerin eksik yanması sonucu ortaya çıkan, uzun süre çevrede kalmaları ve birikmeleri sonucunda çevre kirliliğine neden olabilen ve biyolojik dengeyi bozabilen, oluşumu istenmeyen organik yapıdaki bileşiklerdir (Viegas vd. 2012, Hao vd. 2016, Ledesma vd. 2016, El Hussein vd. 2018).

Doğada 100'ün üzerinde PAH bileşiği tespit edilmiş olup, bu bileşiklerin insan ve hayvanlar tarafından alınımının, birikmesinin ve dokulardaki kalıntı miktarının artışının insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir (Ramesh vd. 2004). Sağlık açısından risk taşıyan PAH bileşiklerine maruz kalınması sonucunda akciğer, mesane, özofagus, mide, pankreas ve prostat kanserine yakalanma riskinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Wallin vd. 2011, Hamidi vd. 2016, Li vd. 2016, Jiang vd. 2018).

PAH bileşikleri; hava, toprak, su gibi farklı ortamlarda veya tükettiğimiz birçok gıda ürününde bulunmaktadır (Stumpe-Vıksna vd. 2008, Kim vd. 2014, Bansal vd. 2017, Tongo vd. 2017). Hem işlenmiş (ısıl işlem görmüş) gıdalarda hem de işlenmemiş bazı gıdalarda önemli miktarda PAH olduğu bildirilmiştir (Olatunji vd. 2014, Singh vd. 2016). Bunun nedeni gıdaları tüketime hazır hale getirmek için uygulanan, özellikle proses gereği pişirme esnasında etlerde PAH oluşumuna katkıda bulunan

tütsüleme, kavurma, kızartma, ızgarada pişirme ve kaynatma gibi ısı işlemlerdir (Alomirah vd. 2011, Jahurul vd. 2013, Huertas- Perez vd. 2015, Ledesma vd. 2015a, Nerin vd. 2016, Lawal 2017, Hokkanen vd. 2018). Et ürünlerinde oluşan PAH bileşiklerinin miktarı, proste kullanılan ısı kaynağının çeşidine ve sıcaklığına, etin yağ içeriğine, oksijen konsantrasyonuna, gıda ile ısı kaynağı arasındaki uzaklığa ve işlem süresine bağlı olarak değişmektedir (Lund vd. 2009, Singh vd. 2016, Sobral vd. 2018).

Et ve tavuk dönerlerin ülkemiz fast food zincirindeki tüketim oranları bu ürünlerin pişirilme yöntemleri ile birlikte düşünüldüğünde, sağlık riski taşıyan ve gıda güvenliğini tehdit eden PAH'ların oluşma ihtimali döner üretim sektöründeki riskin önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda yürütülen tez çalışmasında, fast-food tüketim alışkanlıkları arasında önemli bir yeri olan et ve tavuk dönerlerde sağlık riski oluşturan polisiklik aromatik hidrokarbonların oluşumu üzerine farklı yağ içeriklerinin (az yağlı ve çok yağlı), farklı pişirme sıcaklıklarının (orta pişmiş ve çok pişmiş) ve döner pişirme yöntemlerinin (gazlı, kömürlü, ve elektrikli) etkileri incelenmiştir. Kurulan denemede, et ürünlerinde yaygın olarak tespit edilen benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, 5-methychnrysene, benzo(j)fluoranthene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,l]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenzo[a,e]pyrene, dibenzo(a,i)pyrene, dibenzo(a,h) pyrene bileşikleri aranmıştır.

Özetle, ısı işlem uygulanmış gıdalarda PAH bileşiklerinin varlığı belirlenmiş olsa da, gıdalarda birçok PAH bileşiklerinin oluşum mekanizmaları, karsinojeniteleri, biyodönüşüm mekanizmaları gibi bilinmeyen birçok husus olması nedeniyle aydınlatılması gereken birçok noktası vardır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, karsinojenik PAH bileşiklerinin oluşumu et ve tavuk dönerlerde önemli bir problemdir. Türkiye'de yapılan çalışmalar incelendiğinde ise farklı yağ içeriğine sahip ve farklı pişirme yöntemleri ile pişirilen et ve tavuk dönerlerde PAH bileşiklerinin tespiti ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Sonuç olarak; oldukça yüksek tüketim oranına sahip et ve tavuk dönerlerin kimyasal kontaminatlar açısından güvenliğine yönelik araştırmaların, ve özellikle döner pişirme koşullarına özgü yasal düzenlemelerin olmaması, sektör içerisinde farklı uygulamalara neden olmaktadır. Bu nedenle yürütülen tez çalışmasında;

et ve tavuk dönerlerine uygulanan farklı pişirme yöntemleri, farklı yağ içeriklerinin ve farklı pişirme sürelerinin PAH bileşikleri oluşumu açısından nasıl bir etki gösterdiği konusunda açığın kapatılması amaçlanmıştır.



2 KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Döner

Dünyanın birçok yerindeki lokanta, fast-food dükkânları ile büyük kentsel alanların hemen her köşesinde satılan popüler hazır bir yiyecek olan döner, ülkemize özgü geleneksel bir et yemeğidir. Tüketimi her geçen gün artan dönerin 2015 yılı istatistiklerine göre, Türkiye'deki tüketim oranının günlük 500 ton olduğu bunun yanında Almanya'da 25.000, Avrupa'da 50.000'den fazla döner satış noktasının bulunduğu belirtilmiştir (Özsaraç vd. 2019). Başta Ortadoğu ve Avrupa olmak üzere diğer ülkelerde de yaygın olarak tüketilen döner fast food kültüründe önemli bir yer tutmaktadır.

Türk kültürüne ait olduğu düşünülen dönerin çok eski bir geçmişe sahip olduğu, ilk kez 150 yıl önce Bursa'da kemiksiz kuzu ve dana etlerinin şişe dizilerek odun ateşinde pişirilmesiyle ortaya çıktığı ve daha sonraları başta Ortadoğu ve Avrupa olmak üzere birçok ülkede “gyros”, “yeeros”, “türki kebab”, “shaverma” gibi farklı adlarla tüketime ve satışa sunulduğu bilinmektedir (Ergönül 2006). Ülkemizde dönerin başlıca hammaddesini kırmızı et ve kanatlı etleri oluştursa da diğer ülkeler de mutfak kültürüne göre kullanılan hammadde ve hazırlama teknikleri farklılık gösterebilmektedir.

Ülkemizde döner konusunda Türk Standartları Enstitüsü tarafından yayınlanan iki standart mevcut olup, dönerin genel bileşimi hakkında özellikleri kapsayan “TS 11859, Döner Eti-pişmemiş” standardı ve yapım kurallarını içeren “TS 11658, Döner Yapım Kuralları-pişmemiş” standardıdır.

TS 11859'a standardına göre kırmızı et döner “*Kasaplık büyükbaş ve küçükbaş hayvan gövde etlerinden biri veya birkaçının etlerinin karışımına, istenildiğinde aynı tür hayvanların karkas yağları, kuyruk yağı, gömlek yağı, lezzet ve çeşni verici maddeler ilave edilerek hazırlanan ve döner şişine dizilerek silindir formu verilmiş pişirilmeye hazır kırmızı et karışımı*”, kanatlı et döneri ise “*Kasaplık kanatlı hayvan karkas etlerinin biri veya bunların karışımına istenildiğinde aynı tür hayvanların karkas*

yağları, kuyruk yağı, gömlek yağı, lezzet ve çeşni verici maddeler ilave edilerek hazırlanan ve döner şişine dizilerek silindir formu verilmiş pişirilmeye hazır kanatlı eti karışımı'' şeklinde tanımlanmıştır (Anonim 2003).

Dönerlerin gerek isimlendirmesi, gerek bileşimi açısından bölgelere, illere ve işletmelere göre farklılık göstermesi ve bu durumun tüketiciyi yanıltıcı sonuçlar doğurması nedeniyle 29 Ocak 2019 tarih ve 30670 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Türk Gıda Kodeksi- Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği (2018/52) ile dönere ilişkin standart düzenlemeler getirilmiştir. Tebliğe göre döner; *“Büyükbaş ve küçükbaş hayvan karkas etlerinin ve/veya kıymalarının ya da kanatlı hayvan karkas etlerinin ve/veya kıymalarının bu Tebliğe uygun olacak şekilde biri veya birkaçının karışımına, aynı ve/veya farklı tür hayvanların yağları, lezzet vericiler ile diğer gıda bileşenlerinden biri veya birkaçı ilave edilerek hazırlanan ve döner şişine dizilerek silindir formu verilmiş pişirilmeye hazır kırmızı veya kanatlı et karışımının yatay veya dikey olarak döndürülerek pişirilmesiyle elde edilen et ürünü”* olarak tanımlanarak mevzuattaki yerini almıştır (Anonim 2019). Tebliğ'de kırmızı et dönerler piyasaya sunuş şekline göre;

- a) Yaprak döner: *“Üretiminde kırmızı et olarak sadece yaprak haline getirilmiş çiğ kırmızı etin kullanıldığı döner”*,
- b) Kıyma döner: *“Üretiminde kırmızı et olarak en çok % 90 oranında kıymanın ve en az % 10 oranında yaprak haline getirilmiş çiğ kırmızı etin kullanıldığı döner”*,
- c) Karışık döner: *“Üretiminde kırmızı et olarak en az % 60 oranında yaprak haline getirilmiş çiğ kırmızı et ve en çok % 40 oranında kıymanın kullanıldığı döner”*,

Kanatlı eti döneri ise piyasaya sunuluş şekline göre;

- a) Yaprak kanatlı eti döneri: *“Üretiminde kanatlı eti olarak sadece yaprak haline getirilmiş çiğ kanatlı etinin kullanıldığı döner”*,
- b) Karışık kanatlı eti döneri: *“Üretiminde kanatlı eti olarak en az % 60 oranında yaprak haline getirilmiş çiğ kanatlı etinin ve en çok % 40 oranında kanatlı kıymanın kullanıldığı döner”* şeklinde sınıflandırılmıştır.

2.2 Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)

PAH'lar; kömür, gaz, odun veya pişirilmiş et ve et ürünleri gibi organik maddelerin tam yanmaması veya pirolizi sırasında ve çeşitli endüstriyel kaynaklardan, motorlu taşıtlar ve sigara kullanımı ile oluşan, esasen serbest radikallerden üretilen iki veya daha fazla aromatik halka içeren organik bileşiklerdir (Alomirah vd, 2011, Chung vd. 2011, Farhadian vd. 2011, Farhadian vd. 2012, Abramsson- Zetterberg vd. 2014, Gorji vd. 2016, Lee vd. 2016, Chiang ve Quek 2017).

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, günlük yaşamımızda karşılaştığımız veya hava, toprak, su ve çeşitli gıda ürünleri gibi her türlü farklı ortamda bulunabilme ve oluşabilme özelliğine sahiptirler (Mottier vd. 2000, Pena vd. 2006, Kim vd. 2014). Bu kirleticilerin endüstriyel üretim yapılan bölgelerdeki kirli havadaki bileşenlerin bitkisel ürünlerin üzerine birikmesi neticesinde bulunabildiği gibi kızartma, kavurma, tütüleme, ve/veya ızgarada pişirme gibi gıdaya uygulanan ısıl işlemler sonucu da oluşabilmektedir (Yurchenko ve Mölder 2005, Plaza-Bolaños vd. 2010).

Et ve et ürünlerinin tüketimi ise en yaygın PAH alımı yolu olup, yağ oranı yüksek olan et ve et ürünleri özellikle polisiklik aromatik hidrokarbonlarla (PAH) kontaminasyona daha duyarlıdır (Xia vd. 2010, Bansal vd. 2017). Bunun sebebinin PAH bileşiklerinin lipofilik karakterleri nedeniyle hayvansal yağ dokularında daha fazla birikim eğilimi göstermelerinden dolayı olduğu ifade edilmiştir (Moret vd. 2000, Zachara vd. 2017).

PAH'ların canlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkileri uzun bir süreden beri araştırılmaktadır (Pena vd. 2006). İnsan sağlığını olumsuz yönde etkileyen kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahip olan PAH bileşiklerinin şimdiye kadar yaklaşık 660 farklı türü saptanmış olup (Stolyhwo ve Sikorski 2005), bazı türlerinin çok az miktarlarının bile toksik ve kanserojenik etkiye sahip olduğu, PAH'ların tümör oluşumunu başlatıcı, geliştirici ve ilerletici özellikleri olduğu bilinmektedir (Andrée vd. 2010).

Ayrıca Avrupa Birliği Gıda Bilim Komitesi (SCF), Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi (JECFA), Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birimi (US-EPA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gibi birçok kuruluş tarafından da bazı PAH bileşiklerinin insan sağlığı üzerinde potansiyel riskleri rapor edilmiştir (Anonymous 2008, Anonymous 2010, Ledesma 2015 b).

Birçok kurum ve kuruluş tarafından yayınlanan verilerin de desteklediği 16 PAH bileşiği öncelikli kirlenici olmakla birlikte, PAH bileşikleri içerisinde üzerinde en çok çalışılan ve bilinen en karsinojenik ve kanser araştırmalarında model bileşik olarak kabul edilen PAH bileşiğinin, ise benzo[a]pyrene (BaP) olduğu ifade edilmiştir (Anonymous 2010, Anonymous 2012, Wang ve Sun 2017).

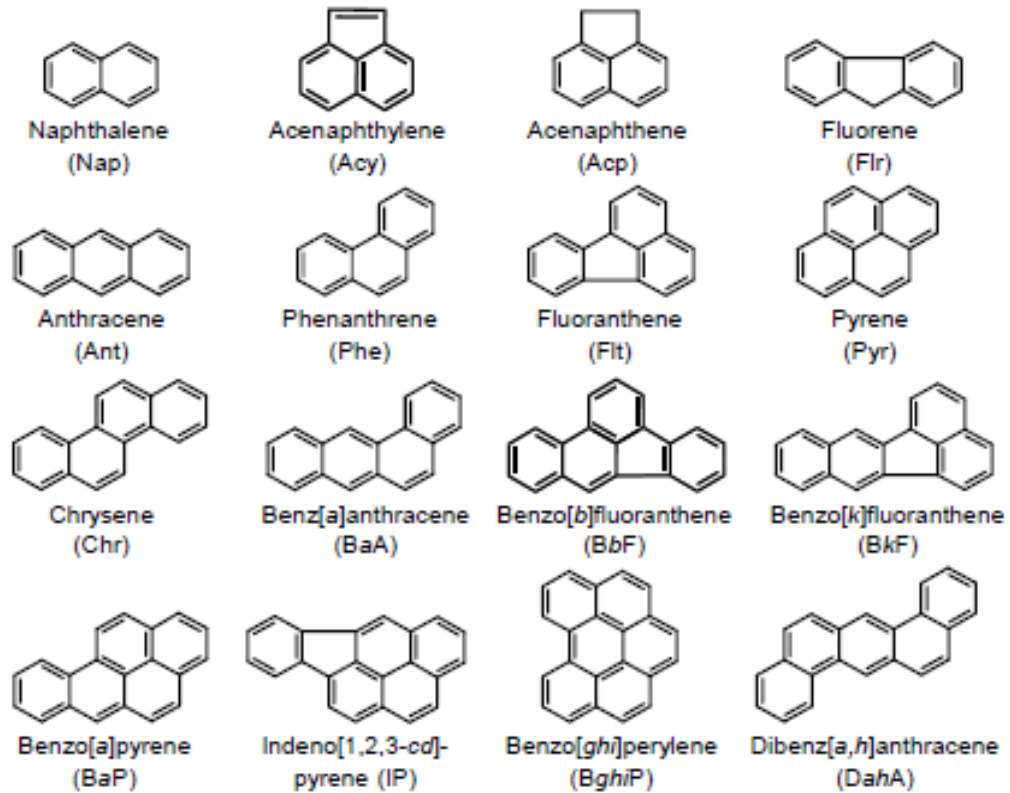
2.2.1 Polisiklik aromatik hidrokarbonların özellikleri

Hidrokarbonlar doymuş, doymamış ve aromatik olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Doymuş hidrokarbonlar hidrojen atomları ile doymuş tekli karbon-karbon bağları ile karakterize edilirken, doymamış hidrokarbonlar 2 karbon atomları arasında iki veya daha fazla bağ içeren bileşik olarak tanımlanmıştır (Kislov vd. 2013). Aromatik hidrokarbonlar ise altı karbon içeren ve her karbonu halkadaki bir hidrojen ile birleşen benzen halka yapısı ile karakterize edilmişlerdir.

Halka sayısına bağlı olarak aromatik hidrokarbon molekülleri, tekli halkalı aromatikler ve polisiklik aromatikler (iki veya daha fazla içeren) olarak ikiye ayrılırlar (Çorman 2014). PAH'ların yapıları halka şeklinde olduğu için düz zincir yapısını içeren alifatiklerden bu özellikleri ile ayrılır (Richter ve Howard 2000). Aromatik hidrokarbon ailesinden olan PAH'lar, yapısında sadece karbon ve hidrojen atomu bulunan iki veya daha fazla benzen halkasının lineer, açısız veya küme halinde düzenlenmesi ile meydana gelen kimyasal bileşiklerdir (Simko 2002, Hao vd. 2016, Li vd. 2016, Singh vd. 2016).

Saf kimyasal olarak PAH'lar çoğunlukla renksiz, beyaz veya soluk sarı, hafif hoş kokuya sahip, katı halde olan organik bileşiklerdir. (Stolyhwo ve Sikoski 2005, Basu 2010, Abdel Shafy ve Mansour 2016). PAH bileşikleri lipofilik, yüksek erime ve kaynama noktasına ve düşük buhar basıncına sahip, suda zor çözünen, yüksek moleküler ağırlıklı organik maddeler için yüksek afinite gösteren, kimyasal olarak kararlı, apolar, düşük uçuculuğa sahip, hidroliz yoluyla zayıf bir şekilde parçalanan, hidrofobik yapılarından dolayı sudaki çözünürlükleri ve uçuculukları oldukça az, organik asitlerde veya organik çözücülerde ise kolayca çözünebilen bileşiklerdir (Simko 2005, Kataoka ve Ishizaki 2013, Abdel- Shafy ve Mansour 2016, Santonicola vd. 2017).

Şekil 2.1'de bazı önemli PAH bileşiklerinin molekül yapıları verilmiştir. PAH bileşikleri doğada buldukları ortamlardaki yarılanma sürelerine göre de çeşitlilik gösterirler. PAH bileşiklerini yarılanma süreleri sulu ortamda 1 hafta- 2 ay, toprakta 2 ay- 2 yıl ve tortularda 8 ay- 6 yıl arasında değişmektedir (Stolyhwo ve Sikoski 2005).



Şekil 2.1 Bazı önemli PAH bileşiklerinin molekül yapısı (Kataoka ve Ishizaki 2013)

Çizelge 2.1’de seçilen bazı PAH bileşiklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. PAH’ların çevrede yayılmalarının da ve gıdaya kontaminasyonunun da suda çözünürlükleri, buhar basınçları, uçuculuk, kimyasal reaktivitesi, biyotik ve abiyotik parçalanabilirliği, oktanol-su ayrılım katsayısı, organik karbon ayrılım katsayısı gibi birçok fiziksel ve kimyasal faktör etkilidir. (Abdel-Shafy ve Mansour 2016). 2 halkalı PAH bileşikleri 200–300 °C, 3 halkalı PAH bileşikleri 300–400 °C, 4 halkalı PAH 300–450 °C, 5 halkalı PAH bileşikleri 350–500 °C ve 6–10 halkalı PAH bileşikleri ise 500–600 °C kaynama noktasına sahiptir (Archten ve Andresson 2015).

PAH’ların oluşum mekanizmasını kavrayabilmek ve PAH’ların yapıları hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak için bu bileşiklerin davranış ve reaksiyon kinetiği, oluşum entalpileri gibi termokimyasal değerlerin bilinmesi de mekanizmayı anlamaya yardımcı olan verilerdir (Roux vd. 2008).

PAH’lar düşük uçuculuğa, buhar basıncına sahiptir ve suda çok az çözünürler. PAH’ların uçuculuk özelliği birleşik halka sayısının artmasıyla azalmaktadır. Suda çözünürlükleri ise PAH molekülünde yer alan benzen halkalarının sayısı ile ters olup, PAH’ların molekül ağırlıkları arttıkça sudaki çözünürlüğü azalmaktadır. (Kataoka ve Ishizaki 2013).

Hidrofobik özellikte olmasından dolayı PAH’lar suda sadece dağılır ve süspansiyon olmuş partikülleri su tarafından sarılır. Bu özelliğinden dolayı suda bulunan PAH’ların büyük çoğunluğu sedimentte (tortu, toprak ve bitkiler) ve atmosferde birikme eğilimi gösterir. Aynı zamanda bu bileşikler sulu ortamda partiküllere tutunarak suda mevcut olan yağlı kirleticiler içinde de çözünebilir bileşiklerdir (Ergönül ve Kaya 2015). Herhangi bir PAH bileşiğinin faz dağılımı, PAH’ların buhar basıncına, atmosferin sıcaklığına, PAH konsantrasyonuna, K_{oc} değerine, parçacıkların yapısına ve konsantrasyonlarına bağlıdır (Yebrá-Pimentel vd. 2015).

Çizelge 2.1 Bazı önemli PAH bileşiklerinin kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleri (Dabestani ve Ivanov 1999, Hanedar 2009, Li vd. 2016)

Bileşik	Kısaltması	Halka sayısı	Mw (g/mol)	BP	Vp	MP	log (K _{ow})	log (K _{oc})
Naftalin	Np	2	128,10	218	1,09x10 ⁻²	80,2	3,36	3,11
Asenaftelen	Ane	3	152,19	280	Bilinmiyor	92-93	Bilinmiyor	3,64
Asenaften	Anp	3	154,21	279	5,96 x10 ⁻⁴	95	3,92	4,02
Floren	Flr	3	166,22	298	Bilinmiyor	116-117	Bilinmiyor	4,35
Fenantren	Phe	3	178,24	340	2,67 x10 ⁻⁵	100	4,57	4,31
Antrasen	Ant	3	178,24	340	1,44 x10 ⁻⁶	218	4,54	4,39
Fluoranthene	Flu	4	202,26	384	2,54 x10 ⁻⁶	109	4,90	5,04
Pyren	Pyr	4	202,26	404	8,86 x10 ⁻⁷	156	5,18	4,86
Benz(a)antrasen	BaA	4	228,29	435	2,80 x10 ⁻⁸	159-162	5, 61	5,33
Chrysen	Chr	4	228,29	448	Bilinmiyor	255-256	Bilinmiyor	5,14
Benzo(b)fluoranthene	BbF	5	252,32	478	Bilinmiyor	168,3	Bilinmiyor	5,72
Benzo(k)fluoranthene	BkF	5	252,32	480	Bilinmiyor	215,7	Bilinmiyor	5,73
Benzo(a)pyrene	BaP	5	252,32	495	6,67 x10 ⁻¹³	179	6,04	6,24
Indeno (1,2,3 c,d)pyrene	IcdP	6	276,33	530	Bilinmiyor	163,6	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Dibenzo (a,h)anthracene	DahA	5	278,35	524	Bilinmiyor	262	Bilinmiyor	5,96
Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	6	276,33	>500	Bilinmiyor	273	Bilinmiyor	6,23

Mw: moleküler ağırlık (g/mol); BP: kaynama noktası (°C); Vp: buhar basıncı (25 °C'deki (kPa); MP: Erime noktası (°C) Kow: oktanol-su ayrılım katsayısı; Koc: organik karbon ayrılım katsayısı

PAH bileşikleri ayrıca ışığa duyarlılık, ısı direnci, iletkenlik, yayılabilirlik ve korozyona karşı direnç gibi özelliklerinin yanısıra çeşitli fizyolojik etkilere de sahiptirler. PAH'lar kimyasal olarak aktif değildir ancak iri parçacıklı maddelere bağlanabilme özelliğine sahiptirler. (Skupinska vd. 2004). PAH bileşikleri kararlı bir yapıya sahip olmakla birlikte, ışık ve mikroorganizmalar yapılarını bozabilir. (Abdel Shafy ve Mansour 2016). PAH'lar çok karakteristik UV absorbans spektrumlarına ve her halka yapısı benzersiz bir UV spektrumuna sahiptir ve bu nedenle her izomer farklı bir UV absorbans spektrumuna sahiptir. Bu özellik, PAH'ların tanımlanmasında son derece önemli bir kriterdir. PAH bileşiklerinin çoğu aynı zamanda floresan özellik gösterip, moleküller ışığı emdiğinde ışığın karakteristik dalga boylarını yayarlar (Rengarajan vd. 2015).

PAH'ların molekül ağırlıkları arttıkça sudaki çözünürlükleri azalırken, toksik ve karsinogenik özellikleri artmaktadır. PAH'lar azot oksit ve nitrik asit ile tepkimeye girerek nitro türevlerini, kükürt dioksitler ve sülfürik asitle reaksiyona girerek sülfürik ve sülfonik asit formlarını oluştururlar. Ayrıca ozon ve hidroksil radikalleri ile de tepkime verirler (Alver vd. 2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar sülfatlanma, nitritlenme ve fotooksidasyon gibi kimyasal tepkimeler ile daha zehirli bileşiklere dönüşürler. Az miktardaki nitrik asit bazı PAH bileşiklerini nitro-PAH'lara dönüştürebilir (Yusty ve Davina 2005).

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, yapılarında bulunan birleşik aromatik halkaların sayısına bağlı olarak hafif PAH ve ağır PAH olarak sınıflandırılırlar (Plaza-Bolaños vd. 2010, Purcaro vd. 2013, Kim vd. 2014, Singh vd. 2016, El Hussein vd. 2018). Hafif PAH'lar 4'den daha az birleşik aromatik halka içerirken, ağır PAH'lar ise 4 ve daha fazla birleşik aromatik halka içerirler (Olatunji vd. 2013, Yebra-Pimentel vd. 2015, Bansal vd. 2017, García-Lomillo vd. 2017).

Naftalin, asenaftelen, asenaften, floren, fenantren ve antrasen hafif PAH bileşikleri arasında yer alırken, floranten, pyren, chrysen, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene, indeno[1,2,3-cd] pyrene

ve benzo[g,h,i]perylene ise ağır PAH bileşikleri arasında yer almaktadır (Moret ve Conte 2000).

Genel olarak, iki veya üç halkaya sahip PAH'lar ağırlıklı olarak buhar fazında, dört halkaya sahip olanlar hem buhar hem de tanecikli faz halinde ve beş veya daha fazla halka içeren PAH'lar ise esas olarak partikül fazında bulunurlar (Yebra-Pimentel vd. 2015).

Hafif PAH'ların sudaki çözünürlükleri daha fazla ve buhar basınçları ise daha yüksektir. Her iki PAH tipi de yüksek lipofilik yapıya sahip polar olmayan bileşiklerdir. Ancak benzo[a]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene ve benzo[ghi]perylene gibi ağır PAH'lar hafif PAH bileşiklerinden daha stabil yapı ve daha toksik özellik gösterirler (Plaza-Bolaños vd. 2010, Li vd. 2016). Oksijenlenmiş PAH (OPAH) olarak bilinen PAH'ların oksitlenmiş ürünleri ise oldukça toksiktir ve toksisitesi bazen PAH bileşiklerinin kendi toksisitesini aşabilir (Zhao vd. 2017).

PAH'lar aynı zamanda sahip oldukları aromatik halka (benzen) sayısına göre de sınıflandırılabilirler. İki halkaya sahip olanlar naftalen (NaP); üç halkaya sahip olanlar fluoren (Flu), fenantren (PHT), antrasen (Ant); dört halkaya sahip olanlar fluoranthren (FL), piren (Pyr), benzo[a]anthracene (BaA), chrysene (CHR); beş halkaya sahip olanlar benzo[e]pyren (BeP), benzo[k]fluororanthren (BkF), benzo[a]pyrene (BaP); altı halkaya sahip olanlar indeno [1,2,3-cd]pyren (IND), dibenzoantrasen (DBA), benzo[b]chrysene (BbC) ve benzo[ghi]perylene (BghiP); yedi halkaya sahip olanlar coronene (COR)'dir (Abdel-Shafy ve Monsour 2016).

PAH bileşiklerinin karsinogenik ve mutajenik aktiviteleri, düzlemsel olmayan yapılarıyla ilişkilendirilmiştir. Genellikle düzlemsel PAH bileşikleri daha kararlı, daha az reaktif ve biyolojik olarak daha az toksiktir. Düzlemsel olmayan PAH bileşiklerinin reaktivitesinin artmasının, molekül içindeki bazı aromatik bağların artan olefinik karakteristiğinden kaynaklandığına inanılmaktadır. PAH bileşiğinin benzen halkasına metil veya diğer grupların ikamesi bazen bileşiğin daha fazla reaktivite göstermesine

dolayısıyla daha toksik bir bileşiğe dönüşmesine neden olur (Debastani ve Ivanov 1999).

2.2.2 Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşum mekanizmaları

Çevresel kirleticilerden biri olan PAH'lar ve metil türevleri, organik maddenin tam yanmaması veya pirolizi sırasında ve çeşitli endüstriyel kaynaklardan oluşan organik bileşiklerdir (Alomirah vd. 2011, Chung vd. 2011, Farhadian vd. 2011, Farhadian vd. 2012, Abramsson- Zetterberg vd. 2014, Gorji vd, 2016, Chiang ve Quek 2017, Zhao vd. 2017).

Bu kirleticiler petrojenik, pirojenik ve biyojenik olmak üzere üç ana kaynaktan meydana gelir (Tongo vd. 2017). Petrojenik PAH'lar uzun periyotta, düşük sıcaklıkta ve yüksek basınç ortamında organik maddelerin petrol ve kömüre dönüşümü esnasında meydana gelirler. Pirojenik PAH'lar genellikle 4-6 halkalı ve yüksek sıcaklıklarda fosil yakıtların tam yanmaması sonucu oluşur. Biyojenik PAH'lar ise bitki ve hayvanlardan veya sedimentlerin erken oluşum dönemlerinde meydana gelirler. Petrojenik ve pirojenik PAH'lardan farklı olarak biyojenik PAH'lar genellikle bireysel ve çok basit karışım halinde bulunurlar (Abdel- Shafy ve Monsour 2016).

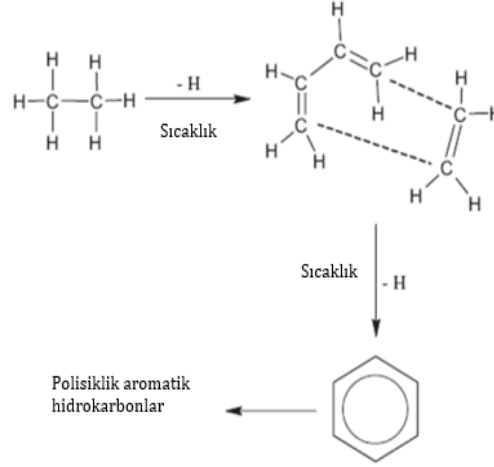
PAH bileşiklerin oluşumunu önlemek veya azaltmak için, bunların oluşum mekanizmalarının tam olarak anlaşılması gerekmektedir. PAH oluşumu ile ilgili pek çok varsayım mevcuttur. PAH oluşumunun kesin mekanizması tam anlamı ile açıklanamamış olmakla birlikte, piro-sentez ve piroliz PAH oluşumuna neden olan iki temel mekanizma olduğu düşünülmektedir (Chen ve Chen 2001). Genel olarak düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar, piro-sentezle PAH'ları oluştururken (Chen ve Chen, 2001), yakıt ve bitki materyallerinde bulunan yüksek molekül ağırlıklı alkanlar, piroliz yoluyla PAH'ları oluşturur (Ongwech vd. 2013). Ancak bazı araştırmacılar PAH'ların serbest radikal reaksiyonlarının intramoleküler katılma veya küçük moleküllerin polimerizasyonu yoluyla meydana geldiğini raporlamışlardır (Wongmaneepratip ve Vangnai 2017). Christy vd. (2011) ve Chung vd. (2011) ise kolesterol ve androsteron gibi steroidlerin termal bozulmasının, fenantren, metilfenantren, floren ve bunların

türevleri gibi kanserojen ve mutajenik PAH'ların oluşumundan sorumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Yanma sırasında katran ve PAH oluşumunun birçok önemli detayı anlaşılamamış olmasına rağmen, prosesin genel özellikleri ile ilgili pek çok önemli nokta aydınlatılmıştır. Temel olarak benzen oluşumu, PAH oluşumundaki ilk aromatik halka olarak kabul edilmekle birlikte, bazı reaksiyonlar, aromatiklerin benzen olmadan da oluşabileceğini kanıtlamıştır (Kataoka ve Ishizaki 2013, Reizer vd. 2019). En çok bilinen PAH oluşum mekanizmaları hidrojen ayrılması ve asetilen (C_2H_2) ilavesi olarak bilinen HACA mekanizması ve Diels-Alder reaksiyonlarıdır (Richter ve Howard 2000, Basu 2010, Kislov vd. 2013, Liu vd. 2015, Yang vd. 2017).

Chen ve Chen (2001) PAH oluşumu için benzenin öncü bir bileşik olduğunu ve çift bağ içeren moleküllerin Diels-Alder reaksiyonu yoluyla benzen halka içeren bileşikler oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Ancak bununla birlikte henüz bilinmeyen ve PAH oluşumuna katkısı olduğu düşünülen diğer birçok alternatif oluşum mekanizmaları da söz konusudur (Reizer vd. 2019).

Genel olarak düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlardan PAH'ların oluşumu piro-sentez mekanizması ile olmaktadır (Purcaro vd. 2013). Sıcaklık $500^{\circ}C$ 'yi geçtiğinde, karbon-hidrojen ve karbon-karbon bağları koparak piro-sentezin ilk aşaması olan serbest radikaller oluşur (Stolyhwo ve Sikorski 2005). Bazı serbest radikal türleri, alevin üst kısmında elde edilebilen yüksek sıcaklıkta ($500-800^{\circ}C$) birbirlerine bağlanabilme özelliğine de sahiptirler. Özellikle serbest radikallerden biri olan alkil radikalleri, alkil aromatik bileşikler içeren yakıtlardan polisiklik aromatik hidrokarbonların oluşumunda önemli rol oynayan bileşiklerdir. Bu radikaller asetilen oluşturmak için birleşirler ve böylece termal degradasyona daha dayanıklı olan yoğun aromatik yapılar oluştururlar (Reizer vd. 2019). Şekil 2.2'de bu tür halkaların etandan itibaren oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.2 PAH'ların etandan itibaren piro-sentezi (Hanedar 2009)

Aromatik bileşiklerin ve diolefinlerin de PAH bileşiklerinin öncüleri olabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca ortamda bulunan metan bileşiğinin PAH parçacıklarının üretimine yol açabileceği, ancak büyük parçacıkların oluşumunun daha yüksek molekül ağırlıklı serbest radikallerin varlığında gerçekleştiği bulunmuştur (Skupinska vd. 2004). Bu serbest radikaller, hafif PAH bileşiklerini ve ardından hidrofobik gıda zincirine hareket eden ve sonunda yağ açısından zengin gıda maddelerinde tutulan ağır PAH bileşiklerini oluşturmak için rekombinasyona uğrarlar ve daha sonra stabil polisiklik aromatik bileşikler oluşturmak için yeniden birleşebilirler (Singh vd. 2016).

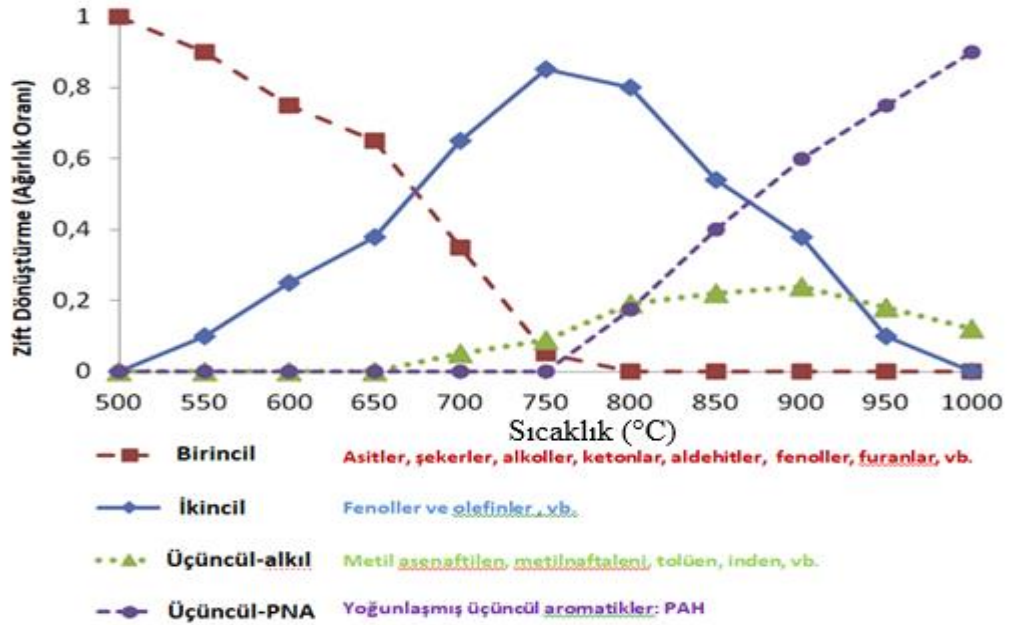
Gıdadaki olası PAH kaynakları, çevresel kontaminasyon, gıdaların hazırlanmasında ve üretiminde kullanılan değişken şiddetteki ısı işlemler, tüksüleme, ızgarada pişirme, kaynatma, kızartma gibi gıda prosesleri sırasında partiküllerin absorpsiyonu ve depolanması, yağların pirolizi ve kömürün eksik yanmasıdır (Yurchenko ve Mölder 2005).

Gıdadaki PAH bileşiklerinin en önemli oluşum kaynağı yanma prosesidir (Onwukeme vd. 2015). Yanma prosesi sırasında kullanılan yakıtın cinsi ve miktarı, sıcaklığı, yanma süresi ve oksijenin bulunabilirliği gibi faktörler oluşan PAH'ların yapısını ve derecesini belirler. Ayrıca biyokütle dönüşümü sırasında biyokütlenin hücre duvarı bileşenleri

(hemiselüloz, selüloz ve lignin) ve ağır metal içeriği de PAH oluşumunda etkilidir (Basu 2010).

Yanma prosesi sırasında organik maddelerin (hemiselüloz, selüloz ve lignin vb.) pirolizi sırasında katranımsı bileşikler oluşmaktadır. Bu piroliz ürünleri katı (çoğunlukla kömür veya karbon), sıvı (katranlar, daha ağır hidrokarbonlar ve su) ve gaz (CO_2 , H_2O , CO , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_6H_6 , vb.) olarak sınıflandırılırlar. (Prathomtong vd. 2016).

Piroliz sırasında oluşan katran, büyük miktarda oksijen ve su içeren kompleks hidrokarbonların bir karışımından oluşan siyah, mikroemülsiyon karışımıdır. Bu bileşikler oda sıcaklığında sıvı formunda olup, yüksek sıcaklıklarda (ortalama $850\text{ }^\circ\text{C}$) uçucu halde bulunurlar. PAH bileşikleri pirolizi sırasında oluşan “Üçüncül Katran Ürünleri” olarak bulunmaktadır (Basu 2010, Ledesma 2014). Şekil 2.3’te yanma prosesi sırasında biyokütle dönüşüm sıcaklığının bir fonksiyonu olarak birincil, ikincil ve üçüncül katran ürünlerinin oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Biyokütle dönüşümü sırasında birincil, ikincil ve üçüncül (PAH) katran ürünlerinin oluşumu (Basu 2010)

Birincil katran, birincil piroliz sırasında üretilir ve doğrudan selüloz, hemiselüloz ve biyokütlenin lignin bileşenlerinin parçalanmasından oluşurlar. Asitler, şekerler, alkoller, ketonlar, aldehitler, fenoller, furanlar gibi çok sayıda bileşik bu grupta listelenmiştir. Sıcaklık 500 °C'nin üzerine çıktığında, birincil katran yeniden düzenlenmeye başlar, daha fazla yoğunlaşamayan gazlar ve ikincil katran denilen daha ağır moleküller oluştururlar. Sıcaklığın yaklaşık olarak 750 °C'ye çıkmasıyla birlikte birincil katran ürünleri yok olarak üçüncül katran ürünleri oluşur. Yoğunlaşmış üçüncül aromatikler böylece süstitüe olmayan bir dizi polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluştururlar (Basu 2010, Ledesma 2014, Ledesma vd. 2016).

Diğer başka araştırmacılar ise ızgarada pişirilmiş veya tütsülenmiş etlerde PAH' ların oluşumunda, en az üç olası mekanizmanın mevcut olduğunu ifade etmişlerdir (Alomirah vd. 2011, Aaslyng vd. 2013, Saito vd. 2014, Yebra- Pimentel vd. 2015).

- a) Birinci Mekanizma: 200°C'nin üstündeki bir sıcaklıkta lipit, karbonhidrat ve protein gibi organik maddelerin pirolizi,
- b) İkinci Mekanizma: Yüksek sıcaklıkta alevlerin üzerine doğrudan gıdadan damlayan lipitlerin miktarı ve yoğun ateşle karşılaşması sonucu uçucu PAH bileşiklerine dönüşmesi,
- c) Üçüncü Mekanizma: Kömürün tam yanmaması sonucu PAH bileşiklerinin oluşması ve bunların gıda yüzeyine kontamine olması yoluyla oluşmaktadır.

Etin pişirilmesi sırasında oluşan katran ortamda bulunan aerosoller vasıtasıyla taşındığı ve katran dolayısıyla PAH bileşiklerinin etin içine nüfuz ederek, eti kontamine ettiği ifade edilmiştir (Purcaro vd. 2009). Etin pişirilmesi sırasında biyokütlenin dönüşümünün yanısıra aynı anda birkaç işlem de gerçekleşir. Odun kurumaya başlar, alevin bazı kısımlarında piroliz başlar, aleve en yakın kısımlarda ise tam yanma meydana gelir. (Ledesma vd. 2016). Bununla birlikte, et ürünlerinin PAH kontaminasyonunun farklı orjinli olabileceği ifade edilmiştir. Birinci kaynak; et, sebze, baharatlar gibi kullanılan hammaddelerin çeşitli kaynaklardaki (toprak, su veya hava) kirlilik nedeniyle PAH ile kontamine olmuş olabileceği yönünde olmuştur (Ramesh vd.

2004). İkinci olarak, paketlenme, kurutma, ızgara yapma, kızartma, fırınlama, mangal yapma ve kavurma gibi tütüleme dışındaki gıda teknolojisi işlemleri de et ürünlerinin nihai PAH içeriğine katkıda bulunabilir. Üçüncü olarak da etlerin tütüleme işlemleri sırasında tütüleme odasındaki dumandan katran aerosollarının birikmesi, tütülenmiş etteki yağın ateşle temas etmesi sonucu dumanın PAH içeriği artar ve ortamdaki diğer ürünlerinde PAH ile kirlenmesine neden olmaktadır (Ledesma vd. 2016).

2.3 Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşumuna etki eden faktörler

Mutajenik ve karsinojenik özellikteki PAH'ların ısıl işlem görmüş etlerde oluşum düzeyi öncelikle uygulanan pişirme yöntemi, pişirme süresi, pişmişlik derecesi, ısıtma kaynağı ile aradaki mesafe, kullanılan yanıcı türü ve sıcaklığına bağlı olmakla birlikte, hayvanın cinsiyeti, ısıl işlem gören etin türü (dana, domuz, kanatlı eti vb.), oksijene erişilebilirlik, etin nem ve yağ içeriği gibi faktörler ile baharatlar, doğal ve yapay antioksidan varlığı gibi etmenlere bağlıdır (Janoszka vd. 2004, Simko 2005, Marques vd. 2011, Jahurul vd. 2013, Kataoka ve Ishizaki 2013, Purcaro vd. 2013, Lee vd. 2016, Jiang vd. 2018).

Pişirme prosesleri, et ve et ürünlerinde farklı seviyelerde PAH oluşumuna neden olan işlemlerdir (Kendirci vd. 2014). Kurutma, tütüleme, fırınlama, kızartma, ızgara yapma vb. prosesler ile paketlemenin PAH'ların oluşumunda önemli bir katkı sağladığı bildirilmiş (Ledesma vd. 2014) ve bu pişirme prosesleri esnasında PAH oluşumunu etkileyen en önemli faktör ise pişirme koşulları yani ortam sıcaklığı olduğu ifade edilmiştir (Stolyhwo ve Sikorski 2005). Doğrudan alev üzerinde yüksek sıcaklıkta et ve et ürünlerinin pişirilmesini içeren pişirme yöntemleri, alevin üzerine yağ damlamasına neden olarak PAH'ların oluşumuna ve gıdaya kontamine olmasına neden olan pişirme prosesleridir (Chen vd. 2013, Sobral vd. 2018).

Ayrıca et ve et ürünlerinde PAH'ların oluşumunda kullanılan etin türü (sığır eti, tavuk, balık), pişirme yöntemi (kömür veya gaz), ısı kaynağının çeşidi (kömür, benzin, dizel veya odun), et ile ısı kaynağı arasındaki mesafe, işlem süresi ve ısı kaynağının sıcaklığı

da önemli katkılar sağlar (Farhadian vd. 2012, Viegas vd. 2012, Gorji vd. 2016, Sobral vd. 2018). Pişirme işlemi sırasında oluşan PAH bileşenlerinin, kullanılan yakıt tipine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve oluşan bileşenlerin yakıt tipiyle yakından ilgili olduğu da ifade edilmiştir (Chung vd. 2011, Forsberg vd. 2012, Viegas vd. 2012, Sobral vd. 2018).

Günümüzde PAH'ların birikimini ve oluşumunu etkileyen faktörler ile ilgili olarak, PAH'lar üzerine üretim ve depolama koşullarının etkisi, özellikle etin pişirilmesi, pişirilme koşulları gibi kontrol edilmesi zor parametrelerin yanısıra, vücuda alımından sonra absorpsiyonları ve bu hidrokarbonlara maruz kalma riskinin değerlendirme stratejileri ve biyolojik olarak oluşumunun değerlendirilmesi konularında halen bilgi eksikliği bulunmaktadır (Marques vd. 2011).

PAH oluşumu için en önemli parametrenin pişirme koşulları olduğunu söylemek mümkündür. PAH oluşumu üzerine bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin etkisinin belirlenmesi için model sistemlerle yapılan çalışmalar son yıllarda bu bileşiklerin oluşum mekanizmasının anlaşılmasına büyük katkı sağlamıştır. Model sistemler bileşiklerin oluşum mekanizmalarını daha iyi anlama, farklı pişirme proseslerinin kullanım kolaylığı, bu bileşiklerin vücuda alımını azaltan stratejiler geliştirmeyi mümkün kılan geliştirilmiş simüle ortamlardır (Alaejos ve Afonso 2011).

Tüm modellerde her bir bileşik için pişirme metodu veya pişirme metodu ile gıda formu arasındaki interaksiyonun önemli olduğu ve et türüne dayalı modellemelerde verilerdeki farklılığın ise % 80' inde önemli olduğu bulunmuştur. Modellemelerde pişirme süresi, pişirme yöntemi, pişirme sıcaklığı, pişirme için kullanılan yakıt türü ve üründe bulunan yağ oranı istatistik olarak da önemli bulunmuş, ancak sıcaklık PAH konsantrasyonu ile pozitif ilişkilendirilirken, pişirme süresi sadece bazı bileşiklerin oluşumu ile pozitif ilişkilendirilmiştir. Ayrıca pişirme yöntemlerinin ve ilgili etkileşimlerin etkisi de çeşitli PAH bileşikleri arasında tutarsız olduğu tespit edilmiştir (Pouzou vd. 2018).

Ince ve Ince (2019) tütülenmiş sığır etinde benzo[a] anthracene oluşumunu etkileyen pişirme süresi, yağ oranı ve pişirme kaynağına olan mesafe gibi bazı önemli proseslerin etkisi ile ilgili bir model sistem oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın sonucunda benzo[a]anthracene oluşumunu engellemek için füme sığır etinin optimum pişirme süresinin 24.9 dakika, yağ oranı % 7.9 ve pişirme kaynağına olan mesafenin ise 21.8 cm olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışma gibi başka bir model sistem oluşturan Kao vd. (2014) kuzu bifteğinde benzo[a]pyrene oluşumunu engellemek için 77 °C'de 6 dakika boyunca yapılan pişirmenin BaP oluşumunu engellediğini bulmuşlardır.

2.3.1 Polisiklik aromatik hidrokarbonların oluşumuna pişirmenin etkisi

2.3.1.1 Pişirme sıcaklığı ve süresinin etkisi

Pişmiş ette oluşan PAH'ların miktarı ve çeşitliliği pişirme yöntemi ve koşulları ile yakından ilişkili olup sıcaklık ve sürenin artmasıyla oluşan PAH miktarında önemli ölçüde artış görülmüştür (Kazerouni vd. 2001, Farhadian vd. 2010, Viegas vd. 2012, Onwukeme vd. 2015).

Pişirme sıcaklığı, salınan dumanın PAH içeriğini önemli ölçüde etkileyen faktörlerden birisidir (Maher ve Bressler 2007). Pişirme sıcaklığının PAH oluşumuna etkisini inceleyen araştırmacılar, 250 °C olan ısıtma kaynağında PAH oluşumunun 400 °C' den daha az olduğunu ve PAH oluşumunun duman sıcaklığı ile doğrusal olarak arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar yüksek moleküler ağırlıklı PAH'ların yüksek sıcaklıkta üretildiğini, düşük molekül ağırlıklı PAH'ların, sıcaklık arttıkça yüksek molekül ağırlıklı PAH'lara dönüşmesinin mümkün olduğu teorisini savunmuşlardır (Prathomtong vd. 2016).

Pişirme sıcaklığındaki artışın PAH oluşumu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C' de beş farklı pişirme sıcaklığında; 7 dakika olacak şekilde gazlı ocakta pişirilen Malezya mutfağının geleneksel yemeklerinden biri olan dana sataylar da PAH bileşiklerindeki değişim incelenmiştir. Çalışmada PAH oluşumu 150 °C'de pişirilen dana sataylarda en düşük seviyelerde iken sıcaklık artışıyla

lineer olarak orantılı bir şekilde PAH oluşumunda artış gözlenmiştir. Tüm örneklerde ise benzo[a]pyrene bileşiği tespit edilmiş ve 300 °C ve 350 °C sıcaklıklarda pişirmenin belirgin şekilde artışa neden olduğu ifade edilmiştir (Kamal vd. 2018). Ayrıca benzer şekilde Dost ve Ideli (2012)' de yaptıkları çalışmada buna benzer sonuçlar elde etmiş, somon balığını 290 °C'de 20 dakika boyunca kömür ateşinde pişirdiklerinde, sıcaklık artışıyla birlikte yağların pirolizi sonucu PAH bileşiklerinin duman salınımı ile birlikte gıdanın yüzeyine taşındığını ifade etmişlerdir. Başka bir çalışmada sıcaklığın tek başına PAH oluşumu üzerine etkili olmadığı, sıcaklık artışından ziyade marinasyon işleminin daha fazla etkili olduğuna dair bulgular Wang vd. (2019) tarafından raporlanmıştır.

Etin indirekt metotlar (elektrikli ızgara ve tavada ızgara) kullanılarak pişirilmesi esnasında farklı sıcaklık uygulamalarının (150 °C, 190 °C ve 230 °C) PAH oluşumu üzerine etkisi Park vd. (2017) tarafından araştırılmıştır. İndirekt metotlarla pişirme sırasında sıcaklık değişimlerinden bağımsız olarak domuz etlerinde benzo[a]pyrene oluşumu tespit edilmemiştir. Bu sonuçlar, direkt pişirme metotlarının benzo[a]pyrene oluşumunda önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Propan alevinde, kömür alevinde ve bir tavada pişirilen hamburger köftelerinde yapılan çalışmada, en yüksek Σ PAH oluşumu propan alevinde pişirilen numunede toplam 52 ng/g PAH tespit edilmiş, bunun sebebinin kömür ızgarasında yüzey sıcaklığının 179 °C olmasına karşın propan alevinde ızgara yüzey sıcaklığının 394 °C olmasından kaynaklandığı şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, ısı kaynaklarının eşit olmamasından dolayı pişirme yöntemlerinin tam olarak karşılaştırılmasının hatalı sonuç vereceğini de belirtmişlerdir (Knize vd. 1999).

Roseiro vd.(2011) geleneksel ve modifiye olarak ürettikleri fermente sosislerde 16 PAH içeriğini araştırdıkları çalışmalarında; tütsüleme uygulanan sıcaklığın çok az düşürülmesinin PAH oluşum düzeyini çok fazla etkilemediğini ifade etmişlerdir.

Izgarada veya kömür ateşinde pişirme sırasında PAH oluşumunu etkileyen diğer önemli faktörde pişirme süresi dolayısıyla pişmişlik derecesidir. Araştırmacılar genel olarak

kömür ateşinde pişirme metodunda pişmişlik derecesinin artmasının et örneklerinde PAH konsantrasyonunu arttırmada önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir (Haiba vd. 2019). Haiba vd. (2019)'de en yüksek BaP seviyesinin kömür ateşinde pişirilmiş tavuk örneklerine ait olduğunu, orta pişmişlerde 0.967 ng/g ve çok pişmişlerde ise 1.341 ng/g BaP bulunduğu rapor etmişlerdir.

Rose vd. (2015) pişirme sıcaklığı, süresinin ve mesafenin PAH bileşiklerindeki değişimi inceledikleri çalışmalarında dana etli hamburger köftelerinden ısı kaynağına 7 cm mesafede 8 dakika kömür ateşinde pişirdikleri grubun PAH4 miktarını 95.87 µg/kg ve 4 cm mesafede 12 dakika kömür+odun ateşinde pişirdikleri grubun PAH4 miktarını ise 79.48 µg/kg olarak tespit etmişlerdir. Araştırmacılar gruplar arasındaki bu farklılığın sebebinin uzun süreli pişirme prosesinin, adsorbe edilen PAH'ları yeniden uçucu hale getirdiğini dolayısıyla PAH4 miktarında düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir.

Kızartma süresinin etkilerine bakılan çalışmada 10 dakika kızartılan tavuk yüreğinde, tavuk göğüs ve tavuk taşlığından daha yüksek PAH içeriği tespit edilmiştir. 12 dakika boyunca kızartılmış tavuk bagetine kıyasla, 15 dakika boyunca kızartılmış ördek bagetinde daha büyük miktarda Σ PAH bulunmuş, bunun kızartma süresiyle ilgili olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, bu PAH oluşumu sırasıyla 20 dk ve 30 dk kızartılmış tavuk baget ve ördek bagetinde gözlenmemiştir. Bunun etin içeriğinin farklılığından kaynaklı olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada marine etme süresinin veya kızartma süresinin uzun olmasının, PAH'ların oluşumunda etkili olduğu gösterilmiştir (Kao vd. 2012).

2.3.1.2 Pişirme yönteminin etkisi

Et ve et ürünlerinin haşlama, derin yağda kızartma, fırında pişirme, tavada kızartma, mikrodalgada pişirme, ızgara, barbekü, tütsüleme, sous-vide gibi birçok yöntemle pişirme işlemi gerçekleştirilebilir. Pişirme metotlarındaki en önemli risk faktörü bu proseslerin farklı seviyelerde PAH oluşumuna neden olmasıdır (Sobral vd. 2018). Pişirme yöntemlerinin et ve et ürünlerinde farklı düzeylerde PAH oluşumuna neden

olduğuna dair araştırmalar mevcuttur (Aygün ve Kabadayı 2005, Farhadian vd. 2010, Kumosani vd. 2012, Jahurul vd. 2013, Olatunji vd. 2015, Onwukeme vd. 2015, Oz ve Yuzer 2016, Büyükkurt vd. 2017, Aydın ve Şahan 2018) .

Pişmiş etteki oluşan toksik PAH seviyeleri, pişirme yöntemine göre büyük farklılıklar göstermektedir (Marques vd. 2011). Haşlama, elektrikli fırında pişirme, elektrikli ızgarada ve tavada kızartma gibi hafif pişirme yöntemlerde düşük düzeyde PAH oluşumu görülürken; yağda kızartma, tütsüleme, kömür veya odun ateşinde ızgara/barbeküde pişirme yöntemlerinde daha yüksek PAH oluşumu gözlenmiştir (Ramesh vd. 2004, Kendirci vd. 2014) .

Genellikle ızgara edilmiş etlerde veya balıklarda toplam PAH miktarının pişirme yöntemine göre 0-130 ng/g arasında değişiklik gösterdiği vurgulanmıştır (Farhadian vd. 2010). Chen ve Lin. (1997) en yüksek toplam PAH oluşumunun tütsülenmiş ördek etinde (154 ng/g) tespit edildiğini, bunu mangalda pişirilen ördek eti (151.1 ng/g), kavrulan ördek eti (88.5 ng/g) ve buharda pişirilen ördek etinin (4.4 ng/g) izlediğini rapor etmişlerdir. Jahurul vd. (2013) ise 42 farklı tip et, tavuk ve balık ürünleri içerisinde en yüksek toplam PAH içeriğini mangalda pişirilmif dana satayda (66.28 ng/g), en düşük PAH içeriğini ise Malezya mutfağının geleneksel yiyeceklerinden biri olan haşlanarak pişirilmif sütlü tavuk örneklerinde (masak lemak) gözlemlemişlerdir. Olatunji vd. (2013) birçok pişirme metodunu karşılaştırdıkları çalışmalarında en yüksek toplam PAH oluşumunun tütsülenmiş domuz etinde (19.11 µg/kg) olduğunu tespit etmişler ve bu durumun sadece pişirme yöntemiyle değil etin yağ içeriğiyle de ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir. Olatunji vd. (2015) başka bir çalışmasın da balıklarda en yüksek PAH oluşumunun (benzo[a]pyrene ve benzo[k]fluoranthene toplamı) 375 °C’de 15 dakika pişirilen balıklarda gözlendiğini rapor etmişlerdir.

Et örneklerinde PAH’ların bir göstergesi olarak kabul edilen 4 PAH bileşiği (BaP, Ch, BaA ve BbF) haşlama yöntemi hariç olmak üzere tüm pişirme yöntemlerinde bulunurken, balık örneklerinde ise tütsülenmiş, kızartılmif ve ızgarada pişirilen örneklerde tespit edilmiştir (Sobral vd. 2018). Bu pişirme yöntemleri arasındaki PAH

seviyelerinde farklılıklara birçok faktörün etkili olduğu, özellikle pişirme süresine, ısı kaynağına, kullanılan sıcaklığa, ızgara tipine ve geometrisine de bağlı olduğu ifade edilmiştir (Yebra- Pimentel vd. 2015).

Doğrudan alev üzerinde yoğun sıcaklığa sahip balık veya diğer et ürünlerinin ızgarada pişirilmesini içeren pişirme yöntemleri, sıcak ateş üzerine yağ damlamasına neden olarak PAH'ların oluşumuna ve bunların gıda yüzeyine yapışmasına neden olmaktadır (Farhadian vd. 2010, Viegas vd. 2012).

Yüksek sıcaklık uygulamasının pirolizi teşvik eden bir proses olmasından ve de kömürün tam yanmamasından dolayı pişirme yöntemleri arasında kömür ateşinde ızgara veya mangalda pişirilmiş gıdalarda, diğer gaz alevinde pişirme veya elektrikli ızgarada pişirme yöntemlerine kıyasla daha yüksek PAH konsantrasyonları bildirilmiştir (Bansal ve Kim 2015, Yebra- Pimentel vd. 2015, Gorji vd. 2016). Ayrıca etler çoğunlukla tütsüleme veya açık yatay konumdaki kömür üzerinde pişirme sırasında PAH'larla kontamine olmaktadır (Aaslyng vd 2013, Püssa 2013).

Pişirme yöntemlerindeki farklılığın PAH oluşumu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kömür ve gazda pişirilen döner kebabı örneklerinde BaP seviyelerini araştırmışlardır. Kömürde pişirilen örneklerdeki BaP düzeyi 24.2 µg/kg iken, gaz alevinde pişirilen dönerlerde 5.7 µg/kg tespit edilmiştir. Kömür ateşinde pişirilen örneklerdeki BaP miktarlarının gaz alevinde pişirilen örneklerden çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Terzi vd. 2008). Bu çalışmaya paralel olarak, Hong Kong'da yerel marketlerde satılan kömürde pişirilmiş pekin ördekleriyle yapılan bir çalışmada ise deri ve yağlı kısımların toplam PAH seviyesinin 129 µg/kg olduğu belirlenmiştir. PAH seviyesinin yüksek oluşunun PAH'ların lipofilik özelliğinden dolayı yağ dokularında daha çok oluşmasından ve ısı kaynağına damlayan yağın pirolizinin de PAH miktarında artışa neden olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Lin vd. 2011).

Gıdalarda 27 farklı PAH bileşiğinin oluşumu üzerine derin yağda kızartma, ızgara yapma, mangal yapma, fırında pişirme ve kızartma etkilerinin incelendiği bir çalışmada,

toplam 256 örnek üzerinde PAH oluşumuna ilişkin ayrıntılı bir araştırma yayınlamıştır. Farklı yakıt türleri, gıda türü (farklı et ürünleri ve balıklar), pişirme süresi ve yoğunluğu ile ısı kaynağına olan mesafe dahil, her pişirme işleminin farklı değişkenleri incelenmiştir. Araştırma neticesinde farklı pişirme teknikleri kullanılarak pişirilen et ürünlerinin PAH içeriklerinin, gıdanın yüzey alanı, yüzeyin yapısal özellikleri, kullanılan yakıt tipi, ısı kaynağından uzaklığı, pişirme koşulları, pişirme süresi ve pişirme sırasında kaybedilen yağın özelliğinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar en yüksek PAH seviyelerinin, mangalda pişirme işlemi sırasında oluştuğunu bildirmişlerdir. Bunun sebebinin de pişirme sırasında etten ayrılan yağın, direkt olarak ateşin üzerine damlaması sırasında PAH'ların yüksek oranda oluşması ve oluşan duman ile birlikte yeniden etin içine nüfuz etmesi olarak ifade etmişlerdir (Rose vd. 2015).

Bu çalışmaya paralel olan geleneksel yöntem olan kömür ateşinde ızgara ile tel üzerinde ızgara veya taş üzerinde ızgara yapmanın etkileri araştırılmış, tel üzerinde ızgara veya taş üzerinde ızgara yapılan örnekler PAH düzeyleri 0 µg/kg ile 24.2 µg/kg arasında tespit edilirken, kömür ateşinde ızgara yapılan et örneklerinde PAH miktarının 0.18 µg/kg ile 95.9 µg/kg arasında olduğu gösterilmiştir (Sobral vd. 2018).

Chung vd. (2011) piyasada satılan 150 örnek üzerinde PAH seviyelerinin, pişirme yöntemine ve kullanılan ısı kaynağının türüne bağlı olduğunu ifade ettikleri çalışmalarında, en yüksek Σ PAH oluşumunun 10.2 µg/kg ve en yüksek BaP oluşumu 2.90 µg/kg ile kömürde pişirilmiş domuz eti örneklerinde gözlemlemişlerdir.

Lee vd. (2016) yaptıkları bir çalışmada farklı pişirme yöntemlerinin 4 PAH bileşimini (benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene ve benzo[a]pyrene) nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Aynı kömür ateşinde art arda pişirilen et örneklerinin ızgarada pişirilmesi sırasında kararlı yanmanın PAH'ların azalmasına katkıda bulunduğu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre en yüksek Σ PAH seviyesinin (21.77 µg/kg) yüksek oranda yağ içermesinden ötürü, domuz eti örneklerinde görülmüştür. Kömür ateşinde pişirme sırasında PAH oluşumuna etin yağ

içeriği ve pişirme süresinin etkili olduğu, etin pişirilmesi sırasında etin yağının ateş üzerine düşmesinin engellenmesi ve çıkan dumanın uzaklaştırılmasının PAH düzeylerini azaltma etkisine sahip olduğu görülmüştür.

Farhadian vd. (2010), farklı pişirme yöntemleri uyguladıkları çalışmada PAH konsantrasyonlarının 3.51 ng/g ile 106 ng/g arasında değişim gösterdiğini, fluoranthene bileşimini bütün pişirme yöntemlerindeki örnek gruplarında oluştuğunu, 132 ng/g ile en yüksek PAH oluşumunun kömür ateşinde pişirilmiş dana satay örnek gruplarında olduğu, en düşük oluşumun ise fırında pişirilmiş tavuk örnek grubunda tespit edilmiştir.

Oz ve Yuzer (2016) biftek ile yaptıkları bir çalışmada heterosiklik aromatik amin (HAA) ve polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşumu üzerine mangal türü (tel ızgara ve taş fırın) ile pişirme düzeyleri (az pişmiş, orta pişmiş, iyi pişmiş ve çok iyi pişmiş) etkileri araştırmışlardır. Tel ızgarada pişirilmiş az ve orta pişmiş örneklerde PAH görülmemesine rağmen, iyi pişmiş ve çok iyi pişmiş örneklerde pişirme seviyesinin artırılması ile birlikte toplam PAH miktarı da artış göstermiştir. Taş fırında pişirilmiş örneklerdeki toplam PAH miktarı, tel ızgarada pişirilmiş örneklerinkinden daha yüksek bulunmuştur.

Bir başka çalışmada ise, Bağdat yerel restoranlarında alınan tavuk, döner kebab ve balık örneklerinden en yüksek BaP düzeylerinin (hemen hemen hepsinde 1µg/kg'dan daha yüksek) odun kömüründe ızgara edilen örnekler de tespit edilirken, gazlı ızgarada pişirilmiş aynı örnek gruplarında ise eser miktarda tespit edilmiştir. Araştırmacılar bunun nedeninin, pişirme esnasında duman ile PAH'ların ete kontamine olduğunu ve ete penetre olduğunu ifade etmişlerdir (Jasim ve Shkhaier, 2016).

Tahran bölgesinde restaurantlarda satılan çok pişmiş İran kebabı ile yapılan bir çalışmada, 15 polisiklik aromatik hidrokarbonun (PAH) varlığı ve miktarı belirlenmiş ve toplam PAH konsantrasyonu 7.37 µg/kg ila 17.94 µg/kg arasında değişkenlik göstermiştir. PAH konsantrasyonlarındaki farklılıkların, farklı et türlerinin kullanımının

yanı sıra örneklerin kömür ateşinde ve gaz alevinde pişirmesinden dolayı olduğu bulunmuştur (Gorji vd. 2016).

Tavuk etlerinde farklı pişirme yöntemlerinin (haşlama, kızartma, fırında pişirme ve mangalda pişirme) PAH oluşumu üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, haşlama işlemi uygulanan tavuk parçalarında acenaphthylene ve benzo[a]pyrene bileşiği, fırında pişirilmiş tavuk parçalarında benzo[a]pyrene, phenanthrene ve fluoranthene bileşiği, mangalda pişirilmiş olanlarda acenaphthylene, fluorene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, chrysene, benzo[k]fluoranthene benzo[a]pyrene; kızartılmış örneklerde ise benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene and indeno [1,2,3 cd]pyrene bileşikleri tespit edilmiştir. En fazla PAH bileşiği kızartılmış ve mangalda pişirilmiş tavuk parçalarında görüldüğü, bunun sebebinin özellikle yüksek sıcaklıkta pişirme işlemlerinin potansiyel kanserojenlerin üretimini tetiklediği yönünde olmuştur. Bununla birlikte, örneklerdeki PAH seviyeleri Avrupa düzenlemeleri tarafından belirlenen tolerans sınırının altında kaldığı belirtilmiştir (Onwukeme vd. 2015).

Aaslyng vd. (2013) Danimarkalı tüketicilerin evlerinde kullandıkları pişirme yöntemleriyle mangallarında kızarttıkları etlerdeki (domuz, tavuk ve dana eti) PAH ve HAA içeriklerini araştırmışlardır. PAH ve HAA oluşumu açısından üç farklı et tipinin(dana, domuz ve tavuk) mangalda pişirme işleminden farklı şekilde etkilendiğini, en yüksek BaP oluşumunun dana etinde 24 µg/kg ve en düşük BaP oluşumunun ise tavuk etinde gözlemlenmişlerdir. Araştırmacılar örneğin içerdiği yağdan etkili olmadığını sıcaklık&süre faktörlerinin daha önemli olduğunu bildirmişlerdir.

2.3.2 PAH oluşumuna etin türünün etkisi

Kümes hayvanları, dana, balık, domuz eti gibi et türlerinin kimyasal kompozisyonu, mozaik yapısı ve miyogloblin içeriği PAH oluşumuna etki eden faktörlerdir (Hamidi vd. 2016). Modelleme yapılan bir çalışmada et türünün sadece üç PAH bileşiğinin (DahA, IP ve BghiP) oluşumu ile önemli olduğu ilişkilendirilmiştir (Pouzou vd. 2018).

Pişmiş kırmızı et (dana ve domuz), kanatlı eti ve balık etinin PAH içerikleri karşılaştırıldığında, etin cinsine göre, oluşan bileşiklerin miktarının değişmesi dolayısıyla PAH'lar farklılık göstermiştir. Bazı çalışmalar da, ızgara et numunelerinde PAH konsantrasyonunun ızgara tavuk numunelerine kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmiştir (Alomirah vd. 2011).

Et türlerindeki farklılığın PAH oluşumu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kümes hayvan eti, kırmızı et ve deniz ürünleri kömür ateşinde pişirilmiştir. Toplam PAH düzeyleri ise kümes hayvan etlerinde 6.3 ng/g ile 238.8 ng/g, kırmızı ette 0.1 ng/g ile 547.5 ng/g ve deniz ürünlerin de 6.6 ng/g ile 249.7 ng/g değerleri arasında olduğu bildirilmiştir. Ayrıca % 0.03 ve % 0.16 yağ içeren ahtapot ve tavuk etinde ısıya maruz kalan yüzey alanının fazla olması nedeniyle daha çok PAH oluştuğu tespit edilmiştir (Singh vd. 2016).

Kao vd. (2012) çeşitli kanatlı etlerini 12 ile 24 saat arasında marine ettikten sonra, 2 dakika ile 30 dakika arasında derin yağda pişirme işlemi uygulamış ve toplam PAH içeriklerinde değişken sonuçlara ulaşılmıştır. En düşük PAH içeriği (kızartılmış ördek bagetinde (14.4 ng/g), en yüksek PAH içeriği tavuk taşlığında (124.5 ng/g) ve tavuk yüreğinde (74.5 ng/g) tespit edilmiştir. Bunu sebebinin PAH'ların yapısı gereği yağda çözünmelerinden dolayı tavuk taşlığı ve tavuk yüreği gibi sindirim organlarında birikmeye daha duyarlı olmasından dolayı olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak Chen ve Lin (1997)'de tavuk karaciğerinde yüksek oranda PAH tespit etmişlerdir.

2.3.3 PAH oluşumuna yağ içeriğinin etkisi

Gıdaların tüketimi yoluyla alınan PAH absorpsiyonu; gıdanın lipit içeriği, bileşiğin büyüklüğü ve lipofilikliği ile belirlendiği bilinmektedir (Alomirah vd. 2011, Marques vd. 2011, Bansal vd.2017).

Lipid içeriği ile PAH seviyeleri arasında pozitif bir ilişki vardır (Chen and Chen 2001, Purcaro vd. 2013, Gomes vd. 2013). PAH'lar lipofiliktir ve genellikle organizmaların

yağ dokularında birikirler. Proteinler ve karbonhidratlar gibi diğer organik maddelerin de pirolizi söz konusu olabilir, ancak PAH'ların en yüksek konsantrasyonlarının yağ pirolizinden kaynaklandığı gösterilmiştir (Pöhlmann vd. 2013, Babic vd. 2017).

Tütsülenmiş frankfurter tipi sosislerin yağ içeriğinin % 9.9 seviyesinde olduğunda BaP düzeyinin 0.28 µg/kg olduğunu, ürünün yağ içeriğinin % 39.1 olduğunda ise BaP düzeyinin 1.37 µg/kg 'a artış gösterdiğini bulmuşlardır. Araştırmacılar etteki yağ içeriğini düşürerek BaP oluşumunu azalttığı rapor etmişlerdir (Pöhlmann vd. 2013). Lu vd. (2017a) bazı araştırmacıların Frankfurter tipi sosislerde, yağ oranının % 30'dan % 20'ye düştüğünde toplam PAH seviyesinin de düştüğünü belirtmişlerdir.

Aynı şekilde Duedahl-Olesen vd. (2015) Danimarka piyasasında en çok tüketilen ürünlerle yaptıkları çalışmada ızgarada pişirilmiş et ürünlerinde ortalama Σ PAH4; domuz etinde 195 µg/kg, hamburger örneklerinde 48 µg/kg, marine edilmiş bütün tavukta 21.4 µg/kg tespit edilmiştir. Bu oluşum düzeyindeki farklılığın sebebinin ürünün içerdiği lipid düzeyinden kaynaklandığını, etin ızgarada pişirilirken alevlerin üzerine yağın damlası sonucu PAH oluşum düzeyinin arttığını ifade etmişlerdir (Duedahl-Olesen vd. 2015).

Saito vd. (2014), mısır, alabalık, sığır eti, karides ve domuz etinin metan gazlı bir ızgarada pişirildikten sonraki PAH bileşimini incelemişlerdir. En yüksek PAH miktarı yağlarca zengin olan domuz eti, alabalık, sığır eti gibi gıdalarda bulunmuştur.

Özellikle mangalda kömür ateşinde pişirilen gıdaların pişirme işlemi esnasında eriyen yağlar ve etin suyu sıcak kömür üzerine düştüğünde alev oluşumuna yol açmakta, böylelikle yağın termal dekompozisyonuna veya pirolizine neden olmaktadır (Grochowicz 2019, Maher ve Bressler 2007). Damlayan yağ alevin parlamasına neden olarak yüzey sıcaklığı artışına dolayısıyla PAH bileşiklerinin duman salınımını arttırmaktadır. Böylelikle çıkan duman ile gıdayı tekrar kontamine etmekte ve bileşikler yüzeyde birikim eğilimi göstermektedirler (Jagerstad ve Skog 2005, Rose vd. 2015). Pişirme süresince yüksek sıcaklık dolayısıyla etin yüzeyine etkili bir ısı transferi olmakta, bu durum da PAH oluşumunu arttırmaktadır (Basu 2010). Bu mekanizma,

pişirme boyunca duman ile etin yüzeyine taşınması sonucunda PAH bileşiklerin etin yüzeyinde daha çok oluşması ve PAH bileşiklerinin bir kısmının etin iç kısımlarına difüzyonu şeklinde işlemektedir. Ete difüzyon sürecin de ise etin su aktivitesi ve yağ içeriğinin belirlediği ifade edilmiştir. Bu mekanizma PAH oluşumu için önemli bulunmuş ve yüksek oranda yağ kaybı ile ilişkilendirilmiştir (Marques vd. 2011). Bu gıdaya taşınma sırasında taşınma hızına PAH bileşiklerinin lipofilik özelliğinden dolayı gıdanın yağ ve su içeriğinin yanısıra ısınma kaynağına olan mesafesi de önemli rol oynamaktadır (Farhadian vd. 2010, Viegas vd. 2012). Ayrıca kullanılan yağın veya etin yapısında bulunan yağların doymamışlık derecesinin, duman içinde oluşan PAH çeşitliliğini ve miktarını da etkilediği açıkça gösterilmiştir (Chen ve Chen 2001).

Et ürünlerinin yağ içeriği kadar kullanılan yağın doymamışlık derecesinin de önemli olduğu konusunda çalışma yapan Babaoğlu vd. (2016) kuzu iç yağ yerine kuzu deri altı yağı ile kuzu kuyruk yağı kullanılarak üretilen kokorecin pişirilmesi sırasında oluşan PAH konsantrasyonlarını ve bu bileşimlerin PAH oluşumu üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada; kokoreç gruplarının yağ içeriğinin PAH konsantrasyonlarını etkilemediği, hayvansal yağ çeşitlerinin kokoreç gruplarının PAH içeriğini etkilediği bulgusu tespit edilmiştir. Kuyruk yağıyla üretim yapılan kuzu kokoreç grubunda en düşük \sum PAH4 ve \sum PAH8 konsantrasyonları görülmüştür.

Başka bir çalışmada yağ ikamesinin de PAH oluşumunu etkilediğini raporlayan Lu vd. (2017b) domuz etiyle yaptıkları köftelerine zeytinyağı, ayçiçeği yağı veya üzüm çekirdeği yağının PAH ve HAA oluşumu üzerine sıcaklığın ve bitkisel yağ kullanımının inhibisyon etkilerini inceledikleri araştırmalarında; köfteleri iki farklı pişirme sıcaklığında 180 °C'de ve 220 °C'de pişirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada farklı sıcaklıklarda pişirmenin BaA ve BaP oluşumunu etkilemediği, bitkisel yağ kullanımının oluşum üzerinde önemli etkisi olduğunu, 180 °C'de pişirilen köftelerde bitkisel yağ kullanımının hiçbir etki göstermediği, ancak 220 °C'de pişmiş köftelerde zeytinyağı ve üzüm çekirdeği yağının BaP oluşumunu engellediği rapor edilmiştir.

PAH oluşum düzeyi ile lipit içeriğinin doğrudan etkili tek faktör olmadığını düşünen araştırmacılar da olmuştur. Sığır eti içindeki yağın birçoğunun kas içi yağı olduğunu ve pişirme sırasında bu yağların normal koşullar altında ermediğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar dana etlerinin tavuk etiyle kıyaslandığında PAH oluşumu açısından daha korunaklı olduğunu iddia etmekle birlikte, bunun ancak kontrollü koşullarda mangalda pişirme işlemi yapılmasıyla daha fazla araştırma yapılmasıyla gerçekleşebileceğini ve PAH içeriğini ve profilini etkileyen birçok farklı faktör bulunmasından dolayı çalışmanın sonuçlarını etkilemiş olabileceğini de rapor etmişlerdir (Aaslyng vd. 2013).

2.3.4 PAH oluşumuna kullanılan yakıt türünün etkisi

Elektrik, gaz, odun ve kömür gibi yakıt türleri PAH oluşumunu etkileyen faktörlerden biridir (Hamidi vd. 2016). Et ürünlerinin özellikle mangalda pişirilmesi sırasında kömür kullanımı PAH kontaminasyonuna katkıda bulunan ana faktörlerden birisi olup, kömür kaynaklı PAH emisyonları, ızgarada pişirilen et ürünlerinin üzerine birikme eğilimi göstermektedir (Gysel vd. 2018). PAH emisyonlarında; kömürün bileşimi, özellikle karbon içeriği, karbonizasyon sıcaklığı, odun tipi ve karbonizasyon yöntemi gibi birçok faktör etkilidir. Yüksek karbonlaşma sıcaklıkları, yüksek düzeyde karbon ve uçucu madde içeren kömür oluşumuna yol açmaktadır (Prathomtong vd. 2016).

Olsson ve Petersson (2003), yüksek karbon içeriğine sahip kömürün yanma sırasında başta PAH'lar dahil olmak üzere daha az aromatik bileşik salımına neden olduğunu ve yumuşak odun yakıtı peletlerinden elde edilen közlerin, yoğun miktarda önemli aromatik bileşiklerden biri olan benzen bileşimini yaydığını da göstermişlerdir. Ayrıca araştırmacılar düşük sıcaklıklarda kömürleşmiş karbon kullanarak ızgarada pişirilmiş yiyeceklerin yüksek PAH kontaminasyonu riskinin olduğunu belirtmişlerdir (Prathomtong vd. 2016).

Viegas vd. (2012) PAH bileşiklerinin oluşumu üzerine iki farklı kömür türünün (odun kömürü ve hindistan cevizi kabuğu kömürü) etkisi üzerine çalışmışlardır.. Çalışmada, ısı kaynağının sıcaklığı 200 °C ayarlanmış, örnekler 18 dakika ve 23 dakika olacak şekilde iyice pişirilmiştir. Her iki odun kömürü türü ile mangalda pişirilmiş sığır eti

örneklerinde PAH' lar arasında istatistik olarak anlamlı bir fark görülmezken, hindistan cevizi kabuğu kömürü ile ızgarada pişirilmiş somon balığı, normal odun kömürü ile ızgarada pişirilen somondan önemli ölçüde daha düşük miktarda PAH seviyesi tespit edilmiştir. Bu durumun hindistan cevizi kömürünün alevsiz ve dumansız bir kömür cinsi olmasından ve kömürün damlayan yağı emerek alevin parlamasını engellediğinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Ancak iki kömür cinsi arasındaki farklılık istatistik olarak önemli düzeyde olmadığı, hem odun kömürü hem de hindistan cevizi kabuğu kömürü ile sürekli barbekü yapıldığında ise; pişirme süresince yağın yanmasının, PAH'ların daha yüksek oluşumuna katkıda bulunduğu bildirilmiştir.

Jagerstad ve Skog (2005) odun ateşinde pişirme de kullanılan odun türünün önemli olduğunu, özellikle yumuşak ağaçların yüksek reçine içermesinden ötürü yüksek PAH konsantrasyonuna neden olduğunu, özellikle yüksek reçine içeren odun türlerinin yoğun katran oluşumunu teşvik etmesi yoluyla PAH oluşumunu desteklediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca meşe vb. sert ağaçların reçine açısından temiz olduğunu, ancak mesquite gibi bazı odunların yanarken bol miktarda PAH ürettiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmaya benzer bir çalışma Danimarka'da yapılmış, kullanılan ağaç tiplerinin dumanlama prosesinde PAH seviyelerini etkilediği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra dumanlama işleminde kullanılan ağacın nem içeriği, yanma süresi boyunca ulaştığı sıcaklık, yanma odasındaki oksijen konsantrasyonu gibi faktörler ile kullanılan ağaç türünün PAH düzeyini etkiledikleri belirtilmiştir (Duedahl-Olesen vd. 2006).

Yapılan bir çalışmada elma ağacı, akçaağaç, ladin ağacı gibi farklı tür odun ve kömür ile tütsüleme yapılan örneklerde benzo[a]pyrene miktarını 6.04 µg/kg ile 35.07 µg/kg; toplam PAH miktarının ise 47.94 µg/kg ile 470.91 µg/kg arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. Araştırmacılar en yüksek konsantrasyona sahip grubun yakıt türü olarak ladin ağacı kullanılan grup olduğu tespiti yapılmış ve bunun sebebinin ladinin yumuşak ağaç olmasından dolayısıyla içerdiği reçine miktarının yüksek olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. (Stumpe-Viksna vd. 2008).

2.3.5 PAH oluşumuna ısı kaynağının konumu ve mesafesinin etkisi

Yapılan çalışmalarda ısı kaynağı ile gıda arasındaki mesafenin de önemli bir kriter olduğu bildirilmiş olup, mesafe ile PAH oluşumu ters orantılıdır. Tütsülenmiş et ürünlerinde PAH üzerine yapılan bazı çalışmalarda, yiyeceklerin ısı kaynağına olan uzaklığı, çalışılacak ana değişken olarak seçilmemesine rağmen 2 m ile 10 m arasında belirlenmiştir (Purcaro vd. 2013, Hao vd. 2016).

Roserio vd. (2011) kuru/fermente sosislerinin tütsüleme odasında yerleştirildikleri konumlarının PAH oluşumu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tütsüleme odasına yerleştirilen sosislerin konumunun PAH kontaminasyonu ve penetrasyon oranı üzerinde ürün yüzeyine ulaşan tütsü dumanının akış özellikleri ve ürün iç sıcaklık durumuna bağlı olarak önemli etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Bununla birlikte Lee vd. (2016) yağ damlamasını engellemek amacıyla kömür ızgara aparatı tasarlamışlar ve bu tasarımın PAH 4 seviyesinde % 48-89 arasında düşüşe neden olduğunu raporlamışlardır. Sonuçta dana etlerinde geleneksel yöntem ile pişirme sonucunda 3.62 µg/kg BaA, 3.80 µg/kg Chr, 6.25 µg/kg BbF ve 3.23 µg/kg BaP saptanmış iken, yağın uzaklaştırıldığı sistemde ise 0.60 µg/kg BaA, 0.27 µg/kg Chr, 0.81 µg/kg BbF ve 0.78 µg/kg BaP belirlenmiştir. Ayrıca \sum PAH4 içeriği 19.91 µg/kg'dan 2.46 µg/kg kadar %85'lik bir azalma göstermiştir. Benzer şekilde Saint-Aubert vd. (1992) yatay olarak mangalda pişirme yerine dikey konumda pişirme işleminin BaP konsantrasyonunu 10 ila 30 kat azalttığı bildirilmiştir.

2.3.6 PAH oluşumuna diğer faktörlerin etkisi

Pişirme süresince etteki suyun buharlaşması ve etin dış yüzeyinde su içeriğinin azalması dolayısıyla; PAH'ların oluşumuna etkisi de göz önünde bulundurulduğunda gıdanın su içeriği PAH oluşumu açısından önemli faktörlerden birisidir. Son çalışmalar, PAH oluşumunun, etin içerisindeki suyun varlığından da etkilendiğini göstermiştir (Wang vd. 2019). Bazı araştırmacılar pH miktarındaki artışa bağlı olarak toplam PAH4 içeriğinde artış olabileceğine ilişkin gözlemlerde bulunmuşlar, ancak bu konu hakkında detaylı bir bilgiye rastlanmamıştır.

Bununla birlikte, gıda matrisinde PAH' ların oluşumu için öncü olan aminoasitlerin ve şekerlerin etkileri hakkında çok az bilgi mevcuttur (Kamal vd. 2018). Prolin ve glikozun bir model sistem olarak kullanılan bir çalışmada, Maillard reaksiyonunu takiben amino asitlerin ve karbonhidratların pirolizinden oluşan PAH'lardaki artışı bildirmişlerdir (Britt vd. 2004).

Ayrıca, PAH içeriğini etkileyen bir diğer faktöründe yüzey/kütle oranı olduğu, aynı koşullarda pişirilen büyük et parçalarının küçük parçalı (kıyma veya küp) etlere göre daha az PAH oluşumu gösterdiği, PAH'ların yüzeyde ısıya maruz kalma ve etin boyutunun azalmasıyla arttığını bildirilmiştir (El Husseini vd. 2019).

Etin pişirilmesi esnasında bir veya birden fazla alt-üst edilmesinin (çevrilmesi) PAH oluşumun üzerine etkisinin olduğu da unutulmamalıdır. Izgara yaparken ve ısıtmayı kontrol ederken etin sık sık döndürülmesi gerektiği vurgulanmış, bunun PAH konsantrasyonlarında düşümlere sebep olduğu bildirilmiştir (Duedahl-Olesen vd. 2015). Çevirme işlemi ile etin üst yüzeyi, suyun buharlaşması ve ısının transferi (konveksiyon) yüzünden sıcaklığını kaybetmektedir. Ayrıca çevirme dolayısıyla, duman ile etin kontamine olması engellenmekte ve bu da PAH konsantrasyonunun düşük olmasına sebep olmakta ve PAH oluşumunu azaltmaktadır (Singh 2016).

2.4 PAH oluşumunu azaltıcı yaklaşımlar

Günlük yaşantımızda önemli yeri olan et ürünlerinde ızgara, kızartma, fırınlama, kavurma gibi ısı işlemler sonucu oluşan PAH'ların mutajenik ve karsinojenik yapıda olduğu belirlendikten sonra yapılan araştırmalar bu bileşiğin oluşumunda etkili faktörlerin belirlenmesi ve oluşum düzeyinin azaltılması ya da engellenmesi üzerine hız kazanmıştır (Bansal ve Kim 2015). Bu bilimsel ilginin iki önemli sebebi bulunmaktadır. Birincisi, güçlü mutajen olan bu bileşiklere içeren gıdaların birçok ülkede geniş çapta tüketilmesi, ikincisi ise, epidemiyolojik çalışmaların yüksek oranda et tüketen ülkelerde kanser oranının çok daha yüksek olduğunu belirtmesidir (Andree vd. 2010, Püssa 2013, Behnilian vd. 2014, Chiang vd. 2017).

Etteki PAH oluşumunu en aza indirmek için, yağsız veya az yağlı hammadde kullanımı, gıdanın direk ateşle teması önlenerek daha düşük sıcaklıklarda ve daha uzun sürede pişirmesi gerekir. Bununla birlikte, uygulanan proses mümkün olan tüm bakteriyel veya endojen toksinlerin inaktivasyonunu da sağlamalıdır (Püssa 2013). Kömür ateşinde pişirme sırasında PAH oluşumu, etin fazla yağının ve kesilip uzaklaştırılması ve etin düşük sıcaklıklarda ve kömürden uygun bir mesafede pişirilmesiyle azaltılabileceği, gıdanın direk alevle temasından kaçınılması gerektiği ve ateşin köz haline gelmesini beklemek olduğu ifade edilmiştir (Jagerstad ve Skog 2005, Kataoka ve Ishizaki 2013, Lawal 2017). Bütün bu önlemlere ek olarak, uygun yakıt ve ısı kaynağının seçimi, erimiş yağın ısı kaynağına damlamasını önlemek için tasarlanmış özel ızgaraların kullanılması da PAH'ların kontaminasyonunu önemli ölçüde azaltan yöntemlerdir (Jagerstad ve Skog 2005, Singh vd. 2016).

2.4.1 Pişirme koşullarının modifikasyonu ile azaltma

Tüm pişirme yöntemlerinin farklı seviyelerde PAH oluşumuna neden olduğu bilinmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, tütsülemenin, ızgara yapmanın ve kızartmanın yüksek düzeyde PAH oluşumuna sebep olduğu, pişirme koşullarının modifikasyonu ile PAH oluşumunun azaltılabileceği rapor edilmiştir (Jagerstad ve Skog 2005, Turp vd. 2013, Bansal ve Kim 2015, Ledesma vd. 2016).

PAH'ın azaltılmasında en önde gelen yaklaşım, buhar ve mikrodalga ile ön ısıtma gibi alternatif pişirme yöntemlerinin gıdaların hazırlamanın ilk aşamasına dahil edilmesi, yiyecekleri doğrudan ısı kaynağına maruz bırakmama, pişirme sıcaklığı ve/veya pişirme süresinin azaltılması ve pişirme sırasında ortaya çıkan duman kontaminasyonu engellenmesi olmuştur (Bansal ve Kim 2015). Ancak buradaki en önemli kritik noktanın sıcaklıktaki azalma ile zararlı mikroorganizmaların inaktivasyonunu riske atmamak olacağı vurgulanmıştır (Behsnilian vd. 2014, Chiang vd. 2017).

Farhadian vd. (2011), ön ısıtma ve ürünü bir malzeme ile sarmanın kömür ateşinde ızgara edilen etlerde PAH oluşumu üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında buhar ve mikrodalgada ön ısıtma ve alüminyum ve muz yaprağına sarma işlemi

sonrasında örnekleri kömür ateşinde ızgara etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre uygulanan ön ısıtma ve sarma işlemlerinin örneklerdeki PAH seviyelerini önemli ölçüde etkilediklerini tespit etmişlerdir. Buharla ve mikrodalgayla ön ısıtma veya alüminyuma sarma işlemleri yapılan örneklerde karsinojenik PAH (BaP, BbF ve Fln) bileşiklerini tespit edemediklerini bildirmişlerdir. Ayrıca alüminyum ve muz yaprağına sarılmasının, PAH'ları ön ısıtma işlemlerinden (buhar ve mikrodalga) daha etkili bir şekilde azalttığı da bulunmuştur. Benzer şekilde et sosislerinde kullanılan kılıfın tütsüleme sırasında oluşan dumanın eti kontamine etmesinde bariyer oluşturarak PAH'ların ürünlerin iç katmanlarına geçişini engelleyebileceği de ifade edilmiştir (Simko, 2005, Fasano vd. 2016).

Dana ve koyun etleri farklı pişirme yöntemleriyle (tavada kızartma, mangalda pişirme, alüminyum ile kaplanarak mangalda pişirme) pişirildiği çalışmada; mangalda pişirilen sığır etlerinde ve koyun etlerinde toplam PAH seviyesi sırasıyla 6.833 µg/kg ve 26.819 µg/kg, alüminyum kaplanarak mangalda pişirilen sığır etlerinde ve koyun etlerinde ise bu değerlerin 1.265 µg/kg ve 6.279 µg/kg olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar alüminyum folyo gibi bir materyale sarmanın et örneklerinde toplam PAH'larda azalmaya yol açtığını kanıtlamışlardır (Eldaly vd. 2016).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda ohmik, mikrodalga, infrared pişirme yöntemleri gibi birçok alternatif pişirme yöntemlerinin PAH oluşumuna etkileri üzerinde durulmaya başlanmıştır (Turp vd. 2013). Bunlardan biri olan ohmik pişirme yönteminin etkilerine bakılan bir çalışmada üç farklı voltaj gradyanı kullanarak pişirilmiş sığır köftelerinin benzo[a]pyrene seviyelerinin sırasıyla 0.10 ppb, 0.09 ppb ve 0.09 ppb olduğu bildirilmiştir (Icier vd. 2014). Bu çalışmaya benzer başka bir çalışmada ise; ohmik ön pişirme uygulanan köftelere infrared pişirmenin etkileri incelenmiş, toplam PAH seviyelerinin kabul edilebilir seviyelerde (4.47 ile 64 µg/kg) olduğu ve ohmik ön pişirme ardından infrared pişirme yöntemlerinin PAH kontaminasyonu açısından güvenli bir pişirme işlemi olarak kabul edileceğini belirtmişlerdir (Kendirici vd. 2014).

PAH seviyelerini düşürmek için bir başka seçenek ise gıdanın kimyasal bileşiminin değiştirilmesi olduğu ifade edilmiştir (Bansal ve Kim 2015). Bu nedenle, bunun gibi basit paketleme ve ön ısıtma işlemlerinin, tüketicilerin karsinojen PAH'lara maruz kalmasını pratik olarak azaltmak için çok basit tedbirler olduğu da ifade edilmiştir (Bansal ve Kim 2015).

2.4.2 Marinasyon veya bazı marinatların ilavesi ile azaltma

Pişmiş etlerde PAH oluşumunun veya konsantrasyonunun, yüksek sıcaklıkta pişirme öncesi farklı marinasyon uygulaması ve marinasyon bileşimine bazı bileşenlerin ilavesi ile azaltılabilmesi mümkündür. Marinasyon, tüketici talebini karşılamak için et ürünlerinin duyuşal özelliklerini (doku, renk, lezzet) geliştiren hem de zararlı bileşen oluşumunu azaltan bir işlemdir (Vlahova-Vangelova ve Dragoev 2014).

Et ve et ürünlerine değişik karakteristik özellikler katmak amacıyla asidik ve alkali marinasyon prosesleri uzun zamandır kullanılmasına rağmen, asidik ve alkali marinasyonun pişmiş etteki PAH seviyelerini nasıl etkilediği konusunda sınırlı araştırmalar söz konusudur (Wongmaneepratip ve Vangnai, 2017). Ancak bilinen bir gerçek antioksidanların, PAH'ların oluşumunu engellemek için reaksiyonlara müdahil olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışmalar da etin çay, kırmızı şarap posası, bira, salamura, baharat ve fenolik bileşikler yönünden zengin olan diğer gıda katkı maddeleri ile marine edilmesinin ve bazı antioksidanların marinasyon sosuna (diallil disülfid) ilavesinin PAH oluşum seviyelerinin azaltılmasında etkili olduğu gösterilmiştir (Janoszka 2011, Farhadian vd. 2012, Tkacz vd. 2012, Viegas vd. 2012, Viegas vd. 2014, Sinaga vd. 2016, García-Lomillo vd. 2017, Wang vd. 2019, Wongmaneepratip vd. 2019). Bu nedenle, et ürünlerine antioksidanların ilave edilmesi, pişmiş et ürünlerinde PAH seviyesini azaltmada etkili bir yol olarak kabul edilmiştir (Lu vd. 2018).

PAH oluşumunun engellenmesi veya azaltılması durumu; etin pH'sı ile ilişkili bir durumdur. Etin pH'sı 5.7 değeri ile karşılaştırıldığında pH 5.2 olan marinatların kullanımının PAH konsantrasyonunu azalttığı bulunmuştur. Bu nedenle, pişmiş ette yağ

tipi ve pH'nın PAH oluşumuna etkilerini daha detaylı olarak incelemek gereklidir (Farhadian vd. 2012).

Yapılan bir çalışmada, ızgara pişirilen tavuk etlerinde karsinojenik polisiklik aromatik hidrokarbonların oluşumu üzerine, yağ türlerinin etkisi ve marine edilmiş ürününün pH'sı araştırılmış, sitrik asit ve sodyum bikarbonat kullanılarak hem asidik hem alkali marinatların pH değerlerine bakılmış, en yüksek PAH düzeyi sodyum bikarbonat ilavesi yapılmış alkali marinatlarda edile edilmiş (pH 7.5) ve ızgarada pişirilmiş tavuk etinde PAH düzeylerinde özellikle BbF ve BaP konsantrasyonunu önemli ölçüde arttırdığı % 70' den fazla bir artışa neden olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, ızgara et ürünlerinde PAH düzeylerini artırmada, marinatların içine ilave edilen yağ ve/veya alkali bileşenlerin eklenmesinin önemli olabileceğini düşündürmekle birlikte, ticari bitkisel yağlarda doymuş ve doymamış yağ asidi oranları ve antioksidan bileşiklerin bulunması etlerde PAH oluşumunu azaltmada büyük ölçüde etkili olduğunu da düşündürmüştür (Wongmaneepratip ve Vangnai, 2017).

Bu çalışmalara paralel olarak, sığır eti % 1,2 konsantrasyonunda limon suyu ve şeker, su, soğan, zerdeçal ve tarçın içeren asidik marinasyon çözeltisi ile marinasyonu yapıldıktan sonra, PAH oluşumunun % 70'e kadar düştüğünü, PAH azaltılmasında marinasyon süresinin istatistik olarak önemli olmadığı sonucuna varılmıştır (Farhadian vd. 2012, Vlahova-Vangelova ve Dragoev 2014). Ayrıca, dana satay üzerine limon suyunun (asidik marinasyon gibi) kömür ızgarası yapılmadan önce uygulandığında, yağ bazlı marinasyona göre % 72'lik PAH seviyelerinde bir azalmaya neden olduğu da bulunmuştur (Bansal ve Kim 2015).

Marinasyonda çeşitli bira tiplerinin (geleneksel alkollü bira, alkolsüz bira, siyah bira) kullanımının mangalda pişirilmiş domuz etinde PAH8 oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir. Marine edilmemiş kontrol grubunda PAH8 kontrol grubunda 20,57 ng/g, geleneksel alkollü bira ile marine edilenlerde 17.82 ng/g, alkolsüz bira ile marine edilenlerde 15.50 ng/g değeri bulunmuş, siyah bira ile marine edilen domuz etinde ise bu değer 9.74 ng/g şeklinde bulunmuştur. Bira marinatlarının kullanımı ile radikal

temizleyici aktivitelerin de artış gözlenmiş, dolayısıyla PAH8 oluşumunu üzerindeki inhibitör etkilerinin, serbest radikalleri temizleme ve yağ asidi hidroperoksitlerini yok edebilmeleri durumu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada siyah biranın ise en güçlü inhibitör etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Viegas vd. 2014).

Yapılan başka bir çalışmada ise alevle doğrudan temasın ve yağların ısı kaynağı üzerine düşmesinin benzo[a]pyrene oluşumu için önemli bir risk faktörü olduğunu göstermiştir. Doğal koruyucu olarak yeşil çay ya da paraguay çayının (yerba mate), et ürünlerinin kalitesini korumak ve benzo[a]pyrene oluşumunu azaltan sinerjik bir etki yaratmak için et ve et ürünlerine baharat veya sos olarak marinasyon amaçlı kullanılabileceği ifade edilmiştir (Park vd 2017). Bu çalışmaya benzer bir çalışmada domuz eti ve domuz et sularında PAH oluşumu üzerine soğan ve sarımsağın etkilerini araştırılmış, soğanın toplam PAH içeriğinde tavada kızartılan etlerde ortalama % 60, et sularında ise % 90'nın üzerinde azalmaya sebep olduğunu, sarımsağın ise etlerdeki konsantrasyonu % 54, et sularında ise % 13.5-79 oranında azalttığı bildirilmiştir (Janoszka 2011). Janoszka (2011) soğan ve sarımsağın yapısında bulunan disülfidler ve polifenoller gibi antioksidanların, yağ asitlerinin ve proteinin ayrışmasından oluşan hidrokarbonların oksitlenmesini ve polimerleşmesini önleyebileceğini ve düşük PAH seviyelerine yol açabileceğini öne sürmüştür.

Isı kaynağının tipi, ızgarada pişirme süresi, ızgaranın geometrisi ve marine sosları ve yağ muhteviyatının PAH oluşumuna etkisinin incelendiği bir çalışmada ise radikal temizleyici olarak işlev yapabilen baharatlar ve bitki ekstraktları gibi doğal ürünlerin, PAH ve heterosiklik aromatik amin oluşumunu sınırlamak için kullanılması gerektiği önerilmiştir (Alomirah vd. 2011). Midyelerin tuz, su ve diğer baharatlardan yapılan normal bir salamuraya göre; kırmızıbiber, sirke, bitkisel yağ, tuz ve diğer baharatları içeren bir salamura sosunda bekletilmesi 5-6 halkalı ağır PAH bileşiklerinin konsantrasyonlarının azalmasına neden olmuştur (Singh vd. 2016).

Dana ve tavuk köftelerindeki baharatların inhibe edici etkinliğini değerlendirmek amacıyla sarımsak, soğan, kırmızıbiber, paprika, zencefil ve karabiber tozu 180 °C'de derin yağda kızartılmış dana köftelerine ve tavuk köftelerine eklenmiştir. Baharatların

benzo[a]pyrene oluşumu üzerine inhibe edici etkisi sadece dana köftelerinde gözlemlenmiştir. Araştırmacılar baharatların inhibe edici etkisi üzerine birçok değişkenin etkili olmasından dolayı tavuk köftelerinde önemli bir azalma görülmemesine rağmen, et ürünlerine baharat ilave edilmesinin PAH oluşum riskini büyük ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca zencefil tozunun hem sığır hem de tavuk köftelerinde toplam PAH'ların oluşumunu % 97,93 oranında engelleyen tek baharat olduğu da tespit edilmiştir (Lu vd. 2018).

Bu durumun tam tersi çalışmalarda söz konusudur. Portekiz sosisleri hazırlamak için yetiştirilen domuzları beslemek için kullanılan yemlerin içine baharat ve kür tuzları uygulanmasının, sosislerdeki PAH seviyelerinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir (Roseiro vd. 2011). Jagerstad ve Skog (2005)'da yaptıkları çalışmada marinasyonun etin yüzeyinin kömürleşmesine neden olduğunu dolayısıyla PAH düzeylerinde artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir.

2.5 PAH bileşikleri ve sağlık ilişkisi

Epidemiyolojik çalışmalar, insanlarda kanser vakalarında beslenmenin önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır (Larsson 2005, Andree 2010, Wallin 2011). Yapılan birçok çalışmada kanser vakalarının özellikle meme, pankreas ve kolon kanserinin % 35'inin beslenmeye bağlı olarak ortaya çıktığı bildirilmiştir (Chao vd. 2005, Chan 2011). Bu çalışmalara paralel olarak özellikle kırmızı et ve ileri işlenmiş et ürünlerinin tüketiminin kanser oluşumunu desteklediği de ifade edilmiştir (English vd. 2004, Ferguson 2010, Chan 2011, Anonymous 2015, Domingo ve Nadal 2017, Sobral vd 2018).

Son zamanlarda yapılan epidemiyolojik çalışmalar, PAH'lara diyetle maruz kalmanın insanlarda kanser riskinin artmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Xia vd. 2010). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), özellikle et ve et ürünlerine uygulanan yüksek sıcaklık uygulamaları sonucunda ortaya çıkan günümüzde kansere neden olduğu bilinen en büyük kimyasal bileşik sınıfını içerirler (Liu vd. 2011, Li vd. 2016, Babic vd. 2017). Bu bileşiklerin birçoğu genotoksik, mutajenik, teratojenik ve karsinojendir. Bazı PAH bileşikleri ise karsinojenik olmamakla birlikte sinerjistik olarak hareket

edebilmektedir (Simko 2002, Simko 2005, Kumosani vd. 2012, Domingo ve Nadal 2015, Li vd. 2016). Bununla birlikte bütün PAH bileşikleri aynı toksiteye sahip değildir. PAH bileşiklerinin DNA'ya bağlanma kabiliyetleri, PAH bileşiğinin ve ikame edilmiş gruplarının yapısı PAH'ların karsinogenisitesi belirler (Skupinska vd. 2004).

İlk olarak PAH bileşiklerinin kansere neden olduğunu 1775 yılında İngiliz cerrah Percival Pott'un baca temizleme işini yapan kişilerin testis kanserine yakalandıklarının gözlenmesiyle fark edilmiştir (Simko 2002). 150 yılı aşkın bir süre sonra ise zift ve katranın yapısındaki karsinojenik bileşikler polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) olarak tanımlanmıştır. İnsan sağlığını etkileyen PAH bileşikleri çevre kaynaklarının hemen hemen tüm bölümlerinde tanımlanmış ve ölçülmüş olmakla birlikte, ızgara ette ilk defa 1963 yılında Seppilli ve Scassellati Sforzolini tarafından karsinojen PAH bileşiği tespit edilmiştir (Fretheim 1983). 1976 yılında 30'dan fazla PAH bileşiği ve yüzlerce PAH türevinin karsinojenik etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Simko 2002).

PAH'lar tek bir bileşik olarak değil genellikle kompleks karışım halinde bulunurlar (Falco 2003, Huertas-Perez vd. 2015, Yebra-Pimentel vd. 2015) Doğada 100'ün üzerinde PAH bileşiğinin mutajenik ve karsinojenik etkisi olduğu birçok kuruluş tarafından rapor edilmiştir (Anonymous 2008, Anonymous 2015). Bu bileşiklerin ise yaklaşık %60'ının memelilerde karsinojenik olduğu belirtilmiştir (Püssa 2013).

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'nın (IARC) yaptığı sınıflandırmaya göre belirli PAH bileşikleri karsinojenik ve mutajenik olarak belirtilmekte ve özellikle 6 PAH bileşiği üzerine odaklanmıştır. Bu bileşikler benzo[a]pyrene, naftalen, chrysene, benz[a]antrasen, benzo[k]fluoranthen ve benzo[b]fluoranthen'dir (Anonymous 2010, Babic vd. 2018).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), bahsi geçen PAH bileşiklerini insanlar için karsinojen olduğu bilinen, muhtemelen karsinojen veya karsinojen olma ihtimali olanlar (Grup 1, Grup 2A veya Grup 2B) olarak sınıflandırmıştır. Epidemiyolojik verilerle kanıtlanmış olanlar kesin karsinojen; deneysel olarak kanıtlanmışlar ise yüksek

olasılıkla ve muhtemel karsinojen olarak değerlendirilmiştir (Yurcenko ve Molder 2005, Anonymous, 2010, Babic vd. 2017, Hokkanen vd. 2018). PAH bileşiklerinin insan sağlığı üzerindeki toksisitesini veya karsinojenliğini ölçmek için kullanılan bir diğer faktör ise toksik eşdeğerlik faktörleri (TEF) olmuş ve bazı önemli PAH bileşiklerinin toksik eşdeğerlik faktörleri (TEF) ve IARC sınıfı Çizelge 2.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Karsinojenik ve mutajenik PAH bileşiklerinin özellikleri (Anonymous 2010, Bansal ve Kim 2015)

Bileşiğin adı	Genotoksitesisi	IARC sınıfı	TEF faktörü
Acenaphthene	Şüpheli	Henüz belirlenmedi	-
Acenaphthylene	Şüpheli	Henüz belirlenmedi	-
Anthracene	Negatif	Grup 3	0.01
Benz(a)anthracene	Pozitif	Grup 2B	0.1
Benzo(b)fluoranthene	Pozitif	Grup 2B	0.1
Benzo(k)fluoranthene	Pozitif	Grup 2B	0.01
Benzo(g,h,i)perylene	Pozitif-	Grup 3	-
Benzo(a)pyrene	Pozitif	Grup 1	1.0
Chrysene	Pozitif	Grup 2B	0.001
Dibenz(a,h)anthracene	Pozitif	Grup 2A	1.0
Fluoranthene	Pozitif	Grup 3	0.001
Flourene	Negatif	Grup 3	0.001
Indeno(1,2,3-cd)pyrene (IP)	Pozitif	Grup 2B	0.1
Phenanthrene	Şüpheli	Grup 3	0.001
Pyrene	Şüpheli	Grup 3	0.001
Naphthalene	Pozitif	Grup 2B	0.001

TEF faktörü: Toksik eşdeğerlik faktörü

IARC: Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı

Avrupa Birliği Gıda Bilim Komitesi tarafından 1998 yılında Uluslararası Kimyasal Güvenlik Programı (IPCS) tarafından değerlendirilen 33 PAH bileşiği için risk değerlendirmesi yapılmış ve hem genotoksik hem de karsinojen özelliklere sahip olan 15 tanesi belirlemiştir (Anonymous 2002). Gıda Bilim Komitesi (SCF) mevcut toksikolojik bilgilere dayanarak 33 PAH bileşiğinden benzo[ghi]perylene (BgP) hariç

benzo[a]anthracene (BaA), benzo[b]fluoranthene (BbF), benzo(j)fluoranthene (BjF), benzo[k]fluoranthene (BkF), benzo[ghi]perylene (BgP), benzo[a]pyrene (BaP), chrysene (Chr), cyclopenta[cd]pyrene (CPP), dibenzo[a,h]anthracene (DhA), dibenzo[a,e]pyrene (DeP), dibenzo[a,h]pyrene (DhP), dibenzo[a,i]pyrene (DiP), dibenzo[a,l]pyrene (DlP), indeno [1,2,3-cd]pyrene (IcP) ve 5 metilchrysene (5MC) adı verilen 15 bileşiğin üzerine odaklanılmıştır. Bu 15 bileşiğin somatik hücreler üzerine mutajenik/genotoksik etkiye sahip olduğunu in-vivo hayvan deneyleri ile belirlediklerini ve deney hayvanlarında çeşitli biyoanalizlerle karsinojenik etkilere sahip olduklarını bildirmiştir (Anonymous 2008, Sobral vd. 2018, Hamidi vd. 2016).

JECFA (Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi) ise, bahsi geçen 15 PAH bileşiğinin açıkça genotoksik ve karsinojen olduğu ve B[a]P'nin bu PAH'lara maruz kalma ve etkisinin bir işareti olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birimi (US-EPA) tarafından oluşturulan öncelikli kirleticiler listesinde yer alan benzo[a]anthracene (BaA), benzo[a]pyrene (BaP), chrysene (Chr), benzo[b] fluoranthene (BbF), benzo[k] fluoranthene (BkF), indeno [1,2,3-cd]pyrene (IcP), dibenzo[a,h]anthracene (DhA) ve benzo[ghi]perylene (BgP) PAH bileşikleri aynı zamanda Avrupa Birliği tarafından oluşturulan öncelikli kirleticiler listesinde de yer almaktadır (Anonymous 2008, Lee vd. 2016).

PAH bileşiklerinin her birinin ise sağlık üzerine etkileri aynı değildir. Genellikle daha yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların (örneğin, dibenzopirenler) düşük molekül ağırlıklı bileşiklerden daha toksik olduğu açıkça ifade edilmiştir. 5-metilchrysene veya 6-metil piren gibi alkilenmiş PAH bileşikleri de önemli etkileri olduğu gösterilmiştir. Ancak yedi ve üzerinde halkaya sahip PAH bileşikleri, nitro- PAH veya amino- PAH ve oksijene olmuş PAH bileşikleri gibi farklı fonksiyonel gruplara sahip bazı PAH'ların toksisiteleri hakkında fazla bir bilgi bulunmamaktadır (Achten ve Andersson 2015).

Karsinojen PAH'lardan biri olan benzo[a]pyrene, gıdalarda PAH'ların bir göstergesi olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır (Jira 2004, Kartalovic vd. 2015). Bunun sebebi benzo[a]pyrene (BaP) konsantrasyonunun, insanlarda kanser oluşumuna etkisinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Andrée vd. 2010, Roseiro vd. 2011, Park vd. 2017, Wang ve Sun 2017). Fakat B[a]P toplam karsinojen PAH konsantrasyonunun sadece %1-20 sini içermektedir. Bu yüzden SCF hem uzun süre maruz kalma değerlendirmelerini mümkün kılmak hem de B[a]P'a odaklanmanın doğru olup olmadığını anlamak için, gıdalardaki ve çevredeki benz[a]anthracene, benzo[b]-fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[ghi]perylene, chrysene, cyclopenta[cd]pyrene, dibenz[a,h]anthracene, dibenzo[a,e]pyrene, dibenzo[a,h]-pyrene, dibenzo[a,i]pyrene, dibenzo[a,l]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene ve son olarak 5-methylchrysene maddelerinin de izlenmesini tavsiye etmektedir. Son yıllarda üzerinde en çok çalışılan diğer bir bileşik olan 7,12-dimetilbenzo antrasen (DMBA) bileşiği de karsinojenik özelliklerden dolayı dikkat çekmeye başlamıştır (Rengarajan vd. 2015).

Bununla birlikte, EFSA'nın yayınladığı rapora göre, tek başına benzo[a]pyrene' nin varlığının gıdalardaki PAH varlığının iyi bir göstergesi olmadığı ve gıdalarda PAH4 (benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene ve benzo[a]pyrene toplamı) ve PAH8'in(benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[a]pyrene, benzo[k]fluoranthene, benzo[ghi]perylene, dibenzo[a,h]anthracene ve indeno[1,2,3-cd]pyrene toplamı) PAH varlığının göstergesi olarak kullanılması gerektiğini, ancak PAH8'in PAH4'e kıyasla ürünlerdeki PAH oluşumu hakkında daha fazla bir bilgi vermediği ifade edilmiştir (Anonymous 2008, Behnilian vd. 2014, Hokkanen vd. 2018). Ayrıca JECFA, benzo[c]fluoren bileşiğinin üzerinde durulması gereken önemli bir bileşik olduğunu, gelecekteki analizlere dahil edilmesini gerektiğini; fareler üzerinde yapılan çalışmalar da bu bileşiğin, kömür katranına oral yolla maruz kalmadan sonra akciğer tümörlerinin oluşumuna katkıda bulunabileceğini sonucuna ulaşmıştır (Püssa 2013).

Araştırmacılar üzerinde durulması gereken diğer bir bileşiğin ise dibenzo[a,l]pyrene (DIP) olduğunu, bu bileşiğin toksikolojik çalışmalarda BaP'den çok daha güçlü bir karsinogen potansiyele sahip olduğunu ifade etmişlerdir (Andree vd. 2010).

2.5.1 PAH bileşiklerinin biyodönüşümleri

Çevrede bulunan PAH bileşikleri inaktif durumda olmalarından dolayı karsinojenliğe doğrudan neden olamazlar (Skupinska vd. 2004). Karsinojenik özellik gösterebilmeleri için aktif moleküllere dönüşmeleri gerekir (Püssa 2013). PAH'lar genotoksik ve karsinojenik özellik gösterebilmesi için metabolik aktivasyona ve dönüşüme gereksinim duyan bileşiklerdir (Abdel- Shafy 2016). PAH bileşikleri polar grupların ilavesiyle polariteyi artırma ve ksenobiyotikleri elemine ederek organizmaya girerler ve metabolik olarak karsinojenik formlara dönüşürler (Skupinska vd. 2004, Purcaro vd. 2013). Genel olarak mekanizmanın karsinojenin veya metabolitlerinin DNA'ya kovalent bağlanması şeklinde işlediği düşünülmektedir (Banasievicz vd. 2004).

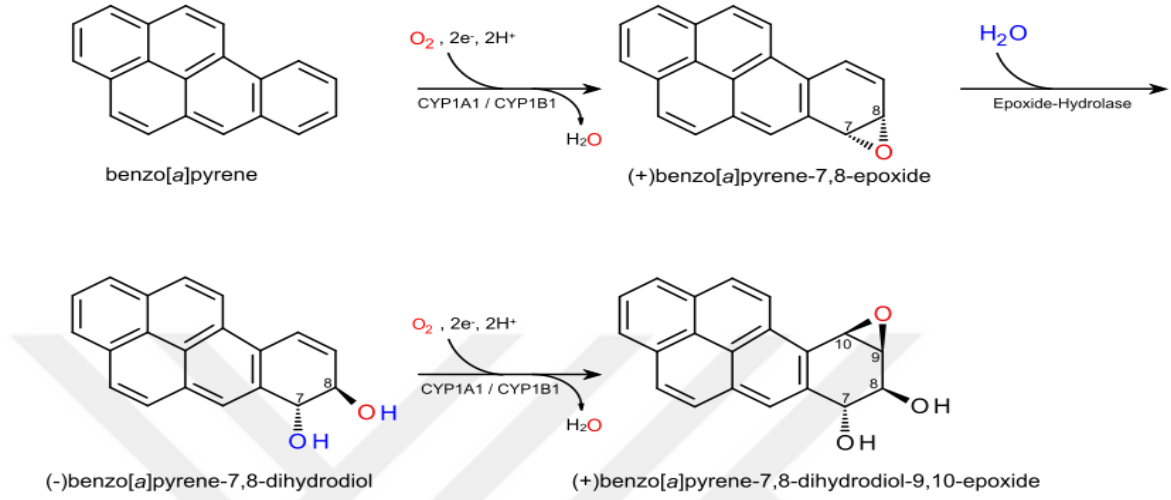
PAH bileşiklerin organizmaya solunum, oral yoldan ve deri ile temas sonucu girmelerinin ardından karsinojenik ve mutajenik etki gösterebilmeleri için elektrofilik metabolitlerin aktivasyonu gereklidir (Püssa 2013).

Son yıllarda gelişen moleküler biyoloji teknikleri ile PAH'ların karsinojenik mekanizmalarının anlaşılmasında büyük bir gelişim olmuştur. PAH bileşiklerinin biyodönüşümleri için dört mekanizma bildirilmiştir (Ramesh vd. 2004). Bunlar;

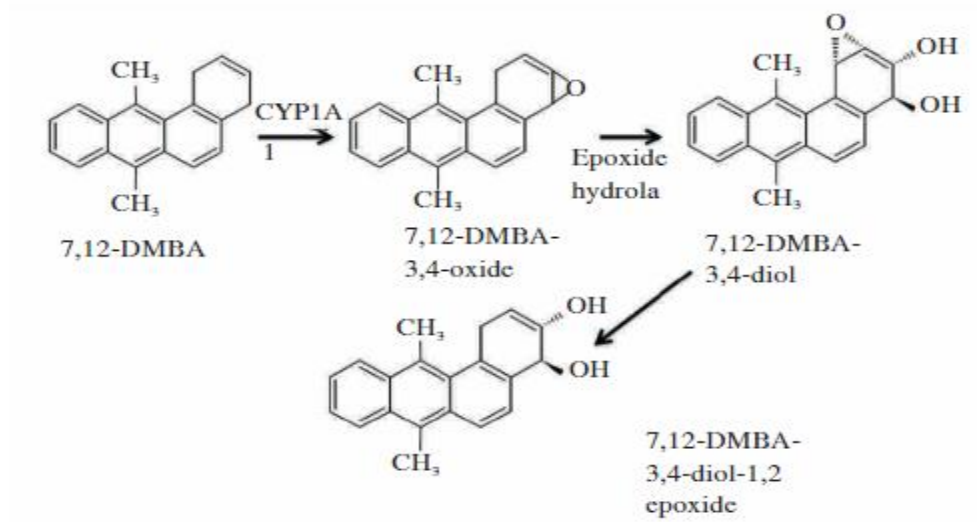
- a) Diol epoksit mekanizması,
- b) Radikal-kasyon mekanizması,
- c) Kinon mekanizması
- d) Benzilik oksidasyon mekanizmasıdır.

Benzo[a]pyrene 'nin en önemli metabolitleri BaP-7,8-diol-9,10-epoksit metabolitinin DNA eklentilerine neden olan en yüksek tümör oluşturma aktivitesinde olduğu rapor

edilmiştir (Purcaro vd. 2013, Lu vd. 2017 b). PAH'ların metabolik dönüşümlerinin bir örneği olarak, benzo[a]pyrene ve 7,12-dimetilbenzo antrasen (DMBA) 'nin metabolik yolu Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Benzo[a]pyrene' nin metabolik yolu (Rengarajan vd. 2015)



Şekil 2.5 7,12-dimetilbenzo antrasen'nin metabolik yolu (Rengarajan vd. 2015)

PAH bileşikleri organizmada etkileşime girerek, protein ve nükleik asitlerle kovalent olarak bağlanmış eklentilerin promotörleri; hücre mutasyonlarını ve sekanslı maligniteyi başlatırlar (Roseiro vd. 2012).

Çoğunlukla PAH bileşiklerinin P450 enzimiyle (CYP1A1, CYP1A2, CYP1B1) oksidasyonu, özellikle nükleik asitler ve proteinlerle etkileşime girebilen polar biyokimyasal reaktif elektrofilik metabolitlerin (nihai karsinojenik metabolitler) üretilmesi için aktivasyon işleminde ilk adımdır (Xue ve Warshawsky 2005).

PAH'ların biyotransformasyon işlemi, molekülün sitokrom P450 (CYP) kaynaklı bir epoksidasyonu ile başlar (Ramesh vd. 2004, Lawal 2017). PAH'ların vücuda girmelerinin ardından mide-bağırsak sisteminden emilerek kan dolaşımına, özellikle yüksek yağ içeriğine sahip birçok dokuya daha sonra da vücudun her tarafına yayılarak, karaciğerde fazla miktarda bulunan aril hidrokarbon hidroksilaz ile etkinleşir, proteinler ve nükleik asitler ile nükleofilik guanin bazlarının N₂ pozisyonuna kovalent olarak bağlanır ve ardından dihidrodiole hidroliz olurlar (Simko 2002, Simko 2005, Marques vd. 2011, Püssa 2013). Stabil eklentiler, temel olarak guanin veya adenin ekzosiklik amino grubunun biyolojik ve kimyasal olarak reaktif metabolik ara maddeye kovalent bağlanması yoluyla oluşturulur. Bu stabil eklentiler, çift sarmal DNA'da mutasyona ve tümöre neden olur (Banasiewicz vd. 2004).

Bu biyolojik işlemler epoksit, dihidrodiole, monohidroksi ve polihidroksi PAH'ları içeren çoklu metabolitlerin ve reaktif oksijen türlerinin oluşumuna yol açar (Xue ve Warshawsky 2005, Kumosani vd. 2012, Cachada vd. 2019). Ayrıca bu durum hücre homeostazisi ile etkileşime de neden olur (Chen ve Chen 2001). Bu metabolitler glukuronik asit ve glutasyon gibi konjugasyon formunda metabolize edilirler (Ince ve Ince 2019).

Meme ve diğer yağlı dokular PAH bileşiklerinin depo edildiği yerlerdir. PAH ve metabolitlerinin en yüksek düzeyde bulunduğu organ ise kalın bağırsaktır. Böbrek yolu ile atım oranı ise % 1-3 kadardır. Genellikle küçük iki veya üç halkalı PAH metabolitleri tercihen idrarla atılır; daha yüksek molekül ağırlıklı PAH metabolitleri ise dışkı ile atılır (Ramesh vd. 2004).

PAH'ların karsinojenik ve mutajenik etkileri üzerine yapılmış oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. PAH'ların karsinojenik etkileri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda deney hayvanları üzerinden bilimsel veriler elde edilmekte ve bu sonuçlar tüketici gruplarının beslenme alışkanlıkları ve kanser oluşumu verileri ile birlikte değerlendirilmektedir. Yapılan birçok araştırma ve bilimsel çalışmalara ait veriler, PAH'ların göz tahrişi, bulantı, diyare ve kasılma nöbetleri gibi akut etkiler, katarakt, böbrek ve karaciğer hasarı ve sarılık gibi kronik etkiler ve başta kolon, prostat, mide ve meme kanseri gibi birçok kanser türü ile yakından alakalı olduğunu ortaya koymuştur. Ancak burada PAH bileşiğinin tek başına sorumlu olmadığı önem verilmesi gereken konuların başında gelmektedir (Püssa 2013).

PAH bileşiklerinin toksite mekanizmasının membran ile ilgili enzim sistemini ve hücre membranının normal fonksiyonunu etkileyerek toksiteye neden olduğu düşünülmekte ve karsinojenik ve mutajenik etkilerinin yanı sıra ve güçlü immünosupresif oldukları da gösterilmiştir.(Rengarajan vd. 2015).

Çeşitli PAH bileşiklerinin özellikle BaP'nin deri ile teması, solunması, intravenöz enjeksiyon ve oral yollardan alındıktan sonra deney hayvanlarında tümör oluşumunu desteklediği gösterilmiştir (Ramesh vd. 2004). Multi faktöriyel kanser nedenleri ve hayvanlardan insanlara toksik geçişin karmaşık olmasından dolayı, sağlık riski oluşturan PAH seviyelerinin belirlenmesi mümkün olmamıştır. (Moret ve Conte 2002).

Wallin vd. (2011), et tüketimi ile yumurtalık kanseri arasındaki pozitif ilişkiyi; Domingo ve Nadal (2017), etlere uygulanan işlemlerin kolon kanseri riskini arttırdığını, Choi vd.(2016), yüksek oranda kırmızı et ve işlenmiş et tüketiminin menopoz sonrası meme kanseri riskini artırabileceğini, diğer araştırmacılar da PAH'ların insanlarda ve hayvan modellerinde akciğer, meme özofagus, pankreas, mide, kolorektal, mesane, cilt prostat gibi kanserler arasında pozitif bir ilişki olduğu gösterilmiş (Chen ve Chen 2001, Armstrong vd. 2004, Cross vd. 2005, Sinha vd. 2005, Steck vd. 2007, Purcaro vd. 2009, Xia vd. 2010, Li vd. 2016, Lawal 2017), aynı zamanda sıvısal ve hücrel bağışıklığı baskılayarak immün sistemini etkilediği, canlılarda bağışıklık sistemini baskılama,

lenfoid hücrelerde adoptoza ve deri lezyonlarına neden olduğu belirtilmiştir (Güneş 2016, Lee vd. 2016, Ramesh vd. 2004). Ayrıca hayvan modellerinde yapılan deneysel verilerde, bu bileşiklerin bazılarının karaciğer, hematolojik, immünolojik etki ve arteriyoskleroz gelişim gibi birçok sağlık etkisine neden olabileceğini gösterilmiştir (Manda vd. 2012).

EFSA'nın yayınladığı raporda, PAH'ların teratojenik, hematolojik ve immünotoksik etkilerinin olduğu özellikle, benzo[a]pyrene bileşiğinin fare ve sıçanlar da gastrointestinal sistem tümörleri, karaciğer, akciğer ve meme bezi tümörüne yol açtığı rapor edilmiştir (Anonymous 2008).

PAH bileşiklerin karsinojenik etkilerinin yanı sıra, bu bileşiklere maruz kalan fetüs ve yeni doğanlar üzerinde de olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir PAH maruziyetinin düşük IQ, düşük doğum ağırlığı, büyüme geriliği, endokrin sistemlerin bozulması, küçükbaş çevresi, deoksiribonükleik asit (DNA) hasarına neden olduğu da bildirilmiştir. (Ince ve Ince 2019) Ayrıca bu bileşiklerin diabetes mellitus (DM), hipertansiyon, dislipidemi ve kardiyovasküler hastalıklar gibi genotoksik olmayan hastalıkları tetikledikleri, antioksidan savunma sistemini bozdukları ve oksidatif stresten de sorumlu oldukları da bildirilmektedir (Kumosani vd. 2012, Bansal ve Kim 2015, Hu vd. 2015). Ancak bazı çalışmalarda karın bölgesi tümörleri ile tütülenmiş et tüketimi arasında bir ilişki olduğu belirlense de bunların nitrat veya nitrozaminlerden de kaynaklanabileceği vurgulanmıştır (Ekici 2012).

2.6 Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) için yasal düzenlemeler

Et ve et ürünlerinde PAH'ların mevcudiyeti ve farklı biyolojik etkiye sahip bireysel karsinojenlerin değişken konsantrasyonlarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanması ile ilgili problemler göz önüne alındığında, ilk kez 1973 yılında BaP bileşiğinin varlığı Almanya'da tütülenmiş gıdalardaki toplam PAH'ların varlığının genel göstergesi olarak kabul edilmiştir (Simko 2002). Bu sebepten dolayı bu bileşiğin limitlerini bilmek önem arz etmektedir. 1973 yılında Almanya'da dumanlanmış etlerde

BaP'in kabul edilebilir üst sınırı 1 µg/kg iken bu oran daha sonraları Avrupa Birliği tarafından 0.03 µg/kg olarak bildirilmiştir (Stolyhwo ve Sikorski 2005).

Avrupa Komisyonunun, ilk kez 2005 yılında, 466/2001 (36) sayılı Yönetmeliği (EC) değişmiş, 208/2005 sayılı Tüzük (EC) ile ilk kez BaP için maksimum seviyeleri belirlenmiştir. 2006 yılında 1881 sayılı yönetmelik ile gıda maddelerinde BaP maksimum seviyeleri ile ilgili düzenleme yapılmıştır (Zelinkova ve Wenzl 2015). 2005 ve 2008 yıllarında Avrupa Komisyonu, farklı gıda maddeleri içinde PAH'lar için maksimum sınırlar koymuştur. Daha sonraları SCF ve JECFA kuruluşları da B[a]P'nin gıdalarda PAH'ların oluşumu ve karsinojen etkisi için bir işaretleyici olarak kullanılması gerektiğini önermiştir.

Avrupa Birliği Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) gıdalarda bulunan PAH düzeylerini yansıtmada, tek başına BaP yerine Σ PAH4'ün (BaP, BaA, BbFlu, Chr toplamı) ve Σ PAH8'den (BaP, BaA, BbFlu, Chr, BkFA, BghiP, DBahA ve IP toplamı) daha iyi bir indikatör olduğunu belirtmiştir. Ancak Σ PAH8'in Σ PAH4'e kıyasla daha iyi bir indikatör olmadığı için yasal düzenlemelerde Σ PAH8 için bir maksimum limit belirtilmediği ifade edilmiştir (Anonymous, 2008).

Bu sebepten dolayı 2014 yılında EFSA PAH'ların oluşumu ve toksisitesi ile ilgili mevcut verileri tekrar gözden geçirmiştir. Avrupa Komisyonu (EU) tarafından bildirilen değerlere göre tütülenmiş et ürünlerinde maksimum BaP düzeyinin 2 µg/kg'ı; PAH4 toplamının ise 12 µg/kg aşmaması gerektiği, Türk Gıda Kodeksine göre ise tütülenmiş et ürünlerinde BaP'in kabul edilebilir maksimum limit değeri 2,0 µg/kg ve PAH4 toplamı 12 µg/kg olarak bildirilmiştir (Anonim 2011).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Dönerlerin hazırlanması

Çalışmada materyal olarak Menpet Petrol Turizm İşletmecilik Gıda Tekstil Sanayi Ticaret A.Ş.'nin Ankara'da bulunan işletmesinin kendi tedarikçilerinden aldığı, kontrolleri yapılmış ve soğuk zinciri bozulmadan işletmeye getirilmiş sığır ve tavuk etleri kullanılmıştır. Et dönerler için, iki yaşındaki Holstein ırkı danaların kemiklerinden ayrılmış etler, tavuk döner üretimi için; tedarikçilerden günlük olarak alınan 42 günlük etlik piliçlerden elde edilen tavuk göğüs ve but etleri (% 50 but- % 50 göğüs) kullanılmıştır.

Dana eti görünür yağlarından ve bağ dokudan arındırılarak yaprak olarak ayrıştırılmıştır. Tavuk but etleri ise sadece bağ dokularından ayrıştırılarak kullanılmıştır. Döner üretimi için; kemiğinden ayrılmış olan etler et açma ünitelerinde uygun büyüklükte 6-8 mm kalınlıkta, kas liflerine yatay bir düzlemde yapraklar halinde açılmıştır. Kuyruk yağı da 6-8 mm kalınlıkta yapraklar halinde açılmıştır (Kütlece % 5 kuyruk yağı). Etler süt, soğan suyu, maden suyu, tuz ve karabiber içeren, tavuklar ise tavuk göğüs eti, but eti, süt, domates salçası, kırmızı pul biber, kırmızı toz biber, kekik, tuz ve karabiber içeren marinasyon sosu ile terbiyelenmiştir (kütlece % 15 marinasyon sosu). Bu işlem sonrasında, sosun ete daha iyi nüfuz etmesi için dönerlerin et yüzeyi streç film ile kaplanarak 12 saat süresince 4 °C'de muhafaza edilmiştir. 12 saat marinasyon süreci sonrasında döner şişlerine takılarak, traşlanmış ve pişirme işlemine geçilmiştir.

Denemede kullanılan et ve tavuk dönerler, Türk Gıda Kodeksi (TGK)- Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'ne (2018/52) uygun olarak üretilmiştir. Et ve tavuk dönerler; et dönerler yağ oranı kütlece en çok % 25 olacak şekilde; tavuk dönerler ise yağ oranı kütlece en çok % 20 olacak şekilde az yağlı ve çok yağlı olacak şekilde iki grup olarak üretilmiştir.

3.1.2 Deneme planı

Çizelge 3.1’de yer alan deneme planına göre 5’er kg lık dikdörtgen sarım olarak hazırlanan et ve tavuk dönerlerde, iki farklı yağ içeriği (az yağlı ve çok yağlı), iki farklı pişirme süresi (orta pişmiş ve çok pişmiş) ve üç farklı pişirme yöntemi (gazlı, kömürlü ve elektrikli) faktör olarak seçilmiştir. Deneme üç tekerrürlü olarak kurulmuş olup sonuçlar üç tekerrürün ortalaması üzerinden verilmiştir.

Çizelge 3.1 Et ve tavuk döner deneme planı

Döner tipi	Yağ içerikleri	Pişirme yöntemleri	Pişirme süresi	Pişirme mesafesi (cm)
Et döner	Az yağlı	Gazlı	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Kömürlü	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Elektrikli	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
	Çok yağlı	Gazlı	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Kömürlü	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Elektrikli	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
Tavuk döner	Az yağlı	Gazlı	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Kömürlü	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Elektrikli	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
	Çok yağlı	Gazlı	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Kömürlü	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	
		Elektrikli	Orta pişmiş T1	10
			Çok pişmiş T2	

Et dönerler için T1:120 sn, T2: 165 sn.

Tavuk dönerler için T1:75 sn, T2: 105 sn.

3.1.3 Pişirme koşulları

Et ve tavuk dönerlerin pişirilmesi Çizelge 3.2’de belirtilen pişirme koşullarına uygun olarak yapılmıştır. Farklı yağ içeriklerine sahip et ve tavuk dönerlerde gazlı ve elektrikli döner ocağında 20 dk ve kömürlü döner ocağında 30 dk ön pişirme işleminden sonra tıraşlama işlemi yapılmıştır.

Çizelge 3.2 Et ve tavuk dönerlere ilişkin pişirme koşulları

Pişirme Yöntemleri	ET DÖNER		TAVUK DÖNER	
	Pişirme Süresi (sn)		Pişirme Süresi (sn)	
	Orta Pişmiş (115 °C)	Çok Pişmiş (130 °C)	Orta Pişmiş (115 °C)	Çok Pişmiş (130 °C)
Gazlı	120	165	75	105
Kömürlü	120	165	75	105
Elektrikli	120	165	75	105

İnfrared termal kamera ile dönerlerin yüzey sıcaklıkları orta pişeceklerde (T1) $115\pm 5^{\circ}\text{C}$ ve çok pişeceklerde $130\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ulaştıktan sonra Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi ön denemelerle belirlenen sürelerde ve belirlenen sabit bir pişirme mesafesinde pişirilmişlerdir. Pişen et ve tavuk dönerlerden örnek kalınlıkları ortalama 3 mm olacak şekilde kesim yapılmıştır. Kesim işleminin bitiminde elde edilen dönerlerin tümü tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Bu bağlamda 24 farklı grup elde edilmiştir.

Çalışmada üç radyanlı manuel ısı kontrollü gazlı döner ocağı (Atalay Mutfak Sanayi), üç bölmeli kömür ocağı (Anadolu Kuzine) ve üç radyanlı seren camlı elektrikli döner ocağı (Tunceri Ankara Mutfak Sanayi A-100 DO) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan gazlı döner ocağı ve elektrikli döner ocağı 2 kademe derecesinde çalıştırılmıştır. Kömürlü döner ocağında yakıt olarak ise biyo briket kömürü (Texas fire) kullanılmıştır.

Dönerlerin pişirilme süreleri hakkında bilimsel yayınlarda ve yasal mevzuatta bir kriter olmadığından, ön denemelerle belirlenen değerler esas alınarak pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.1.4 Örneklerin alınması

Deneme planına göre Çizelge 3.1’de belirtilen pişirme mesafesi ve Çizelge 3.2’de verilen pişirme sürelerinde pişen et ve tavuk dönerlerden, boydan kesim yapılarak alınan örnekler 1’er kg olacak şekilde ambalajlanmış ve 0-4 °C’de soğuk zincir bozulmadan uygun koşullarda laboratuvara sevki sağlanmıştır. Analizler, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir.

Analizler öncesi, her bir pişmiş döner grubu kendi içerisinde homojenize edilmiş ve analize alınacak örnekler bu karışımdan tartılmıştır. Farklı yağ içeriğine sahip (az yağlı ve çok yağlı) çiğ döner örneklerinin ve farklı pişirme yöntemleri ve süreleri kullanılarak pişirilen pişmiş döner örneklerinin genel bileşimini belirlemek ve kalite parametrelerindeki değişimi incelemek amacıyla nem, protein, toplam yağ, kül, pH, TBARS, Minolta renk tayin cihazı ile L*, a*, b* renk analizi ve polisiklik aromatik hidrokarbon analizleri yapılmıştır.

3.2 Analiz Yöntemleri

3.2.1 Kimyasal bileşim

Nem analizi

105 °C’de kurutulduktan sonra darası alınmış kuru madde kaplarına 5 gram civarında örnek tartılarak, 105 °C’taki etüvde (Zhicheng 2RD-5110) sabit ağırlığa kadar kurutulmuş ve tartım farkından örnekteki % nem miktarı hesaplanmıştır (AOAC 2000).

Protein analizi

Kjeldahl yöntemine göre örneklerin % azot miktarı belirlendikten sonra bu değer 6,25 faktörü ile çarpılarak örneklerin % protein miktarı hesaplanmıştır (AOAC 2000).

Yağ Analizi

Soxhelet düzeneği kullanılarak sıcak ekstraksiyon metodu ile örneklerin % yağ miktarı gravimetrik olarak belirlenmiştir (AOAC 2000). Analizde çözügen olarak petrol eteri kullanılmıştır.

Kül analizi

Önceden 105°C'teki etüvde 18 saat bekletilerek sabit tartıma getirilen ve darası alınan kül krozelerine 3 g civarında örnek tartılmış ve 105°C'teki etüvde örnek 3-4 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 550 °C'teki kül fırınında sıcaklık kademeli bir şekilde artırılarak gri-beyaz kül rengi elde edilinceye kadar yakılmıştır. Krozeler tartım sıcaklığına soğutulduktan sonra ağırlıkları belirlenmiş ve tartım farkından örnekteki % kül miktarı hesaplanmıştır (AOAC 2000).

3.2.2 pH değeri

pH değerini belirlemek amacıyla homojen hale getirilmiş örnekten 10 g tartılıp üzerine 100 ml saf su ilave edilerek örnek Ultraturax (Micra D9, Germany) yardımıyla 1 dakika süreyle homojenize edilmiş, örneğin pH değeri 4,0-7,0 tampon çözeltileri ile kalibre edilmiş pH-metrede (Hanna HI 221, Ann Arbor, Michigan, USA) oda sıcaklığında okunmuştur (Vural ve Öztan 1996).

3.2.3 L*, a*, b* renk değerleri

L*, a*, b* renk ölçümü pişmiş ürün gruplarında gerçekleştirilmiştir. Her bir tekerrür için farklı örneklerin 4 farklı noktasından ölçüm alınmıştır. Ölçüm, Minolta kolorimeter (CR 300, Japan) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. L* (açıklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarıklık) koordinatlarını simgelemektedir (Pedreschi vd. 2005).

3.2.4 TBARM değeri

Tiyobarbitürik asit reaktif madde (TBARM) analizinde, 10 g et örneği 30 mL triklor asetik asit (TCA- % 7.5) çözeltilisinde ultraturrax (Micra D9, Germany) kullanılarak homojenize edilmiştir. Homojenizat, 10000 rpm'de 5 dk boyunca santrifüjlendikten (Hermle Z326K, Germany) sonra Whatman No:40'dan süzölmüştür. 5 mL süzöntü vidalı kapaklı cam test tüplerine aktarılmış ve üzerine 5 mL 0.02 mol/L derişimindeki TBA çözeltilisinden (0.1 N HCl çözeltilisinde hazırlanan) ilave edilmiştir. Kör olarak 5 mL saf su ve 5 mL TBA çözeltisi kullanılmıştır. Karışım vortexlenmiş ve 35 dk boyunca 100 C'taki su banyosunda bekletilmiştir. Süre sonunda tüpler soğuk su banyosunda hızla soğutulurak 532 nm'de köre karşı okuma yapılmıştır (Perkin Elmer UV/VIS Spectrophotometer Lambda 35, USA). Örnekleredeki TBARM değeri, TEP ayıracı kullanılarak çizilen kurve yardımı ile mg MA/kg örnek olarak hesaplanmıştır (Mielnik vd. 2006).

3.2.5 Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) analizi

3.2.5.1 PAH'ların ekstraksiyonu

Döner örneklerinden PAH'lar, Bartkiene vd. (2017) ve Rozentale vd. (2015) araştırmacıları tarafından belirlenen yöntem baz alınarak ekstrakte edilmiştir. Yönteme göre önceden homojen hale getirilmiş döner örnekleri 5 g olacak şekilde tartılmış, üzerine 15 g susuz sodyum sülfat (Merck, Darmstadt, Germany) edilerek bir spatöl sayesinde iyice karıştırılmıştır. Üzerine 50 mL diklorometan / n-heksan (1:1, v/v) (Merck, Darmstadt, Germany, HPLC grade) ilave edilerek 500 rpm devirde 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. 1 saat sonunda üstteki berrak faz alınarak ayrılmış, kalan tortulu kısma tekrar 25 mL diklorometan/ n-heksan (1:1, v/v) eklenerek 30 dakika boyunca yeniden manyetik karıştırıcıda yüksek devirde karıştırılmıştır. Süre sonunda daha önce toplanan çözenli kısım ile diğer tortulu kısım kaba filtre kağıdından süzölmüştür. Toplanan filtratlar rotary balonuna alınmış, rotary evaporator (Heidolph, Laborota 4003, Schwabach, Germany) yardımıyla 40°C'de vakum altında kalan diklorometan/ n-heksan ayrılmıştır.

3.2.5.2 PAH'ların saflaştırılması

PAH'ların saflaştırılmasında Moret ve Conte (2002)'in çalışması baz alınmıştır. Ekstraksiyon sonucu elde edilen yağ yalnızca PAH'ları içermekle kalmayıp yağda çözünen diğer bileşenleri de içermektedir. Dolayısıyla HPLC'de analizi interfere edecek diğer unsurları elemine etmek için bir saflaştırma basamağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla tek kullanımlık Mega BE-SL (Agilent, 5 gm 20 mL) katı faz ekstraksiyon (SPE) kartuşları kullanılmıştır. Toplanan matrikslerin yer aldığı içerik 10 ml'lik balon jojeye aktarıldıktan sonra ve balon hacmi kadar n-heksan'la tamamlanıp karıştırılmıştır. Tek kullanımlık kartuşlar vakum monifolduna yerleştirilerek sırasıyla 20 ml diklorometan ve 20 ml n- heksan ile şartlandırılmıştır. Örneği yüklemeye hazır hale gelen kartuşa 1 ml numune yüklenerek akış hızı 1 ml/sn. olacak şekilde sistemden geçirilmiştir. Daha sonra kartuştan 6 ml diklorometan/n-heksan (70/30) karışımı geçirildikten sonra bütün bu işleme kadar toplanan kalıntılar atılmıştır. Kartuştan 10 ml diklorometan/n-heksan (70/30) aynı akış hızı altında geçirilerek, saflaştırılan ekstrakt kısmı azot gazı altında uçurulmuştur. Uçurulan kısım 1 ml asetonda çözüldürülerek, 2 ml'lik amber viallere alınmıştır. Elde edilen ekstraktlar HPLC'ye enjekte edilmeden önce 0.45 µm (Millipore, MA, A.B.D.) filtreden filtre edilmiş ve analiz anına kadar 18°C'de depolanmıştır.

3.2.5.3 HPLC analizi

HPLC ile PAH'ların belirlenmesi ve tanımlanması, UV-Vis dedektörlü HPLC (Agilent 1260, Infinity) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kromatografik ayırım Restek Pinnacle II PAH (4µm; 250 mm x 4,6 mm ID), 0-5 dk, %60 B; 30-35 dk, % 100 B; 35-40 dk, % 60 B gradiyent programı kullanılarak, 230 nm dalga boyunda, akış hızı 1 mL/dk olacak şekilde 40° C de yürütülmüştür. Mobil faz A için ultra saf su, mobil faz B için ise asetonitril kullanılmıştır. Son ekstrakttan 5 µL alınarak sisteme enjekte edilmiştir. PAH bileşiklerinin tanımlanması; standart maddelerin UV-Vis dedektöründe elde edilen geliş sürelerinin karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Dost ve Ideli, 2012, Liu vd. 2011).

Örneklerdeki PAH konsantrasyonu ise farklı konsantrasyonlardaki (2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm ve 10 pmm) mikslerle hazırlanmış standart kurve kullanılarak

belirlenmiştir. Bu kurvelere ait regresyon eğrisi (bileşenlerin pik alanlarına karşılık gelen nanogramları kullanılarak) standart mix solüsyonunun her bir bileşeni için hesaplanmıştır.

3.2.6 PAH alım düzeyi

Az yağlı ve çok yağlı et ve tavuk dönerlerinde PAH alım düzeyleri (μg) Lu vd. (2017a) çalışması baz alınarak hesaplanmıştır.

3.2.7 İstatistik analiz

Araştırma, tesadüf blokları faktöriyel deneme düzeninde kurulmuştur. Gruplar arasında incelenen özellik bakımından fark olup olmadığı ANOVA (Tesadüf Bloklarında Faktöriyel Deneme) testi kullanılarak belirlenmiş ve gruplar arasındaki farklılığın önemlilik düzeyi ($\alpha=0,05$) Tukey's çoklu karşılaştırma testi kullanılarak ölçülmüştür. Az yağlı ve çok yağlı et ve tavuk dönerler için üç farklı pişirme yönteminin (gazlı, kömürlü ve gazlı ocak) ve iki farklı pişirme süresinin (orta ve çok pişmiş) interaksiyon etkileri incelenmiştir. İkili ve üçlü interaksiyonun önemsiz olduğu durumlarda ise "döner tipi" (az yağlı ve çok yağlı), "pişirme yöntemi" ve "pişirme süresi" uygulamalarının tekli etkileri değerlendirilmiştir. İstatistik analizler MİNİTAB 16 ve MSTAT istatistik programlarında yürütülmüştür.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Çiğ et ve tavuk dönerlere ilişkin sonuçlar

4.1.1 Kimyasal bileşim ve pH değeri

Çiğ et ve tavuk dönerlerin kimyasal bileşimine ve pH değerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Çiğ az yağlı ve çok yağlı et dönerlerde nem içeriği % 68.47-66.10 olup, protein miktarı % 16.05- 17.77, yağ miktarı % 10.71- 16.38, kül miktarı % 1.47-1.57 ve pH değeri 5,88-5,86 olarak belirlenmiştir. Farklı yağ içeriklerine sahip çiğ az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin nem içeriği ise sırasıyla % 65.43- 66.93 olup protein miktarı % 15.50- 19.10, yağ miktarı % 11.68- 16.64, kül miktarı % 1.73-1.90 ve pH değeri 6.04-6.10 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 Çiğ et ve tavuk dönerlerin kimyasal bileşimi (nem, yağ, kül, protein) ile pH değerleri

Döner Tipi		pH	Nem (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)
Çiğ Et	Az yağlı	5.88±0.22	68.47±0.38	17.77±0.27	10.71±0.85	1.57±0.08
	Çok yağlı	5.86±0.23	66.10±0.23	16.05±0.07	16.38±0.41	1.47±0.06
Çiğ Tavuk	Az yağlı	6.04±0.08	66.93±1.03	19.10±0.15	11.68±1.22	1.90±0.03
	Çok yağlı	6.10±0.12	65.43±0.85	15.50±1.47	16.64±0.41	1.73±0.08

Ortalama±Standard hata (n=3)

TGK-Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği’nde (2018/52) et dönerlerin yağ miktarını maksimum % 25; kanatlı eti döneri için ise yağ içeriği için maksimum % 15 olarak belirlenmiştir. TS 11859’a göre ise çiğ dönerlerin pH değerleri 5.2- 6.3 ve protein miktarı en az % 12 olarak bildirilmiştir. Çalışmada çiğ dönerler için tespit edilen kimyasal bileşim değerleri hem ilgili tebliğ hem de standartta belirlenmiş kriterleri karşılamaktadır.

Kayıoğlu vd. (2003) Tekirdağda satılan dönerlerde yaptıkları çiğ et dönerlerde pH değerlerini 5.87, nem içeriğini % 61.85, protein oranını % 18.28, yağ oranı % 16.46 ve kül içerikleri ise % 1.98 oranında; tavuk dönerlerde pH değerlerini 5.86, nem içeriğini % 61.28, protein oranını % 19.04, yağ oranı % 16.23 ve kül içerikleri ise % 1.94 olarak raporlamışlardır. Kılıç vd. (2003) marinasyon sosuna belirli konsantrasyonda sodyum kazeinat ve transglutaminaz ilave edilen tavuk dönerlerde pH değerlerini 6.0 ile 6.1 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Soncu vd. (2014), et proteinleri üzerine tumbling uygulaması ve sodyum tripolifosfatın etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, kontrol grubundaki marine edilmemiş çiğ döner etlerinde pH değerini 5.87; nem içeriğini % 71.16; protein içeriğini % 19.53; yağ içeriğini % 6.55 ve kül içeriğini ise % 1.55 düzeyinde rapor etmişlerdir.

Çalışmada elde edilen verilen yağ içerikleri hariç birçok araştırmacının sonuçlarına benzerlik göstermektedir (Kayıoğlu vd. 2003; Gençler ve Kaya 2004; Gönülalan vd. 2004).

4.1.2 TBARM değeri

Çiğ et ve tavuk dönerlerin TBARM değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çiğ et dönerlere ilişkin veriler incelendiğinde, oksidasyon testi olarak da kabul edilen TBARM analizine ilişkin veriler et dönerler için sırasıyla 0.82-0.89 mg MA/kg olduğu, tavuk dönerler için ise bu değer 0.88-0.98 mg MA/kg olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 Çiğ et ve tavuk dönerlerin TBARM içerikleri (mg MA/kg)

Döner Tipi	Çiğ Et Döner		Çiğ Tavuk Döner	
	Az yağlı	Çok Yağlı	Az Yağlı	Çok Yağlı
TBARM (mg MA/kg)	0.82±0.07	0.89±0.03	0.88±0.04	0.98±0.08

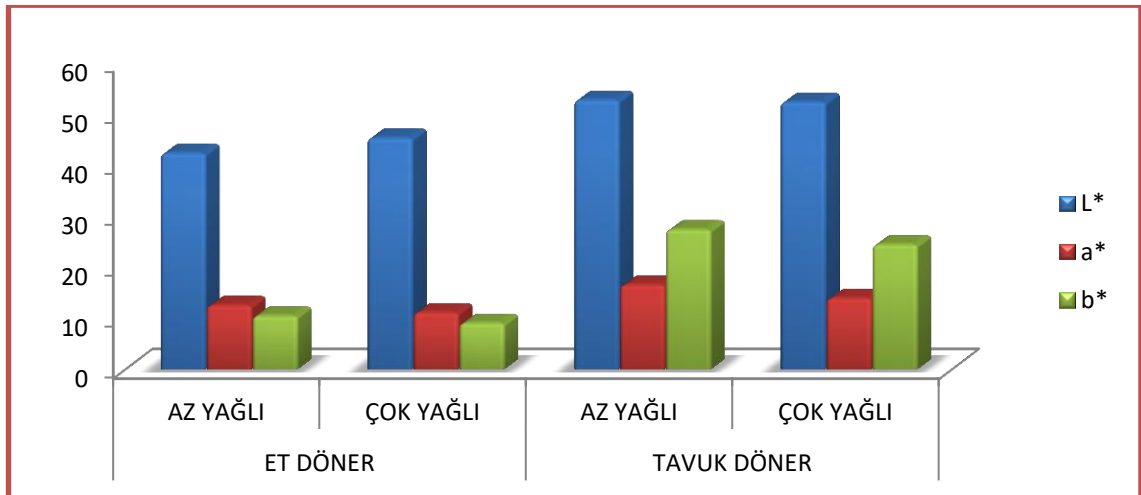
Ortalama±Standard hata (n=3)

Çiğ et ve tavuk dönerlerin TBARM içeriği açısından incelendiğinde ise çalışma sonuçları Öz Saraç vd. (2019) tarafından rapor edilen sonuçlara kıyasla daha düşük bulunurken, Soncu vd. (2014) sodyum tripolifosfat ve tumbling uyguladıkları çalışmada TBARM içeriği sodyum tripolifosfat uygulanmış gruplarda 0.22-0.43 mg MA/kg, kontrol grubunda ise 0.24-0.77 mg MA/kg arasında değişim gösterdiği, rapor edilen sonuçlara kıyasla çalışmamızdan elde edilen TBARM içeriği daha yüksek bulunmuştur.

4.1.3 L^* , a^* , b^* renk değerleri

Çiğ et ve tavuk dönerlerin renk değişimleri CIE L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri ölçülerek belirlenmiştir. Et ve tavuk örneklerindeki L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) renk parametrelerinde görülen değişim Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Çalışmada az yağ içeriğine sahip çiğ et döner için L^* , a^* ve b^* verileri sırasıyla 42.33, 12.56 ve 10.51; çok yağ içeriğine sahip et dönerlerde ise bu değerler 45.32, 11.18 ve 9.09 olarak tespit edilmiştir. Az yağlı çiğ tavuk dönerlerde ise L^* , a^* ve b^* verileri sırasıyla 52.73, 16.57 ve 27.39 iken; çok yağlı tavuk dönerlerde bu durum 52.34, 13.95 ve 24.45 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1 Çiğ et ve tavuk dönerlerin L^* , a^* ve b^* renk değerleri (n=3)

Soncu vd. (2014), döner etindeki oksidatif ve lipolitik değişimler üzerine tumbling uygulaması ve sodyum tripolifosfatın etkisi üzerine yaptıkları çalışmada çiğ et dönerde L^* değerindeki değişim istatistik olarak önemsiz iken, a^* değeri marinasyonun başlangıcında 16.14 iken marinasyonun 48. saatinde 20.46 olarak rapor edilmiştir. Ayrıca Soncu vd. (2014), sarılık renk koordinatı olan b^* değerinin ise 7.38 ile 8.20 arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir.

4.2 Pişmiş et ve dönerlerin analiz sonuçları tavuk

4.2.1 Kimyasal bileşim ve pH değeri

4.2.1.1 Et dönerlerin kimyasal bileşimi ve pH değeri

Pişmiş az yağlı ve çok yağlı dönerlerin kimyasal bileşimine ilişkin veriler Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Et dönerlerin pH değeri az yağlı et dönerlerde 6.04 ile 6.18 arasında; çok yağlı et dönerlerde ise 5.92 ile 6.30 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.3). Az yağlı ve çok yağlı döner grupları içerisindeki pH değerindeki değişimler incelendiğinde; pişirme yöntemlerinin ve pişirme sürelerinin pH değeri üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz bulunurken ($p>0.05$); yağ oranının pH değerindeki değişimlere etkisi ise önemli önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4).

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin nem içeriğine ilişkin sonuçlar da Çizelge 4.3’ de verilmiştir. Nem içeriği pişmiş et dönerlerde % 43.93 ile % 52.81 arasında değişim göstermiş, az yağlı et dönerlerin nem içeriği % 49.38 ile % 52.81; çok yağlı et dönerlerin nem içeriği ise % 43.93 ile % 46.19 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yapılan incelemede nem içerikleri pişirme süresinin artmasıyla azaldığı ve çok yağlı dönerlerin az yağlı dönerlere kıyasla nem oranının daha düşük olduğu gözlenmiş ve nem içeriği üzerine hem yağ oranının hem de pişirme süresinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5).

Çizelge 4.3 Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri

Döner Tipi		Az Yağlı			Çok Yağlı		
Pişirme Süresi		Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
pH	Orta	6.17±0.30	6.12±0.20	6.09±0.21	6.30±0.15	5.95±0.08	5.92±0.104
	Çok	6.18±0.27	6.06±0.18	6.04±0.17	6.03±0.13	5.96±0.1	5.96±0.08
Nem(%)	Orta	52.66±0.60	52.81±1.84	51.32±0.38	46.19±0.60	44.86±0.97	45.32±0.57
	Çok	49.38±0.84	49.73±1.56	49.67±0.50	44.61±1.49	43.93±1.88	43.99±1.06
Yağ(%)	Orta	18.33±0.91	20.61±0.94	18.47±0.81	25.86±1.36	27.31±2.30	25.93±0.92
	Çok	20.87±0.67	19.06±1.42	19.46±0.81	26.60±1.10	27.76±3.40	25.82±1.11
Protein (%)	Orta	24.35±0.15	24.06±1.01	25.69±0.69	24.07±0.07	25.13±1.30	25.60±0.79
	Çok	26.58±0.44	27.75±0.38	27.1±0.05	25.48±1.72	25.37±0.73	26.11±0.51
Kül(%)	Orta	2.30±0.02	2.44±0.0190	2.17±0.09	2.24±0.05	2.04±0.12	2.07±0.13
	Çok	2.49±0.121	2.46±0.12	2.39±0.26	2.45±0.22	2.18±0.17	2.26±0.19

Ortalama±Standard hata (n=3)

Sonuçlar incelendiğinde, çiğ az yağlı et dönerin nem içeriği % 68.47 olarak tespit edilmiş iken pişirme süresine bağlı olarak gazlı ocakta pişirme sonucunda sırasıyla yaklaşık olarak % 23 ve % 27.9; kömürlü ocakta pişirme sonucunda % 22.8 ve % 27.4; elektrikli ocakta pişirme sonucunda ise % 25 ve % 27.4 azalma gözlenmiştir. Çiğ çok yağlı dönerlerin nem içeriği ise % 66.10 tespit edilmiş, orta ve çok pişmiş dönerlerde gazlı ocakta pişirme sonucunda sırasıyla yaklaşık olarak % 30.1 ve % 32.5; kömürlü

ocakta pişirme sonucunda % 32.1 ve % 33.5; elektrikli ocakta pişirme sonucunda ise % 31.4 ve % 33.4 azalma gözlenmiştir. Et dönerlerde nem içeriğine pişirme yöntemlerinin etkisi incelendiğinde ise gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirmenin nem içeriğine etkisi hiçbir grupta önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Yapılan çalışmada yağ içeriğinin et dönerlerde % 18.33 ile % 27.76 arasında değiştiği gözlenmiştir (Çizelge 4.3). En düşük yağ içeriği az yağlı et dönerlerde gazlı ocakta orta pişmiş dönerlerde, en yüksek yağ içeriği ise çok yağlı et dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir. Bütün gruplarda pişirme süresine bağlı olarak yağ içeriğinde değişimler görülse de az yağlı ve çok yağlı döner gruplarının hiçbirinde bu değişim istatistik olarak önemli düzeyde olmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.4 Farklı yağ içeriğine sahip pişirilmiş et dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri

	Az yağlı	Çok yağlı	p değeri
pH	6.11±0.08 ^A	5.97±0.04 ^B	0.01
Nem(%)	50.93±0.51 ^A	44.89±0.46 ^B	0.00
Protein (%)	25.92±0.38 ^A	25.29±0.51 ^A	0.19
Yağ(%)	19.47±0.40 ^B	26.55±0.68 ^A	0.00
Kül(%)	2.38±0.06 ^A	2.21±0.06 ^B	0.02

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama±Standard hata (n=3)

Az yağlı ve çok yağlı döner gruplarında pişirme yöntemlerinin ve pişirme sürelerinin yağ içeriği üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz iken ($p>0.05$), grupların içerdiği yağ oranının, yağ miktarı üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4).

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerle yapılan çalışmada protein içeriğinin % 24.06 ile % 27.75 arasında değiştiği gözlenmiştir. En düşük protein oranının az yağlı dönerlerde kömürlü ocakta orta sürede pişirilmiş gruba ait olduğu, en yüksek protein oranı olan % 27.75 değerinin ise az yağlı dönerlerde kömürlü ocakta çok sürede pişirilmiş gruba ait olduğu görülmüştür.

Protein sonuçları incelendiğinde çiğ az yağlı et dönerlerin protein içeriği % 17.77, çok yağlı et dönerlerde ise %16.05 olarak tespit edilmiş ve pişirme süresi ile protein miktarı artmıştır. Bu artış az yağlı et dönerlerde gazlı ocakta orta pişmiş grupta % 37 ve çok pişmiş grupta % 49.6, kömürlü ocakta orta pişmiş grupta % 35.40 ve çok pişmiş grupta % 56.2 ve elektrikli ocakta orta pişmiş grupta % 44.57 ve çok pişmiş grupta ise % 52.5 olarak tespit edilmiştir. Çok yağlı et dönerlerde ise bu artış, gazlı ocakta orta ve çok pişmiş grupta sırasıyla % 50 ve % 58.8, kömürlü ocakta % 56.57 ve % 58.1 ve elektrikli ocakta % 59,50 ve % 62.7 olarak bulunmuştur. Çalışmada et dönerlerin protein içeriğine pişirme süresinin etkisi incelendiğinde protein içeriğinde pişirmeye bağlı olarak genel bir artış gösterdiği gözlenmiş ve pişirme süresinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.5).

Çalışmada et dönerlerin kül içeriği % 2.04 ile % 2.49 arasında değişim göstermiştir. Genel olarak dönerlerin kül içeriğinde pişirme süresine bağlı olarak artış gözlenmiştir. Örneklerin kül içeriğine pişirme süresinin ve yağ içeriğinin etkisi bütün gruplarda istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5) ($p<0.05$).

Çizelge 4.5 Farklı pişirme süresinde pişirilmiş et dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri

	Orta pişmiş	Çok pişmiş	p değeri
pH	6.05±0.07 ^A	6.04±0.07 ^A	0.83
Nem(%)	48.93±0.89 ^A	46.89±0.80 ^B	0.01
Protein(%)	24.82±0.35 ^B	26.40±0.35 ^A	0.00
Yağ(%)	22.75±1.01 ^A	23.26±1.04 ^A	0.42
Kül (%)	2.21±0.05 ^B	2.37±0.07 ^A	0.03

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama±Standard hata (n=3)

Gençer ve Kaya (2004) “*Yaprak dönerin Mikrobiyolojik Kalitesi ve Kimyasal Bileşimi*” konulu çalışmalarında Erzurum ili çevresinde bulunan farklı işletmelerden aldıkları pişmiş et döner numuneleri ile yaptıkları çalışmada ortalama pH değerini 5.77; nem içeriğini % 47.56; yağ içeriğini % 25.42; protein içeriğini % 22.59 ve kül içeriğini ise % 2.62 olarak bildirmişlerdir. Demircioğlu vd. (2013) ise pişmiş et dönerin nem

miktarını % 51.40, yağ oranını % 9.75, protein miktarını % 34.02 ve kül içeriği ise birçok araştırmadan yüksek olarak % 5.15 olarak rapor etmişlerdir. Kayışoğlu vd. (2003) ise piyasada satılan et dönerlerin ortalama pH değerini 5.99; nem içeriğini % 48.96; protein içeriğini % 25.01; yağ içeriğini % 15.24 ve kül içeriğini ise % 3.65 olarak rapor etmişlerdir. Gönülalan vd. (2004) et dönerlerde pH değerini 6.08; nem içeriğini % 58.26; protein içeriğini % 24.11; yağ içeriğini % 15.33 ve kül içeriğini ise % 2.50 olarak rapor etmişlerdir.

4.2.1.2 Tavuk dönerlerin kimyasal bileşimi ve pH değeri

Pişmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla nem, yağ, kül, protein analizleri ile pH ölçümü yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Tavuk dönerlerin pH değeri az yağlı dönerlerde 6.22 ile 6.39 arasında; çok yağlı dönerlerde ise 6.25 ile 6.35 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.6). En düşük pH değeri elektrikli ocakta orta pişirme süresinde pişirilmiş az yağlı et dönerlerde, en yüksek pH değeri ise gazlı ocakta orta pişirme süresinde pişirilmiş çok yağlı et dönerlerde ölçülmüştür. Az yağlı ve çok yağlı döner gruplarında yağ oranı ve pişirme sürelerinin pH değeri üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz bulunurken ($p>0.05$), pişirme yönteminin pH üzerine etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.7).

Tavuk dönerlerde pH değerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Gazlı ocakta pişirilen tavuk dönerlerin pH değerinin (6.36) elektrikli ocakta pişirilene (6.26) kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6 Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri

Döner Tipi		Az Yağlı			Çok Yağlı		
Pişirme Süresi		Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
pH	Orta	6.39±0.022	6.33±0.08	6.22±0.04	6.35±0.15	6.31±0.16	6.28±0.11
	Çok	6.36±0.13	6.27±0.07	6.27±0.07	6.33±0.16	6.27±0.09	6.25±0.09
Nem(%)	Orta	52.90±0.36	52.38±0.24	54.16±1.10	48.16±0.72	48.44±0.91	46.45±0.23
	Çok	50.59±1.04	49.80±0.52	50.80±1.02	44.04±0.40	45.07±1.58	43.95±0.90
Protein (%)	Orta	26.15±0.33	24.47±0.86	24.93±0.81	23.56±0.69	24.19±0.63	25.20±0.96
	Çok	27.33±0.27	26.63±0.49	26.43±0.75	27.24±0.36	26.31±1.59	26.42±1.32
Yağ(%)	Orta	17.74±0.68	19.87±1.39	17.74±0.25	25.46±0.57	25.90±1.61	25.21±0.68
	Çok	17.38±1.46	19.72±0.43	19.71±0.35	25.26±0.50	26.30±0.99	25.03±0.60
Kül(%)	Orta	2.45±0.20	2.45±0.28	2.66±0.18	2.36±0.22	2.38±0.33	2.21±0.17
	Çok	2.73±0.11	2.72±0.20	2.85±0.09	2.46±0.18	2.51±0.24	2.49±0.12

Ortalama±Standard hata (n=3)

Tavuk dönerlerin nem içeriğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.6’ da verilmiştir. Nem içeriği tavuk dönerlerde % 43.95 ile % 54.16 arasında değişmiştir. Az yağlı tavuk dönerlerin nem içeriğinin % 49.80 ile % 54.16 arasında; çok yağlı tavuk dönerlerin nem içeriğinin ise % 43.95 ile % 48.44 arasında değiştiği görülmüştür. Yapılan incelemede tavuk dönerlerin nem içeriğinin pişirme süresine bağlı olarak bütün gruplarda azaldığı tespit edilmiş, nem içeriği üzerine hem yağ oranının hem de pişirme süresinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9).

Çizelge 4.7 Tavuk dönerlerin pH değeri üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi

	Pişirme Yöntemleri		
	Gazlı pişirme	Kömürlü pişirme	Elektrikli pişirme
pH	6.36±0.07 ^A	6.30±0.05 ^{AB}	6.26±0.04 ^B

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Sonuçlar incelendiğinde, çığ az yağlı tavuk dönerin nem içeriği % 66.93 olarak tespit edilmiş iken pişirme süresine bağlı olarak gazlı ocakta pişirme sonucunda orta ve çok pişmiş dönerlerde sırasıyla yaklaşık olarak % 21.0 ve % 24.4; kömürlü ocakta pişirme sonucunda % 21.7 ve % 25.6; elektrikli ocakta pişirme sonucunda ise % 19.1 ve % 24.1 azalma gözlenmiştir. Çığ çok yağlı dönerlerin nem içeriği ise % 65.43 olduğu belirlenmiş, gazlı ocakta pişirme sonucunda orta ve çok pişmiş dönerlerde sırasıyla yaklaşık olarak % 26.4 ve % 32.7; kömürlü ocakta pişirme sonucunda % 26.0 ve % 31.1; elektrikli ocakta pişirme sonucunda ise % 29.0 ve % 32.8 azalma gözlenmiştir.

Çizelge 4.8 Farklı yağ içeriğine sahip tavuk dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri

	Az yağlı	Çok yağlı	p değeri
pH	6.31±0.05 ^A	6.30±0.05 ^A	0.75
Nem(%)	52.23±0.47 ^A	46.26±0.60 ^B	0.00
Protein (%)	25.99±0.32 ^A	25.60±0.48 ^A	0.21
Yağ(%)	18.77±0.40 ^B	25.53±0.68 ^A	0.00
Kül(%)	2.64±0.07 ^A	2.40±0.08 ^B	0.00

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama±Standard hata (n=3)

Tavuk dönerlerde nem içeriğine pişirme yöntemlerinin etkisi incelendiğinde, az yağlı döner gruplarında elektrikli ocakta orta sürede pişirilmişlerde, çok yağlı örneklerde ise kömürlü ocakta orta sürede pişirilmiş gruplarda daha yüksek nem içeriği tespit edilmiştir. Ancak bu durum hiçbir grupta önemli bulunmamıştır (p>0.05).

Çizelge 4.9 Farklı pişirme süresinde pişirilmiş tavuk dönerlerin nem, protein, yağ ve kül içerikleri ile pH değerleri

	Orta pişmiş	Çok pişmiş	p değeri
pH	6.31±0.05 ^A	6.29±0.04 ^A	0.56
Nem(%)	50.54±0.77 ^A	48.06±1.01 ^B	0.00
Protein(%)	24.82±0.32 ^B	26.73±0.34 ^A	0.00
Yağ(%)	22.69±1.00 ^A	22.70±0.89 ^A	0.73
Kül (%)	2.42±0.09 ^B	2.63±0.07 ^A	0.00

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama±Standard hata (n=3)

Yapılan çalışmada yağ içeriğinin tavuk dönerlerde % 17.38 ile % 26.30 arasında değiştiği gözlenmiştir (Çizelge 4.6). En düşük yağ içeriği az yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta çok pişmiş dönerlerde, en yüksek yağ içeriği ise çok yağlı tavuk dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir. Ancak bu durum, hiçbir grupta önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Az yağlı ve çok yağlı tavuk döner gruplarında uygulanan pişirme yöntemlerinin ve pişirme sürelerinin yağ içeriği üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz iken, grupların içerdiği yağ oranının yağ miktarı üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8) ($p<0.05$).

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerle yapılan çalışmada protein içeriğinin % 23.56 ile % 27.33 arasında değiştiği belirlenmiştir. Protein sonuçları incelendiğinde çığ az yağlı tavuk dönerlerin protein içeriği % 19.10, çok yağlı tavuk dönerlerde ise % 15.50 olarak tespit edilmiş ve pişirme işlemi ile protein miktarı artmıştır. Bu artış az yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta orta pişmiş grupta % 36,9 ve çok pişmiş grupta % 43.09, kömürlü ocakta orta pişmiş grupta % 28.1 ve çok pişmiş grupta % 39.4; elektrikli ocakta ise orta pişmiş grupta % 30,5 ve çok pişmiş grupta ise % 37.3 oranında olduğu tespit edilmiştir. Çok yağlı tavuk dönerlerde ise bu artış, gazlı ocakta orta pişmiş grupta % 52 ve çok pişmiş grupta % 75.4, kömürlü ocakta orta pişmiş grupta % 56,06 ve çok pişmiş grupta % 69.7 ve elektrikli ocakta ise orta pişmiş grupta % 62,58 ve çok pişmiş grupta % 70.4 olarak bulunmuştur. Çalışmada tavuk dönerlerin protein içeriğine pişirme süresinin etkisi incelendiğinde protein içeriğinde pişirmeye bağlı olarak genel bir artış

gösterdiği gözlenmiş ve pişirme süresinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.9).

Tavuk dönerlerin kül içerikleri % 2.21 ile % 2.85 arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). En düşük kül içeriği çok yağlı dönerlerde elektrikli ocakta orta pişmiş dönerlerde, en yüksek kül oranı ise çok yağlı dönerlerde çok pişirme süresinde elektrikli ocakta pişirilmiş örneklerde tespit edilmiştir. Genel olarak dönerlerin kül içeriğinde pişirme süresine bağlı olarak artış gözlenmiştir. Örneklerin kül içeriğine pişirme süresinin ve yağ içeriğinin etkisi bütün az yağlı ve çok yağlı tavuk döner gruplarında istatistik olarak önemli bulunurken ($p<0.05$), pişirme yönteminin kül içeriğine etkisi ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$) (Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9).

Vazgeçer vd. (2004) pişmiş tavuk döner numuneleri ile yaptıkları çalışmada ortalama pH değerini 6.03; nem içeriğini % 47.56; yağ içeriğini % 21.01; protein içeriğini % 26.17 olarak bildirmişlerdir. Kılıç (2003) yoğurt ve tuz ile marine edilmiş tavuk dönerlerde pH değerini 5.90 olarak rapor etmişlerdir. Kayısoğlu vd. (2003) yılında Tekirdağ bölgesindeki marketlerde satışa sunulan dönerlerle yaptıkları çalışmada tavuk dönerlerin pH değerini 6.07, nem içeriğini % 54.37, yağ içeriğini % 12.81, protein içeriğini % 27.89 olarak bildirmişlerdir.

4.2.2 TBARM değeri

Pişirme işlemi sonucu oluşan lipid oksidasyon düzeyini belirlemek amacıyla yapılan TBARM analizi, ikincil oksidasyon ürünü olan ve oksidasyon sonucu üründe biriken mutajenik ve karsinojenik özellikte bir bileşik olan malondialdehit (MA) düzeyi hakkında bilgi vermekle birlikte; oluşan malondialdehit (MA) düzeyi ürünün duyu kalitesinin belirlenmesinde de önemli rol oynamaktadır.

4.2.2.1 Et dönerlerin TBARM değerleri

Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilen et dönerlerde TBARM değerleri Çizelge 4.10' da verilmiştir. Çizelgeye göre, et dönerlerin TBARM içeriğinin 1.99 mg MA/kg ile 2.79 mg MA/kg arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir. En düşük

TBARM değeri az yağlı et dönerlerde gazlı ocakta orta pişmiş grupta (1.99 mg MA/kg) en yüksek TBARM içeriği ise çok yağlı dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş grupta tespit edilmiştir (2.79 mg MA/kg).

Çizelge 4.10 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin TBARM değerleri (mg MA/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı			Çok Yağlı			
	Piştirme Süresi	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme
TBARS	Orta	1.99±0.13	2.20±0.23	2.16±0.20	2.06±0.26	2.61±0.33	2.21±0.36
	Çok	2.24±0.22	2.31±0.10	2.33±0.17	2.10±0.05	2.79±0.48	2.31±0.39

Ortalama±Standard hata (n=3)

Yapılan araştırmada, pişmiş az yağlı ve çok yağlı döner gruplarında TBARM miktarında piştirme süresine bağlı olarak bir artış görülmüş, ancak bu artış istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Et dönerlerde TBARM miktarına piştirme yöntemlerinin etkisi incelendiğinde, az yağlı et dönerlerde en yüksek TBARM içeriği elektrikli ocakla çok pişmişlerde, çok yağlı et dönerlerde ise en yüksek TBARM içeriği kömürlü ocakta çok pişirilmiş döner gruplarında görülmüş ancak piştirme yöntemleri arasındaki farklılık da önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Özsaraç vd. (2019) tarafından rapor edilen TBARM değerleri bu çalışmada belirlenen TBARM değerlerine paralellik göstermektedir. Araştırmacılar yaprak ve karışım et ve tavuk dönerlerin TBARM değerlerinin 1.35 mg MA/kg ile 2.27 mg MA/kg arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Diğer literatürler ile kıyaslandığında ise; çalışmada et dönerler için tespit edilen TBARM değerleri, et dönerler üzerinde çalışan farklı araştırmacılar tarafından rapor

edilen değerlerden yüksek bulunmuştur (Gönülalan vd. 2004, Bingöl vd 2013, Ergönül ve Kundakçı 2006, Soncu vd. 2014).

4.2.2.2 Tavuk dönerlerin TBARM değerleri

Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilen tavuk dönerlerde TBARM değerleri Çizelge 4.11’ de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tavuk dönerlerin TBARM değerinin 1.54 mg MA/kg ile 2.16 mg MA/kg arasında olduğu gözlenmiştir. En düşük TBARM değeri az yağlı dönerlerde elektrikli ocakta orta pişmiş grupta tespit edilmiştir (1.54 mg MA/kg). En yüksek TBARM içeriği ise çok yağlı dönerlerde gazlı ocakta çok pişmiş grupta tespit edilmiştir (2.16 mg MA/kg).

Çizelge 4.11 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin TBARM değerleri (mg MA/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı ^B			Çok Yağlı ^A			
	Piştirme Süresi	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme
TBARS	Orta ^Y	1.67±0.13	1.84±0.28	1.54±0.16	2.00±0.20	1.86±0.17	1.85±0.21
	Çok ^X	1.85±0.04	2.04±0.31	1.85±0.07	2.16±0.19	2.11±0.19	2.02±0.17

A, B: Farklı yağ içeriğine sahip gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

X, Y: Farklı piştirme sürelerindeki gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Gazlı ocakta pişirilen az yağlı dönerlerin TBARM değeri orta piştirme süresinde 1.67 mg MA/kg iken artarak çok piştirme süresinde 1.85 mg MA/kg’e; kömürlü ocakta pişirilen örnekler orta piştirme süresinde 1.84 mg MA/kg iken artarak çok piştirme süresinde 2.04 mg MA/kg’e; elektrikli ocakta pişirilen örnekler orta piştirme süresinde 1.54 mg MA/kg iken artarak çok piştirme süresinde 1.85 mg MA/kg’e yükselmiştir. Çok yağlı tavuk dönerlerde de piştirme süresine bağlı olarak TBARM değerindeki değişim incelendiğinde, az yağlı dönerlerde olduğu gibi bütün piştirme yöntemlerinde pişirilmiş gruplarda TBARM değerinde piştirme süresine bağlı artış görülmüştür.

Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilen az yağlı ve çok yağlı tavuk döner gruplarında TBARM değerinde görülen değişimlere pişirme sürelerinin ve yağ oranının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Sonuç olarak bütün gruplarda pişirme süresine bağlı olarak TBARM miktarında artış görülmüştür. Yapılan incelemede tavuk dönerlerin TBARM içeriğinin pişirme süresine bağlı olarak bütün gruplarda arttığı tespit edilmiş, TBARM içeriği üzerine hem yağ oranının hem de pişirme süresinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.11).

Et ve et ürünlerinde meydana gelen oksidasyonun, ürünün hem besinsel hem de duyuşal kalitesini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Tüketime hazır iyi kalite bir üründe TBARM değeri maksimum 3 mg MA/kg düzeyinde olmalıdır (Soncu vd. 2014). Çalışmada elde edilen tavuk dönerlerin TBARM değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 2.16 mg MA/kg olduğu görülmüştür ki tüm gruplarda sonuçlar 3 mg MA/kg'ın altındadır.

4.2.3 Polisiklik aromatik hidrokarbon sonuçları

Et ve tavuk döner örneklerinin PAH oluşum düzeyinin belirlenmesinde 16 farklı PAH karışımını içeren (benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, 5-methychrysene, benzo(j)fluoranthene, benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, dibenzo[a,l]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenzo[a,e]pyrene, dibenzo(a,i)pyrene ve dibenzo(a,h)pyrene) PAH mikş standardı kullanılmış ve dönerlerde bu bileşiklerin tespiti amaçlanmıştır. Çalışmamızda et dönerlerde çeşitli düzeylerde 7 PAH bileşeni (benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene ve benzo[ghi]perylene tespit edilirken; tavuk dönerlerde et dönerlerde bulunan diğerk bileşiklerin yanısıra 5-methychrysene ile birlikte 8 PAH bileşeni tespit edilmiştir.

4.2.3.1 Geri kazanım

Araştırmada PAH analizi için metot validasyonu ve ölçüm belirsizliğini belirlemek amacıyla R^2 değerleri, geri kazanım oranları, belirleme sınırı (bs) ve tayin sınırı (ts) değerleri hesaplanmıştır. PAH'ların geri kazanımlarını belirlemek için standart ilave metodu kullanılmıştır. Metot validasyonunda “en az beş farklı konsantrasyonda” spike edilmiş örneklerde, “en az beş tekrarlı” olacak şekilde geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Pişmiş dönerlere ekstraksiyon öncesinde 1 ppm, 2ppm, 3 ppm, 4 ppm ve 5 ppm konsantrasyonlarda PAH karışımı eklenmiştir. Ardından yapılan analiz sonrası geri kazanım oranları belirlenmiştir.

PAH bileşenlerinin belirleme sınırı (LOD) ve tayin sınırı (LOQ) değerleri en küçük kareler regresyon hesaplama metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre, Çizelge 4.12’ de analizi yapılan PAH'ların regresyon çizgisinin katsayıları, geri kazanım yüzdeleri (%) ile belirleme sınırı (bs) tayin sınırı (ts) değerleri yer almaktadır.

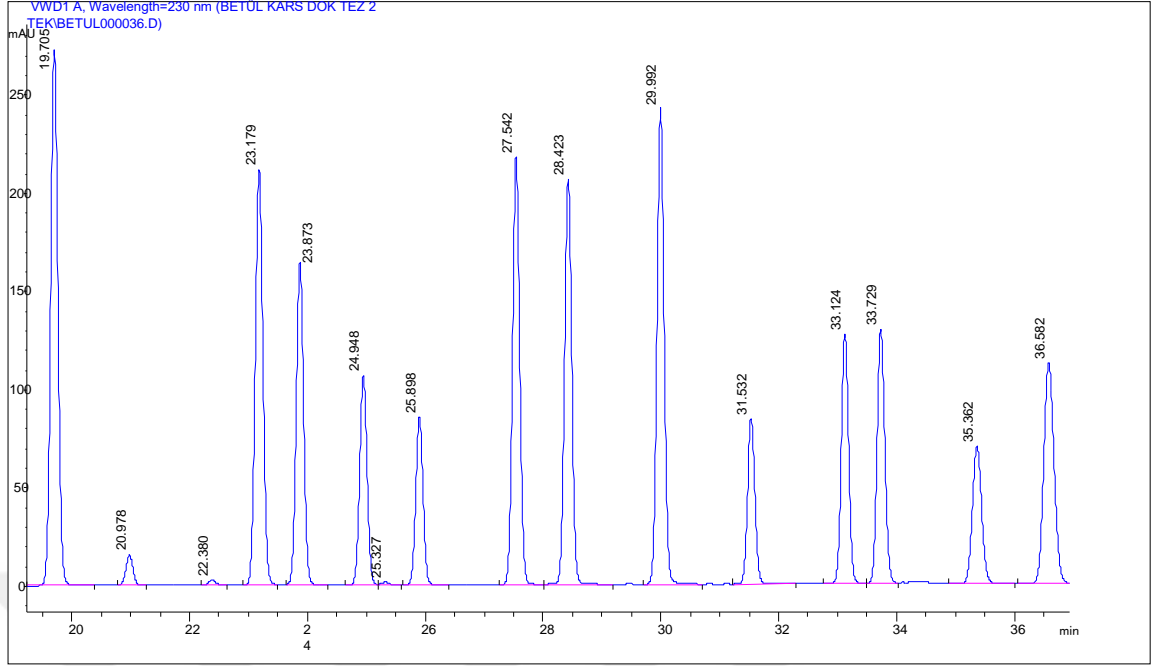
Örneklerdeki PAH konsantrasyonu ise farklı konsantrasyonlardaki (2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm ve 10 pmm) standart karışımları ile hazırlanmış standart kurve kullanılarak belirlenmiştir. Bu kurvelere ait regresyon eğrisi (bileşenlerin pik alanlarına karşılık gelen mikrogramları kullanılarak) standart karışım çözeltisinin her bir bileşiği için hesaplanmıştır. Bu standart karışımına ait kromatogram örneği Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.

Yapılan analizlerde PAH’ların piklerinin geliş zamanları yaklaşık olarak benzo[c]fluorene için 19.705 dk, cyclopenta[cd]pyrene için 20.976 dk, benzo[a]anthracene için 22.380 dk, chrysene için 23.179 dk, 5-methychrysene için 23.873 dk, benzo(j)fluoranthene için 24.948 dk, benzo[b]fluoranthene için 25.327 dk, benzo[k]fluoranthene için 25.898 dk, benzo[a]pyrene için 27.542 dk, dibenzo[a,l]pyrene için 28.423 dk, dibenz[a,h]anthracene için 29.992 dk, benzo[ghi]perylene için ise 31.552 dk, indeno[1,2,3-cd] pyrene için 33.124 dk, dibenzo[a,e]pyrene için 33.729 dk, dibenzo(a,i)pyrene için 35.362 dk ve dibenzo(a,h)pyrene bileşiği için ise 36.582 dk olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12 Analizi yapılan PAH'ların regresyon çizgisinin katsayıları (R^2), geri kazanımları ile belirleme sınırı (bs) ve tayin sınırı (ts) değerleri

PAH	R^2 değerleri	Geri Kazanım (%)	bs ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	ts ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
benzo[c]fluorene	0.9923	89.71	1.01	3.33
cyclopenta[cd]pyrene	0.9984	90.50	0.45	1.48
benzo[a]anthracene	0.9985	94.43	0.44	1.45
chrysene	0.9914	101.50	1.06	3.49
5-methychrysene	0.9911	91.51	1.08	3.56
benzo(j)fluoranthene	0.9923	75.56	0.58	1.91
benzo[b]fluoranthene	0.9911	81.11	0.34	1.12
benzo[k]fluoranthene	0.9915	77.11	0.87	2.87
benzo[a]pyrene	0.9901	86.60	1.14	3.76
dibenzo[a,l]pyrene	0.9912	63.12	0.78	2.57
dibenz[a,h]anthracene	0.9956	92.20	0.76	2.51
benzo[ghi]perylene	0.9933	93.12	0.94	3.10
indeno[1,2,3-cd] pyrene	0.9904	79.85	0.56	1.84
dibenzo[a,e]pyrene	0.9917	95.64	0.51	1.68
dibenzo(a,i)pyrene	0.9921	87.71	0.63	2.07
dibenzo(a,h)pyrene	0.9913	78.15	0.99	3.26

Purcaro vd (2009) tarafından tütsülenmiş etlerde örnek hazırlanmasını hızlandırmak amaçlı mikrodalga destekli ekstraksiyon kullanılarak yapılan araştırmada, PAH'lara ilişkin geri kazanımlar BaA için % 96.2, Ch için % 96.6, BaP için % 102.5, DBahA için % 90.8 ve BghiP bileşiği için % 86.2 olarak rapor edilmiştir.



Şekil 4.2 PAH bileşenlerini içeren standart mikse (10 µg/kg) ait kromatogram

Pena vd (2006) ise balık örneklerinde geri kazanım oranlarını BaA için % 92.3, BaP için % 94.4 ve DBaA bileşikleri için % 85.8 olarak rapor etmişlerdir. Oz ve Yuzer (2016) biftek ile yaptıkları bir çalışmada heterosiklik aromatik amin (HAA) ve polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşumu üzerine mangal türü (tel ızgara ve taş fırın) ile pişirme düzeyleri (az pişmiş, orta pişmiş, iyi pişmiş ve çok iyi pişmiş) etkileri araştırmışlardır. PAH bileşiklerinin geri kazanım oranlarını BaA için % 92.57, Ch için % 74.64, BaP için % 89.23 DBaA için % 55.13 ve BghiP bileşiği için % 70.07 olarak bildirmişlerdir.

4.2.3.2 Et dönerlerin PAH analiz sonuçları

Fast food ürünleri içerisinde tüketim oranı yüksek bir ürün olan et dönerlerde PAH oluşumu açısından riski ortaya koymak amacıyla 16 PAH bileşeni tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde az yağlı ve çok yağlı pişmiş et dönerlerde çeşitli düzeylerde 7 PAH bileşeni (benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene ve benzo[ghi]perylene bulunmuştur. Ayrıca az yağlı ve çok

yağlı dönerlerin PAH içeriğine ilişkin kromotogram örnekleri EK 1’de (Kromotogram 1 ve Kromotogram 2) verilmiştir.

4.2.3.2.1 Benzo[c]fluorene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[c]fluorene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14 ’de verilmiştir.

Araştırmada, et dönerlerde benzo[c]fluorene bileşiğinin <ts-8.32 µg/kg arasında değişen düzeylerde olduğu görülmüştür. Az yağlı dönerlerde benzo[c]fluorene bileşiğinin pişirme süresine bağlı değişimi incelendiğinde, gazlı ocakta orta pişirme süresinde tayin sınırının altında olan bileşiğin miktarı çok pişirme süresinde artış göstererek 3.53 µg/kg’a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 3.52 µg/kg olan bileşik 1.48 kat artışla çok pişirme süresinde 5.20 µg/kg yükselmiş; elektrikli ocakta ise orta ve çok pişirme süresinde bileşik miktarı tayin sınırının altında kalmıştır. Çok yağlı dönerlerde ise gazlı ocakta orta pişirme süresinde 3.51 µg/kg olan bileşik 1.82 kat artışla çok pişirme süresinde 6.41 µg/kg; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 4.74 µg/kg olan bileşik 1.76 kat artışla çok pişirme süresinde 8.32 µg/kg yükselmiş; elektrikli ocakta ise orta pişirme süresinde tayin sınırının altında olan bileşiğin miktarı artış göstererek 3.45 µg/kg yükselmiştir.

Çizelge incelendiğinde en düşük benzo[c]fluorene oluşumunun tayin sınırının altında kalan gruplarda olduğu, en yüksek bileşik oluşumunun ise çok yağlı dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş döner gruplarında olduğu gözlenmiştir.

İstatistik analizi sonucunda benzo[c]fluorene bileşiğinin oluşumuna farklı yağ oranı ve pişirme yöntemlerinin (yağ oranı*ocak tipi interaksiyonu); farklı yağ oranı ve pişirme sürelerinin (yağ oranı*pişirme süre interaksiyonu) ve farklı pişirme yöntemleri ve sürelerinin (pişirme yöntemi*pişirme süre interaksiyonu) ikili interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi	Az Yağlı				Çok Yağlı				
	Piştirme Süresi	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme	ORT	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme	ORT
Benzo[c]fluorene	Orta	<ts	3.52±0.02	<ts	3.39±0.04 ^{X1}	3.51±0.18	4.74±0.47	<ts	3.86±0.31 ^{Y1}
	Çok	3.53±0.20	5.20±0.70	<ts	4.02±0.41 ^{X2}	6.41±0.76	8.32±0.44	3.45±0.12	6.06±0.92 ^{X1}
	ORT	3.43±0.10 ^{Bb}	4.36±0.56 ^{Ab}	<ts ^{Ba}		4.96±0.89 ^{Ba}	6.52±1.07 ^{Aa}	3.39±0.06 ^{Ca}	

A,B,C: Aynı yağ oranında piştirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

a,b: Aynı piştirme yönteminde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

X-Y: Aynı yağ oranında piştirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

1-2: Aynı piştirme süresinde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Çizelge 4.14 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerinin benzo[c]fluorene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)(n=3)

Döner Tipi	Gazlı Pişirme			Kömürlü Pişirme			Elektrikli Pişirme			
	Pişirme Süresi	Az Yağlı	Çok Yağlı	ORT	Az Yağlı	Çok Yağlı	ORT	Az Yağlı	Çok Yağlı	ORT
Benzo[c]fluorene	Orta	<ts	3.51±0.18	3.42±0.09 ^{Ba}	3.52±0.02	4.74±0.47	4.13±0.40 ^{Ba}	<ts	<ts	<ts ^{Aa}
	Çok	3.53±0.20	6.41±0.76	4.97±0.89 ^{Ab}	5.20±0.70	8.32±0.44	6.76±0.96 ^{Aa}	<ts	3.45±0.12	3.39±0.06 ^{Ac}

A,B: Aynı pişirme yönteminde pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)
a,b,c: Aynı pişirme süresinde pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Az yağlı döner grupları içerisinde pişirme yönteminin etkisi incelendiğinde sadece kömürlü pişirme yöntemi önemli iken ($p<0.05$), çok yağlı döner grupları içerisinde pişirme yönteminin etkisi tüm pişirme yöntemleri arasında istatistik olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Pişirme yöntemlerine bakılmaksızın pişirme sürelerinin ve yağ oranının etkisi incelendiğinde, pişirme süresine bağlı olarak orta pişmiş az yağlı et dönerlerde bu bileşik miktarı $3.39 \mu\text{g}/\text{kg}$ olarak tespit edilirken, % 18,6 oranında artış göstererek çok pişmiş az yağlı et dönerlerde $4.02 \mu\text{g}/\text{kg}$ düzeyinde görülmüş, ancak bu artış istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Çok yağlı et dönerlerde pişirme sürelerinin ve yağ oranının etkisi ise pişirme süresine bağlı olarak % 57'lik artış gözlenmiş, orta pişmiş ile çok pişmiş arasındaki artış istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.14'e göre; yağ oranına bakılmaksızın orta pişirme süresinde gazlı pişirme yöntemiyle pişirilen gruplarda benzo[c]fluorene bileşiği $3.42 \mu\text{g}/\text{kg}$, kömürlü ocakta pişirilenler de $4.13 \mu\text{g}/\text{kg}$ ve elektrikli ocakta pişirilenlerde <ts tespit edilmiş, ancak bu farklılık istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Çok pişirme süresinde ise; gazlı pişirme yöntemiyle pişirilen gruplarda benzo[c]fluorene bileşiği $4.98 \mu\text{g}/\text{kg}$, kömürlü ocakta pişirilenler de $6.76 \mu\text{g}/\text{kg}$ ve elektrikli ocakta pişirilenlerde $3.43 \mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmiştir ($p<0.05$). Çok pişirme süresinde pişirme yöntemleri arasındaki farklılık istatistik olarak önemli bulunmuş ve en yüksek oluşum kömürlü ocakta pişirilenlerde, daha sonra sırasıyla gazlı ve elektrikli ocakta pişirilen grupların geldiği görülmüştür ($p<0.05$).

4.2.3.2.2 Cyclopenta[cd]pyrene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan cyclopenta[cd]pyrene (CPP) bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.15' de verilmiştir. Az yağlı et dönerlerde cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin miktarı $13.90 \mu\text{g}/\text{kg}$ ile $50.64 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında; çok yağlı et dönerlerde ise $41.98 \mu\text{g}/\text{kg}$ ile $80.44 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin en yüksek oluşumu çok yağlı et dönerlerde kömürlü pişirme yönteminde pişirilmiş çok pişmişlerde saptanmıştır.

Çizelge 4.15 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerinin cyclopenta[cd]pyrene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı			Çok Yağlı			
	Piştirme Süresi	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme
Cyclopenta[cd]pyrene	Orta ^Y	13.90±1.24	43.23±3.70	39.72±5.67	52.35±4.86	58.00±11.90	41.98±6.62
	Çok ^X	24.32±1.45	46.75±3.14	50.64±9.54	75.50±18.40	80.44±1.89	70.81±7.73
	ORT	19.11±3.11 ^{Bb}	44.99±2.23 ^{Ab}	45.17±5.52 ^{Aa}	63.90±10.20 ^{Ba}	69.22±8.13 ^{Aa}	56.40±9.30 ^{Ba}

A,B: Aynı yağ oranında piştirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

a,b: Aynı piştirme yönteminde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

X, Y: Farklı piştirme sürelerindeki gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. (p<0.05)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Az yağlı dönerlerde cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin pişirme süresine bağlı değişimi incelendiğinde, gazlı ocakta orta pişirme süresinde 13.90 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 74.9' luk artışla çok pişirme süresinde 24.32 µg/kg'a; kömürlü ocakta pişirme de orta pişirme süresinde 43.23 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 8.1'lik artışla çok pişirme süresinde 46.75 µg/kg'a; elektrikli ocakta pişirme de orta pişirme süresinde 39.72 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 27.5'luk artışla çok pişirme süresinde 50.64 µg/kg'a yükselmiştir.

Çok yağlı dönerlerde cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin pişirme süresine bağlı değişimi incelendiğinde, gazlı ocakta orta pişirme süresinde 52.35 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 44,2'lik artışla çok pişirme süresinde 75.50 µg/kg'a; kömürlü ocakta pişirme de orta pişirme süresinde 58.00 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 38.7'lik artışla çok pişirme süresinde 80.44 µg/kg'a; elektrikli ocakta pişirme de orta pişirme süresinde 41.98 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 68.7'lik artışla çok pişirme süresinde 70.81 µg/kg'a yükselmiştir. Sonuç olarak her üç döner tipinde ve pişirme yönteminde bütün gruplarda pişirmeye bağlı olarak cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinde artış görülmüştür.

Çalışmada cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin oluşumuna farklı yağ oranı ve pişirme yöntemlerinin (yağ oranı*ocak tipi interaksyonu) ikili interaksyonu ve pişirme süresinin tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.15). Bu bağlamda Çizelge 4.15 incelendiğinde pişirme süresine bakılmaksızın pişirme yöntemi ve yağ oranının ikili etkisi incelendiğinde, pişirme yöntemine bağlı olarak az yağlı et dönerlerde en yüksek oluşum elektrikli ocakta pişirilenlerde (45.17 µg/kg), en düşük oluşum ise gazlı ocakta pişirilen (19.11 µg/kg) grupta tespit edilmiştir ($p<0.05$). Çok yağlı et dönerlerde ise en yüksek oluşum kömürlü ocakta pişirilenlerde (69.22 µg/kg), en düşük oluşum ise elektrikli ocakta pişirilen (56.40 µg/kg) grupta tespit edilmiş ve bu durum değerlendirildiğinde pişirme yöntemleri aralarındaki miktarsal farklılıklar istatistik olarak önemli bulunmuştur($p<0.05$).

Cyclopenta[cd]pyrene bileşiği açısından yağ oranları farklı olan döner tipleri (az yağlı döner ve çok yağlı döner) arasındaki farklılıklara bakıldığında, gazlı ocak ve kömürlü ocakta pişirilen az yağlı ve çok yağlı et döner grupları arasındaki farklılığın istatistik

olarak önemli olduğu ($p < 0.05$), buna karşın elektrikli ocakta pişirilen çok yağlı grubun az yağlı gruba kıyasla daha yüksek miktarda cyclopenta[cd]pyrene içermesine rağmen bu farklılığın istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$).

Piştirme süresi açısından cyclopenta[cd]pyrene bileşiği oluşumu değerlendirildiğinde farklı yağ oranlarına sahip ve farklı yöntemlerle pişirilen bütün döner gruplarında piştirme süresinin artmasıyla bileşik oluşumu da miktarsal olarak artış göstermiş ve bu artış istatistik olarak da önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Araştırmada bulunan değerler $13.90 \mu\text{g/kg}$ ile $80.44 \mu\text{g/kg}$ arasında bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında; et dönerlerin CPP değerlerinin Stumpe-Vıksna vd. (2008)'nin çalışmasının sonuçlarına benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Araştırmacılar etin tütsülenmesi amacıyla kullanılan yakıt türünün PAH oluşumu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında on farklı tür odun ve kömür ateşi kullanmışlardır. Çalışma sonucunda CPP değerleri $8.97 \mu\text{g/kg}$ ile $138.19 \mu\text{g/kg}$ arasında değişim göstermiştir. En yüksek CPP oluşumu $138.19 \mu\text{g/kg}$ ile yakıt türü olarak ladin ağacının kullanıldığı örnek gruplarında tespit edilmiştir. Araştırmacılar bunun sebebinin ladinin yumuşak ağaç olmasından dolayıyla içerdiği reçine miktarının yüksek olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

4.2.3.2.3 Benzo[a]anthracene miktarı

Benzo[a]anthracene (BaA) bileşiği, çalışmada et dönerlerde miktarsal olarak en fazla oluşan polisiklik aromatik hidrokarbonlardan birisidir. Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı piştirme yöntemlerinde ve farklı piştirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[a]anthracene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Araştırmada, et dönerlerde benzo[a]anthracene bileşiğinin $43.05- 143.10 \mu\text{g/kg}$ arasında değişen düzeylerde olduğu görülmüştür. Az yağlı et dönerlerde benzo[a]anthracene bileşiğinin miktarı $43.05 \mu\text{g/kg}$ ile $119.06 \mu\text{g/kg}$ arasında; çok yağlı et dönerlerde ise $65.51 \mu\text{g/kg}$ ile $143.10 \mu\text{g/kg}$ arasında olduğu gözlenmiştir. Az yağlı et dönerlerde en

yüksek oluşumun çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta, en düşük oluşumun ise orta pişirme süresinde elektrikli pişirme yöntemiyle pişirilen grupta; çok yağlı et dönerlerde ise en yüksek oluşumun yine çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta en düşük oluşumun ise orta pişirme süresinde elektrikli pişirme yöntemiyle pişirilen grupta olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.16 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[a]anthracene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi	Az Yağlı ^B			Çok Yağlı ^A		
	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
Orta ^Y	48.70±2.91	84.42±5.36	43.05±4.01	76,33±4,36	119,50±24,30	65,51±3,73
Çok ^X	73.80±19.3	119.06±5.36	54.15±3.82	85,69±5,73	143,10±16,90	83,97±2,19

A, B: Farklı yağ içeriğine sahip gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. ($p<0.05$)

X, Y: Farklı pişirme sürelerindeki gruplar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. ($p<0.05$)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Çalışmada benzo[a]anthracene bileşiğinin oluşumuna pişirme yönteminin, pişirme süresinin ve döner tipinin (az yağlı döner ve çok yağlı döner) tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bu doğrultuda pişirme süresinin etkisi incelendiğinde, farklı yağ oranlarına sahip ve farklı yöntemlerle pişirilen bütün döner gruplarında pişirme süresinin artmasıyla bileşik oluşumu da miktarsal olarak artış göstermiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.16). Benzer şekilde farklı yağ oranlarına sahip döner tipinin etkisi incelendiğinde, az yağlı dönerlere kıyasla çok yağlı dönerlerde %35.7 daha fazla benzo[a]anthracene bileşiği oluştuğu gözlenmiş ve bu oluşum istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.16).

Benzo[a]anthracene bileşiği oluşumuna farklı pişirme yöntemlerinin etkisi incelendiğinde, gazlı ve elektrikli pişirme yöntemleriyle kıyaslandığında kömürlü

pişirmede en yüksek benzo[a]anthracene bileşiği oluşumu gözlenmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17 Et dönerlerin benzo[a]anthracene bileşiğine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi

	Pişirme Yöntemleri		
	Gazlı pişirme	Kömürlü pişirme	Elektrikli pişirme
benzo[a]anthracene	71.13±6.50 ^B	116.51±9.84 ^A	61.67±5.87 ^B

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Araştırmada benzo[a]anthracene bileşiği, analiz edilen diğer PAH bileşiklerine kıyasla, en fazla oluşan bileşik olmuştur. Çalışmada bulunan değerler 43.05- 143.10 µg/kg arasında değişmekle birlikte literatürde rapor edilen birçok araştırma sonucundan yüksek bulunmuştur (Akpambang vd. 2009, Chung vd. 2011, Lu vd. 2017a). Bununla birlikte Aydın ve Şahan (2018) tarafından etlere haşlama, kızartma, fırında pişirme, elektrikli ızgara ile pişirme ve odun kömürü ile mangalda pişirme işlemleri gibi farklı pişirme yöntemlerinin uygulandığı çalışmada, değişen sıcaklık uygulamaları ile etlerin merkez sıcaklığı 72 °C geldikten sonra etlerin her iki yüzeyi de 1.5 dakika süre pişirilmiş, etlerin benzo[a]anthracene bileşiği 0.59- 2.85 ppb arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir. En yüksek BaA bileşiği kömürlü ızgarada pişirilen örneklerde tespit edilmiş ve bu farklılıkların uygulanan pişirme koşullarıyla doğrudan ilgili olduğunu ifade edilmiştir. Kumosani vd.(2012) ise iki farklı pişirme yönteminde (konveksiyonel fırında ve mikrodalgada) pişirilen et örneklerinde BaA bileşiği tespit edilmezken, tavuk örneklerinde fırında pişirilenlerde 0.06 µg/100 g; mikrodalgada pişirilenlerde ise 0.03 µg/100 g rapor etmişlerdir. Ayrıca Janoszka (2011), domuz etlerinde PAH oluşumu üzerine soğan ve sarımsağın etkilerini araştırmıştır. BaA bileşenin etlerde ortalama 0.09- 2.76 µg/kg arasında değiştiğini belirlemiştir. Domuz etinin kızartılmasında m soğan ilavesinin örneklerde oluşan BaA bileşiğinin miktarını önemli düzeyde düşürdüğünü bildirmiştir.

Roseiro vd. (2012), Portekiz’de üretilen geleneksel et ürünlerinde (Chouriço de carne, Painho, Paio tradicional, Alheira, Salpicao) ve kan sosislerinde (Cachoilera, Chouriço

mouro, Morcela, Chouriço doce, Moura) PAH'ların oluşumunu belirlemişlerdir. Geleneksel et ürünlerinde BaA miktarlarının ortalama 1.51-132.51 µg/kg, kan sosislerinde ise 0.88-121.41 µg/kg arasında değiştiğini rapor etmişler ve bu durum çalışmamız ile paralel bulunmuştur.

Yukarıda özetlenen çalışma sonuçlarının birbirinden farklı değerler içermesindeki en temel nedenin pişirme koşulları, uygulanan sıcaklık, ürünün içerdiği yağ kompozisyonu ile etlerin kimyasal bileşiminde görülen farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar genellikle et ve et ürünlerinde oluşan PAH miktarının, pişirme sıcaklığı ve süresindeki artış ile paralel olarak arttığı ve yüksek sıcaklıkta, özellikle uzun pişirme süreleri sonucunda daha yüksek miktarlarda PAH oluşumunu desteklediğini ortaya koymuştur (Knize vd. 1999, Sobral vd. 2018).

4.2.3.2.4 Chrysene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan chrysene miktarına ilişkin veriler Çizelge 4.18' de verilmiştir.

Çizelge 4.18 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin chrysene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Gazlı Pişirme ^A		Kömürlü Pişirme ^A		Elektrikli Pişirme ^B		
	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı	
Chrysene	Orta	<ts	<ts	<ts	<ts	<bs	<bs
	Çok	<ts	<ts	<ts	5.80±2.31	<bs	<bs

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Yapılan araştırmada çok pişirme suresinde kömürlü yöntemle pişirilen grup hariç (5.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$) farklı yağ içeriğine sahip ve farklı yöntemlerle pişirilen bütün gruplarda bileşik miktarının belirleme veya tayin sınırının altında oluştuğu görülmüştür.

Az yağlı et dönerlerde gazlı ve kömürlü ocakta pişirme yöntemlerinde orta ve çok pişirme sürelerinde, chrysene bileşiğinin miktarı tayin sınırının altında olduğu; elektrikli ocakta pişirme sonucunda ise orta ve çok pişirme sürelerinde bileşiğin belirleme sınırının altında oluştuğu görülmüştür. Çok yağlı et dönerlerde gazlı ocakta pişirme sonucunda, orta ve çok pişirme sürelerinde, kömürlü pişirme yönteminde ise orta pişirme sürelerinde chrysene bileşiğinin miktarı tayin sınırının altında olduğu; elektrikli ocakta pişirme sonucunda ise orta ve çok pişirme sürelerinde bileşiğin belirleme sınırının altında oluştuğu görülmüştür. Çok yağlı et döner grupları içerisinde chrysene bileşiği yalnızca çok pişirme suresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta tespit edilmiştir.

Çalışmada chrysene bileşiğinin oluşumuna sadece pişirme yönteminin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Bu doğrultuda chrysene oluşumu üzerine gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirme yöntemleri arasında miktarsal olarak farklılıklar belirlenmiştir. Pişirme yöntemleri arasında görülen bu farklılıklar istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$) (izelge 4.18).

Çalışmamızda et dönerlerin chrysene miktarı kömürlü metotla çok pişmiş çok yağlı grubun dışında tüm gruplarda tayin veya belirleme sınırının altında bulunmuştur. Çalışmamıza paralel olarak Aydın ve şahan (2018)'da mangalda pişirilmif hindi etinde 1.13 ppb bulurken, diğer gruplarda belirleme sınırının altında bulduklarını rapor etmişlerdir. Ayrıca Onwukeme vd. (2015) tarafından rapor edilen sonuçta da chrysene bileşiğinin tayin sınırının altında olduğu belirtilmiştir. Roseiro vd. (2012), Portekiz'de üretilen geleneksel et rnlerinde (Chouriço de carne, Painho, Paio tradicional, Alheira, Salpicao) ve kan sosislerinde (Cachoilera, Chouriço mouro, Morcela, Chouriço doce, Moura) PAH'ların oluşumunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar geleneksel et ürünlerinde

chrysene miktarlarının ortalama 1.54-150.56 µg/kg, kan sosislerinde ise 0.61-139.62 µg/kg arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

4.2.3.2.5 Benzo[a]pyrene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı pişirme yöntemlerle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[a]pyrene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Yapılan araştırmada az yağlı et dönerlerde benzo[a]pyrene bileşiğinin miktarı <bs ile 4.45 µg/kg değişmekte olup; çok yağlı et dönerlerde <ts ile 7.38 µg/kg arasında olduğu gözlenmiştir. Az yağlı et dönerlerin kömürlü pişirme yöntemiyle çok pişirilen grup (4.45 µg/kg) hariç bütün gruplarında bileşik miktarının da belirleme veya tayin sınırının altında olduğu görülmüştür. Az yağlı dönerlerde benzo[a]pyrene bileşiğinin pişirme süresine bağlı değişimi incelendiğinde, gazlı ocakta ve elektrikli ocakta orta pişirilmiş gruplarında belirleme sınırının altında olan bileşiğin miktarı çok pişirme süresinde de belirleme sınırının altında kalmıştır. Kömürlü ocakta ise bu durum orta pişirme süresinde tayin sınırının altında olan bileşiğin miktarı çok pişirme süresinde 4.45 µg/kg’a yükselmiştir.

Çok yağlı dönerlerde benzo[a]pyrene bileşiğinin pişirme süresine bağlı değişimi incelendiğinde, gazlı ocakta orta pişirme süresinde tayin sınırının altında olan bileşiğin çok pişirme süresinde 4.11 µg/kg’a; kömürlü ocakta pişirme de orta pişirme süresinde 4.04 µg/kg olan bileşiğin miktarı % 82.7 ’lik artışla çok pişirme süresinde 7.38 µg/kg’a; elektrikli ocakta pişirme de orta pişirme süresinde tayin sınırının altında olan bileşik çok pişirme süresinde 4.05 µg/kg’a yükselmiştir. Sonuç olarak az yağlı ve çok yağlı bütün döner gruplarında pişirmeye bağlı olarak benzo[a]pyrene bileşiğinde artış görülmüştür.

Çalışmada benzo[a]pyrene bileşiğinin oluşumuna farklı yağ oranı ve pişirme sürelerinin (yağ oranı* süre) ve farklı pişirme yöntemleri ve pişirme sürelerinin (süre* pişirme yöntemi) ikili interaksiyonları istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20).

Çizelge 4.19 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[a]pyrene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı				Çok Yağlı				
	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	ORT	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	ORT	
benzo[a]pyrene	Orta	<bs	<ts	<bs	<ts ^{Ab}	<ts	4.04±0.29	<ts	<ts ^{Ba}
	Çok	<bs	4.45±0.21	<bs	<ts ^{Ab}	4.11±0.35	7.38±037	4.05±0,29	5.18±0.71 ^{Aa}

A,B: Aynı yağ oranında pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
a,b: Aynı pişirme süresinde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Çizelge 4.20 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerinin benzo[a]pyrene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Gazlı Pişirme			Kömürlü Pişirme			Elektrikli Pişirme			
	Pişirme Süresi	Az Yağlı	Çok Yağlı	ORT	Az Yağlı	Çok Yağlı	ORT	Az Yağlı	Çok Yağlı	ORT
benzo[a]pyrene	Orta	<bs	<ts	<ts ^{Ab}	<ts	4.04±0.29	3.90±0.14 ^{Ba}	<bs	<ts	<ts ^{Ab}
	Çok	<bs	4.11±0.35	<ts ^{Ab}	4.45±0.21	7.38±0.37	5.91±0.86 ^{Aa}	<bs	4.05±0.29	<ts ^{Ab}

A,B: Aynı pişirme yönteminde pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
a,b: Aynı pişirme süresinde pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Bu bağlamda Çizelge 4.19 incelendiğinde pişirme yöntemi dikkate alınmaksızın farklı yağ oranı*süre ikili etkisi incelendiğinde, az yağlı et dönerlerin orta ve çok sürede pişirilmeleri arasındaki fark önemsiz bulunurken ($p>0.05$); çok yağlı et dönerlerde ise orta sürede ve çok sürede pişirmenin etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Yine benzer bir şekilde orta sürede pişirilmiş az yağlı et dönerler ile çok yağlı et dönerler kıyaslandığında, her iki grubunda tayin sınırının altında kaldığı ($p<0.05$), çok sürede pişirme de ise az yağlı dönerlere kıyasla çok yağlı et dönerlerde miktarsal olarak daha çok benzo[a]pyrene bileşiği olduğu ve bu değişimin ise istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Benzo[a]pyrene bileşiği açısından pişirme yöntemleri (gazlı, kömürlü ve elektrikli) ve pişirme süreleri arasındaki farklılıklara bakıldığında, gazlı ocakta ve elektrikli ocakta pişirmede orta ve çok pişirme süresinde bileşiğin tayin sınırının altında olduğu, kömürlü ocakta pişirmede ise orta pişmiş grupta $3.90 \mu\text{g}/\text{kg}$ olan bileşiğin miktarı % 51.5'lik artışla çok pişirme süresinde $5.91 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükseldiği ve bu artışın istatistik olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.20). Ayrıca Çizelge 4.20' de hem orta pişirme süresinde ve hem de çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yönteminin gazlı ve elektrikli pişirme yönteminden istatistik olarak önemli düzeyde yüksek benzo[a]pyrene oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

PAH'lar üzerine yapılan araştırmalarda pişmiş etlerde BaP bileşiğinin en yaygın oluşan PAH'lardan birisi olduğu farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Araştırmada bulunan değerler $7.38 \mu\text{g}/\text{kg}$ ile $7.38 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişmekle birlikte literatürde rapor edilen birçok araştırma sonucundan daha düşük bulunmuştur (Aygün ve Kabadayı 2005, Chen and Lin 1997, Mohammadi and Valizadeh-kakhki 2018, Kumosani vd. 2012, Farhadian vd. 2011).

Literatür ile karşılaştırıldığında, benzer çalışmalarda söz konusudur. Rastgele seçilen restoranlardan toplanan döner örneklerinde PAH bileşiklerinden biri olan benzo[a]pyrene varlığı araştırılmıştır. Döner örneklerinde oluşan BaP miktarının; gazlı döner ocağında pişirilen dönerlerde $2.4 \mu\text{g}/\text{kg}$ - $14.7 \mu\text{g}/\text{kg}$, kömür ateşinde pişirilen

dönerlerde ise 4.9 µg/kg-52.5 µg/kg arasında olduğu saptanmıştır (Terzi vd. 2008). Yapılan benzer bir çalışmada; Irak'da 10 farklı restorandan toplanan döner örneklerinde oluşan BaP miktarı kömür ateşinde pişirilen örneklerde 10 µg/kg, gazlı ocakta pişirilen örneklerde ise ortalama 2.3 µg/kg olarak saptanmıştır (Jasim and Shakhailer, 2016).

Oz ve Yuzer (2016) biftek ile yaptıkları bir çalışmada PAH oluşumu üzerine mangal türü (tel ızgara ve taş ızgara) ile pişirme düzeyleri (az pişmiş, orta pişmiş, iyi pişmiş ve çok iyi pişmiş) etkileri araştırılmıştır. Tel ızgarada pişirilmiş az ve orta pişmiş örneklerde BaP tespit edilmemesine rağmen, iyi pişmiş grupta 0.24 µg/kg ve çok iyi pişmiş grupta ise 0.26 µg/kg olarak raporlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda ızgarada pişirilmiş et ürünlerinde en yüksek BaP konsantrasyonlarının sığır köftesi için 1.5 µg/kg, sığır bifteklerinde 31.3 µg/kg, domuz eti filetosunda 3.0 µg/kg, kuzu sosisleri için 2.8 µg/kg ve derili ördek etinde 9.2 µg/kg olarak tespit edilmiştir (Duedahl-Olesen vd. 2015). Danimarkalı tüketicilerin evlerinde kendi klasik pişirme yöntemleriyle mangallarında kızarttıkları sığır eti, domuz eti ve tavuk etiyle yapılan bir çalışmada BaP düzeyleri sığır etinde 24 µg/kg, domuz etinde 4.5 µg/kg ve tavuk etinde ise 1.2 µg/kg olarak raporlanmıştır (Aaslyng vd. 2013). Görülen bu farklılıkların uygulanan pişirme yöntemlerindeki ve/veya pişirme sürelerindeki farklılıktan kaynaklanabileceği bildirilmiştir.

4.2.3.2.6 Dibenz[a,h]anthracene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı pişirme yöntemleriyle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan dibenz[a,h]anthracene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Araştırmada, et dönerlerde dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin <bs-6.76 µg/kg arasında değişen miktarlarda olduğu görülmüştür. Az yağlı et dönerlerde dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin miktarı belirleme sınırı ile 4.04 µg/kg arasında değişmekte olup; çok yağlı et dönerlerde <ts ile 6.76 µg/kg arasında olduğu gözlenmiştir.

Az yağlı et dönerlerde en yüksek oluşumun çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta (4.04 µg/kg), en düşük oluşumun ise orta pişirme süresinde elektrikli pişirme yöntemiyle pişirilen grupta (<bs); çok yağlı et dönerlerde ise en yüksek oluşumun yine çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta (6.76 µg/kg), en düşük oluşumun ise orta pişirme süresindeki elektrikli ve gazlı pişirme grupta olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin dibenz[a,h]anthracene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi		Gazlı Pişirme ^B		Kömürlü Pişirme ^A		Elektrikli Pişirme ^B	
		Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı
dibenz[a,h]anthracene	Orta ^Y	<ts	<ts	3.92±1.40	5.07±0.89	<bs	<ts
	Çok ^X	3.05±0.33	3.06±0.52	4.04±1.51	6.76±0.22	<ts	3.13±0.61

A, B: Farklı pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

X, Y: Farklı pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Yapılan istatistik analiz sonucunda dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumuna pişirme yöntemi, pişirme süresi ve döner tipinin (az yağlı döner ve çok yağlı döner) etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Araştırmada az yağlı ve çok yağlı dönerlerde dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumu pişirme süresine bağlı olarak bütün gruplarda artmış olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). Dibenz[a,h]anthracene oluşumu üzerine gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirme yöntemlerinin etkisi incelendiğinde; kömürlü pişirme yönteminde bileşiğin en çok oluştuğu saptanmış ve bu durum istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.21).

Dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumuna döner tipinin etkisi incelendiğinde, az yağlı dönerlerde ortalama 2.67 µg/kg olan bileşiğin %38.6 artış göstererek çok yağlı dönerlerde 3.70 µg/kg'a yükseldiği gözlenmiştir (p<0.05) (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin dibenz[a,h]anthracene içeriğine yağ miktarlarının etkisi

	Az yağlı	Çok yağlı	p değeri
dibenz[a,h]anthracene	2.67±0.45 ^A	3.70±0.55 ^B	0.014

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir
Ortalama±Standard hata (n=3)

Araştırmada dibenz[a,h]anthracene miktarının <ts-6.76 µg/kg aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bulunan değerlerin, Babaoğlu vd.(2016), Stumpe-Vıksna vd. (2008), Viegas vd.(2012), Viegas vd.(2014) gibi araştırmacıların sonuçlarından yüksek bulunmuştur. Bu durum araştırma koşullarındaki pişirme yöntem farklılığı, pişirme süresi, pişirme sıcaklığı vb farklılıklardan kaynaklanmış olabilir.

Çalışmamızdan elde ettiğimiz verilere benzer sonuç elde eden araştırmacılar da olmuştur. Onyango vd. (2012) kömür ateşinde pişirilmiş sığır etinde 5.032 µg/kg, keçi etinde 0.113 µg/kg, tavada kızartılan domuz etinde ise bu bileşiğin tespit edilemediğini rapor etmişlerdir.

4.2.3.2.7 Benzo[ghi]perylene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[ghi]perylene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.23' de verilmiştir.

Yapılan araştırmada et dönerlerde benzo[ghi]perylene miktarının <bs-35.00 µg/kg arasında değişen düzeylerde olduğu görülmüştür. Az yağlı et dönerlerde benzo[ghi]perylene bileşiğinin miktarı bs ile 22.50 µg/kg arasında değişmekte olup; çok yağlı et dönerlerde 5.19 µg/kg ile 35.00 µg/kg arasında olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.23 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerin benzo[ghi]perylene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi		Az yağlı			Çok Yağlı		
Pişirme Süresi		Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
benzo[ghi]perylene	Orta ^Y	19.78±3.94	7.26±0.89	<bs	17.29±3.98	22.61±7.79	5.19±0.24
	Çok ^X	22.50±2.94	21.63±0.01	<ts	24.70±0.38	35.00±12.40	12.04±2.64
	ORT	21.14±2.16 ^{Aa}	14.45±4.16 ^{Bb}	<ts ^{Cb}	20.99±2.69 ^{Ba}	28.81±6.96 ^{Aa}	8.61±2.25 ^{Ca}

A,B,C: Aynı yağ oranında pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

a,b: Aynı pişirme yönteminde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

X, Y: Farklı pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Az yağlı et dönerlerde en yüksek benzo[ghi]perylene bileşiğinin gazlı pişirme yönteminde çok sürede pişirilmiş grupta bulunmuştur. Çok yağlı et dönerlerde ise en fazla benzo[ghi]perylene bileşiği oluşumu çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta tespit edilmiştir (Çizelge 4.23). Sonuç olarak az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin bütün gruplarda pişirme süresinin miktarsal olarak önemli düzeyde yüksek benzo[ghi]perylene oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada benzo[ghi]perylene bileşiğinin oluşumuna farklı döner türlerinin (az yağlı ve çok yağlı), pişirme yöntemlerinin ve pişirme sürelerinin etkisi incelenmiş ve istatistik analizi sonucunda yağ oranı*pişirme yöntemi ikili interaksyonu ve pişirme süresinin tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.23) ($p<0.05$). Bu bağlamda pişirme süresine bakılmaksızın pişirme yöntemi*yağ oranının etkisi incelendiğinde, pişirme yöntemine bağlı olarak az yağlı et dönerlerde en yüksek oluşumun gazlı ocakta pişirilenlerde ($21.14 \mu\text{g}/\text{kg}$) olduğu, en düşük benzo[ghi]perylene oluşumunun ise elektrikli ocakta pişirilen (<ts) grupta tespit edilmiştir ($p<0.05$). Çok yağlı et dönerlerde ise en yüksek oluşum kömürlü ocakta pişirilenlerde ($28.81 \mu\text{g}/\text{kg}$), en düşük oluşum ise elektrikli ocakta pişirilen ($8.61 \mu\text{g}/\text{kg}$) grupta bulunmuştur ($p<0.05$).

Benzo[ghi]perylene bileşiği açısından döner tipleri (az yağlı döner ve çok yağlı döner) arasındaki farklılıklara bakıldığında, gazlı ocakta pişirmede çok yağlı et dönerlerin ($20.99 \mu\text{g}/\text{kg}$), az yağlı dönerlerden ($21.14 \mu\text{g}/\text{kg}$) daha az bileşik içerdiği ($p>0.05$), kömürlü ocakta pişirmede çok yağlı et dönerlerin ($28.81 \mu\text{g}/\text{kg}$), az yağlı dönerlerden ($14.45 \mu\text{g}/\text{kg}$) önemli düzeyde daha yüksek bileşik oluşumu ($p<0.05$) ve elektrikli ocakta pişirme de ise çok yağlı dönerlerin ($8.61 \mu\text{g}/\text{kg}$) az yağlı dönerlerden (<ts) daha fazla bileşik oluşumunun olduğu saptanmıştır ($p<0.05$).

Araştırmada benzo[ghi]perylene için tespit edilen sonuçlar <bs- $35.00 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişmektedir. Çalışmamıza benzer verileri Stumpe-Vıksna vd. (2008)'da elde etmiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar BghiP değerleri $2.99 \mu\text{g}/\text{kg}$ ile $23.99 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişim gösterdiğini raporlamışlardır. Araştırmacılar bu oluşum üzerine kullanılan yakıt türünün etkili olduğunu vurgulamışlardır. Bununla birlikte literatürde

benzo[ghi]perylene bileşiminin tespit edilemediği veya kullanılan etin cinsinin ve yakıt türünün etkili olduğu bileşimin daha düşük konsantrasyonlarda (0.63 µg/kg ile 1.22 µg/kg) elde edildiği çalışmalar da mevcuttur (Onwukeme vd. 2015, Viegas vd. 2012, Manda vd. 2012).

Olatunji vd. (2014), tütsüleme, ızgarada pişirme ve haşlama işlemlerinin sığır, domuz ve tavuk etlerinde oluşan PAH'lar üzerine etkisini belirlemiştir. Örneklerde oluşan BghiP içeriklerinin ortalama 2.55 µg/kg ile 3.41 µg/kg arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Pişirme işlemi açısından değerlendirildiğinde; haşlama işlemi uygulanan örnek gruplarının en düşük BghiP içeriğine sahip olduğunu, et cinsi çeşidi açısından değerlendirildiğinde ise tavuk etinin en yüksek BghiP (3.41 µg/kg) içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. Yine benzer şekilde Tahran restoranlarında satılan gaz ocağında ve kömür ateşinde pişirilen kebab çeşitlerinde 0.00 µg/kg ile 0.20 µg/kg arasında değişen oranlarda tespit edilmiştir (Gorji vd. 2016).

4.2.3.2.8 Et dönerlerin toplam PAH miktarı

Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı dönerlerin hesaplanan \sum PAH 4 (CHR, BaP, BaA, BbF toplamı), \sum PAH 8 (CHR, BaP, BaA, BbF, BkF, BgP, DhA, IcP toplamı) ve \sum PAH miktarlarına ilişkin sonuçlar Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Araştırmada et dönerlerde \sum PAH 4 içeriğinin 43.05-150.40 µg/kg; \sum PAH 8 içeriğinin 43.05-198.10 µg/kg ve \sum PAH içeriğinin 82.38- 281.00 µg/kg arasında değişim gösterdiği görülmüştür.

Hem \sum PAH 4 içeriği hem de \sum PAH 8 içeriği açısından en düşük oluşum az yağlı et dönerlerde elektrikli ocakta orta pişmiş örneklerde gözlenmişken, yine hem \sum PAH 4 içeriği hem de \sum PAH 8 içeriği açısından en yüksek oluşum ise çok yağlı dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.24 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi	Az Yağlı			Çok Yağlı			
	Piştirme Süresi	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme	Gazlı Piştirme	Kömürlü Piştirme	Elektrikli Piştirme
Σ PAH4	Orta	48.70±2.91	84.42±5,36	43,05±4.01	76.33±4,36	121.70±26.40	65.51±3.73
	Çok	73.80±19.30	123.50±7.66	54.15±3,82	87.92±3.50	150.40±16.50	86.13±0.02
Σ PAH8	Orta	68.47±1.03	94.35±7.14	43.05±4.01	93.61±8.34	149.30±35.10	70.70±3.49
	Çok	99.30±22.50	147.90±10.40	54.15±3.82	114.41±2.09	198.10±26.90	100.04±4.54
Σ PAH	Orta	82.38±2.28	141.10±10.90	82.77±9.69	147.80±15.10	212,10±47.50	112.69±3.13
	Çok	125.50±25.9	199.90±12.90	104.80±13.40	196.30±19.70	281.00±26.80	172.64±1.41

Σ PAH 4: (CHR, BaP, BaA, BbF toplamı)

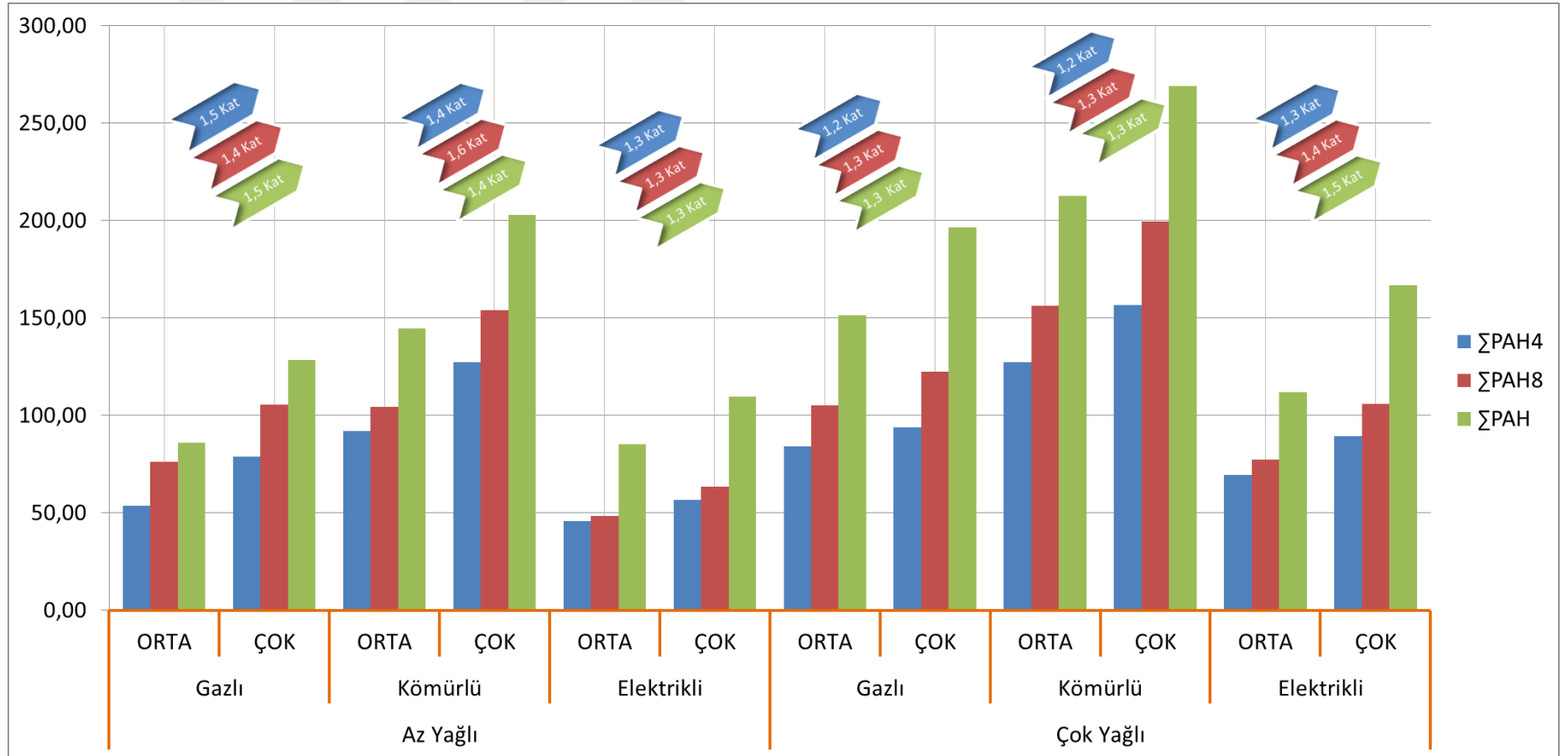
Σ PAH 8: (CHR, BaP, BaA, BbF, BkF, BgP, DhA, IcP toplamı)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Σ PAH4 içeriği az yağlı et dönerlerde gazlı ocakta orta pişirme süresinde 48.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 73.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 84.42 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 123.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 43.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 1.3 kat artış göstererek Σ PAH 4 oluşumu çok pişirme süresinde 54.15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Çok yağlı et dönerlerde ise Σ PAH4 içeriği gazlı ocakta orta pişirme süresinde 76.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.2 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 87.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 121.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.2 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 150.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 65.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.3 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 86.13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir (Şekil 4.3).

Az yağlı et dönerlerde Σ PAH8 içeriği gazlı ocakta orta pişirme süresinde 68.47 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.4 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 99.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 94.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.6 kat artışla çok pişirme süresinde 147.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 43.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.3 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 54.15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Çok yağlı et dönerlerde ise Σ PAH8 içeriği gazlı ocakta orta pişirme süresinde 93.61 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmiş çok pişirme ile 1.2 kat artış göstererek 114.41 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 149.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olan değer çok pişirme ile 1.3 kat artış göstererek 198.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli pişirme yönteminde ise Σ PAH8 içeriği orta pişirme ile 70.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 1.4 kat artarak 100.04 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. (Şekil 4.3).

Az yağlı ve çok yağlı et dönerlerde Σ PAH açısından durum değerlendirildiğinde ise; az yağlı dönerlerde gazlı ocakta pişirilenler 82.38 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 125.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükseldiği, kömürlü ocakta pişirilenlerin 141.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 199.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükseldiği ve elektrikli ocakta pişirilen grupta ise 82.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 104.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.3 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarında pişirmeye bağlı olarak görülen değişim düzeyleri ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Çok yağlı dönerlerde ise Σ PAH içeriği gazlı ocakta pişirilenler 147.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 196.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükseldiği, kömürlü ocakta pişirilenlerin 212.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 281.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükseldiği ve elektrikli ocakta pişirilen grupta ise 112.69 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan 172.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a artış gösterdiği bulunmuştur (Şekil 4.3).

Yapılan istatistik analizi sonucu, az yağlı ve çok yağlı et dönerlerde Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarına farklı pişirme yöntemleri, dönerlerin içerdikleri yağ oranları ile farklı pişirme sürelerinin tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bu doğrultuda Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH oluşumu üzerine gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirme yöntemleri arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Özellikle hem az yağlı hem de çok yağlı döner gruplarında Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH oluşumunun en fazla olduğu grubun kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25 Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Pişirme Yöntemleri		
	Gazlı pişirme	Kömürlü pişirme	Elektrikli pişirme
Σ PAH4	71.68 \pm 6.63 ^B	120.00 \pm 10.80 ^A	62.21 \pm 6.15 ^C
Σ PAH8	93.96 \pm 7.75 ^B	147.40 \pm 16.40 ^A	66.98 \pm 8.25 ^C
Σ PAH	138.00 \pm 16.90 ^B	208.50 \pm 21.70 ^A	118.20 \pm 13.00 ^B

A, B,C: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. ($p<0.05$)
Ortalama \pm Standard hata (n=3)

Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH içeriğine, farklı pişirme sürelerinin de etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.26). Araştırmada Σ PAH4 içeriği orta pişirme süresinde ortalama 73.28 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmiş olup çok pişirme süresinde 1.3 kat artarak ortalama 96.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olmuştur. Σ PAH8 içeriği ise orta pişirme süresinde ortalama 86.60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmiş daha uzun pişirme ile 1.4 kat artarak çok pişirme süresinde ortalama 119.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a artış göstermiştir. Σ PAH içeriği ise orta pişirme süresinde ortalama 129.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmiş ve çok pişirme süresinde yaklaşık olarak 1.4 kat artarak ortalama 180.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olmuştur.

Çizelge 4.26 Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme sürelerinin etkisi ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Orta pişmiş	Çok pişmiş	p değeri
Σ PAH4	73.28 \pm 8.56 ^B	96.00 \pm 10.20 ^A	0.000
Σ PAH8	86.60 \pm 10.90 ^B	119.00 \pm 14.30 ^A	0.000
Σ PAH	129.80 \pm 14.90 ^B	180.00 \pm 18.81 ^A	0.000

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir
Ortalama \pm Standard hata (n=3)

Sonuç olarak pişmiş az yağlı ve çok yağlı dönerlerin pişirme süresine bağlı olarak Σ PAH4 miktarında % 31.0'lik; Σ PAH8 miktarında % 37.4'lük ve Σ PAH miktarında % 38.7'lik artış görülmüş ve bu artış önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.26).

Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH oluşumuna farklı yağ içeriğine sahip döner tiplerinin etkisi de istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.27). Σ PAH 4 içeriği az yağ içeriğine sahip dönerlerde ortalama 71.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilen bileşiğin miktarı yaklaşık olarak 1.4 kat artarak çok yağ içeriğine sahip dönerlerde ortalama 98.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$; Σ PAH 8 içeriği ise az yağ içeriğine sahip grupta ortalama 84.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilen bileşiğin miktarı yaklaşık olarak 1.4 kat artarak çok yağ içeriğine sahip grupta ortalama 121.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak belirlenmiştir. Σ PAH içeriğinin de ise; az yağ içeriğine sahip grupta ortalama 122.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilen bileşiğin miktarı yaklaşık olarak 1,5 kat artarak çok yağ içeriğine sahip grupta ortalama 187,10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Σ PAH4, Σ PAH8 miktarında ve Σ PAH miktarında artış görülmüş ve bu artış önemli olmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27 Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı yağ oranlarının etkisi ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Az yağlı	Çok yağlı	p değeri
Σ PAH 4	71.27 \pm 8.71 ^B	98.00 \pm 9.61 ^A	0.000
Σ PAH 8	84.50 \pm 11.00 ^B	121.00 \pm 13.80 ^A	0.000
Σ PAH	122.70 \pm 13.00 ^B	187.10 \pm 17.60 ^A	0.000

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama \pm Standard hata (n=3)

Çalışmada farklı pişirme yöntemleri ve farklı yağ oranlarına sahip et dönerlerde Σ PAH4 içeriği 43.05-150.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$; Σ PAH8 içeriği 43.05-198.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ve Σ PAH içeriğinin 82.38-281.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişkenlik göstermiştir.

Literatürde Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarlarının değişkenlik gösterdiği birçok çalışma mevcuttur (Chung vd. 2011, Onyango vd. 2012, Abramsson-Zetterberg vd. 2014, Kendirci vd. 2014, Olatunji vd. 2014, Gorji vd. 2016, Bartkiene vd. 2017). Bu farklılığın hammadde, pişirme sıcaklığı ve süresi gibi birçok faktörden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Örneğin, Büyükkurt vd. (2017) tarafından dana etine çeşitli marinat bileşiklerinin (adaçayı ve kekik) ve iki farklı pişirme yöntemi (kömürde pişirme ve tavada kızartma) uygulandığı çalışmada, etlerin merkez sıcaklığı 72°C geldikten sonra etlerin her iki yüzeyi de eşit şekilde yaklaşık 8 dakika süre boyunca pişirilmiştir, etlerin toplam PAH içeriği kömürde pişirilenlerde 13,19-24,45 $\mu\text{g}/\text{kg}$; tavada kızartılanlarda ise 11,52- 18,18 $\mu\text{g}/\text{kg}$; arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir. Araştırmacılar adaçayı ve kekik uygulanmış örneklerde daha düşük oranlarda PAH oluştuğunu ve bunun sebebinin kullanılan biyoaktif maddelerin Maillard reaksiyonunda ilk piroliz ürünlerinin oluşumunda önemli bir rol oynayarak serbest radikalleri etkisiz hale getirmesi yoluyla olduğunu açıklamışlardır. Benzer şekilde Öz ve Yuzer (2016) biftek ile yaptıkları bir çalışmada polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşumu üzerine mangal türü (tel ızgara ve taş fırın) ile pişirme düzeyleri (az pişmiş, orta pişmiş, iyi pişmiş ve çok iyi pişmiş) etkileri araştırmışlardır. Tel ızgarada pişirilmiş az ve orta pişmiş örneklerde Σ PAH4 ve Σ PAH8 tespit edilmezken, iyi pişmiş ve çok iyi pişmiş örneklerde pişirme seviyesinin arttırılması ile birlikte artarak Σ PAH4 ve Σ PAH8 içeriği 0,77-0,87 ng/g olarak tespit edilmiştir. Taş fırında pişirilmiş örneklerde ise Σ PAH4 içeriği 0,92-1,30 ng/g ve Σ PAH8 içeriği 0,78-2,63 ng/g bulunmuş, bu oluşumlar izin verilen veya önerilen maksimum sınırların altında kalmıştır.

Lee vd. (2016) yaptıkları bir çalışmada farklı pişirme yöntemlerinin benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene ve benzo[a]pyrene bileşiklerinin

oluşumunu nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Aynı kömür ateşinde ard arda pişirilen et örneklerinin ızgarada pişirilmesi sırasında kararlı yanmanın PAH'ların azalmasına katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre en yüksek toplam PAH seviyesinin (21,77 µg/kg) yüksek oranda yağ içermesinden ötürü, domuz eti örneklerinde görülmüştür. Kömür ateşinde pişirme sırasında PAH oluşumuna etin yağ içeriğinin ve pişirme süresinin etkili olduğu, etin pişirilmesi sırasında etin yağının ateş üzerine düşmesinin engellenmesi ve çıkan dumanın uzaklaştırılmasının PAH düzeylerini azaltma etkisine sahip olduğu tespit edilmiştir (Lee vd. 2016).

Çalışmamıza benzer sonuç elde edilen çalışmalar da mevcuttur. Örneğin Alomirah vd. (2011) piyasada satılan kömür ateşinde pişirilmiş çeşitli et ürünleri ile tütsülenmiş et ürünleri üzerine yaptıkları çalışmada Σ PAH8 içeriği 8.41-42.9 µg/kg ve Σ PAH içeriği ise 60.50-648 µg/kg arasında değişim göstermiştir. Benzer şekilde Larsson vd. (1983), kömürde pişirilmiş et ve et ürünleri üzerinde yaptıkları çalışmada frankfurter tipi sosislerde Σ PAH içeriğini 212.77 µg/kg gibi yüksek PAH seviyeleri rapor etmişler ve bu elde edilen verilerin PAH seviyelerinin pişirme yöntemine ve kullanılan ısı kaynağı türüne büyük ölçüde bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Farhadian vd. (2012) farklı marinasyon uygulanmış kömür ateşinde pişirilmiş dana etinde üç PAH bileşiğinin (BaP, BbF ve F) toplamının 45.19-109 µg/kg arasında değişim gösterdiğini de ifade etmişlerdir.

Aaslyng vd. (2013)'de araştırmamıza benzer sonuçlar bulmuşlardır. Danimarkalı tüketicilerin ev koşullarında pişirme yöntemleriyle mangallarında kızarttıkları etlerdeki (domuz, tavuk ve dana eti) BaP, Σ PAH4 ve Σ PAH içeriklerini araştırmışlardır. Mangalda pişirme işlemlerinden dana etinde Σ PAH4 içeriği 0.4-65 µg/kg; Σ PAH miktarı 18-867 µg/kg tespit edilmiştir. Araştırmacılar bunun dana etinin daha yüksek yağ içeriğinin daha fazla PAH oluşumuna yol açması nedeniyle olduğunu açıklamışlardır.

Sonuç olarak, az yağlı ve çok yağlı et dönerlerde bütün pişirme metotlarında pişirme sonucunda pişirme süresinin artmasına bağlı olarak toplam PAH miktarında artış

görülmüş yanı sıra, PAH'ların miktarları ve bileşen bazında çeşitliliği de pişirme ile artmıştır.

4.2.3.3 Tavuk dönerlerin PAH analiz sonuçları

Fast food ürünleri içerisinde tüketim oranı yüksek bir diğer ürün olan tavuk dönerlerde PAH oluşumu açısından riski ortaya koymak amacıyla 16 PAH bileşeni tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde az yağlı ve çok yağlı pişmiş tavuk dönerlerde çeşitli düzeylerde 8 PAH bileşiği (benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, 5-Methychnrysene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene ve benzo[ghi]perylene bulunmuştur. Ayrıca az yağlı ve çok yağlı dönerlerin PAH içeriğine ilişkin kromotogram örnekleri EK 2'de (Kromotogram 3 ve Kromotogram 4) verilmiştir.

4.2.3.3.1 Benzo[c]fluorene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin farklı pişirme yöntemleriyle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[c]fluorene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi		Gazlı Pişirme ^B		Kömürlü Pişirme ^A		Elektrikli Pişirme ^B	
		Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı
benzo[c]fluorene	Orta ^Y	<ts	3.49±0.16	4.23±0.23	8.31±1.98	<ts	3.55±0.20
	Çok ^X	3.81±0.48	6.75±1.89	8.10±1.37	12.07±2.58	5.38±0.41	7.92±0.47

A, B: Farklı pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

X, Y: Farklı pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Çalışmada tavuk dönerlerde benzo[c]fluorene bileşiğinin ts-12.07 µg/kg arasında değişen düzeylerde oluştuğu görülmüştür. En düşük bileşik az yağlı dönerlerde gazlı ve elektrikli ocakta orta pişirme süresinde pişirilmiş örneklerde görülmüşken, az yağlı dönerlerde en yüksek benzo[c]fluorene oluşumu kömürlü ocakta çok pişirme süresinde pişirilmiş dönerlerde tespit edilmiştir. Çok yağlı dönerlerde ise en düşük bileşik gazlı ocakta orta pişirme süresinde pişirilmiş örneklerde görülmüşken, en yüksek benzo[c]fluorene oluşumu yine kömürlü ocakta çok pişirme süresinde pişmiş dönerlerde gruplarında gözlenmiştir.

Çalışmada bahsi geçen bileşiğin oluşumuna pişirme yöntemi, pişirme süresi ve döner tipinin (az yağlı döner ve çok yağlı döner) tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bu doğrultuda benzo[c]fluorene oluşumu üzerine gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirme yöntemleri arasında miktarsal olarak da farklılıklar belirlenmiş, bileşiğin en çok oluştuğu grubun ise kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grup olduğu saptanmıştır ($p<0.05$) (Çizelge 4.28).

Benzo[c]fluorene bileşiğinin oluşumuna, farklı pişirme sürelerinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Yapılan incelemede az yağlı ve çok yağlı dönerlerin benzo[c]fluorene bileşiğinin pişirme süresine bağlı olarak bütün gruplarda artmış olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, bileşiğin en fazla oluştuğu grubun çok pişirme süresinde olduğu ve orta pişirme süresinden % 66.8 daha fazla bileşik oluştuğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.28).

Yine benzer şekilde benzo[c]fluorene bileşiğine farklı yağ içeriğine sahip döner tiplerinin etkisi de istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Az yağlı dönerlerde ortalama 4.70 µg/kg olan bileşiğin % 49.3 artarak çok yağlı dönerlerde ortalama 7.02 µg/kg'a yükseldiği ve bu artışın istatistik olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29 Farklı yağ içeriğine sahip pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[c]fluorene miktarları ile p değeri (µg/kg)

	Az yağlı	Çok yağlı	p değeri
benzo[c]fluorene	4.70±0.54 ^B	7.02±1.01 ^A	0.003

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

4.2.3.3.2 Cyclopenta[cd]pyrene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin farklı pişirme yöntemleriyle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan cyclopenta[cd]pyrene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Farklı pişirme yönteminde ve farklı pişirme sürelerindeki az yağlı ve çok yağlı dönerlerde cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin değişen düzeylerde olduğu görülmüştür. Az yağlı tavuk dönerlerde cyclopenta[cd]pyrene bileşiği 45.60 µg/kg ile 104.90 µg/kg arasında değişmekte olup; çok yağlı tavuk dönerlerde ise 81.20 µg/kg ile 112.70 µg/kg arasında değişim göstermiştir.

En düşük cyclopenta[cd]pyrene bileşiği az yağlı dönerlerde gazlı ocakta orta pişirme süresinde pişirilmiş örneklerde saptanmışken, az yağlı dönerlerde en yüksek bileşik oluşumunun kömürlü ocakta çok pişirme süresinde pişmiş dönerlerde bulunmuştur. Çok yağlı dönerlerde ise en düşük bileşik elektrikli ocakta orta pişirme süresinde pişirilmiş örneklerde görülmüşken, en yüksek bileşik kömürlü ocakta çok pişirme süresinde pişmiş dönerlerde gözlenmiştir. Sonuç olarak bahsi geçen bileşiğin oluşumu pişirme süresinin artmasıyla artış göstermiştir.

İstatistik analizi sonucunda cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin oluşumuna pişirme yöntemi, pişirme süresi ve döner tipinin (az yağlı döner ve çok yağlı döner) tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05).

Çizelge 4.30 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin cyclopenta[cd]pyrene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi		Gazlı Pişirme ^B		Kömürlü Pişirme ^A		Elektrikli Pişirme ^B	
Pişirme Süresi		Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı
cyclopenta[cd]pyrene	Orta ^Y	45.60±17.60	81.64±0.05	70.55±5.87	95.20±16.40	56.25±3.04	81.20±30.30
	Çok ^X	87.71±7.99	102.73±1.81	104.90±15.10	112.70±17.60	69.50±14.50	103.80±16.80

A, B: Farklı pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

X, Y: Farklı pişirme sürelerindeki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Yapılan araştırmada pişirme sũresinin etkisi incelendiğinde, pişirme sũresine bağlı olarak cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin miktarında % 27.8'lik artış gũzlenmiř ve bu artış istatistik olarak ȳnemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.30).Cyclopenta[cd]pyrene oluşumu ȳzerine ȳç pişirme yȳnteminin (gazlı, kȳmũrlũ ve elektrikli) etkisi incelendiğinde aralarındaki farklılığın istatistik olarak anlamlı olduğu ve bahsi geçen bileşiğin kȳmũrlũ pişirme yȳntemiyle pişirilen grupta en fazla olduğu gȳrũlmũřtũr ($p<0.05$) (Çizelge 4.30).

Cyclopenta[cd]pyrene bileşiğinin oluşumuna dȳner tipinin etkisi incelendiğinde, az yağlı dȳnerlerde ise ortalama 72.42 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olan bileşiğin %32,9 artış gȳstererek çok yağlı dȳnerlerde 96.21 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yũkseldiđi gȳzlenmiřtir ($p<0.05$) (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31 Farklı yağ içeriğine sahip pişirilmif tavg dȳnerlerin cyclopenta[cd]pyrene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Az yağlı	çok yağlı	p değer
cyclopenta[cd]pyrene	72.42 \pm 6.90 ^B	96.21 \pm 6.27 ^A	0.003

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak ȳnemlidir. ($p<0.05$)
Ortalama \pm Standard hata (n=3)

Araştırmada bulunan değerler 45,60-112,70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında bulunmuştur. Literatũr ile karşılaştırıldığında çalışmamıza benzer sonuç bulan araştırmacılar da olmuştur. Rose vd. (2015) barbekũ edilmiş tavuk eti, domuz eti, sığır eti ve balık ile gerçekleştirdikleri çalışmada ortalama cyclopenta[cd]pyrene değerini ortalama 0,01-157 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında rapor etmişlerdir.

4.2.3.3.3 Benzo[a]anthracene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dȳnerlerin farklı pişirme yȳntemleriyle farklı pişirme sũrelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[a]anthracene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[a]anthracene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi	Gazlı Pişirme ^B		Kömürlü Pişirme ^A		Elektrikli Pişirme ^B		
	Piştirme Süresi	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı	Az yağlı	Çok yağlı
benzo[a]anthracene	Orta^Y	60.10±24.40	79.00±13.50	104.40±18.80	95.24±5.27	54.50±25.00	85.50±28.10
	Çok^X	101.50±60.6	94.75±9.69	158.70±61.10	137.90±12.50	68.30±19.80	105.30±43.50

A, B: Farklı piştirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

X, Y: Farklı piştirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Araştırmada az yağlı tavuk dönerlerde benzo[a]anthracene bileşiğinin miktarı 54.50 µg/kg ile 158.70 µg/kg arasında değişmekte olup; bu değişimin çok yağlı tavuk dönerlerde 79.00 µg/kg ile 137.90 µg/kg arasında olduğu gözlenmiştir. Az yağlı tavuk dönerlerde en yüksek bileşik oluşumunun çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta, en düşük bileşik oluşumunun ise orta pişirme süresinde elektrikli pişirme yöntemiyle pişirilen grupta; çok yağlı tavuk dönerlerde ise en yüksek bileşik oluşumunun yine çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta en düşük benzo[a]anthracene ise orta pişirme süresinde gazlı pişirme yöntemiyle pişirilen grupta olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.32).

Çalışmada istatistik analizi sonucunda benzo[a]anthracene bileşiğinin oluşumuna pişirme yöntemi ve pişirme süresinin tekli etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bu doğrultuda pişirme süresinin etkisi incelendiğinde, bütün gruplarda süreye bağlı olarak benzo[a]anthracene bileşiğinin miktarında artış gözlenmiş ve bu artışlar istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.32).

Benzo[a]anthracene bileşiği oluşumuna üç farklı pişirme yöntemlerinin etkisi incelendiğinde ise gazlı ve elektrikli pişirme yöntemleriyle kıyaslandığında kömürlü pişirmede en yüksek benzo[a]anthracene bileşiği oluşumu gözlenmiş ve bu farklılık istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.32).

Çalışmada tavuk dönerlerde benzo[a]anthracene içeriği 54.50 µg/kg ile 158.70 µg/kg değişmekle birlikte literatürde rapor edilen sonuçlara kıyasla yüksek olmakla beraber araştırmamızla uyumlu sonuçlar da söz konusudur. Örneğin Chen vd. (1996) benzo[a]anthracene bileşiğini kömür ateşinde pişirilen tavuk etinde 31.8 µg/kg, haşlanmış tavuk ciğerinde 26.6 µg/kg, haşlanmış tavuk yüreğinde ise 10.2 µg/kg olarak raporlamıştır. Stumpe-Viksna vd.(2008) ise benzo[a]anthracene bileşiğini 8.43 µg/kg ile 111.80 µg/kg arasında bulmuştur. El Husseini vd. (2019) ise geleneksel et ürünleri ile yaptıkları çalışmada benzo[a]anthracene bileşiği kömür ateşinde pişirilen tavuk göğüs etinde ts- 2.43 µg/kg, şiş tavukta 0.67- 4.71 µg/kg, tavuk kanat örneklerinde 2.68-4.93 µg/kg, tavuk kebab örneklerinde 0.77- 3.79 µg/kg arasında değişim gösterdiği

rapor edilmiş, ayrıca araştırmacılar büyük et parçalarında daha az PAH oluşumunun gerçekleştiğini, et boyutu azaldıkça PAH oluşumunun arttığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak literatürdeki kaynaklar incelendiğinde, benzo[a]anthracene konsantrasyonu aynı gıda örneklerinde bile oldukça değişken olduğu, bu değerlerdeki farklılığın kullanılan et tipi, pişirme sıcaklık-süre kombinasyonları, pişirme koşulları vb. çeşitli değişkenlerden etkilendiği düşünülmektedir.

4.2.3.3.4 Chrysene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin farklı pişirme yöntemleriyle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan chrysene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.33’ de verilmiştir.

Çizelge 4.33 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin chrysene miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi	Az Yağlı ^B			Çok Yağlı ^A		
	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
Chrysene	Orta ^Y	<bs	<bs	<bs	<ts	<ts
	Çok ^X	<bs	<ts	<ts	4.69±1.19	3.82±0.33

A, B: Farklı pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

X, Y: Farklı pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Farklı pişirme yöntemiyle pişirilmiş az yağlı tavuk dönerlerde chrysene bileşiğinin miktarı belirleme veya tayin sınırının altında olduğu; çok yağlı tavuk dönerlerde ise çok pişirme süresinde gazlı ve kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen gruplar hariç bütün dönerlerde belirleme veya tayin sınırının altında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.33)

Çalışmada chrysene bileşiğinin oluşumuna döner türleri (az yağlı ve çok yağlı) ve pişirme süresinin tekli etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge

4.33). Bu doğrultuda, farklı yağ oranlarının chrysene bileşiği oluşumu üzerine etkisi incelendiğinde az yağlı döner örneklerine kıyasla çok yağlı döner örneklerinde daha fazla chrysene bileşiği oluştuğu ve yağın bu oluşum üzerine etkisinin istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$). Ayrıca bütün gruplarda pişirme süresindeki artış ile birlikte oluşan chrysene bileşiğinin miktarının artış gösterdiği ve bu artışın önemli olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). Pişirme yöntemleri açısından durum değerlendirildiğinde chrysene bileşiği oluşumu üzerine istatistik olarak anlamlı bir sonuç görülmemiştir ($p > 0.05$).

Chrysene bileşiğinin tavuklarda belirleme veya tayin sınırının ($< t_s$) bulunduğu çalışmalar bulunmakla birlikte, barbeküde pişirilmiş yapılmış tavuk etinde $0,0612 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Onwukeme vd. 2015), farklı yağ bileşenleri ve asidik/alkali marinatlar ile marine edildikten sonra barbeküde pişirilen tavuk göğüs etinde $81,4- 362,4 \mu\text{g}/\text{kg}$ aralığında (Wongmaneepratip ve Vangnai, 2017), değişik konsantrasyonlarda dialil sülfid ve quarcetin antioksidanları ilave edilmiş barbeküde pişirilen domuz etinde ise $32,9- 164,5 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Wongmaneepratip vd. 2019) aralığında chrysene bileşiği belirlenen çalışmalarda söz konusudur.

4.2.3.3.5 5-Methychrysene miktarı

Et dönerlerden farklı olarak tavuk dönerlerde 5-Methychrysene bileşiği tespit edilmiş ve 5-Methychrysene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.34'de verilmiştir. Tavuk dönerlerde 5-Methychrysene bileşiğinin miktarı $bs-21.73 \mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişmektedir. Çalışmada 5-Methychrysene bileşiğinin az yağlı tavuk dönerlerin bütün gruplarında belirleme sınırının altında kalırken; çok yağlı tavuk dönerler de ise pişirme süresine bağlı olarak gazlı ocakta $17.96 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan $20.44 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta $18.33 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan $21.73 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta ise $18.19 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan $18.69 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir.

İstatistik analizi sonucunda 5-Methychrysene bileşiğinin oluşumuna farklı yağ oranı ve sürelerinin (yağ oranı*pişirme süresi) ikili interaksiyonları istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin 5-Methychrysene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi		Az Yağlı				Çok Yağlı			
Pişirme Süresi		Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	ORT	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	ORT
5-Methychrysene	Orta	<bs	<bs	<bs	<bs ^{Ab}	17,96±0,11	18,33±0,82	18,19±0,17	18,16±0,29 ^{Ba}
	Çok	<bs	<bs	<bs	<bs ^{Ab}	20,44±1,86	21,73±2,16	18,69±0,13	20,29±0,71 ^{Aa}

A,B: Aynı yağ oranında pişirme süresi arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

a,b: Aynı pişirme süresinde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

Ortalama±Standard hata (n=3)

5-Methychrysene bileşiği açısından döner türleri (az yağlı döner ve çok yağlı döner) arasındaki farklılıklara bakıldığında, orta pişmiş çok yağlı tavuk dönerlerin (18.16 µg/kg), az yağlı tavuk dönerlerden (<bs) daha yüksek oranda bileşik içerdiği (p<0.05), çok pişmiş çok yağlı tavuk dönerlerin (20.29 µg/kg) az yağlı tavuk dönerlerden (<bs) daha yüksek oranda 5-Methychrysene bileşiğini içerdiği gözlenmiştir (p<0.05).

Piştirme yöntemine bakılmaksızın piştirme süresinin etkisi incelendiğinde, orta pişmiş ve çok pişmiş az yağlı dönerlerde bileşiğin belirleme sınırının altında olması nedeniyle bir fark tespit edilememiş ve istatistik olarak da iki grup arasındaki fark da önemsiz bulunmuştur (p>0.05). Çok yağlı dönerler de ise orta pişmişlerde (18.16 µg/kg) ve çok pişmiş (20.29 µg/kg) gruplarda ki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Çok yağlı dönerlerde bu durum, piştirme süresinin artmasına bağlı olarak 5-Methychrysene oluşumunda artışa neden olduğunu göstermektedir.

Araştırmada bulunan değerler bs-21.73 µg/kg arasında bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında; 5-Methychrysene değerleri Stumpe-Vıksna vd. (2008)'nin çalışmasından biraz daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar etin tütsülenmesi amacıyla kullanılan yakıt türünün PAH oluşumu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında en düşük 5-Methychrysene değeri yakıt materyali olarak elma ağacı kullanılan gruplarda 1.34 µg/kg; en yüksek 5-Methychrysene oluşumu ise 14.06 µg/kg ile ladin ağacının kullanıldığı örnek gruplarında tespit edilmiştir. Araştırmacılar bunun sebebinin ladinin yumuşak ağaç olmasından dolayısıyla içerdiği reçine miktarının yüksek olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

4.2.3.3.6 Benzo[a]pyrene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin farklı piştirme yöntemleriyle farklı piştirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[a]pyrene bileşiğine ilişkin sonuçlar izelge 4.35'de verilmiştir.

Yapılan araştırmada az yağlı tavuk dönerlerde benzo[a]pyrene bileşiğinin belirleme veya tayin sınırının altında olduğu; çok yağlı tavuk dönerlerde ise çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grup (5.92 µg/kg) hariç bütün gruplarda bileşik miktarının da belirleme veya tayin sınırının altında olduğu görülmüştür.

Az yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta pişirme sonucunda, orta ve çok pişirme sürelerinde bileşik miktarının belirleme sınırının altında olduğu, kömürlü ve elektrikli pişirme yönteminde orta pişirme süresinde bileşik miktarının belirleme sınırının altında, çok pişirme süresinde ise tayin sınırının altında olduğu görülmüştür. Çok yağlı tavuk dönerlerde gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirme yönteminde orta pişirme süresinde benzo[a]pyrene bileşiğinin miktarı belirleme sınırının altında olduğu tespit edilmiştir. Çok yağlı tavuk döner grupları içerisinde benzo[a]pyrene bileşiği yalnızca kömürlü pişirme yöntemiyle çok pişmiş grupta 5.92 µg/kg olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.35 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[a]pyrene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı ^B			Çok Yağlı ^A		
	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
benzo[a]pyrene	Orta ^Y	<bs	<bs	<bs	<bs	<bs
	Çok ^X	<bs	<ts	<ts	5.92±1.91	<ts

A, B: Farklı döner tipleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. (p<0.05)
X, Y: Farklı pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Çalışmada istatistik analizi sonucunda benzo[a]pyrene bileşiğinin oluşumuna pişirme süresinin, farklı pişirme yöntemlerinin ve döner tipinin (az yağlı döner ve çok yağlı döner) etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). En çok benzo[a]pyrene oluşumunun kömürlü pişirme yönteminde olduğu saptanmıştır (p<0.05).

Araştırmada benzo[a]pyrene için bulunan değerler ts-5.92 µg/kg arasında değişmekle birlikte, literatürde çeşitli yöntemlerle pişirilen etlerde, değişen aralıklarda BaP bileşiği bildirilmiştir. Grochowicz (2019) çalışmasında orta düzeyde pişirilmiş tavuk but etinde benzo[a]pyrene düzeyinin 0.15-0.46 µg/kg arasında değişim gösterdiğini, çok pişirildiğinde ise bu düzeyin 0.73 µg/kg'a çıktığını, çok pişmiş but etinin sadece derisinde ise BaP düzeyinin 138 µg/kg olduğunu bildirmişlerdir. Wang vd.(2019) 210 °C'de 8 dk. barbeküde pişirilen tavuk kanat etinde 0.68- 1.38 µg/kg, 240 °C'de 8 dk. barbeküde pişirilen tavuk kanat etinde 1.57-2.57 µg/kg, 270 °C'de 8 dk. barbeküde pişirilen tavuk kanat etinde ise 2.23-3.27 µg/kg olarak rapor etmişlerdir. Jahurul vd. (2013) kömür ateşinde pişirilmiş tavuk satay'da 3.70 µg/kg rapor etmişlerdir. Alomirah vd. (2011) yılında yaptıkları çalışmada piyasada satılan tavuk mandı'de 0.12-0.64 µg/kg, tavuk şişte 0-4.63 µg/kg, gril tavukta 0-1.96 µg/kg, tavuk shawarma'da 0-0.93 µg/kg, tavuk burger'de ise 0-0.45 µg/kg arasında benzo[a]pyrene bileşiği tespit etmişlerdir. Olatunji vd.(2014) tütsülenmiş tavuk etinde 5.91 µg/kg; ızgarada pişirilmiş tavuk etinde 3,73 µg/kg; haşlanmış tavuk etinde ise 1.66 µg/kg olarak rapor etmişlerdir.

Farhadian vd. (2010) çeşitli et ürünleriyle yaptıkları çalışmada 3 farklı pişirme yöntemi (kömür ateşinde, gazlı pişirme ve fırında pişirme yöntemleri) ile pişirilen örneklerdeki benzo[a]pyrene miktarı tavuk satay'da 1.61-2.67 ng/g, tavuk kebab da ts- 2.83 ng/g, ızgarada pişirilmiş tavuk etinde ts- 0.87 ng/g, fırında pişirilmiş tavuk etinde ise tespit edilememiştir. Ayrıca araştırmacılar elde edilen örneklerin PAH içeriklerinin istatistiki olarak önemli ölçüde farklılık gösterdiklerini, en yüksek PAH içeriğinin kömür ateşinde pişirilen örneklerde oluştuğunu, bunu sırasıyla gaz alevinde ve fırında pişirme yöntemlerinin izlediğini bildirmişlerdir.

Araştırmacılar genel olarak kömür ateşinde pişirme metodunda pişmişlik derecesinin artmasının et örneklerinde PAH konsantrasyonunu arttırmada önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir (Haiba vd. 2019). Haiba vd. (2019)'de en yüksek BaP seviyesinin kömür ateşinde pişirilmiş tavuk örneklerinde orta pişmişlerde 0.967 ng/g ve çok pişmişlerde ise 1.341 ng/g olarak rapor etmişlerdir.

4.2.3.3.7 Dibenz[a,h]anthracene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerde farklı pişirme yöntemleriyle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin miktarına ilişkin sonuçlar Çizelge 4.36'da verilmiştir. Yapılan araştırmada tavuk dönerlerde dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin az yağlı tavuk dönerlerde $<bs ile 4.84 \mu\text{g/kg}$, çok yağlı tavuk dönerlerde ise $3.17 \mu\text{g/kg}$ ile $12,82 \mu\text{g/kg}$ arasında değişim gösterdiği saptanmıştır.

İstatistik analizi sonucunda dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumuna pişirme süresi, pişirme yöntemi ve döner tipinin (az yağlı ve çok yağlı) üçlü interaksyonu önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.36).

Araştırmada, tavuk dönerlerde farklı pişirme sürelerinin dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumuna etkisi hem az yağlı dönerlerde hem de çok yağlı dönerlerde bütün pişirme yöntemlerinde pişirilen grupların hepsinde artış göstermiş, ancak yalnızca hem az yağlı dönerlerde hem de çok yağlı dönerlerde kömürlü ocakta pişirme sonucunda istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Pişirme yöntemlerinin dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumuna etkisi incelendiğinde ise hem az yağlı dönerler hem de çok yağlı dönerlerde orta ve çok pişirme süresinde, kömürlü ocakta pişirme sonucunda daha yüksek bileşik olduğu gözlenmiştir. Az yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde gazlı ve elektrikli ocakta belirleme sınırının altında olan dibenz[a,h]anthracene bileşiği kömürlü ocakta $2.59 \mu\text{g/kg}$ saptanmış, çok yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde ise gazlı ocakta $6.20 \mu\text{g/kg}$ olan bileşik, kömürlü ocakta $7.74 \mu\text{g/kg}$ ve elektrikli ocakta ise $3.17 \mu\text{g/kg}$ olarak tespit edilmiştir. Çok pişirme süresinde az yağlı dönerlerde gazlı ve elektrikli ocakta tayin sınırı altı olan bileşik kömürlü ocakta $4.84 \mu\text{g/kg}$ olarak bulunmuş, aynı pişirme süresinde çok yağlı dönerlerde ise bu durum gazlı ocakta $6.65 \mu\text{g/kg}$ olan bileşik, kömürlü ocakta $12.82 \mu\text{g/kg}$ ve elektrikli ocakta ise $3.22 \mu\text{g/kg}$ olarak tespit edilmiştir. Üç farklı pişirme yöntemlerinde görülen bu farklılıklar ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.36 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin dibenz[a,h]anthracene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı			Çok Yağlı			
	Pişirme Süresi	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
dibenz[a,h]anthracene	Orta	<bs ^{Aby}	2.59±0.06 ^{Bay}	<bs ^{Aby}	6.20±0.75 ^{Aax}	7.74±0.08 ^{Bax}	3.17±0.636 ^{Abx}
	Çok	<ts ^{Aby}	4.84±0.03 ^{Aay}	<ts ^{Abx}	6.65±0.505 ^{Abx}	12.82±1.02 ^{Aax}	3.22±0.686 ^{Acx}

A,B: Aynı yağ oranı ve aynı pişirme yönteminde pişirme süreleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
a,b,c: Aynı yağ oranı ve aynı pişirme süresinde pişirme yöntemleri arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05))
x-y: Aynı pişirme yöntemi ve aynı pişirme süresinde yağ oranları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Dibenz[a,h]anthracene bileşiğinin oluşumunu etkileyen bir diğer faktör ise döner tipi (az yağlı ve çok yağlı) olmuştur. Dibenz[a,h]anthracene bileşiği az yağlı dönerlerde çok pişirme süresinde gazlı ocakta pişirme sonucunda tayin sınırı altında, çok yağlı dönerlerde ise 6.65 µg/kg; az yağlı dönerlerde kömürlü ocakta pişirme sonucunda 4.84 µg/kg, çok yağlı dönerlerde ise 12.82 µg/kg; elektrikli ocakta pişirme sonucunda az yağlı dönerlerde bileşen düzeyi tayin sınırının altında, çok yağlı dönerlerde ise 3.22 µg/kg olarak belirlenmiştir. Döner tiplerinde görülen bu farklılık istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05).

Araştırmada dibenz[a,h]anthracene için tespit edilen sonuçlar <bs-12.82 µg/kg arasında değişmektedir. Manda vd. (2012) çalışmasında yerel marketlerde satılan ürünlerle yaptıkları çalışmada tütsülenmiş etlerde dibenz[a,h]anthracene düzeyi 0.97 µg/kg, kızartılmış etlerde 0.66 µg/kg, barbeküde pişirilenlerde ise 0.73 µg/kg olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Onwukeme vd. (2015) ise birçok pişirme yöntemi uygulanan tavuk etlerinde dibenz[a,h]anthracene düzeyinin tayin sınırının altında olduğu belirtilmiştir. Kao vd. (2012)'de 12 saat marine edilmiş tavuk yüreğinde dibenz[a,h]anthracene bileşenini 2.0 ng/g tespit ederken, diğer tavuk eti örneklerinde (but, göğüs, kanat) dibenz[a,h]anthracene düzeyinin tayin sınırının altında olduğu belirtilmiştir. Bu durum araştırma koşullarındaki pişirme yöntem farklılığı, pişirme süresi, pişirme sıcaklığı, kullanılan ısı kaynağı, ısıya olan mesafe vb farklılıklardan kaynaklanmış olabilir.

4.2.3.3.8 Benzo[ghi]perylene miktarı

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin farklı pişirme yöntemleriyle farklı pişirme sürelerinde pişirilmeleri sonucunda oluşan benzo[ghi]perylene bileşiğine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Araştırmada, tavuk dönerlerde benzo[ghi]perylene bileşiğinin <bs- 95.70 µg/kg arasında değişen miktarlarda olduğu görülmüştür. Az yağlı tavuk dönerlerde benzo[ghi]perylene bileşiğinin miktarı belirleme sınırı ile 17.60 µg/kg arasında

değişmekte olup; çok yağlı et dönerlerde 49.50 µg/kg ile 95.70 µg/kg arasında olduğu gözlenmiştir.

Az yağlı tavuk dönerlerde en yüksek değer çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta 17.60 µg/kg olarak belirlenirken, hem orta pişmiş hem de çok pişmiş elektrikli pişirme yöntemiyle pişirilen grupta benzo[ghi]perylene düzeyi belirleme sınırının altında kalmıştır. Çok yağlı tavuk dönerlerde ise en yüksek benzo[ghi]perylene düzeyi çok pişirme süresinde kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grupta (95.70 µg/kg) saptanırken, en düşük oluşumun ise orta pişirme süresinde elektrikli pişirme yapılan grupta (49.50 µg/kg) bulunmuştur.

Çizelge 4.37 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerin benzo[ghi]perylene miktarları (µg/kg)

Döner Tipi	Az Yağlı ^B			Çok Yağlı ^A			
	Pişirme Süresi	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
benzo[ghi]perylene	Orta	3.57±0.43	14.79±0.23	<bs	65.20±41.50	88.40±22.50	49.50±23.70
	Çok	7.75±1.05	17.60±12.20	<bs	73.50±42.90	95.70±28.80	55.60±28.80

A, B: Farklı döner tipleri (az yağlı ve çok yağlı)arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Çalışmada benzo[ghi]perylene bileşiğinin sadece döner tipinin (az yağlı döner ve çok yağlı döner) etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Az yağlı dönerlerde ortalama değeri 7.60 µg/kg olan benzo[ghi]perylene miktarı çok yağlı dönerlerde yaklaşık 9.4 kat artış göstererek 71.30 µg/kg'a yükseldiği gözlenmiştir (p<0.05) (Çizelge 4.36).

Araştırmada benzo[ghi]perylene için tespit edilen sonuçlar bs- 95.70 µg/kg arasında değişmektedir. Olatunji vd. (2014) restaurantlarda satışa sunulan birçok et ve et

ürünlerinde yaptıkları çalışmada benzo[ghi]perylene miktarı, tütülenmiş tavuk etinde 3.41 µg/kg, kömür ateşinde pişirilmişlerde 2.56 µg/kg ve haşlanmış tavuk etinde 1.87 µg/kg olarak rapor etmişlerdir. Ekaye vd. (2019) farklı bölgelerde satışı sunulan kömür ateşinde pişirilmiş tavuk etlerinde benzo[ghi]perylene miktarını 91.57 µg/kg ile 818.55 µg/kg arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

4.2.3.3.9 Tavuk dönerlerin toplam PAH miktarı

Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin hesaplanan Σ PAH4 (CHR, BaP, BaA, BbF toplamı), Σ PAH8 (CHR, BaP, BaA, BbF, BkF, BgP, DhA, IcP toplamı) ve Σ PAH miktarlarına ilişkin sonuçlar Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Araştırmada tavuk dönerlerde Σ PAH 4 içeriği 54.50-158.70 µg/kg; Σ PAH 8 içeriği 54.50-248.30 µg/kg ve Σ PAH içeriğinin 112.70-394.80 µg/kg arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Hem Σ PAH 4 içeriği hem de Σ PAH 8 içeriği açısından en düşük oluşum düzeyinin az yağlı tavuk dönerlerde elektrikli ocakta orta pişmiş örneklerde görüldüğü, yine hem Σ PAH 4 içeriği hem de Σ PAH 8 içeriği açısından en yüksek oluşum ise çok yağlı tavuk dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş gruplarda olduğu tespit edilmiştir.

Σ PAH 4 içeriği az yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta orta pişirme süresinde 60.10 µg/kg tespit edilmişken 1.6 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 101.50 µg/kg’a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 104.40 µg/kg tespit edilmişken 1,5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 158.70 µg/kg’a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 54.50 µg/kg tespit edilmişken 1.3 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 68.30 µg/kg’a yükselmiştir.

Çizelge 4.38 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH miktarları ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Döner Tipi		Az Yağlı			Çok Yağlı		
Pişirme Süresi		Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme	Gazlı Pişirme	Kömürlü Pişirme	Elektrikli Pişirme
Σ PAH4	Orta	60.10±24.40	104.40±18.80	54.50±25.00	79.00±13.50	95.24±5.27	85.50±28.10
	Çok	101.50±60.60	158.70±61.10	68.30±19.80	97.69±6.75	145.90±16.40	105.30±43.50
Σ PAH8	Orta	63.70±24.80	121.80±21.70	54.50±25.00	144.10±55.00	188.70±28.70	135.00±51.80
	Çok	112.30±61.70	179.10±76.00	68.30±19.80	173.00±47.90	248.30±45.50	162.80±74.20
Σ PAH	Orta	112.70±42.40	196.60±27.30	114.10±28.10	247.20±55.10	310.50±33.80	237.90±12.50
	Çok	228.90±24.7	292.10±17.20	143.20±34.8 0	302.90±42.30	394.80±47.70	293.20±14.60

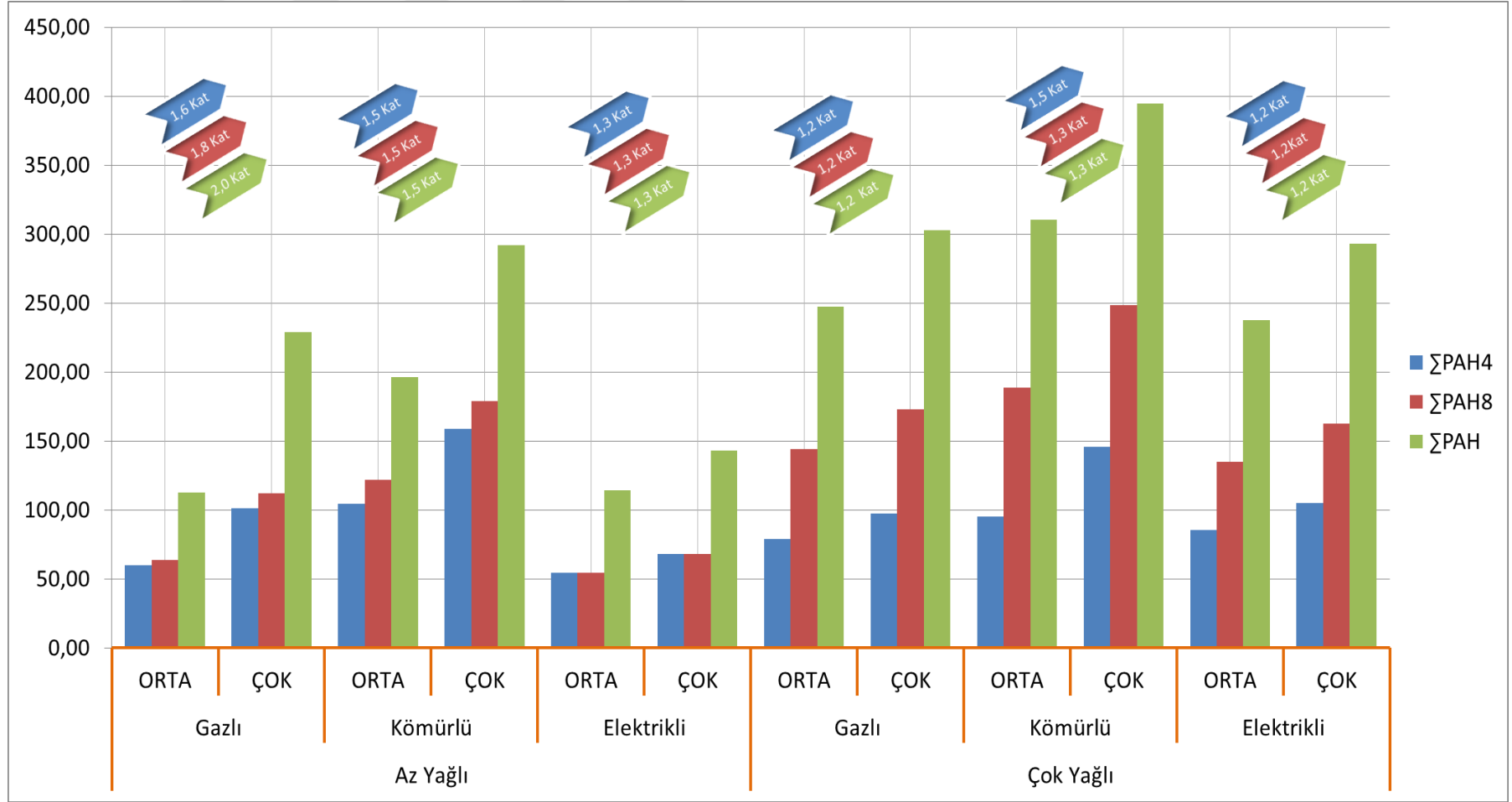
Σ PAH 4: (CHR, BaP, BaA, BbF toplamı)

Σ PAH 8: (CHR, BaP, BaA, BbF, BkF, BgP, DhA, IcP toplamı)

Ortalama±Standard hata (n=3)

Çok yağlı tavuk dönerlerde ise Σ PAH4 içeriği gazlı ocakta orta pişirme süresinde 79.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.2 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 97.69 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 95.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 145.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 85.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.2 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 105.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir (Şekil 4.4).

Σ PAH8 içeriği az yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta orta pişirme süresinde 63.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.8 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 112.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 121.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 179.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 54.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.3 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 68.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Çok yağlı tavuk dönerlerde ise Σ PAH8 içeriği gazlı ocakta orta pişirme süresinde 144.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.2 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 173.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 188.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.3 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 248.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 135.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken 1.2 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 162.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Az yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta Σ PAH içeriği orta pişirme süresinde 112.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken bu değer çok pişirme süresinde 228.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Toplam PAH miktarında pişirme ile birlikte 2.0 kat artış görülmüştür. Kömürlü ocakta pişirilen az yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde 196.60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olan toplam PAH miktarı pişirme ile 1.5 kat artarak 292.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Elektrikli ocakta pişirilen az yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde 114.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olan toplam PAH miktarı pişirme ile 1.3 kat artarak 143.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Çok yağlı tavuk dönerlerde gazlı ocakta toplam PAH içeriği orta pişirme süresinde 247.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilmişken bu değer 1.2 kat artarak çok pişirme süresinde 302.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir. Kömürlü ocakta pişirilen çok yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde 310.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olan toplam PAH miktarı pişirme ile 1.3 kat artarak 394.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a; elektrikli ocakta pişirilen dönerlerde ise orta pişirme süresinde 237.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olan toplam PAH miktarı pişirme ile 1.2 kat artarak 293.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarında pişirmeye bağlı olarak görülen değişim düzeyleri ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Yapılan istatistik analizi sonucunda, az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerde Σ PAH 4 içeriğine, Σ PAH 8 içeriğine ve Σ PAH miktarına farklı pişirme yöntemlerinin tekli etkisi de istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bu doğrultuda Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH oluşumu üzerine gazlı, kömürlü ve elektrikli pişirme yöntemleri arasında miktarsal olarak farklılıklar belirlenmiştir. Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH oluşumunun en çok olduğu grubun ise kömürlü pişirme yöntemiyle pişirilen grup olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39 Tavuk dönerlerin Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme yöntemlerinin etkisi ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Pişirme Yöntemleri		
	Gazlı pişirme	Kömürlü pişirme	Elektrikli pişirme
Σ PAH 4	84.60±14.10 ^B	126.00±16.10 ^A	78.40±13.60 ^B
Σ PAH 8	123.30±24.20 ^B	184.50±24.80 ^A	105.10±24.90 ^B
Σ PAH	222.90±33.80 ^B	298.50±34.80 ^A	197.10±36.80 ^B

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0.05$)
Ortalama±Standard hata (n=3)

Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH içeriğine, farklı pişirme sürelerinin de etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.40). Araştırmada Σ PAH 4 içeriği orta pişirme süresinde ortalama 85.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilen bileşiğin miktarı yaklaşık olarak 1.2 kat artarak çok pişirme süresinde ortalama 105.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$; Σ PAH 8 içeriği ise orta pişirme süresinde ortalama 118.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilen bileşiğin miktarı yaklaşık olarak 1.3 kat artarak çok pişirme süresinde ortalama 157.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak belirlenmiştir. Σ PAH içeriği ise orta pişirme süresinde ortalama 203.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tespit edilen Σ PAH miktarı yaklaşık olarak 1.4 kat artarak çok pişirme süresinde ortalama 275.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a artmış olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ortalama Σ PAH4 miktarında % 23,2'lik; ortalama Σ PAH8 miktarında % 33.3'lük ve ortalama Σ PAH miktarında % 35.7'lik artış görülmüş ve Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH oluşumuna pişirme süresinin etkisi önemli olmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.40).

Az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerde Σ PAH4 az yağlı grupta 91.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$, çok yağlı grupta 101.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki bu farklılık istatistik

olarak önemli düzeyde olmamıştır ($p>0.05$). Σ PAH8 ve Σ PAH oluşumuna farklı yağ içeriğine sahip döner tiplerinin etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.40 Tavuk dönerlerin Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı pişirme süresinin etkisi ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Orta pişmiş	Çok pişmiş	p değeri
Σ PAH 4	85.50±8.27 ^B	105.30±15.30 ^A	0.000
Σ PAH 8	118.00±17.90 ^B	157.30±24.30 ^A	0.000
Σ PAH	203.20±26.30 ^B	275.80±31.20 ^A	0.000

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama±Standard hata (n=3)

Σ PAH 8 içeriği az yağ içeriğine sahip grupta ortalama 100.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak tespit edilmiş, çok yağ içeriğine sahip grupta 1.8 kat artarak ortalama 175.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak belirlenmiştir. Tavuk dönerlerin Σ PAH içeriği de ise; az yağ içeriğine sahip grupta ortalama 181.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ iken yaklaşık olarak 1.6 kat artarak çok yağ içeriğine sahip grupta ortalama 297.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Σ PAH8 miktarında ve Σ PAH miktarında yağ içeriğine bağlı olarak oluşan değişimlerin önemli düzeyde olduğu saptanmıştır ($p<0.05$) (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.41 Tavuk dönerlerin Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH miktarları üzerine farklı yağ oranlarının etkisi ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Az yağlı	Çok yağlı	p değeri
Σ PAH 4	91.30±16.10 ^A	101.43±9.54 ^A	0.368
Σ PAH 8	100.00±18.70 ^B	175.30±19.20 ^A	0.000
Σ PAH	181.30±25.90 ^B	297.80±24.90 ^A	0.000

A, B: Farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.
Ortalama±Standard hata (n=3)

Araştırmada tavuk dönerlerde Σ PAH4 içeriği 54.50-145.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$; Σ PAH8 içeriği 54.50-248.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ve Σ PAH içeriğinin 112.70-394.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişmekle birlikte literatürde farklı sıcaklık ve süre kombinasyonunun uygulandığı, çeşitli yöntemlerle pişirilen etlerde, değişen aralıklarda Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH bildirilmiştir (Farhadian vd. 2010, Kao vd. 2012, Onwukeme vd. 2015).

Örneğin Jahurul vd. (2013) Malezya'da restaurantlarda satılan tavuk satay vb. birçok geleneksel ürün ile yaptıkları çalışmada toplam PAH miktarı 6.24- 42.31 ng/g değişen aralıklarda bulmuşlardır. Araştırmacılar kömürde pişirme yöntemiyle pişirilen örnek gruplarının diğer pişirme yöntemlerine kıyasla daha yüksek PAH oluşumunun söz konusu olduğunu ve bu farklılığın örneklerin içerdiği yağ oranı ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca PAH'ların gıdanın iç kısımlarında oluşmadığını daha çok ürünün yüzeyinde veya yüzeye yakın yerlerde PAH oluşumunu rapor etmişlerdir.

Çalışmamıza benzer sonuç elde edilen çalışmalar da mevcuttur. Duedahl-Olesen vd. (2015) Danimarka'da restarontlarda satışa sunulan çeşitli mangalda pişilmiş et, tavuk ve domuz ürünleriyle yaptıkları çalışmada marine edilmiş bütün halindeki tavuklarda Σ PAH4 içeriği 21.4 μ g/kg iken, Σ PAH miktarı 360 μ g/kg bulmuşlardır. Araştırmacılar bunun sebebinin yağ oranının yüksek olması ve tavuğun derili olması ile ilişkilendirmişlerdir. Kao vd. (2014) 75 °C'de 15 dk pişirilen tavuk göğüs etinde 20.5 ng/g bulunan toplam PAH miktarı sıcaklığın 84 °C'a ve pişirme süresinin 30 dakikaya çıkarılmasıyla miktar 238.8 ng/g'a çıkmıştır. Ördek etinde ise bu değerler 78 °C'de 20 dk pişirmede 211.10 ng/g yine sıcaklığın ve sürenin artışıyla 85° C'da 40 dk. pişirme ile toplam PAH içeriği 245.00 ng/g olarak tespit edilmiştir. Yine başka bir çalışmada Chen vd. (1997) farklı pişirme yöntemleri ve pişirme sürelerinde ördek etinde yapılan bir çalışmada 30 dakika kömürde pişirilen ördek etinde Σ PAH içeriği 151.4 μ g/kg iken pişirme süresinin 1 saate çıkarılmasıyla bu değer 199.7 μ g/kg'a, 1.5 saat pişirilen grupta ise Σ PAH içeriği 299.7 μ g/kg olarak tespit edilmiştir.

Çalışmamızdan elde ettiğimiz verilerden çok daha yüksek veri elde eden çalışmalar da söz konusu olup, Co ve Jn (2018) balıkların pişirilmesi amacıyla kullanılan farklı sertlikteki odun türlerinin PAH oluşumuna etkisini inceledikleri çalışmalarında; yumuşak odun türü kullanılan yöntemde Σ PAH içeriği 1320.9 μ g/kg tespit edilirken, sert ağaç türü ile yapılan pişirmede Σ PAH içeriğinin 2058.1 μ g/kg olduğu rapor edilmiştir. Sonuç olarak, az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerde bütün pişirme yöntemlerinde pişirme süresinin ve yağ içeriğinin artmasına bağlı olarak Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH miktarında artış görülmesinin yanı sıra, PAH'ların miktarları ve çeşitliliği de pişirme prosesi ile artmıştır.

4.2.4 PAH alım düzeyi

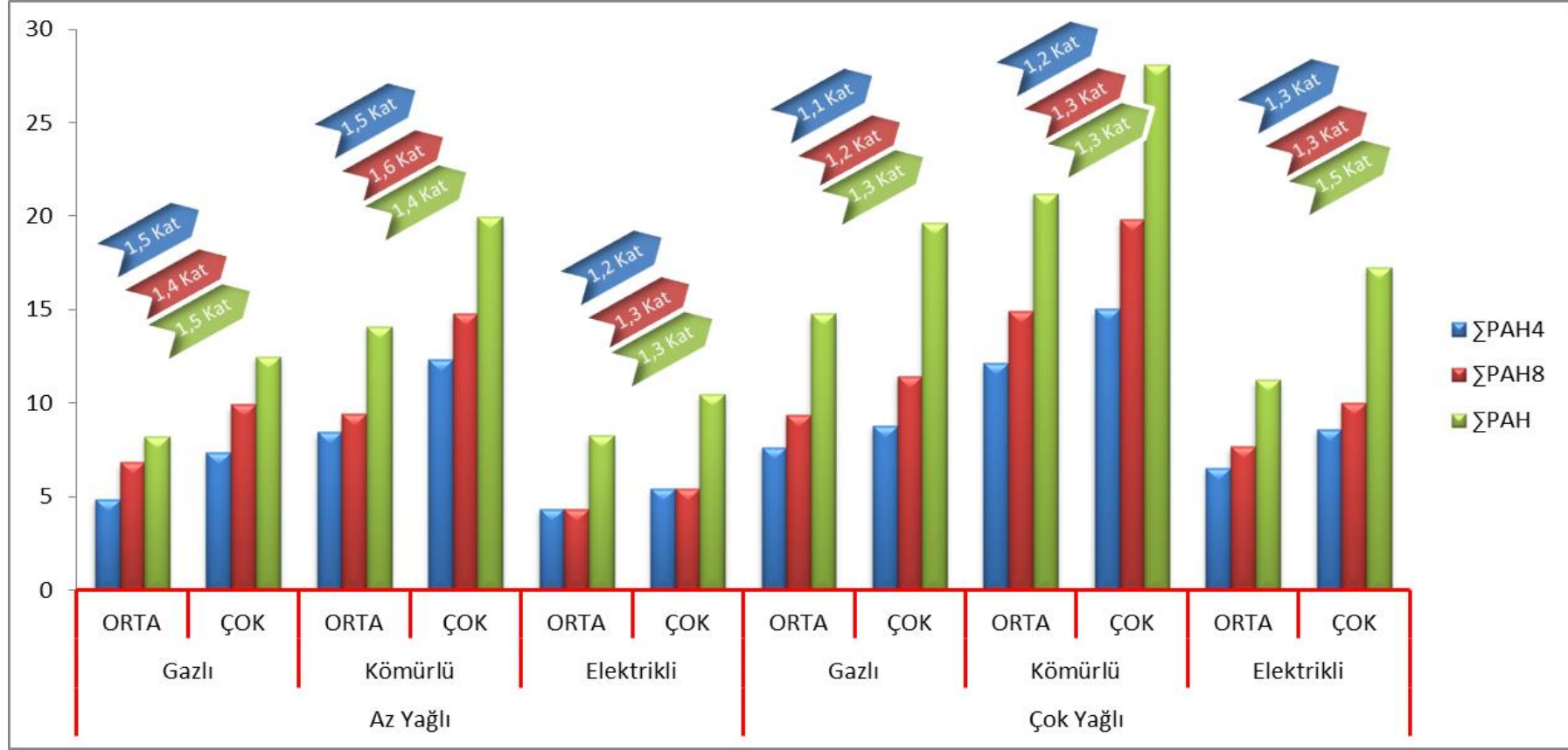
Çalışmamızda farklı pişirme yöntemlerinde ve farklı pişirme sürelerinde az yağlı ve çok yağlı et ve tavuk dönerlerde Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH'lar için PAH alım düzeyi günlük tüketilen döner miktarı ve PAH konsantrasyonlarına ($\mu\text{g}/\text{kg}$) göre hesaplanmıştır.

4.2.4.1 Et Dönerlerin PAH alım düzeyi

Et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH'lar için diyet alım düzeyi verileri Şekil 4.5'de verilmiştir.

Çalışmada genellikle günde 1 porsiyon döner örneğinin 100 g olduğu dikkate alınarak az yağlı et dönerlerde Σ PAH4 diyet alım düzeyi 4.30 $\mu\text{g}/100$ g döner ile 12,35 $\mu\text{g}/100$ g döner; çok yağlı döner örneklerinde ise bu düzeyin 6,55 $\mu\text{g}/100$ g döner ile 15,04 $\mu\text{g}/100$ g döner arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük Σ PAH4 diyet alım düzeyi az yağlı orta sürede elektrikli ocakla pişirilmiş dönerlerde bulunmuştur.

Çok yağlı döner örneklerinde en yüksek Σ PAH4 diyet alım düzeyinin ise kömürlü pişirme yöntemiyle çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir. Yapılan incelemede az yağlı dönerlerde Σ PAH4 için diyet alım düzeyi gazlı ocakta orta pişirme süresinde 4.87 $\mu\text{g}/100$ g tespit edilmişken 1.5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 7.38 $\mu\text{g}/100$ g'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 8.44 $\mu\text{g}/100$ g olarak tespit edilmişken 1,5 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 12.35 $\mu\text{g}/100$ g'a, elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 4.30 $\mu\text{g}/100$ g'dan 1.2 kat artışla çok pişirme süresinde 5.41 $\mu\text{g}/100$ g'a yükselmiştir.



Şekil 4.5 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı et dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH diyet alım düzeyleri ($\mu\text{g}/100$ g döner)

Çok yağlı et dönerlerde ise Σ PAH4 için diyet alım düzeyi gazlı ocakta orta pişirme süresinde 7.63 $\mu\text{g}/100$ g iken 1.1 kat artış göstererek bu değer çok pişirme süresinde 8.79 $\mu\text{g}/100$ g'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 12.17 $\mu\text{g}/100$ g'dan 1.2 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 15.04 $\mu\text{g}/100$ g'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 6.55 $\mu\text{g}/100$ g'dan 1.3 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 8.61 $\mu\text{g}/100$ g'a yükselmiştir.

Az yağlı et dönerlerde genotoksik Σ PAH8 diyet alım düzeyi 4.30 $\mu\text{g}/100$ g döner ile 14.79 $\mu\text{g}/100$ g döner ; çok yağlı döner örneklerinde ise bu düzeyin 7.07 $\mu\text{g}/100$ g döner ile 19.81 $\mu\text{g}/100$ g döner arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük Σ PAH8 diyet alım düzeyi az yağlı orta sürede elektrikli ocakla pişirilmiş dönerlerde bulunmuştur. En yüksek Σ PAH8 diyet alım düzeyinin ise çok yağlı kömürlü pişirme yöntemiyle çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir.

Σ PAH açısından diyet alım düzeyleri dikkate alındığında ise; az yağlı et dönerlerde 8.23 $\mu\text{g}/100$ g döner ile 19.99 $\mu\text{g}/100$ g döner arasında değişim gösterdiği; çok yağlı et dönerlerde ise 11.27 $\mu\text{g}/100$ g döner ile 28.10 $\mu\text{g}/100$ g döner olarak bulunmuştur.

Az yağlı et dönerlerde gazlı ocakta Σ PAH içeriği açısından diyet alım düzeyleri orta pişirme süresinde 8.23 $\mu\text{g}/100$ g olarak hesaplanmış, bu değer çok pişirme süresinde 12.5 $\mu\text{g}/100$ g'a yükselmiştir. Σ PAH diyet alım düzeyinde pişirme ile birlikte 1.5 kat artış görülmüştür. Kömürlü ocakta pişirilen az yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde 14.10 $\mu\text{g}/100$ g olan Σ PAH diyet alım düzeyi pişirme ile 1.4 kat artarak 19.99 $\mu\text{g}/100$ g'a yükselmiştir. Elektrikli ocakta pişirilen az yağlı dönerlerde ise orta pişirme süresinde 8.27 $\mu\text{g}/100$ g döner olan Σ PAH diyet alım düzeyi pişirme ile 1.3 kat artarak 10.48 $\mu\text{g}/100$ g döner miktarına yükselmiştir.

Çok yağlı et dönerlerde gazlı ocakta Σ PAH içeriği açısından diyet alım düzeyleri ise orta pişirme süresinde 14.78 $\mu\text{g}/100$ g olarak hesaplanmış bu değer 1.3 kat artarak çok pişirme süresinde 19.63 $\mu\text{g}/100$ g'a yükselmiştir. Kömürlü ocakta pişirilen çok yağlı dönerlerde orta pişirme süresinde 21.21 $\mu\text{g}/100$ g olan Σ PAH diyet alım düzeyi pişirme

ile 1.3 kat artarak 28.10 µg/100 g'a; elektrikli ocakta pişirilen dönerlerde ise orta pişirme süresinde 11.27 µg/100 g'dan çok pişirme süresinde 1.5 kat artarak 17.26 µg/100 g'a yükselmiştir.

Bu bağlamda yapılan çalışmada 100 g et döner tüketildiğinde en az \sum PAH4, \sum PAH8 ve \sum PAH alımının az yağlı elektrikli ocakta orta sürede pişirilmiş grupta olduğu; en fazla \sum PAH4, \sum PAH8 ve \sum PAH alımının ise çok yağlı döner örnekleri içerisinde kömürlü ocakta çok pişirilen örnek gruplarında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada az yağlı ve çok yağlı döner örneklerinden porsiyon başına \sum PAH4 için diyet alım düzeyi 4.30 µg/100 g döner ile 15.04 µg/100 g döner; \sum PAH8 için diyet alım düzeyi 4.30 µg/100 g döner ile 19.81 µg/100 g döner; \sum PAH için diyet alım düzeyi 8.23 µg/100 g döner ile 28.10 µg/100 g döner bulunmuştur. Sadece bir porsiyon döner tüketimi ile günlük alınması gereken PAH tüketim miktarı fazlasıyla aşılmış olmaktadır.

Marti- Cid vd. (2008) İspanya'da satışa sunulan farklı gıda örneklerinde PAH konsantrasyon ve diyet alım düzeylerini belirledikleri çalışmalarında, farklı yaş gruplarında ve farklı cinsiyetlere sahip bireylerinde hesapladıkları PAH alım düzeylerinin 6.89 µg/gün ile 13.83 µg/gün arasında değişim gösterdiği ve bu değişimin bireylerin tüketim alışkanlıklarından kaynaklandığı dolayısıyla pişirme yöntemi, pişmişlik derecesi gibi birçok faktörün diyet alım düzeyini etkilediği rapor edilmiştir.

Alomirah vd. (2011) restaurantlarda satışa sunulan farklı pişirme yöntemleri ile pişirilmiş et örneklerinde PAH konsantrasyon ve diyet alım düzeyi üzerine yaptıkları çalışmada \sum PAH8 ve \sum PAH için diyet alım düzeyleri farklı örnek grupları ve farklı pişirme yöntemleri için \sum PAH8 için 13.0 ile 641.0 ng/gün arasında olduğunu \sum PAH alım düzeyinin ise 93.8 ile 9687 ng/gün arasında değişim gösterdiği rapor edilmiştir.

Janozka vd. (2004) yaptığı bir çalışmada ise domuz, sığır, hindi, tavuk vb. eti ile bazı pişirme yöntemlerindeki PAH miktarları ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Günlük 100 g et tüketildiği varsayılırsa; tavada az yağ pişirme yöntemi kullanılarak iyi pişmiş bir domuz pırlasından 1,57 µg PAH, ızgara yöntemi kullanılarak çok iyi pişmiş domuz

gerdanından 1,60 µg PAH ve fırında pişirme yöntemiyle iyi pişmiş hindi göğsünden 1,27 µg PAH alındığı rapor edilmiştir.

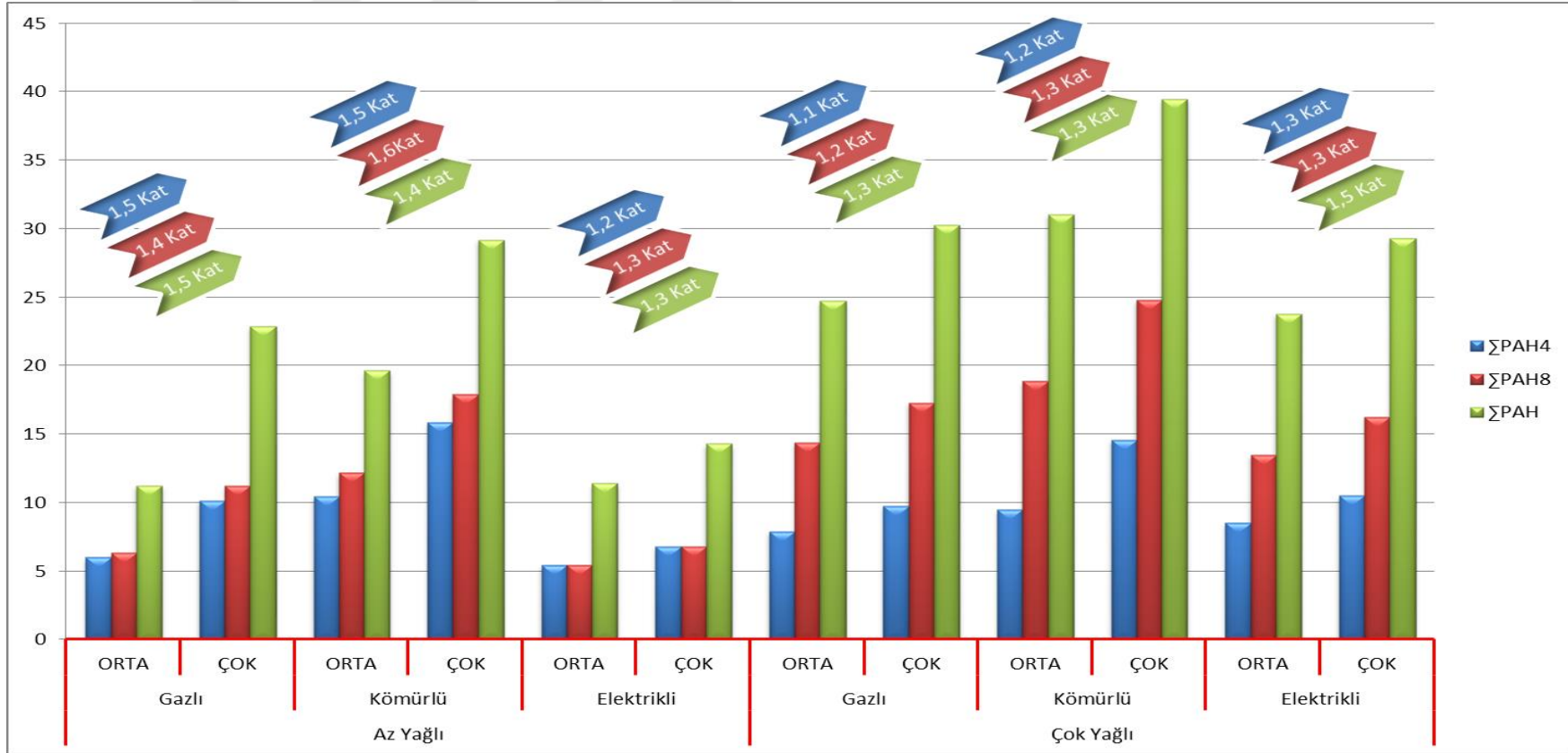
4.2.4.2 Tavuk Dönerlerin PAH alım düzeyi

Tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH'lar için diyet alım düzeyi verileri Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tavuk dönerler içinde genellikle 1 porsiyon döner örneğinin 100 g olduğu dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Az yağlı tavuk dönerlerde Σ PAH4 diyet alım düzeyi 5.45 µg/100 g ile 15.87 µg/100 g; çok yağlı döner örneklerinde ise bu düzeyin 7.90 µg/100 g ile 14.59 µg/100 g arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük Σ PAH4 diyet alım düzeyi az yağlı orta sürede elektrikli ocakla pişirilmiş dönerlerde bulunmuştur. En yüksek Σ PAH4 diyet alım düzeyinin ise çok yağlı kömürlü pişirme yöntemiyle çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir.

Çalışmada az yağlı tavuk dönerlerde Σ PAH 4 için diyet alım düzeyi gazlı ocakta orta pişirme süresinde 6.01 µg/100 g döner tespit edilmişken 1.7 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 10.15 µg/100 g'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 10.44 µg/100 g iken 1,5 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 15.87 µg/100 g'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 5.45 µg/100 g olarak hesaplanan miktar 1.2 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 6.83 µg/100 g miktarına yükselmiştir. Çok yağlı tavuk dönerlerde ise Σ PAH4 için diyet alım düzeyi gazlı ocakta orta pişirme süresinde 7.90 µg/100 g hesaplanmışken çok pişirme süresinde 1.2 kat artış göstererek bu değer 9.76 µg/100 g'a; kömürlü ocakta orta pişirme süresinde 9.52 µg/100 g tespit edilmişken 1.5 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 14.59 µg/100 g'a; elektrikli ocakta orta pişirme süresinde 8.55 µg/100 g olan diyet alım düzeyi 1.2 kat artış göstererek çok pişirme süresinde 10.53 µg/100 g'a yükselmiştir.

Az yağlı tavuk dönerlerde genotoksik Σ PAH8 diyet alım düzeyi 5.45 µg/100 g ile 17.91 µg/100 g; çok yağlı tavuk dönerlerde ise bu düzeyin 13.50 µg/100 g ile 24.83 µg/100 g arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.6 Farklı yöntemlerle farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH diyet alım düzeyleri ($\mu\text{g}/100$ g örnek)

En düşük Σ PAH8 diyet alım düzeyi az yağlı orta sürede elektrikli ocakla pişirilmiş dönerlerde bulunmuştur. En yüksek Σ PAH8 diyet alım düzeyinin ise çok yağlı kömürlü pişirme yöntemiyle çok pişmiş gruplarda tespit edilmiştir.

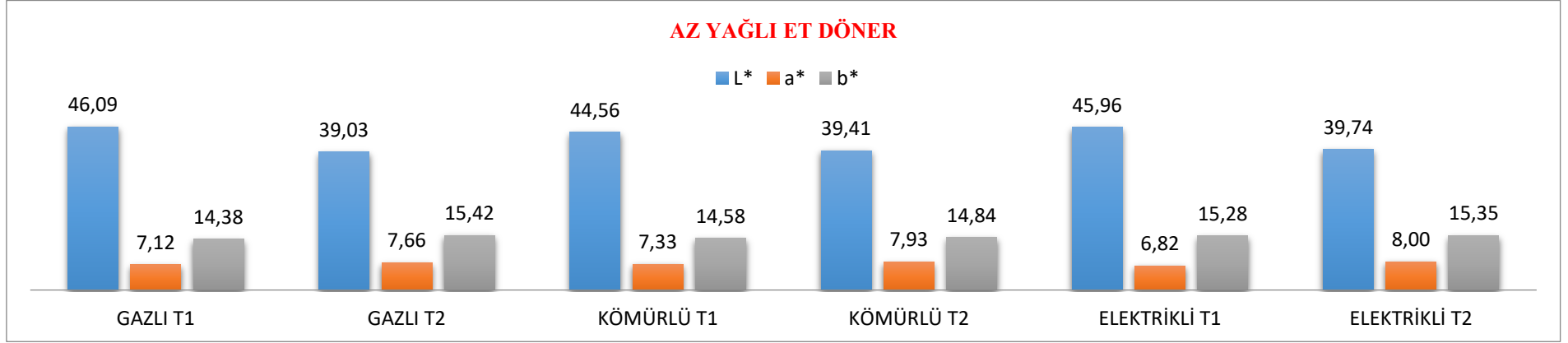
Σ PAH açısından diyet alım düzeyleri dikkate alındığında; az yağlı tavuk dönerlerde diyet alım düzeyleri 11.27 $\mu\text{g}/100$ g ile 29.21 $\mu\text{g}/100$ g arasında değişim gösterdiği; çok yağlı et dönerlerde ise 23.79 $\mu\text{g}/100$ g ile 39.48 $\mu\text{g}/100$ g olarak rapor edilmiştir. Bu bağlamda yapılan çalışmada 100 g et döner tüketildiğinde en az Σ PAH4 ve Σ PAH8 alımının az yağlı elektrikli ocakta orta sürede pişirilmiş grupta olduğu; en fazla Σ PAH4 alımının az yağlı kömürlü çok pişmiş grubunda olduğu, en fazla Σ PAH8 ve Σ PAH alımının ise çok yağlı döner örnekleri içerisinde kömürlü ocakta çok pişirilen örnek gruplarında olduğu tespit edilmiştir. Marti- Cid vd. (2008) İspanya’da satışa sunulan farklı et örneklerinde PAH konsantrasyon ve diyet alım düzeylerini belirledikleri çalışmalarında, 13.83 μg ile 11.18 $\mu\text{g}/\text{gün}$ arasında değişim gösterdiği ve bu değişimin bireylerin tüketim alışkanlıklarından kaynaklandığı rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada ise piyasada satılan tavuk şiş, ızgara tavuk, tavuk dürüm ve tavuk burger ile yaptıkları çalışmada Σ PAH8 ve Σ PAH için diyet alım düzeyleri; şiş tavuk için 22.4 ng/gün ile 316 ng/gün, ızgara tavuk için 241 ng/gün ile 2625 ng/gün, tavuk dürüm için 2.60 ng/gün ile 84.3 ng/gün ve tavuk burger için ise bu değerler 8.95 ng/gün ile 99.4 ng/gün olarak rapor edilmiştir.

4.2.5 L^* , a^* , b^* renk değerleri

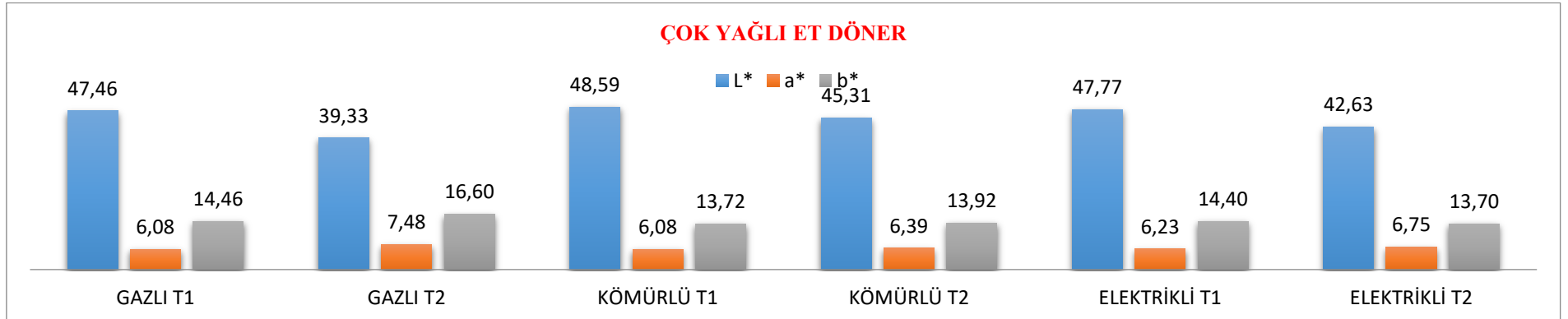
Farklı pişirme yöntemleri ve pişirme sürelerinde pişirilen et ve tavuk dönerlerin renk değişimleri CIE L^* (açıklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri ölçülerek belirlenmiştir.

4.2.5.1 Et Dönerlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri

Döner örneklerinin L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) renk parametrelerinde görülen değişim Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı et dönerlerin L*, a* ve b* renk değerleri (n=3) (T1: Orta pişmiş, T2: Çok pişmiş)



Şekil 4.8 Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş çok yağlı et dönerlerin L*, a* ve b* renk değerleri (n=3) (T1: Orta pişmiş, T2: Çok pişmiş)

Az yağlı dönerlerin L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) değerleri sırasıyla 39.03-46.09; 6.82-8.00 ve 14.38-15.42; çok yağlı dönerlerin ise sırasıyla 39.33-48.59; 6.08-7.48 ve 13.72-14.46 olarak tespit edilmiştir.

Çok pişirilen döner örneklerinde L^* (parlaklık) değerinde düşüş gözlenmiş ve bu düşüş istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Yapılan çalışmada az yağlı örneklerde gazlı ocakta orta pişmişlerin L^* değeri 46.09'dan çok pişmişlerde 39.03'e; kömürlü ocakta orta pişmişlerin L^* değeri 44.56'dan çok pişmişlerde 39.41'e; elektrikli ocakta orta pişmişlerin L^* değeri 45.96'dan çok pişmişlerde 39.74'e; düşmüştür ($p<0.05$). Ayrıca çalışmada bütün örnek gruplarında pişirme süresindeki artışla et yüzeyindeki parlaklığın azalması ve rengin koyulaşması nedeniyle L^* değerinin azaldığı ve bu durumun istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). Bununla birlikte, L^* değeri üzerine döner tipinin de (az yağlı ve çok yağlı) etkisi önemli olmuştur ($p<0.05$).

Çalışmada az yağlı ve çok yağlı et dönerlerde L^* (açıklık) değerinin 39.03-48.59 arasında değiştiği gözlenmiş, az yağlı dönerlerde gazlı ocakta çok pişirilen dönerlerde en düşük L^* değeri ölçülürken, çok yağlı dönerlerde ise kömürlü ocakta orta sürede pişirilenlerde en yüksek L^* değeri olan 48.59 değeri ölçülmüştür.

Döner örneklerinde a^* (kırmızılık) değerinin 6.08-8.00 aralığında olduğu, en düşük a^* değerinin çok yağlı örnek gruplarında gazlı ve kömürlü pişirme yöntemi uygulanmış, orta sürede pişirilmişlerde ve en yüksek a^* değerinin ise az yağlı örnek gruplarında elektrikli pişirme yöntemiyle pişirilen çok pişmişlerde gözlenmiştir. Çalışmada bütün gruplarda pişirme süresine bağlı olarak a^* değerinin arttığı gözlenmiş ve bu farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ayrıca, a^* değerindeki değişime döner tipinin de (az yağlı ve çok yağlı) etkisi önemli olmuştur ($p<0.05$). Az yağlı dönerler çok yağlılardan daha yüksek a^* değeri vermişlerdir.

Yapılan araştırmada az yağlı et dönerlerde b^* (sarılık) değerinin 14.38- 15.42 arasında değişim gösterirken, çok yağlı et dönerlerde b^* (sarılık) değerinin 13.72-16. 60 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).

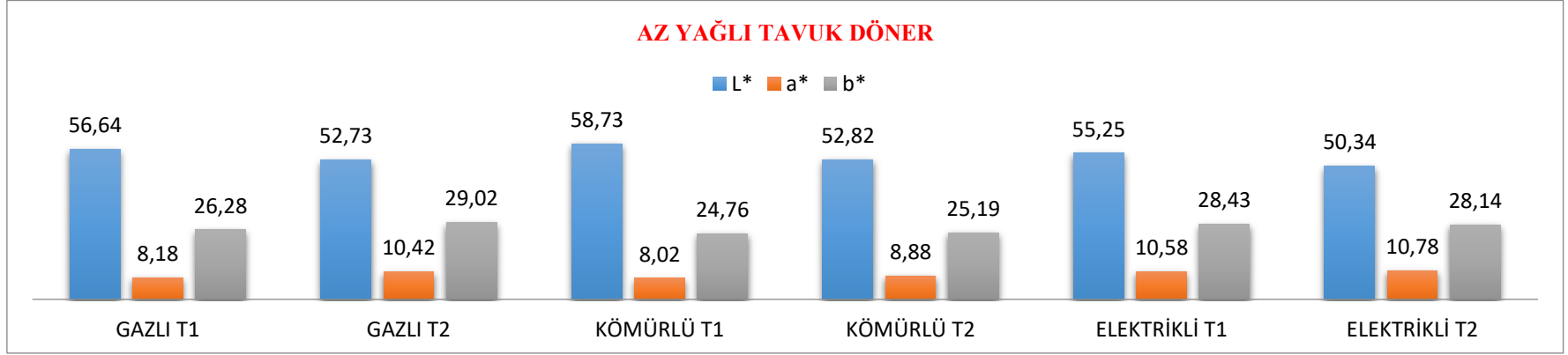
Az yağlı et dönerlerde en düşük b^* (sarılık) değerinin 14.38 değeri ile gazlı ocakta orta pişirilen grupta gözleendiği, en yüksek b^* değerinin ise yine gazlı ocakta çok pişirilen grupta tespiti yapılmıştır. En düşük b^* değeri çok yağlı dönerlerde elektrikli ocakta çok pişmiş grupta ölçülmüş, en yüksek b^* değeri de yine çok yağlı dönerlerde gazlı ocakta çok pişmiş dönerlerde tespit edilmiştir. b^* değeri açısından döner tipi ve pişirme yöntemlerinin farklılığı ve pişirme sürelerine bağlı değişim hiçbir grupta istatistik olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Literatür verileri ile karşılaştırıldığında et dönerlerin L^* , a^* , b^* değerleri Kılıç (2003) tarafından rapor edilen değerlerden düşük kalmış ancak Bingöl vd (2013) tarafından yapılan çalışmada rapor edilen sonuçlarla uyum göstermiştir. Aynı şekilde Özsaraç vd. (2019) yaprak ve karışım et döner ile yaptıkları çalışmada dönerlerin çalışmamıza paralel olarak L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla 30.99-45.55; 7.2-8.86 ve 12.87-15.27 aralığında değişim göstermiştir.

4.2.5.2 Tavuk Dönerlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri

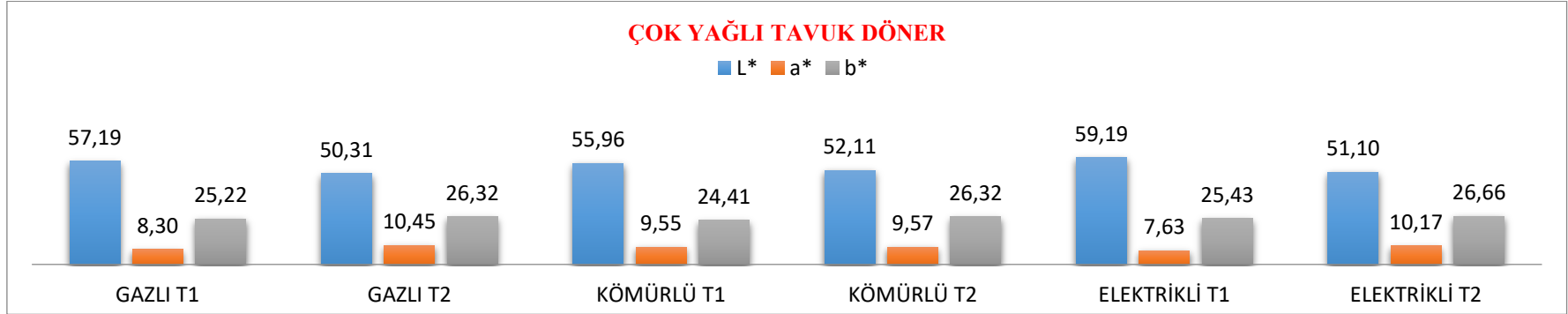
Tavuk dönerlerin renk değerlerine ilişkin grafik Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri 50.31-59.19; 7.63-10.78 ve 24.41-29.02 aralıklarında değişim göstermiştir.

Çalışmada pişirme süresine bağlı olarak hem az yağlı hem de çok yağlı et dönerlerde L^* değerinde azalma gözlenmiş ve bu değişim istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Bu durum pişirmeye bağlı olarak et yüzeyinde parlaklığın azalması, rengin koyulaşması olarak açıklanabilir. Bununla birlikte, döner tipi ve pişirme yöntemlerinin farklı olmasının L^* değeri üzerinde istatistik olarak önemli bir etkisi olmamıştır ($p>0.05$). En düşük L^* değeri çok yağlı dönerlerde gazlı ocakta çok pişmiş grupta (50.31) ölçülmüş, en yüksek L^* değeri ise yine çok yağlı dönerlerde elektrikli ocakta orta pişmiş dönerlerde (59.19) tespit edilmiştir.



Şekil 4.9 Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş az yağlı tavuk dönerlerin L*, a* ve b* renk değerleri (n=3)(T1: Orta pişmiş, T2: Çok pişmiş)

140



Şekil 4.10 Farklı yöntemlerle, farklı sürelerde pişirilmiş çok yağlı tavuk dönerlerin L*, a* ve b* renk değerleri (n=3) (T1: Orta pişmiş, T2: Çok pişmiş)

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da tavuk dönerlerde a^* (kırmızılık) değerine ilişkin sonuçlar görülmektedir. En düşük a^* değeri çok yağlı dönerlerde elektrikli ocakta orta pişmiş grupta (7,63) ölçülmüş, en yüksek a^* değeri ise az yağlı dönerlerde elektrikli ocakta çok pişmiş dönerlerde (10,78) tespit edilmiştir. Çalışmada az yağlı ve çok yağlı tavuk dönerlerde pişirme süresine bağlı olarak a^* değerinin arttığı gözlenmiş ve bu artış istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Farklı döner tipleri ile farklı pişirme yöntemlerinin a^* değeri üzerine etkisi hiçbir grupta istatistik olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Yapılan araştırmada tavuk dönerlerde b^* (sarılık) değerinin 24,41-29,02 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür. En düşük b^* değeri çok yağlı dönerlerde kömürlü ocakta çok pişmiş grupta ölçülmüş, en yüksek b^* değeri ise az yağlı dönerlerde gazlı ocakta çok pişmiş dönerlerde tespit edilmiştir. Buna göre bütün gruptardaki b^* (sarılık) değeri pişirme süresinin artması ile yükselmiştir. Bununla birlikte, b^* değeri açısından döner tipi ve pişirme yöntemlerinin farklılığı ve pişirme sürelerine bağlı değişim hiçbir grupta istatistik olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Sonuç olarak, tavuk dönerlerde farklı pişirme yöntemleri ile farklı döner tiplerinin renk üzerine bir etkisi olmamış, bununla birlikte pişirme süresinin önemli etkisi olmuştur. Pişirme süresindeki artışa bağlı olarak pişirme yöntemi ve döner tipine bakılmaksızın tavuk dönerler daha koyu, daha kırmızı ve daha sarı bulunmuştur.

Literatür verileri ile karşılaştırıldığında tavuk dönerlerin L^* , a^* , b^* değerleri Öz Saraç vd. (2019) tarafından rapor edilen sonuçlarla uyum göstermiştir. Yaprak ve karışım tavuk döner ile yaptıkları çalışmada ortalama tavuk dönerlerin çalışmamıza paralel olarak L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla 52.60-73.65; 5.35-13.85 ve 24.20-30.75 aralığında değişim göstermiştir.

5. SONUÇ

En popüler geleneksel et ürünlerimizden olan et ve tavuk dönerlerin, prosesleri gereği pişirme esnasında etin doğrudan ısı kaynağına ve dolayısıyla yüksek sıcaklığa maruz kalması nedeniyle polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) adı verilen karsinojenik ve mutajenik özellikteki bileşiklerin oluşumu kaçınılmazdır. Bu durum, dönerlerin gıda güvenliği açısından riskli gıdalar grubunda değerlendirilmesine sebep olur.

Çalışma kapsamında et ve tavuk dönerlerde (az yağlı ve çok yağlı) sağlık riski oluşturan polisiklik aromatik hidrokarbonlar üzerine farklı pişirme sürelerinin (orta ve çok pişmiş) ve döner pişirme yöntemlerinin (gazlı, kömürlü ve elektrikli) etkileri incelenmiştir. Kurulan denemede et ve tavuk döner örneklerinin PAH oluşum düzeyinin belirlenmesinde benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, 5-methy chrysene, benzo(j)fluoranthene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,l]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenzo[a,e]pyrene, dibenzo(a,i)pyrene, dibenzo(a,h)pyrene bileşikleri aranmıştır. Avrupa Birliği Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) 2008 yılında yayınladığı raporda gıdalarda bulunan PAH düzeyini yansıtmada tek başına BaP bileşiğinin yetersiz olduğunu vurgulaması, BaP ile birlikte Σ PAH 4 veya Σ PAH 8 daha iyi bir indikatör olduğunu belirtmesi ve de Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde BaP ve Σ PAH4 için limitlerin belirtilmesinden dolayı çalışmada PAH bileşikleri hem bileşik bazında hem de Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH bazında verilmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre;

Et döner bazında değerlendirildiğinde;

- Farklı pişirme yöntemleri ve farklı sürelerde pişirilmiş et dönerlerde oluşan PAH bileşikleri incelendiğinde hemen hemen bütün gruplarda cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, dibenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene bileşiklerinin bütün gruplarda oluştuğu, benzo[c]fluorene, benzo[a]pyrene, chrysene bileşiklerinin bazı gruplarda ve özellikle çok yağlı grupların çok pişmiş olanların da oluştuğu tespit edilmiştir.

- Chrysene bileşiği sadece çok yağlı et dönerde kömürlü yöntemle çok pişirilmiş olanlarda tespit edilebilir düzeyde bulunmuştur.
- Bilinen en karsinojenik bileşik olan BaP bileşiği çok yağlı dönerlerin bütün gruplarında belirlenirken, az yağlı dönerlerde sadece kömürlü yöntemle çok pişirilmiş grubunda tespit edilmiştir.
- Miktar olarak en fazla oluşan bileşik hem az yağlı hem de çok yağlı dönerler de benzo[a]anthracene bileşiği olmuştur.
- Σ PAH 4 içeriği az yağlı et dönerlerde 43.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile 123.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında; çok yağlı et dönerlerde ise 65.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile 150.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$; Σ PAH 8 içeriği az yağlı et dönerlerde 43.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile 147.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$; çok yağlı et dönerlerde ise 70.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile 198.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ve Σ PAH içeriği az yağlı et dönerlerde 82.38 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile 199.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$; çok yağlı et dönerlerde ise 112.69 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile 281.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında değişim göstermiştir.
- Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre; 1 porsiyon (100 g) et döner tüketimi ile 4.30 μg -15.04 μg Σ PAH4; 4.30 μg -19.81 μg Σ PAH8 ve 8.23 μg - 28.10 μg Σ PAH alımının mümkün olduğu hesaplanmıştır.

Tavuk döner bazında değerlendirildiğinde;

- Farklı pişirme yöntemleri ve farklı sürelerde pişirilmiş tavuk dönerlerde oluşan PAH bileşikleri incelendiğinde hemen hemen bütün gruplarda benzo[c]fluorene, cyclopenta[cd]pyrene, benzo[a]anthracene, dibenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene bileşiklerinin bütün gruplarda olduğu, chrysene, 5-methychrysene benzo[a]pyrene bileşiklerinin bazı gruplarda ve özellikle çok yağlı grupların çok pişmiş olanların da olduğu tespit edilmiştir.

- Chrysene bileşiği sadece çok yağlı tavuk dönerde gazlı yöntemle çok pişirilmiş olanlarda tespit edilebilir düzeyde bulunmuştur.
- Çalışmada, dönerlerde gazlı, kömürlü ve de elektrikli ocakta pişirme sonucunda pişirme süresinin artmasına bağlı olarak \sum PAH miktarında artış görölmüş yanı sıra, PAH'ların miktarları ve çeşitliliği de pişirme ile artmıştır. Tavuk dönerlerde ise çeşitlilik et dönerlere göre daha fazla bulunmuştur. Bu sonuç, literatürde PAH miktarının sıcaklık*süre ilişkisine paralel olarak artış göstermesine bağlı PAH çeşitliliğinin de arttığını rapor eden araştırmalar ile uyum göstermektedir.
- Tavuk dönerlerde et dönerlerden farklı olarak diğer tespit edilen bileşenlerin yanısıra 5-methychrysene bileşeni de tespit edilmiş ve az yağlı grupta tayin sınırının altında kalırken çok yağlı gruplarda oldukça yüksek seviyelerde tespiti yapılabilmektedir.
- Miktar olarak en fazla oluşan bileşik her iki döner tipinde de benzo[a]anthracene bileşiği olmuştur.
- Bilinen en karsinojenik bileşik olan BaP bileşiğinin az yağlı dönerlerde tayin sınırının veya belirleme sınırının altında olduğu, çok yağlı dönerlerin ise sadece kömürlü yöntemle çok pişirilmiş grubunda tespit edilmiştir.
- Tavuk dönerlerde \sum PAH 4 az yağlı dönerlerde 54.50 μ g/kg ile 158.70 μ g/kg arasında; çok yağlı dönerlerde ise 79.00 μ g/kg ile 145.90 μ g/kg; \sum PAH 8 için az yağlı tavuk dönerlerde 54.50 μ g/kg ile 179.10 μ g/kg arasında; çok yağlı tavuk dönerlerde ise 135.00 μ g/kg ile 248.30 μ g/kg ve \sum PAH içeriği az yağlı tavuk dönerlerde 112.70 μ g/kg ile 292.10 μ g/kg; çok yağlı tavuk dönerlerde ise 237.90 μ g/kg ile 394.80 μ g/kg arasında değişim göstermiştir.

- Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre; 1 porsiyon (100 gr) tavuk döner tüketimi ile 5.45 µg- 14.04 µg Σ PAH4; 5.45 µg- 24.83 µg Σ PAH8 ve 11.27 µg- 39.48 µg Σ PAH alımının mümkün olduğu hesaplanmıştır.

Özetle farklı pişirme yöntemleri ve sürelerinin PAH oluşumuna etkisinin araştırıldığı çalışma sonucunda, her iki döner tipinde (et ve tavuk döner) elektrikli yöntemle pişirme tekniği sonucu hem oluşan PAH bileşik miktarı hem de Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH içeriğinin daha az olduğu, kömürlü yöntemle pişirme tekniğinin en yüksek Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH içeriğinin oluşmasına neden olduğu da açıkça görülmüştür. Sonuç olarak hem tavuk hem de et dönerlerde kömürlü ocakta pişirme yöntemi ile daha fazla BaP, Σ PAH4, Σ PAH8 ve Σ PAH oluşumuna neden olduğu da belirlenmiştir. Ayrıca pişirme süresine bağlı olarak PAH miktarının ve çeşitliliğinin arttığı görülmüştür. Böylece araştırmada et ve tavuk dönerlerde pişirme süresinin artmasına bağlı olarak oluşan PAH miktarı ve çeşitliliği arasında pozitif bir ilişki olduğu ortaya konmuştur.

Dönerlerin içerdiği yağ açısından durum değerlendirildiğinde et ve tavuk dönerlerde çok yağlı dönerlerde miktarsal olarak ve de bileşik bazında daha fazla BaP, Σ PAH 4, Σ PAH 8 ve Σ PAH oluşumunun olduğu dolayısıyla PAH oluşumu açısından az yağlı döner örneklerine kıyasla çok yağlı dönerlerin sağlık açısından daha riskli olduğu tespit edilmiştir.

Literatür ile kıyaslandığında bulunan PAH değerlerinin yüksek miktarlarda olduğu görülmüştür. Bu durumun esas olarak uygulanan pişirme yöntemi, uygulanan ısıl işlem sıcaklığı ve süresinden kaynaklanmakla birlikte dönerlerin özellikle kömürlü yöntemle pişirme prosesi gereği pişirme işlemi sırasında yağın damlası sonucu ateşin alev alması daha fazla PAH salımına neden olmasından kaynaklanmış olabileceği ve de kömür ateşinde pişirme de tutuşturucu jel kullanımının da PAH salınımını artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca pişirme süresine bağlı olarak PAH miktarının ve çeşitliliğinin arttığı görülmüştür. Böylece pişirme süresi arttıkça oluşum miktarı da artan karsinogenik ve mutajenik etkili PAH'ların varlığı gıda güvenliği açısından tüketici sağlığını önemli düzeyde tehdit etmektedir.

Etin türü açısından durum değerlendirilmesi yapıldığında tavuk etinden yapılan dönerlerde hem bileşik bazında hem de \sum PAH 4, \sum PAH 8 ve \sum PAH içeriği açısından daha fazla PAH oluşumunun meydana geldiği görülmüştür. Bu durum PAH'ların canlı organizmaların yumuşak dokularında (özellikle yağlı doku, deri ve derinin alt yüzeylerinde) biyolojik olarak birikme eğilimi göstermesi ile açıklanabilmektedir. Dolayısıyla yaprak et döner üretiminde yağlı kısımlarından uzaklaştırılmış hammaddenin kullanılması ve de tavuk döner üretiminde kullanılan tavuk etlerinde bu yağlı dokuların olmasının neden olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca hem bileşik bazında hem de \sum PAH 4, \sum PAH 8 ve \sum PAH açısından PAH oluşumunda sadece yağ miktarının doğrudan tek etkili faktör olmadığı; dolayısıyla döner üretiminde kullanılan dana etindeki yağın kas içerisinde dağılım göstermesi sebebiyle pişirme işlemi sırasında öncelikli olarak eriyip ateş üzerine damlaması açısından daha stabil bir yapı göstermesi bu durumun dana etlerini PAH oluşumunda daha az duyarlı hale getirdiği düşünülmüştür. Bilinen en karsinojenik BaP oluşumu açısından değerlendirildiğinde et dönerlerde tavuk dönerlerden daha fazla BaP bileşiği olduğu ve de az yağlı örnek gruplarında BaP bileşiği oluşmaması sebebiyle PAH oluşumu açısından daha sağlıklı olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, hem oluşan bileşik bazında hem de \sum PAH4, \sum PAH8 ve \sum PAH açısından elektrikli pişirmenin yönteminin diğer yöntemlere kıyasla sağlık açısından en az riskli grup olduğu ve de tespit edilen BaP miktarlarının Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde (2011) ve EFSA (2008) tarafından belirtilen değerlerin altında olduğu görülmüştür. Ayrıca pişmişlik derecesinin artmasıyla oluşan bileşik miktarı arasında pozitif bir ilişki olduğu ve orta pişirilmiş örneklerin PAH oluşumu açısından daha güvenli olduğu tespit edilmiştir. Riskin boyutu değerlendirmek amacıyla hem et dönerlerde hem de tavuk dönerlerde yapılan PAH alım düzeyinin EFSA tarafından \sum PAH4 ve \sum PAH8 için en yüksek maruziyet düzeyi olarak belirtilen 4,49 μ g ve 6,49 μ g olarak belirtilen sınır değerleri ile karşılaştırıldığında en az riskli olan grubun elektrikli pişirme yönteminde pişirilmiş az yağlı orta pişirilmiş grupta olduğu gözlenmiştir.

PAH'ların toksisite düzeyi, güvenlik sınırı ve tüketicilerin günlük maruz kaldıkları PAH miktarına ilişkin risk çalışmaları bulunmaması, maruz kalınan günlük PAH miktarının tüketim alışkanlıklarına, tüketim sıklığına, ülkeden ülkeye, farklı yaş grubundaki insanlara göre değişmesi, dönerlerin pişirme koşullarını standardize eden yasal bir düzenleme olmaması gibi belirsizliklerin giderilmesi ile PAH'ların azaltılma stratejilerinin bilimsel düzeyde çalışılmasının bir sonucu olarak, daha sağlıklı ve güvenli dönerlerin üretimi ve tüketimi söz konusu olacaktır.



KAYNAKLAR

- Aaslyng, M. D., Duedhal-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 Science*, 93; 85-91.
- Abrassom-Zettenberg L Darneud P. O. and Wretling S. 2014. Low intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in Sweden: Results based on market basket data and a barbecue study. *Food and Chemical Toxicology* 74; 107–111.
- Abdel-Shafy, H. I. and Mansour M. S. M. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*. 25; 107–123.
- Akpambang, V.O. E., Purcaro, G., Lajide, L., Amoo, I.A., Conte, L.S. and Moret, S., 2009. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in commonly consumed Nigerian smoked/grilled fish and meat. *Food Additives and Contaminants*, 7, 1096–1103.
- Alaejos, M. S. and Alfonso, A. M. 2011. Factors that affect the content of heterocyclic aromatic amines in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10; 52-108.
- Al-Shadefat, B. 2011. Tüketim sürecinde döner kebaplarda *Salmonella* spp. varlığının araştırılması. Doktora Tezi. Selçuk üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Alomirah, H., Al-Zenki S., Al-Hooti S, Zaghoul S, Sawaya W, Ahmedb, N. and Kannan, K. 2011. Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control*, 22, 2028-2035.
- Alver, E., Demirci, A ve Özcimder, 2012. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3 (1); 45-52.
- Andrée, S., Jira, W., Schwind, K.-H., Wagner, H and Schwägele F. 2010. Chemical safety of meat and meat products. *Meat Science*, 86; 38,48.
- Anonim. 1995. Döner yapım kuralları-Pişmemiş Standardı. TS 11658. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 2003. Döner- Çiğ (pişmemiş) Standardı. TS 11859. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. 2011. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. 2011/ 28157.
- Anonim. 2019. Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği. Tebliğ No: 2018/52.

- Anonymous. 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of polycyclic aromatic hydrocarbons in food. Scientific Committee on Food, SCF/CS/CNTM/PAH/29 Final.
- Anonymous. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain, The EFSA Journal,724; 1-114.
- Anonymous. 2010. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 92, Some no-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures, Lyon.
- Anonymous. 2012. A review of human carcinogens. Part F: Chemical agents and related occupations / IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- Anonymous. 2015. IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat. Press release n 240.
- AOAC 2000. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis (17th ed.), Washington, DC, 2000.
- Archten, C and Andersson, J.T. 2015. Overview of Polycyclic Aromatic Compounds (PAC). Polycyclic Aromatic Compounds, 35; 177–186.
- Armstrong, B., Hutchinson, E., Unwin, J. and Fletcher, T. 2004. Lung Cancer Risk After Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A review and Meta-Analysis. Environmental Health Perspectives, 112 (9), 970- 978.
- Aydın, Ö. Ş ve Şahan, Y. 2018. Bazı Et Türlerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumuna Farklı Pişirme Yöntemlerinin Etkisi. Akademik Gıda 16(4); 387-394.
- Aygün, S. F & Kabadayı, F. 2005. Determination of benzo[a]pyrene in charcoal grilled meat samples by HPLC with fluorescence detection. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 56(8); 581-585.
- Babaoğlu A. S, Karakaya M, and Öz F. 2016. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and lamb kokorec: Effects of different animal fats. International Journal Of Food Properties. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2016.1225761>.
- Babic, J., Vidakovic, S.,Skaljac, S., Kartalovic, B., Ljubojevic, D., Cirkovic, M. and Teodorovic. 2017. Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from traditional smoked common carp meat. 59th International Meat Industry Conference, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 85; 012086.
- Babic, J., Vidakovic, S.,Skaljac, S., Kartalovic, B., Ljubojevic, D., Cirkovic, M. and Teodorovic. 2018. Reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons in common carp meat smoked in traditional conditions.
- Banasiewicz, M., Nelson, G., Swank, A., Grubor, N., Ross, J., Nesnow, S., Köfeler, H., Small, G. J. and Jankowiak, R. 2004. Identification and quantitation of

- benzo[a]pyrene-derived DNA adducts formed at low adduction level in mice lung tissue. *Analytical Biochemistry*, 334, 390-400.
- Bansal, V and Kim, K. 2015. Review of PAH contamination in food products and their health hazards. *Environment International*, 84; 26–38.
- Bansal, V., Kumar, P., Kwon, E. E and Kim, K. 2017. Review of the quantification techniques for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food products. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 57 (15), 3297–3312.
- Bartkiene, E., Bartkevics, V., Mozuriene, E., Krungleviciute, V., Novoslavskij, A., Santrini, A., Rozentale, I., Juodeikiene, G. and Cizeikiene, D. 2017. The impact of lactic acid bacteria with antimicrobial properties on biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons and biogenic amines in cold smoked pork sausages. *Food Control*, 71, 285-292.
- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. 3- 364.
- Behnlian, D., Butz, P., Greiner, R and Lautenschlaeger, R. 2014. Process-induced undesirable compounds: Chances of non-thermal approaches. *Meat Science*, 98, 392–403.
- Bingöl, E. B., Yılmaz, F., Muratoğlu, K. and Bostan, K. 2013. Effects of vacuum packaging on the quality of frozen cooked döner kebab. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 37, 712-718.
- Bostan, K., Yılmaz, F., Muratoğlu, K ve Aydın, A. 2011. Pişmiş Döner Kebaplarda Mikrobiyolojik Kalite ve Mikrobiyel Gelişim Üzerine Bir Araştırma. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17 (5), 781-786.
- Britt, P. F., Buchanan, A.C., Owens Jr, C. V. and Skeen, J. T. 2004. Does glucose enhance the formation of nitrogen containing polycyclic aromatic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in the pyrolysis of proline?. *Fuel*, 83; 1417–1432.
- Büyükkurt, Ö. K., Dinçer, E. A., Çam, İ. B., Candal, C. and Erbaş, M. 2017. The Influence of Cooking Methods and Some Marinades on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Formation in Beef Meat. *Polycyclic Aromatic Compounds*.
- Cachada, A., Dias, A. C., Reis, A. P., Silva, E. F., Pereira, R., Duarte, A. C. and Patinha, C. 2019. Multivariate Analysis for Assessing Sources, and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lisbon Urban Soils. *Minerals*, 9, 139.
- Chan, D.S., Lau, R., Aune, D., Vieira, R., Greenwood, D. C. and Kampman, E. 2011. Red and Processed Meat and Colorectal Cancer Incidence: Meta-Analysis of Prospective Studies. *Plos One*, 6(6), 1-11.
- Chao, A., Thun, M. J., Connell, C. J., McCullough, M. I., Jacobs, E.J. Flanders W.D., Rodriguez, C., Sinha, R and Calle, E. E. 2005. Meat Consumption and Risk of Colorectal Cancer. *JAMA*, 293(2), 172-182.

- Chen B. H., Wang, C. Y. and Chiu, C. P. 1996. Evaluation of Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Meat Products by Liquid Chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 2244-2251.
- Chen B.H and Lin Y.S. 1997. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during processing of duck meat. *J. Agric. Food. Chemistry*, 45, 1394-1403.
- Chen B.H and Chen Y.C. 2001. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the smoke from heated model lipids and food lipids. *J. Agric. Food Chem.* 49, 5238-5243.
- Chen, S., Kao, H., Chen, C. J., Huang, C. W. and Chen, B. H. 2013. Reduction of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Meat by Sugar-Smoking and Dietary Exposure Assessment in Taiwan. *Agric. Food Chem.*, 61, 7645–7653.
- Chiang, V.S and Quek, S. 2017. The relationship of red meat with cancer: Effects of thermal processing and related physiological mechanisms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1153–1173.
- Choi, M. I., Sinha, R., Gierarch, G. L and Ward, M. H. 2016. Red and processed meat, nitrite, and heme iron intakes and postmenopausal breast cancer risk in the nih-aarp diet and health study. *International Journal of Cancer*, 138(7), 1609-1618.
- Christy, A. A., Lian, M. I and Francis, G. W. 2011. Pyrolytic formation of polyaromatic hydrocarbons from steroid hormones. *Food Chemistry*, 124; 1466–1472.
- Chung, S.Y., 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; 1420-1426.
- Co, E and JN, O. 2018. Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Hardwood and Softwood - Smoked Fish. *International Journal of Animal Science*, 2(1), 1012.
- Cross, A. J., Peters, U., Kirsh, V. A., Andriole, G. L., Reding, D. H., Hayes, R.B. and Sinha, R. 2005. A prospective study of meat and meat mutagens and prostate cancer risk. *Cancer Research*, 65 (24), 11779- 1784.
- Çorman, M. E. 2014. Polisiklik aromatik hidrokarbonların moleküler baskılanmış polimerler ile ön-deriştirilmesi ve tayini. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Dabestani, R and Ivanov, I. N. 1999. A Compilation of Physical, Spectroscopic and Photophysical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Photochemistry and Photobiology*, 70 (1); 10-34.
- Demircioğlu, S. K., Obuz, E., Kayaardı, S., 2013. Textural, Chemical and Sensory Properties of Döners Produced from Beef, Chicken and Ostrich Meat. *Kafkas Univ Vet Fak Dergisi*. 19 (6): 917-921, 2013.

- 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.
- Domingo, J. L and Nadal M. 2016. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat: What about environmental contaminants?. *Environmental Research*, 145; 109–115.
- Domingo, J. L and Nadal M. 2017. Carcinogenicity of consumption of red meat and processed meat: A review of scientific news since the IARC decision. *Food and Chemical Toxicology* 105; 256- 261.
- Dost, K and Ideli, C. 2012. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils and barbecued food by HPLC/UV–Vis detection. *Food Chemistry* 133; 193–199.
- Duedahl-Olesen L., White, S. and Binderup, M.-L. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in danish smoked fish and meat products. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 26; 163–184.
- Duedahl-Olesen. L., Aaslyng, M. L., Meinert, T., Christensen, A. H., Jensen, Binderup, M.-L. 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat. *Food Control*, 57; 169-176.
- El Husseini, M., Makkouk, R., Rabaa, A., Al Omar, F and Jaber, F. 2018. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH4) in the Traditional Lebanese Grilled Chicken: Implementation of New, Rapid and Economic Analysis Method. *Food Anal. Methods*, 11; 201–214.
- El Husseini, M., Mourad, R., Rahim, H. A., Al Omar, F and Jaber, F. 2019. Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH4) in the Traditional Lebanese Grilled Meat Products and Investigation of Broasted Frying Cooking Method and Meat Size on the PAH4 Formation. *The Journal of the International Society for Polycyclic Aromatic Compounds*, <https://doi.org/10.1080/10406638.2019.1570952>.
- Eldaly, E. A., Hafez, A.E., Darwish, W.S. and Elmalt, D. 2016. Effect of Heat Treatments on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formation in Meat. *Zagazig Veterinary Journal*, 44(3), 263-272.
- Ekaye, S., Osazee, E. N. and Osaro, A. C. 2019. Levels of PAHs in Commonly Consumed Barbecued Chicken and Grilled Meat (Suya) in Benin Metropolis. *NISEB Journal*, 19(3), 117-126.
- Ekici, L. Sağdıç, O. and Yetim, H. 2012. Et tüketimi ve kanser. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 136-145.

- English, D. R., MacInnis, R. J., Hodge, A. M., Hopper, J. L., Haydon, A. M. and Gilles, G. G. 2004. Red Meat, Chicken, and Fish Consumption and Risk of Colorectal Cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 13(9), 1509-1514.
- Ergönül, B. ve Kundakçı, A. 2006. Kanatlı eti dönerlerinin üretimi, depolanması ve tavuk dönerlerinin dondurarak depolama sırasındaki kalite değişimleri. *Gıda*, 31(1); 29-34.
- Ergönül, B. ve Kaya, D. 2015. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Gıdalarda Önemi. *CBÜ Fen Bil. Dergi*, 11(2); 143-153.
- Falco, G., Domingo, J. L., Llobet, J. M., Teixido, A., Casas, C., and Müller, L. 2003. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foods: Human Exposure through the Diet in Catalonia, Spain. *Journal of Food Protection*, 66(12), 2325-2331.
- Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A., Zaidul, I.S.M. 2010. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21; 606–610.
- Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H.N and Zaidul, L.S. 2011. Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food Chemistry*, 124; 141-146.
- 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; 420-442.
- Fasano, E., Yebra-Pimentel, I., Martinez-Carballo, E. and Simal-Gandara, J. 2016. Profiling, distribution and levels of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked plant and animal foods. *Food Control* 59, 581-590.
- Ferguson, L.R. 2010. Meat and cancer. *Meat Science*, 84, 308–313.
- Forsberg, N. D., Stone, D., Harding, A., Harper, B., Harris, S., Matzke, M. M., Cardenas, A., Waters, K. M. and Anderson, K. A. 2012. Effect of Native American Fish Smoking Methods on Dietary Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Possible Risks to Human Health. *J. Agric. Food Chem*, 60, 6899–6906.
- Fretheim, K. 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat products a review. *Food Chemistry*, 10, 129-139.
- García-Lomillo, J., Viegas, O., Gonzalez-Sanjose, M. L and Ferreira, Isabel M. P. L. V. O. 2017. Influence of red wine pomace seasoning and high-oxygen atmosphere storage on carcinogens formation in barbecued beef patties. *Meat Science*, 125, 10–15.
- Grochowicz, J. 2019. Chemical Threats In Thermally Processed Traditional Food and Possibilities Of Their Reduction. *Agricultural Engineering*, 23(1), 39-47.

- Gençer, V. K. ve Kaya, M., 2004. Yaprak Dönerin Mikrobiyolojik Kalitesi ve Kimyasal Bileşimi. *Turkish Journal of Veterinary Animal Science*, 28, 1097-1103.
- Gomes, A., Santos, C., Almeida, J., Elias, M. and Roseiro, L. C. 2013. Effect of fat content, casing type and smoking procedures on PAHs contents of Portuguese traditional dry fermented sausages. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 369–374.
- Gorji M. G, Ahmadvaniha R., Moazzen M, Yunesian M, Azari A, Rastkari N. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Iranian Kebabs. *Food Control* 60, 57- 63.
- Gönülalan, Z., Yetim, H. and Kose, A. 2004. Quality characteristics of doner kebab made from sucuk dough which is a dry fermented Turkish sausage. *Meat Sci.*, 67; 669–674.
- Güneş, 2016. Pişirme yöntemleri, oluşan kimyasal maddeler ve immün sistem. *Türkiye Klinikleri J Nutr Diet-Special Topics*, 2(2), 106-112.
- Gysel, N., Dixit, P., Schmitz, D. A., Engling, G., Cho, A. K., Cocker, D. R. and Karavalakis, G. 2018. Chemical speciation, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and toxicity of particles emitted from meat cooking operations. *Science of the Total Environment*, 63; 1429–1436.
- Haiba, N. S., Asaala, A. M., Massry, A. M. E. Ismail, I., Basahi, J. and Hassan, I. A. 2019. Effects of “Doneness” Level on PAH Concentrations in Charcoal-Grilled Beef and Chicken: An Egyptian Study Case. *Polycyclic Aromatic Compounds*, <https://doi.org/10.1080/10406638.2019.1602062>.
- Hamidi, E. N., Hajeb, P. Selamat, J and Razis, A. F. A. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their bioaccessibility in meat: a tool for assessing human cancer risk. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 17 (1); 15-23.
- Hanedar, A. 2009. İstanbul’da Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Atmosferik Birikiminin ve Konsantrasyon Dağılımının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi.
- Hao, X., Yin, Feng, S., Du, X., Yu, J. and Yao, Z. 2016. Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in food oils in Beijing catering services. *Environ Sci Pollut Res*, 23, 24932-24942.
- Hokkanen, M., Luhtasela, U., Kostamo, P., Ritvanen, T., Peltonen, K and Jestoi. 2018. Critical Effects of Smoking Parameters on the Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Traditionally Smoked Fish and Meat Products in Finland. *Hindawi Journal of Chemistry*, 2160958; 14.
- Hu, H., Kan, H., Kearney, G. D. and Xu, X. 2015. Associations between exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and glucose homeostasis as well as metabolic syndrome in nondiabetic adults. *Science of the Total Environment*, 505, 56–64.

- Huertas-Pérez, J. F., Bordajandi, L. R., Sejerøe-Olsen, B., Emteborg, H., Baù, A., Schimmel, H and Dabrio, M. 2015. PAHs in baby food: assessment of three different processing techniques for the preparation of reference materials. *Anal Bioanal Chem*, 407, 3069–3081.
- Icier, F., Yucel Sengun, I, Yıldız Turp, G. and Arserim E. H. 2014. Effects of process variables on some quality properties of meatballs semi-cooked in a continuous type ohmic cooking system. *Meat Science*, 96, 1345–1354.
- Ince, O. and Ince, M. 2019. Using Box–Behnken design approach to investigate benzo[a]anthracene formation in smoked cattle meat samples and its' risk assessment. *J Food Sci Technol*, 56(3), 1287–1294.
- Jagerstad, M. and Skog, K. 2005. Genotoxicity of heat-processed foods. *Mutation Research*, 574; 156–172.
- Jahurul, M. H. A., Jinap, S., Zaidul, I.S.M., Sahena, F., Farhadian, A ve Hajeb. 2013. Food Bioscience, Determination of fluoranthene, benzo[b]fluoranthene and benzo[a]pyrene in meat and fish products and their intake by Malaysian. 73- 80.
- Janoszka, B., Warzecha, L., Błaszczuk, U. And Bodzek, D. 2004. Organic compounds formed in thermally treated high-protein food, Part I: Polycyclic aromatic hydrocarbons. *Acta Chromatographica*, 14; 115–128.
- Janoszka, B. 2011. HPLC-fluorescence analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pork meat and its gravy fried without additives and in the presence of onion and garlic. *Food Chemistry*, 126; 1344–1353.
- Jasim, K. N. and Shkhaier, S. L. 2016. Determination of benzo (a) pyrene in Iraqi Chicken, doner kebab and fish samples cooked with charcoal or gas fire. *Fac Med Baghdad*, 58(2); 187-191.
- Jiang, D., Wang, G., Li, L., Wang, X., Li, W., Li, X., Shao, L and Li, F. 2018. Occurrence, dietary exposure, and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled and fried meats in Shandong of China. *Food Sci Nutr*, 6, 2431–2439.
- Jira, W. 2004. A GC/MS method for the determination of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in smoked meat products and liquid smokes. *Eur Food Res Technology*, 218, 208-212.
- Kamal, N. H. A., Selamat, A. and Sanny, M. 2018. Simultaneous formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heterocyclic aromatic amines (HCAs) in gas-grilled beef satay at different temperatures. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(5), 848-869.
- Kao, T. H., Chen, S., Chen, C. J., Huang, C. W. and Chen, B. H. 2012. Evaluation of Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by the QuEChERS Method and Gas Chromatography–Mass Spectrometry and Their Formation in Poultry Meat As Affected by Marinating and Frying. *J. Agric.Food Chem*, 60, 1380–1389.

- Kao, T. H., Chen, S., Huang, C. W., Chen, C. J and Chen, B. H. 2014. Occurrence and exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in kindling-free-charcoal grilled meat products in Taiwan. *Food and Chemical Toxicology*, 71, 149–158.
- Kartalovic, B., Okanovic, D., Babic, J., Djordjevic, V., Jankovic, S. and Cirkovic, M. 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked ham. *Procedia Food Science*, 5, 144-147.
- Kataoka, H and Ishizaki, A. 2013. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Foods and Herbal Medicines Analysis and Occurrence. In: *Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. 46-81.
- Kayısoğlu, S., Yılmaz, I., Demirci, M., Yetim, H. 2003. Chemical composition and microbiological quality of the doner kebabs sold in Tekirdağ Market. *Food Control* 14, 469-474.
- Kazerouni N, Sinha R, Hsu CH, Greenberg A, Rothman N. 2001. Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food Chem. Toxicol*, 39, 423–436.
- Kendirci, P. İcier, F. Kor, G and Altug Onogur, T. 2014. Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs. *Meat Science*, 97; 123–129.
- Keskin, F. İ ve Kaya, S. 2004. Et ve Ürünlerinin Pişirilmesi Sırasında Oluşan Zararlı Maddeler: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar. *Türk Veteriner Hekimleri Birliği Dergisi*, 3-4.
- Kılıç, B. 2003. Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken döner. *Meat Science*, 63, 417-421,
- Kim, M., Hwang J and Shin H. 2014. Evaluation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contents and Risk Assessment for Fish and Meat Products in Korea. *Food Sci. Biotechnol*, 23(3), 991-998.
- Kislov, V. V., Sadovnikov, A. I and Mebel, A. M. 2013. Formation Mechanism of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Beyond The Second Aromatic Ring. *The Journal of Physical Chemistry*. DOI: 10.1021/jp402481y.
- Knize, M. G., Salmon, C. P., Pairs, P. and Felton J. S. 1999. Food Heating And The Formation Of Heterocyclic Aromatic Amine And Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Mutagens/Carcinogens. *Impact of Processing on Food Safety*, 175-192.
- Kumosani T. A, Moselhy S.S, Asseri A. M and Asseri A.H. 2012. Detection of polycyclic aromatic hydrocarbons in different types of processed foods. *Toxicology and Industrial Health* 29(3) 300–304.
- Larsson, S. C., Rafter J., Holmberg, L., Bergkvist, L and Wolk, A. 2005. Red meat consumption and risk of cancers of the proximal colon, distal colon and rectum: The Swedish Mammography Cohort. *Int. J. Cancer*, 113; 829-834.

- Lawall, A. T. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons. A review. *Cogent Environmental Science*, 3, 1339841.
- Ledesma, E., Rendueles, M and Díaza, M. 2014. Benzo(a)pyrene penetration on a smoked meat product during smoking time. *Food Additives & Contaminants, Part A*, 31(10);1688-1698.
- Ledesma ^a, E., Rendueles, M and Díaza, M. 2015. Spanish smoked meat products: Benzo(a)pyrene (BaP) contamination and moisture. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37; 87–94.
- Ledesma ^b, E., Rendueles, M and Díaza, M. 2015. Characterization of natural and synthetic casings and mechanism of BaP penetration in smoked meat products. *Food Control*, 51; 195-205.
- Ledesma, E, Rendueles M and Díaz M. 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.
- Li, G., Wu., S., Wang, L. and Akoh, C. C. 2016. Concentration, dietary exposure and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in youtiao, a Chinese traditional fried food. *Food Control*. 59; 328-336.
- Lin, G., Weigel, S., Tang, B., Schulz, C. and Shen, J. 2011. The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in Peking duck: Relevance to food safety assessment. *Food Chemistry*, 129; 524–527.
- Liu, W. Qi, J., Yan, L., Jia, Q and Yu, C. 2011. Application of poly(butyl methacrylate-co-ethylene glycol dimethacrylate) monolith microextraction coupled with high performance liquid chromatography to the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products. *Journal of Chromatography B*, 879, 3012– 3016.
- Liu, P.,Lin H., Yang, Y., Shao, C., Guan, B and Huang, Z. 2015. Investigating the Role of CH₂ Radicals in the HACA Mechanism. *Journal Phys. Chem. A*, 119; 3261–3268.
- Lu, F., Kuhnle, G. K and Cheng, Q. 2017 a. Heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial ready-to-eat meat products on UK market. *Food Control*, 73; 306-315.
- Lu, F., Kuhnle, G. K and Cheng, Q. 2017 b. Vegetable oil as fat replacer inhibits formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in reduced fat pork patties. *Food Control*, 81; 113 – 125.
- Lu, F., Kuhnle, G. K and 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.

- Lund, M., Duedahl-Olesen, L and Christensen, J. H. 2009. Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked fish using pressurized liquid extraction with integrated fat removal. *Talanta* 79; 10–15.
- Maher, K. D. and Bressler D. C. 2007. Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals. *Bioresource Technology*, 98; 2351–2368.
- Manda, P., Dano, D. S., Ehile, E. S- J., Koffi, M., Amani, N. and Assi, Y. A.2012. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content in foods sold in Abobo market, Abidjan, Côte d’Ivoire. *J. Toxicol. Environ. Health Sciences*, 4 (6), 99-105.
- Marti-Cid, R., Llobet, J. M., Castell, V. and Domingo, J. L. 2008. Evolution of the dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in Catalonia, Spain. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 3163-3171.
- Marques, A., Lourenço, H. M., Nunes, M. L. Roseiro, C., Santos, C., Barranco, A., Rainieri, S., Langerholc, T. and Cencic, A. 2011. New tools to assess toxicity, bioaccessibility and uptake of chemical contaminants in meat and seafood. *Food Research International* 44, 510–522.
- Mielnik, M. B., E. Olsen, G. Vogt, D. Adeline, ve G. Skrede. 2006. Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat. *LWT. Food Science and Technology*, 39, 191-198.
- Mohammadi, M. and Valizadeh-kakhki, F. 2018. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Determination in Grilled Beef and Chicken. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 38(5), 434-444.
- Moret, S. and Conte L.S. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible fats and oils: occurrence and analytical methods. *Journal of Chromatography A*, 882, 245–253.
- Moret, S., Dudine, A and Conte L.S. 2000. Processing Effects on the Polyaromatic Hydrocarbon Content of Grapeseed Oil. *JAOCS*, 77 (12), 1289-1292.
- Moret, S. and Conte L.S. 2002. A rapid method for polycyclic aromatic hydrocarbon determination in vegetable oils. *J. Sep. Science*, 25, 96-100.
- Mottier, P., Parisod, V and Turesky, R. J. 2000. Quantitative Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Barbecued Meat Sausages by Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. *J. Agric. Food Chem*, 48, 1160-1166.
- Nerin, C., Aznar, M and Carrizo, D. 2016. Food contamination during food process. *Trends in Food Science & Technology*, 48; 63- 68.
- Olatunji, O. S., Opeolu, B.O., Fatoki O.S and Ximba B. J. 2013. Concentration profile of selected polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) fractions in some processed meat and meat products. *Food Measure*, DOI 10.1007/s11694-013-9147-2.

- Olatunji, O. S., Fatoki O.S., Opeolu, B.O. and Ximba B. J. 2014. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons [PAHs] in processed meat products using gas chromatography – Flame ionization detector. *Food Chemistry*, 156; 296–300.
- Olatunji, O. S., Fatoki O.S., Opeolu, B.O. and Ximba B. J. 2015. Benzo[a]pyrene and Benzo[k]fluoranthene in Some Processed Fish and Fish Products. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12; 940-951.
- Olsson, M. and Petersson, G. 2003. Benzene emitted from glowing charcoal. *The Science of the Total Environment*, 303; 215–220.
- Ongwech, A., Nyakairu, G. W., Mbabazi, J., Kwetegyeka J and Masette, M. 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked *Lates niloticus* from selected markets, Gulu District, Uganda. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. 7(4); 164-172.
- Onwukeme, V. I., Obijiofor, O. C., Asomugha, R. N. and Okafor, F. A. 2015. Impact of Cooking Methods on the Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Chicken Meat. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 9(4); 2319-2402.
- Onyango, A. A., Lalah, J. O. and Wandig, 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, 656–668.
- 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.
- Özsaraç N, Kolsarici N, Demirok Soncu E, Haskaraca G. 2019. Formation of heterocyclic aromatic amines in doner kebab cooked with different methods at varying degrees of doneness. *Food Addit Cont: Part A*; 1-11. DOI: 10.1080/19440049.2018.1562230.
- Park, K- C., Pyo, H. S., Kim, W. S and Yoon. 2017. Effects of cooking methods and tea marinades on the formation of benzo[a]pyrene in grilled pork belly (Samgyeopsal). *Meat Science* 129; 1–8.
- Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K. and Granby, K. 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38, 1-9.
- Pena, T., Pensado, L., Casais, C., Mejuto, C., Phan- Tan- Luu, R and Cela, R. 2006. Optimization of a microwave-assisted extraction method for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons from fish samples. *Journal of Chromatography A*, 1121; 163–169.
- Plaza-Bolaños, P., Frenich, A. G and Vildal., J. L. M. 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food and beverages. *Analytical methods and trends. Journal of Chromatography A*, 1217; 6303–6326.

- Pouzou, J. G., Costard, S and Zagmutt, F. J. 2018. Probabilistic estimates of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons concentrations in meats and breads applicable to exposure assessments. *Food and Chemical Toxicology*. doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.002.
- Pöhlmann, M., Hitzel, A., Schwagele, F., Speer, K. and Jira, W. 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in smoked Frankfurter-type sausages depending on type of casing and fat content. *Food Control*, 31; 136-144.
- Prathomtong, P., Panchatee, C., Kunanopparat, T., Srichumpuang, W. and Nopharatana, M. 2016. Effects of charcoal composition and oil droplet combustion on the polycyclic aromatic hydrocarbon content of smoke during the grilling process. *International Food Research Journal* 23(4); 1372-1378.
- Purcaro, G., Moret, S and Conte, L.S. 2009. Optimisation of microwave assisted extraction (MAE) for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) determination in smoked meat. *Meat Science* 81; 275–280.
- Purcaro, G., Moret, S and Conte, L.S. 2013. Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence, legislation and innovative determination in foods. *Talanta* 105; 292–305.
- Püssa, T. 2013. Toxicological issues associated with production and processing of meat. *Meat Science*, 95; 844–853.
- Ramesh, A., Walker, S. A., Hood, D. B., Guill'en, M. D., Schneider, K and Weyand, E. H. 2004. Bioavailability and Risk Assessment of Orally Ingested Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *International Journal of Toxicology*, 23; 301–333.
- Rengarajan, T., Rajendran, P., Nandakumar, N., Lokeshkumar, B., Rajendran, P and Nishigaki 2015. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(3); 182-189.
- Reizer, E., Csizmadia, I. G., Palotás, A. B., Viskolecz, B and Fiser, B. 2019. Formation Mechanism of Benzo(a)pyrene: One of the Most Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). *Molecules*, 24; 1040.
- Richter, H and Howard, J. B. 2000. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and their growth to soot—a review of chemical reaction pathways. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26; 565-608.
- Roseiro, L.C., Gomes, A. and Santos, C. 2011. Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. *Food and Chemical Toxicology*, 49; 1340–1345.
- Roseiro, L.C., Gomes, A., Patarata, L. and Santos, C. 2012. Comparative survey of PAHs incidence in Portuguese traditional meat and blood sausages. *Food and Chemical Toxicology*, 50; 1891–1896.

- Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, S. (R.G.), White, S., Fernandes, A. and 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.
- Roux, M. T., Temprado, M., James S. C and Nagano, Y. 2008. Critically Evaluated Thermochemical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 37(4); 1855- 1996.
- Rozentale, I., Stumpe-Viksna, I., Zacs, D., Siksna, I., Melngaile, A., & Bartkevics, V. 2015. Assessment of dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat products produced in Latvia. *Food Control*, 54, 16- 22.
- Saint- Aubert, B., Cooper, J.F., Astre, C., Spiliotis, J. and Joyeux, H. 1992. Evaluation of the Induction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) by Cooking on Two Geometrically Different Types of Barbecue. *Journal Of Food Composition and Analysis*, 5; 257-263.
- Saito, E., Tanaka, N., Miyazaki, A. and Tsuzaki, M. 2014. Concentration and particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons formed by thermal cooking. *Food Chemistry* 153; 285–291.
- Santonicola, S., Albrizio, S., Murru, N., Ferrante, M. C and Mercogliano, R. 2017. Study on the occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in milk and meat/fish based baby food available in Italy. *Chemosphere*, 184; 467-472.
- Sharma, R. K., Chan, W. G., Seeman, J. I. and Hajaligol, M. R. 2005. Formation of low molecular weight heterocycles and polycyclic aromatic compounds (PACs) in the pyrolysis of α -amino acids. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 66; 97-121.
- Skupinska, K., Misiewicz, I and Kasprzycka-Guttman, T. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons: Physicochemical properties, environmental appearance and impact on living organisms. *Acta Poloniae Pharmaceutica- Drug Research*, 61(3); 233-240.
- Simko, P. 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. *Journal of Chromatography B*, 770, 3–18.
- Simko, P. 2005. Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat foods and liquid smoke flavorings. *Mol. Nutr. Food Res*, 49; 637 – 647.
- Sinaga, K., Legowo, A. M., Supriatna, E. and Pramono, Y. B. 2016. Reduction of benzo (a)pyrene in charcoal grilled duck meat by marinating with andaliman (zanthoxylum acanthopodium, dc) fruit juice. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 41(4), 204-208.

- Sinha, R., Peters, U., Cross, A. J., Kulldorff, M., Weissfeld, J. L., Pinsky, P. F., Rothman, N and Hayes, R. B. 2005. Meat, meat cooking methods and preservation, and risk for colorectal adenoma. *Cancer Research*, 65, 8034-8041.
- Singh, L., Varshney, J. G and Agarwal. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chemistry*, 199, 768–781.
- Sobral, M. M. C., Cunha, S.C., Faria, M. A and Ferreira, I.MPLVO. 2018. Domestic Cooking of Muscle Foods: Impact on Composition of Nutrients and Contaminants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17; 309-333.
- Soncu, E. D., Kolsarıcı, N., Akoğlu, İ. T and Bektaş, G. 2014. The effects of vacuum tumbling combined with sodium tripolyphosphate on lipolytic and oxidative changes in beef döner. *Gıda*, 39(5), 259-266.
- Steck, S. E., Gaudet, M. M., Eng, S. M. Britton, J. A., Teitelbaum, S. L., Neugut, A. I., Santella, R. M. and Gammon, M. D. 2007. Cooked meat and risk of breast cancer— lifetime versus recent dietary intake. *Epidemiology*, 18(3), 373-382.
- Stołyhwo, A and Sikorski, Z. E. 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review. *Food Chemistry*, 91; 303–311.
- Stumpe-Viksna, I., Bartkevičs, V., Kukare, A and Morozovs, A. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry* 110; 794–797.
- Terzi, G., Çelik, T. H., and Nisbet, C. 2008. Determination of benzo[a]pyrene in Turkish döner kebab samples cooked with charcoal or gas fire. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 47; 187–193.
- Tkacz, K., Wiek, A. and Kubiak, M.S. 2012. Influence of marinades on the level of pahs in grilled meat products. *Italian Journal of Food Science*, 24, 270-278.
- Tongo, I., Ogbeide, O and Ezemonye L. 2017. Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*, 4; 55–61.
- Turp, Y., G. and Sengun, I.Y. Kendirci, P. And Icier, F. 2013. Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science*, 93, 441–448.
- Turp, G. Y. ve Yıldırım, B. 2019. Our Traditional Product Doner; Production Methods, Quality Characteristics and Development Studies. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(2), 344-354.
- Vazgeçer, B., Ulu, H. and Oztan, A. 2004. Microbiological and chemical qualities of chicken döner kebab retailed on the Turkish restaurants. *Food Control*, 15(4), 261-264.

- Viegas, O., Novo, P., Pinto, E., Pinho, O. and 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: 2128–2134.
- Viegas, O., Yebra- Pimentel, I., Martinez- Carbollo, E., Simal- Gandara, J. and Ferreira, I.M.P.L.V.O. 2014. Effect of Beer Marinades on Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Charcoal-Grilled Pork. *J. Agric. Food Chem*, 62; 2638–2643.
- Vlahova-Vangelova, D. and Dragoev, S. 2014. Marination: effect on meat safety and human Health. A review. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 20, 503-509.
- Vural, H., A.Öztan, 1996. Et Ürünleri Kalite Kontrol Laboratuvarı Ugulama Kılavuzu. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın No: 36, 248 sayfa.
- Wallin, A., Orsini, N. and Wolk, A. 2011. Red and processed meat consumption and risk of ovarian cancer: a dose-response meta-analysis of prospective studies. *British Journal of Cancer*, 104, 1196 – 1201.
- Wang, W. and Sun, Y. 2017. Quantitative determination and removal of benzo[a]pyrene residue in meat products by fluorescence and polymeric micelle. *Food Anal. Methods*, 10, 1948–1955.
- Wang, W., Wang, C., Li, C., Xu, X and Zhou, G. 2019. Effects of Phenolic Acid Marinades on the Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Charcoal-Grilled Chicken Wings. *Journal of Food Protection*, 82 (4), 684-690.
- Wongmaneepratip, W and Vangnai, K. 2017. Effects of oil types and pH on carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled chicken. *Food Control*, 79; 119- 125.
- Wongmaneepratip, W., Jom, K. N and Vangnai, K. 2019. Inhibitory effects of dietary antioxidants on the formation of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled pork. *Asian-Australas J Anim Sci*, 32(8); 1205-1210.
- Yang, T., Kaiser, R. I., Troy, T. P., Xu, B., Kostko, B. O., Ahmed, M., Mebel, A. M., Zagidullin, M. V and Azyazov, V. N. 2017. HACA's Heritage: A Free-Radical Pathway to Phenanthrene in Circumstellar Envelopes of Asymptotic Giant Branch Stars. *Angew. Chem. Int. Ed*, 56; 4515 –4519.
- Yebra-Pimentel, I., Fernandez-Gonzalez, R., Martinez-Carballo, E and Simal- Gandara, J. 2015. A Critical Review about the Health Risk Assessment of PAHs and Their Metabolites in Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55:1383–1405.
- Yurchenko, S. and Mölder, U. 2005. The determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish by gas chromatography mass spectrometry with positive-ion chemical ionization. *Journal of Food Composition and Analysis* 18; 857–869.

- Yusty, M. A. L. and Davina J. L. C. 2005. Supercritical fluid extraction and high-performance liquid chromatography–fluorescence detection method for polycyclic aromatic hydrocarbons investigation in vegetable oil. *Food Control* 16; 59–64.
- Xia, Z., Duan, X., Qui, W., Liu, D., Wang, B., Tao, S., Jiang, Q., Lu, B., Song, Y and Hu. 2010. Health risk assessment on dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Taiyuan, China. *Science of the Total Environment* 408; 5331–5337.
- Xue, W and Warshawsky, D. 2005. Metabolic activation of polycyclic and heterocyclic aromatic hydrocarbons and DNA damage: A review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 206, 73-93.
- Zachara, A., Gałkowska, D and Juszcak L. 2017. Contamination of smoked meat and fish products from Polish market with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Food Control*, 80; 45-51.
- Zelinkova, Z. And Wenzl, T. 2015. The occurrence of 16 EPA PAHs in food – A review. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 35, 248–284.
- Zhao, X., Wu, S., Gong, G., Li, G and Zhuang L. 2017. TBHQ and peanut skin inhibit accumulation of PAHs and oxygenated PAHs in peanuts during frying. *Food Control*, 75; 99- 107.

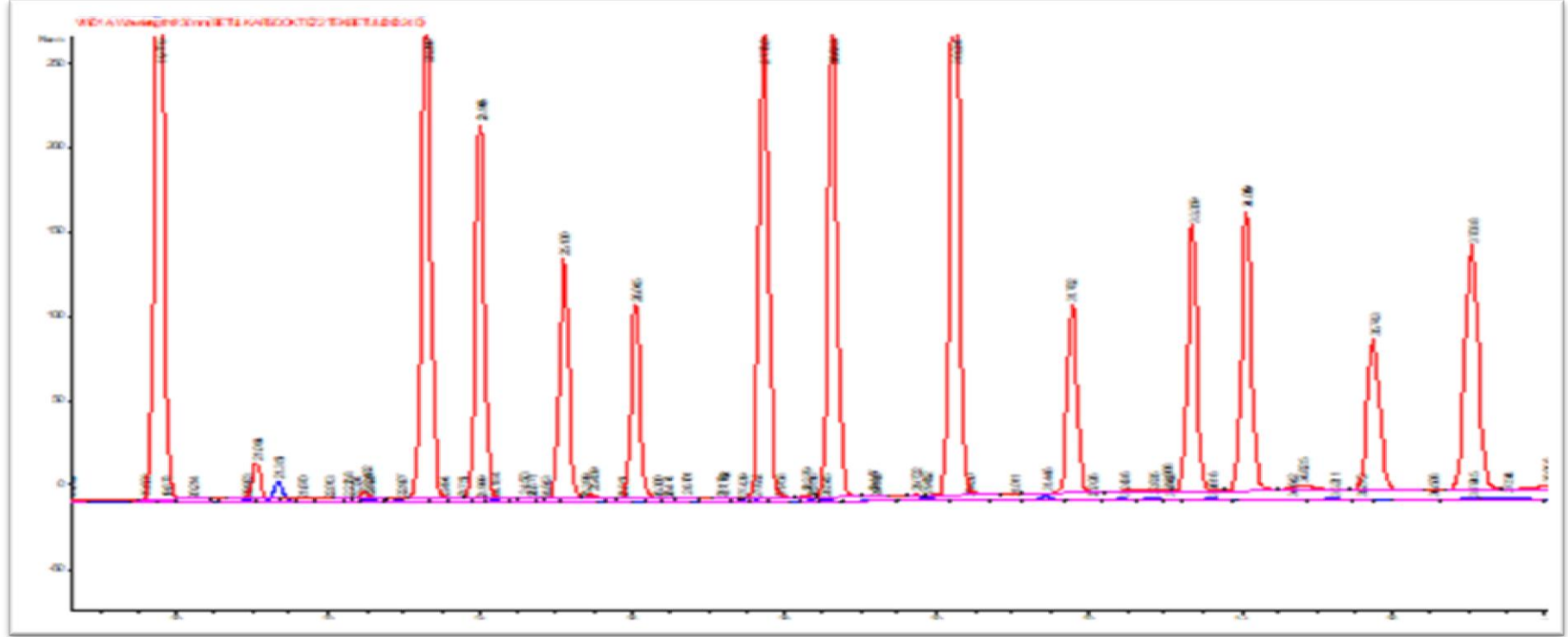
EKLER

EK 1 Kromatogram Örnekleri

**EK 2 Dönerlerin Pişirme İşlemi Sırasında Termal Kamera İle Sıcaklık Ölçümü
Fotoğrafları**

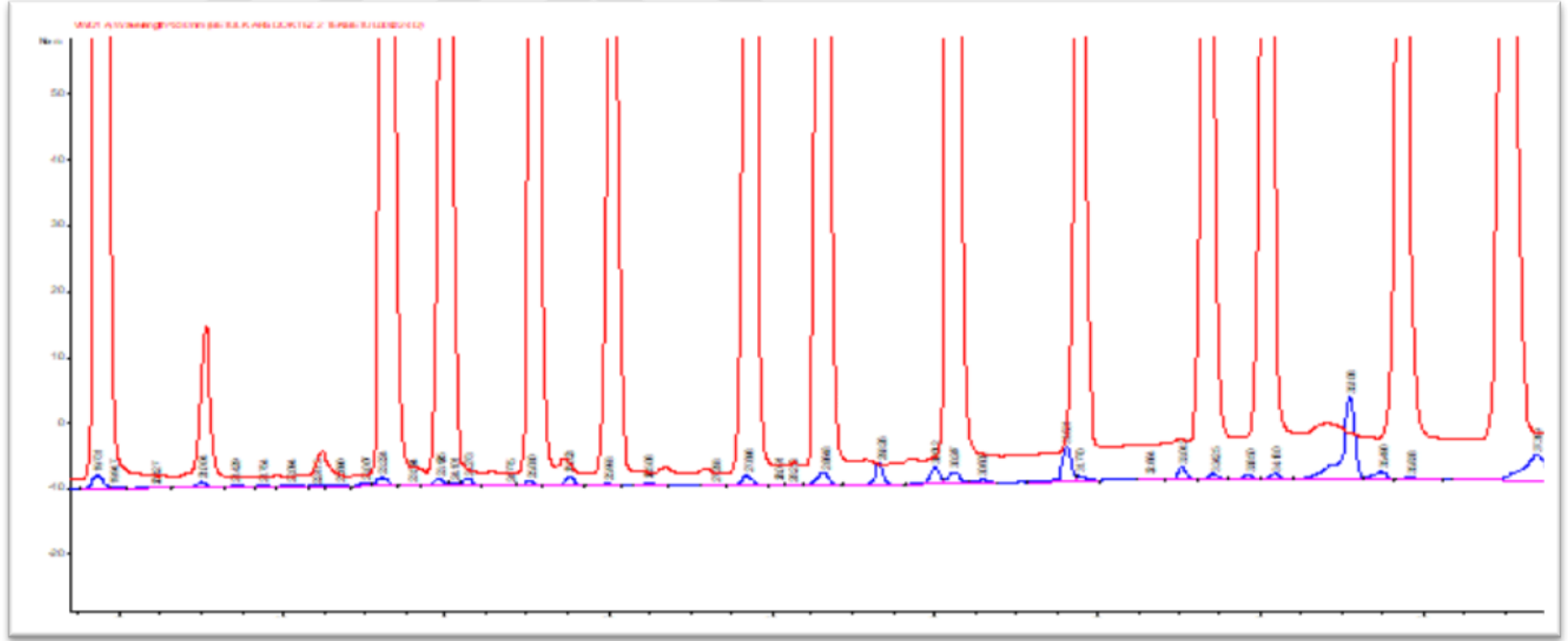


EK 1 Kromatogram Örnekleri



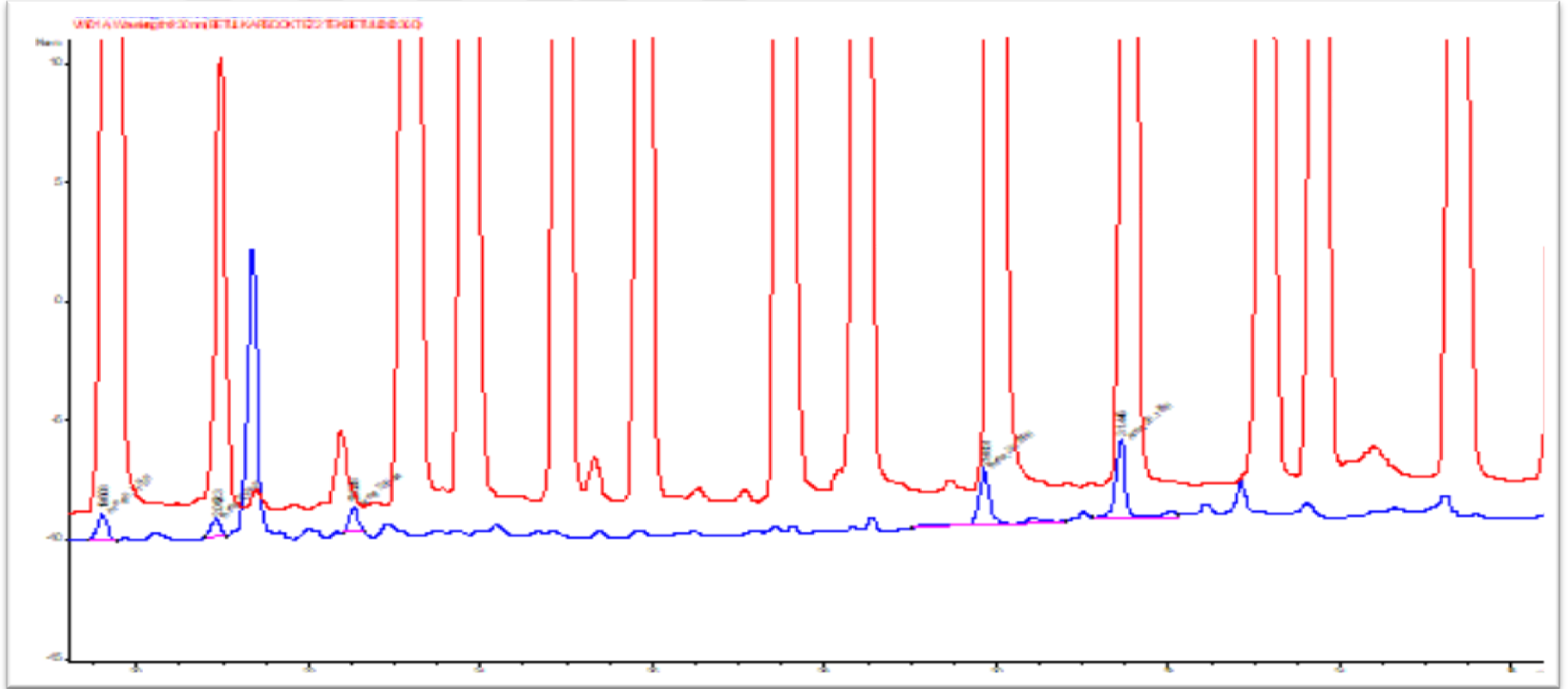
Kromatogram 1 Az yağlı et dönerlere ait kromatogram örneği

EK 1 Kromatogram Örnekleri



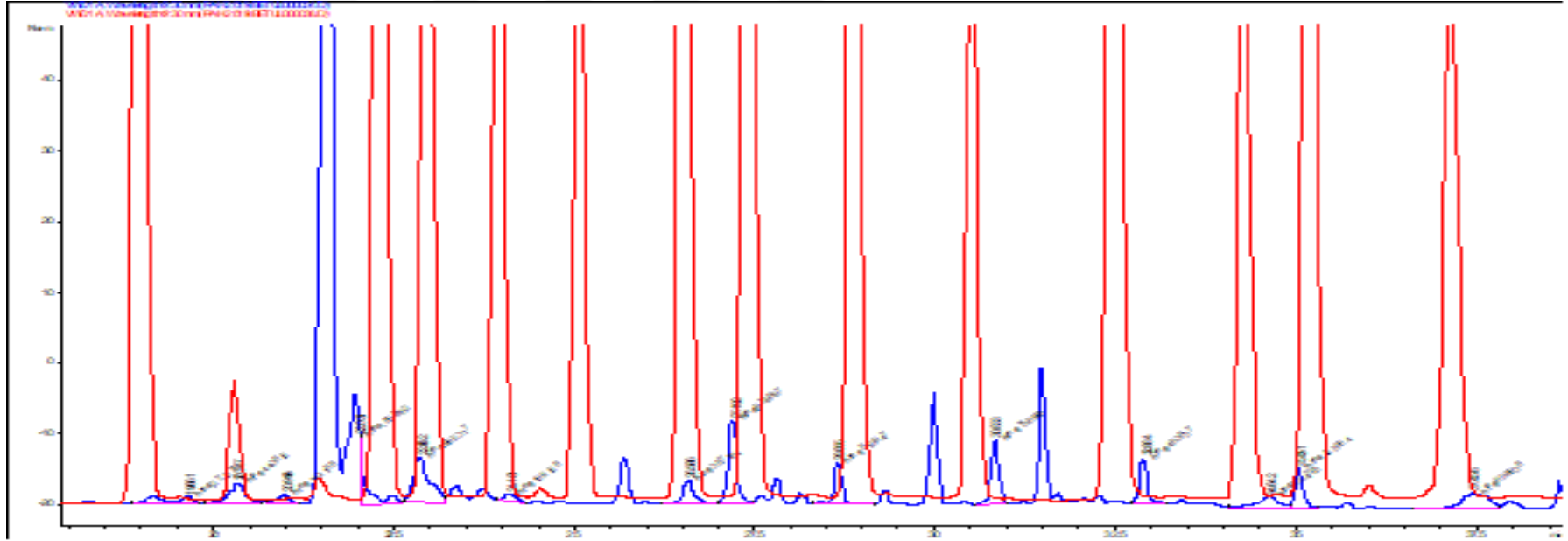
Kromatogram 1 Çok yağlı et dönerlere ait kromatogram örneği

EK 1 Kromatogram Örnekleri



Kromatogram 3 Az yağlı tavuk dönerlere ait kromatogram örneği

EK 1 Kromatogram Örnekleri

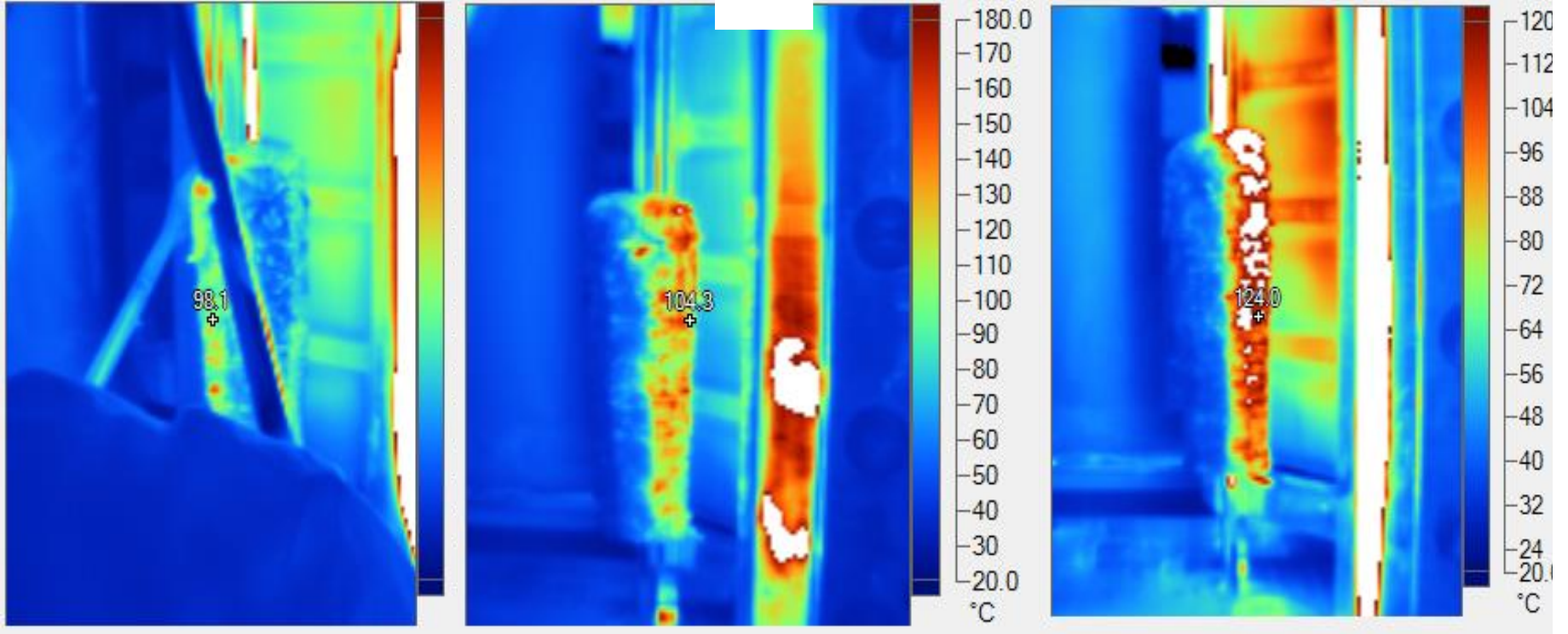


Kromatogram 4 Çok yağlı tavuk dönerlere ait kromatogram örneği

EK 2 Dönerlerin Pişirme İşlemi Sırasında Termal Kamera İle Sıcaklık Ölçümü Fotoğrafları



Fotoğraf 1 Et dönerlerin pişirilmesi sırasında termal kamera ile sıcaklık ölçümü



Fotoğraf 2 Tavuk dönerlerin pişirilmesi sırasında termal kamera ile sıcaklık ölçümü

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Betül KARSLIOĞLU OKAY
Doğum Yeri :Ankara
Doğum Tarihi :16.03.1978
Medeni Hali :Evli
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Ankara Lisesi /Ankara (1997)
Lisans :Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü (2001)
Yüksek Lisans :Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı (2005)
Doktora : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı (2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Türk Standartları Enstitüsü Standart Hazırlama Merkezi Başkanlığı 2015-

A) SCI VE SCI-EXPANDED KAPSAMINDAKİ YAYINLAR

1. Karşlıoğlu, B., Ensoy Ç. Ü., Kolsarıcı, N., Candogan, K., 2014. Lipolytic Changes in Fermented Sausages Produced with Turkey Meat: Effects of Starter Culture and Heat Treatment. Korean J. Food Sci. An.Vol. 34, No. 1, pp. 40~48.
2. Ensoy, Ü., Kolsarıcı, N., Candoğan, K., Karşlıoğlu, B. 2010. Changes in biochemical and microbiological characteristics of turkey sucuks as affected by processing and starter culture utilization. Journal of Muscle Foods, 21: 142-165.

B) ULUSLARARASI KONGRELERDE SUNULAN SÖZLÜ BİLDİRİLER

1. Demiralp, Ş., Karşlıoğlu Özen B., Demirok Soncu E., Kolsarıcı N. Kanatlı Etinde Antimikrobiyel Kullanımının Duyusal Parametreler Üzerine Etkisi .4.Uluslararası Beyaz Et Kongresi Sözlü Bildiri - 26-30 Nisan 2017/Antalya.

2. Ensoy, Ü., Candoğan, K., Kolsarıcı, N., Karşlıoğlu, B., Çizmeci, M. 2004. Influence of acetic and lactic acid treatments on lipid changes and color of chicken legs. *XXII World's Poultry Congress*, June 8-13, İstanbul.

3. Ensoy, Ü., Kolsarıcı, N., Karşlıoğlu, B., Candoğan, K. 2007. Starter Culture And Processing Effects On Microbiological Characteristics Of Sucuk Produced With Turkey Meat. *Proceedings of 5th International Congress On Food Technology*, Vol:3, 285-295. 9-11 Mart, 2007. Selanik, Yunanistan.

C) ULUSLARARASI KONGREDE SUNULAN POSTER BİLDİRİLER

1. Demiralp, Ş., Karşlıoğlu Özen B., Demirok Soncu E., Kolsarıcı N. Kanatlı Etinde Oksidatif Bozulmalar ve Önlenmesi. 4.Uluslararası Beyaz Et Kongresi Poster Bildiri- 26-30 Nisan 2017 /Antalya.

D) ULUSAL KONGRELERDE SUNULAN SÖZLÜ BİLDİRİLER

1. Ensoy, Ü., Kolsarıcı, N., Karşlıoğlu, B., Candoğan, K. 2005. Farklı starter kültür kullanımı ve ısıl işlem uygulaması ile hindi sucuğu üretiminde oluşan biyokimyasal değişimler. Gıda Kongresi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 19-21 Nisan, İzmir.

E) ULUSAL KONGREDE SUNULAN POSTER BİLDİRİLER

1. Karşlıoğlu, B., Kolsarıcı, N., Ensoy, Ü., Candoğan, K. 2006. Hindi Sucuğu Üretiminde Starter Kültür ve Isıl İşlem Uygulamasının Lipid Değişimlerine Etkisi. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bildiriler, Pp 531. Bolu, Türkiye.

2. Ensoy, Ü., Kolsarıcı, N., Karşlıoğlu, B., Candoğan, K. 2006. Farklı starter kültür ve ısıl işlem uygulaması ile üretilen hindi sucuklarının toplam uçucu aroma bileşikleri üzerine depolamanın etkileri. Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye .

F) PROJELER

1. Dönerlerde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Oluşumu Üzerine Farklı Pişirme Yöntemleri Ve Sürelerinin Etkisi. BAP Proje Numarası: 18L0443006. Araştırmacı. Şubat 2018- Şubat 2020.

2. Hindi Sucugu Üretiminde Starter Kültür ve Isıl İşlem Uygulamasının Ürün Kalitesine Etkisi. Araştırmacı, BAP Proje Numarası: 2003-07-11-075. Araştırmacı. Haziran 2003- Haziran 2005.

