

## Bazı Et Türlerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumuna Farklı Pişirme Yöntemlerinin Etkisi\*

Ömer Şerif Aydın , Yasemin Şahan 

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa

Geliş Tarihi (Received): 30.08.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 09.10.2018

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): yasemins@uludag.edu.tr (Y. Şahan)

☎ 0 224 294 15 02 📠 0 224 294 14 02

\*: Bu çalışma Ömer Şerif Aydın'ın Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

### ÖZ

Etlere yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşikler gibi çeşitli tehlikeli kimyasal kirleticiler oluşabilmektedir. Bu çalışma, farklı et çeşitlerinde (dana, kuzu, tavuk ve hindi) pişirme esnasında oluşabilecek PAH4 (benz[a]antrasen, krisen, benzo[b]fluoranthene ve benzo[a]piren) içeriği ve etin kimyasal yapısı ve pişirme yöntemlerinden PAH4 oluşumunun nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada etlere, haşlama, kızartma, fırında pişirme, elektrikli ızgara ile pişirme ve odun kömürü ile mangalda pişirme işlemleri uygulanıp oluşan PAH4 miktarları ve çığ etlerin bazı kimyasal özellikleri de tespit edilmiştir. PAH4 floresan dedektörlü yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak, PAH4 konsantrasyonunun etin kimyasal özelliklerine ve pişirme yöntemine göre değiştiği belirlenmiştir. Mangalda pişirilmiş etlerin toplam PAH4 seviyelerinin 1.10 ve 3.30 µg/kg arasında değiştiği saptanmıştır. Mangalda pişirilmiş tavuk etlerinin PAH4 içerikleri en yüksek bulunmuş, bunu hindi eti takip etmiştir. Et örneklerinde belirlenen PAH4 seviyelerinin, Türk Gıda Kodeksi (TGK) ve Avrupa Birliği limit değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PAH4, Benzo[a]piren, Pişirme, Et, Et türleri

### Influence of Different Cooking Methods on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formation in Various Meat Types

#### ABSTRACT

When meat is cooked at high temperatures, several hazardous chemical contaminants such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) may be formed. This study was conducted to determine the PAH4 (benz[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene and benzo[a]pyrene) content of different meat types (veal, lamb, chicken and turkey) during cooking, and how these are influenced by the chemical composition and cooking methods (boiling, frying, roasting/baking, grilling and barbecuing). Some chemical properties of raw meats were also determined. PAH4 were analyzed by using a high performance liquid chromatography (HPLC) unit equipped with a fluorescence detector. As a result, the concentration of PAH4 varies with meat type, chemical composition of meat and method of cooking. Total PAH4 levels ranged from 1.10 to 3.34 µg/kg in barbecued meat samples. The highest PAH4 levels were detected in chicken meat samples, followed by turkey meat. PAH4 levels detected in all meat samples for all cooking methods were below the Turkish Food Codex and EC limits.

**Keywords:** PAH4, Benzo[a]pyrene, Cooking, Meat, Types of meat

## GİRİŞ

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH); selüloz, pektin, malik asit, steroller gibi organik materyallerin eksik yanması sonucu ortaya çıkan, uzun süre çevrede kalmaları ve birikmeleri sonucunda çevre kirliliğine neden olabilen ve biyolojik dengeyi bozabilen organik yapıdaki bileşiklerdir [1-3]. PAH'lar endüstriyel prosesler, araç emisyonları, fosil yakıtlar, evsel yakıt tüketiminin yanı sıra; volkanik patlamalar, yangınlar, asfalt üretimi, ağaç işleme ve karbonlaştırma ile sigara dumanı gibi sebeplerle de oluşmaktadır [4-5]. Farklı şekillerde oluşan PAH'lar atmosferde asılı partikül olarak bulunabilmektedir. Rüzgarlar ve doğa olayları ile atmosferde taşınmakta ve solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Ayrıca yağmur, sis ve kar gibi atmosferik olaylar sonucunda da toprağa bulaşmaktadır [6].

PAH'lar yapısında bulunan benzen halkalarına göre sınıflandırılmaktadır. Yapısında dörtten az benzen halkası bulduran PAH'lar hafif PAH, dört ve daha fazla benzen halkası bulduranlar ise ağır PAH olarak tanımlanmaktadır [2]. PAH'ların hidrofobik yapılarından dolayı sudaki çözünürlükleri oldukça azdır. Pek çok PAH'ın toksik, mutajenik ve/veya karsinojenik özellikleri bulunmaktadır. PAH'lar lipitlerde oldukça iyi çözümlükleri için memelilerin gastrointestinal bölgelerinden kolaylıkla emilmektedirler [6]. Molekül ağırlıkları 216 g/mol'den çok olan PAH'ların karsinojenik özelliğe sahip oldukları bildirilmektedir[7]. Önemli potansiyel PAH karsinojenlerine dair yapılan çalışmalarda; canlılarda bağışıklık sistemini baskılama, lenfoid hücrelerde apoptoz, deri lezyonları ve akciğer, pankreas gibi çeşitli kanser vakaları görülmüş olup hayvan deneyi çalışmalarında ise farelerde dil, özofagus, akciğer ve midede tümörlere, ayrıca lösemiye de sebep olabileceği rapor edilmiştir [8, 9].

Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi (IARC) insanlar için Benzo[a]piren'i (BaP) karsinojenik, Dibenz[a,h]anthracene'i (DBaH) büyük olasılıkla karsinojenik, Naftalen (Nap), Benzo[a]antrasen (BaA), Krisen (Chr), Benzo[b]floranten (BbFlu), Benzo[k]floranten'i (BkFlu) karsinojenik olma ihtimali olan olarak sınıflandırmıştır. Bununla birlikte Aseften (Ace), Floren (Fl), Fenanten (Phe), Anthrasen (Ant), Floranten (Flu), Piren (Pyr)'nin ise karsinojenik etkisi olmadığı belirtilmiştir [10].

Gıdaların PAH'lar ile bulaşması hava, su ve toprak yoluyla gerçekleşebilmektedir [11]. Et ve et ürünleri, yaygın olarak diyetlerde yer alması ve tüketilmeleri için ısıtma işleme ihtiyaç duyulması nedeniyle, vücuda PAH alımında etkin taşıyıcılardan biri olarak kabul edilmektedir. PAH oluşumu üzerine; gıdanın çeşidi, yağ içeriği, uygulanan ısıtma işlemi, sıcaklık gibi faktörler etkili olabileceği gibi gıdalara uygulanan ısıtma işleminin derecesi ve süresi, kullanılan yakıt tipi, ısı kaynağına olan yakınlık ve direkt temasta diğer etmenler olarak gösterilebilir [12]. Avrupa Birliği Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) gıdalarda bulunan PAH düzeylerini yansıtmada, tek başına BaP yerine PAH4'ün (BaP, BaA, BbFlu, Chr toplamı) daha iyi bir indikatör olduğunu

belirtmiştir. Ayrıca TGK'de PAH4 için limitlerinin belirtilmesinden dolayı çalışmada PAH4'ün oluşumu üzerine analizler yapılmıştır.

İnsanların yeterli ve dengeli beslenmesi için önemli besin öğelerinden biri de proteinlerdir. Hayvansal besinler, protein ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yer tutmaktadır [13]. Et, hayvansal protein ihtiyacının yanı sıra vücudumuzun ihtiyaç duyduğu demir, fosfor, bakır mineralleri ile A, B ve D vitaminlerini de içermesi yönüyle de beslenme açısından elzemdir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2017 yılında 2.136.733 ton tavuk eti, 52.363 tonu hindi eti, 987.481 ton sığır ve dana eti, 100.058 ton koyun eti üretimi gerçekleşmiştir [14]. 2017 yılı kişi başı toplam et tüketimi, dünyada 34.3 kg, gelişmiş ülkelerde 68.3 kg, gelişmekte olan ülkelerde 26.5 kg ve OECD ülkelerinde ise 69.0 kg olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir [15]. 2013 yılında ülkemizdeki kişi başı kırmızı et tüketimi 13 kg, kanatlı et tüketimi ise 19 kg olarak gerçekleşmiştir. Bu miktar ABD'de kırmızı et için 31 kg, kanatlı eti için 47 kg iken AB'de kırmızı et için 20 kg kanatlı eti için ise 23 kg olarak gerçekleşmiştir [16]. Bu veriler göz önüne alındığında ülkemizdeki et tüketiminin ABD ve AB ortalamalarının oldukça altında olduğu görülmektedir.

Literatürde, farklı et türlerinde ve değişik işlemler uygulanmış etlerde PAH bileşiklerinin belirlenmesine dair çeşitli çalışmalara rastlanmıştır [17- 28]. Bununla birlikte PAH oluşumu, pişirme yöntemi ve etlerin kimyasal yapısı arasındaki ilişkiyi inceleyen sınırlı sayıda yayınlara karşılaşılmıştır. Bu çalışmada iki farklı tür kırmızı et (dana, kuzu) ile iki farklı tür beyaz etin (tavuk, hindi) çiğ halde iken PAH düzeyleri tespit edilmiş ve bu etlere; fırında pişirme, elektrikli ızgarada pişirme, suda haşlama, mangalda pişirme ve teflon tavada pişirme ısıtma işlemleri uygulanmış, uygulanan ısıtma yöntemlerinin PAH4 bileşiklerinin (BaP, BaA, BbFlu, Chr) oluşumu üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca çiğ halde iken nem, kül, yağ, protein, pH, asitlik tayinleri yapılmak suretiyle kimyasal içeriği belirlenmiş ve PAH4 bileşikleri üzerine etkileri tartışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Çalışmada kullanılan dana but, kuzu but, hindi but ve tavuk incik etleri piyasadan temin edilmiştir. Tavuk incik eti derili olarak kullanılmıştır. Ürünler 50'şer gram ağırlıkta ve yaklaşık 10 cm x 6 cm boyutlarında ve 1 cm kalınlıkta olacak şekilde kesilmiştir. Bu etlere haşlama, fırında pişirme, tavada pişirme, mangal kömürü ile pişirme, elektrikli ızgara ile pişirme teknikleri uygulanmıştır. Pişirme işlemleri üçer tekerrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde kullanılan, PAH standartları benz[a]antrasen, krisen, benzo[b]fluoranthene ve benzo[a]piren, Sigma'dan (Missouri, ABD) temin edilmiştir. Kullanılan tüm kimyasallar ve reaktifler analitik saflıkta olmakla birlikte Asetonitril HPLC saflıkta olup

Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Ultra saf su Elga Purelab Option Q Ultra Saf Su Sistemi kullanılarak elde edilmiştir.

## Metot

### Etlerin Pişirilmesi

Her bir et çeşidine pişirme yöntemleri ayrı ayrı uygulanmış ve bu sırada problu termometre ile merkez sıcaklıkları ölçülmüş, TGK Et ve Et Ürünleri Tebliği'nde belirtilen pişirme işleminin tanımı gereği ürün merkez sıcaklığının 72°C ulaşması sağlanmıştır [29]. Etlerin pişirilme süresi merkez sıcaklığı 72°C'ye geldikten sonra 3 dakikadır. Haşlama işlemi, kaynamakta olan 500 ml suda gerçekleştirilmiş, fırında pişirme işlemleri ise konveksiyonlu fırında (İnoksan FKE 006, Türkiye) 180°C'de, pişirme derecelerinin takibi ile yapılmıştır. Kızartma işleminde teflon tava (Tefal) kullanılmış olup kızartma sırasında tavaya yağ ilavesi yapılmamıştır. Etler, elektrikli ızgarada (Tefal), paslanmaz çelik ızgara yüzeyinde 180°C'de pişirilmiştir. Mangalda pişirme de ise yakıt olarak odun kömürü ve ızgara yüzeyi olarak paslanmaz çelik tel kullanılmıştır. Izgara ile kömür arasındaki mesafe 6-8 cm'dir. Tavada, elektrikli ızgarada ve mangalda pişirme teknikleri uygulanırken, etlerin merkez sıcaklığı 72°C geldikten sonra etlerin her iki yüzeyi de 1.5 dakika süre pişirilmiş ve böylece pişirme işleminin homojen olması sağlanmıştır.

### Kimyasal Analizler

Tüm örnekler çiğ halde iken yağ, protein, kül ve nem [30], asitlik ve pH [31] analizleri yapılmıştır. Etler analiz öncesinde kıyma yapılarak homojen hale getirilmiştir.

### PAH Analizleri

Tüm çiğ ve pişirilmiş et örneklerinde PAH analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, homojenize edilmiş (Tefal, doğrayıcı) örnekten 5 g bir tüp içerisine alınmış,

üzerine 10 mL asetoneitril eklenerek 1 dakika süreyle kuvvetlice çalkalanmıştır. Tüpün içerisine 6 g susuz magnezyum sülfat ve 1.5 g sodyum asetat eklenerek 1 dakika tekrar çalkalanarak 4000 devirde 5 dakika santrifüj (Sigma 3K 30) edilmiştir. Üstteki faz alınarak içerisine 1200 mg susuz magnezyum sülfat, 400 mg PSA ve 400 mg C18 ilave edilerek 1 dakika kuvvetlice çalkalanmıştır. 4000 devirde 5 dakika tekrar santrifüj (Sigma 3K 30) edilmiştir. Üstteki sıvı kısım alınarak azot gazı altında 40 derecede uçurulmuş ve 0.5 mL asetoneitril ile çözülerek HPLC (Agilent 1100)'de analiz edilmiştir [31].

### HPLC Koşulları

PAH analizinde floresans dedektörlü HPLC (Agilent 1100), Agilent Eclipse PAH Column 5 µm 3.0 x 250mm kolon kullanılmış, analiz süresince akış hızı 0.8 mL/dakika olup kullanılan hareketli faz asetoneitril ve sudur. Kolon sıcaklığı 25°C ve enjeksiyon miktarı 20 µL olarak belirlenmiştir. Floresans dedektörde kullanılan uyarma ve emisyon dalga boyları: BaA ve Chr (uyarma 270 nm, emisyon 385 nm), BbFlu (uyarma 256 nm, emisyon 446 nm) ve BaP (uyarma 295 nm, emisyon 410 nm) olarak uygulanmıştır.

### İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz, tesadüf parselleri iki faktöryelli deneme desenine göre Anova programı kullanılarak yapılmıştır. Bunun için JUMP istatistik programı kullanılmıştır. Elde edilen ortalama değerler arasındaki istatistiki farklı grupların belirlenmesinde p < 0.05 olasılık düzeyinde LSD testi kullanılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Kimyasal Analiz Sonuçları

Etlere ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çiğ et örneklerinin kimyasal kompozisyonu, pH ve asitlik değerleri

Et Türü	pH	Asitlik	Protein	Kül	Nem	Yağ
Dana	5.83±0.01 <sup>d</sup>	0.46±0.02 <sup>c</sup>	18.95±0.15 <sup>c</sup>	0.94±0.01 <sup>a</sup>	67.38±0.35 <sup>b</sup>	12.07±0.18 <sup>a,b</sup>
Hindi	6.20±0.02 <sup>b</sup>	0.50±0.01 <sup>b</sup>	19.13±0.03 <sup>b</sup>	1.00±0.01 <sup>b</sup>	70.11±0.43 <sup>a</sup>	9.37±0.46 <sup>c</sup>
Kuzu	5.97±0.03 <sup>c</sup>	0.52±0.00 <sup>a</sup>	20.65±0.13 <sup>a</sup>	0.99±0.01 <sup>b</sup>	66.75±0.26 <sup>b</sup>	11.08±0.35 <sup>b</sup>
Tavuk	6.44±0.03 <sup>a</sup>	0.43±0.01 <sup>d</sup>	18.58±0.17 <sup>d</sup>	0.99±0.01 <sup>b</sup>	67.50±0.55 <sup>b</sup>	12.98±1.06 <sup>a</sup>

a, b, c, d: Farklı harfler taşıyan aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklılıklar p<0.05 düzeyinde önemlidir.

±: Standart sapma, n=3 tekrerr

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; tavuk incik eti pH'sı en yüksek et çeşidi olarak belirlenirken onu hindi but, kuzu but ve dana but etleri takip etmiştir. Asitlik açısından değerlendirildiğinde kuzu but eti en yüksek asitlik değerine sahipken, en düşük asitlik tavuk incik etinde belirlenmiştir. Protein içeriğine göre et çeşitleri en yüksekten en düşüğe doğru kuzu but, hindi but, dana but, tavuk incik eti şeklinde sıralanmaktadır. Protein içerikleri Öztan [33] belirttiği dana but %19.1 ile benzer iken, koyun but %18 ile farklılık göstermektedir. Çalışmamızda kuzu eti kullanılması nedeniyle bu farklılığın olabileceği düşünülmektedir. Kül açısından

incelendiğinde ise kuzu but, tavuk incik ve hindi but eti arasında istatistiki açıdan bir farklılık bulunmamıştır (p<0.05). Elde edilen kül içerikleri [34] ile paralellik göstermektedir. Nem içeriğinde ise hindi but eti en yüksek olarak belirlenmiş ve diğer et türleri arasında istatistiki bir farklılık belirlenmemiştir (p<0.05). Yağ oranı en yüksek düzeyde tavuk incik, en düşük düzeyde ise hindi but etinde tespit edilmiştir. Tavuk incik etinin derili olarak kullanılması nedeniyle yağ içeriği yüksek olduğu düşünülmektedir. Ergezer [35] yaptığı çalışmada, tavuk ve hindi but örneklerin protein içeriklerini sırası ile %21.60 ve 20.46, yağ içeriklerini %6.43 ve 5.23, kül

içeriklerini %0.81 ve 0.91 ve pH'larını 6.48 ve 6.05 olarak rapor etmiştir. Literatürde farklı kaynaklardan elde edilen veriler ile çalışmamızda saptanan sonuçlar arasındaki farklılıkların, etlerin elde edildiği hayvanların türü, ırkı, cinsiyeti, yetiştirme ve beslenme koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

### PAH Analiz Sonuçları

PAH4 analizi için uygulanan metodun performans karakteristikleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca etlerde her bir PAH için geri kazanım çalışması yapılmıştır (Tablo 3). Geri alma sonuçları TGG'de belirtilen %50-120 değerleri arasında bulunmuştur. En düşük geri alma dana etinde krisen tayininde (%84) belirlenmiştir.

Tablo 2. PAH4 analizi için metod performans karakteristikleri

PAH	Regresyon katsayısı	Lineer denklem	LOQ	LOD
BaA	0.99997	Y=7.1x – 0.08	0.4	0.12
Chr	0.99998	Y=10.85x – 0.11	0.4	0.12
BbFlu	0.99815	Y=6.29x – 0.73	0.4	0.12
BaP	0.99978	Y=15.11x – 0.97	0.4	0.12

LOD (Limit of detection): Tespit limiti; LOQ (Limit of quantification): Tayin limiti

Tablo 3. Et türlerine göre PAH geri kazanımları (%)

	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (%)			
	BaA	Chr	BbFlu	BaP
Hindi	109	114	109	113
Tavuk	96	94	97	94
Dana	115	84	92	92
Kuzu	92	89	91	87

PAH4 analizi sonuçlarına göre, çiğ etlerde ve haşlama, fırında pişirme, ızgarada ve tavada pişirme metodu uygulanan etlerdeki PAH4 içerikleri LOQ değerinin altında bulunmuştur. Bu nedenle söz konusu pişirme tekniklerine ait sonuçlara tablolarda yer verilmemiştir. Etlere ısı işlem uygulamak sureti ile geliştirilmiş model sistemler aracılığı ile PAH oluşumunu araştırıldığında, sıcaklık uygulama koşulları, ortamdaki su içeriği, ortamdaki yağların ve antioksidanların varlığının PAH oluşumunu etkilediği belirlenmiştir. Özellikle ortamda suyun ve antioksidan

bileşiklerin bulunması PAH oluşumunu azaltmakla birlikte, uygulanan ısının ve uygulama süresinin artması PAH oluşumunu arttırdığı bildirilmiştir [36-38]. Özellikle sulu ortamda yapılan haşlama yöntemi ile kontrollü sıcaklık koşullarının uygulandığı, fırında, elektrikli ızgarada, tavada pişirme yöntemleri, mangalda pişirmeye göre çok daha düşük seviyelerde PAH oluşumuna neden olmaktadır [37].

Mangalda pişirme işlemi sonucunda oluşan PAH'ların miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Mangalda pişirme işlemi sonucunda et türlerinde belirlenen PAH4 sonuçları (ppb)

Et Türü	BaA	Chr	BbFlu	BaP	Σ PAH4
Dana	0.59 ± 0.03 <sup>d</sup>	< LOQ	0.51 ± 0.01 <sup>a</sup>	< LOQ	1.10
Hindi	2.01 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.13 ± 1.13	< LOQ	< LOQ	3.14
Kuzu	1.74 ± 0.14 <sup>c</sup>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1.74
Tavuk	2.85 ± 0.10 <sup>a</sup>	< LOQ	0.45 ± 0.02 <sup>b</sup>	< LOQ	3.30

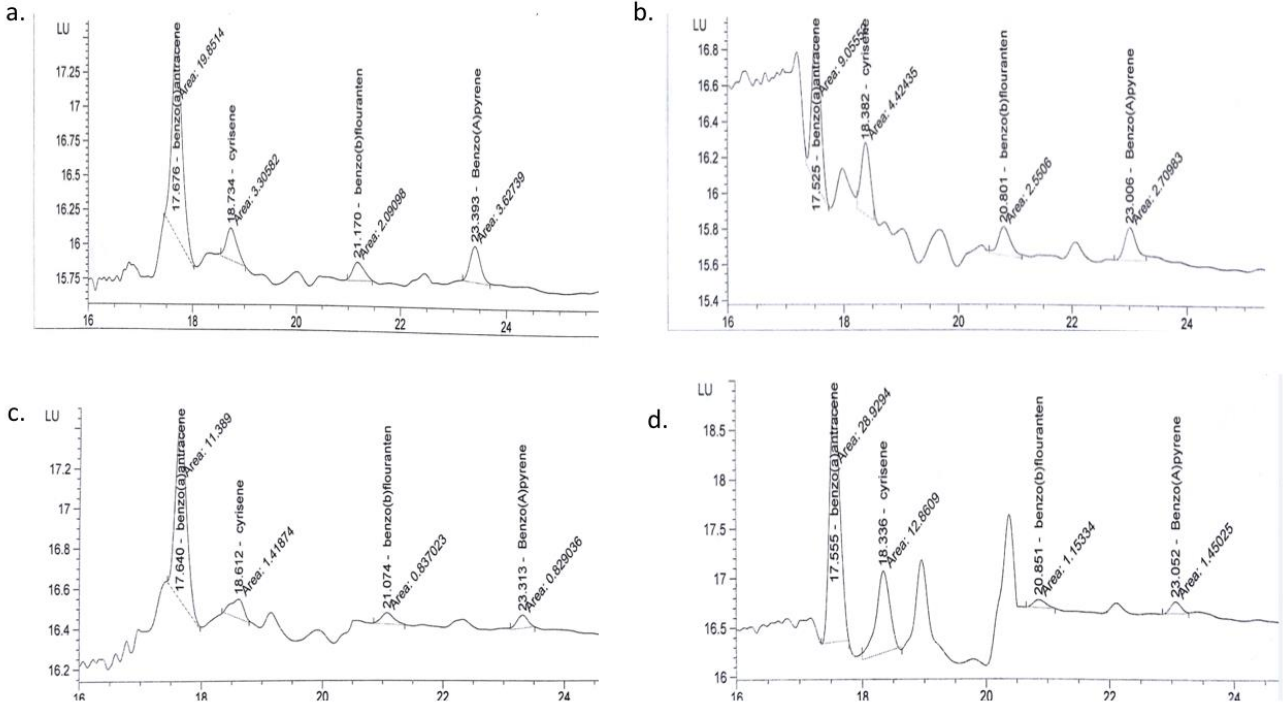
a. b. c. d: Farklı harfler taşıyan aynı sütündeki ortalamalar arasındaki farklılıklar p<0.05 düzeyinde önemlidir.

±: Standart sapma, n=3 tekrerrür

Çiğ halde tespit edilemeyen PAH4'ün, yalnızca mangalda pişirme ile dikkate değer şekilde artmış olması, diğer pişirme teknikleriyle bir artış göstermemesi pişirme koşullarının önemli olduğunu göstermektedir. Rose ve ark. [16] farklı pişirme teknikleri kullanılarak pişirilen et ürünlerinin PAH içeriklerinin, gıdanın yüzey alanı, yüzeyin yapısal özellikleri, kullanılan yakıt tipi, pişirme zamanı ve pişirme sırasında kaybedilen yağın özelliğinden etkilendiğini belirtmişlerdir. 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. Et ve ürünlerindeki yağların direkt alev ile temas etmesinin PAH oluşumunu arttırdığı Ledesma ve ark. [38] ve et ürünlerinde yağ oranı arttıkça, pişirme sırasında oluşan PAH seviyelerinin de buna paralel olarak attığı Pöhlmann ve ark. [39] tarafından rapor edilmiştir.

Mangalda pişirilmiş etlere ait PAH4 kromotogramları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Mangalda pişirilmiş etlere ait PAH4 kromotogramları (a. tavuk, b. dana, c. kuzu ve d. hindi eti)

Mangalda pişirilmiş etler, PAH4 açısından değerlendirildiğinde et türüne ve PAH çeşidine göre farklılıklar gözlenmiştir. BaA içeriği açısından değerlendirildiğinde, tüm et çeşitleri PAH4 içeriği açısından istatistik olarak farklılık göstermiştir. En yüksek BaA miktarı tavuk etinde belirlenirken en düşük miktar dana etinde belirlenmiştir. Eter Chr oluşumu yönünden incelendiğinde ise Chr miktarı sadece hindi etinde belirlenmiştir. Analiz edilen diğer et türlerinde Chr miktarı tayin limitlerinin altındadır. BbFlu oluşumu sadece dana ve tavuk etlerinde gözlemlenirken, dana etinde, tavuk etine göre daha yüksek miktarda bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Et örneklerinin tamamında BaP miktarı tayin limitlerinin altında kalmıştır.

Mangalda pişirilmiş etlerin türlerine bağlı olarak oluşan PAH4 miktarları değerlendirildiğinde dana etinde en yüksek BaA tespit edildiği bunu BbFlu takip ettiği, BaP ve Chr'nin ise tespit edilmediği görülmüştür. Hindi etinde ise en yüksek miktarda tespit edilen PAH; BaA olmuş bunu Chr takip etmiş, BbFlu ve BaP ise tayin sınırlarının altında kalmıştır. Kuzu etinde sadece BaA tespit edilirken; tavuk etinde en yüksek miktarda BaA tespit edilmiş, bunu BbFlu takip etmiş, Chr ve BaP ise örneklerde tespit edilmemiştir. Dost ve İdeli [23] kuzu etinin mangalda pişirmesi ile BaA, BkFlu, BaP gibi ağır PAH'ların oluşmadığını tespit etmişlerdir. BaA miktarlarında belirlenen farklılığın, etlerin kimyasal kompozisyonundaki farklılıktan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Örnekler toplam PAH4 açısından değerlendirildiğinde; en yüksek toplam PAH4 tavuk etinde belirlenmiş, bunu hindi, kuzu ve dana eti takip etmiştir. Toplam PAH4 sadece mangalda pişirme sonucunda belirlenmiştir. Tüm

pişirme işlemlerinde kullanılan et örneklerinin aynı zaman diliminde alınıp, eşit yüzey alanına sahip olacak şekilde hazırlandığı düşünüldüğünde, PAH4 oluşumunda, uygulanan pişirme tekniğinin çok önemli olduğunu görülmektedir. Mangal ile pişirme sırasında oluşan dumanda bulunan PAH yada etin yağının çözünüp ateşe damlaması sonucu oluşan PAH'lar yağda çözünebilir özellikleri sebebiyle et yüzeyinde absorbe olabilmektedirler.

Çalışmamızda mangalda pişirme ile PAH tespit edilmişken fırında pişirme, suda haşlama, tavada pişirme ve elektrikli ızgarada pişirme yöntemlerinde PAH tespit edilmemiştir. Elde edilen sonuçlar Rose ve ark. [27]'nin, çalışmasıyla uyumluluk göstermektedir. Anderson ve ark. [17]'nin yaptıkları çalışmada etlerdeki PAH düzeylerinin; barbekü ve kızartmayla ilişkilendirilebileceği ifade edilmiştir. Fırında pişirme, kavurma, kendi suyuyla pişirme gibi yüksek düzeyde PAH oluşumuna sebebiyet vermeyen pişirme teknikleri ile kanserojen madde oluşumunun minimize edilebileceği belirtilmiştir. Kömür ateşi ile pişirmenin PAH miktarı üzerine gaz aleviyle pişirme, elektrikli ızgara ve fırında pişirmeye kıyasla daha fazla etkili olduğu da bildirilmiştir [22, 26]. Isıl işlem görmüş et ürünlerinin PAH içerikleri; gıdanın yüzey alanı, yüzeyin yapısal özellikleri, ortamın su ve yağ içeriği, yağın etteki dağılımı, ortamdaki antioksidanların varlığı, sıcaklık uygulama koşulları, kullanılan yakıt tipi, pişirme zamanı ve pişirme sırasında kaybedilen yağın özelliğinden etkilendiği rapor edilmiştir [17, 36-38]. Özellikle, kontrollü sıcaklık koşullarının uygulanmadığı mangalda pişirme sırasında, etten ayrılan yağın, direkt olarak ateşin üzerine damlaması sırasında PAH'ların yüksek oranda oluştuğu ve oluşan duman ile birlikte yeniden etin içine

nüfuz ettiği ve PAH konsantrasyonunu arttırdığı ifade edilmiştir [38, 39].

Etlerin kimyasal kompozisyonu ile PAH4 içerikleri arasındaki ilişki değerlendirildiğinde; nem, kül, asitlik ve protein içeriğinin toplam PAH4 oluşumu üzerinde istatistiki olarak farklılık gözlemlenmemiştir. Ayrıca örneklerimizde tespit edilen yağ miktarları ile toplam PAH4'ün arasında bir uyum tespit edilememiştir. Saito ve ark. [24], karides, mısır, alabalık, sığır ve domuz etinin, ızgarada (metan gazı kullanılarak) pişirildikten sonraki PAH içeriklerini araştırmışlardır. Sonuçta; BaP konsantrasyonunu karideste  $0.000065 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mısırdaki  $0.000027 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alabalıkta  $0.068 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sığır etinde  $0.027 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve domuz etinde  $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; BbFlu konsantrasyonunu karideste  $0.00031 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mısırdaki  $0.0001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alabalıkta  $0.063 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sığır etinde  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve domuz etinde  $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; BaA konsantrasyonunu ise karideste  $0.0007 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mısırdaki  $0.00022 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alabalıkta  $0.064 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sığır etinde  $0.037 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve domuz etinde  $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak rapor etmişlerdir. Elde ettiğimiz sonuçlar, Saito ve ark. [24]'nın yağ miktarı yüksek olan alabalık, sığır ve domuz eti gibi etlerde daha yüksek düzeylerde PAH bulunduğunu öte taraftan yağ içeriği düşük gıdalarda çok düşük düzeylerde belirlendiği görüşüyle uyumsuzdur. Bununla birlikte; damlayan yağın ve dumanın uzaklaştırılması ile PAH4 miktarında azalma olacağını belirten Lee ve ark. [26] çalışması ile paralellik göstermektedir. Lee ve ark. [26] araştırmalarında, sığır sırt eti mangalda, geleneksel yöntemle ve ayrıca yağlarının alev üzerine damlamasını engelleyecek şekilde bir tasarım kullanarak pişirmiştir. Sonuçta sığır sırt etlerinde geleneksel yöntem ile pişirme sonucunda  $3.62 \mu\text{g}/\text{kg}$  B[a]A,  $3.80 \mu\text{g}/\text{kg}$  Chr,  $6.25 \mu\text{g}/\text{kg}$  B[b]F ve  $3.23 \mu\text{g}/\text{kg}$  B[a]P saptanmış iken, yağın uzaklaştırıldığı sistemde ise  $0.60 \mu\text{g}/\text{kg}$  B[a]A,  $0.27 \mu\text{g}/\text{kg}$  Chr,  $0.81 \mu\text{g}/\text{kg}$  B[b]F ve  $0.78 \mu\text{g}/\text{kg}$  B[a]P belirlenmiştir. Ayrıca toplam PAH4 içeriği  $19.91 \mu\text{g}/\text{kg}$ 'dan  $2.46 \mu\text{g}/\text{kg}$  kadar %85'lik bir azalma göstermiştir. Toplam PAH4 miktarı açısından bakıldığında, en yüksek oranda tavuk ve hindi etinde görülme durumunun yağın bu örneklerde deride toplanması, kırmızı etlerde ise yağın ette dağılması kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Mangalda pişirme sırasında, öncelikle etin dış yüzeylerinde yer alan ve direkt alev ile temas eden yağlar erimekte ve ateşin üzerine damlayarak PAH oluşumuna katkı sağlamaktadırlar. Et örneklerinde tespit edilen PAH4 ile pH arasında da bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Etlerdeki PAH4 miktarı tavuk > hindi > kuzu > dana olarak belirlenmiştir. Benzer bir durum pH için de geçerlidir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında pH miktarındaki artışa bağlı olarak toplam PAH4 içeriğinde artış olabileceği düşünülmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında gıdaların PAH4 ve pH içerikleri arasında bir ilişki olduğuna dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte bu konudaki çalışmaların kapsamının genişletilerek sürdürülmesi ve PAH oluşumunu etkileyen faktörler ile gıda içeriği arasındaki ilişkinin ortaya konulması gerekmektedir.

## SONUÇ

Farklı pişirme teknikleri uygulanan etlerin PAH4 içerikleri incelendiğinde sadece mangalda pişirme işlemi sonucunda PAH4 tespit edilmiştir. Haşlama, tavada pişirme, fırında pişirme ve ızgarada pişirme teknikleri sonucu PAH4 oluşmaması, bu teknikleri kullanarak pişirilen etlerin PAH4 bileşikleri yönüyle daha sağlıklı olduklarını göstermektedir. Et türleri arasındaki farklılığın PAH oluşumu üzerinde etkisi olmadığı düşünülmekle birlikte etin kompozisyonu ve özellikle içerdiği yağ miktarının önemli olduğu bilinmektedir. Mangalda pişirme işlemi neticesinde diğer ısı işlem metodlarından daha yüksek düzeyde PAH4 tespit edilmiş olması gıdadaki yağın ısı kaynağına ve dumana direk temas etmesi sonucu olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla uygulanan pişirme tekniği, PAH oluşumunda, önemli bir etkidir.

Ayrıca diğer etlerle kıyaslandığında, tavuk etinde PAH4 değerlerinin daha yüksek bulunması yağ içeriğinin yüksekliği ve yağın deri ile derinin alt yüzeyinde toplanmış olması ile açıklanabilmektedir. Kırmızı etlerde ise; etin dış yüzeyi dışında da yağın bulunabilmesi bu sayede de yağın duman ve doğrudan ateşe maruz kalmasının kısmen önlenmiş olması ile PAH4 oluşumunda azalma olduğu düşünülmektedir.

Mangalda pişirilen etler PAH açısından değerlendirildiğinde; PAH4 kapsamında yer alan BaP hiçbir pişirme tekniğinde belirlenememişken, BaA tüm et örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca; PAH'lardan BaA en yüksek oranda tavuk etinde, Chr hindi etinde, BbFlu ise tavuk etinde ve dana etinde bulunmuştur. Bununla birlikte mangalda pişirme sonucunda tüm et örneklerinde tespit edilen toplam PAH4 ve BaP miktarlarının Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen değerlerin altında olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Demir, İ., Demirbağ, Z. (1999). Polisiklik aromatik hidrokarbonların biyolojik olarak parçalanması. *Turkish Journal of Biology*, 23, 293-302.
- [2] Alver, E., Demirci, A., Özçimder, M. (2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 45-52.
- [3] Babür, T.E., Gürbüz, Ü. (2015). Geleneksel pişirme yöntemlerinin et kalitesine etkileri. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 3/4, 58-64.
- [4] Ceylan, Z., Şengör, F. (2015). Dumanlanmış su ürünleri ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'S). *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 15, 27-33.
- [5] Dayı, B., Ardağ Akdoğan, H., Akdoğan, A. (2017). Nar sosunda kromatografik yöntemlerle bazı aromatik hidrokarbonların analizi. *Akademik Gıda*, 15(3), 269-273.
- [6] Abdel-Shafy, H.I., 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.

- [7] Palamutoğlu, R., Sariçoban, C., Kasnak, C. (2014). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve et ürünlerinde oluşumu. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(3), 47-57.
- [8] Keskin, F.İ., Kaya, S. (1999). Et ve ürünlerinin pişirilmesi sırasında oluşan zararlı maddeler: Polisiklik aromatik hidrokarbonlar. *Türk Veteriner Hekimleri Birliği Dergisi*, 8(3-4), 74-82.
- [9] Cross, A. J., Sinha R. (2008). Meat consumption and cancer. *International Encyclopedia of Public Health*, 3, 272-281.
- [10] International Agency for Research on Cancer. (2016). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human. [http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php) (Erişim tarihi:10.07.2016)
- [11] Çolak, H., Hampikyan, H., Bingöl, E.V., Çetin, Ö., Akhan, M. (2013). Perakende olarak satışa sunulan bebek mamalarında benzo(a)piren varlığı. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 39(2), 218-224.
- [12] Alomirah, H., Al-Zenki, S., Al-Hooti, S., Zaghloul, S., Sawaya, W., Ahmed, N., Kannan, K. (2011). Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control*, 22, 2028-2035.
- [13] Köksal, G., Özel, H.G. (2008). Et: Bebek beslenmesi, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Beslenme ve Fiziksel Aktiviteler Daire Başkanlığı, Ankara, 23.
- [14] Türkiye İstatistik Kurumu. (2016). Et üretim miktarları. [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1002](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1002) (Erişim tarihi: 15.06.2016).
- [15] OECD/FAO, (2017). OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Agriculture Statistics (database). <http://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2017-2026/en/> (Erişim Tarihi: 18.06.2018)
- [16] Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, (2013). Doğu Anadolu Bölgesi et ve et ürünleri stratejisi, [http://kudaka.org.tr/apb/tarim\\_raporlari/tra1\\_bolgesi\\_et\\_ve\\_et\\_urunleri\\_sektoru\\_strateji\\_dokumani.pdf](http://kudaka.org.tr/apb/tarim_raporlari/tra1_bolgesi_et_ve_et_urunleri_sektoru_strateji_dokumani.pdf). (Erişim Tarihi: 26.11.2016).
- [17] Anderson, K.E., Sinha, R., Kulldorff, M., Gross, M., Lang, N.P., Barber, C., Harnack, L., Dimagno, E., Bliss, R., Kadlubar, F.F. (2002). Meat intake and cooking techniques: associations with pancreatic cancer. *Mutation Research*, 225-231.
- [18] See, S.W., Balasubramanian, R. (2008). Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. *Atmospheric Environment*, 42, 8852-8862.
- [19] Başak, S., Şengör, G.F., Karakoç, F.T. (2010). The detection of potential carcinogenic PAH using HPLC procedure in two different smoked fish, case study: Istanbul/Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 351-355.
- [20] Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H.N., Zaidul, I.S. (2011). Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food Chemistry*, 124, 141-146.
- [21] 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, 420-425.
- [22] Onyango, A.A., Lalah, J.O., Wandiga, S.O. (2012). The effect of local cooking methods on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contents in beef, goat meat, and pork as potential sources of human exposure in Kisumu City, Kenya. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 32(5), 656-668.
- [23] Dost, K., İdeli, C. (2012). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils and barbecued food by HPLC/UV-Vis detection. *Food Chemistry*, 133, 193-199.
- [24] Saito, E., Tanaka, N., Miyazaki, A., Tsuzaki, M. (2014). Concentration and particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons formed by thermal cooking. *Food Chemistry*, 153, 285-291.
- [25] Berjia, F.L., Poulsen, M., Nauta, M. (2014). Burden of diseases estimates associated to different red meat cooking practices. *Food and Chemical Toxicology*, 66, 237-244.
- [26] Ergönül, P.G., Kaya, D. (2015). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve gıdalarda önemi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 143-153.
- [27] Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch S.(R.G.), White, S., Fernandes, A., Mortimer, D. (2015). Investigation into the formation of PAHs in foods prepared in the home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting. *Food and Chemical Toxicology*, 78, 1-9.
- [28] 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.
- [29] Türk Gıda Kodeksi, (2012). Et ve et ürünleri tebliği (Tebliğ no: 2012/74), 17s.
- [30] Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (1990). 15.ed. Virginia, USA.
- [31] Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (2016). 20.ed. Maryland, USA.
- [32] Pule, B.O., Mmualefe, L.C., Torto, N. (2012). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish with Agilent Bond Elut Ouechers AOAC Kit and HPLC-FID. USA, <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5990-5441EN.pdf>, (Erişim Tarihi: 28.06.2016).
- [33] Öztan, A. (2005). Etin fiziksel ve kimyasal özellikleri: Et Bilimi ve Teknolojisi, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 63-104.
- [34] Aşçıoğlu, Ç. (2013). Farklı pişirme yöntemlerinin sığır bonfilelerinin (*Longissimus dorsi*) besinsel ve kalite özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.
- [35] Ergezer, H. (2005). Değişik yöntemlerle marine edilmiş kanatlı etlerinin kimyasal, mikrobiyolojik, tekstürel ve duyuşal özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

- [36] Min, S., Patra, J.K., Shin, H.S. (2018). Factors influencing inhibition of eight polyaromatic hydrocarbons in heat meat model system. *Food Chemistry*, 239, 993-1000.
- [37] Pouzou, J.G., Costard, S., 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*, 114, 346-360.
- [38] Ledesma, E., Rendueles, M., Diaz, M. (2016). Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 60, 64-87.
- [39] Pöhlmann, M., Hitzel, A., Schwagele, F., Speer, K., Wolfgang, J. (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.
-