GIDA (2017) 42 (2): 127-135
doi: 10.15237/gida.GD16060

Derleme/ *Review*

GIDALARDA POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBON BİLEŞİKLERİNİN BULUNUŞU VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Özlem Kılıç, Elif Aykın Dinçer, Mustafa Erbaş*

Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya

Geliş tarihi / *Received*: 01.06.2016
Kabul tarihi / *Accepted*: 02.09.2016

Özet

Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşikler; çeşitli fosil yakıtların, karbon içeren maddelerin ve gıda gibi diğer organik bileşiklerin pirolizi veya tam yanmaması sonucu oluşan kanserojen maddeler olarak tanımlanmaktadır. PAH bileşikleri, gıdalara çevre kirliliği kaynaklı olarak hava, su ve topraktan bulaşabilmekte ve/veya gıdaların yüksek sıcaklıkta işlenmesi sırasında oluşabilmektedir. Gıda yoluyla en önemli PAH bileşikleri alım kaynağı et ve et ürünleri olup bu ürünlerin PAH bileşikleri içeriği temel olarak ürünün yağ içeriğine ve uygulanan ısıl işlem yöntem ve süresine göre değişmektedir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar çeşitli kanser türleri ile PAH bileşiklerini içeren gıdaların tüketimi arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu makalede; PAH bileşiklerinin genel özellikleri, gıdalarda ve özellikle et ürünlerinde bu bileşiklerin oluşumunu etkileyen faktörler ve PAH bileşiklerinin sağlık üzerine etkileri derlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Polisiklik aromatik hidrokarbon, PAH, gıda, et, sağlık

THE PRESENCE OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON COMPOUNDS IN FOOD AND EFFECTS ON HEALTH

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbon compounds which occurs the results of pyrolysis or incomplete combustion of various fossil fuels, carbon-containing materials and other organic compounds such as food are defined as carcinogenic substances. PAH compounds can be contaminate to foods from the air, water and soil originating environmental pollution and/or occur during processing of foods at high temperatures. The most important source of PAH compounds through food intake is meat and meat products, content of PAH compounds of these products mainly depending on their fat content and applied heat treatment's method and time. Epidemiological studies have shown a relation between the consumption of food containing the PAH compounds with various types of cancer. In this article; the general characteristics of PAH compounds, the factors influencing formation of these compounds in food especially meat products and the effects on health of PAH compounds were reviewed.

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH, food, meat, health

* Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author;*
erbas@akdeniz.edu.tr, (+90) 242 310 6575, (+90) 242 310 6309

GİRİŞ

Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşikler, kömür gibi fosil yakıtların, karbon içeren maddelerin ve gıda gibi diğer organik bileşiklerin yüksek sıcaklıkta oksijensiz ortamda pirolize olması veya tam yanmaması sonucu oluşan çevre kirletici maddeler olarak tanımlanmaktadır (1-7). Günümüzde, PAH bileşikleri; fosil yakıtları kullanımının artması, endüstrinin gelişmesi, atıkların birikmesi ve tütün içilmesi gibi insan kaynaklı faaliyetlerin oluşumlarının yanı sıra volkanik patlamalar ve orman yangınları gibi doğal kaynaklarla da oluşmaktadır (8-11).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından mutajen ve kanserojen olarak tanımlanan (12, 13) PAH bileşikleri; hava, su, toprak ve gıda maddelerinde kompleks karışımlar halinde bulunmaktadır (14, 15). İnsanlar, bu bileşiklere kirli hava solumaları ve kirli su ve gıda tüketimi gibi çeşitli yollarla maruz kalmaktadırlar (1, 9, 13, 16, 17). Bu bileşiklere maruziyet sigara kullanımı ve direkt ısıl işlem görmüş gıdalar ile daha çok olmaktadır (2).

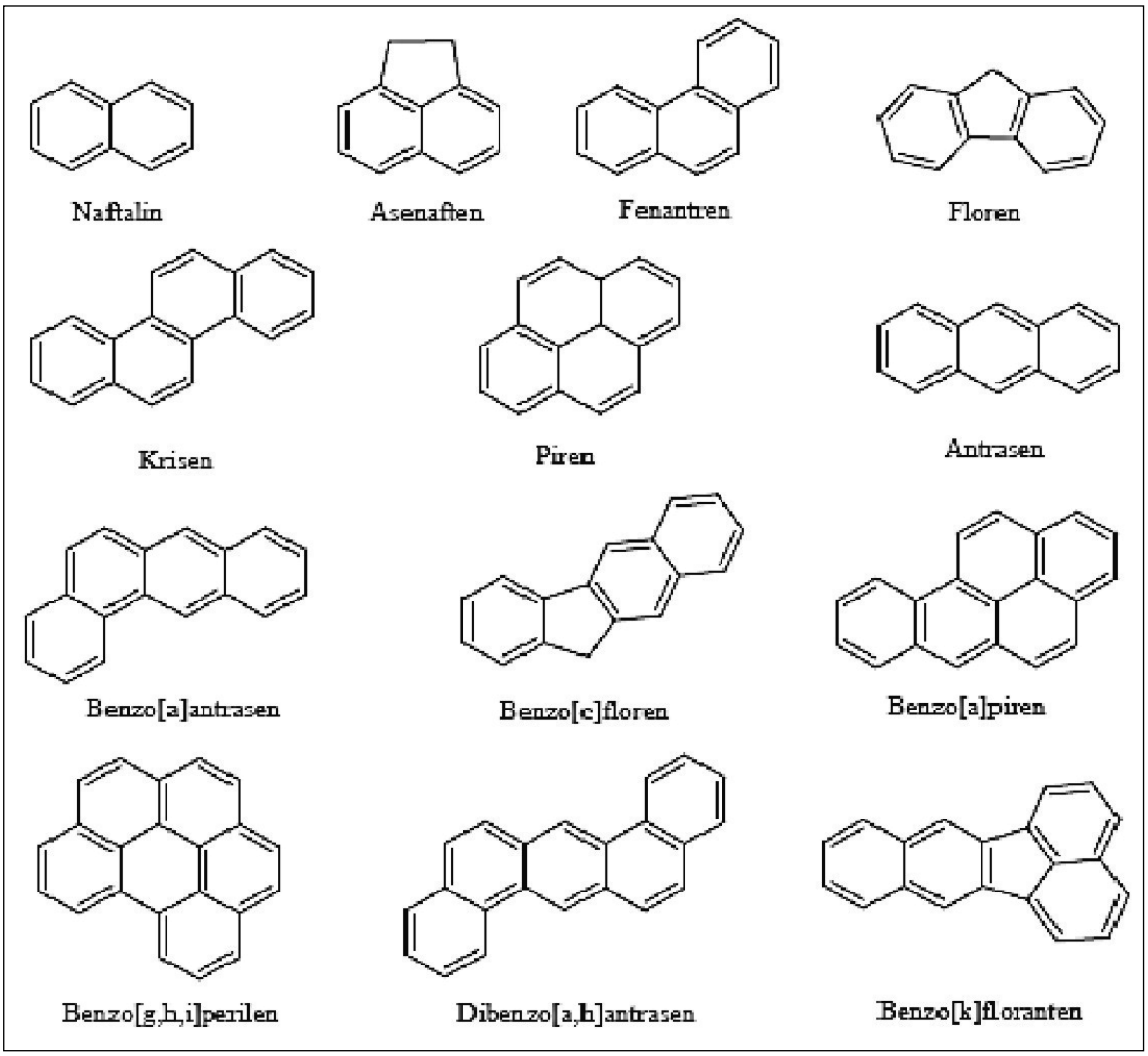
PAH bileşikleri, iki ya da daha çok sayıda benzen halkası içeren lipofilik organik bileşiklerdir (3, 9, 10, 14, 18, 19). Bu bileşikler yapılarına bağlı olarak mutajenik ve kanserojenik etkiye sahiptirler (3, 14, 15). PAH bileşikleri; yapısında dörtten az benzen halkası bulunduran hafif PAH bileşikleri ve beşten daha fazla benzen halkası bulunduran ağır PAH bileşikleri olmak üzere temelde iki grup olarak sınıflandırılmaktadır (20-22). PAH bileşikleri sahip olduğu benzen halkasına göre adlandırılmaktadırlar. Bu bileşiklerden iki benzen halkasına sahip olanlar naftalin, üç benzen halkasına sahip olanlar antrasen ve fenantren olarak adlandırılırken, daha fazla benzen halkasına sahip olanlar ise kendilerine özgü isimlerle adlandırılmaktadırlar (Şekil 1) (17). Naftalin, asenaftelen, asenaften, floren, fenantren ve antrasen hafif PAH bileşikleri arasında yer alırken floranten, piren, krisen, benzo[b]floranten, benzo[k]floranten, benzo[a]piren, dibenzo[a,h]antrasen, indeno[1,2,3-cd]piren ve benzo[g,h,i]perilen ise ağır PAH bileşikleri arasında yer almaktadır (23). Benzo[a]piren, dibenzo[a,h]antrasen gibi ağır PAH bileşiklerin stabilitesi ve dolayısıyla mutajenik ve kanserojenik etkisi hafif PAH bileşiklerine göre daha fazladır (2, 8, 22).

Saf haldeki PAH bileşikleri; katı halde, renksiz, beyaz, açık sarı-yeşil renkli ve güzel kokuya sahiptirler (24). PAH bileşiklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri molekül ağırlıklarına göre değişmektedir (25). PAH bileşiklerinin molekül ağırlıkları arttıkça sudaki çözünürlükleri azalmaktadır (10, 14, 18, 19). Yüksek molekül ağırlığa sahip PAH bileşikleri düşük uçuculuk ve çözünürlük nedeniyle buharlaşmadan kalabilmektedirler. Düşük uçuculuğa sahip olan PAH bileşikleri, yapısındaki halka sayısının artmasıyla uçuculukları daha da azalmaktadır (18, 20). PAH bileşiklerinin molekül ağırlıkları arttıkça erime noktası ve kaynama noktası yükselmekte, buhar basınçları azalmaktadır (25). Çoğu PAH bileşiğinin erime noktası 250 °C'nin altında ve kaynama noktası da 300 °C'nin üzerindedir (24). Bazı PAH bileşikleri ve özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

GIDA VE PAH BİLEŞİKLERİ

Endüstriyel üretim yapılan bölgelerde çevre kirliliğinden (26, 27) dolayı PAH bileşikleri suya, toprağa ve havaya geçerek meyve, sebze ve tahıl ürünleri gibi tarım ürünlerine kontamine olmaktadır (19). Bunun yanı sıra kavrulmuş kahve, bitkisel yağ, süt ürünleri, çay gibi işlenmiş ve ısıl işlem görmüş gıdalar ve ambalaj materyalinde de bu bileşiklere rastlanılmıştır (1, 5, 22, 28, 29). Kahvede oluşan PAH bileşikleri, kahve çekirdeklerinin kavrulması sırasında meydana gelmektedir (6). Yağlı tohumlardaki PAH bileşikleri; su, toprak ve hava gibi çevresel etmenlerle temas sonucunda bu tohumlara bulaşabilmekte ve tohumların işlenmesi sürecindeki kurutma ve çözgen ekstraksiyonu gibi aşamalarda ise bitkisel yağlara geçebilmektedir (15, 21). Avrupa Komisyonu düzenlemeleri (835/2011); propolis gibi arı ürünleri ve yeşil çay gibi çeşitli bitkisel gıdaların üretim yöntemlerine bağlı olarak PAH bileşiklerini içerebildiklerini bildirmiştir (9, 30).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA); tüketicilerin diyetle günlük PAH bileşikleri alımına neden olan en önemli gıda kaynaklarından birinin de et ve et ürünleri olduğunu bildirmiştir (2, 31). Et ürünlerinde oluşan PAH bileşiklerinin miktarı; etin yağ içeriğine, oksijen konsantrasyonuna, işlemede kullanılan ısı kaynağının çeşidine ve



Şekil 1. Bazı PAH bileşiklerinin molekül yapıları

sıcaklığına, gıda ile ısı kaynağı arasındaki uzaklığa ve işlem süresine bağlı olarak değişmektedir (2, 10, 19, 32-36). Özellikle gıdanın alevle direkt teması, ısıl işlem süresinin uzaması ve yüksek ısıl işlem sıcaklığı PAH bileşiklerinin miktarını arttırmaktadır (11, 34, 36).

Temel olarak PAH bileşiklerinin üç farklı mekanizma ile gıdalarda oluştuğu düşünülmektedir. Birinci mekanizma; yağ, protein ve karbonhidrat gibi organik maddelerin yüksek sıcaklıklarda (500-900 °C) pirolize olmasıyla PAH bileşiklerinin oluşmasıdır. İkinci mekanizma; kömür ateşi üzerinde pişirilen gıdalardan ayrılan yağ damlalarının sıcak kömür üzerine düşmesi ve yoğun ateşle karşılaşması sonucu uçucu PAH bileşiklerine dönüşmesidir. Bu uçucu PAH bileşikleri dumanlanma arttıkça gıdanın yüzeyine daha çok bulaşmaktadır. Üçüncü mekanizma ise; kömürün tam olarak yanmaması sonucu PAH bileşiklerinin oluşması ve bunların gıda yüzeyine kontamine olmasıdır (37, 38).

Özellikle, mangal ya da ağaç kömürü üzerinde pişirilen etlerde eriyen yağlar, sıcak kömür üzerine düşerek pirolize olmaktadır (34). Böylelikle oluşan PAH bileşikleri çıkan duman ile ete doğru taşınmakta ve yüzeyde birikmektedir (20). Daha sonrasında ise gıdanın içerisine doğru taşınarak lipit bileşenlerinde birikmektedir (35, 39). Bu taşınma olayında PAH bileşiklerinin lipofilik özelliğinden (10, 15, 19, 21, 32) dolayı gıdanın yağ ve su içeriği taşınma hızında önemli role sahip olmaktadır (2, 38, 39).

Çizelge 1. Bazı PAH bileşikleri ve özellikleri (23, 49, 50)

İsmi	Simge	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Erime Noktası (˚C)	Kaynama Noktası (˚C)	Renk	Suda Çözünürlük (mg/L)
Naftalin	Np	$C_{10}H_8$	128	80	218	-	31
Asenaftelen	Anp	$C_{12}H_8$	152	92-93	265-275	-	3.93
Asenaften	Ane	$C_{12}H_{10}$	154	95	96	Beyaz	1.93
Floren	Flr	$C_{13}H_{10}$	166	116-117	295	Beyaz	1.98
Fenantren	Phe	$C_{14}H_{10}$	178	100	340	Renksiz	1.20
Floranten	Flu	$C16H_{10}$	202	109	375	Mat sarı	2.0-2.6
Antrasen	An	$C_{14}H_{10}$	178	218	340	Renksiz	0.076
Piren	Py	$C_{16}H_{20}$	202	156	360	Renksiz	0.077
Krisen	Chr	$C_{18}H_{12}$	228	254	448	Renksiz	$2.8x10^{-3}$
Benzo[a]antrasen	BaA	$C_{18}H_{12}$	228	158	400	Renksiz	$1x10^{-1}$
Benzo[b]floranten	BbF	$C_{20}H_{12}$	252	168	481	Renksiz	$1.2x10^{-3}$
Benzo[k]floranten	BkF	$C_{20}H_{12}$	252	216	480	Mat Sarı	$7.6x10^{-4}$
Benzo[j]floranten	BjF	$C_{20}H_{12}$	252	166	-	Sarı	$6.76x10^{-3}$
Benzo[a]piren	BaP	$C_{20}H_{12}$	252	179	496	Mat Sarı	$2.3x10^{-3}$
İndeno[1,2,3-cd]piren	IcdP	$C_{22}H_{12}$	276	164	536	Sarı	0.062
Dibenzo[a,h]antrasen	DahA	$C_{22}H_{14}$	278	262	524	Renksiz	$5x10^{-4}$
Benzo[g,h,i]perilen	BghiPy	$C_{22}H_{12}$	276	273	545	Mat Sarı	$2.6x10^{-4}$

Gıda güvenliğinin sağlanması ve raf ömrünün uzaması için yapılan yanlış işlemler de PAH bileşiklerinin oluşumuna neden olabilmektedir (35). Tütsüleme işlemi et ve et ürünlerine uygulanan en eski gıda koruma yöntemlerinden biridir (32). Bu işlem uygulanan ürünlere güzel tat, koku ve aroma verirken; yağların pirolizi veya tütsü materyalinin eksik yanması sonucu mutajenik ve kanserojenik PAH bileşikleri oluşmaktadır (36, 40). Bir kılıfa doldurulduktan sonra tütsülenen et ürünlerinde, kılıf bariyer görevi gördüğü için tütsüleme işleminden kaynaklanan PAH bileşiklerinin gıdaya bulaşmasını engelleyebilmektedir (39). Bu engellemede sentetik kılıfın daha başarılı olduğu belirlenmiştir (35).

Kurutma, kızartma, kavurma ve ızgarada pişirme işlemleri de et ve et ürünlerinde PAH bileşiklerinin oluşumuna neden olmaktadır (2, 5, 10, 13, 41). Bu ısıl işlemlerin uygulanması sırasında sıcaklık 400 °C'nin altında ise az miktarda PAH bileşiğinin oluştuğu, sıcaklık 400-1000 °C arasında ise PAH bileşikleri miktarının daha yüksek olduğu belirtilmektedir (13, 42). Yapılan bazı çalışmalarda tespit edilen en yüksek BaP, PAH4 (BaP, BaA, Chr ve BbF) ve toplam PAH bileşiklerinin miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

PAH BİLEŞİKLERİ VE SAĞLIK

Doğada bulunan yüzden fazla PAH bileşiğinin mutajenik ve kanserojenik etkisi olduğu, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), Avrupa Bilimsel Komitesi (SCF) ve EFSA gibi birçok kuruluş tarafından rapor edilmiştir (9, 11, 43). SCF tarafından da 2002 yılında 15 PAH bileşiği kanserojen olarak tanımlanmış ve daha sonra Gıda Katkı Maddeleri FAO/WHO Ortak Uzman Komitesi (JECFA) tarafından benzo[c]floren de bu gruba dâhil edilerek 16 PAH bileşiği öncelikli kirleticiler olarak tanımlanmıştır (31). Bu 16 öncelikli kirletici PAH bileşikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birimi (US–EPA) tarafından oluşturulan öncelikli kirleticiler listesinde yer alan 8 PAH bileşiği (BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, IcdP, DahA ve BghiPy) aynı zamanda Avrupa Birliği tarafından oluşturulan öncelikli kirleticiler listesinde de bulunmaktadır (1, 5, 7, 16, 22, 44).

PAH bileşikleri mutajenik ve kanserojenik etkisi nedeniyle insanlar, hayvanlar ve bitkiler için önemli bir risk kaynağıdır (28). Dolayısıyla bu bileşiklere maruz kalma çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (7, 29). Hayvanlar üzerinde

Çizelge 2. Pişirme yöntemine bağlı olarak bazı gıdaların PAH bileşikleri içeriği

Et Örnekleri	Pişirme Yöntemleri	En Yüksek Toplam PAH Bileşiği (µg/kg)	En Yüksek BaP Bileşiği (µg/kg)	En Yüksek PAH4 Bileşiği (µg/kg)	Kaynak
Domuz eti, jambon, tavuk, sosis	Dumanlama	-	6.03 (domuz eti)	34.65 (domuz eti)	(51)
Sığır eti ve hamburger köftesi	Barbekü	-	2.13 (sığır eti) 29.1 (köfte)	10.87 (sığır eti) 95.87 (köfte)	(34)
Köfte	Kızılötesi Pişirme (Farklı ısı akışı, uygulama mesafesi ve süresi)	64.06 (370.62 kW/m^2 ısı akışı, 10.5 cm pişirme mesafesi ve 4 dk pişirme süresi)	0.21 (567.83 kW/m^2 ısı akışı, 10.5 cm pişirme mesafesi ve 4 dk pişirme süresi)	6.35 (370.62 kW/m^2 ısı akışı, 10.5 cm pişirme mesafesi ve 8 dk pişirme süresi)	(3)
Gıda grupları (tahıl, süt, yağ, sebze vb. Ürünler), domuz eti, chorizo sosisi	Barbekü	-	0.12 (gıda grubu, yağ) 0.29 (domuz eti) 0.21 (chorizo sosisi)	0.62 (yağ) 1.7 (domuz eti) 1.4 (chorizo sosis)	(12)
Petrovská klobása (geleneksel kurutulmuş doğal ve sentetik kılıf kullanılmış sosis)	Direkt dumanlama İndirekt dumanlama	495 (direkt, depolama sonrası doğal kılıflı örnekler) 220 (direkt, kurutma sonrası doğal kılıflı örnekler)	-	-	(52)
Düşük ve yüksek yağlı Portekiz geleneksel fermente sosis	Direkt dumanlama İndirekt dumanlama	870 (direkt, yüksek yağlı)	0.32 (indirekt, düşük yağlı)	10.35 (direkt, yüksek yağlı)	(2)
Sığır, keçi ve domuz eti	Sığ tavada kızartma Kömür mangalı Elektrikli fırın ızgara	17.88 (kömür mangalı, sığır eti) 4.77 (kömür mangalı, keçi eti) 3.47 (sığ tavada, domuz eti)	-	-	(16)
Sığır ve domuz eti	Kömür mangalı Kömürlü ızgara Gazlı ızgara	10.20 (kömür mangalı, domuz eti) 0.78 (kömür mangalı, sığır eti)	3.00 (kömür mangalı, domuz eti) 0.15 (kömür mangalı, sığır eti)	-	(1)
Tavuk eti (farklı şekillerde marine edilmiş)	Mikrodalga fırın Tava Direkt bütan gazlı ızgara İndirekt bütan gazlı ızgara	43.56 (mikrodalga, marinesiz) 62.41 (tava, marinesiz) 71.80 (direkt gazlı, marinesiz) 63.94 (indirekt gazlı, marinesiz)	0.03 (mikrodalga, marinesiz) 3.84 (tava, marinesiz) 5.30 (direkt gazlı, marinesiz) 1.01 (indirekt gazlı, marinesiz)	-	(53)
Sığır, tavuk ve balıketi	Kömür mangalı Gazlı ızgara Fırında pişirme	132 (kömür mangalı, sığır eti)	12.50 (kömür mangalı, sığır eti)	-	(20)
Domuz eti	Kömürde dumanlama Farklı ağaçlar ile dumanlama	470.91 (alaçam ile dumanlama)	35.07 (titrek kavak ağacı ile dumanlama)	-	(54)

yapılan çalışmalarda, PAH bileşiklerinin bağışıklık sistemi rahatsızlıklarına ve akciğer, pankreas, kolon ve deri kanseri gibi kanser çeşitlerine neden olduğu tespit edilmiştir (22, 24). Bunun yanı sıra, hayvansal deneylerde bazı PAH bileşiklerin somatik hücrelerde mutajenik etkisinin de olduğu EFSA tarafından bildirilmiştir (14, 19, 31).

Hayvanlar üzerinde görülen kanserojenik etkinin

Çizelge 3. Öncelikli kirletici olarak tanımlanan 16 PAH bileşiği (31)

1.	Benzo[a]piren
2.	Benzo[a]antrasen
3.	Benzo[b]floranten
4.	Benzo[j]floranten
5.	Benzo[k]floranten
6.	Siklopenta [cd] piren
7.	Dibenzo[a,e]piren
8.	Dibenzo[a,h]piren
9.	Dibenzo[a,i]piren
10.	Dibenzo[a,l]piren
11.	Krisen
12.	Dibenzo[a,h]antrasen
13.	Benzo[g,h,i]perilen
14.	İndeno [1,2,3,-cd] piren
15.	5-metilkrisen
16.	Benzo[c]floren

aynı zamanda insanlar üzerinde de rol oynadığı belirtilmektedir (45). Genel olarak insanlarda görülen kanser türlerinin, PAH bileşiklerinin DNA'ya bağlanmasıyla oluşan hasar nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir (4, 10, 22, 32). Ayrıca PAH bileşiklerinin insanlar üzerinde tümör başlatıcı ve geliştirici özelliklerinin de bulunduğu bildirilmiştir (24). PAH bileşiklerin kanserojenik etkilerinin yanı sıra, bu bileşiklere maruz kalan fetüs ve yeni doğanlar üzerinde de olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir (4). Doğum öncesinde yüksek miktarlarda PAH bileşiklerine maruz kalmanın erken doğum tehlikesine ve bu yeni doğanlarda da düşük zihinsel kapasite ve astım gibi sorunlara neden olduğu bildirilmiştir (19).

IARC, insanlar için BaA ve BaP bileşiklerini kanser yapma ihtimali yüksek olan ve BbF, BjF, BkF ve IcdP bileşiklerini ise kanser yapma ihtimali düşük olan PAH bileşikleri olarak sınıflandırmıştır (24). US-EPA ise BaA, BaP, BbF, BkF, Chr ve DahA bileşiklerini insanlar için muhtemel kanser yapma ihtimali olan bileşikler arasında tanımlamıştır (14, 15, 20, 45).

Mutajenik ve kanserojenik etkisi yüksek olduğu için (23), hayvansal deneylerde üzerine en çok çalışılan PAH bileşiği BaP bileşiğidir. Bu bileşik kanserojenik etkisinden dolayı SCF tarafından indikatör olarak tanımlanmıştır (11, 40, 43, 45-47). Ancak, Eylül 2012'de Avrupa Komisyonu tarafından yapılan yeni düzenlemeyle PAH4 bileşiği olarak gruplandırılan BaP, BaA, Chr ve BbF bileşiklerinin gıdalarda indikatör olarak kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir (22, 32, 39).

EFSA, diyetle günlük PAH bileşiği alımının önemli bir kaynağı olarak et ve et ürünlerini göstermiştir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalarla, mangalda pişirilmiş etlerin çok fazla tüketilmesinin bağırsak, göğüs, prostat ve pankreas kanser riskini orta derecede arttırdığı belirlenmiştir (31). Bu nedenle, gıda pişirmede yüksek sıcaklığın uygulandığı kızartma, kavurma, ızgara ve mangal gibi direkt ısıl yöntemler yerine haşlama ve buğulama gibi indirekt yöntemlerin tercih edilmesinin kanser oluşma riskini azaltacağı kabul edilmektedir. Avrupa Komisyonu yönetmelik düzenlemelerine göre; tütsülenmiş et ve et ürünlerindeki toplam PAH4 bileşiklerinin ve BaP bileşiğinin maksimum kabul edilebilir yasal limitleri önceden sırasıyla 30 µg/kg ve 5 µg/kg olarak belirlenmiş olmakla birlikte (2, 34, 35, 47), bu bileşiklere dair sağlık risklerinin daha iyi anlaşılması nedeniyle bu yasal limitler 1 Eylül 2014'te yapılan bir düzenleme ile sırasıyla 12 µg/kg ve 2 µg/kg olarak yeniden belirlenmiştir (11, 13, 30, 36, 40). Bu yeni limitler ülkemiz tarafından da Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne dâhil edilmiştir (48).

SONUÇ

Gıdalardaki PAH bileşikleri içeriği; genellikle gıdaların direkt ısıl işleme tabi tutulması ve çevre kirliliği kontaminasyonundan kaynaklanmaktadır. Üretimde kullanılan gıdanın çeşidi, yağ miktarı ve pişirme yöntemine bağlı olarak mutajenik ve kanserojenik PAH bileşikleri özellikle et, tavuk ve balık ve bunların ürünlerinde oluşmaktadır. Ayrıca, gıdanın direkt alevle teması, yüksek sıcaklık ve kömürün gıdaya yakın olması gibi faktörler de gıdada oluşan PAH bileşiklerinin miktarını artırmaktadır. Yapılan bazı epidemiyolojik çalışmalarda mangalda pişirilmiş ve dumanlanmış/tütsülenmiş gıda ürünlerinin fazlaca tüketimi ile kanser gelişimi arasında bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, gıdanın mangalda pişirme yerine haşlama ve buharda pişirme gibi indirekt yöntemlerle pişirilmesi ve üretimde direkt dumanlama yerine indirekt dumanlama yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca gıda üretim alanlarının da çevresel olarak kirlenmemesine özen gösterilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Chung SY, Yettella RR, Kim JS, Kwon K, Kim MC, Min DB. 2011. Effects of grilling and roasting on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and pork. *Food Chem*, 129, 1420-1426.

2. Gomes A, Santos C, Almeida J, Elias M, Roseiro LC. 2013. Effect of fat content, casing type and smoking procedures on PAHs contents of Portuguese traditional dry fermented sausages. *Food Chem Toxicol*, 58, 369-374.

3. Kendirci P, Icier F, Kor G, Onogur TA. 2014. Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs. *Meat Sci*, 97, 123-129.

4. Genkinger JM, Stigter L, Jedrychowski W, Huang TJ, Wang S, Roen EL, Majewska R, Kieltyka A, Mroz E, Perera FP. 2015. Prenatal polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) exposure, antioxidant levels and behavioral development of children ages 6-9. *Environ Res*, 140, 136-144.

5. Thea AE, Ferreira D, Brumovsky LA, Schmalko M. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in yerba matè (Ilex paraguariensis St. Hil) traditional infusions (mate and tererè). *Food Control*, 60, 215-220.

6. Guatemala-Morales GM, Beltrán-Medina EA, Murillo-Tovar MA, Ruiz-Palomino P, Corona-González RI, Arriola-Guevara E. 2016. Validation of analytical conditions for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted coffee by gas chromatography–mass spectrometry. *Food Chem*, 197, 747-753.

7. Cacho JI, Campillo N, Vi as P, Hernández-C rdoba M. 2016. Evaluation of the contamination of spirits by polycyclic aromatic hydrocarbons using ultrasound-assisted emulsification microextraction coupled to gas chromatography–mass spectrometry. *Food Chem*, 190, 324-330.

8. Başak S, Çokgör E, Orhon D. 2011. Benzo[a]anthracene'nin aktif çamur üzerine kronik etkisinin respirometrik incelenmesi *İTÜ Dergisi/E* 21 (2):69-77.

9. Zelinkova Z, Wenzl T. 2015. EU marker polycyclic aromatic hydrocarbons in food supplements: analytical approach and occurrence. *Food Addit Contam*: Part A, 32(11), 1914-1926.

10. Iwegbue CMA, Agadaga H, Bassey FI, Overah LC, Tesi GO, Nwajei EG. 2015. Concentrations and Profiles of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Some Commercial Brands of Tea-, Coffee-, and Cocoa-Based Food Drinks in Nigeria. *Int J Food Prop*, 18, 2124-2133.

11. Ledesma E, Rendueles M, D az M. 2016. Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 60, 64-87.

12. Abramsson-Zetterberg L, Darnerud PO, Wretling S. 2014. Low intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in Sweden: Results based on market basket data and a barbecue study. *Food Chem Toxicol*, 74, 107-111.

13. Ledesma E. Rendueles M, D az M. 2015. Spanish smoked meat products: Benzo(a)pyrene (BaP) contamination and moisture. *J Food Compos Anal*, 37, 87-94.

14. Domingo JL, Nadal M. 2015. Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review of the scientific literature. *Food Chem Toxicol*, 86, 144-153.

15. Jiang D, Xin C, Li W, Chen J, Li F, Chu Z, Xiao P, Shao L. 2015. Quantitative analysis and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible vegetable oils marketed in Shandong of China. *Food Chem Toxicol*, 83, 61-67.

16. Anyango-Onyango A, Lalah J, Wandiga SO. 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 Kinsumi City, Kenya. *Polycyclic Aromat Compd*, 32 (5), 656-668.

17. Palamutoğlu R, Sarıçoban C, Kasnak C. 2014. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) ve Et Ürünlerinde Oluşumu *GTED* 3 (9):47-57.

18. Keskin İ, Kaya S. 1999. Et ve Et Ürünlerinin Pişirilmesi Sırasında Oluşan Zararlı Maddeler: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar. Etlik Merkez Veteriner Kontrol ve Araştırma Enstitüsü *Türk Veteriner Hekimleri Birliği Dergisi* 8 (3-4): 74-82.

19. Fernandes A. Holland J, Petch R, Miller M, Carlisle S, Stewart J, Rose M. 2011. Survey for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in cereals, cereal products, vegetables, vegetable products and traditionally-smoked foods. Food and Environment Research Agency (FERA), FD 10/04, March 2011.

20. Farhadian A, Jinap S, Abas F, Sakar ZI. 2010. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21, 606-610.

21. Shi LK, Zhang DD, Liu YL. 2016. Incidence and survey of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible vegetable oils in China. *Food Control*, 62, 165-170.

22. Li G, Wu S, Wang L, Akoh CC. 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.

23. Şekeroğlu G, Fadıloğlu S, Göğüş F. 2006. Bitkisel Yağlarda Benzo(a)piren Miktarının Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi ile Belirlenmesi. Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye, 855-858.

24. Alver E, Demirci A, Özcimder M. 2012. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri *MAKÜ FEBED* 3 (1):45-52.

25. Eisler R. 1987. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review. *Biol Rep*, 85, (1.11).

26. 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 Chem*, 126, 1344-1353.

27. Szterk A. 2015. Acridine derivatives (PANHs, azaarenes) in raw, fried or grilled pork from different origins, and PANH formation during pork thermal processing. *J Food Compos Anal*, 43, 18-24.

28. Londo o VAG, Reynoso CM, Resnik SL. 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) survey on tea (*Camellia sinensis*) commercialized in Argentina. *Food Control*, 50, 31-37.

29. Gorgi ME, Ahmadkhaniha R, Moazzen M, Yunesian M, Azari A, Rastkari N. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Iranian Kebabs. *Food Control*, 60, 57-63.

30. European Commission (EC). 2011. Commission Regulation (EC) No 835/2011, of 19 August 2011, amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs. Official Journal of the European Union, L215, 4-8.

31. EFSA. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food, scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *EFSA J.* 724, 1-114.

32. Esposito M, Citro A, Marigliano L, Urbani V, Seccia G, Maotta MP, De Nicola C. 2015. Influence of different smoking techniques on contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked *Mozzarella di Bufala Campana. Int J Dairy Technol,* 68(2).

33. Ünal P, Bayhan A. 1993. Gıdalarda Bulunan Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar *GIDA* 18 (4): 273-277.

34. Rose M, Holland J, Dowding A, Petch SGR, 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 Chem Toxicol*, 78, 1-9.

35. Ledesma E, Laca A, Rendueles M, D az M. 2016. Texture, colour and optical characteristics of a meat product depending on smoking time and casing type. *Food Sci Technol*, 65, 164-172.

36. Semanová J, Sklársová B, Simon P, Simko P. 2016. Elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked sausages by migration into polyethylene packaging. *Food Chem*, 201, 1-6.

37. 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.

38. Santos C, Gomes A, Roseiro LC. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons incidence in Portuguese traditional smoked meat products. *Food Chem Toxicol*, 49, 2343-2347.

39. Fasano E, Yebra-Pimentel I, Mart nez-Carballo E, Simal-Gándara J. 2016. Profiling, distribution and levels of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked plant and animal foods. *Food Control*, 59, 581-590.

40. Suranová M, Semanová J, Sklársová B, Simko P. 2015. Application of Accelerated Solvent Extraction for Simultaneous Isolation and Pre-cleaning Up Procedure During Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Meat Products. *Food Anal Methods*, 8, 1014-1020.

41. Ceylan Z, Ünal Şengör GF. 2015. Dumanlanmış Su Ürünleri Ve Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH's) *Gıda ve Yem Bilimi Dergisi* 15: 27-33.

42. Ekici L, Sağdıç O, Yetim H. 2012. Et tüketimi ve kanser *ERÜ FBE* 28(2):136-145.

43. European Commission (EC). 2006. Commission Regulation (EU) No 1881/2006/EC of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, L364, 5-24.

44. Chatterjee NS, Utture S, Banerjee K, Shabeer TPA, Kamble N, Mathew S, Kumar KA. 2016. Multiresidue analysis of multiclass pesticides and polyaromatic hydrocarbons in fatty fish by gas chromatography tandem mass spectrometry and evaluation of matrix effect. *Food Chem*, 196, 1-8.

45. Jahurul MHA, Jinapa S, Zaidul ISM, Sahena F, Farhadian A, Hajeb P. 2013. Determination of fluoranthene, benzo[b]fluoranthene and benzo[a]pyrene in meat and fish products and their in take by Malaysian. *Food Biosci*, 1, 73-80.

46. L pez-Jiménez FJ, Ballesteros-G mez A, Rubio S. 2014. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH4) in food by vesicular supramolecular solvent-based microextraction and LC–fluorescence detection. *Food Chem*, 143, 341-347.

47. Duedahl-Olesen L, Aaslyng M, Meinert L, Christensen T, Jensen AH, Binderup ML. 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat. *Food Control*, 57, 169-176.

48. Anon 2011. Türk Gıda Kodeksi. Bulaşanlar Yönetmeliği. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 29 Aralık 2011 tarih ve 28157 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

49. Skupinska K, Misiewicz I, Kasprzycka-Guttman, T. 2004. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Physicochemical Properties, Environmental Appearance and Impact On Living Organisms. *Drug Res*, 61(3), 233-240.

50. Villanyi V (ed), Lee BK, Vu VT. 2010. *Sources, Distribution and Toxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter.* ISBN 978-953-307-143-5.

51. 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.

52. Skaljac S, Petrovic L, Tasic T, Ikonic P, Jokanovic M, Tomovic V, Dzinic N, Sojic B, Tjapkin A, Skrbic B. 2014 Influence of smoking in traditional and industrial conditions on polycyclic aromatic hydrocarbons content in dry fermented sausages (*Petrovská klobása*) from Serbia. *Food Control*, 40, 12-18.

53. El Badry N. 2010. Effect of household cooking methods and some food additives on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) formation in chicken meat. *World Appl Sci J*, 9(9), 963-974.

54. Stumpe-Viksna I, Bartkevics V, Kukare A, Morozovs A. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chem*, 110, 794-797.