



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://febed.mehmetakif.edu.tr>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3 (1): 45-52 (2012)

Derleme Makale / Review Paper

## Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri

Erol Alver, Ayla Demirci, Mustafa Özçimder

Kırıkkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Yahşihan, Kırıkkale

Geliş Tarihi (Received): 04.08.2011, Kabul Tarihi (Accepted): 05.01.2012

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): erolalver@hotmail.com (E. Alver)

☎ 0 318 357 42 42 / 4078 📠 0 318 357 24 61

### ÖZET

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) organik bileşiklerin eksik yanması sonucu ortaya çıkan toksik ve kanserojen etkiye sahip yine organik yapıda bileşiklerdir. PAH'lar hava, su, gıdalar ve sigara dumanı ile insan vücuduna girerek DNA'da mutasyona neden olmaktadır. Doğada 100'ün üzerinde PAH bileşiği tespit edilmiştir. Ancak kanserojen ve toksik etkisinin daha fazla olduğu düşünülen 16 PAH bileşiği öncelikli kirleticiler arasında kabul edilmiştir. Bu çalışmada polisiklik aromatik hidrokarbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri, tayin yöntemleri ve insan sağlığı üzere etkileri derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polisiklik aromatik hidrokarbon, PAH, Organik kirletici

### Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their Effects on Health

#### ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) which appear as a result of incomplete burning of organic compounds are organically structured compounds which are toxic and have cancerogenic effects. PAHs cause mutation in DNA going into human body with air, water, food and smoke. Over 100 PAH compounds have been determined in nature. But 16 of them have been accepted as such compounds with top priority since their cancerogenic and toxic effects are higher.

**Keywords:** Polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH, Organic pollutant

#### 1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen sanayileşme insan yaşamını önemli ölçüde kolaylaştırırken birçok çevre sorununu da bir arada getirmiştir. İnsan nüfusundaki ve şehirleşme oranındaki hızlı artış çevre kirliliğine neden olan diğer önemli etkenlerdir. Çevresel kirlilikler canlı yaşamının devam etmesi için gerekli olan hava, su ve toprağı etkilerler.

Çağımızın en tehlikeli hastalıklarından olan kanserin oluşmasında çevresel faktörlerin etkisi artık

bilinmektedir. İnsanlar kirli havayı soluyarak ya da kirlenmiş su veya gıdayı tüketerek toksik ve kanserojen maddelere maruz kalırlar. Endüstriyel atıklar, tarım ilaçları, çöpler, sigara dumanı ve sanayi baca gazları gibi zararlı maddelerden çevreye gelen kimyasallar, hava, su, toprak ve gıdalara karıştıklarından dolayı insan sağlığını tehdit eden önemli çevresel kirleticilerdendir. Bu maddelerin içerisinde bulunan kükürt dioksit, azot oksitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), pestisitler, insektisitler, metaller gibi birçok kirletici, insan sağlığı için toksik ve kanserojen etkiye sahiptir.

Bu maddelerin çok az miktarlarının bile insan vücudunda toksik ve kanserojen etkiye sebep olduğu bilindiği için hava, su ve gıdalardaki miktarlarının kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Bu kanserojen maddelerin gıda, hava ve sularda bulunabilecek maksimum miktarları ulusal ve uluslararası gıda ve sağlık örgütleri tarafından belirlenir ve kontrol edilir. Bu çalışmada polisiklik aromatik hidrokarbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri, tayin yöntemleri ve insan sağlığı üzere etkileri derlenmiştir.

## 2. POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBONLAR (PAH)

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar iki ya da daha fazla benzen halkasına sahip hidrofobik karakterli organik bileşiklerdir (Zhang ve ark., 2006; Wcislo, 1998; Wang ve ark., 2010). PAH'lar doğal ya da insan kaynaklı olarak organik bileşiklerin eksik yanması sonucu oluşurlar. Doğal şekilde, orman yangınları veya volkanik patlamalarla oluşur. İnsan kaynaklı oluşumları ise endüstriyel kaynaklar, motorlu taşıtlar ve sigara ile olmaktadır. Sigara ile ortaya çıkan PAH miktarı diğerlerine göre az olmasına rağmen insan sağlığı açısından en fazla tehdit oluşturan kaynaklar arasındadır (Vardar ve ark., 2004). Endüstriyel kaynaklar, çöp yakma, çimento fabrikaları, petrol rafinerileri, kok ve asfalt üretimi, alüminyum, demir çelik üretiminden kaynaklanmaktadır (Perry ve ark., 1991; WHO, 1998). Isınma ve enerji amaçlı kullanılan kömür, odun gibi katı yakıtlar ve fosil yakıtlar da PAH oluşumuna neden olmaktadır (Re N-Poppi ve Santiago-Silva, 2005; Lee ve ark., 2001; Garban ve ark., 2002; Dabestani ve Ivanov, 1999).

PAH'ların, hidrofobik yapılarından dolayı sudaki çözünürlükleri oldukça azdır. Ancak yüksek oranda lipofilik özelliğe sahiptirler. Yapısında dörtten az benzen halkası bulunduran PAH'lar hafif PAH, dört ve daha fazla benzen halkası bulunduran PAH'lar ise ağır PAH olarak tanımlanır (Danyi ve ark., 2009). Hafif PAH'ların sudaki çözünürlükleri daha fazla ve buhar basınçları daha yüksektir. PAH'ların molekül ağırlıkları arttıkça sudaki çözünürlükleri azalmaktadır. Ancak toksik ve kanserojenik özellikleri artmaktadır (Wenzl ve ark., 2006; Ferrarese ve ark., 2008).

PAH'lar toprakta, suda, havada ve gıda örneklerinde bulunmaktadır (Danyi ve ark., 2009; Phillips, 1999; Bartos ve ark., 2009; Zhang ve ark., 2009). PAH'ların mutajenik, toksik ve kanserojenik oldukları bilinmektedir (Wang ve ark., 2010; Nieva-Cano ve ark., 2001; Tsai ve ark., 2002; Liang ve ark., 2006). Bu tehlikelerinden dolayı çevrede, yiyecek ve içeceklerde bulunan miktarları insan sağlığı açısından önemli hale gelmiştir. Evde PAH'lar tütün dumanı, yanan odun dumanı, tahıl, ekmeke, sebze, meyve, et, işlenmiş veya salamura ürünler, kirlenmiş inek sütü veya anne sütünde mevcuttur. Kirlenmiş toprak, hava ve suda yetişen ürünler de PAH içerir. Et veya diğer yiyecekleri izgarada veya yanacak şekilde yüksek sıcaklıklarda pişirme yiyeceklerdeki PAH miktarının artmasına neden olur (ATSDR, 1995).

Doğada 100'ün üzerinde PAH bileşiği mevcuttur (ATSDR, 1995; Moret ve ark., 2010; Martorell ve ark., 2010). Ancak Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birimi (United States Environmental Protection Agency, US-EPA) tarafından bunların 16 tanesi öncelikli kirleticiler arasında sayılmıştır (Çizelge 1) (EPA, 1999).

Çizelge 1. Öncelikli kirleticiler olarak değerlendirilen 16 polisiklik aromatik hidrokarbon bileşiği

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| • Naftalin (Np)               | • Asenaftelen (Anp)                 |
| • Asenaften (Ane)             | • Floren (Flr)                      |
| • Fenantren (Phe)             | • Antrasen (An)                     |
| • Floranten (Flu)             | • Piren (Py)                        |
| • Benzo[a]antrasen (BaA)      | • Krisen (Chr)                      |
| • Benzo[b]floranten (BbF)     | • Benzo[k]floranten (BkF)           |
| • Benzo[a]piren (BaP)         | • Dibenzo[a,h]antrasen (DahA)       |
| • İndeno[1,2,3-cd]piren(IcdP) | • Benzo[g,h,i]perilen (BghiPy)'dir. |

Bu bileşiklerin öncelikli kirleticiler arasında sayılmasının nedenleri olarak ise;

1. Bu bileşikler hakkında diğerlerine göre daha fazla bilgiye sahip olunması,
2. Söz konusu PAH'ların daha fazla zararlı olduklarından şüphelenilmesi ve bunların zararlı etkilerinin gösterilmesi,
3. Söz konusu PAH'lara maruz kalma riskinin diğerlerinden daha çok olması,
4. Amerika'daki ulusal öncelikler listesinde (National Priorities List, NPL) bulunan atık alanlarında yapılan analizlerde en yüksek oranlarda bu PAH'ların belirlenmesi sayılabilir (ATSDR, 1995).

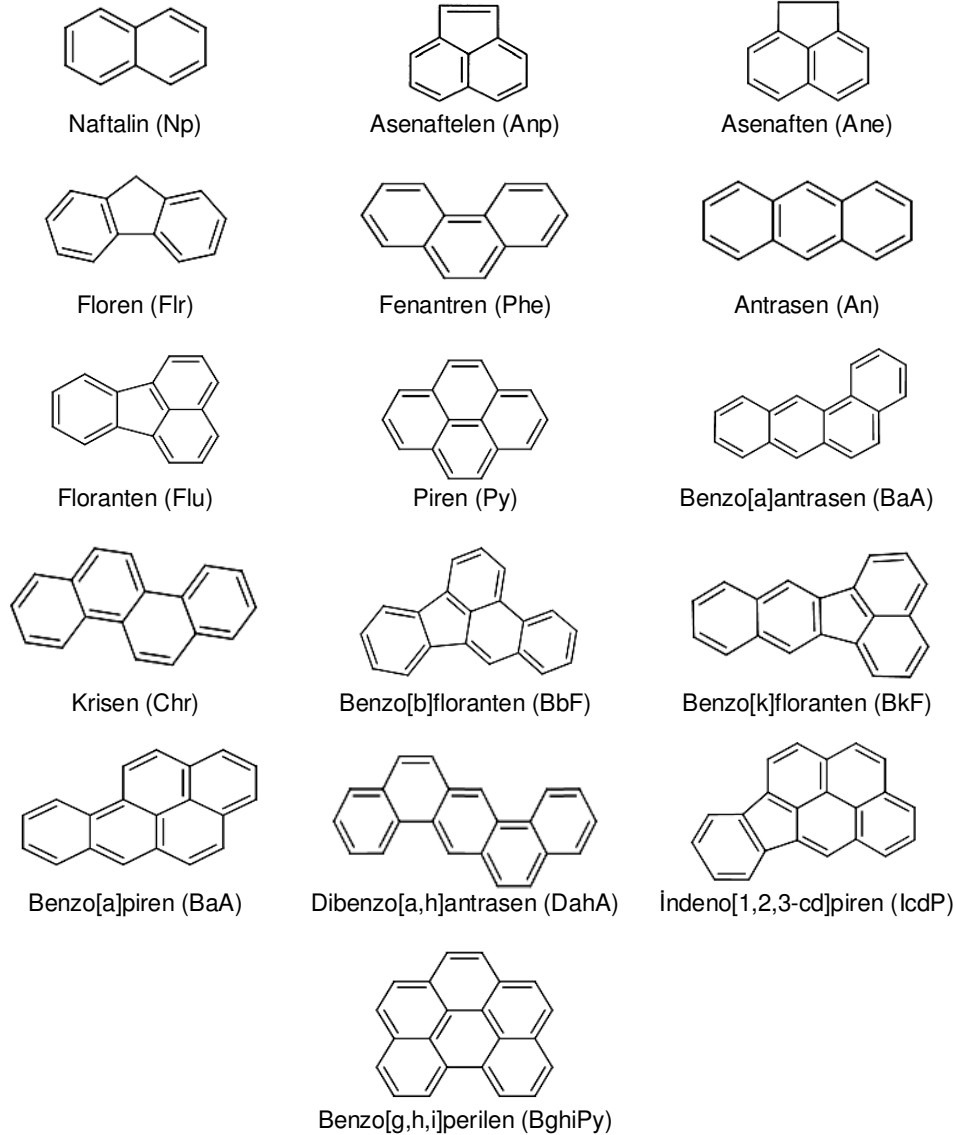
### 2.1. PAH'ların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Yanmanın tam olarak gerçekleşmemesi sonucunda oluşan PAH'lar genellikle tek bir bileşik olarak değil yanma ürününün kompleks bir karışımı olarak ortaya çıkarlar (ATSDR, 1995; Douben, 2003). Ancak araştırma amaçlı saf bir bileşik olarak da üretilebilirler. Saf bileşik halinde PAH'lar renksiz, beyaz, açık sarı yeşil renkli, katı halde ve hafif hoş bir kokuya sahiptirler. Araştırma amaçlı üretilen PAH'lar hariç bu bileşiklerin çoğunluğunun bir kullanım alanı yoktur. Birkaç PAH bileşiği sağlık alanında ve pestisit, boya veya plastik yapımında kullanılmaktadır (ATSDR, 1995). Şekil 1'de bazı PAH'ların molekül yapıları verilmiştir. 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 (WHO, 1998; Marcè ve Borrell, 2000). Ayrıca ozon ve hidroksil radikalleri ile de tepkime verirler (Douben, 2003).

PAH'ların çevrede yayılmalarını sudaki çözünürlükleri, buhar basınçları,  $\log K_{ow}$ , gibi faktörler belirler. Çizelge 2a ve b'de bazı PAH'ların fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Çizelgelerde; CAS numarası, Amerikan Kimya Derneği'nin (American Chemical Society) bir alt

bölümü olan "Chemical Abstracts Service" (CAS), tarafından bilinen tüm kimyasal bileşikler tanımlamak için verilen numaradır.  $K_{ow}$  bileşiğin sudan lipide geçiş potansiyelini gösterir. Koc, bileşiğin toprakta bulunan organik karbon üzerine adsorblanma potansiyelini gösterir. Henry sabiti, denge durumunda bir bileşiğin sudaki ve havadaki derişimlerini açıklayan ve bu kimyasalın uçuculuk potansiyeliyle ilgili bilgi veren bir değerdir. L/B ise bileşiğin boy/en oranını vermektedir.

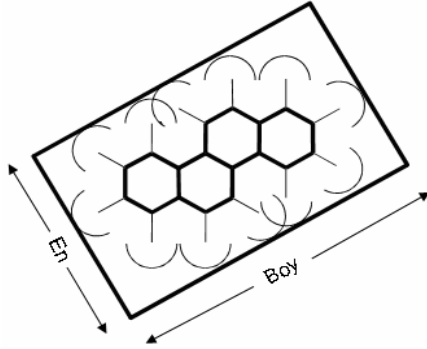


Şekil 1. Bazı polisiklik aromatik hidrokarbon bileşiklerinin molekül yapısı

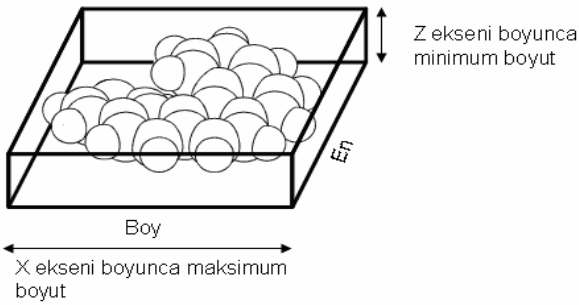
PAH'ların boy-en (L/B) oranları sıvı ve gaz kromatografide analizleri sırasında alıkonma mekanizmalarını açıklamak için bir çok çalışmada kullanılmaktadır (Radecki ve ark., 1979; Wise ve ark., 1981; Janini ve ark., 1976). Sander ve Wise (Sander & Wise, 1997) PAH'ların L/B oranlarını bilgisayar ve molekül modelleme programı yardımı ile belirlemişlerdir.

Düzlemsel PAH'ların L/B oranı molekülün iki boyutlu gösteriminden belirlenebilmektedir (Şekil 2). Düzlemsel olmayan moleküller de maksimum L/B oranını belirlemek için molekül denemeler yapılarak döndürülür. Maksimum x değeri ve minimum z değeri olacak şekilde ayarlanır (Şekil 3) Sadece aromatik karbon içeren bileşikler için yaklaşık  $3.9A^\circ$ dan büyük z değeri bileşiğin

düzlemsel olmamasının göstergesidir (Wise ve ark., 1998; Sander ve Wise, 1997).



Şekil 2. Düzlemsel PAH'ların L/B Gösterimi (Sander ve Wise, 1997)



Şekil 3. Düzlemsel olmayan moleküller için L/B'nin algoritmik gösterimi (Sander ve Wise, 1997)

## 2.2. PAH'ların Tayin Edilme Yöntemleri

Toksik ve kanserojen etkiye sahip PAH'ların çevre, gıda ve biyolojik örneklerde bulunan miktarları, gaz kromatograf (GC) (Saleh ve ark., 2009) ve yüksek basınç sıvı kromatograf (HPLC) (Serpe ve ark., 2010) ve elektrokinetik kromatografi (Hsieh ve ark., 2001; Smith ve ark., 1998) gibi yüksek duyarlılığa sahip cihazlarla tayin edilebilirler. PAH'ların gaz kromatograf ile tayinlerde detektör olarak alevde iyonlaşma detektörü (GC-FID) (Esrafilı ve ark., 2011) ya da kütle spektrometresi (GC-MS) (Ratola ve ark., 2008) kullanılır. HPLC ile tayinlerde ise genelde UV-görünür bölge spektrometresi (HPLC-UV) (Melwanki ve ark., 2006), Floresans spektrometresi (HPLC-F) (Zhang ve ark., 2010), fotodiyot array (PDA) (Liu ve ark., 2007) ve kütle spektrometresi (HPLC-MS) (Stolyhwo ve Sikorski, 2005) detektör olarak kullanılır. Ayrıca PAH'ların HPLC ile tayinlerinde genelde sabit fazın apolar, hareketli fazın polar olduğu ters faz kromatografi (RP-HPLC) tekniği kullanılmaktadır. Ancak PAH'ların HPLC ile tayinleri sabit fazın polar, hareketli fazın apolar olduğu normal faz kromatografi (NP-HPLC) tekniği ile de başarılı bir şekilde yapılabilmektedir (Aygün ve Özçimder, 1996).

## 2.3. PAH'ların İnsan ve Hayvan Sağlığı Üzerine Etkileri

Genel olarak PAH'ların çevrede dolaşımı, onların suda kolay çözünebilme ve havada kolay buharlaşabilme gibi özelliklerine bağlıdır. Havada partiküllere tutunmuş veya buhar fazda bulunan bu bileşikler rüzgâr ile çok uzun mesafelere taşınabilirler. İnsanlar, kirlenmiş havayı ciğerlerine soludukları zaman genelde havada toz ya da partiküllere tutunmuş olan PAH'lar insan vücuduna girebilir. İçme suyu, yiyecekler ve PAH içeren ürünlerin deri ile temas etmesi, bu kimyasalların insan vücuduna girmesinin diğer yollarıdır. Bu bileşikler oluşumları sırasında kompleks karışım halinde oluştukları için insanlar birçok PAH bileşiğine birlikte maruz kalırlar. PAH'ların insan vücuduna girme oranı PAH'ların yeme, içme ile ya da deri ile teması sırasında başka kimyasal maddelerin varlığından etkilenebilir. PAH'lar yağ içeren bütün vücut dokularımıza girebilir, çoğunlukla karaciğer, yağ ve böbrekte depolanma eğilimindedir. Küçük miktarları adrenalin bezlerinde, yumurtalıklarda ve dalakta depolanır (ATSDR, 1995).

PAH'ların kanser ile ilişkisini ilk olarak 1775'de Londra'da St. Bartholomew's Hospital'da cerrah olarak çalışan Percivall Pott'un baca temizleme işçilerinin derilerindeki isten dolayı testis kanserine yakalandıklarını gözlemlemesi ile olmuştur. Bu gözlem kanserin çevresel faktörlerle oluştuğunun ilk kanıtı olmuştur. Ardından 100 yıl sonra Volkmann ve Bell Almanya ve İskoçya'da parafin endüstrisinde çalışan insanlarda testis derisi kanserini tespit ederek Pott'un yaptığı gözlemi doğrulamışlardır (Luch ve ark., 2005). Laboratuvar hayvanları ve insanlar üzerinde yapılan araştırmalarda yağ, katran, is, duman gibi kimyasalların özellikle benzo(a)preni içeren zengin PAH kaynağı olduğu bulunmuştur (Douben, 2003).

İnsan vücudu PAH'ları elimine etmek için onları yükseltger ve suda çözünebilir hale getirir. Meydana gelen bu oksidatif metabolizma ile yüksek verimli diol-epoksit türevleri oluşur. Oluşan bu diol-epoksit türevleri DNA ile kimyasal tepkime verir ve PAH'ların DNA ile kimyasal bağ yapması kansere sebep olur (Naegeli ve ark., 2005). Benzo[a]piren bilinen en önemli kanserojen PAH olduğu için kanser araştırmalarında model bileşik olarak kabul edilmiştir (Luch ve Baird, 2005; Akcha ve ark., 2003). Sigara içen insanlarda da bu bileşiklerin DNA mutasyonuna neden olduğu görülmüştür (Chen ve Liao, 2006)

PAH'lar tümör başlatıcı, geliştirici ve ilerletici özellikleri olan bileşiklerdir. Hayvanlar ile yapılan çalışmalarda kısa ya da uzun vadede PAH'lara maruz kaldıklarında bağırsıklık sisteminde, vücut sıvılarında sorunlara, akciğer, mesane ve deri kanserlerine neden olduğu görülmüştür. Yüksek miktarda BaP'ne maruz bırakılan hamile farelerde doğum zorlukları görülmüş ayrıca bu farelerin yavrularında doğum bozuklukları, düşük kiloda doğum gibi sorunlar görülmüştür. Benzer sorunlar insanlar için de gerçekleşebilir, ancak bunu doğrulayan bir çalışma yapılmamıştır (ATSDR, 1995).

Çizelge 2a. Bazı polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşiklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (WHO, 1998; ATSDR , 1995; Martinez ve ark., 2004; Bjorseth & Ramdahl, 1985; Radecki ve ark., 1979; Varnamkhasi ve ark., 2008; Wise ve ark., 1981)

| PAH                                    | Np                             | Anp                            | Ane                             | Flr                             | Phe                             | An                              | Flu                             | Py                              | BaF                             | BjF                             | BbC                             |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| CAS Numarası                           | 91-20-3                        | 208-96-8                       | 83-32-9                         | 86-73-7                         | 85-01-8                         | 120-12-7                        | 86-74-8                         | 206-44-0                        | 20333-8                         | 20582-3                         | 214-17-5                        |
| Molekül Formülü                        | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>12</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> |
| Molekül Ağırlığı (g/mol)               | 128.17                         | 152.20                         | 154.21                          | 166.22                          | 178.23                          | 178.23                          | 202.25                          | 202.25                          | 252.3                           | 252.3                           | 278.35                          |
| Renk                                   | -                              | -                              | Beyaz                           | Beyaz                           | Renksiz                         | Renksiz                         | Mat sarı                        | Renksiz                         | -                               | Sarı                            | -                               |
| Erime Noktası (°C)                     | 80.2                           | 92-93                          | 95                              | 116-117                         | 100                             | 218                             | 109                             | 156                             | -                               | 166                             | -                               |
| Kaynama Noktası (°C)                   | 217.9                          | 265-275                        | 96.2                            | 295                             | 340                             | 342                             | 375                             | 393-404                         | -                               | -                               | -                               |
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )          | -                              | -                              | 1.225                           | 1.203                           | 0.98                            | 1.283                           | 1.252                           | 1.271                           | -                               | -                               | -                               |
| Sudaki Çözünürlük (mg/L)               | 31                             | 3.93                           | 1.93                            | 1.98                            | 1.20                            | 0.076                           | 2.0-2.6                         | 0.077                           | -                               | 6.76x10 <sup>-3</sup>           | -                               |
| Buhar Basıncı (mm-Hg)                  | 0.085                          | 0.029                          | 4.47x10 <sup>-3</sup>           | 3.2x10 <sup>-4</sup>            | 6.8x10 <sup>-4</sup>            | 1.7x10 <sup>-5</sup>            | 5x10 <sup>-6</sup>              | 2.5x10 <sup>-6</sup>            | -                               | 1.5x10 <sup>-8</sup>            | -                               |
| Log K <sub>ow</sub>                    | 3.3                            | 4.07                           | 3.98                            | 4.18                            | 4.45                            | 4.45                            | 4.90                            | 4.88                            | -                               | 6.12                            | -                               |
| Log K <sub>oc</sub>                    | -                              | 1.40                           | 3.66                            | 3.86                            | 4.15                            | 4.15                            | 4.58                            | 4.58                            | -                               | 4.7                             | -                               |
| Henry Sabiti (atm.m <sup>3</sup> /mol) | 0.44                           | 1.45x10 <sup>-3</sup>          | 7.91x10 <sup>-5</sup>           | 1x10 <sup>-4</sup>              | 2.56x10 <sup>-5</sup>           | 1.77x10 <sup>-5</sup>           | 6.5x10 <sup>-6</sup>            | 1.14x10 <sup>-5</sup>           | -                               | 1x10 <sup>-6</sup>              | -                               |
| L/B oranı                              | 1.238                          | -                              | -                               | -                               | 1.463                           | 1.566                           | 1.22                            | 1.257                           | 1.16                            | 1.39                            | 1.84                            |

Çizelge 2b. Bazı polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşiklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (WHO, 1998; ATSDR , 1995; Martinez ve ark., 2004; Bjorseth & Ramdahl, 1985; Radecki ve ark., 1979; Varnamkhasi ve ark., 2008; Wise ve ark., 1981)

| PAH                                    | BaA                             | Chr                             | BbF                             | BkF                             | BaP                             | DahA                            | IcdP                            | BghiPy                          | DacA                            | DajA                            | Pcn                             |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| CAS Numarası                           | 56-55-3                         | 218-01-9                        | 205-99-2                        | 207-08-9                        | 50-32-8                         | 53-70-3                         | 193-39-5                        | 191-24-2                        | 215-58-7                        | 224-41-9                        | 213-46-7                        |
| Molekül Formülü                        | C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> |
| Molekül Ağırlığı (g/mol)               | 228.29                          | 228.3                           | 252.3                           | 252.3                           | 252.3                           | 278.35                          | 276.3                           | 276.34                          | 278.35                          | 278.35                          | 278.35                          |
| Renk                                   | Renksiz                         | Renksiz                         | Renksiz                         | Mat Sarı                        | Mat Sarı                        | Renksiz                         | Sarı                            | Matsarı                         | -                               | -                               | -                               |
| Erime Noktası (°C)                     | 159-162                         | 255-256                         | 168.3                           | 215.7                           | 179                             | 262                             | 163.6                           | 273                             | 205                             | -                               | -                               |
| Kaynama Noktası (°C)                   | 400                             | 448                             | 481                             | 480                             | 495                             | -                               | 530                             | 550                             | 518                             | -                               | -                               |
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )          | 1.274                           | 1.274                           | -                               | -                               | 1.351                           | 1.282                           | -                               | 1.329                           | -                               | -                               | -                               |
| Sudaki Çözünürlük (mg/L)               | 0.010                           | 2.8x10 <sup>-3</sup>            | 1.2x10 <sup>-3</sup>            | 7.6x10 <sup>-4</sup>            | 2.3x10 <sup>-3</sup>            | 5x10 <sup>-4</sup>              | 0.062                           | 2.6x10 <sup>-4</sup>            | -                               | -                               | -                               |
| Buhar Basıncı (mm-Hg)                  | 2.2x10 <sup>-8</sup>            | 6.3x10 <sup>-7</sup>            | 5x10 <sup>-7</sup>              | 9.59x10 <sup>-11</sup>          | 5.6x10 <sup>-9</sup>            | 1.x10 <sup>-10</sup>            | 1.x10 <sup>-11</sup>            | 1.03x10 <sup>-10</sup>          | -                               | -                               | -                               |
| Log K <sub>ow</sub>                    | 5.61                            | 5.16                            | 6.04                            | 6.06                            | 6.06                            | 6.84                            | 6.58                            | 6.50                            | -                               | -                               | -                               |
| Log K <sub>oc</sub>                    | 5.30                            | 5.30                            | 5.74                            | 5.74                            | 6.74                            | 6.52                            | 6.22                            | 6.20                            | -                               | -                               | -                               |
| Henry Sabiti (atm.m <sup>3</sup> /mol) | 1x10 <sup>-6</sup>              | 1.05x10 <sup>-6</sup>           | 1.22x10 <sup>-5</sup>           | 3.87x10 <sup>-5</sup>           | 4.9x10 <sup>-7</sup>            | 7.3x10 <sup>-8</sup>            | 6.95x10 <sup>-8</sup>           | 1.44x10 <sup>-7</sup>           | -                               | -                               | -                               |
| L/B oranı                              | 1.58                            | 1.78                            | 1.40                            | 1.48                            | 1.50                            | 1.79                            | 1.40                            | 1.12                            | 1.24                            | 1.47                            | 1.99                            |

Yeni doğan farelerin yaşamlarının ilk 15 gününde karın zarlarına ve deri altlarına BaP ve diğer PAH'lar enjekte edildiğinde altı ay içerisinde akciğer ve karaciğer tümörleri görülmüştür (Platt ve ark., 1990; Busby ve ark., 1989). Ayrıca, nitro-PAH'ların lösemi, süt bezleri ve kolon tümörlerine neden olduğu görülmüştür (Imaida ve ark., 1992). Hayvanlar üzerinde yapılan başka çalışmalarda fetal ve bebeklik döneminden yetişkinliğe kadar olan süreçte PAH'lara maruz kalındığı zaman çok yüksek oranda kanser oluşumu ile PAH'ların ilişkili olduğu görülmüştür. Plasenta ile yapılan biyolojik deneylerde ise bazı PAH'ların çocuklarda karaciğer, akciğer, lenfatik doku ve sinir sistemi tümörlerine neden olabileceği görülmüştür (Rice ve ark., 1982; Vesselinovitch ve ark., 1975; Soyka, 1980).

### 3. SONUÇ

Amerika Birleşik Devletleri Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bölümü (The Department of Health and Human Services, DHHS) hayvanlar için benzo[a]antrasen, benzo[a]piren, benzo[b]floranten, benzo[j]floranten, benzo[k]floranten, dibenzo[a,h]antrasen ve indol [1,2,3-c,d]piren'ni kanserojen olarak nitelemiştir. Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi (The International Agency for Research on Cancer, IARC), insanlar için benzo[a]antrasen ve benzo[a]piren'ni muhtemel kanserojenler, benzo[b]floranten, benzo[j]floranten, benzo[k]floranten, ve indol [1,2,3-c,d]piren'ni düşük olasılıkla kansere neden olma ihtimali olan bileşikler olarak sınıflandırmıştır. Antrasen, benzo[g,h,i]perilen, benzo[e]piren, krisen, floranten, floren, fenantren ve piren'i ise insanlar için kanserojen olarak nitelememiştir. EPA ise benzo[a]antrasen, benzo[a]piren, benzo[b]floranten, benzo[k]floranten, krisen, dibenzo[a,h]antrasen ve indol [1,2,3-c,d]piren'ni insanlar için muhtemel kanser yapma ihtimali olan bileşikler arasında göstermiştir. Asenaftelen, antrasen, benzo[g,h,i]perilen, floranten, floren, fenantren ve piren'ni ise kanserojen bileşikler sınıfına sokmamıştır. Asenaften ise DHHS, IARC ve EPA tarafından kanserojen etki konusunda bir sınıflandırmaya tabi tutulmamıştır (ATSDR, 1995).

İnsanların PAH'lara kompleks karışım olarak ve bunun yanı sıra tümörlere, kansere sebep olan diğer kimyasallara (nitrozamin, katran ruhu gibi) bir arada maruz kalma ihtimallerinden dolayı PAH'ların tek başına insanlar üzerindeki kanserojen etkilerini değerlendirmek oldukça zordur. Tüm bu sınırlamalara rağmen benzo[a]piren, krisen, benzo[a]antrasen, benzo[b]floranten ve dibenzo[a,h]antrasen gibi PAH karışımlarının insanlarda kansere sebep olduğu rapor edilmiştir (ATSDR, 1995).

### 4. KAYNAKLAR

Akcha, F., Burgeot, T., Narbonne, J.F., Garrigues, P. (2003). PAHs: An Ecotoxicological Perspective. Metabolic Activation of PAHs: Role of DNA Adduct

Formation in Induced Carcinogenesis. Ed: P.E.T Douben (pp. 65–79) Wiley.

- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1995). Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Atlanta (GA): Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA.
- Aygün, S.F., Özçimder, M. (1996). A comparison of normal (-CN) and reversed (C-18) phase chromatographic behaviour of polycyclic aromatic hydrocarbons. Turkish Journal of Chemistry, 20, 269–275.
- Bartos, T., Cupr, P., Klánová, J., Holoubek, I. (2009). Which compounds contributed most to elevated airborne exposure and corresponding health risks in the Western Balkans. Environment International, 35, 1066–1071.
- Bjorseth, A., Ramdahl, T. (1985). Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Volume 2: Emission Sources and Recent Progress in Analytical Chemistry Science. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA.
- Busby, W.F., Stevens, E.K., Martin C.N., Chow, F.L., Garner, R.C. (1989). Comparative lung tumorigenicity of parent and mononitro-polynuclear aromatic hydrocarbons in the BLU: Ha newborn mouse assay. Toxicology and Applied Pharmacology, 99, 555–563.
- Chen, S., C., Liao, C., M. (2006). Health risk assesment on human exposed to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons pollution sources. Science of the Total Environment, 366, 112–123.
- Dabestani, R., Ivanov, I.N. (1999). A complication of physical, spectroscopic and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. Photochemistry and Photobiology, 70, 10-34.
- Danyi, S., Bose, F., Basseur, C., Schneider, Y.J., Larondelle, Y., Pussemier, L. (2009). Analysis of EU priority polycyclic aromatic hydrocarbons in food supplements using high performance liquid chromatography coupled to an ultraviolet, diode array or fluorescence detector. Analytica Chimica Acta, 633, 293–699.
- Douben, P.E.T. (2003). PAHs: An Ecotoxicological Perspective. Introduction. 1–6. Ed: P.E.T Douben Wiley.
- EPA, US Environmental Protection Agency (EPA), (1999). Compendium Method TO-13A, Cincinnati, OH, USA.
- Esrafil, A., Yamini, Y., Ghambarian, M., Moradi, M. (2011). Dynamic three-phase hollow fiber microextraction based on two immiscible organic solvents with automated movement of the acceptor phase. Journal of Separation Science, 34, 98–106.
- Ferrarese, E., Andreottola, G., Oprea, I.A. (2008). Remediation of PAH contaminated sediments by chemical oxidation. Journal of Hazardous Materials, 152, 128–39.

- Garban, B., Blanchoud, H., Motelay-Massei, A., Chevreuil, M., Ollivon, D. (2002). Atmospheric bulk deposition of PAH's onto France: Trends from urban to remote sites. *Atmospheric Environment*, 36, 5395–5403.
- Hsieh, M.M., Kuo, Y.C., Tsai, P.L., Chang, H.T. (2001). Optimizing separation conditions for polycyclic aromatic hydrocarbons in micellar electrokinetic chromatography. *Journal of Chromatography A*, 924, 397–405.
- Imaida, K., Uneyama, C., Ogasawara, H., Hayashi, S., Fukuhara, K., Miyata, N., Takahashi, M. (1992). Induction of colon adenocarcinomas in CD rats and lung adenomas in ICR mice by 6-nitrochrysene: comparison of carcinogenicity and aryl hydrocarbon hydroxylase induction in the target organs of each species. *Cancer Research*, 52, 1542–1545.
- Janini, G.M., Muschik, G.M., Schroer, J.A., and Zielinski, W.L. (1976). Gas-liquid chromatographic evaluation and gas-chromatography/mass spectrometric application of new high-temperature liquid crystal stationary phases for polycyclic aromatic hydrocarbon separations. *Analytical Chemistry*, 48, 1879–1883.
- Lee, S.C., Ho, K.F., Chan, L.Y., Zielinska, B., Chow, J.C. (2001). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and carbonyl compounds in urban atmosphere of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 35, 5949–5960.
- Liang, H-D., Han, D-M., Yan, X-P. (2006). Cigarette filter as sorbent for on-line coupling of solid-phase extraction to high-performance liquid chromatography for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water. *Journal of Chromatography A*, 1103, 9–14.
- Liu, Y., Chen, L., Tang, Y., Huang, Q., Zhao, J. (2007). Determination of trace polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Huangpu river using high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Chromatography*, 25, 356–361.
- Luch, A., Baird, W.M. (2005). *Carcinogenic Effects Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Metabolic Activation and Detoxification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.* (pp. 19–96), Ed: A. Luch. Imperial College Pres. USA.
- Luch, A. (2005). *Carcinogenic Effects Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Induced Carcinogenesis. An Introduction.* (pp. 1–18), Ed: A. Luch. Imperial College Pres. USA.
- Marcè R.M., Borrull, F. (2000). Solid phase extraction of polycyclic aromatic compounds, *Journal of Chromatography A*, 885, 273–290.
- Martinez, E., Gros, M., Lacorte, S., Barcelo, D. (2004). Simplified procedures for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, sediments and mussels. *Journal of Chromatography A*, 1047, 181–188.
- Martorell, I., Perelló, G., Martí-Cid, R., Castell, V., Juan M. Llobet, J.M., Domingo, J.L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods and estimated PAH intake by the population of Catalonia, Spain: temporal trend. *Environment International*, 36, 424–432.
- Melwanki, M.B., Huang, S-D. (2006). Extraction of hydroxyaromatic compounds in river water by liquid–liquid–liquid microextraction with automated movement of the acceptor and the donor phase. *Journal of Separation Science*, 29, 2078–2084.
- Moret, S., Purcaro, G., Conte, S.L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) levels in propolis and propolis-based dietary supplements from the Italian market. *Food Chemistry*, 122, 333–338.
- Naegeli, H. Geacintov, N.E. (2005). *Carcinogenic Effects Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Mechanisms of Repair of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Induced DNA Damage.* (pp. 211–258), Ed: A. Luch. Imperial College Pres. USA.
- Nieva-Cano, M.J., Rubio-Barosso, S., Santos-Delgado, M.J. (2001). Determination of PAH in food samples by HPLC with fluorimetric detection following sonication extraction without sample clean-up. *Analyst*, 126, 1326–1331.
- Perry, R., Baek, S.O., Field, R.A., Goldstone, M.E., Kirk, P.W., Lester, J.N. (1991). A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior. water, air and soil pollution. *Water, Air, and Soil Pollution*, 60, 279–300.
- Phillips, DH. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. *Mutation Research*, 443, 139–147.
- Platt, K.L., Pfeiffer, E., Petrovic, P., Friesel, H., Beermann, D., Hecker, E., Oesch, F. (1990). Comparative tumorigenicity of picene and dibenz[a,h]anthracene in the mouse. *Carcinogenesis*, 11, 1721–1726.
- Radecki, A., Lamparczyk, H., Kaliszan, R. (1979). A relationship between the retention indices on nematic and isotropic phases and the shape of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chromatographia*, 12, 595–599.
- Ratola, N., Alvesa, A., Kalogerakisb, N., Psillakis, E. (2008). Hollow-fibre liquid-phase microextraction: A simple and fast cleanup step used for PAHs determination in pine needles. *Analytica Chimica Acta*, 618, 70–78.
- Re N-Poppi, N., Santiago-Silva, M. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons and other selected organic compounds in ambient air of Campo Grande city, Brazil. *Atmospheric Environment*, 39, 2839–2850,
- Rice, J.M., Ward, J.M. (1982). Age dependence of susceptibility to carcinogenesis in the nervous system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 381, 274–289.
- Saleh, A., Yamini, Y., Faraji, M., Rezaee, M., Ghambarian, M. (2009). Ultrasound-assisted emulsification microextraction method based on applying low density organic solvents followed by gas chromatography analysis for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples.

- Journal of Chromatography A, 1216, 6673–6679.
- Sander, L.C., Wise, S.A. (1997). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Structure Index. United States Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 922, USA.
- Serpe, F.P., Esposito, M., Gallo, P., Serpe, L. (2010). Optimisation and validation of an HPLC method for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mussels. *Food Chemistry*, 122, 920–925.
- Smith, C.J., Grainger, J., Patterson, D.G. (1998). Separation of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites by  $\nu$ -cyclodextrin-modified micellar electrokinetic chromatography with laser-induced fluorescence detection. *Journal of Chromatography A*, 803, 241–247.
- Soyka, L.F. (1980). Hepatic drug metabolizing enzyme activity and tumorigenesis in mice following perinatal exposure to benzo[a]pyrene. *Pediatr. Pharmacol.*, 1, 85–96.
- Stolyhwo, A., Sikorski, Z.E. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review. *Food Chemistry*, 91, 303–311.
- Tsai, P.J., Shieh, H.Y., Lee, W.J., Lai, S.O. (2002.) Characterization of PAHs in the atmosphere of carbon black manufacturing workplaces. *J. Hazard. Mater.*, 91, 25–42.
- Vardar, N., Tasdemir, Y., Odabası, M., Noll, K. (2004). Characterization of Atmospheric Concentrations and Partitioning of PAHs in the Chicago Atmosphere. *Science of the Total Environment*, 327, 163–174.
- Varnamkhasti, A.K, Eghtesadi-Araghi, P., Negarestan, H., Ranaci-Siadat, O., Maghsoudlou, A. (2008). The Role of Three Dimensional Geometric Descriptors of Selected PAHs on Inducing Mortality in Juvenile Angel Fish (*Pterophyllum scalare*). *Journal of Biological Sciences*, 8, 314–320.
- Vesselinovitch, S.C., Kandala D.R., Mihailovich N. (1975). Neoplastic response of mouse tissues during perinatal age periods and its significance in chemical carcinogenesis. *Journal of the National Cancer Institute Monograph*, 51, 230–250.
- Wang, X.Y., Li, Q.B., Luo, Y.M., Ding, Q., Xi, L.M., Ma, J.M., Li, Y., Liu, Y.P., Cheng, C.L. (2010). Characteristics and sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Shanghai, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165, 295–305.
- Wcislo, E. (1998). Soil contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Poland - a review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 7, 267–272.
- Wenzl, T., Simon, R., Anklam, E., Kleiner, J. (2006). Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union. *Trends in Analytical Chemistry*, 25, 716–725.
- WHO, World Health Organisation (1998). *Environmental Health Criteria 202, Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons*. IPCS, International Programme on Chemical Safety. World Health Organisation, Geneva.
- Wise, S.A., Bonnett, W.J., Guenther, F.R., May, W.E. (1981). A relationship between reversed phase C18 liquid chromatographic retention and the shape of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Chromatographic Science*, 19, 457–465.
- Zhang, H., Xue, M., Dai, Z. (2010). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic products by HPLC-fluorescence. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 469–474.
- Zhang, J.L.G., Li, X.D., Qi, S.H., Liu, G.Q., Peng, X.Z. (2006). Source seasonality of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in subtropical city, Guangzhou, South China. *Science of the Total Environment*, 355, 145–155.
- Zhang, P., Song, J., Yuan, H. (2009). Persistent organic pollutant residues in the sediments and mollusks from the Bohai Sea coastal areas, North China: an overview. *Environment International*, 35, 632–646.
- 
-