

تقدیم به گل‌های باغ هستی ام

زهرا و محمد

تشکر و قدردانی

با حمد و سپاس از پروردگار یکتا که مرا یاری نمود تا قدم در راه علم گذارم و در برابر دشواریهای راه نلغزم. خداوند متعال را سپاسگزارم که عزم و اراده به من داد و در طول انجام این پروژه همواره یاریم رساند. از استاد راهنمای عزیز و ارجمند جناب آقای دکتر علیرضا صفاهیه بخاطر زحمات بی دریغ و راهنمایی های ارزشمندشان در تمامی مراحل انجام این پروژه، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از استاد راهنمای ارجمند آقای دکتر یدالله نیک پور سپاسگزارم. از اساتید مشاور آقای دکتر کمال غانمی که با مشاوره های ارزنده شان در انجام این پروژه یاری رساندند و آقای مهندس امیر مهدویانی که در مراحل نمونه برداری نهایت یاری و همکاری را نمودند کمال تشکر را دارم. از استاد بزرگوار آقای دکتر احمد سواری و اساتید ارجمند آقایان دکتر مهدی فلاح و دکتر سعید کیوان شکوه که داوری این پایان نامه را پذیرفتند متشکر و سپاسگزارم. از مادر عزیز و مهربانم که در طول مدت تحصیل همیار من بوده و از فرزندانم مراقبت نموده یک دنیا سپاسگزارم. از فرزندان دلبندم که با همکاری ها و محبت های کودکانه خود نسبت به من و یکدیگر سعی نمودند در این مدت به من کمک کنند متشکرم. از همسر من که در امر تحصیل مشوق من بوده سپاسگزارم. لازم می دانم از پرسنل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و مسئولین آزمایشگاههای دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی تشکر کنم. از آقای مهندس سهیل شایسته از شرکت شیمیایی بهان متشکر و سپاسگزارم. از پرسنل اداره حفاظت محیط زیست بوشهر و از کلیه عزیزانی که در انجام این پروژه یاری رساندند متشکرم.

«چکیده پایان نامه»

نام خانوادگی: محمودی	نام: معصومه
رشته و گرایش: زیست شناسی دریا-آلودگی دریا	مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد
تاریخ دفاع: ۱۳۸۸/۱۲/۸	استاد راهنما: دکتر علیرضا صفاهیه
اساتید مشاور: کمال غانمی - امیر مهدویانی	اساتید راهنما: علیرضا صفاهیه - یدالله نیکپور
کلید واژه ها: هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، صدف <i>Barbatia helblingii</i> ، سواحل بوشهر، تجمع، پایش زیستی	
<p>بررسی میزان تجمع هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) در صدف <i>Barbatia helblingii</i> و رسوبات در سواحل بوشهر</p>	
<p>هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) گروه بزرگی از آلاینده های آلی هستند که از دو یا چند حلقه ی بنزی تشکیل شده اند. این ترکیبات گسترش وسیعی در محیط زیست داشته و از جمله راههای ورود این ترکیبات به محیط زیست دریا احتراق سوخت، نشت نفت، فاضلاب های صنعتی و شهری می باشد. ترکیبات PAHs گرایش به تجمع در رسوبات و بدن آبزیان دارند. مطالعات متعدد حاکی از آن است که برخی از این ترکیبات باعث ایجاد سرطان و جهش در انسان شده و همچنین منجر به بروز عوارض مختلفی در آبزیان می شوند. سواحل بوشهر علاوه بر اینکه تحت تاثیر آلودگی های نفتی در خلیج فارس است، در معرض فاضلاب های شهری و صنعتی نیز می باشد. به منظور مطالعه تجمع هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در رسوبات و صدف <i>Barbatia helblingii</i> و تعیین منشاء آلودگی PAHs در ساحل بوشهر، نمونه برداری در دو ماه مرداد و بهمن ۱۳۸۷ از ۵ ایستگاه در طول نوار ساحلی بوشهر انجام شد. نمونه های آب در بطری های شیشه ای تیره و نمونه های رسوب و صدف درون فویل آلومینیوم جمع آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه، محتوای PAHs آن ها توسط حلال های آلی هضم و استخراج گردید. به منظور تفکیک و اندازه گیری PAHs از دستگاه HPLC مدل KANUER مجهز به آشکارساز UV و ستون اختصاصی آنالیز PAHs (C₁₈(4.5*250mm) استفاده گردید. نتایج نشان داد میانگین tPAHs در دو ماه سرد و گرم در ایستگاههای رافائل، شغاب، آب شیرین کن، ناحیه صنعتی و هلیله در آب به ترتیب ۳۴/۷، ۲۱/۹۶، ۴/۷، ۱۸/۴۴ و ۱۵/۰۹ میکروگرم بر لیتر، در نمونه های رسوب به ترتیب ۴۷۹۱/۱۹، ۳۲۳۹/۱۳، ۸۹۰/۰۰، ۳۰۶۷/۴۴ و ۲۵۴۱/۱۰ نانوگرم بر گرم وزن خشک و در نمونه های بافت نرم صدف به ترتیب ۶۳۶/۴۰، ۴۷۳/۶۶، ۱۳۴/۹۲، ۴۵۵/۷۴ و ۳۹۴/۰۷ نانوگرم بر گرم وزن خشک بوده است. میانگین غلظت tPAHs در آب و رسوب و بافت نرم صدف بین دو ماه گرم و سرد سال اختلاف معنی داری نداشته است (P>۰/۰۵). نتایج نشان داد غلظت هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای به صورت انفرادی در آب از استاندارد آب آشامیدنی WHO بیشتر بوده است. همچنین غلظت برخی از این ترکیبات از استاندارد کیفیت آب کانادا به منظور سلامت آبزیان بیشتر بوده است. غلظت tPAHs و تعدادی از این ترکیبات در رسوب از کیفیت رسوب آمریکا و کانادا بیشتر بوده است. مقایسه غلظت این ترکیبات در نمونه های آب، رسوب و صدف نسبت به سایر نقاط دنیا نشان داد که غلظت این ترکیبات در ساحل بوشهر در حد میانه تا آلوده است. در میان ایستگاههای مطالعه شده میزان آلودگی PAHs در ایستگاه رافائل بالاتر از سایر ایستگاهها بوده و ایستگاه آب شیرین کن کمترین مقدار PAHs را داشته است. بررسی منشاء رسوبات در منطقه نشان داد که آلودگی PAHs در سواحل بوشهر از هر دو منبع پایرولیتیک و پتروژنیک منشاء می گیرد. براساس نتایج به دست آمده همبستگی مستقیم و معنی داری بین غلظت PAHs در آب و صدف <i>B. helblingii</i> وجود داشته است. همچنین همبستگی مستقیم و معنی داری میان غلظت PAHs سه و چهار حلقه ای در رسوبات و بافت نرم صدف مشاهده شد. به نظر می رسد صدف <i>B. helblingii</i> گونه مناسبی جهت پایش زیستی PAHs در سواحل بوشهر باشد.</p>	

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه.....
۲	۱- هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs).....
۵	۱-۲- راههای ورود PAHs به محیط زیست.....
۵	۱-۳- سرنوشت زیست محیطی PAHs و تجمع آن در جانداران.....
۶	۱-۴- کینیتیک سمیت PAHs.....
۶	۱-۴-۱- جذب PAHs در موجودات.....
۷	۱-۴-۲- توزیع PAHs در بدن موجودات.....
۸	۱-۴-۳- متابولیسم و دفع PAHs در بدن موجودات.....
۱۰	۱-۵- اثرات PAHs بر آبزیان.....
۱۲	۱-۶- اثرات PAHs بر انسان.....
۱۴	۱-۷- مشخصات گونه مورد مطالعه.....
۱۴	۱-۷-۱- ویژگی های کلی رده دوکفه ای ها.....
۱۴	۱-۷-۲- ریخت شناسی صدف تابوت موجدار (<i>Barbatia helblingii</i>).....
۱۶	۱-۷-۳- رده بندی <i>B. helblingii</i>
۱۸	۱-۷-۴- پراکنش <i>B. helblingii</i>
۱۹	۱-۸- پیشینه تحقیق.....
۲۱	۱-۹- وضعیت زیست محیطی سواحل بوشهر.....
۲۱	۱-۱۰- اهداف تحقیق.....
۲۲	فصل دوم : مواد و روش ها.....
۲۲	۲-۱- منطقه مورد مطالعه.....
۲۴	۲-۲- نمونه برداری.....
۲۴	۲-۳- آماده سازی نمونه ها.....
۲۵	۲-۴- هضم و استخراج نمونه ها.....
۲۵	۲-۴-۱- استخراج PAHs از آب دریا.....
۲۵	۲-۴-۲- هضم و استخراج PAHs از نمونه های رسوب.....
۲۶	۲-۴-۳- هضم و استخراج PAHs از نمونه های بافت نرم صدف.....
۲۶	۲-۵- اندازه گیری PAHs.....
۲۶	۲-۵-۱- دستگاه و محلول های استاندارد مورد استفاده.....

۲-۵-۲- روش محاسبه غلظت PAHs در نمونه ها.....	۲۹
۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری.....	۳۱
۲-۷- تعیین منشاء PAHs در رسوبات و صدف.....	۳۲
۲-۸- محاسبه فاکتور تجمع زیستی و مسیر دریافت PAHs در صدف.....	۳۲
فصل سوم: نتایج.....	۳۳
۳-۱- غلظت هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در آب.....	۳۳
۳-۲- غلظت هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در رسوبات.....	۴۰
۳-۳- غلظت هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در بافت نرم صدف تابوت موجودار (<i>B. helblingii</i>).....	۴۶
۳-۴- منشاء PAHs در رسوبات و بافت نرم صدف <i>B. helblingii</i> در سواحل بوشهر.....	۵۴
۳-۵- همبستگی بین غلظت PAHs در آب و رسوبات.....	۵۶
۳-۶- همبستگی بین غلظت PAHs در آب و صدف.....	۵۸
۳-۷- همبستگی بین غلظت PAHs در رسوب و صدف.....	۶۱
۳-۸- تجمع زیستی PAHs در صدف <i>B. helblingii</i>	۶۳
۳-۹- مسیر دریافت PAHs در صدف <i>B. helblingii</i>	۶۶
فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری.....	۶۸
۴-۱- بحث و نتیجه گیری.....	۶۸
۴-۲- نتیجه گیری نهایی.....	۸۲
۴-۳- پیشنهادات و راهکارها.....	۸۳
فهرست منابع فارسی و انگلیسی.....	۸۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- ساختار مولکولی PAHs مورد مطالعه در این تحقیق.....	۳
جدول ۱-۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی PAHs.....	۴
جدول ۱-۳- PAHs معرفی شده به عنوان ترکیبات سرطان زا و جهش زا (ESCF,2002).....	۱۳
جدول ۱-۴- رده بندی <i>B.helblingii</i>	۱۶
جدول ۲-۱- مختصات جغرافیایی ایستگاههای نمونه برداری رسوبات و دوکفه ای در منطقه.....	۲۳
جدول ۲-۲- برنامه شویش گرادپانی مورد استفاده در تحقیق حاضر.....	۲۹
جدول ۱-۳- غلظت PAHs در آب ایستگاههای مختلف بر حسب میکروگرم برلیتر در مرداد ماه (میانگین \pm انحراف استاندارد).....	۳۴
جدول ۲-۳- غلظت PAHs در آب ایستگاههای مختلف بر حسب میکروگرم برلیتر در بهمن ماه (میانگین \pm انحراف استاندارد).....	۳۷
جدول ۳-۳- غلظت PAHs در رسوب ایستگاههای مختلف بر حسب نانوگرم بر گرم نمونه خشک در مرداد ماه (میانگین \pm انحراف استاندارد).....	۴۱
جدول ۴-۳- غلظت PAHs در رسوب ایستگاههای مختلف بر حسب نانوگرم بر گرم نمونه خشک در بهمن ماه (میانگین \pm انحراف استاندارد).....	۴۴
جدول ۳-۵- غلظت PAHs در بافت نرم صدف <i>B.helblingii</i> در ایستگاههای مختلف بر حسب نانوگرم بر گرم نمونه خشک در مرداد ماه (میانگین \pm انحراف استاندارد).....	۴۸
جدول ۳-۶- غلظت PAHs در بافت نرم صدف <i>B.helblingii</i> در ایستگاههای مختلف بر حسب نانوگرم بر گرم نمونه خشک در بهمن ماه (میانگین \pm انحراف استاندارد).....	۵۱
جدول ۳-۷- نسبت ترکیبات همسان Phe/Ant و Flu/Pyr در بافت نرم صدف <i>B.helblingii</i> و رسوبات ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه و بهمن ماه.....	۵۴
جدول ۳-۸- تجمع زیستی (BSAFs) PAHs در صدف <i>B.helblingii</i> در ایستگاههای مورد مطالعه.....	۶۴
جدول ۳-۹- پارامترهای ضریب همبستگی، شیب خط و سطح معنی داری بین BAFs و Log K _{ow} مربوط به PAHs در صدف <i>B.helblingii</i> به تفکیک ایستگاههای مورد مطالعه و ماه گرم و سرد سال.....	۶۶
جدول ۴-۱- مقایسه غلظت PAHs در آب دریا در سواحل بوشهر با استاندارد کیفیت آب کانادا.....	۶۹
جدول ۴-۲- مقایسه غلظت tPAHs در آب منطقه مورد مطالعه با سایر نقاط دنیا.....	۶۹
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین غلظت PAHs در رسوبات ایستگاههای مطالعاتی ساحل بوشهر با استانداردهای جهانی بر حسب نانوگرم بر گرم وزن خشک.....	۷۲

- جدول ۴-۴- مقایسه غلظت tPAHs در رسوبات ساحل بوشهر با رسوبات سایر آبهای جهان برحسب نانوگرم بر گرم وزن خشک ۷۳
- جدول ۴-۵- مقایسه غلظت tPAHs در صدف *B. helblingii* در سواحل بوشهر با سایر آبزیان..... ۷۶
- جدول ۴-۶- مقایسه غلظت PAHs بر اساس تعداد حلقه در آبزیان مناطق مختلف با صدف *B. helblingii*..... ۷۸
- جدول ۴-۷- معیارهای مختلف جهت تعیین منشأ آلودگی PAHs در محیط زیست..... ۷۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱- ساختار مولکولی متابولیت های بنزوآلفاپایرن.....	۱۰
شکل ۲-- متابولیسم بنزوآلفا پایرن و مکانیسم ایجاد ۷و۸-دیول-۹و۱۰-اپوکسید در بدن جانوران	۱۰
شکل ۱-۳- صدف تابوت موجدار (<i>B.helblingii</i>).....	۱۵
شکل ۱-۴- جایگاه <i>B.helblingii</i> در رده بندی جانوری.....	۱۷
شکل ۱-۵- پراکنش صدف تابوت موجدار (<i>B.helblingii</i>) در سواحل خلیج فارس.....	۱۸
شکل ۲-۱- موقعیت منطقه و ایستگاههای مورد مطالعه (ساحل شهرستان بوشهر).....	۲۳
شکل ۲-۲- منحنی های استاندارد و کالیبراسیون رسم شده توسط دستگاه HPLC جهت سنجش PAHs الف: منحنی محلول استاندارد PAHs، ب: منحنی محلول استاندارد جانشین، ج: یکی از منحنی کالیبراسیون.....	۲۸
شکل ۲-۳- منحنی کروماتوگرام یکی از نمونه ها.....	۲۹
شکل ۳-۱- غلظت هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در آب ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه.....	۳۵
شکل ۳-۲- درصد تراکم هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در آب ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه.....	۳۵
شکل ۳-۳- مقایسه غلظت tPAHs در آب دریا در ایستگاههای مختلف در مرداد ماه.....	۳۶
شکل ۳-۴- غلظت هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در آب ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه.....	۳۸
شکل ۳-۵- درصد تراکم هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در آب ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه.....	۳۸
شکل ۳-۶- مقایسه غلظت tPAHs در آب دریا در ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه.....	۳۹
شکل ۳-۷- مقایسه غلظت tPAHs در آب دریا در ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه و بهمن ماه.....	۳۹
شکل ۳-۸- غلظت هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در رسوب ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه.....	۴۰
شکل ۳-۹- درصد تراکم هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در رسوب ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه.....	۴۲
شکل ۳-۱۰- مقایسه غلظت tPAHs در رسوب ایستگاههای مختلف در مرداد ماه.....	۴۲
شکل ۳-۱۱- غلظت هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۵ حلقه ای در رسوب ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه.....	۴۳

شکل ۳-۱۲- درصد تراکم هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۶ حلقه ای در رسوب ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه..... ۴۵

شکل ۳-۱۳- مقایسه غلظت tPAHs در رسوب ایستگاههای مختلف در بهمن ماه..... ۴۵

شکل ۳-۱۴- مقایسه غلظت tPAHs در رسوبات ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه و بهمن ماه..... ۴۶

شکل ۳-۱۵- غلظت هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۶ حلقه ای در بافت نرم صدف *B. helblingii* در ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه..... ۴۷

شکل ۳-۱۶- درصد تراکم هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۶ حلقه ای در بافت نرم صدف *B. helblingii* در ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه..... ۴۹

شکل ۳-۱۷- مقایسه غلظت tPAHs در بافت نرم صدف *B. helblingii* در ایستگاههای مورد مطالعه در مرداد ماه..... ۴۹

شکل ۳-۱۸- غلظت هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۶ حلقه ای در بافت نرم صدف *B. helblingii* در ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه..... ۵۲

شکل ۳-۱۹- درصد تراکم هیدروکربن های آروماتیک ۳ حلقه ای، ۴ حلقه ای و ۶ حلقه ای در بافت نرم صدف *B. helblingii* در ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه..... ۵۲

شکل ۳-۲۰- مقایسه غلظت tPAHs در بافت نرم صدف *B. helblingii* در ایستگاههای مورد مطالعه در بهمن ماه..... ۵۳

شکل ۳-۲۱- مقایسه غلظت tPAHs در بافت نرم صدف *B. helblingii* بین دو ماه مرداد و بهمن در ایستگاههای مورد مطالعه..... ۵۳

شکل ۳-۲۲- نسبت ایزومرهای فنانترن به آنتراسن (Phe/Ant) در مقابل فلورانتن به پیرن (Fla/Pyr) در رسوبات..... ۵۵

شکل ۳-۲۳- نسبت ایزومرهای فنانترن به آنتراسن (Phe/Ant) در مقابل فلورانتن به پیرن (Fla/Pyr) در صدف *B. helblingii*..... ۵۵

شکل ۳-۲۴- ارتباط بین غلظت tPAHs در آب و رسوب در ایستگاههای مورد مطالعه..... ۵۶

شکل ۳-۲۵- ارتباط بین غلظت PAHs ۳ حلقه ای در آب و رسوب در ایستگاههای مورد مطالعه..... ۵۷

شکل ۳-۲۶- ارتباط بین غلظت PAHs ۴ حلقه ای در آب و رسوب در ایستگاههای مورد مطالعه..... ۵۷

شکل ۳-۲۷- ارتباط بین غلظت tPAHs در آب و بافت نرم صدف در ایستگاههای مورد مطالعه..... ۵۹

شکل ۳-۲۸- ارتباط بین غلظت PAHs ۳ حلقه ای در بافت نرم صدف و آب ایستگاههای مورد مطالعه..... ۵۹

شکل ۳-۲۹- ارتباط بین غلظت PAHs ۴ حلقه ای در بافت نرم صدف و آب ایستگاههای مورد مطالعه..... ۶۰

شکل ۳-۳۰- ارتباط بین غلظت PAHs ۶ حلقه ای در بافت نرم صدف و آب ایستگاههای مورد مطالعه..... ۶۰

- شکل ۳-۳۱-ارتباط بین غلظت tPAHs در بافت نرم صدف و رسوبات ایستگاههای مورد مطالعه.....۶۱
- شکل ۳-۳۲-ارتباط بین غلظت PAHs ۳ حلقه ای در بافت نرم صدف و رسوبات ایستگاههای مورد مطالعه
.....۶۲
- شکل ۳-۳۳ - ارتباط بین غلظت PAHs ۴ حلقه ای در بافت نرم صدف و رسوبات ایستگاههای مورد
مطالعه.....۶۲
- شکل ۳-۳۴- همبستگی میان میانگین $\text{Log } k_{ow}$ و BAFs مربوط به PAHs در صدف *B.helblingii* در
مرداد ماه.....۶۵
- شکل ۳-۳۵- همبستگی میان میانگین $\text{Log } k_{ow}$ و BAFs مربوط به PAHs در صدف *B.helblingii* در
بهمن ماه.....۶۵
- شکل ۳-۳۶- تغییرات ضریب همبستگی و شیب خط (معکوس شده) به دست آمده از رگرسیون بین تجمع
زیستی و $\text{Log } k_{ow}$ مربوط به PAHs را در ایستگاههای مختلف در مرداد ماه.....۶۷
- شکل ۳-۳۷- تغییرات ضریب همبستگی و شیب خط (معکوس شده) به دست آمده از رگرسیون بین تجمع
زیستی و $\text{Log } k_{ow}$ مربوط به PAHs را در ایستگاههای مختلف در بهمن ماه.....۶۷

فصل اول: مقدمه

نفت خام، فراورده های نفتی و هیدرو کربن های آروماتیک چند حلقه ای از جمله آلاینده های اکوسیستم های دریا هستند که در سراسر جهان گسترش وسیعی دارند. حضور این مواد در ترکیبات زنده و غیر زنده در اکوسیستم ها مشخص شده است. برخی نگرانی های زیست محیطی در ارتباط با نشت نفت در اوایل قرن ۲۰ (زمانی که نقل و انتقالات اقیانوسی حجم زیادی از نفت خام شروع شد)، به وجود آمد. همچنین جنگ جهانی اول مسبب تعداد زیادی تخلیه های نفتی شد. به دنبال آن با جایگزینی زغال سنگ بانفت در جهان و پس از آن جنگ جهانی دوم، فراورده های نفتی به شدت وارد محیط زیست دریا شدند (Albers , 2003).

از حوادث عمده ای که طی ۳۰ سال اخیر باعث تخلیه مقادیر عظیمی نفت خام به خلیج فارس شده است، می توان به تخلیه حدود یک میلیون بشکه نفت از چاه های بمباران شده نوروز طی سالهای ۶۳-۶۱، و مهمتر از آن به آتش کشیده شدن بیش از هفتصد حلقه چاه نفت در کویت که بزرگترین حادثه آلودگی نفتی در جهان بود و روزانه ۵ میلیون بشکه نفت و هفتاد میلیون متر مکعب گاز وارد خلیج فارس می شد، اشاره نمود (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۲).

طرح های صنعتی که به سرعت در برخی از کشورهای خلیج فارس دنبال می شود، شدیداً بر محیط زیست این منطقه تاثیر گذار است. صنعت نفت و فعالیت های وابسته به آن مانند استخراج، حمل و نقل و در نتیجه آن ورود حجم زیادی از هیدروکربن های نفتی به داخل اکوسیستم باعث شده تا یک تهدید دائمی برای محیط زیست دریایی در خلیج فارس به وجود آید (صرخوه، ۱۳۷۶).

نفت خام از هزاران ترکیب شیمیایی مختلف با اشکال فیزیکی متفاوت (گاز، مایع، جامد) تشکیل شده است، که برخی از آنها برای حیات دریا سمی هستند. نفت حاوی انواع آلکان های خطی (n -پارافین)، آلکان های شاخه دار (ایزوپارافین)، آلکان های حلقوی (سیکلو پارافین) و هیدروکربن های آروماتیک حلقوی است. آلکن ها هم در نفت خام وجود دارند ولی به مقدار اندک. ترکیبات غیر هیدروکربنی شامل اکسیژن، نیتروژن، سولفور و فلزات نیز بیش از ۲۵ درصد نفت خام را تشکیل می دهند (Albers, 2003).

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) حدود ۷ درصد نفت خام را شامل می شوند. این ترکیبات برای موجودات سمی هستند، اما در انسانها معمولاً موجب بیماری می شوند (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۲). بسیاری از ترکیبات PAHs سرطان زا بوده و نتیجه تماس انسان با این ترکیبات موضوع تحقیقات بسیاری را به خود اختصاص داده است (Manoli et al, 2000).

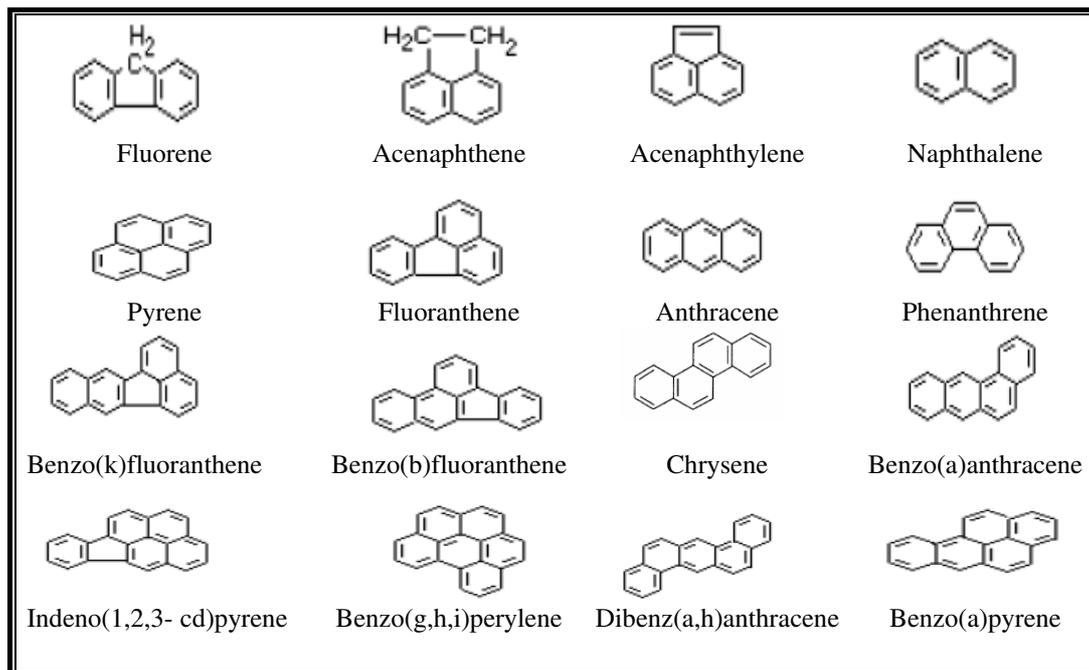
۱- هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs)

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای گروه بزرگی از ترکیبات آلی هستند که از دو یا تعداد بیشتری حلقه های بنزنی تشکیل شده اند. در ساختار این ترکیبات به هر اتم کربن یک اتم هیدروژن یا یک گروه آلکیل ($C_n H_{2n+1}$) متصل است. حلقه های بنزنی متصل به هم دارای آرایش خطی، گوشه دار و خوشه ای می باشند. و از نظر تعداد حلقه شامل نفتالن ($C_{10}H_8$) با دو حلقه، تا کرونن ($C_{24}H_{12}$) با ۷ حلقه می باشند (Albers, 2003). حدود هزار ترکیب مختلف PAHs ممکن است در طول فرایند احتراق ناقص مواد آلی، فرایندهای صنعتی و پخت غذا تولید گردد (WHO, 2006). تفاوت این ترکیبات به تعداد یا موقعیت حلقه آروماتیک یا گروه آلکیل بر می گردد (Eisler, 1987).

این ترکیبات از نظر خصوصیات شیمیایی حلالیت کمی در آب داشته، نقطه ذوب و جوش بالا و فشار بخار کم دارند. با افزایش وزن مولکولی حلالیت در آب کم، نقطه ذوب و جوش زیاد و فشار بخار کم می شود. در جدول ۱-۱ ساختار مولکولی و در جدول ۱-۲ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی PAHs مورد مطالعه در این

تحقیق آورده شده است. ترکیبات دارای وزن مولکولی کم دارای خاصیت سرطان زایی کمتری بوده اما سمی تر هستند. در صورتی که ترکیبات با وزن مولکولی بالا سرطان زا^۱ و جهش زا^۲ بوده و باعث ایجاد ناهنجاری می شوند (ATSDR, 1995)^۳.

جدول ۱-۱- ساختار مولکولی PAHs مورد مطالعه در این تحقیق



^۱ Carcinogen

^۲ Mutagen

^۳ Agency for Toxic Substances and Disease Registry

جدول ۱-۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی PAHs

ثابت هانزی ^q	log k _{oc} ^o	log k _{ow}	حلالیت در آب ^g	دمای جوش ^a (°C)	دمای ذوب ^a (°C)	فشار بخار ^b	جرم مولکولی ^a g/mol	فرمول مولکولی ^a	نام اختصاری	نام ترکیب (IUPAC)
۴/۸۹ × ۱۰ ^{-۲} q	۲/۹۷	۳/۳۷ ^j	۳/۱۷ × ۱۰ ^۴	۲۱۷/۹	۸۱	۱۰/۴ ^c	۱۲۸/۱۹	C ₁₀ H ₈	Nap	Naphthalene
۱۱۴ × ۱۰ ^{-۳} h	۳/۴۰	۴/۰۷ ^m	-	-	۹۲-۹۳	۸/۹ × ۱۰ ^{-۱} c	۱۵۲/۲۰	C ₁₂ H ₈	Acy	Acenaphthylene
۱/۴۸ × ۱۰ ^{-۲} q	۳/۶۶	۳/۹۲ ^m	۳/۹۳ × ۱۰ ^۳	۲۷۹	۹۵	۲/۹ × ۱۰ ^{-۱} c	۱۵۴/۲۱	C ₁₂ H ₁₀	Ace	Acenaphthene
۱/۰۱ × ۱۰ ^{-۲} r	۴/۱۵	۴/۱۸ ^k	۱/۹۸ × ۱۰ ^۳	۲۹۵	۱۱۵-۱۱۶	۹/۰ × ۱۰ ^{-۲} c	۱۶۶/۲۳	C ₁₃ H ₁₀	Flu	Fluorene
۳/۹۸ × ۱۰ ^{-۳} q	۴/۱۵	۴/۶۰ ^j	۱/۲۹ × ۱۰ ^۳	۳۴۰	۱۰۰/۵	۱/۶ × ۱۰ ^{-۲} c	۱۷۸/۲۴	C ₁₄ H ₁₀	Phe	Phenanthrene
۷/۳ × ۱۰ ^{-۲} r	۴/۱۵	۴/۵۰ ^j	۷۸	۳۴۲	۲۱۶/۴	۸/۰ × ۱۰ ^{-۴} c	۱۷۸/۲۴	C ₁₄ H ₁₀	Ant	Anthracene
۶/۵ × ۱۰ ^{-۴} s	۴/۵۸	۵/۲۲ ^l	۲۶۰	۳۷۵	۱۰۸/۸	۱/۲ × ۱۰ ^{-۳} c	۲۰۲/۲۶	C ₁₆ H ₁₀	Fla	Fluoranthene
۱/۱ × ۱۰ ^{-۳} r	۴/۵۸	۵/۱۸ ^j	۱۳۵	۳۹۳	۱۵۰/۴	۶/۰ × ۱۰ ^{-۴} c	۲۰۲/۲۶	C ₁₆ H ₁₀	Pyr	Pyrene
-	۵/۳۰	۵/۶۱ ^m	۱۴	۴۰۰	۱۶۰/۷	۲/۸ × ۱۰ ^{-۵} c	۲۸۳/۳۰	C ₁₈ H ₁₂	BaA	Benzo(a)anthracene
-	۳/۶۶	۵/۹۱ ^l	۲	۴۴۸	۲۵۳/۸	۸/۴ × ۱۰ ^{-۵} d	۲۸۳/۳۰	C ₁₈ H ₁₂	Chr	Chrysene
۵/۱ × ۱۰ ^{-۵} a	۵/۷۴	۶/۱۲ ^m	۱/۲ ^d	۴۸۱	۱۶۸/۳	۶/۷ × ۱۰ ^{-۵} d	۲۵۲/۳۲	C ₂₀ H ₁₂	BbFA	Benzo(b)fluoranthene
۴/۴ × ۱۰ ^{-۵} s	۵/۷۴	۶/۸۴ ^k	۰/۷۶ ^h	۴۸۰	۲۱۵/۷	۱/۳ × ۱۰ ^{-۸} e	۲۵۲/۳۲	C ₂₀ H ₁₂	BkFA	Benzo(k)fluoranthene
۳/۴ × ۱۰ ^{-۵} a	۶/۷۴	۶/۵۰ ^l	۳/۸	۴۹۶	۱۷۸/۱	۷/۳ × ۱۰ ^{-۷} e	۲۵۲/۳۲	C ₂₀ H ₁₂	BaP	Benzo(a)pyrene
۷/۰ × ۱۰ ^{-۶} m	۶/۵۲	۶/۵۰ ^m	۰/۵ ⁱ	۵۲۴	۲۶۶/۶	۱/۳ × ۱۰ ^{-۸} a	۲۷۸/۳۵	C ₂₂ H ₁₄	DBahA	Dibenz(a,h)anthracene
۲/۷ × ۱۰ ^{-۵} s	۶/۲۰	۷/۱۰ ^l	۰/۲۶	۴۵۴ ^f	۲۷۸/۳	۱/۳ × ۱۰ ^{-۸} a	۲۷۶/۳۴	C ₂₂ H ₁₂	BghiP	Benzo(g,h,i)perylene
۲/۹ × ۱۰ ^{-۵} s	۶/۲۰ ^o	۶/۵۸ ^m	۶۲ ^m	۵۳۶	۱۶۳/۸	۱/۳ × ۱۰ ^{-۸} d	۲۷۶/۳۴	C ₂₂ H ₁₂	IP	Indeno(1,2,3-cd)pyrene

Mabey *et al*, 1982- n
 ATSDR, 1995-o
 -p در دمای ۲۵ °C، بر حسب کیلو پاسکال
 Mackay *et al*, 1979 -q
 Mackay and Shiu, 1981 -r
 Ten Hulscher *et al*, 1992-s
 -گزارش نشده است.

National Toxicology Program, 1993 -h
 -i دمای ۲۷ °C، Davis *et al*, 1942
 -j Karickhoff *et al*, 1979
 -k Leo *et al*, 1971
 -l Bruggeman *et al*, 1982
 -m Means *et al*, 1980

-a IPCS, 1998
 -b بر حسب پاسکال در دمای ۲۵ °C
 -c sonnefeld *et al*, 1983
 -d دمای ۲۰ °C، sims and overcash, 1983
 -e US EPA, 1980
 -f White, 1986
 -g بر حسب μg/l در دمای ۲۵ °C، Mackay and Shiu, 1977

۱-۲- راههای ورود PAHs به محیط زیست

اکثر هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای به وسیله فرایند تجزیه حرارتی (پایرولیز) و پس از آن ترکیب مجدد (پیرو سنتز) مولکولهای آلی به وجود می آیند. احتراق ناقص مواد آلی در دماهای (۵۰۰-۸۰۰ °C) باعث تولید PAHs می شود. فرو رفتن مواد آلی در رسوبات و باقی ماندن در مدت زمان طولانی، باعث به وجود آمدن PAHs به شکل نفت یا زغال سنگ می شود. علاوه بر این PAHs در گیاهان کلروفیل دار، قارچ ها و باکتریها نیز به مقدار جزئی تولید می شود. عوامل طبیعی ورود PAHs به محیط زیست شامل آتش سوزی جنگل ها و مراتع، نشت طبیعی نفت، آتشفشان، نشست اتمسفری و تولید در گیاهان و باکتریها، و منابع انسانی شامل تخلیه نفت از کشتی ها و سکوها و لوله های انتقال، نیروگاههای تولید برق، سوزاندن زباله، احتراق سوخت، فاضلابهای شهری و صنعتی و روان آبهای سطحی می باشد (Albers, 2003).

۱-۳- سرنوشت زیست محیطی PAHs و تجمع آن در جانداران

تجزیه و انتقال PAHs در محیط زیست به میزان زیادی به وسیله خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها از قبیل حلالیت در آب، فشار بخار، ثابت هانری، ضریب تفکیک اکتانول/آب (K_{ow}) و ضریب تفکیک کربن آلی (K_{oc}) کنترل می شود.

ثابت هانری^۱ ضریب تفکیکی است که بیان می کند نسبت مواد شیمیایی در آب و هوا در تعادل است و به عنوان اندیکاتور پتانسیل تبخیر مواد شیمیایی به کار می رود. با کاهش وزن مولکولی این ثابت افزایش یافته و بنابراین تبخیر از آب به اتمسفر افزایش می یابد (Lyman et al, 1982).

ضریب تفکیک کربن آلی k_{oc} ، پتانسیل شیمیایی ترکیبات آلی را برای متصل شدن به کربن آلی در رسوبات نشان می دهد. با افزایش وزن مولکولی این ضریب نیز افزایش یافته، و در نتیجه تمایل به جذب در رسوبات نیز زیاد می شود (Southworth, 1979).

ضریب تفکیک اکتانول/آب K_{ow} برای تخمین پتانسیل شیمیایی یک ماده شیمیایی آلی برای حرکت از آب به چربی به کار می رود و با افزایش غلظت در موجودات آبرزی همبستگی دارد. تمام فاکتورهای ذکر شده برای PAHs بستگی به وزن مولکولی آنها دارد (ATSDR, 1995).

^۱Henry's law constant

PAHs در هوا در فاز گازی یا چسبیده به ذرات معلق وجود دارند، که توزیع آن در هر کدام از این فازها بستگی به غلظت، فشار بخار و میزان گرایش PAHs به ذرات معلق و همچنین ماهیت و مقدار ذرات معلق و دمای اتمسفر دارد (Baek *et al*, 1991). اما به طور کلی PAHs دو حلقه ای در فاز گازی، سه و چهار حلقه ای در فاز گازی و ذره ای و پنج حلقه ای و بالاتر غالباً در فاز ذره ای وجود دارند (Baek *et al*, Jones *et al*, 1992).

1991; زمان ماندگاری این ترکیبات در اتمسفر بستگی به اندازه ذرات الحاقی به PAHs و همچنین شرایط جوی (نشست خشک یا تر) دارد (Baek *et al*, 1991). ذرات ریز می توانند مسافت های زیادی را در اتمسفر طی کنند (Lunde and Bjorseth 1977). اما ذرات بزرگتر تمایل به نشست داشته و وارد روان آب شهری شده (Butler and Crossley 1981) و نهایتاً به محیط دریا راه می یابند. PAHs موجود در آب بوسیله تبخیر (بسته به ثابت هانری) در اتمسفر، متصل شدن به ذرات معلق و رسوبات (بسته به K_{oc}) و یا جذب و تجمع در موجودات آبی (بسته به مقدار K_{ow}) رفع می شود. جذب PAHs در رسوبات با افزایش محتوای کربن و سطح ذرات رسوب، افزایش می یابد (Karickhoff *et al*, 1979). موجودات آبی می توانند PAHs را از طریق آب، رسوبات و غذا جذب و در بدن خود تجمع دهند (Eisler, 1987).

۱-۴-۱- کینتیک سمیت^۱ PAHs

کینتیک گوارش PAHs (جذب، متابولیسم، توزیع و دفع) ارتباط مستقیمی با اثرات سوء مختلف این ترکیبات در انسان و آبریان دارد. بنابراین اطلاع از این موارد به منظور درک نحوه اثر PAHs بر موجودات مفید می باشد.

۱-۴-۱- جذب PAHs در موجودات

در جذب گوارشی PAHs دو عامل مهم حلالیت در آب و چربی دوستی موثر هستند. زیرا جذب مستلزم این است که ترکیبات به شکل محلول در مجرای روده در آیند تا از دیواره روده قابل جذب باشند. PAHs ترکیباتی چربی دوست بوده و حلالیت کمی در آب دارند. این ترکیبات دارای $\log k_{ow}$ ، ۳/۳۷ تا ۷/۱۰ و نیز حلالیت ۰/۳ تا ۳۱۷۰۰ میکروگرم بر لیتر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد هستند. اگر چه عموماً با افزایش $\log k_{ow}$ ، حلالیت در آب کم می شود. شایان ذکر است که تفاوت در حلالیت ترکیبات دارای $\log k_{ow}$ مشابه، به فرمول مولکولی آن

^۱ Toxicokinetics

ها مربوط می شود. PAHs از سه طریق جذب بدن انسان می شوند الف) توسط ریه ها و کیسه های هوایی بعد از استنشاق ذرات معلق حاوی PAHs، ب) از طریق پوست پس از تماس مستقیم، ج) توسط دستگاه گوارش بعد از آشامیدن آب آلوده و یا خوردن غذای حاوی این ترکیبات (ESCF, 2002).

Laurent و همکاران در سال ۲۰۰۱ جذب بنزوآلفاپایرن ($\log_{k_{ow}} = 6/5$ ، $3/8 \mu\text{g/L}$ = حلالیت در آب) و فناترن ($\log_{k_{ow}} = 4/6$ ، $1290 \mu\text{g/L}$ = حلالیت در آب) را پس از تغذیه خوکچه در یک محیط چربی دوست بررسی کردند. نتایج نشان داد که PAHs دارای حلالیت بیشتر و $\log_{k_{ow}}$ کمتر، جذب بیشتری دارند. به علاوه جذب PAHs از طریق رژیم چرب بیشتر بوده و همچنین مقدار جذب در بافت های چرب بیشتر می باشد. جذب گوارشی PAHs در حضور صفر افزایش می یابد. و جذب بنزوآلفاپایرن ($\log_{k_{ow}} = 6/5$ ، $3/8 \mu\text{g/L}$ = حلالیت در آب) و ۷ و ۱۲ دی متیل بنزوآلفا آنتراسن بیشتر از آنتراسن ($\log_{k_{ow}} = 4/5$ ، $3/8 \mu\text{g/L}$ = حلالیت در آب) یا پیرن ($\log_{k_{ow}} = 5/18$ ، $135 \mu\text{g/L}$ = حلالیت در آب) تحت تاثیر قرار می گیرد. احتمالاً حضور صفر در جذب PAHs دارای حلالیت کم موثر است (Rahman et al, 1986).

Kawamura و همکاران ۱۹۸۸ نشان دادند که ترکیب غذایی در جذب ^{14}C بنزوآلفاپایرن موثر است. در این تحقیق محدوده دسترسی PAHs از طریق غذا ۲۰ تا ۵۰ درصد بوده است که این مقدار با افزایش محتویات چربی درون غذا افزایش می یابد.

۱-۴-۲- توزیع PAHs در بدن موجودات

توزیع PAHs و غلظت آن در بافت ها تحت تاثیر عواملی همچون نوع PAHs، راه در معرض قرارگیری، ماده حامل، زمان نمونه برداری پس از در معرض قرارگیری و حضور یا عدم حضور بازدارنده های متابولیزم PAHs می باشد. به هر حال توزیع این ترکیبات در سه سطح قابل شناسایی است: الف) تقریباً در همه ارگان ها، ب) ارگان هایی که دسترسی به بافت های چرب دارند و به عنوان ذخیره گاه این ترکیبات عمل می کنند و به آهستگی آنها را دفع می کنند ج) بیشترین غلظت در سیستم گوارشی، با صرف نظر از مسیر در معرض قرارگیری، می باشد.

پس از تزریق وریدی بنزوآلفا پیرن به موش، این ترکیب به سرعت (با نیمه عمر کمتر از یک دقیقه) از طریق گردش خون دفع شد. همچنین سرعت پاکسازی بنزوآلفاپایرن نشاندار، با پیش تزریق یک مداخله گر متابولیزم بنزوآلفاپایرن و یا داروی مسکن فنوباربتال افزایش می یابد (ESCF, 2002).

در مطالعه ای که با استفاده از رادیوگرافی برای مطالعه توزیع ۱۲و۷دی متیل بنزوآلفاآنتراسن وبنزوآلفا پیرن در بدن موش های باردار صورت گرفت، مشخص شد این ترکیبات از جفت عبور می کنند (Withey *et al*, 1992). در یک مطالعه کوچک که بر روی انسان انجام شد، نمونه های شیر، جفت و خون بند ناف از ۲۴ زن گرفته شد و جهت تعیین PAHs انتخابی سنجیده شدند. میزان زیادی از این ترکیبات در نمونه های شیر و خون بند ناف شناسایی شد. بر این اساس نتیجه گیری شد که هم جنین وهم اطفال شیر خوار از طریق رژیم غذایی مادر در معرض PAHs قرار می گیرند (Madhavan and Naidu, 1995).

۱-۴-۳- متابولیسم و دفع PAHs در بدن موجودات

سیستم آنزیمی سیتوکروم P450 مونواکسیژناز یک سیستم توزیع شده کلی است که در سلول، درون میکروزوم و بر روی شبکه آندوپلاسمی واقع است، این سیستم در انسان و اکثر جانوران (به استثنای دوکفه ای ها) در متابولیسم ترکیبات خارجی^۱ چربی دوست مثل PAHs دخالت دارد (Bebiano *et al*, 2007).

متابولیسم بنزوآلفا پیرن در تعدادی از بافت های انسانی بررسی شده است. متابولیک PAHs در بافت های انسان از نظر کیفی بسیار مشابه بافت های جانوران بوده وهمچنین متابولیت های شناسایی شده نیز یکسان هستند. اختلاف در مستعد بودن بافت های انسان و جانوران متفاوت نسبت به سرطان به مقدار متابولیت ها و تعداد واکنش ها بر می گردد (ESCF, 2002). بیشترین میزان متابولیسم به ترتیب در بافت کبد، مخاط روده، پوست و کلیه ها انجام می شود، اما ممکن است در غدد پستان، طحال، کیسه های هوایی ریه، گلبولهای قرمز وسفید، رحم وجفت نیز صورت گیرد. بافت های جنینی انسان و جانوران قادر به متابولیسم PAHs هستند، ولی میزان آن نسبت به بافت های بالغ کمتر است (Anderson, 1989).

متابولیسم ترکیبات خارجی که وارد بدن می شوند به دو مرحله تقسیم می شود. در فاز اول ساختار ترکیب تغییر یافته و قطبیت آن افزایش می یابد و در فاز دوم گروههای قطبی به ترکیب افزوده می گردد. اگر چه متابولیسم به عنوان خنثی سازی یا سمیت زدایی ترکیبات خارجی در نظر گرفته می شود، اما ترکیبات تولید شده پیچیده تر بوده و ممکن است واکنش پذیری آنها افزایش یابد.

^۱Xenobiotic

متابولیسم PAHs نسبتاً پیچیده است. به طور کلی ترکیبات اصلی بواسطه ی اپوکسیدها^۱ به فنل^۲، دیول^۳ و تترو^۴ ها تبدیل می شوند. که این ها نیز می توانند با سولفور، اسید گلوکورونیک^۵ و گلوکوتایون^۶ مزدوج^۷ شوند، IPCS, (1998). ساختار برخی متابولیت های PAHs در شکل ۱-۱ آورده شده است.

به عنوان نمونه مرحله ابتدایی متابولیسم بنزوآلفاپایرن، تشکیل اپوکسیدها (ترکیبات حلقوی دارای اکسیژن) توسط سیستم فوق است. اپوکسیدها سرنوشت های مختلفی دارند. برخی از آن ها به صورت خودبخودی به فنل ها (۳- OH، OH-۶، OH-۷، OH-۹ بنزوآلفاپایرن) تبدیل می شوند، قسمتی از آن نیز توسط آنزیم اپوکسید هیدرولاز به ترانس دی هیدرودیول^۸ ها (۵ و ۴ دی هیدرودیول، ۷ و ۸ دی هیدرودیول یا ۹ و ۱۰ دی هیدرودیول) تجزیه می شود، و نهایتاً فنل ها ممکن است با گلوکوتایون واکنش کووالانسی دهند و یا به کینون^۹ ها (۱ و ۶-، ۳ و ۶-، ۶ و ۱۲- کینون) اکسید شوند (Graslund and Jernstrom, 1989). دی هیدرودیول ها (۴ و ۵- دی هیدرودیول، ۹ و ۱۰ دی هیدرودیول، ۷ و ۸- دی هیدرودیول) می تواند تعداد زیادی متابولیت ایجاد کند. ۷ و ۸- دی هیدرودیول عمدتاً به ۷ و ۸- دیول-۹ و ۱۰- اپوکسید^{۱۰} تبدیل می شود (ESCF, 2002). دیول اپوکسیدها متابولیت های نهایی سرطانزا و جهش زای PAHs هستند. این ترکیبات الکترون خواه بوده و به مکان های دهنده الکترون در DNA و پروتئین متصل می شوند. ۷ و ۸- دیول-۹ و ۱۰- اپوکسید دارای فعالیت تومور زایی بالایی بوده و غالباً با DNA پیوند کووالانسی تشکیل می دهد (Beland and Marques, 1994). فرایند ایجاد ۷ و ۸- دیول-۹ و ۱۰- اپوکسید در شکل ۱-۲ آمده است.

بخش عمده ای از متابولیت های PAHs نیز وارد صفرا شده و سپس همراه مواد دفعی از بدن خارج می شوند. یکی از مهمترین روش های ارزیابی مواجهه انسان با PAHs بررسی متابولیت های این ترکیبات در ادرار است (Li et al, 2008). ۳- هیدروکسی و ۹- هیدروکسی بنزوآلفا پایرن دو متابولیت عمده ای هستند که ادرار یافت می شوند (Bouchard and Viau, 1997; Ramesh et al., 2001).

^۱ Epoxide

^۲ Phenol

^۳ Diol

^۴ Tetrol

^۵ Glucuronic acids

^۶ glutathione

^۷ Conjugates

^۸ trans-dihydrodiol

^۹ Quinone

^{۱۰} 7, 8-diol-9,10-epoxide