ORIGINAL ARTICLE

Petroleum pollution risk assessment in sediment of Hara protected zone with determination of polycyclic aromatic hydrocarbons

Zohreh Ebrahimi-Sirizi[1],
Alireza Riyahi-Bakhtiari[2],
Sanaz Ghaffari[3]

[1] MSc, Department of Environment, School of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, Iran
[2] PhD, Assistant Professor, Department of Environment, School of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, Iran
[3] PhD Student, Department of Environment, School of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, Iran

(Received September 4, 2013; Accepted March 9, 2014)

Abstract

Background and purpose: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are one of the widespread and persistent contaminant throughout the nature. The main origin that introduced this contamination to environment is oil and oil products. The main objective of this study was determination of Environmental Protection Agency's (EPA) PAHs list compounds in surface sediments of Hara Protected Zone and comparison the results with the standards.

Materials and methods: For petroleum pollution risk assessment in the zone, forty-two surface sediments were collected from Qeshm Island and Bandar Khamir, Iran, and sixteen PAHs compounds listed by EPA were determinate in them. The samples were extracted with a Soxhlet extractor device and 300ml dichloromethane and then analyzed with Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS).

Results: Mean concentration of these 16 compounds was 1470 ± 157 ng/g dry weight. Therefore, the mean concentration of naphthalene as the most toxic and Benzo(a)pyrene as the best known of carcinogen PAHs compounds was 1274 ± 183 and 2.5 ± 0.28 ng/g dry weight, respectively.

Conclusion: Results showed that the concentration of total PAHs was below the EPA standard (4000 ng/g dry weight). But concentration of naphthalene as the most toxic of PAH compound was higher than standard (160 ng/g). So concentration of Benzo(a)pyrene as most hazardous of PAHs compound and indicator of environmental contamination with PAHs compounds was lower than standard (430 ng/g).

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum pollution, Hara protected zone, Qeshm Island, Iran

J Mazand Univ Med Sci 2014; 23(Suppl 2): 186-94 (Persian).

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و سوم ویژه‌نامه ۲ اسفند سال ۱۳۹۲ (۱۹۴-۱۸۶)

ارزیابی خطر آلودگی نفتی در رسوبات منطقه حفاظت شده حرا با اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای

زهره ابراهیمی سیریزی[۱]
علیرضا ریاحی بختیاری[۲]
ساناز غفاری[۳]

چکیده

سابقه و هدف: هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (Polycyclic aromatic hydrocarbons یا PAHs) گروه بزرگی از آلاینده‌های پایدار محیطی را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات از پراکنش وسیعی در محیط زیست برخوردار هستند و منشأ اصلی ورود آن‌ها به محیط زیست، نفت و فرآورده‌های نفتی می‌باشد. هدف اصلی مقاله حاضر، اندازه‌گیری ترکیبات PAHs لیست آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در رسوبات سطحی منطقه حفاظت شده حرا و مقایسه آن با استانداردهای موجود بود.

مواد و روش‌ها: به منظور ارزیابی خطر آلودگی نفتی در منطقه، تعداد ۴۲ نمونه رسوب سطحی از دو منطقه قشم و بندر خمیر برداشت شد و ۱۶ ترکیب PAH لیست آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت استخراج نمونه‌ها از دستگاه سوکسله (Soxhlet) و حلال دی‌کلرومتان و برای تحلیل نمونه‌ها از دستگاه GC-MS (Gas chromatography-Mass spectrometer) استفاده گردید.

یافته‌ها: متوسط غلظت ۱۶ ترکیب PAHs برابر با ۱۵۷ ± ۱۴۷۰ نانوگرم بر گرم وزن خشک به دست آمد. همچنین غلظت ترکیب نفتالین به عنوان سمی‌ترین و بنزو(آ) پایرن به عنوان شناخته شده‌ترین ترکیب سرطان‌زای PAHs به ترتیب ۱۸۳ ± ۱۲۷۴ و ۰/۲۸ ± ۲/۵ نانوگرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.

استنتاج: غلظت کلی ترکیبات PAHs کمتر از میزان استاندارد EPA (Environmental Protection Agency) در رسوب می‌باشد، اما غلظت ترکیب نفتالین به عنوان سمی‌ترین ترکیب PAH، بالاتر از حد استاندارد این سازمان بود. غلظت ترکیب بنزو(آ) پایرن نیز به عنوان خطرناک‌ترین ترکیب PAH و شاخص آلودگی محیط به ترکیبات PAH نیز کمتر از حد مجاز این سازمان ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، آلودگی نفتی، منطقه حفاظت شده حرا، جزیره قشم

مقدمه

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs یا Polycyclic aromatic hydrocarbons) ترکیباتی شامل دو یا چند حلقه آروماتیک به هم متصل هستند که منشأ اصلی ورود آن‌ها به محیط زیست، نفت و فرآورده‌های نفتی می‌باشد. این آلاینده‌ها دسته بزرگی از سرطان‌زاهای محیطی را تشکیل می‌دهند که در همه جا از جمله آب، هوا و خاک به عنوان آلاینده‌های محیطی دیده می‌شود و به واسطه مقاومتشان در محیط‌های مختلف، برای سلامتی انسان مضر هستند. این ترکیبات به عنوان آلاینده‌های در اولویت آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (United States Environmental Protection Agency) در نظر گرفته شده‌اند و به علت خواص سرطان‌زایی، جهش‌زایی و سمیتی که دارند، در مکان‌های آلوده به نفت از اجزای هدف برای مطالعه آلودگی به شمار می‌روند (۱).

مولف مسئول: علیرضا ریاحی بختیاری- ساری: شهرستان نور، دانشگاه تربیت مدرس پردیس نور، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، گروه محیط زیست. E-mail: riahi@modares.ac.ir

۱. کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳. دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸

چندین گزارش از افزایش شیوع سرطان در جانداران دریایی و از مکان‌هایی که ریزش نفتی داشته‌اند، منتشر شده است (۳، ۲). این ترکیبات به علت خاصیت چربی‌دوستی که دارند، توسط ارگانیسم‌های زنده جذب می‌شوند و برای آن‌ها ایجاد خطر می‌نمایند و سپس از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان وارد می‌شوند (۴). از اثرات مهم تماس با ترکیبات PAH می‌توان به سرطان‌زایی، جهش‌زایی، سمیت، تخریب گلبول‌های قرمز، سوزش و خارش پوست، سوزش چشم، آب مروارید، آسیب به کبد و کلیه، یرقان و... اشاره نمود. این ترکیبات تمایل زیادی به ذخیره شدن در کلیه و کبد دارند، ولی مقادیر کمی از آن‌ها در طحال و غده آدرنال نیز ذخیره می‌گردد (۵). شکل، ساختار و وزن مولکولی PAHs نقش تعیین کننده‌ای در میزان سمیت یا پتانسیل سرطان‌زایی آن‌ها دارد. به طور کلی PAHs بر اساس خواص و وزن مولکولی‌شان به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: دسته اول سبک وزن هستند که از دو یا سه حلقه بنزنی متصل به هم تشکیل شده‌اند و دسته دوم سنگین وزن هستند که بیش از سه حلقه بنزنی متصل به هم دارند. سبک وزن‌ها، سمیت حاد دارند؛ در صورتی که سنگین وزن‌ها، پتانسیل سرطان‌زایی بالایی از خود نشان می‌دهند (۶).

اتحادیه اروپا حد مجاز غلظت PAHs در آب آشامیدنی را ۲۰۰ نانوگرم در لیتر تعیین نموده است، همچنین سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization یا WHO) نیز میزان ۲۰۰ نانوگرم در لیتر را برای ترکیبات شاخص PAHs در آب آشامیدنی پیشنهاد کرده است. از آن‌جا که ترکیبات PAHs آب‌گریز هستند و در محیط‌های آبی جذب رسوبات می‌شوند، میزان استاندارد آن‌ها در رسوبات، ۴۰۰۰ نانوگرم بر گرم وزن خشک در نظر گرفته شده است (۵). خلیج فارس با دارا بودن دو سوم از ذخایر نفتی جهان و تولید یک چهارم نفت جهان بزرگ‌ترین تولید کننده نفت در جهان است (۷).

در طول تاریخ، خلیج فارس قربانی حوادث نفتی بزرگی شده است که از این میان سه حادثه نفتی، مهم‌تر از بقیه بوده‌اند که دو مورد از آن‌ها مربوط به دو جنگ اخیر در منطقه می‌باشد؛ یکی جنگ خلیج فارس و دیگری جنگ ایران و عراق. در جریان جنگ خلیج فارس در سال ۱۹۹۱، بزرگ‌ترین ریزش نفتی تاریخ بشریت رخ داد و در حدود ۸-۶ میلیون بشکه نفت وارد خلیج فارس گردید. در حادثه چاه‌های نفتی نوروز هم که در جریان جنگ ایران و عراق در سال ۱۹۸۳ روی داد، حدود ۲ میلیون بشکه نفت وارد خلیج فارس شد (۸). حادثه دیگر در سال ۱۹۹۴ در جریان تصادف دو تانکر روی داد که منجر به ریزش ۱۶۰۰۰ تن نفت خام به داخل منطقه شد (۹). همچنین این منطقه از پر رفت و آمدترین مسیرهای کشتی‌رانی جهان می‌باشد که با انتقال تقریبی ۲۵ تا ۳۵ هزار بشکه نفت در سال از تنگه هرمز، ۶۰ درصد از حمل و نقل جهانی نفت را به خود اختصاص می‌دهد (۱۰).

تخمین زده شده است که در طی دهه‌های اخیر علاوه بر آلودگی‌های نفتی بر جای مانده از جنگ‌های گذشته در خلیج فارس، سالانه ۱/۵ میلیون تن نفت در نتیجه استخراج، رفت و آمد کشتی‌ها و تانکرهای نفت‌کش، ریزش‌های طبیعی و عمدی و رها شدن محصولات نفتی از صنایع منطقه‌ای به این پیکره آبی رها می‌گردد (۱۰). علاوه بر ریزش‌های اتفاقی و عمدی که در خلیج فارس روی داده است و همچنان روی می‌دهد، این منطقه از نشت طبیعی نفت نیز بی‌نصیب نیست (۱۱).

خلیج فارس دارای اکوسیستم‌های خاص و منحصر به فردی است که یکی از این اکوسیستم‌های ارزشمند، جنگل‌های مانگرو می‌باشد. واقع شدن جنگل‌های مانگرویی در سواحل باعث شده است که آن‌ها پیوسته قربانی آلودگی‌های مختلف از دریا و خشکی به خصوص آلودگی نفتی شوند. از آن‌جا که این اکوسیستم کم‌نظیر مکان زیست و زادآوری بسیاری از موجودات از جمله ماهی‌ها، پرندگان، خزندگان و دوزیستان می‌باشد و تجمع آلاینده‌ها در این موجودات می‌تواند از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل شود؛ بنابراین پایش مداوم آلودگی‌های مختلف در این منطقه می‌تواند ما را هم در حفظ و مدیریت هرچه بهتر این اکوسیستم باارزش و هم در جهت تأمین بهداشت و سلامت جامعه یاری رساند. از آن‌جا

که رسوبات به عنوان یک جاذب برای آلاینده‌ها محسوب می‌شود، پس مطالعه رسوب در هر اکوسیستم می‌تواند دید همه جانبه‌ای را از شرایط حاکم بر آن اکوسیستم فراهم آورد.

هدف اصلی این تحقیق، تعیین میزان هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای لیست آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در رسوبات منطقه حرا و مقایسه غلظت آن‌ها با استانداردهای موجود، به منظور ارزیابی خطر آلودگی نفتی در منطقه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه حفاظت شده حرا در موقعیت جغرافیایی ′۴۰°۲۶ تا ′۰۰°۲۷ عرض شمالی و ′۲۱°۵۵ تا ′۲۲°۵۵ طول شرقی واقع شده است (۱۲). قرار گرفتن این جزیره در کنار تنگه هرمز یعنی جایی که ارتباط ۹۰۰ کیلومتر راه آبی جنوب کشور را به آب‌های آزاد جهان میسر می‌سازد، باعث شده است که روزانه صدها کشتی، تانکر و نفت‌کش از کنار این جزیره عبور کنند و سواحل این جزیره به ویژه اکوسیستم باارزش حرا را در معرض آلودگی قرار دهند.

به منظور ارزیابی آلودگی نفتی در این منطقه، تعداد ۴۲ نمونه (سه تکرار) رسوب سطحی در فروردین سال ۱۳۸۹ با کمک بیلچه برداشت شد. نمونه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند و به منظور این‌که هر نمونه گویای شرایط واقعی‌تری باشد، در هر ایستگاه سه نمونه برداشت گردید. سپس نمونه‌ها با هم ترکیب شدند تا یک نمونه به دست آید. تعداد نمونه‌ها نیز طوری انتخاب شد تا کل منطقه را پوشش دهد و بیشترین فاصله بین ایستگاه‌ها از هزار متر بیشتر نباشد. پس از یادداشت کردن موقعیت هر ایستگاه، نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شد و در کلمن‌های حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال یافت و تا انجام تحلیل‌های بعدی در سردخانه و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. نمونه‌ها پس از بیرون آوردن از سردخانه به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه فریز درایر (Freeze dryer) گذاشته شدند تا به طور کامل خشک گردیدند و بعد از آن نرم و یکدست شدند (۱۳).

به منظور اندازه‌گیری آلاینده‌ها از روش استاندارد MOOPAM برای اندازه‌گیری آلاینده‌های آلی در رسوب استفاده شد (۱۳، ۱۲). برای استخراج مواد آلی از نمونه‌ها از دستگاه سوکسله (Soxhlet) به مدت ۸ ساعت و حلال دی‌کلرومتان به میزان ۳۲۰ میلی‌لیتر و ۱۰ گرم وزن خشک نمونه استفاده گردید (۱۴، ۱۳). به منظور به دست آوردن ریکاوری روش ۱۰۰ میکرولیتر ساروگیت که شامل چهار ترکیب دوتریت شده PAH به نام‌های ($Perylene-d_{12}$، $Chrysene-d_{12}$، $Anthracene-d_{10}$ و $Naphthalene-d_8$) بود، به نمونه‌ها اضافه گردید. همچنین برای از بین بردن گوگرد از نمونه‌ها که باعث ایجاد مزاحمت در پیک کروماتوگرام دستگاه می‌شود، چند قطعه مس فعال شده به نمونه‌ها اضافه شد و نمونه‌ها به مدت یک شبانه‌روز در این وضعیت و در یخچال نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه حلال‌پران چرخشی (Rotary evaporator) حلال‌پرانی شدند تا حجم آن‌ها به ۲ میلی‌لیتر کاهش یافت. پس از آن نمونه‌ها وارد ستون کروماتوگرافی مرحله اول شدند که در این مرحله از سیلیکاژل ۵ درصد غیر فعال شده به عنوان فاز ساکن و ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط هگزان به دی‌کلرومتان به نسبت حجمی سه به یک به عنوان فاز متحرک استفاده گردید.

قطر داخلی ستون در این مرحله ۰/۹ سانتی‌متر بود و سیلیکاژل نیز تا ارتفاع ۹ سانتی‌متری داخل ستون ریخته شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از ستون اول، دوباره حلال‌پرانی شدند تا حجم آن‌ها به حدود ۱ میلی‌لیتر کاهش یافت، سپس نمونه‌ها وارد کروماتوگرافی ستونی مرحله دوم گردیدند. در این مرحله از سیلیکاژل کامل فعال شده به عنوان فاز ساکن و ۱۴ میلی‌لیتر مخلوط هگزان به دی‌کلرومتان به نسبت حجمی سه به یک به عنوان فاز متحرک استفاده گردید. قطر داخلی ستون در این مرحله ۰/۴۷ سانتی‌متر بود و سیلیکاژل نیز تا ارتفاع ۱۸ سانتی‌متری داخل ستون ریخته شد. پس از خارج شدن نمونه‌ها از این ستون، نمونه‌ها دوباره کاهش حجم داده شدند و به ویال منتقل گردیدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از جریان آرام گاز نیتروژن با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد به طور

کامل خشک شدند و پس از اضافه کردن ۱۰۰ میکرولیتر استاندارد داخلی به نام P-terphenyl-d_{14}، به دستگاه GC-MS (Gas chromatography-Mass spectrometry) تزریق شدند (۱۴، ۱۳).

تحلیل ترکیبات PAH با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی Agilent Technologies مدل ۵۹۷۵C به همراه یک کروماتوگراف گازی Agilent مدل ۷۸۹۰A ساخت کشور آمریکا انجام شد. ستون به کار رفته در دستگاه به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر، فاز ساکن به ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر و گاز حامل به کار رفته برای دستگاه نیز هلیوم با درصد خلوص بالا در حدود ۹۹/۹۹ درصد بود. دمای محل تزریق روی ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و نمونه‌ها به صورت مجزا به دستگاه تزریق شد. برنامه دمایی دستگاه نیز به این صورت بود که ابتدا ستون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه نگه داشته شد و سپس با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافت تا به ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید و پس از آن با میزان ۴ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافت تا به دمای ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد. برای تزریق نمونه‌ها به دستگاه از روش SIM (Selected ion monitoring) استفاده گردید (۱۴، ۱۳).

متوسط میزان ریکاوری بین ۹۵-۷۳ درصد به دست آمد. سپس نتایج با ریکاوری به دست آمده تصحیح شدند و غلظت واقعی آنالیت‌ها محاسبه گردید. همچنین به منظور کنترل کیفی روش، نمونه شاهد با هر سری از نمونه‌ها گذاشته شد. همه تحلیل‌های آماری این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ (Version 17, SPSS Inc., Chicago, IL) انجام شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون Kolmogorov–Smirnov و برای بررسی اختلاف معنی‌دار بین غلظت آلاینده‌ها با استاندارد از آزمون t استفاده شد.

یافته‌ها

یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که میانگین ± انحراف معیار غلظت PAHs در منطقه برابر با ۱۵۷ ± ۱۴۷۰ نانوگرم بر گرم وزن خشک بود که این میزان کمتر از استاندارد سازمان EPA (Environmental Protection Agency) (۴۰۰۰ نانوگرم بر گرم وزن خشک) می‌باشد. جدول شماره ۱ نتایج حاصل از تحلیل ۱۶ ترکیب لیست آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا را نشان می‌دهد. بر طبق یافته‌ها، نفتالین که ساده‌ترین ترکیب PAH با دو حلقه بنزنی است، بیشترین غلظت این ترکیبات را به خود اختصاص داد. نتایج حاصل از غلظت داده‌ها نشان داد که بین ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از این امر می‌توان نتیجه گرفت که منشأ آلودگی نقطه‌ای در منطقه حرا وجود ندارد و آلودگی از یک منشأ غیر نقطه‌ای به این جنگل‌ها وارد می‌شود که این منشأ غیر نقطه‌ای شاید همان آب دریا باشد.

بحث

به منظور ارزیابی خطر ترکیبات PAH در منطقه، از استانداردهای موجود در این زمینه استفاده گردید. یکی از این استانداردها که توسط Long و همکاران تعریف شد، به صورت دو حد آستانه ERL (Effects range low) و ERM (Effects rang median) مشخص گردید (۱۵). ERL در واقع غلظتی از آلاینده است که در مقادیر پایین‌تر از آن اثرات بیولوژیک به ندرت قابل مشاهده است. از طرف دیگر اگر غلظت آلاینده بیشتر از مقدار ERM باشد، اثرات بیولوژیک مغایر به فراوانی رخ می‌دهد. در مطالعه حاضر مقدار کل PAHs در همه ایستگاه‌ها به جز یک ایستگاه -که محل پهلو گرفتن قایق‌های گردشگران و بازدید کنندگان جنگل‌های حرا می‌باشد- کمتر از حد استاندارد بود. آلودگی بیش از حد این ایستگاه احتمال دارد ناشی از ریزش‌های عمدی یا تصادفی سوخت این قایق‌ها به داخل محیط باشد. به جز مقدار کل PAHs، میزان ۱۶ ترکیب PAH جزء EPA نیز با استاندارد مقایسه گردید. نتایج این مقایسه نشان داد که همه ترکیبات به جز نفتالین مقادیری کمتر از ERL داشتند، اما غلظت نفتالین به طور تقریبی در همه ایستگاه‌ها بالاتر از حد ERL و حتی در برخی از ایستگاه‌ها بالاتر از ERM بود. نتایج حاصل از مقایسه

جدول شماره ۱: غلظت ترکیبات PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon) (نانوگرم بر گرم) در رسوبات سطحی جنگل‌های حرا

شماره ایستگاه	Na	Acy	Ace	Flu	Ph	An	Fl	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IP	DahA	Bghi
۱	۴۲۸	۱۱/۷	۱/۲	۱۰/۰	۶۳/۴	۳/۷	۶/۳	۸۴/۴	۰/۸	۴/۱	۳/۱	۲/۱	۱/۷	۰/۲	۰/۴	۳/۲
۲	۲۵۹۱	۸/۰	۰/۸	۶/۶	۶۲/۰	۲/۷	۲۸/۹	۶۲/۷	۰/۸	۵/۳	۳/۸	۲/۹	۲/۰	۰/۴	۰/۴	۳/۱
۳	۱۱۸۶	۱۱/۳	۰/۹	۸/۴	۴۷/۶	۲/۵	۲۵/۸	۵۱/۱	۱/۴	۷/۷	۳/۸	۱/۹	۲/۳	۰/۵	۰/۵	۳/۵
۴	۴۶۵	۹/۷	۰/۸	۶/۵	۱۹/۸	۱/۶	۱۴/۰	۳۶/۶	۰/۳	۲/۳	۱/۵	۱/۲	۱/۰	ND	۰/۲	۱/۵
۵	۱۱۹۲	۸/۴	۰/۷	۴/۷	۳۵/۷	۰/۹	۱۰/۸	۲۱/۹	۰/۶	۲/۴	۸/۵	۷/۶	۳/۳	۰/۵	۰/۸	۲/۹
۶	۴۷۵۴	۱۱/۶	۰/۷	۵/۷	۷۴/۳	۴/۴	۵۷/۱	۲۶۸	۱/۳	۶/۵	۶/۲	۴/۰	۵/۸	۰/۶	۱/۲	۲۷/۲
۷	۱۱۸	۱۲/۳	۲/۲	۱۹/۲	۵۲/۲	۴/۰	۲۲/۱	۵۳/۸	۱/۰	۹/۳	۳/۳	۲/۲	۳/۶	۰/۵	۰/۶	۹/۰
۸	۱۷۱	۱۰/۵	۱/۰	۶/۶	۵۸/۲	۵/۲	۳۴/۹	۵۶/۱	۰/۸	۵/۱	۳/۹	۱/۸	۱/۹	۰/۲	۰/۵	۲/۴
۹	۳۷۰	۹/۸	۱/۲	۷/۲	۴۲/۰	۲/۰	۱۵/۲	۳۰/۱	۰/۷	۱۴/۰	۱/۴	۱/۱	۰/۹	ND	ND	۰/۹
۱۰	۲۷۷۰	۷/۲	۰/۷	۶/۸	۵۷/۵	۳/۶	۲۰/۹	۴۶/۶	۱/۷	۵/۹	۳/۴	۲/۱	۱/۷	۰/۵	۰/۸	۲/۸
۱۱	۴۸۹	۱۳/۳	۱/۱	۱۰/۵	۶۲/۷	۲/۲	۲۶/۰	۱۰۰/۰	۰/۶	۲/۹	۲/۲	۱/۳	۱/۱	۰/۳	۰/۳	۳/۹
۱۲	۹۱۵	۸/۹	۰/۸	۸/۰	۶۱/۷	۳/۴	۲۶/۹	۶۰/۰	۲/۳	۶/۴	۳/۵	۲/۰	۱/۷	۰/۲	۰/۴	۳/۷
۱۳	۱۶۹	۳/۲	۰/۳	۲/۲	۶۶/۴	۴/۷	۳۰/۵	۸۵/۷	۱/۹	۷/۸	۷/۲	۵/۵	۳/۷	۰/۷	۰/۹	۱/۴
۱۴	۴۳۲	۸/۳	۰/۶	۴/۶	۵۱/۰	۲/۷	۳۹/۳	۱۱۶/۰	۰/۶	۴/۳	۴/۸	۳/۰	۱/۷	۰/۲	۰/۴	۴/۶
۱۵	۲۳۲	۵/۵	۰/۶	۵/۳	۶۲/۹	۴/۰	۳۶/۴	۷۹/۱	۲/۶	۱۱/۱	۶/۲	۴/۲	۳/۲	۰/۴	۰/۸	۳/۳
۱۶	۱۶۲	۸/۴	۱/۰	۶/۴	۳۷/۹	۱/۹	۱۵/۴	۳۶/۸	۰/۵	۵/۲	۲/۱	۱/۷	۱/۹	۰/۲	۰/۴	۲/۶
۱۷	۱۸۸۵	۵/۸	۰/۸	۶/۸	۵۴/۳	۲/۰	۲۱/۵	۴۰/۴	۱/۳	۴/۱	۱/۵	۰/۹	۰/۶	ND	۰/۲	۱/۰
۱۸	۲۹۶	۸/۵	۰/۸	۷/۴	۵۱/۱	۲/۷	۲۴/۴	۷۹/۵	۱/۱	۴/۳	۲/۱	۱/۵	۱/۴	۰/۲	۰/۳	۲/۳
۱۹	۱۷۰۵	۷/۶	۰/۹	۸/۱	۵۳/۷	۲/۷	۳۰/۵	۸۷/۹	۱/۶	۶/۴	۳/۳	۱/۹	۲/۰	۰/۷	۰/۹	۳/۰
۲۰	۷۵۹	۹/۶	۱/۲	۸/۴	۷۰/۱	۴/۵	۵۴/۰	۱۱۲/۰	۲/۳	۸/۵	۵/۵	۳	۸/۱	۰/۴	۱/۱	۲۵/۵
۲۱	۱۱۹	۱۲/۶	۱/۳	۱۰/۱	۳۸/۸	۱/۳	۱۴/۰	۲۸/۳	۱/۸	۱۱/۸	۱/۴	۱/۱	۰/۸	ND	۰/۳	۰/۸
۲۲	۶۱۰	۷/۸	۰/۶	۷/۱	۵۳/۵	۲/۵	۲۶/۴	۵۶/۴	۱/۴	۶/۱	۲/۷	۱/۲	۲/۲	۰/۴	۰/۷	۶/۸
۲۳	۶۳۲	۱۴/۰	۱/۶	۱۳	۶۷/۲	۳/۲	۴۹/۷	۹۹/۸	۲/۲	۱۱/۵	۵/۲	۳/۳	۴/۱	۰/۵	۰/۶	۳/۴
۲۴	۱۶۰	۹/۰	۱/۱	۸/۹	۴۷/۵	۲/۳	۲۷/۲	۶۳/۷	۰/۹	۵/۵	۳/۲	۲/۳	۱/۹	۰/۲	۰/۳	۲/۵
۲۵	۲۰۳۸	۷/۳	۰/۶	۷/۰	۶۹/۱	۳/۰	۳۷/۸	۶۶/۸	۲/۱	۸/۴	۶/۷	۳/۹	۳/۳	۰/۹	۱/۰	۵/۱
۲۶	۹۲۷	۱۰/۷	۱/۲	۹/۶	۷۷/۹	۳/۸	۲۹/۳	۸۶/۱	۲/۳	۷/۶	۴/۹	۳/۰	۲/۶	۰/۲	۰/۹	۴/۸
۲۷	۷۴۶	۹/۲	۱/۲	۹/۹	۵۹/۳	۲/۴	۳۴/۳	۷۷/۹	۱/۳	۹/۴	۳/۶	۱/۶	۳/۱	۰/۶	۰/۹	۵/۳
۲۸	۱۸۲۴	۴/۳	۰/۳	۱/۵	۶۲/۴	۲/۵	۲۷/۰	۵۰/۵	۲/۱	۶/۸	۸/۸	۶/۲	۵/۲	۲/۰	۲/۳	۷/۸
۲۹	۲۶۵۷	۴/۸	۰/۵	۳/۲	۶۶/۲	۲/۴	۲۹/۹	۶۰/۵	۵/۲	۲۲/۳	۴/۹	۳/۴	۲/۵	۲/۸	۰/۹	۱۱/۱
۳۰	۳۲۸۷	۵/۱	۰/۵	۴/۵	۶۷/۳	۲/۳	۳۰/۶	۶۲/۹	۰/۸	۴/۹	۳/۸	۲/۷	۱/۷	۰/۳	۰/۵	۳/۱
۳۱	۲۸۴۱	۵/۹	۰/۷	۴/۶	۶۹/۹	۲/۰	۲۹/۷	۷۳/۲	۰/۸	۳/۴	۲/۸	۱/۹	۱/۷	۰/۵	۰/۶	۴/۴
۳۲	۲۹۱۹	۹/۶	۰/۷	۵/۹	۵۴/۲	۲/۶	۲۴/۶	۵۰/۰	۱/۶	۶/۶	۳/۲	۲/۲	۱/۹	۰/۳	۰/۳	۲/۴
۳۳	۲۴۰۷	۶/۱	۰/۷	۶/۳	۵۳/۲	۲/۲	۲۵/۹	۵۴/۶	۱/۲	۵/۵	۳/۳	۲/۲	۱/۵	۰/۶	۰/۸	۲/۷
۳۴	۳۱۳	۳/۶	۰/۵	۴/۶	۷۴/۹	۴/۳	۵۴/۱	۱۱۵/۰	۱/۸	۷/۹	۲/۷	۱/۳	۳/۱	۰/۲	۰/۵	۶/۰
۳۵	۲۸۰۰	۹/۹	۱/۸	۶/۴	۷۱/۲	۵/۶	۲۴/۶	۷۸/۳	۰/۵	۲/۰	۱۹/۵	۱۸/۳	۹/۳	۱۰/۹	۱۳/۲	۳۸/۰
۳۶	۱۰۵۹	۲۴/۳	۱/۳	۱۰/۱	۴۴/۲	۲/۵	۲۱/۹	۴۴/۹	۰/۷	۳/۶	۲/۵	۱/۶	۱/۲	ND	۰/۴	۱/۷
۳۷	۲۵۱	۱۳/۹	۱/۴	۱۱/۰	۳۷/۰	۱/۷	۱۹/۳	۴۲/۵	۲/۲	۹/۶	۱/۲	۰/۸	۱/۳	۰/۳	۰/۸	۰/۷
۳۸	۲۵۸	۶/۷	۰/۶	۵/۳	۳۶/۳	۱/۸	۱۵/۲	۳۱/۶	۲/۳	۹/۲	۲/۰	۱/۴	۰/۹	۰/۲	ND	۱/۴
۳۹	۲۷۷۳	۶/۹	۰/۷	۵/۴	۶۵/۱	۳/۶	۲۴/۸	۴۵/۲	۱/۱	۵/۲	۴/۳	۳/۰	۲/۵	۰/۹	۱/۱	۳/۴
۴۰	۱۱۳	۸/۱	۰/۶	۵/۸	۲۵/۳	۱/۵	۱۵/۴	۳۲/۰	۲/۱	۱۴/۲	۱/۵	۰/۸	۱/۰	۰/۲	ND	۰/۹
۴۱	۵۱۴	۶/۰	۰/۶	۵/۳	۳۲/۷	۱/۷	۲۱/۴	۴۲/۵	۱/۹	۲۴	۲/۷	۱/۶	۲/۱	۰/۲	۰/۹	۱/۴
۴۲	۳۱۹۵	۵/۱	۰/۵	۵/۱	۵۰/۵	۲/۴	۲۷/۱	۵۲/۴	۲/۰	۶/۶	۳/۷	۲/۳	۳/۱	۱/۱	۱/۶	۳/۴

ND: Non detected; Na: Naphtalene; Acy: Acenaphthylene; Ace: Acenaphthene; Fl: Fluorene; Ph: Phenanthrene; An: Anthracene; Fl: Fluoranthene; Pyr: Pyrene; BaA: Benzo[a]anthracene; Chr: Chrysene; BbF: Benzo[b]fluoranthene; BkF: Benzo[k]fluoranthene; BaP: Benzo[a]pyrene; IP: Indeno [1,2,3-cd] pyrene; DahA: Dibenzo[a,h]anthracene; Bghi: Benzo[ghi]perylene

جدول شماره ۲: مقایسه غلظت ترکیبات لیست EPA (Environmental Protection Agency) با استاندارد

ترکیبات	نام اختصاری	ERL	ERM	غلظت در نتایج مطالعه حاضر (نانوگرم بر گرم)		
				میانگین ±انحراف معیار	بیشینه	کمینه
Naphtalene	Na	۱۶۰	۲۱۰۰	۱۲۷۴/۵ ± ۱۸۳/۵	۴۷۵۳/۷	۱۱۲/۷
Acenaphthylene	Acy	۴۴	۶۴۰	۸/۸ ± ۰/۶	۲۴/۳	۳/۲
Acenaphthene	Ace	۱۶	۵۰۰	۰/۹ ± ۰/۱	۲/۲	۰/۳
Fluorene	Flu	۱۹	۵۴۰	۷/۱ ± ۰/۵	۱۹/۲	۱/۵
Phenanthrene	Ph	۲۴۰	۱۵۰۰	۵۴/۹ ± ۲/۱	۷۷/۹	۱۹/۸
Anthracene	An	۸۵۳	۱۱۰۰	۲/۸ ± ۰/۲	۵/۶	۰/۹
Fluoranthene	Fl	۶۰۰	۵۱۰۰	۲۸/۱ ± ۱/۷	۵۷/۱	۱۰/۸
Pyrene	Pyr	۶۶۵	۲۶۰۰	۶۷/۲ ± ۶/۲	۲۶۷/۸	۲۱/۹
Benzo[a]anthracene	BaA	۲۶۱	۱۶۰۰	۱/۵ ± ۰/۱	۵/۲	۰/۳
Chrysene	Chr	۳۸۴	۲۸۰۰	۷/۵ ± ۰/۷	۲۴/۰	۲/۰
Benzo[b]fluoranthene	BbF	NA	NA	۴/۱ ± ۰/۵	۱۹/۵	۱/۲
Benzo[k]fluoranthene	BkF	NA	NA	۲/۸ ± ۰/۴	۱۸/۳	۰/۸
Benzo[a]pyrene	BaP	۴۳۰	۱۶۰۰	۲/۵ ± ۰/۳	۹/۳	۰/۶
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	IP	NA	NA	۰/۸ ± ۰/۳	۱۰/۹	۰/۲
Dibenzo[a,h]anthracene	DahA	۶۳/۴	۲۶۰	۱/۰ ± ۰/۳	۱۳/۲	۰/۲
Benzo[ghi]perylene	Bghi	NA	NA	۵/۴ ± ۱/۱	۳۸/۰	۰/۷
مجموع ۱۶ PAHs	مجموع PAHs	۴۰۰۰	۴۴۷۹۲	۱۴۷۰/۰ ± ۱۵۷/۰	۵۲۲۷/۹	۲۲۲/۱

NA: Not available; PAHs: Polycyclic aromatic hydrocarbons; ERL: Effects range low; ERM: Effects rang median

غلظت PAHs با استاندارد در جدول شماره ۲ آمده است.

PAHs از طریق فرایندهای طبیعی و منابع انسانی وارد محیط می‌شوند، اما منابع عمده PAHs در محیط زیست، منابع انسانی است که خود به دو گروه منابع پتروژنیک (نفتی) و منابع پایروژنیک (سوختی) تقسیم می‌گردند (۱۶). منابع پتروژنیک شامل نفت خام و فرآورده‌های نفتی می‌باشد که از طریق ریزش‌های نفتی و عملیات معمولی تانکرها (مثل تخلیه آب توازن) به صورت مستقیم وارد محیط‌های دریایی می‌شوند، اما منابع پایروژنیک از احتراق ناقص مواد آلی مثل زغال، نفت و چوب به وجود می‌آیند و از طریق فرایندهایی مانند بهره‌برداری‌های صنعتی، نیروگاه‌های برق، ذوب‌کاری‌ها، زباله‌سوزی‌ها، وسایل نقلیه و آتش‌سوزی جنگل‌ها ابتدا به صورت گاز یا دوده به اتمسفر وارد می‌شوند و سرانجام از طریق ریزش‌های مستقیم اتمسفری و رواناب‌های سطحی به محیط‌های دریایی راه می‌یابند.

نفتالین ساده‌ترین ترکیب PAH با دو حلقه بنزنی است. نتایج نشان داد که این ترکیب درصد بالایی از کل ترکیبات PAH را به خود اختصاص می‌دهد. وجود این ترکیب در غلظت بالا می‌تواند ما را به پتروژنیک بودن منشأ ورود PAHs به منطقه رهنمون سازد. نفتالین همچنین در سطح خیلی بالا و در رسوبات جمع‌آوری شده از دریای جنوب چین، دریای Beaufort و رسوبات خلیج Cook مشاهده شده است (۱۸، ۱۷). مطالعات قبلی به این موضوع اشاره داشت که نفتالین در کل از فعالیت‌های انسانی به ویژه ورود نفت دریافت می‌گردد؛ چرا که نفتالین بخش عمده نفت خام و فرآورده‌های نفتی سبک را تشکیل می‌دهد و می‌تواند به عنوان شاخص بسیار مهمی از منشأ نفتی آلودگی PAHs باشد.

اقتصادی و همکاران در زمینه هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در سواحل شمالی خلیج فارس مطالعه‌ای انجام دادند که نتایج آن حاکی از غلظت بالای نفتالین در این سواحل بود که می‌تواند نتایج به دست آمده از این تحقیق را مورد تأیید قرار دهد (۱۹). به علت نقطه جوش کم تا متوسط نفتالین، این ترکیب سمی‌ترین و در دسترس‌ترین جزء نفت برای موجودات دریایی می‌باشد (۲۱، ۲۰). نفتالین می‌تواند در غلظت‌های بالا، سبب

تحریک رفتار موجودات دریایی شود (۲۴-۲۲). همچنین نسبت ضریب اکتانول به آب کم نفتالین (۳/۴۵-۳/۰۱) اشاره به این نکته دارد که این ترکیب آب‌گریزی متوسطی دارد؛ بنابراین هم تمایل دارد که جذب ذرات معلق شود و هم در دسترس موجودات دریایی قرار گیرد (۲۵).

ترکیبات PAH با ضریب اکتانول به آب کم (مثل نفتالین)، به علت حلالیت زیاد در آب به عنوان ترکیباتی که به طور مستقیم برای موجودات دریایی سمیت دارند، در نظر گرفته می‌شوند (۲۶). ترکیبات PAHs با ضریب اکتانول به آب بالا [(Kow > ۵ (Octanol-Water)] جزء ترکیبات آب‌گریز در نظر گرفته می‌شوند و بیشتر تمایل دارند تا جذب رسوبات گردند. نام و خصوصیات برخی از مهم‌ترین ترکیبات PAH در جدول شماره ۳ آمده است.

اقتصادی و همکاران، توزیع و منشأ PAH را در خلیج فارس مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آنان رسوبات چهار جزیره به نام‌های کیش (فعال‌ترین جزیره توریستی در خلیج فارس)، خارک (فعال‌ترین مکان بارگیری و استخراج نفت)، هرمز (محل عبور روزانه حدود ۱۰۰ نفت‌کش) و قبر ناخدا (جزیره‌ای غیر مسکونی و بدون آثار مستقیم انسانی) که از لحاظ توسعه و دخالت انسانی متفاوت بودند، مورد تحلیل قرار گرفت و ۱۶ ترکیب لیست اولویت EPA در آن‌ها بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که آلودگی در منطقه از یک منبع نفتی منشأ می‌گیرد (۱۹).

اقتصادی عراقی و همکاران، آلودگی ترکیبات PAH در رسوبات جزیره کیش و نوعی صدف به نام *Pinctada margaritifera* را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ۱۶ ترکیب لیست اولویت آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مطالعه آنان، غلظت این ترکیبات در رسوبات بین ۱۶۱/۶۹-۸/۹۵ نانوگرم بر گرم وزن خشک و برای صدف‌ها بین نانوگرم بر گرم ۷۷/۶۶-۰/۷ وزن تر بود. با مقایسه غلظت این ترکیبات در رسوب و صدف مشخص شد که ترکیبات سبک وزن PAHs در صدف تجمع زیستی پیدا کرده‌اند؛ این اتفاق به این دلیل است که ترکیبات سبک وزن

جدول شماره ۳: نام و برخی از خصوصیات ترکیبات PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon) لیست EPA (Environmental Protection Agency)

نام ترکیبات	Kow	فرمول مولکولی	وزن مولکولی	نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	نقطه جوش (درجه سانتی‌گراد)	جهش‌زا	سرطان‌زا
Naphtalene	۳/۲۹	C۱۰H۸	۱۲۸	۷۸	۲۱۸	-	?
Acenaphthylene	۳/۹۱	C۱۲H۸	۱۵۲	۹۵	۲۷۷/۵	?	?
Acenaphthene	۳/۹۲	C۱۲H۱۰	۱۵۶	۹۵	۲۷۷/۵	?	?
Fluorene	۳/۹۷	C۱۳H۱۰	۱۶۶	۱۱۶	۲۹۴	-	-
Phenanthrene	۴/۵۳	C۱۴H۱۰	۱۷۸	۱۰۰	۳۳۶	?	?
Anthracene	۴/۵۴	C۱۴H۱۰	۱۷۸	۲۱۸	۳۵۴	+	+
Fluoranthene	۵/۲۲	C۱۶H۱۰	۲۰۲	۱۰۵	۳۸۲	+	+
Pyrene	۶/۰۴	C۱۶H۱۰	۲۰۲	۱۴۶	۴۰۴	?	?
Chrysene	۵/۸۱	C۱۸H۱۲	۲۲۸	۲۵۳	۴۴۸	+	+
Benzo (a) anthracene	۶/۳۵	C۱۸H۱۲	۲۲۸	۱۶۰/۷	۴۲۵	+	+
Benzo (k) fluoranthene	۶/۴۱	C۲۰H۱۲	۲۵۲	۲۱۶	۴۸۰	+	+
Benzo[b]fluoranthene	۶/۴۳	C۲۰H۱۲	۲۵۲	۱۶۸	۴۸۱	+	+
Dibenzo[a,h]anthracene	۶/۵۰	C۲۲H۱۴	۲۷۸	۲۶۷	۵۲۴	+	+
Benzo (a) pyrene	۶/۵۳	C۲۰H۱۲	۲۵۲	۱۷۸	۴۹۶	+	+
Benzo[ghi]perylene	۶/۶۳	C۲۲H۱۲	۲۷۶	۲۷۸	۵۴۲	+	-
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	۶/۶۵	C۲۲H۱۲	۲۷۶	۱۶۴	۵۳۶	+	+

Kow: Octanol-Water

PAHs در آب محلول‌تر هستند و این باعث می‌شود دسترسی زیستی صدف به آن‌ها بیشتر از ترکیبات سنگین وزنی باشد که بیشتر در رسوب تجمع می‌یابند. همچنین مقایسه داده‌ها با دیگر مناطق دریایی جهان مشخص کرده است که آلودگی به ترکیبات PAH در خلیج فارس بین کم تا متوسط می‌باشد (۲۷).

بنزو(آ) پایرن با ۵ حلقه بنزنی، خطرناک‌ترین ترکیب PAH شناخته می‌شود. این ترکیب به علت خواص سرطان‌زایی، جهش‌زایی، سرکوب سیستم ایمنی، تخریب DNA (Deoxyribonucleic acid) سلول و همچنین اختلال در رشد طبیعی جنین، به عنوان شاخص آلودگی ترکیبات PAH در نظر گرفته می‌شود (۵). بر اساس استاندارد LDEQ (Louisiana Department of Environmental Quality)، حد مجاز این آلاینده در رسوب ۳۳۰ نانوگرم بر گرم می‌باشد که مقدار این آلاینده در مطالعه حاضر بسیار پایین‌تر از این مقدار به دست آمد. همبستگی بالایی ($P = ۰/۰۰۱$ و $r = ۶۸$) بین PAHs کل و ترکیب بنزو(آ) پایرن حاصل شد که این همبستگی بالا می‌تواند این ترکیب را به عنوان یک شاخص بسیار خوب از آلودگی محیط به ترکیبات PAH معرفی کند.

در تحقیق حاضر معلوم شد که غلظت تمام ترکیبات PAHs به جز نفتالین پایین‌تر از حد آستانه مجاز می‌باشد، اما غلظت نفتالین بالاتر از حد مجاز سازمان EPA ارزیابی گردید؛ بنابراین به علت سمیت و دسترسی زیستی بالایی که این ترکیب برای موجودات دارد، پیشنهاد می‌گردد مطالعه دقیق‌تری در این رابطه در منطقه انجام گیرد. با توجه به این‌که منشأ اصلی ورود PAHs به این منطقه، ریزش مستقیم نفت تشخیص داده شد؛ پس مدیریت حمل و نقل دریایی می‌تواند از آلودگی این منطقه بکاهد. به عنوان یک راه‌حل، استفاده از تعداد کمی نفت‌کش بزرگ به جای تعداد زیادی نفت‌کش کوچک، می‌تواند یک راه‌حل عملی مفیدی در کاهش آلودگی نفتی منطقه باشد. همچنین از آن‌جا که بزرگ‌ترین آلودگی‌های نفتی رخ داده در منطقه خلیج فارس ناشی از جنگ‌های صورت گرفته در منطقه می‌باشد؛ از این‌رو کاهش تنش‌ها و مشاجرات سیاسی بین کشورها در آینده می‌تواند از فجایع عظیم آلودگی در منطقه جلوگیری به عمل آورد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از مسؤولین محترم آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس که امکانات آزمایشگاهی این تحقیق را فراهم نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

References

1. Ke L, Wong TW, Wong YS, Tam NF. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in a mangrove swamp in Hong Kong following an oil spill. Mar Pollut Bull 2002; 45(1-12): 339-47.
2. Al-Yakoob SN, Saeed T, Al-Hashash H. Polycyclic aromatic hydrocarbons in fish: Exposure assessment for Kuwaiti consumers after the gulf oil spill of 1991. Environment International 1994; 20(2): 221-7.
3. Colombo JC, Barreda A, Bilos C, Cappelletti N, Migoya MC, Skorupka C. Oil spill in the Rio de la Plata estuary, Argentina: 2-hydrocarbon disappearance rates in sediments and soils. Environ Pollut 2005; 134(2): 267-76.
4. Neff JM. Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water. Philadelphia, PA: Elsevier; 2002.
5. Esmaili Sari A. Pollution Health and Environmental Standards. 1st ed. Tehran, Iran: Naghsh Mehr Publications; 2003. (Persian).
6. Tam NF, Ke L, Wang XH, Wong YS. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamps. Environ Pollut 2001; 114(2): 255-63.
7. Khan NY, Munawar M. The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability. Leiden, Netherlands: Backhuys p. 3-21; 2002.
8. Khan NY, Al-Ajmi DA. Post-war imperatives for the sustainable management of the Gulf ecosystem. Environment International 1998; 24(1-2): 239-48.
9. Tolosa I, de Mora SJ, Fowler SW, Villeneuve JP, Bartocci J, Cattini C. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. Mar Pollut Bull 2005; 50(12): 1619-33.
10. Braulik G, Ranjbar S, Owfi F, Aminrad T, Dakhteh MH, Kamrani E, et al. Marine mammal records from Iran. J Cetacean Res Manage 2009; 11(1): 49-63.
11. Literathy P. Considerations for the assessment of environmental consequences of the 1991 gulf-war.

Marine Pollution Bulletin 1993; 27: 349-56.
12. Rezaie-Atagholipour M, Riyahi-Bakhtiari A, Sajjadi M, Yap CK, Ghaffari S, Ebrahimi-Sirizi Z, et al. Metal concentrations in selected tissues and main prey species of the annulated sea snake (Hydrophis cyanocinctus) in the Hara Protected Area, northeastern coast of the Persian Gulf, Iran. Mar Pollut Bull 2012; 64(2): 416-21.
13. Zakaria MP, Takada H, Tsutsumi S, Ohno K, Yamada J, Kouno E, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs. Environ Sci Technol 2002; 36(9): 1907-18.
14. Riyahi Bakhtiari A, Zakaria MP, Yaziz MI, Hj Lajis MN, Bi X, Rahim MC. Vertical distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in anoxic sediment cores of Chini Lake, Malaysia: Perylene as indicator of land plant-derived hydrocarbons. Applied Geochemistry 2009; 24(9): 1777-87.
15. Long ER, Macdonald DD, Smith SL, Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 1997; 19(1): 81-97.
16. Boonyatumanond R, Wattayakorn G, Togo A, Takada H. Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediments in Thailand. Mar Pollut Bull 2006; 52(8): 942-56.
17. Yang GP. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the South China Sea. Environ Pollut 2000; 108(2): 163-71.
18. Venkatesan MI, Kaplan IR. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the alaskan outer continental shelf. Geochimica et Cosmochimica Acta 1982; 46(11): 2135-49.
19. Eghtesadi P, Riazi G, Taghikhani M, Siadat SO. Distribution and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Northern Persian Gulf as Indicated by Kinetic and Thermodynamic Criteria. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 2002; 69(5): 704-11.
20. Anderson JW, Neff JM, Cox BA, Tatem HE, Hightower GM. Characteristics of dispersions and water-soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. Marine Biology 1974; 27(1): 75-88.
21. Moore SF. Effects of oil on marine organisms: A critical assessment of published data. Water Research 1974; 8(10): 819-27.
22. Hargrave BT, Newcombe CP. Crawling and Respiration as Indices of Sublethal Effects of Oil and a Dispersant on an Intertidal Snail Littorina littorea. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 1973; 30(12): 1789-92.
23. Lindén O. Sublethal effects of oil on mollusc species from the Baltic Sea. Water, Air, and Soil Pollution 1977; 8(3): 305-13.
24. Nagarajah N, Antonette Sophia AJ, Balasubramanian T. Behaviour of some intertidal molluscs exposed to water soluble fractions of diesel. Marine Pollution Bulletin 1985; 16(7): 267-71.
25. Environment Agency, Bates KL, Young W, Sutton AJ. Proposed Environmental Quality Standards for Naphthalene in Water. Rotherham, UK: Environment Agency; 1997. p. 54.
26. Sverdrup LE, Nielsen T, Krogh PH. Soil ecotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in relation to soil sorption, lipophilicity, and water solubility. Environ Sci Technol 2002; 36(11): 2429-35.
27. Eghtesadi-Araghi P, Haffner P, Drouillard K, Maghsoudlou W. Polycyclic aromatic hydrocarbons contaminants in Black-lip (Pearl) Oyster Pinctada margaritifera from Kish Island (Persian Gulf). Iranian Fisheries Research Organazation 2011; 10(1): 25-34. (Persian).