



فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

۲۱۷-۲۳۲

## ارزیابی هیدروکربنهای آروماتیک چند حلقه ای در رسوب‌های سطحی سواحل منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، (بندر عسلویه)

سامان رستمی، حسن امینی راد\* و عزیر عابسی

گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۷

رستمی، س. امینی راد و ح. عابسی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی هیدروکربنهای آروماتیک چند حلقه ای در رسوب‌های سطحی سواحل منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، (بندر عسلویه). فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۳): ۲۱۷-۲۳۲.

**سابقه و هدف:** فعالیت‌های اکتشافی استخراجی و پالایشگاهی در طول سالیان اخیر زیان‌های زیادی به محیط‌زیست خلیج فارس وارد کرده است. در تحقیق حاضر منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس در بخش شمالی خلیج فارس که محل تجمع انبوه تأسیسات استخراج، پالایش، فرآوری و صادرات نفت و گاز است مورد بررسی قرار گرفته است. همه‌ساله میزان‌های متنابهی از انواع آلاینده‌های نفتی به ساحل‌های خلیج فارس در این محدوده سرازیر می‌شود. هدف از این تحقیق، تعیین پراکنش و منبع دسته‌ای از آلاینده‌های نفتی خطرناک، تحت عنوان هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در محدوده بندر عسلویه است.

**مواد و روش‌ها:** تعداد ۱۵ نمونه در اسفندماه سال ۱۳۹۴ با استفاده از نمونه‌بردار گریپ ون وین در ۵ نیم‌خط به صورت عمود بر ساحل در محدوده‌ی فازهای ۱ تا ۵ منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس برداشت شده است. رسوب‌ها در فویل‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها توسط دستگاه فریزدرایر خشک شده و ذرات رسوبی ریزدانه ( $\leq 63\mu\text{m}$ ) که به دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا، قابلیت بیشتری برای جذب آلاینده‌ها دارند، با استفاده از روش فیزیکی غربال شدند. در نهایت ۱۶ ترکیب از هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای که از نظر آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا سمی شناخته شده‌اند توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی مورد خوانش قرار گرفت. به این ترتیب میزان حضور این آلاینده‌ها در منطقه مشخص و پراکنش جغرافیایی این ترکیب‌ها در سیستم اطلاعات مکانی با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS ترسیم و منبع ترکیب‌های آروماتیک مشاهده ای نیز به کمک شاخص‌های توسعه داده شده تعیین گردید.

**نتایج و بحث:** مجموع غلظت ۱۶ ترکیب آروماتیک چند حلقه‌ای مورد تأکید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در ایستگاه‌های مورد بررسی در گستره‌ی ۴۶/۶ تا ۸۴/۷ نانوگرم بر گرم وزن خشک تعیین شده است. منشأ این ترکیب‌ها به کمک شاخص‌های توسعه داده شده پتروژنیک یا فسیلی تشخیص داده شده است. ریسک محیط زیستی حضور این ترکیب‌ها در رسوب‌ها نیز با کمک راهبرد کیفی رسوب‌های ایالت فلوریدا تعیین و مشخص گردید. به‌جز Naphthalene و Acenaphthene، سطح غلظت دیگر هیدروکربن‌های مورد آزمایش پایین‌تر از سطح آثار آستانه‌ای می‌باشد. سطح آستانه‌ای، غلظتی است که پایین‌تر از آن، تاثیرهای بیولوژیکی زیان‌بار در موجوداتی کف زی به‌ندرت مشاهده می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** مجموع غلظت ترکیب‌های ۱۶ گانه PAHs در سطح منطقه بیانگر آن بوده است که غلظت هیچیک از ترکیب‌ها از دامنه پایین تاثیرها تجاوز نکرده بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمال رخداد آثار مضر و زیان‌بار برای موجودات کف زی در این منطقه و به طبع آن برای دیگر موجودات زنجیره غذایی و انسان در انتهای زنجیره کم است. با توجه به شدت بالای رسوب‌گذاری و فرسایش و منشأ فسیلی آلاینده‌های مشاهده شده در سطح منطقه، آلودگی‌های پیشین شاید زیرلایه‌های رسوبی مدفون شده‌اند، به این دلیل ورود پیوسته آلودگی تاکنون نتوانسته سبب آلودگی شدید رسوب‌های سطحی گردد.

**واژه‌های کلیدی:** بندر عسلویه، خلیج فارس، رسوب‌های سطحی، راهبرد کیفی رسوب، هیدروکربن‌های نفتی.

## مقدمه

پسماندهای صنعت‌های نفتی ساحلی و فراساحلی در کنار منبع‌های محتمل بیولوژیکی و طبیعی، مهمترین منابع-های ورود آلاینده نفتی به رسوبات دریایی در محدوده‌ی بندر عسلویه به شمار می‌روند (Effimoff, 2000). همچنین اجرای طرح‌های عمرانی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، آثار زیان‌باری برای منطقه داشته که در ادامه، به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. استحصال بیش از ۳۰۰ هکتار زمین از دریا برای احداث بندرهای خدماتی و پتروشیمی سبب ایجاد وقفه در سیکل حیات آبزیان و از بین رفتن بسترهای طبیعی فون و فلور در منطقه‌های جزر و مدی که عامل اصلی تغذیه آبزیان منطقه بوده، گردیده است. هم‌جواری این منطقه با جامعه درختی (جنگل‌های حرا) که آخرین پراکنش جهانی آن در ایران و در استان بوشهر است، می‌تواند تهدید کننده و بسیار خطرناک باشد. تخلیه پساب‌های صنعتی ناشی از فعالیت پالایشگاه‌های گاز، واحدهای پتروشیمی و دیگر واحدهای فعال منطقه و ورود سیلاب‌های آلوده در آب‌های ساحلی سبب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی محیط زیست دریایی شده و همچنین تأثیر مستقیم بر موجودات آبزی آن دارد. با توجه به اینکه خلیج فارس یک دریای نیمه بسته در جهان محسوب می‌شود و همچنین با توجه به چرخش طبیعی آن و کندی جریان‌های آبی در دریا از جنوب به شمال و از ساحل‌های بوشهر به سمت ساحل‌های استان‌های واقع در شمال استان بوشهر و برگشت آن از ساحل‌های کشورهای حوزه جنوب خلیج فارس، بنابراین نقطه‌های ساحلی بر اثر پراکندگی مواد

خلیج فارس دریایی است که بین رشته‌کوه زاگرس در شمال و صفحه‌ی عربی در جنوب واقع شده است. طول آن در حدود ۸۰۰ کیلومتر و عرض آن ۱۱۵-۱۸۵ کیلومتر بوده و سطحی در حدود ۲۳۷۴۷۳ کیلومترمربع را می‌پوشاند. عمق آن به‌طور متوسط حدود ۳۵ متر و عمیق‌ترین نقطه‌ی آن در تنگه هرمز در حدود ۱۰۰ متر است. این دریا از طریق تنگه هرمز با عرض حدود ۵۳ کیلومتر با دریای عمان در ارتباط است. محدوده‌ی مورد مطالعه (بندر عسلویه) در بخش شمالی خلیج فارس و در جنوب شرقی بندر بوشهر و بین طول‌های جغرافیایی (E)  $27^{\circ} 27' 26''$  و  $29^{\circ} 29' 52''$  و عرض‌های جغرافیایی (N)  $27^{\circ} 27' 7/88''$  و  $27^{\circ} 33' 9/55''$  قرار دارد. محدوده‌ی مورد مطالعه با نام منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی انرژی پارس در دنیا شناخته می‌شود. انبوه تأسیسات استخراج، پالایش، فرآوری و صادرات نفت و گاز که این بندر را محصور نموده است، همه‌ساله میزان متنابهی از انواع آلاینده‌های نفتی را به ساحل‌های این بندر وارد می‌سازند. مجموعه فعالیت‌های مرتبط با استخراج و انتقال نفت خام شامل حفاری چاه‌های نفتی، تأسیسات فراساحلی استخراج و شیرین‌سازی نفت و گاز، انفجارها و آتش‌سوزی‌های محتمل در خط لوله و چاه‌های نفت، سرریز از چاه‌ها، تصادف‌کشتی‌ها و نفت‌کش‌ها، نشت و ورود سهوی نفت خام و فرآورده‌های نفتی حین بارگیری و تخلیه، تخلیه آب تعادل و آب خن (آب موتورخانه و شستشو) کشتی‌ها و شناورها، نشست هیدروکربن‌های ناشی از سوخت ناقص گاز همراه نفت، تخلیه پساب‌ها و

مشاهده شده در محیط آب و رسوب ماهیتاً از دو منبع طبیعی یا تولیدهای بیولوژیکی (Biogenic) و فعالیت‌های انسانی (anthropogenic) سرچشمه می‌گیرند (Abessi and Saeedi, 2010b). هیدروکربن‌های بیولوژیکی در محیط دریا بر اثر سنتز این ترکیب‌ها توسط پلانکتون‌ها، گیاهان، باکتری‌ها، جلبک‌ها و سوخت و تجزیه زیست‌توده‌های جانوری و گیاهی تولید می‌شوند. هیدروکربن‌های نفتی با منبع فعالیت‌های انسانی اما بر اثر نشت و ورود نفت خام و ترکیب‌های فرآوری شده آن (petrogenic) و یا ورود باقیمانده‌های ناشی از احتراق ناقص نفت (pyrogenic)، تولید و وارد محیط می‌گردند. هیدروکربن‌های ناشی از لکه‌های نفتی با ورود به دریا با هیدروکربن‌های زمین‌ای یا ترکیب‌های بیولوژیکی از پیش موجود در محیط مخلوط می‌گردند، از این رو در بررسی آلودگی‌های نفتی رسوب‌های دریایی، افزون بر تعیین غلظت و پراکندگی انواع هیدروکربن‌ها در محیط رسوبی، تشخیص و تفکیک منبع هیدروکربن‌های مشاهده‌ای نیز امری ضروری تلقی می‌شود. در بررسی آلودگی نفتی با تفکیک هیدروکربن‌های طبیعی و زمین‌ای شکل‌گرفته از سنتز بیولوژیکی از هیدروکربن‌های مشاهده‌ای با منبع نفت‌های فسیلی، امکان بررسی منبع و نوع آلاینده‌های ورودی به رسوب‌ها برای انجام اقدام‌های کنترلی به نحو مطلوب‌تری ممکن خواهد شد (Commendatore *et al.*, 2000). تاکنون بررسی‌های بیشماری، روی آلاینده‌های آروماتیک چند حلقه‌ای صورت گرفته است. این بررسی‌ها بطور عمده میدانی و با نمونه برداری از رسوب‌های سطحی دریا و پردازش و خوانش آن در آزمایشگاه‌های مجهز انجام گرفته است. (Ranjbar Jafarabadi *et al.*, 2017) غلظت PAHs را در جزیره‌های خلیج فارس در محدوده ۲۷۴ تا ۱۰۸۹ نانوگرم در گرم گزارش نموده است. (Wang *et al.*, 2001) غلظت PAHs در بندر Boston در ایالات متحده را در محدوده‌ی ۷۳۰۰ تا ۳۵۸۰۰۰ نانوگرم در گرم،

شیمیایی، فشار و گرما و تاثیر اشعه ماوراء بنفش و انتشار ذرات ریز معلق سبب ماندگاری مواد آلاینده در ساحل‌های ناپسند می‌گردد. سوزاندن گازهای ترش و افزایش تعداد مشعل‌های گازسوز در منطقه سبب افزایش گرمای محیط و انتشار میزان قابل توجه گازهای  $\text{NO}_x$ ،  $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{CO}_x$ ،  $\text{SO}_x$  در محیط زیست انسانی منطقه می‌شود (Rostami *et al.*, 2019).

نفت خام کمپلکس پیچیده‌ای از مخلوط صدها نوع ترکیب مختلف، به‌ویژه هیدروکربن، می‌باشد و میزان کمی از عنصرها مانند نیتروژن سولفور و فلزهای سنگین مانند، نیکل و وانادیم و ... نیز در نفت خام یافت می‌شوند. تاکنون بیش از ۱۷۵ هیدروکربن از نفت جداسازی شده است که از این تعداد ۱۰۸ مورد، ترکیب‌های آلیفاتیک اشباع‌شده و بقیه آروماتیک هستند. هیدروکربن‌های آلیفاتیک، ترکیب‌های شاخه‌ای و ساده نفت محسوب شده که برحسب تعداد اتم‌های کربنشان دسته‌بندی می‌شوند. ولی هیدروکربن‌های آروماتیک ترکیب‌هایی حلقوی با ۲ الی ۶ حلقه بنزنی هستند که برحسب تعداد حلقه‌هایشان دسته‌بندی می‌شوند. هیدروکربن‌های آروماتیک که تنها ۲ درصد حجم نفت خام را شامل می‌شوند، دارای نقطه‌جوش پایین و ساختار پیچیده‌تری نسبت به دیگر هیدروکربن‌ها می‌باشند. این ترکیب‌ها مهمترین آلاینده‌های موجود در نفت خام محسوب می‌شوند و تاثیر مخرب آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست تاکنون بارها مورد تأکید قرار گرفته است (Abessi and Saeedi, 2010a). این ترکیب‌ها در بافت عضلانی بدن موجودهای دریایی وارد شده و چنانچه وارد زنجیره غذایی انسان گردند می‌تواند بروز انواع بیماری‌ها، سرطان و جهش ژنتیکی در انسان را به دنبال داشته باشند. در غلظت‌های بالای مواد نفتی این مواد می‌توانند سبب مسمومیت و مرگ فوری موجودهای دریایی و خالی شدن منطقه از هرگونه حیات گیاهی و جانوری شوند. جدا از نوع هیدروکربن مشاهده‌ای، ترکیب‌های آلیفاتیک و آروماتیک

نقطه‌های حفاظت شده، حساس و ضربه پذیر نسبت به آلاینده‌های مختلف (خوربات و جنگل‌های حرا)، توجه به موازین محیط زیستی و اقلیمی منطقه مورد نظر، مدنظر قرار دادن موقعیت استقرار کانون‌های آلاینده مختلف نظیر صنعت‌ها و تأسیسات ساحلی (آب شیرین کن‌ها، اسکله تخلیه و بارگیری کالا و مواد)، در نظر گرفتن صنعت‌هایی که به نحوی خروجی آن‌ها به دریا تخلیه می‌شود (فاضلاب‌های خروجی فازهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ منطقه ویژه، اسکله شرکت هیوندائی و تأسیسات آب شیرین کن- های شرکت هیوندائی و پتروشیمی مبین و ... ) و دسترسی آسان به نقطه‌های مورد بررسی و امکان تردد از راه خشکی و دریا انتخاب شد.

بعد از برداشت نمونه‌ها، رسوب‌ها را در فویل‌های آلومینیومی بسته‌بندی کرده، در کلمن حاوی یخ به آزمایشگاه برده و به پین‌های شیشه‌ای منتقل گردید. نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری شده تا یخ بزنند و بلافاصله بعد از آن برای خشک کردن، در دستگاه فریزدرایر به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. با توجه به تمایل بیشتر آلاینده‌ها به برقراری ارتباط و تجمع در ذرات رسوبی ریزتر، ناشی از سطح ویژه و خاصیت جذب بالاتر این ذرات (Law and Andrulewic, 1983)، با استفاده از روش غربال فیزیکی و روش استاندارد (Prome(2000)، ذرات ریزدانه ( $\leq 63\mu\text{m}$ ) جدا شدند. برای استخراج هیدروکربن‌های آلی از فاز رسوب از روش سوکسله<sup>۱</sup> استفاده گردید. بدین منظور میزان ۱۰ گرم از هر نمونه را به مدت ۱۲ ساعت در ۲۵۰ ml مخلوط هگزان نرمال دی‌کلرومتان با نسبت حجمی (۱:۱) قرار گرفت. به منظور کنترل کیفیت، استانداردهای داخلی به نمونه‌ها اضافه شد. مواد n-C19-d40 و n-C24-d50 برای ترکیب‌های آلیفاتیک و Naphthalene-d8 و Perylene-d12 و Anthracene-d10 برای ترکیب‌های آروماتیک به نمونه‌ها اضافه شد. به منظور فرآیند گوگردزایی نمونه‌ها، از مس فعال استفاده شد. پس از ۲۴

(1997) Benlahcen et al. این میزان را در خلیج Lazaret فرانسه در بازه ۱۶۰۰ تا ۴۸۰۹۰ نانوگرم در گرم، (1998) Baumard et al. مقدار PAHs در خلیج Arcachon را در محدوده‌ی ۹۰۰ تا ۴۱۰۰ نانوگرم در گرم، (2002) Magi et al. میزان پارامتر فوق در ساحل‌های دریای آدریانیک را در محدوده ۲۴ تا ۵۰۱ نانوگرم در گرم، (1996) Hong et al. میزان آن را در بندر ویکتوریای هنگ‌کنگ در بازه‌ی ۳۵۰ تا ۴۵۰ نانوگرم در گرم و (1994) Cripps آن را در محدوده جزیره Orkney در قطب جنوب، به عنوان یکی از دورافتاده ترین و شاید از تمیزترین منطقه‌های دنیا، در حدود ۸ تا ۲۸۰ نانوگرم در گرم گزارش کرده‌اند. در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت آلاینده‌های نفتی به عنوان یکی از مهمترین ترکیب‌های زیان‌بار محیط‌زیست و با توجه به اهمیت بندر عسلویه به عنوان پایانه اصلی پالایش و صادرات نفت و گاز در کشور ایران، از طریق انجام نمونه‌برداری از رسوب‌های سطحی اطراف این بندر، نسبت به تعیین وضعیت آلودگی منطقه به هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای اقدام شده است. در کنار تعیین منبع ترکیب‌های مشاهده شده، سعی بودن به کمک راهبرد کیفی رسوب فلوریدا TELS/PELS در نقطه‌های نمونه‌برداری ارزیابی شده تا به این ترتیب درک درستی از میزان آلودگی این ساحل‌ها و وضعیت و ماهیت آلاینده‌های مشاهده شده حاصل شود.

## مواد و روش‌ها

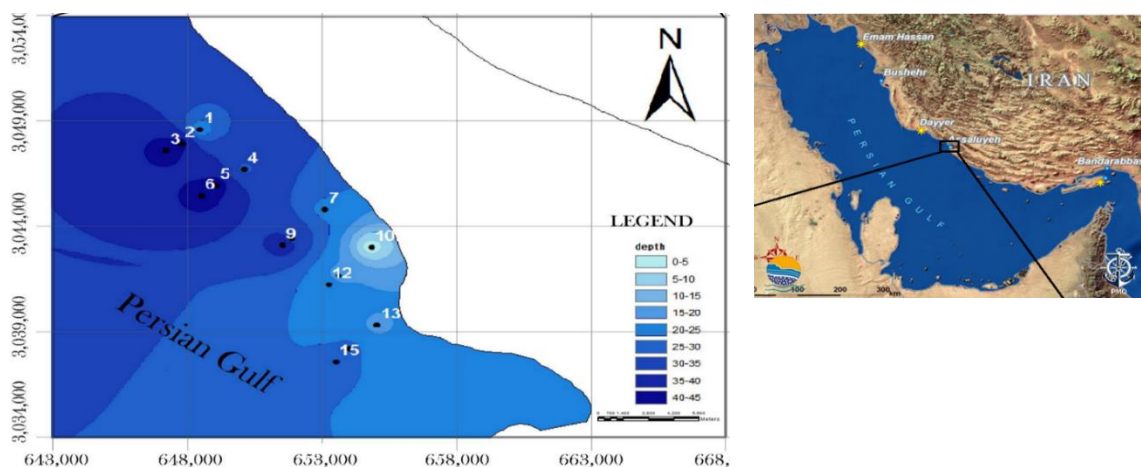
تعداد ۱۵ نمونه در اسفندماه سال ۱۳۹۴ با استفاده از نمونه‌بردار گرپ ون وین (Van Veen Grab Sampler) با سطح مقطع ۲۵ سانتی‌متر مربع در ۵ نیم‌خط به صورت عمود بر ساحل در محدوده‌ی فازهای ۱ تا ۵ منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس برداشت شده است. موقعیت و عمق ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل شماره ۱ و ویژگی‌های آن‌ها در جدول شماره ۱ آورده شده است. ایستگاه‌های نمونه برداری با در نظر گرفتن اولویت‌هایی نظیر موقعیت

چندحلقه‌ای که از نظر آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا سمی شناخته شده‌اند و از این پس در این پژوهش با PAH16 نمایش داده خواهند شد، به وسیله‌ی دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی (GC-MS) انجام پذیرفت. خوانش PAH16 در نمونه‌های رسوب از روش SIM<sup>۲</sup> استفاده شد. در این دستگاه از ستونی به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰,۲۵ میلی‌متر و فاز ساکن با ضخامت ۰,۲۵ میکرومتر استفاده شده است.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری  
Table 1. Location of sampling sites

ایستگاه Station	طول جغرافیایی Longitude (E)	عرض جغرافیایی Latitude (N)
1	52°30' 13.64"	27°33'9.55"
2	52°29' 47.13"	27°32'48.08"
3	52°29' 27.26"	27°32'37.18"
4	52°31' 12.30"	27°32'7.33"
5	52°30' 34.35"	27°31'42.59"
6	52°30' 13.99"	27°31'27.14"
7	52°33' 0.34"	27°31'3.78"
8	52°32' 14.28"	27°30'20.42"
9	52°32' 2.35"	27°30'9.51"
10	52°34' 2.78"	27°30'5.09"
11	52°33' 17.84"	27°29'21.22"
12	52°33' 4.21"	27°29'8.00"
13	52°34' 8.87"	27°28'4.75"
14	52°33' 30.69"	27°27'28.52"
15	52°33' 12.41"	27°27'7.88"

ساعت (در صورت حذف کامل گوگرد) حجم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه تبخیرکننده دوار (Rotary Evaporator) به ۲ ml کاهش داده شد تا آماده‌ی اضافه نمودن به مرحله اول کروماتوگرافی ستونی گردد بدین ترتیب که نمونه‌ها را بر روی ستون سیلیکاژل ۵ درصد غیرفعال شده با آب اضافه نموده و سپس با اضافه نمودن ۲۰ ml مخلوط هگزان نرمال-دی‌کلرومتان با نسبت حجمی (۱:۳)، شرایط خروج از مرحله اول کروماتوگرافی ستونی برای نمونه فراهم گردید. نمونه‌ها را در مرحله‌ی دوم پس از کاهش حجم به ۲-۳ ml با استفاده از دستگاه تبخیرکننده دوار، بر روی ستون کروماتوگرافی حاوی سیلیکاژل کاملاً فعال ریخته و با استفاده از ۱۴ ml مخلوط هگزان نرمال-دی‌کلرومتان با نسبت حجمی (۱:۳)، شرایط خروج PAHs از ستون کروماتوگرافی فراهم گردید. به منظور تزریق نمونه‌ها به دستگاه GC-MS حجم آن‌ها با دستگاه تبخیرکننده دوار و سپس جریان آرام گاز نیتروژن، به ۱ ml کاهش یافت. همه مرحله‌های بالا هم‌زمان برای ۴ نمونه شاهد انجام گرفت. در انتها قبل از تزریق نمونه‌ها به دستگاه GC-MS، ۱۰۰ μl ایزو اکتان حاوی استاندارد داخلی Para-Terphenyl-d14 برای کمی سازی براساس استاندارد داخلی اضافه گردید. تجزیه و تحلیل ۱۶ ترکیب از هیدروکربن‌های آروماتیک



شکل ۱- موقعیت و عمق ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده

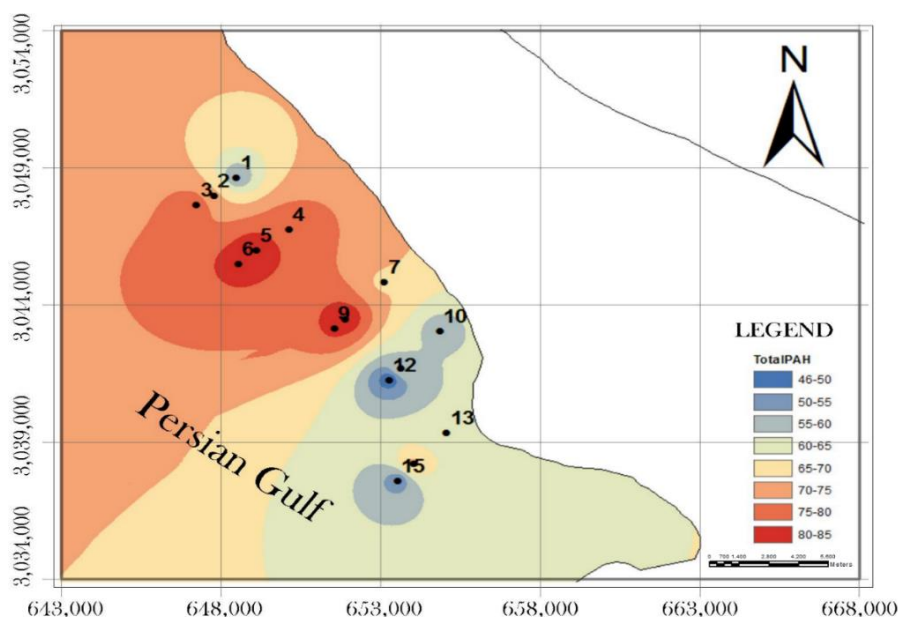
Fig. 1- Location and depth of sampling stations

## نتایج و بحث

### غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای

نتایج نمونه‌برداری انجام شده در سطح منطقه مورد بررسی، میزان تغییرپذیری‌های غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در رسوب‌های نمونه‌برداری شده را در بازه‌ی  $46/6 - 84/7$  ng/g

وزن خشک نشان می‌دهد. این غلظت تنها مربوط به ۱۶ ترکیب PAHs است که از نظر آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا<sup>۳</sup> سمی شناخته شده‌اند. نحوه‌ی پراکنش PAH16 به همراه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل شماره‌ی ۲ آورده شده است.



شکل ۲- غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH16)

Fig. 2- The distribution of the concentration of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons

در میان ترکیب‌های آروماتیک چند حلقه‌ای نفتالن اصلی‌ترین ترکیب حلقوی شناسایی شده در منطقه محسوب شد به نحوی که کم و بیش در همه ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه بخش عمده‌ای از میزان آلودگی، مربوط به این ترکیب بوده است. فراوانی بیشتر ترکیب‌های آروماتیک در محدوده ایستگاه‌های ۱ تا ۱۲ در منطقه غربی بندر و به موازات فازهای ۱ تا ۵ مشاهده شده است در حالی که غلظت‌های نسبی این ترکیب‌ها در دیگر منطقه‌ها کمتر می‌باشد. بر اساس رهنمود کیفیت رسوب NOAA مجموع غلظت ترکیب‌های PAHs بیش از میزان  $4000$  ng/g وزن خشک بیانگر آلودگی شدید و وضعیت سمی محیط رسوبی است در حالی که میزان‌های کمتر از  $100$  ng/g بیانگر نبود آلودگی منطقه به ترکیب‌های آروماتیک چند حلقه‌ای است (Long et al., 1995). Baumard et al., (1998a) برای طبقه‌بندی وضعیت آلودگی رسوب‌ها به ترکیب‌های PAHs، نمونه‌هایی با غلظت  $100-1000$  ng/g را در دسته رسوب‌هایی با آلودگی متوسط دسته‌بندی نموده و رسوب‌های با غلظت بیشتر از  $5000$  ng/g را در دسته رسوب‌های بسیار آلوده قرار داده‌اند (Notar et al., 2001). به طور مشابه محدوده غلظت PAHs بین  $250-500$  ng/g را شاخص آلودگی کم تا متوسط رسوب‌ها و نمونه‌هایی با غلظت PAHs بیشتر از  $500$  ng/g (Total PAH > 500 ng/g) را نشان‌دهنده رسوب‌های آلوده عنوان نموده‌اند. با بررسی مقایسه‌ای

در میان ترکیب‌های آروماتیک چند حلقه‌ای نفتالن اصلی‌ترین ترکیب حلقوی شناسایی شده در منطقه محسوب شد به نحوی که کم و بیش در همه ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه بخش عمده‌ای از میزان آلودگی، مربوط به این ترکیب بوده است. فراوانی بیشتر ترکیب‌های آروماتیک در محدوده ایستگاه‌های ۱ تا ۱۲ در منطقه غربی بندر و به موازات فازهای ۱ تا ۵ مشاهده شده است در حالی که غلظت‌های نسبی این ترکیب‌ها در دیگر منطقه‌ها کمتر می‌باشد. بر اساس رهنمود کیفیت رسوب NOAA مجموع غلظت ترکیب‌های PAHs بیش از میزان  $4000$  ng/g وزن خشک بیانگر آلودگی شدید و وضعیت سمی محیط رسوبی است در حالی که میزان‌های کمتر از

حرارتی مواد آلی و سوخت‌های فسیلی در صنعت‌ها، موتور خودروها و کشتی‌ها و آتش‌سوزی‌های طبیعی به محیط‌زیست وارد می‌شوند (Sporstol *et al.*, 1983; Wakeham *et al.*, 1980). منابع‌های طبیعی PAHs نیز شامل سنتز بیولوژیکی ترکیب‌های PAH توسط گیاهان آوندی خشکی، جلبک‌های تک‌سلولی، فیتوپلانکتون‌های دریایی، احتراق زیست‌توده‌های گیاهی و جانوری و تغییرپذیری‌های فیزیکی و شیمیایی مواد پایه بیولوژیکی حین تبدیل‌های رسوبی در بستر دریا می‌باشند (Laflamme and Hites, 1979; Yunker *et al.*, 2002, Saliot 1981; Neff, 1979; Boulobassi and Saliot, 1993).

در این تحقیق به منظور تعیین منبع‌های آلاینده‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در منطقه از طریق گسترش شاخص‌های موجود نسبت به روندیابی نوع و ماهیت ترکیب‌های مشاهده‌شده در رسوب‌ها اقدام می‌شود. برای تفکیک PAHs فسیلی از احتراقی در رسوب‌های دریایی، شاخص نسبت ترکیب‌های فنانترن<sup>۴</sup> به آنتراسن<sup>۵</sup> (Phen/An) پیشنهاد شد و توسط محققان مختلف (Sicre *et al.* 1987, Benlahcen *et al.* 1997, Neff *et al.*, 2005) مورد استفاده قرار گرفته است. فنانترن از منظر ترمودینامیکی پایدارتر از آنتراسن بوده و نفت خام حاوی میزان بالایی از این ترکیب است. از این رو ترکیب-های PAH ای که در درجه حرارت‌های بسیار بالا در داخل زمین در غالب نفت خام شکل می‌گیرند میزان‌های بالاتری برای کمیت Phen/An از خود نشان می‌دهند (Gui-Peng, 2000). میزان این نسبت در نفت خام بسیار بالا و در حدود ۶۰ گزارش شده است (Yim *et al.* 2007). به‌طور کلی میزان بزرگ‌تر از ۱۰ برای این نسبت ( $Phen/An > 10$ ) به‌عنوان شاخص حضور ترکیب‌های نفتی و میزان کمتر آن به‌عنوان شاخص حضور ترکیب‌های PAH با منبع فعالیت‌های احتراقی عنوان شده است (Steinhauer and Boehm, 1992; Budzinski *et al.*, )

غلظت‌های مشاهده‌شده از ترکیب‌های حلقوی بالا ( $\Sigma 16PAH$ ) با رهنمودهای مورد اشاره مشاهده می‌شود که غلظت این آلاینده‌ها در تمام ایستگاه‌ها کم می‌باشد. اما پایش خط ساحلی خلیج فارس با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور نشان داد که طی ۱۶ سال از ۱۹۹۰ میزان رسوب‌گذاری نسبت به میزان فرسایش حدود ۲ برابر بوده که متأثر از گسترش ساخت‌وسازهای عمرانی و تأسیسات پالایشگاهی و همچنین تأثیر تنگه‌ی هرمز در چرخش آب در این خلیج عنوان شده است (Nayimi, 2009). نرخ بالای رسوب‌گذاری به دلیل تأثیر این فعالیت‌ها سبب شده است تا رسوب‌های جدید جایگزین رسوب‌های قدیمی‌تر شده و این خود می‌تواند دلیلی بر میزان کم آلودگی مشاهده شده با وجود حجم بالای فعالیت‌های نفتی در این محدوده باشد.

### منبع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH)

ترکیب‌های PAH که تنها ۲ درصد حجم نفت خام را تشکیل می‌دهند بیشتر بر اثر احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند اما به‌طور کلی می‌توان آن‌ها را از سه منبع متفاوت فسیلی یا نفتی (Petrogenic/fossil PAHs)، احتراقی (Pyrogenic PAHs) و طبیعی ناشی از تبدیل‌های رسوبی (Diagenetic PAHs) دانست (Wakeham *et al.*, 1980; Youngblood and Blumer, 1975). PAHs فسیلی بطور عمده بر اثر نشت نفت خام یا ترکیب‌های پالایش‌شده آن نظیر گازوئیل، سوخت دیزل و دیگر مواد سوختی از وسایل نقلیه خشکی و کشتی‌ها، پساب‌های صنعتی و بندری، فعالیت‌های استخراج و انتقال نفت خام، انفجار چاه‌ها و لوله‌های انتقال، تصادف نفت‌کش‌ها، تخلیه آب خن و تعادل کشتی‌ها و ... وارد محیط‌زیست می‌شود (Masclat *et al.*, 1986; Youngblood and Blumer, 1975). ولی ترکیب‌های احتراقی PAH بطور عمده بر اثر سوختن یا شکافت

به این ترتیب با تقریب خوبی می‌توان گفت که آلاینده مشاهداتی برای همه ایستگاه‌ها دارای منبع پتروژنیک می‌باشد.

دو ترکیب فلورانتین و پایرن به‌عنوان محصول‌های پاپروژنیک ناشی از میعان در درجه حرارت زیاد، جزو ترکیب‌های PAH با وزن مولکولی پایین محسوب می‌شوند. میزان نسبت FI(FL+Py) اگر کمتر از ۰/۴ باشد نشانگر آلودگی پتروژنیک است و میزان این نسبت اگر بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد نشان از PAHs ناشی از احتراق چوب، علفزار و زغال‌سنگ است. میزان این نسبت اگر بین ۰/۴ تا ۰/۵ باشد، ترکیب‌های PAH ناشی از سوخت‌های فسیلی مایع است (Leite et al., 2011, Soclo et al., 2000). میزان این نسبت در تحقیق حاضر در محدوده‌ی ۰/۳ - ۰/۲ می‌باشد که گویای پتروژنیک بودن منبع ترکیب‌ها است.

### ارزیابی مخاطره‌های محیط زیستی

به‌منظور مقابله با خطرهای محیط زیستی و رخداد آلاینده‌های نفتی در محیط‌های آبی می‌توان از راهبرد کیفی رسوب‌ها استفاده نمود (Burton et al., 2002). از این راهبردها برای شناسایی مواد شیمیایی مؤثر، تقسیم و اولویت‌بندی منطقه‌های آلوده بر مبنای تجمع آلاینده، ارزیابی و تعیین گسترش آلودگی در رسوب‌ها، اجرای اقدام‌های کنترلی از پیش تعیین‌شده و همچنین طبقه‌بندی رسوب‌ها بر اساس میزان مسمومیت آن‌ها استفاده می‌شود (Long et al., 1998, MacDonald, 2006, McCready et al., 1994). پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی بحران‌های اکولوژیکی در بندر عسلویه از دو روش دامنه پایین تأثیرها<sup>۸</sup> و دامنه متوسط تأثیرها<sup>۹</sup> و همچنین سطح آثار آستانه‌ای<sup>۱۰</sup> و سطح آثار محتمل<sup>۱۱</sup> (راهبردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست فلوریدا<sup>۱۲</sup>) استفاده کرده است (Long et al., 1995). ERLs و TELs نماینده‌ی سطح‌هایی از غلظت هستند که

محدوده تغییرپذیری‌های (1997; Notar et al., 2001). این شاخص در ناحیه مورد مطالعه در بازه ۳۷-۱۳ مشاهده شده است. مقدار زیاد این نسبت با توجه به محدوده‌های مورد اشاره، منبع پتروژنیک ترکیب‌های PAH مشاهده‌ای در سطح منطقه را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نسبت کرایسن<sup>۶</sup> به بنزو (a) آنتراسن<sup>۷</sup> (Chr/BaA) در رسوب‌های دریایی نیز به‌عنوان شاخصی برای تعیین منبع PAHs مشاهده‌شده در رسوب‌ها توسعه داده و مورداستفاده قرار گرفته است (Notar et al., 2001, Tolosa et al., 2009). مقادیر پایین این نسبت (Chr/BaA < ۱) در رسوب‌ها بیانگر منشأ احتراقی این ترکیب‌ها عنوان شده است در حالی که میزان بزرگ‌تر از ۱ برای این نسبت، شاخص حضور ترکیب‌های نفتی و منشأ فسیلی این ترکیب‌ها معرفی شده است (Notar et al., 2001). در نمونه‌های رسوبی مورد مطالعه در بندر عسلویه میزان این نسبت بطور عمده بالا و در محدوده بزرگ‌تر از یک مشاهده شده است. این موضوع در کنار میزان بالای Phen/An به خوبی حضور ترکیب‌های PAHs با منبع پتروژنیک را نشان می‌دهد.

یکی دیگر از شاخص‌هایی که در تمایز آلودگی پتروژنیک از پاپروژنیک می‌توان از آن کمک گرفت، استفاده از نسبت ترکیب‌ها با وزن مولکولی کم به ترکیب‌های با وزن مولکولی زیاد LMW/HMW است. میزان بزرگ‌تر از ۱ برای این نسبت نشانگر منبع پتروژنیک است و میزان کوچک‌تر از ۱ برای این نسبت گویای پاپروژنیک بودن ترکیب‌ها است. چراکه ترکیب‌های PAH با وزن مولکولی زیاد ثبات ترمودینامیکی بیشتری از PAHs با وزن مولکولی کم (پایرن، آنتراسن و فنانترن) دارند که بلوغ مواد آلی در درجه‌های حرارت به نسبت کم در محدوده فرازمین شناختی، سبب آن است (Soclo et al., 2000). مطالعه حاضر ترکیب‌های PAH با وزن مولکولی زیاد، درصد کمتری از ترکیب‌های PAH مشاهداتی در ایستگاه‌های نمونه برداری را نشان داده‌اند.



پیوسته ایجاد اثرهای بیولوژیکی زیان بار دارند. مقایسه غلظت ترکیب‌های PAH با دو روش بیان شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

غلظت‌های پایین‌تر از آن‌ها به ندرت ایجاد اثرهای زیان بار بیولوژیکی می‌کنند. همچنین PELs و ERLs نشانگر سطح‌هایی هستند که غلظت‌های بالاتر از آن‌ها بطور

جدول ۲- مقایسه غلظت ترکیب‌های PAH با شاخص‌های SQGs  
Table 2. Comparing the concentration of PAH compounds with SQGs

PAHs	SQGs	درصد ایستگاه‌های متجاوز از مقادیر ERL-ERM				SQGs	درصد ایستگاه‌های متجاوز از مقادیر TEL-PEL		
		Stations with concentration more than ERL-ERM (%)					Stations with concentration more than TEL-PEL (%)		
		ERL-ERM (ngg <sup>-1</sup> d.w.)	<ERL (%)	ERL-ERM (%)	>ERM (%)		TeL-PeL (ngg <sup>-1</sup> d.w.)	<Tel (%)	Tel-Pel (%)
Naphthalene	160-2100	100	-	-	34/6-391	7	93	-	
Acenaphthylene	44-640	100	-	-	5/87-128	100	-	-	
Acenaphthene	16-500	100	-	-	6/71-88/9	93	7	-	
Fluorene	19-540	100	-	-	21/2-144	100	-	-	
Phenanthrene	240-1500	100	-	-	86/7-544	100	-	-	
Anthracene	85/3-1100	100	-	-	46/9-245	100	-	-	
Total LMWPAHs	552-3160	100	-	-	312-1442	100	-	-	
Fluoranthene	600-5100	100	-	-	113-1494	100	-	-	
Pyrene	665-2600	100	-	-	153-1398	100	-	-	
Chrysene	384-2800	100	-	-	108-846	100	-	-	
Benzo(a)anthracene	261-1600	100	-	-	74/8-693	100	-	-	
Dibenz(a,h)anthracene	63/4-260	100	-	-	6/22-135	100	-	-	
Benzo(a)pyrene	430-1600	100	-	-	88/8-763	100	-	-	
Total HMWPAHs	1700-9600	100	-	-	655-6676	100	-	-	
Total PAHs	4022-44792	100	-	-	1684-16770	100	-	-	

اما غلظت ترکیب‌های PAH برای دو ترکیب انفرادی Naphthalene و Acenaphthene در برخی ایستگاه‌ها از این حد تجاوز داشته است. غلظت نفتالن به جز در ایستگاه ۱۲ در بقیه‌ی ایستگاه‌ها بالاتر از سطح آثار آستانه‌ای و پایین‌تر از سطح آثار متوسط می‌باشد. همچنین غلظت ترکیب Acenaphthene تنها در ایستگاه ۱۴ نمونه‌برداری، از سطح آثار آستانه تجاوز داشته است. نتایج متفاوت در این دو روش به دلیل نگرش متفاوت به این دو راهبرد کیفی است: زیرا راهبرد ERLs/ERMS بر اساس داده‌های مربوط به آثار مضر تدوین شده است، در صورتی که راهبرد TELs/PELs، از داده‌های مرتبط با آثار زیان بار و داده‌های مرتبط با مشاهده نکردن آثار مضر در موجودات دریایی تدوین شده است. بنابراین، راهبرد TELs/PELs، راهبرد مناسب‌تری برای محافظت از سلامت موجودات آبی می‌باشد (Azimi Yancheshme *et al.*, 1392).  
به‌منظور اطمینان از صحت این پژوهش، نتایج

هر دو شاخص مورد بررسی در تعیین حدود، دارای سه محدوده می‌باشند. غلظت‌هایی که به ندرت ایجاد آثار زیان بار و مضر دارند (زیر ERLs یا TELs)، غلظت‌هایی که گاهی (بالای ERLs یا TELs و زیر PELs یا ERLs) هستند و در نهایت غلظت‌هایی که به صورت مکرر (بالای PELs یا ERLs) ایجاد آثار مخرب و مضر دارند. مقایسه ی غلظت ۱۶ ترکیب آروماتیک چندحلقه‌ای با راهبردهای کیفی رسوب‌ها به کمک دو روش ERL-ERM و TEL-PEL، نشان می‌دهد که اثرهای بیولوژیکی زیان بار در موجودات کفزی به ندرت مورد انتظار است بدین معنی که در روش ERL-ERM، سطح‌های غلظت برای همه‌ی ترکیب‌ها چه به صورت انفرادی و چه به صورت مجموع پایین‌تر از دامنه‌ی پایین تأثیرها بوده است. در روش TEL-PEL که روش محافظه‌کارانه‌تری نیز هست، مجموع غلظت ترکیب‌های PAH برای این شاخص در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها متجاوز از حد پایین آثار آستانه (TEL) نیست،

ناشی از مورفولوژی خاص رودخانه‌های رسوبی محدوده طرح و وجود سطح بالای فعالیت‌های عمرانی، بندسازی و اسکله سازی و ایجاد تأسیسات ساحلی و فراساحلی و لایروبی در منطقه است، رفتار دینامیک رسوب‌ها در سطح این ناحیه به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است. از این رو ترکیب‌های آروماتیک با منشأ فسیلی مشاهده شده چه بسا ناشی از فعالیت‌های استخراجی و اکتشافی اخیر باشند که به دلیل نرخ بالای رسوب‌گذاری و جایگزینی رسوب-های جدید با رسوب‌های قدیمی، آلودگی‌های پیشین شاید زیرلایه‌های رسوبی مدفون شده و ورود پیوسته آلودگی تاکنون نتوانسته سبب آلودگی شدید رسوب‌های سطحی شود. انجام بررسی‌های بیشتر بویژه با نمونه برداری عمیق از هسته رسوب‌های پایین‌تر و نیز تعیین دقیق رژیم رسوبی منطقه با تاریخ‌نگاری لایه‌های رسوبی برای نمایش تصویر دقیق‌تری از وضعیت آلودگی در سطح منطقه می‌تواند بسیار سودمند باشد.

### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی سازمان منطقه‌ای ویژه‌ی اقتصادی انرژی پارس با عنوان حمایت از طرح تحصیلات تکمیلی دانشجوی سامان رستمی انجام پذیرفت. همچنین از حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل به واسطه گرنت‌های شماره BNUT/390035/97 و BNUT/370110/97 تقدیر و تشکر می‌گردد.

### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Soxhlet
- <sup>2</sup> Selected Ion Monitoring
- <sup>3</sup> USEPA
- <sup>4</sup> Phenanthrene
- <sup>5</sup> Anthracene
- <sup>6</sup> Chrysene
- <sup>7</sup> Benzo[a]anthracene
- <sup>8</sup> Effects Range low (ERLs)
- <sup>9</sup> Effects Range Medium (ERMs)
- <sup>10</sup> Threshold Effects Level (TELS)
- <sup>11</sup> Probable Effects Level (PELs)
- <sup>12</sup> Florida Department of Environmental Protection (FDEP)

به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش‌های اخیر در خلیج‌فارس مقایسه شده است. (Ranjbar Jafarabadi *et al.* (2017). غلظت ۳۰ هیدروکربن حلقوی آروماتیک را در سطح صخره‌های مرجانی و آب‌های ساحلی در ۱۰ جزیره خلیج‌فارس مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها غلظت متوسط را برای آب‌های ساحلی ۴۶۴ نانوگرم در گرم وزن تر و برای صخره‌های مرجانی ۶۱۹ نانوگرم در گرم وزن تر گزارش کرده‌اند. همچنین با تحلیل کمی ریسک محیط زیستی آلاینده‌های مشاهده‌ای مشخص شد که ریسک خطر برای موجودات دریایی منطقه در حد پایینی است. در پژوهشی دیگر، میزان غلظت ۱۶ هیدروکربن حلقوی آروماتیک در رسوب‌های سطحی بندر چابهار مورد ارزیابی قرار گرفت، نمونه‌برداری‌ها در ۸ ایستگاه و در ماه‌های می (گرم) و دسامبر (سرد) انجام شده است. مجموع بیشترین غلظت‌های این ایستگاه‌ها برابر ۹۲٫۸ نانوگرم در گرم وزن تر گزارش شده است که غلظت‌ها در فصل سرد بالاتر مشاهده شده است (Agah *et al.*, 2017). همچنین Keshavarzifard *et al.* (2018) تعداد ۱۰ نمونه به‌منظور تعیین منبع و میزان غلظت هیدروکربن‌های حلقوی آروماتیک برداشت نمودند. نتایج آنها نشان داده که منبع این ترکیب‌ها سوخت‌های فسیلی هستند. همچنین غلظت مجموع ۱۶ هیدروکربن حلقوی آروماتیک بین ۱٫۸ تا ۸۱٫۹ نانوگرم در گرم وزن تر گزارش شده است.

### نتیجه‌گیری

بررسی‌ها مطابق با شاخص ERL-ERM گویای آن می‌باشند که نه در بخش انفرادی و نه در بخش مجموع ترکیب‌ها، غلظت هیچ‌یک از ترکیب‌های مشاهده شده متجاوز از حد پایین (ERL) نمی‌باشند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که احتمال رخداد آثار مضر و زیان‌بار برای موجودات کف‌زی در این منطقه و به طبع آن برای دیگر موجودات زنجیره غذایی و در انتهای زنجیره انسان، کم است. با توجه به‌شدت بالای رسوب‌گذاری و فرسایش که

- Abessi, O. and Saeedi, M., 2010a. Evaluation of hydrocarbons pollution, biodegradation and weathering degree in surface sediments of the Caspian Sea along the coasts of Golestan and Mazandran provinces. *Journal of Environmental Science*. 8(1), 151-174.
- Abessi, O. and Saeedi, M., 2010b. The Origin of oil hydrocarbons in Southern Coastal Sediments of the Caspian Sea in vicinity of Golestan and Mazandran province. *Journal of Environmental Studies*. 36(3), 43-58.
- Agah, H., Mehdinia, A., Bastami, K.D. and Rahmanpour, S., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in the surface water and sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 115(1), 515-524.
- Azimi Yancheshmeh R., Riyahi Bakhtiari, A. and Mortazavi, S., 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from the southern shores of the Caspian Sea, Anzali city: toxicity assessment and source identification. *Journal of Water and Wastewater*. 4(1394), 41-50.
- Baumard, P., Budzinski, H., Michon, Q., Garrigues, P., Burgeot T. and Bellocq, J., 1998. Origin and bioavailability of PAHs in the Mediterranean Sea from mussel and sediment records. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 47(1), 77-90.
- Benlahcen, K.T., Chaoui, A., Budzinski, H., Bellocq, J. and Garrigues, P., 1997. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 34(5), 298-305.
- Blumer, M. and Youngblood, W.W., 1975. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and recent sediments. *Science*. 188, 53-55.
- Boulobassi, I. and Saliot, A., 1993. Dissolved, particulate and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal environment: Geochemical significance. *Marine Chemistry*. 42, 127-143.
- Benlahcen, K.T., Chaoui, A., Budzinski, H., Bellocq, J. and Garrigues, P., 1997. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 34, 298-305.
- Burton, J.G.A., 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Journal of Limnology*. 3(2), 65-76.
- Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Pierard, C. and Garrigues, P., 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry*. 58, 85-97.
- Commendatore, M.G., Esteves, J.L. and Colombo, J.C., 2000. Hydrocarbons in coastal sediments of Patagonia, Argentina: Levels and probable sources. *Marine Pollution Bulletin*. 40(11), 989-998.
- Cripps, G.C., 1993. Hydrocarbons in the Antarctic Marine Environment: Monitoring and Background. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 55(1-4), 3-13.
- Effimoff, I., 2000. The oil and gas resource base of the Caspian region. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 28(4), 157-159.
- Hong, H., Xu, L., Zhang, L., Chen, J.C.A., Wong,

- Y.S. and Wan, T.S.M., 1995. Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbours, *Marine Pollution Bulletin*, 31(12), 229-236
- Gui-Peng, Y., 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the South China Sea. *Environ. Pollut.* 108, 163–171.
- Keshavarzifard, M., Moore, F. Keshavarzi, B. and Sharifi, R., 2018. Distribution, source apportionment and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in intertidal sediment of Asaluyeh, Persian Gulf, *Environmental Geochemistry and Health*. 40(2), 721–735.
- Laflamme, R.E. and Hites, R.A., 1979. Tetra- and pentacyclic, naturally-occurring, aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 43(10), 1687–1691.
- Law, R. and Andrulowicz, E., 1983. Hydrocarbons in water, sediment and mussels from the southern Baltic sea. *Marine Pollution Bulletin*. 14, 289-293.
- Leite, N.F., Peralta Zamora, P. and Grassi, M.T., 2011. Distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from an urban river basin at the Metropolitan Region of Curitiba, Brazil. *Journal of Environmental Sciences*. 23(6), 904-911.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L. and Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Journal of Environmental Management*. 19(1), 81-97.
- Long, E.R. and MacDonald, D.D., 1998. Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. *Journal of Human and Ecological Risk Assessment*. 4(5), 1019-1039.
- MacDonald, D.D., 1994. Approach to the assessment of sediment quality in Florida coastal waters. volume 1-development and evaluation of the sediment quality assessment guidelines, Report Prepared for Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee, FL.
- Magi, E., Bianco, R., Ianni, C. and Di Carro, M., 2002. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea. *Environmental Pollution*. 119(1), 91-98.
- McCready, S., Birch, G.F. and Long, E.R., 2006. Metallic and organic contaminants in sediments of Sydney Harbour, Australia and vicinity-A chemical dataset for evaluating sediment quality guidelines. *Journal of Environment International*. 32(4), 455-465.
- Nayimi Nezam Abad, A., Ghahriudi Taali, M. and Servati, M., 2009. Monitoring changes in the coastline and geomorphological landform of the Gulf of Aras by using RS and GIS. *Journal of Geographical space*. 30(10), 45-6. (In Persian)
- Neff, J.M., Stout, S.A. and Gunster, D.G., 2005. Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments: Identifying sources and ecological hazards. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 1, 22–33.
- Notar, M., Leskov-Sek, H. and Faganel, J., 2001. Composition, distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 42(1), 36-44.
- Ranjbar Jafarabadi, A., Riyahi Bakhtiari, A. and Shadmehri Toosi, A., 2017. Comprehensive and comparative ecotoxicological and human risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in reef surface sediments and coastal seawaters of Iranian Coral Islands, Persian Gulf. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 145,

640-652.

Rostami, S., Abessi, O. and Amini-Rad, H., 2019. Assessment of the toxicity, origin, biodegradation and weathering extent of petroleum hydrocarbons in surface sediments of Pars Special Economic Energy Zone, Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 138: 302-311.

Saliot, A., 1981. Natural hydrocarbons in sea water. In: Duursma, E.K., Dawson, R. (Eds.), *Marine Organic Chemistry. Evolution, Composition, Interactions and Chemistry of Organic Matter in Seawater*. Elsevier Oceanography Series, Amsterdam, pp. 327-374.

Sicre, M.A., Marty, J.C., Saliot, A., Aparicio, X., Grimalt, J. and Albaiges, J., 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean sea: occurrence and origin. *Atmospheric Environment*. 21 (10), 2247-2259.

Saeedi, M., Abessi, O. and Jamshidi, A., 2010. Assessment of hydrocarbons and heavy metals contamination of surface sediments of southern Caspian using developed indices. *Journal of Environmental studies*. 36 (1), 21-38.

Soclo, H.H., Garrigues, P.H. and Ewald, M., 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Journal of Marine Pollution Bulletin*. 40(5), 387-396.

Sporstol, S., Gjos, N., Lichtenhalter, R.G., Gustavsen, K.O., Urdal, K., Orelid, F. and Skei, J., 1983. Source identification of aromatic hydrocarbons in sediments using GC/MS. *Environmental Science and Technology* 17(5). 282-286.

Steinhauer, M.S. and Boehm, P.D., 1992. The composition and distribution of saturated and

aromatic hydrocarbons in nearshore sediments, river sediments, and coastal peat of the Alaskan Beaufort Sea: Implications for detecting anthropogenic hydrocarbon inputs. *Marine Environmental Research*. 33(4), 223-253.

Tolosa, I., Mesa-Albernas, M. and Alonso-Hernandez, C.M., 2009. Inputs and Sources of Hydrocarbons in Sediments from Cienfuegos Bay, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11), 1624-1634.

Wakeham, S.G., Schaffner, C. and Giger, W., 1980. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Recent lake sediments: II. Compounds derived from biogenic precursors during early diagenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(3), 415-429.

Wang, Z., Fingas, M. and Sergy, G., 2001. Study of 22-year-old Arrow oil samples using biomarker compounds by GC/MS. *Environmental Science & Technology*. 28(9), 1733-1746.

Waseda, A. and Nishita, H., 1998. Geochemical characteristics of terrigenous- and marine-sourced oils in Hokkaido, Japan. *Organic Geochemistry*. 28(1), 27-41.

Yim, U.H., Hong, S.H. and Shim, W.J., 2007. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea. *Chemosphere*. 68, 85-92.

Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D. and Sylvestre, S., 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry*. 33(4), 489-515.





Environmental Sciences Vol.16 / No.3 / Autumn 2018

217-232

## Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the coast of Pars Special economic energy Zone (Assaluyeh Port)

Saman Rostami, Hassan Amini-Rad and Ozeair Abessi

Department of Environmental Engineering, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: 2017.01.07

Accepted: 2018.12.08

**Rostami, S. Amini-Rad, H. and Abessi, O. 2018.** Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the coast of Pars Special economic energy Zone (Assaluyeh Port). *Environmental Sciences*. 16 (3), 217-232.

**Introduction:** During the last years, oil and gas exploration, extraction and refinery activities caused a lot of damage to the sensitive environment of the Persian Gulf. In the current study, the Pars Special Economic Energy Zone in the northern Persian Gulf was investigated, where oil and gas explorations, extractions, refineries and export infrastructures are concentrated. Each year, large amounts of petroleum-related pollutants discharge into the Persian Gulf in this region. In this research, the spatial distribution and the origin of oil-associated hazardous pollutants i.e., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Assaluyeh Port were investigated.

**Material and methods:** Fifteen samples of the surface sediment of the study area were collected in March 2016, using the Van Veen Grab sampler in five half lines perpendicular to the coast in phases one to five of the Pars Special Economic Energy Zone. Samples were packed in aluminum foils and transferred to the laboratory. Using freeze-drying process, the water was removed from the samples. Pollutants tend to accumulate in fine sediment particles due to the high specific surface area of these particles, and therefore, fine-grained particles ( $\geq 63 \mu\text{m}$ ) were separated by physical screening. Finally, 16 compounds of PAHs, which are known as the toxic compounds by the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), were analyzed with gas chromatography-mass spectrometry. Total concentrations of the compounds were measured and their spatial distribution was illustrated using ArcGIS software. The origin of the observed Aromatic Hydrocarbons was also estimated using some indices.

**Results and discussion:** Total concentrations of the 16 compounds ranged from 46.6 to 84.7 ng/g dry weight in the sampling stations. The source of compounds was identified using certain petrogenic multiple indices.

---

\*Corresponding Author. *E-mail Address:* h.a.rad@nit.ac.ir

Furthermore, the environmental risk of the presence of these compounds was estimated using the sediment quality guidelines of the state of Florida. It was shown that except for Naphthalene and Acenaphthene, concentration levels of other PAHs were lower than the threshold level, which is the concentration that destructive biological effects in benthic communities is rarely expected.

**Conclusion:** Total concentrations of 16 PAH compounds in the study area showed that the concentration of no compound exceeded the concentration of Effects Range, so it can be concluded that the possibility of harmful effects on benthos communities and other organisms in the food chain and also humans at the top of the chain is low. Considering the high rates of sedimentation and erosion and also the fossil origin of the pollutants, it seems that contaminations are continuously being buried under the new layers of sediment in the study area. Therefore, the continuing source of pollution could not cause serious contamination in the surface sediment of the region.

**Keywords:** Asaluyeh port, Persian Gulf, Petroleum hydrocarbons, Sediment quality guidelines, Surface sediments.

