

هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) رسوبات سطحی جزر و مدی منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی (بوشهر)

احسان عابدی^{۱*}، ابوالفضل صالح^۲، علی مهدی‌نیا^۳، شیرین رحمانپور^۴،
ایمان عاربی^۵، روزبه میرزا^۶، حسن فولادی^۷، فاطمه احمدپور^۸

- ۱- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، مرکز اقیانوس شناسی خلیج فارس، بوشهر، پست الکترونیکی: ehsan_abedi@inio.ac.ir
 ۲- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: saleh@inio.ac.ir
 ۳- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: mehdinia@inio.ac.ir
 ۴- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: rahmanpour@inio.ac.ir
 ۵- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، مرکز اقیانوس شناسی خلیج فارس، بوشهر، پست الکترونیکی: eiman_arebi@inio.com
 ۶- دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، پست الکترونیکی: roozbeh_mirza@yahoo.com
 ۷- منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی، بوشهر، پست الکترونیکی: fooladi.h@gmail.com
 ۸- سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، شرکت ملی نفت ایران، پست الکترونیکی: fatima.ahmadpour@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳/۱۱/۹۲

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۲۴/۴/۹۱

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

چکیده

در این مطالعه میزان و منشا ۱۵ ترکیب PAHs در رسوبات جزر و مدی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها از ۲۰ ایستگاه (در زمان جزر و به صورت تصادفی) قبل از احداث و راه‌اندازی در خرداد ۱۳۹۰ جمع‌آوری گردیدند. آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه HPLC مجهز به آشکارسازهای فلورسانس و ماورای بنفش صورت گرفت. بیشترین غلظت ترکیبات PAHs مشاهده شده در ایستگاه مل گنزه ۲ مربوط به فلورانتن و کمترین غلظت ترکیبات PAHs مشاهده شده مربوط به دی بنزو [ah] آنتراسن بود که در ایستگاه‌های چاه پهن ۱، چاه پهن ۲، زیر آهک ۱، کبگان ۱، کبگان ۲، کبگان ۴، بردخون ۳، بردخون ۴، دمیکز ۱ و دمیکز ۲ اندازه‌گیری شد. از بین ایستگاه‌های بررسی شده ایستگاه لاور ۱ بیشترین و ایستگاه بردخون ۳ کمترین میزان آلودگی ΣPAHs را نشان می‌دهد. نتایج تحقیق در رسوبات مورد مطالعه مقادیر کم ΣPAHs را نشان می‌دهند. رسوبات منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر مخلوطی از منبع پیروژنیک و پتروژنیک با غالبیت پیروژنیک هستند. به‌طور کلی میزان آلودگی در منطقه مورد مطالعه پایین‌تر از میزان آلودگی استانداردهای مقایسه شده است و پتانسیل آسیب رساندن به موجودات کفزی رسوبات مورد مطالعه پایین به‌نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: PAHs، پیروژنیک، پتروژنیک، کفزی، رسوبات جزر و مدی.

۱. مقدمه

پتروشیمی را به‌خود اختصاص خواهد داد. میدان گازی پارس شمالی در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی بوشهر در آب‌های خلیج فارس به فاصله ۱۰-۱۵ کیلومتری از ساحل واقع شده است. این میدان که در عمق ۴۰۰۰ متری زیر سطح دریا واقع شده است، دارای مساحتی ۱۹×۲۱ کیلومتر مربع است و به شکل گنبدی با شیب ملایم کمتر از ۲۰ درجه است. در زمان کشف میدان گازی پارس شمالی در سال ۱۳۴۳ مخزن این میدان بزرگ‌ترین مخزن گازی کشور بود و به همین دلیل سرمایه‌گذاری از همان زمان برای توسعه این میدان سرعت گرفت ولی بروز وقایعی مانند جنگ تحمیلی مانع از ادامه توسعه این میدان شد. نتیجه‌ی مطالعات زمین‌شناسی و شبیه‌سازی میدان که اخیراً توسط شرکت مشاور انجام شده به‌طور خلاصه از تولید ثابت روزانه ۳۶۰۰ میلیون فوت مکعب در روز از مجموع ۴۶ حلقه چاه حفاری شده در چهار مرحله که از هر مرحله ۹۰۰ میلیون فوت مکعب گاز در روز در مدت زمان تولید ثابت روزانه ۲۵ سال و مدت زمان کل تولید میدان ۳۵ سال که ضریب بازیافت تولید فوق‌الذکر میدان حدود ۶۱/۱ درصد است خبر می‌دهد (نفت و گاز پارس، ۱۳۹۰). با توجه به مطالب ذکر شده، پایش و تعیین منشاء آلودگی اندازه‌گیری هیدروکربن‌های نفتی در محدوده بین جزر و مدی منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد این آلاینده‌ها قبل از احداث و راه‌اندازی به ما ارائه دهد. هرگونه اقدام در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی پس از انجام مطالعات زیست محیطی و رعایت کامل نتایج مطالعات مذکور و سایر قوانین و مقررات زیست محیطی و حفظ منابع طبیعی بایستی صورت بگیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. نمونه‌برداری

پس از بررسی مقدماتی و مطالعه اولیه ۲۰ ایستگاه به گونه‌ای انتخاب شد که کل محدوده بین جزر و مدی منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی را با فواصل مناسب تحت پوشش قرار دهد. نمونه‌برداری رسوب از منطقه بین جزرومدی سواحل منتهی به منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی در خرداد ۱۳۹۰ در زمان جزر و به‌صورت تصادفی انجام گرفت. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جهت نمونه‌برداری از لایه سطحی رسوبات (cm

۴۰ سال گذشته، آلودگی رسوبات ساحلی به‌عنوان شاخص سلامت و بوم‌شناختی مناطق ساحلی شناخته شده است (Lima et al., 2003). آلودگی نفتی یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های وارد شده به نواحی ساحلی است. هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) از مهم‌ترین گروه‌های هیدروکربنی در نفت محسوب می‌شوند. این ترکیبات به‌واسطه ماندگاری بالا در محیط‌های دریایی، تجمع زیستی و ایجاد سمیت در موجودات آبی بسیار حائز اهمیت‌اند (Neff et al., 2005). هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی گروهی از ترکیبات اصلی و پایدار هستند که از دو یا چند حلقه بنزنی تشکیل شده‌اند و به‌صورت خطی، زاویه‌دار و یا خوشه‌ای قرار گرفته‌اند (Walker, 2002). این ترکیبات غیرقطبی و آب‌گریزند، و نقطه ذوب و جوش بالایی دارند. با افزایش وزن مولکولی، حلالیت آنها در آب کم و نقطه‌ی ذوب و جوش زیاد می‌شود. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، این ترکیبات تمایل بسیاری به جذب و اتصال به ذرات کلوئیدی و معلق در آب و ته‌نشست در رسوبات دریایی دارند (Tam et al., 2001).

آلودگی نفتی یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های وارد شده به محیط زیست دریایی از جمله رسوبات است و از منابع مختلفی از جمله نشت طبیعی نفت از بستر دریا، تخلیه‌ی آب توازن تانکرهای نفتکش، حمل و نقل دریایی کشتی‌های نفتکش، تصادفات دریایی، حفاری و استخراج چاه‌های نفتی وارد محیط‌های دریایی می‌شود. اگرچه در محیط‌های دریایی ترکیبات نفتی سبک‌تر طی فرآیندهای از قبیل اکسیداسیون نوری و اکسیداسیون باکتریایی تجزیه می‌شوند، اما ترکیبات سنگین نفتی طی جزر و مد بر رسوبات مناطق ساحلی نشت کرده و در طولانی مدت به موجودات ساکن منطقه آسیب می‌رسانند (Zheng et al., 2000). در مطالعه هیدروکربن‌های نفتی جهت تعیین منابع وارد کننده آلودگی به محیط از محاسبه برخی ترکیبات PAHs نسبت به هم استفاده می‌شود که به‌عنوان نسبت‌های مولکولی PAHs شناخته می‌شوند. منابع ورود PAHs به محیط را به منابع پتروژنیک، پیروژنیک و دیاژنیک تقسیم‌بندی می‌کنند (Doong and Lin, 2004; Jiang et al., 2009).

منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی در استان بوشهر در آینده نزدیک نقش فوق‌العاده‌ای در اقتصاد کشور ایفا خواهد کرد و حجم زیادی از تولیدات گاز کشور و محصولات

به تیوب سانتریفوژ ۵۰ میلی لیتری انتقال داده شدند. عمل استخراج به کمک ۱۰ میلی لیتر حلال متانول به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آبی اولتراسونیک انجام شد. نمونه‌های استخراج شده به مدت ۵ دقیقه با دور rpm ۳۵۰۰ سانتریفوژ گردیدند. در این مرحله و پس از سانتریفوژ، ۶ میلی لیتر از مرحله بالایی تیوب (آلی) برداشته و به یک بالن حجم سنجی ۱۰ میلی لیتری انتقال و ۰/۵ میلی لیتر هگزان نرمال به آن اضافه و به مدت ۶۰ ثانیه هم زده شد. سپس ۴ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه به آن اضافه گردید. با اضافه کردن آب به مخلوط متانول - هگزان و در نتیجه حل شدن متانول در آب، فاز آلی هگزان، حاوی آنالیت‌های استخراج شده، به صورت یک مرحله‌ی معلق در سطح فاز آبی با استفاده از یک سرنگ همپلتون جمع‌آوری شده است و به کمک گاز نیتروژن تا نزدیک خشک شدن تبخیر و با ۵۰۰ میکرو لیتر استونیتریل دوباره حل شده و به دستگاه HPLC تزریق گردید (Shamsipur and Hassan, 2010). نمونه‌ی رسوب به وسیله‌ی محلول استاندارد مخلوط PAHs غنی شده ($10 \mu\text{g L}^{-1}$) و مقادیر بازیافت ترکیبات مورد نظر با استفاده از استخراج این نمونه‌ها محاسبه و گزارش شد. مقادیر بازیافت به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: نام کامل، علائم اختصاری و مقادیر بازیافت به دست آمده ترکیبات PAHs از نمونه‌های رسوب غنی شده به درصد

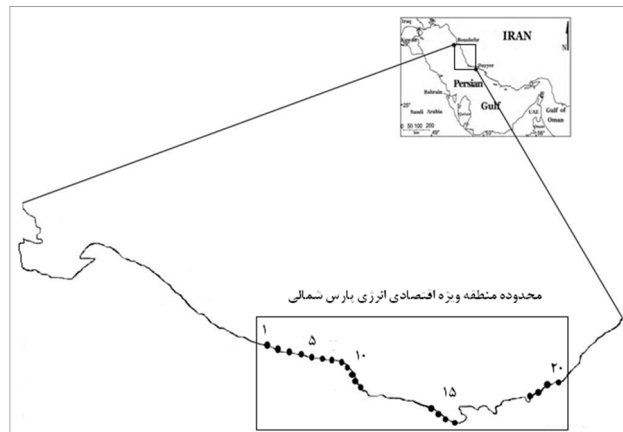
نام کامل ترکیبات PAHs	علائم اختصاری ترکیبات PAHs	مقادیر بازیافت
Naphthalene	Na	٪۸۳/۶
Acenaphthylene	Acen	٪۹۲/۱
Acenaphthene	Ace	٪۹۷/۶
Fluorene	Fl	٪۸۸/۷
Phenanthrene	P	٪۱۰۰/۴
Anthracene	A	٪۸۹/۲
Fluoranthene	Fluo	٪۱۱۲/۱
Pyrene	Py	٪۹۷/۳
Benzo[a]anthracene	BaA	٪۹۵/۵
Chrysene	Ch	٪۱۰۹/۶
Benzo[b]fluoranthene	BbF	٪۸۸/۳
Benzo[k]fluoranthene	BkF	٪۹۴/۸
Benzo[a]pyrene	BaP	٪۹۹/۱
Dibenzo[ah]anthracene	DahA	٪۱۰۰/۸
Benzo[ghi]perylene	BiP	٪۱۱۱/۳
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	IP	٪۸۵/۷

۳. نتایج

۳-۱. غلظت ترکیبات PAHs در رسوبات

از میان ۱۶ PAHs مورد بررسی، ۱۵ ترکیب در ایستگاه‌های مختلف مشاهده شد. بیشترین غلظت ترکیبات PAHs مشاهده

۵-۰) از یک قاشقک استیل شستشو شده استفاده شد. نمونه‌های رسوب را درون فویل آلومینیومی پیچیده و در مجاورت یخ به آزمایشگاه شیمی مرکز اقیانوس شناسی خلیج فارس (بوشهر)، وابسته به پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی منتقل و تا زمان آماده‌سازی و آنالیز در دمای ۲۰- درجه سانتیگراد نگهداری شدند.



شکل ۱: موقعیت ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری شده

ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمده فعالیت انسانی
۱	هدکان ۱	۵۱°۱۰'۶۷E	۲۸°۲۱'۴۱N	صیادی
۲	هدکان ۲	۵۱°۱۰'۲۸E	۲۸°۲۱'۳۶N	صیادی
۳	چاه پهن ۱	۵۱°۱۰'۴۸E	۲۸°۲۰'۵۴N	صیادی - بنادر چند منظوره کوچک موج شکن
۴	چاه پهن ۲	۵۱°۱۰'۵۰E	۲۸°۲۰'۵۱N	صیادی - بنادر چند منظوره کوچک موج شکن
۵	زیرآهک ۱	۵۱°۱۳'۴۳E	۲۸°۱۷'۲۰N	صیادی
۶	زیرآهک ۲	۵۱°۱۳'۵۲E	۲۸°۱۷'۲۳N	صیادی
۷	لاور ۱	۵۱°۱۶'۰۲E	۲۸°۱۵'۰۰N	صیادی - کارگاه تکثیر میگو - گمرک
۸	لاور ۲	۵۱°۱۶'۱۳E	۲۸°۱۴'۵۱N	صیادی - کارگاه تکثیر میگو - گمرک
۹	کیگان ۱	۵۱°۱۷'۱۶E	۲۸°۱۲'۳۶N	صیادی - سایت پرورش میگو
۱۰	کیگان ۲	۵۱°۱۷'۱۳E	۲۸°۱۲'۰۸N	صیادی - سایت پرورش میگو
۱۱	کیگان ۳	۵۱°۱۷'۰۸E	۲۸°۱۱'۴۷N	صیادی - سایت پرورش میگو
۱۲	کیگان ۴	۵۱°۱۷'۰۲E	۲۸°۱۱'۳۴N	صیادی - سایت پرورش میگو
۱۳	بردخون ۱	۵۱°۲۳'۴۶E	۲۷°۵۹'۴۸N	اسکله صیادی - کشاورزی
۱۴	بردخون ۲	۵۱°۲۳'۰۹E	۲۷°۵۸'۵۳N	اسکله صیادی - کشاورزی
۱۵	بردخون ۳	۵۱°۲۳'۴۶E	۲۷°۵۸'۰۹N	اسکله صیادی - کشاورزی
۱۶	بردخون ۴	۵۱°۲۳'۳۷E	۲۷°۵۷'۱۹N	اسکله صیادی - کشاورزی
۱۷	مل گنزه ۱	۵۱°۲۸'۳۴E	۲۷°۵۰'۱۵N	صیادی - توریستی
۱۸	مل گنزه ۲	۵۱°۲۹'۰۵E	۲۷°۵۰'۱۵N	صیادی - توریستی
۱۹	دمیگز ۱	۵۱°۴۰'۲۴E	۲۷°۴۹'۵۸N	صیادی
۲۰	دمیگز ۲	۵۱°۴۱'۰۷E	۲۷°۴۹'۴۵N	صیادی

۲-۲. استخراج ترکیبات PAHs از رسوبات

نمونه‌ها را به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه فریز درایر خشک نموده و سپس نمونه‌های خشک شده از غربال با مش ۲۰۰ میکرون عبور داده شدند. ۲ گرم از نمونه‌های رسوب خشک شده وزن و

نقاط جهان مقایسه شده است. براساس نتایج به دست آمده غلظت ΣPAHs در رسوبات مورد مطالعه در مقایسه با غلظت این ترکیبات در سواحل دارالسلام، غرب مدیترانه، سواحل بحرین، دریای جنوب چین، دریای سیاه و دریای زیمان چین مقدار کمتری را نشان می‌دهند. غلظت اندازه‌گیری شده به‌طور تقریبی در محدوده‌ی غلظت سواحل قطر و سواحل بوشهر است.

شده در ایستگاه مل گنزه ۲ مربوط به فلورانتین و کمترین غلظت ترکیبات PAHs مشاهده شده به‌ترتیب در ایستگاه‌های چاه پهن ۱، چاه پهن ۲، زیر آهک ۱، کبگان ۱، کبگان ۲، کبگان ۴، بردخون ۳، بردخون ۴، دمیگز ۱ و دمیگز ۲ مربوط به دی بنزو [ah] آنتراسن بود (جدول ۳).
در جدول ۴ نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر با نتایج به دست آمده از مطالعه ترکیبات در ΣPAHs رسوبات سایر

جدول ۳: غلظت ترکیبات PAHs و نسبت‌های مولکولی PAHs بر حسب نانوگرم به گرم وزن خشک در رسوبات ایستگاه

PAHs ایستگاه/ترکیبات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	RSDs% (n=3)
Na	۶/۱	۶/۶	۶/۹	۶/۶	۶/۸	۶/۸	۶/۵	Nd	۶/۶	Nd	۶/۶	Nd	۶/۶	Nd	۷/۳	۷/۱	۶/۸	۷/۰	۶/۸	۶/۷	۰/۹-۰/۱
Acen	۶/۵	۶/۷	۶/۵	Nd	Nd	Nd	۱۰/۷	Nd	۶/۹	۷/۰	۷/۶	Nd	Nd	Nd	Nd	۸/۳	Nd	Nd	Nd	Nd	۷/۰-۱/۰
Ace	۴/۹	۴/۹	Nd	Nd	۴/۹	۴/۸	۵/۰	۴/۸	۴/۸	۴/۹	۴/۸	Nd	Nd	۴/۸	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	۰/۳-۰/۱
Fl	۱۰/۲	۹/۳	۶/۰	Nd	Nd	Nd	۱۵/۷	۶/۳	۷/۱	۱۰/۸	۱۶/۹	۶/۰	Nd	۶/۲	Nd	۹/۲	۶/۲	Nd	Nd	Nd	۵/۴-۱/۰
P	۵/۰	۴/۶	۴/۴	۵/۰	۴/۵	۴/۷	۵/۲	Nd	۴/۶	۴/۴	۵/۱	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۵/۶	۵/۰	۴/۷	Nd	Nd	۰/۹-۰/۱
A	Nd	۶/۹	Nd	Nd	Nd	Nd	۶/۸	Nd	Nd	Nd	۹/۲	Nd	۶/۴	Nd	Nd	۷/۳	Nd	۷/۴	Nd	Nd	۱/۶-۰/۹
Fluo	۱۸/۴	۷/۱	۹/۹	۷/۸	۶/۳	Nd	۱۰/۲	۶/۰	Nd	Nd	۶/۷	۷/۷	۷/۱	۶/۹	۸/۵	۱۰/۱	۸/۵	۱۹/۴	Nd	Nd	۵/۵-۱/۶
Py	۶/۲	۳/۲	۳/۸	۳/۸	۳/۲	۳/۸	۳/۴	۳/۸	۳/۸	۳/۸	۴/۵	۳/۸	۳/۸	۳/۸	۳/۸	۳/۸	۳/۴	۵/۱	۳/۲	۳/۲	۱/۸-۰/۱
BaA	۹/۹	۱/۴	۱/۸	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۲	۱/۸	۱/۸	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۲/۸	۲/۸	۱/۸	۱/۷	۳/۵-۰/۲
Ch	۵/۴	۵/۴	۵/۳	۵/۴	۵/۳	۵/۵	۵/۵	۵/۴	Nd	۵/۳	۵/۴	۵/۳	۵/۴	۵/۴	۵/۳	Nd	۵/۳	Nd	۵/۴	۵/۴	۰/۳-۰/۱
BbF	۷/۱	۶/۵	۶/۸	۶/۸	۶/۲	۶/۲	۶/۸	۵/۹	Nd	۵/۹	۶/۸	۵/۸	۶/۰	۵/۸	Nd	۶/۵	Nd	Nd	۵/۹	۵/۸	۳/۶-۰/۵
BkF	Nd	۴/۲	Nd	۴/۱	Nd	۴/۲	۴/۳	۴/۱	Nd	Nd	۴/۱	۴/۰	۴/۱	۴/۱	Nd	Nd	Nd	۴/۳	۴/۱	۴/۰	۱/۶-۰/۴
BaP	۴/۵	۴/۴	۴/۳	۴/۳	Nd	۴/۴	۴/۴	۴/۴	Nd	۴/۳	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۳	Nd	۴/۳	Nd	۴/۴	۴/۳	۴/۳	۰/۵-۰/۱
DahA	۰/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۴	Nd	Nd	۰/۴	۰/۴	۱/۲-۰/۳
BiP	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-
IP	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	۰/۸	Nd	Nd	۰/۵	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	۱/۳-۱/۰
LMW/HMW	۰/۶	۱/۲	۰/۸	۰/۴	۰/۷	۰/۶	۱/۴	۰/۴	۶/۵	۱/۳	۱/۴	۰/۳	۰/۷	۰/۳	۰/۶	۱/۵	۰/۹	۰/۵	۰/۳	۰/۷	-
Fluo/Py	۳/۰	۲/۲	۳/۲	۲/۵	۲/۰	-	۳/۰	۱/۹	-	-	۱/۵	۲/۵	۲/۳	۲/۲	۲/۷	۳/۳	۲/۵	۳/۸	-	-	-
P/A	-	۰/۷	-	-	-	-	۰/۸	-	-	-	-	-	۰/۷	-	۰/۶	-	۰/۸	-	۰/۶	-	-
Fluo/(Fluo+Py)	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۷	-	۰/۸	۰/۷	-	-	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۸	-	-	-
PAHs(ng/g D.W)	۸۵/۷	۷۱/۸	۵۴/۰	۴۴/۰	۳۸/۸	۴۱/۶	۸۶/۵	۴۱/۷	۳۴/۶	۴۷/۷	۸۶/۱	۴۲/۳	۵۴/۰	۴۱/۹	۳۰/۲	۶۳/۱	۳۷/۳	۵۴/۴	۳۱/۹	۴۲/۰	-

^a Concentration (ng/g D.W);Nd: Not detected*

جدول ۴: مقایسه مقادیر ΣPAHs رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه با مقادیر ΣPAHs بر حسب نانوگرم به گرم وزن خشک سایر نقاط جهان

منبع	سطح آلودگی	ΣPAHs	منطقه مورد مطالعه
Gaspar et al., 2009	کم تا خیلی زیاد	۷۷/۹-۳۴۶۰۰	دارالسلام تاترانیا
Zhou et al., 2000	متوسط	۲۴۷-۴۸۰	زیامان (چین)
Baumard et al., 1998	کم تا خیلی زیاد	۱-۲۰۵۰۰	غرب مدیترانه
Readman et al., 2002	کم تا متوسط	۷-۶۴۰	دریای سیاه
Yang, 2000	کم تا متوسط	۲۴-۲۷۵	دریای جنوب چین
Tolosa et al., 2005	کم	۲۱/۸۷	سواحل قطر
Tolosa et al., 2005	خیلی زیاد	۱۷۹۴	سواحل بحرین
میرزا و همکاران، ۱۳۹۰	کم تا متوسط	۴۱/۷-۲۲۷	سواحل بوشهر
مطالعه حاضر	کم	۳۰/۲-۸۶/۵	منطقه ویژه اقتصادی پارس شمالی

غلظت آلودگی (ng/g dw) ۰-۱۰۰ کم، ۱۰۰-۱۰۰۰ متوسط، ۵۰۰-۱۰۰۰ زیاد، >۵۰۰۰ خیلی زیاد (Baumard et al., 1998)

استفاده شده است. محاسبه نسبت مولکولی LMW/HMW در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، بجز ایستگاه‌های هدکان ۲، لاور ۱، کبگان ۱، کبگان ۲، کبگان ۳ و بردخون ۴ میزان کمتر از ۱ را نشان می‌دهد. کم بودن میزان این نسبت (کمتر یا مساوی ۱) مبین این است که PAHs موجود در رسوبات این ایستگاه‌ها منشاء پیروژنیک (احتراق سوخت‌های فسیلی) دارند. البته در

۲-۳. تعیین منشأ آلودگی با محاسبه نسبت‌های مولکولی در رسوبات

در مطالعه‌ی حاضر جهت تعیین منشأ PAHs موجود در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه از نسبت‌های LMW/HMW، فناترن به آنتراسن، فلورانتین به پیرن و فلورانتین/فلورانتین+پیرن

داد دود خارج شده از وسایل نقلیه ممکن است بزرگترین عامل وجود ترکیبات PAHs در رسوبات ساحلی باشند. ترکیبات PAHs ممکن است تا ۵۰ متری از حاشیه جاده‌ها، ناشی از وسایل نقلیه باشد. احتمالاً منابع اصلی آلودگی PAHs در این ایستگاه‌ها دود خارج شده از وسایل نقلیه، تردد شناورها و قایق‌های متعدد صیادی و غیر صیادی، تردد کشتی‌های مختلف نفتی و غیر نفتی بین مسیر عسلویه تا جزیره خارک و همچنین وجود مراکز تکثیر و پرورش میگو است. به‌طور کلی فعالیت‌های مختلف صنعتی و توریستی در زیست‌بوم‌های دریایی سهم عمده‌ای در ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی دارد (Domine et al., 1994).

به‌طور کلی مقادیر PAHs به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که رسوبات بررسی شده در مطالعه حاضر دارای سطح آلودگی کم هستند. نتایج حاصل با نتایج به‌دست آمده توسط میرزا و همکاران (۱۳۹۰) بر روی رسوبات سواحل استان بوشهر انجام شده تقریباً مطابقت دارد. احتمالاً علت پایین‌تر بودن مقادیر ΣPAHs نسبت به سایر نقاط جهان را می‌توان به دلیل شرایط محیطی خلیج فارس از جمله حرارت بالا، عمق نسبتاً کم و امکان نفوذ نور تا بستر در کل خلیج فارس و شرایط خوب فتواسیداسیون و تجزیه‌ی زیست‌شناختی ترکیبات نفتی عنوان کرد (Baumard et al., 1998).

نتایج حاصل از بررسی وزن مولکولی ترکیبات PAHs در رسوبات، حاکی از برتری ترکیبات با وزن مولکولی بالا در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. هیدروکربن‌ها با تعداد زیاد حلقه بنزنی حلالیت کمتری در آب داشته و دارای ضریب اکتانول/ آب (Kow) بیشتری نسبت به ترکیبات با تعداد حلقه کمتر هستند و تمایل بیشتری به جذب در رسوبات دارند. بنابراین غلظت ترکیبات سنگین وزن در رسوبات بیشتر از ترکیبات سبک وزن است (Baumard et al., 1998). از طرف دیگر با افزایش تعداد حلقه‌های بنزنی، مولکول‌ها پایدارتر می‌شوند و به همین دلیل ترکیبات سنگین وزن پایدارتر هستند. در مقابل ترکیبات PAHs با وزن مولکولی کم به سرعت در رسوبات تجزیه می‌شوند (Alexander, 1999). ترکیبات PAHs با وزن مولکولی بالا در مقابل تجزیه میکروبی نیز مقاوم‌تر هستند. در نتیجه هیدروکربن‌های آروماتیک با ساختار زنجیره خطی مانند آنتراسن نسبت به هیدروکربن‌ها با ساختار قفسه‌ای مانند پیرن راحت‌تر تجزیه می‌شوند (Simpson et al., 2006; Cerniglia, 1992).

ایستگاه هدکان ۲، لاور ۱، کبگان ۱، کبگان ۲، کبگان ۳ و بردخون ۴ این نسبت بالاتر از ۱ است که حاکی از وجود منابع پتروژنیک در این ایستگاه‌ها است. نتایج به‌دست آمده از نسبت Fluo/Py در ایستگاه‌های هدکان ۱، هدکان ۲، چاه پهن ۱، چاه پهن ۲، زیر آهک ۱، لاور ۱، لاور ۲، کبگان ۳، کبگان ۴، بردخون ۱، بردخون ۲، بردخون ۳، بردخون ۴، مل گنزه ۱ و مل گنزه ۲ بیشتر از ۱ به‌دست آمد که حاکی از منابع پتروژنیک است. مقادیر به‌دست آمده از نسبت P/A در ایستگاه‌های هدکان ۲، لاور ۱، کبگان ۳، بردخون ۱، بردخون ۴ و مل گنزه ۲ مقدار کمتر از ۱۰ را نشان می‌دهد و بر وجود منابع پتروژنیک در رسوبات این ایستگاه‌ها دلالت دارد. نتایج به‌دست آمده از نسبت Fluo/(Fluo+Py) در ایستگاه‌های هدکان ۱، هدکان ۲، چاه پهن ۱، چاه پهن ۲، زیر آهک ۲، لاور ۱، لاور ۲، کبگان ۳، کبگان ۴، بردخون ۱، بردخون ۲، بردخون ۳، بردخون ۴، مل گنزه ۱ و مل گنزه ۲ بیشتر از ۰/۵ به‌دست آمد که حاکی از منابع پتروژنیک است (جدول ۳).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

از بین ایستگاه‌های بررسی شده، ایستگاه لاور ۱ بیشترین آلودگی ΣPAHs را نشان می‌دهد. همچنین ایستگاه‌های کبگان ۳ و هدکان ۱ نیز میزان آلودگی بالاتری نسبت به دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه از خود نشان دادند. صید و صیادی از عمده فعالیت‌های انسانی در ایستگاه‌های لاور ۱، کبگان ۳ و هدکان ۱ است. به‌طور کلی در نواحی نزدیک بنادر، غلظت بالاتری از PAHs نسبت به سایر مناطق وجود دارد (Zakaria et al., 2002). همچنین مراکز تکثیر میگو در ایستگاه لاور ۱ از دیگر فعالیت‌های انسانی در این منطقه است. بزرگ‌ترین سایت پرورش میگو ایران به مساحت ۳۵۰ هکتار نیز در روستای کبگان وجود دارد که شامل ۶۴ مزرعه پرورش میگو و کانال اصلی انتقال آب به طول ۴۳۰۰ متر و کانال‌های فرعی به طول ۱۲ کیلومتر است. علاوه بر دلایل ذکر شده وجود بزرگ‌ترین ترمینال نفتی ایران یعنی جزیره خارک در نزدیکی مناطق نمونه‌برداری شده به تشدید آلودگی دامن می‌زند. وجود بزرگراه در کنار خط ساحلی که روزانه تعداد زیادی وسیله نقلیه از آن عبور می‌کنند نیز می‌تواند از دلایل آلودگی در این منطقه باشد (Neff et al., 2005). تحقیقات Yang و همکاران (۱۹۹۹) نشان

استانداردهای TEL (۱۶۸۴) و PEL (۱۹۷۷۰) حفاظت از محیط زیست فلوریدا^۲ بر حسب نانوگرم به گرم وزن خشک است. با توجه به میزان ΣPAHs و LMW و HMW در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه لاور ۱ از سایر ایستگاه‌ها آلوده تر به نظر می‌رسد. اما به‌طور کلی میزان آلودگی در این ایستگاه نیز بسیار پایین‌تر از میزان آلودگی استانداردهای مقایسه شده است و از نظر پتانسیل آسیب رساندن به موجودات کف‌زی، رسوبات مورد مطالعه در حد پایینی قرار دارند. اگرچه نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بوم‌سامانه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر آلودگی نفتی چشمگیری نیستند، اما توسعه‌ی میدان گازی پارس شمالی و تاسیسات تابعه آن می‌تواند به‌طور بالقوه تهدیدی بر پایداری بوم‌سامانه‌های مذکور و جوامع ساکن در آن‌ها به‌شمار آید. مدیریت مبتنی بر زیست‌بوم و ملاحظات زیست‌محیطی پیش از آغاز به کار و در حین توسعه این میدان گازی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مفید در حفاظت از محیط زیست طبیعی این منطقه قلمداد نمود.

منابع

میرزا، ر.؛ دادالهی سهراب، ع.؛ صفاهیه، ع.؛ محمدی، م.؛ سواری، ا.؛ عابدی، ا.، ۱۳۹۰. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقوی در صدف صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) و رسوبات مناطق بین جزر و مدی سواحل استان بوشهر (خلیج فارس). نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی. ۱۹-۱۱: ۲(۵).

Alexander, M., 1999. Biodegradation and Bioremediation. 2nd edition. Academic press, New York, USA. 255 pp.

Baumard, P.; Budzinski, H.; Garrigues, P., 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western mediterranean sea. Environmental Toxicology Chemicals, 17: 765-776.

Budzinski, H.; Jones, I.; Bellocq, J.; Pierard, C.; Garrigues, P., 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. Marine Chemistry, 58: 85-97.

Cerniglia, C.E., 1992. Biodegradation of polycyclic

محاسبه نسبت‌های مولکولی ترکیبات PAHs در ایستگاه‌های هدکان ۱، چاه پهن ۱، چاه پهن ۲، زیرآهک ۱، زیر آهک ۲، لاور ۲، کبگان ۴، بردخون ۱، بردخون ۲، بردخون ۳، مل گزنه ۱، مل گزنه ۲، دمیگز ۱ و دمیگز ۲ بر وجود منابع پیروژنیک در رسوبات این ایستگاه‌ها دلالت دارد. بر خلاف این ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های کبگان ۱ و کبگان ۲ منشاء پیروژنیک را نشان دادند. همچنین در ایستگاه‌های هدکان ۲، لاور ۱، کبگان ۳ و بردخون ۴ مخلوطی از منبع پیروژنیک و پیروژنیک با غالبیت پیروژنیک موجود است. به‌طور کلی محاسبه نسبت ترکیبات PAHs در رسوبات نشان می‌دهد که رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر مخلوطی از منبع پیروژنیک و پیروژنیک با غالبیت پیروژنیک هستند که این یافته با بررسی منابع آلوده کننده احتمالی در منطقه مطابقت دارد. منابع پیروژنیک در ایستگاه‌ها مورد مطالعه در اثر فعالیت‌های قایق‌ها و شناورهایی است که همواره از ترکیبات نفتی مانند بنزین و گازوئیل به‌عنوان سوخت موتور خود استفاده می‌کنند و در نهایت ترکیبات حاصل از احتراق این ترکیبات نفتی، منابع پیروژنیک را فراهم می‌سازند. یکی دیگر از منابع پیروژنیک PAHs در این مناطق ته‌نشینی ترکیبات PAHs موجود در اتمسفر که به ذرات معلق متصل هستند و در اثر جریانات بادی می‌توانند در فواصل زیادی جابجا شوند و در اثر فرآیندهای مثل باران و ته‌نشینی وارد آب دریا و در نهایت رسوبات بشوند. احتمالاً علت وجود منابع پیروژنیک در ایستگاه‌های کبگان ۱ و کبگان ۲ وجود بزرگترین سایت پرورش میگو ایران در این منطقه است که احتمالاً نشت ترکیبات نفتی از تاسیسات موتوری گارگاه‌های پرورش میگو مند و انتقال به سواحل ایستگاه کبگان ۱ و کبگان ۲ توسط کانال‌های ورودی و خروجی انتقال آب دلیل این موضوع است. همچنین ریزش تصادفی نفت از شناورهایی که بین مسیر عسلویه تا جزیره خارک رفت و آمد داشته و تردد قایق‌ها و لنج‌های متعدد صیادی و غیر صیادی که پساب‌های روغنی و نفتی خود را وارد دریا می‌کنند نیز بسیار اهمیت دارد (Latimer and Zheng, 2003; Tam et al., 2001; Baumard et al., 1998; Budzinski et al., 1997).

با توجه به نتایج به‌دست آمده غلظت‌های PAHs محاسبه شده در این مطالعه پایین‌تر از استانداردهای ERL (۴۰۲۲) و ERM (۴۴۷۲۹) کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)^۱ و همچنین پایین‌تر از

² Florida Department of Environmental Protection (FDEP)

¹ National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)

- contamination of the Black Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 44: 48-62.
- Shamsipur, M.; Hassan, J., 2010. A novel miniaturized homogenous liquid-liquid solvent extraction-high performance liquid chromatographic-fluorescence method for determination of ultra traces of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment samples, *Journal of Chromatography*, 4877-4882.
- Simpson, S.L.; Burston, V.L.; Jolley, D.F.; Chau, K., 2006. Application of surrogate methods for assessing the bioavailability of PAHs in sediments to a sediment ingesting bivalve chemosphere, 65: 2401-2410.
- Tam, N.F.Y.; Ke, L.; Wang, X.H.; Wong, Y.S., 2001. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamp. *Environmental Pollution*, 114:255-263.
- Tolosa, I.; de Mora, S.J.; Fowler, S.W.; Villeneuve, J.; Bartocci, J.; Cattini, C., 2005. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Persian Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1619-1633.
- Walker, C.H., 2002. *Organic pollutants: an ecotoxicological perspective*, Taylor and Francis, London, 120 P.
- Yang, G.P., 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the South China Sea, *Environmental Pollution*, 108:163-171.
- Zakaria, M.P.; Takada, H.; Tsutsumi, S.; Ohno, K.; Yamada, J.; Kouno, E.; Kumata, H., 2002. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Rivers and Estuaries in Malaysia: A Widespread Input of Petrogenic PAHs. *Environmental Sciences Technological*, 36: 1907-1918.
- Zheng, G.J.; Lam, M.H.W.; Lam, P.K.S.; Richardson, B. J.; Man, B.K.W.; Li, A.M.Y., 2000. Concentration of Persistent Organic pollutants in Surface Sediments of the Mudflat and Mangroves at Mai Po Marshes Nature Aromatic Hydrocarbons. *Environmental Pollution*, 3: 351-368.
- Domin, D.; Devillers, J.; Garrigues, P.; Budzinski, H.; Chastrette, M.; Karcher, W., 1994. Chemometrical evaluation of the PAHs contamination in the sediments of the Gulf of Lion (France). *The science of the total environment*, 155: 9-24.
- Doong, R.A.; Lin, Y.T., 2004. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminations in surface sediment and water from Gao-ping River, Taiwan. *Water Research*, 38: 1733-1744.
- Gaspere, L.; Machiva, J.F.; Mdachi, S.J.M.; Streck, G.; Brack, W., 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination of surface sediments and oysters from the inter-tidal areas of Dar es Salaam, Tanzania. *Environmental Pollution*, 1-11 p.
- Jiang, J.J.; Lee, C.L.; Fang, M.D.; Liu, J.T., 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal sediments of southwest Taiwan: an appraisal of diagnostic ratios in source recognition. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 752-760.
- Latimer, J.S.; Zheng, J., 2003. The sources, transport, and fate of PAHs in the marine environment. *PAHs: An ecotoxicological perspective*. JohnWiley and SonsLtd. England.
- Lima, A.L.C.; Eglinton, T.I.; Reddy, C.M., 2003. High resolution record of pyrogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon deposition during the 20th century. *Environmental Science and Technology*, 37: 53-61.
- Neff, J.M.; Stout, S.A.; Gunstrrt, D.G., 2005. Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments: Identifying Sources and Ecological Hazard, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1:22-33.
- Readman, J.W.; Fillmann, G.; Tolosa, I.; Bartocci, J.; Villeneuve, J.P.; Cattini, C., 2002. Petroleum and PAH

2000. Multi-phase distribution of Organic micropollutants in Xiamen Harbour, China, Water Research, 34: 2132-2150.

Reserve, Hong Kong, Marine Pollution Bulletin, 40: 1210-1214.

Zhou, J.L.; Hong, H.; Zhang, Z.; Maskai, K.; Chen, W.,