منشاءیابی هیدروکربن‌های موجود در رسوبات سطحی سواحل خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر با استفاده از نشانگرهای زیستی آلکان نرمال

مهدی دشت بزرگ[۱]
علیرضا ریاحی بختیاری[۲]*
محمدرضا شوشی زاده[۳]
لعبت تقوی[۴]

۱. دانشجوی گروه علوم محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳. دانشیار گروه شیمی دارویی، دانشکده داروسازی، مرکز تحقیقات علوم دارویی دریایی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور، اهواز، ایران
۴. دانشیار گروه علوم محیطزیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

***مسئول مکاتبات:**
Riahi@modares.ac.ir

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۴۰۷۶۸
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵
این مقاله برگرفته از رساله دکتری است.

چکیده

این مطالعه باهدف تعیین منشأ هیدروکربن‌های موجود در رسوبات سطحی سواحل خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر با استفاده از نشانگرهای زیستی آلکان‌های نرمال در سال ۱۳۹۷ انجام شد. جهت انجام این تحقیق ۸ ایستگاه اصلی و از هر ایستگاه اصلی ۳ نقطه جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید. نمونه‌ها از رسوبات سطحی (۵ – ۰ سانتی‌متر) در ۲۴ نقطه منتخب نوار ساحلی استان بوشهر برداشت گردید. آزمایش‌های موردنظر در این تحقیق روی هر نمونه با ۳ بار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان رس در نمونه رسوب منطقه بهرگان (۶۲ درصد) و کمترین آن در نمونه رسوب منطقه نایبند (۲۸ درصد)، بیشترین میزان سیلت در نمونه رسوب منطقه مند (۳۴ درصد) و کمترین آن در نمونه رسوب بندر گناوه (۲۳ درصد) و بیشترین میزان شن در نمونه رسوب بندر عسلویه (۴۵ درصد) و کمترین آن در نمونه رسوب بندر بهرگان (۱۳ درصد) می‌باشد. محدوده مواد آلی کل نیز در نمونه‌های رسوب ۱۸/۸ (AP-3)– ۲۶۴/۴ (GP-2) میلی‌گرم بر گرم وزن خشک تعیین گردید (میانگین = ۵۲±۴۷/۷). نتایج اندازه‌گیری ترکیبات آلکان نرمال با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی نشان داد که بیشترین میزان آلکان مربوط به ایستگاه گناوه–۲ (GP-2) با ۲۲۰۶۲۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان مربوط به ایستگاه عسلویه–۳ (AP-3) با ۴۰۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک رسوب می‌باشد. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که میزان مواد آلی کل و ترکیبات آلکان در رسوبات ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($P\leq ۰/۰۵$). میزان آلکان در رسوبات موردمطالعه نشان داد که بر اساس معیار بین‌المللی رسوبات به‌شدت آلوده می‌باشند. جهت تعیین منشأ آلکان‌های نرمال از شاخص‌های CPI (۲/۱–۰) و بیومارکرهایی نظیر Pr/Ph (۲/۱–۰)، $Pr/n\text{-}C_{17}$ (۶/۴–۳/۰)، $Ph/n\text{-}C_{18}$ (۷/۲–۳/۰)، LMW/HMW (۵/۱–۱/۰) و U/R (۱/۳–۷۵/۱۰) استفاده گردید. نتایج نشان داد که هیدروکربن‌های موجود در رسوبات سطحی منطقه موردمطالعه منشأ پتروژنیک (نفتی) دارند که ممکن است ناشی از نشت مواد نفتی از خطوط انتقال نفت خام، نشت از سکوهای بهره‌برداری نفت خام، تردد نفت‌کش‌ها و عوامل دیگر باشد.

واژگان کلیدی: منشاءیابی، نشانگرهای زیستی، آلکان نرمال، رسوبات سطحی، خلیج‌فارس.

مقدمه

بدون تردید صنایع نفت و گاز و فرآیندهای وابسته به آن (ازجمله فرآیندهای تخصصی، پشتیبانی و خدماتی) از مهم‌ترین منابع آلودگی محیطزیست به شمار می‌روند که با توجه به پراکندگی آن‌ها در جهان، کم‌وبیش سایر کشورها را با معضلات جدی زیست‌محیطی مواجه نموده است. این مسئله در مواقعی نمود بیشتری پیدا می‌کند که محیط پذیرنده از حساسیت اکولوژیکی بالایی برخوردار باشد. در سال‌های اخیر، آلودگی‌های راه‌یافته به محیطزیست دریایی و سواحل، به‌ویژه آلاینده‌های نفتی، بر اکوسیستم‌های ساحلی تأثیر بسزایی گذاشته است (Singkran, 2013) و نتیجه

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

تحقیقات حاکی از تأثیرات بحرانی این آلودگی‌ها بر اکوسیستم‌های دریایی، فعالیت‌های ماهیگیری، حیات‌وحش و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Santos *et al*., 2013; Mokhtari *et al*., 2015; de Andrade *et al*., 2010; Lamine and Xiong, 2013).

خلیج‌فارس حدود ۶۰ درصد از ذخایر اثبات‌شده نفت خام جهان را دارا می‌باشد و دوسوم از ترافیک محموله‌های نفتی در این منطقه انجام می‌شود، درحالی‌که تنها ۰/۱ درصد از مساحت آبی جهان را شامل می‌شود (Khan, 2002). این خلیج مهم به دلیل نشت نفت خام و میعانات نفتی ناشی از عوامل مختلفی چون شستشوی تانکرهای نفت‌کش، تخلیه آب توازن کشتی‌ها، سکوهای بهره‌برداری از چاه‌های نفت و گاز و سوانحی مانند برخورد و تصادف کشتی‌های نفت‌کش و انهدام و آتش‌سوزی سکوهای نفتی، در معرض آلودگی شدید نفتی قرار دارد (Munawar *et al*., 2002 و ROPME, 1996). در برخی موارد یک تصادم کشتی در اکوسیستم آبی می‌تواند میزان مواد نفتی را در حتی در یک ساحل با فعالیت نفتی متمرکز تا بیش از ۵۳ برابر افزایش دهد (Wang *et al*., 2020). گونه‌های باارزشی از جانداران دریایی ازجمله لاک‌پشت‌ها، پرندگان، نهنگ‌ها، وال‌ها، دلفین‌ها و بیش از ۵۰۰ گونه ماهی در این مکان زندگی می‌کنند که اغلب آن‌ها بومی خلیج‌فارس می‌باشند (UNEP, 1999). سواحل خلیج‌فارس به دلیل لانه گزینی لاک‌پشت‌ها، پرندگان آبزی و کنار آبزی و همچنین رشد گیاهان باارزش ازجمله گیاه حرا بسیار حائز اهمیت می‌باشد (UNEP, 2002).

استان بوشهر با دارا بودن خط ساحلی طولانی (در حدود ۷۰۷ کیلومتر) در امتداد خلیج‌فارس با موقعیت استراتژیک و ژئوپلیتیک خاص، دارای موقعیت بسیار حساس و مهمی در منطقه بوده و یکی از بنادر مهم کشور ایران محسوب می‌شود که در شمال خلیج‌فارس واقع‌شده است (Noroozi Karbasdehi *et al*., 2017). با توجه به تراکم بالای تأسیسات نفت در این منطقه، حجم بالای حمل‌ونقل نفت و نیمه بسته بودن خلیج‌فارس، خطر آلودگی نفتی در این منطقه به‌طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته و به یکی از مناطق بسیار آسیب‌پذیر در جهان تبدیل‌شده است (Mehdinia *et al*., 2015; Burton and Johnston, 2010). بیش از ۴۰ درصد از مناطق خلیج‌فارس با توسعه بسیار گسترده همراه بوده و از این حیث این سواحل را بسیار تحت تأثیر قرار داده است (Niamaimandi *et al*., 2017). سواحل استان بوشهر نیز تحت تأثیر بسیار شدید مواد نفتی قرار دارد و نشت مواد نفتی به یک پدیده شایع در این منطقه تبدیل‌شده است. با توجه به ماهیت سرطان‌زایی ترکیبات شیمیایی موجود در ترکیبات نفتی، کیفیت آب سواحل کاهش پیداکرده و مناطق ساحلی بسیار آلوده‌شده‌اند، درنتیجه نظارت بر آلاینده‌های نفتی در زیست‌بوم دریایی به‌ویژه در سواحل از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تحقیق در این زمینه بسیار ضروری می‌باشد.

یکی از راهکارهای مهم در جهت کاهش این اثرات منفی بر محیط‌زیست، اتخاذ رویکردهای پیشگیرانه (Preventive approach) است، رویکردی که در سال‌های اخیر موردتوجه جدی بسیاری از متخصصین امر قرارگرفته و مبنای تدوین راهبردها در کلیه صنایع، به‌ویژه صنایع نفت و گاز قرارگرفته است (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2017a; Dashtbozorg *et al*., 2019). پیش‌نیاز اتخاذ این راهبردها، یافتن منشأ اصلی بروز این آلودگی‌هاست، که البته در بسیاری از موارد یافتن این سرچشمه‌های تولید با معضلات متعددی روبروست چراکه نفت و مشتقات آن با توجه به کاربرد متنوع آن‌ها، تقریباً در همه صنایع کم‌وبیش مورداستفاده قرارگرفته و محدوده بسیار وسیعی را متأثر می‌نماید (Liu *et al*., 2014). نشانگرهای زیستی ازجمله آلکان‌های نرمال، هوپان، استران و PAHs می‌توانند در تعیین منشأ آلودگی‌های راه‌یافته به اکوسیستم‌های آبی بسیار کارا بوده و مدیریت اثربخش این اکوسیستم‌های باارزش را تسهیل نمایند. در سال‌های اخیر استفاده از نشانگرهای زیستی در تشخیص منشأ هیدروکربن‌های نفتی در اکوسیستم‌های آبی، ساحلی و خشکی بسیار افزایش‌یافته است. طبق تحقیقات انجام‌شده آلکان‌های نرمال مشتق شده از نفت، خروجی اگزوز خودروها و احتراق سوخت‌های فسیلی دارای غالبیت کربن n-C_{20} و n-C_{21} می‌باشند (Lu *et al*., 2002). آلکان‌های نرمال به دلیل زنجیره مستقیم و مقاومتشان در برابر تجزیه دیاژنتیکی در تعیین منشأ هیدروکربن‌ها به‌عنوان نشانگر زیستی بسیار مناسب و کارآ می‌باشند (Zhang *et al*., 2020). برای تشخیص منشأ آلکان‌های نرمال از شاخص‌هایی نظیر شاخص ارجحیت کربن (CPI)، نسبت پریستان به فیتان (Pr/Ph)، Pr/n-C_{17}، Ph/n-C_{18}، نسبت هیدروکربن‌های با وزن مولکولی پایین به هیدروکربن‌های با وزن مولکولی بالا

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

(LMW/HMW) و هیدروکربن‌های نامحلول به هیدروکربن‌های محلول (U/R) استفاده می‌شود (Wang *et al*., 2011a). ترکیبات آلکان نرمال از منابع گوناگونی وارد محیط‌زیست می‌شوند که می‌توانند منشأ طبیعی داشته باشند (ازجمله آتش‌سوزی جنگل‌ها، تجزیه مواد آلی در طبیعت و فعالیت‌های آتش‌فشانی)، اما منبع اصلی ورود این آلاینده‌ها به محیط فعالیت‌های انسانی است. منابع انسانی ورود آلکان‌های نرمال به محیط شامل منشأ پتروژنیک و پایروژنیک می‌باشند. منابع پتروژنیک شامل نفت خام و فرآورده‌های نفتی ازجمله نفت کوره، نفت سفید، بنزین، گازوئیل و روغن‌موتور می‌شود که از طریق ریزش‌های نفتی و عملیات تانکرها و کشتی‌ها ازجمله تخلیه آب توازن وارد اکوسیستم آبی می‌شود. اما منابع پایروژنیک به دلیل احتراق ناقص مواد آلی ازجمله چوب، زغال و مشتقات نفت خام به وجود آمده و بدین ترتیب وارد اتمسفر و ته‌نشست می‌شوند. در مواردی که تعیین منشأ هیدروکربن‌ها با استفاده از نشانگرهای زیستی آلکان‌های نرمال میسر نباشد، استفاده هم‌زمان از نشانگرهای زیستی آلکان‌های نرمال و ترکیبات آروماتیک حلقوی می‌تواند نتایج با قطعیت بالاتری ارائه دهد (Vane *et al*., 2020).

غفاری و همکاران تحقیقی درزمینهٔ تعیین منشأ مواد آلی در رسوبات مانگرویی خلیج‌فارس (جزیره قشم) در سال ۱۳۹۲ انجام دادند. در تحقیق اشاره‌شده از شاخص‌های موردنظر در این تحقیق به همراه شاخص‌های برگرفته از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک استفاده‌شده است. نتایج تحقیق موردنظر نشان داد که عمده مواد هیدروکربنی موجود در رسوبات دارای منشأ بیوژنیک (زیستی) می‌باشند (غفاری و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین در مطالعه‌ای که توسط رنجبر جعفرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۹ انجام‌شده است با استفاده از شاخص‌های برگرفته از آلکان‌های نرمال، استران و هوپان مشخص گردید که هیدروکربن‌های موجود در رسوبات سطحی ۱۰ جزیره واقع در خلیج‌فارس دارای منشأ پتروژنیک می‌باشند (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2019). رستمی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۹ تحقیقی درزمینه‌ی ارزیابی سمیت، منشاء، تجزیه زیستی و هوازدگی هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات سطحی خلیج‌فارس در منطقه ویژه اقتصادی انجام دادند. در این تحقیق نیز از شاخص‌هایی که در مطالعه حاضر استفاده‌شده است بهره‌گیری شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که مواد هیدروکربنی موجود در رسوبات دارای منشأ پتروژنیک بوده و با توجه به قدمت ریزش نفت دچار هوازدگی شدید شده است (Rostami *et al*., 2019). هدف از این تحقیق، استفاده از نشانگرهای زیستی آلکان نرمال در تعیین منشأ هیدروکربن‌های موجود در رسوبات سطحی خلیج‌فارس در استان بوشهر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این تحقیق، ۸ ایستگاه اصلی در سواحل خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر (از ۲۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی) تعیین و از هر ایستگاه اصلی ۳ نقطه جهت نمونه‌برداری از رسوب سطحی انتخاب شد (شکل ۱). مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های برداشت نمونه در جدول ۱ آورده شده است. انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس معیارهایی چون جهت حرکت غالب آب در خلیج‌فارس، حساسیت اکولوژیکی ایستگاه‌های موردمطالعه، منابع احتمالی آلودگی‌های نفتی در منطقه و پیشینه آلودگی‌های راه‌یافته به مناطق موردنظر انجام شد. پس از انتخاب ایستگاه‌ها بافاصله حداقل ۳۰۰ متر و ثبت موقعیت آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS، در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۷ از هر ایستگاه ۳ نمونه رسوب سطحی (۵ – ۰ سانتیمتر) به‌وسیله بیلچه استیل در زمان جزر آب خلیج برداشت شد. به‌منظور بالا بردن دقت کار و حذف خطاهای احتمالی، نمونه‌های رسوب، پس از جمع‌آوری درون ورق آلومینیوم (فویل) ریخته و بسته‌بندی شدند و روی هر بسته مشخصات نمونه شامل محل، تاریخ و ساعت نمونه‌برداری قید گردید. نمونه‌های رسوب ابتدا در کلمن‌های حاوی یخ خشک و پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا انجام مراحل بعدی آزمایش نگهداری شدند. جهت خشک نمودن نمونه‌ها از دستگاه خشک‌کن انجمادی (Freeze dryer) به مدت ۷۲ ساعت استفاده گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از هاون چینی کاملاً نرم و یکدست شدند و تا انجام آنالیزهای شیمیایی در ظروف دربسته در فریزر (۲۰- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. جهت تعیین اندازه

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

ذرات نمونه‌های رسوب (ترکیب دانه‌بندی)، ابتدا مواد آلی، کربنات و سیلیس آن‌ها با استفاده از آب‌اکسیژنه ۳۰ درصد، سود ۰/۵ مولار و اسید هیدروکلریدریک ۱ مولار حذف گردید. سپس رطوبت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی به مدت ۷۲ ساعت کاملاً گرفته شد و درنهایت ۱ گرم از نمونه‌ها در مخزن تزریق دستگاه آنالیز لیزری توزیع اندازه ذرات (Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer) مارک Horiba مدل LA-950 واردشده و درصد و قطر ذرات نمونه‌ها مشخص شد. تفکیک طبقات قطری ذرات نیز در سه دسته ذرات رس (کوچک‌تر از ۲ میکرون)، سیلت (۲ تا ۶۳ میکرون) و شن (بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون) انجام شد. جهت اندازه‌گیری میزان مواد آلی کل (Total organic matter (TOM)) در نمونه‌های رسوب، از روش سوزاندن (Loss on ignition (LOI)) در کوره الکتریکی استفاده گردید. ابتدا حدود ۱۰ گرم از نمونه رسوب خشک‌شده را در هاون همگن نموده و پس از حذف شاخ و برگ و پوسته‌های صدف، جهت حذف کربن معدنی، ۳-۲ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک ۱ مولار به آن اضافه و سپس به مدت ۱۰ ساعت در آون در دمای ۱۰۰C° خشک گردید. در مرحله بعد حدود ۵ گرم رسوب خشک‌شده حاصل در بوته‌های چینی تمیز، خشک و دارای وزن مشخص، وزن شد. سپس نمونه‌های رسوب در دمای ۵۵۰C° به مدت ۴ ساعت در کوره الکتریکی سوزانده و پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین گردیدند. درنهایت درصد مواد آلی هر نمونه بر اساس میزان کاهش نسبت به وزن اولیه محاسبه شد (Riyahi Bakhtiari *et al*., 2009).

برای تعیین میزان هیدروکربن‌های آلکان در نمونه‌های رسوب، قبل از شروع کار، به‌منظور برطرف سازی آلاینده‌های احتمالی، تمامی ظروف ابتدا با آب مقطر و کف صابون فراوان شستشو و سپس با متانول، استون و هگزان نرمال پاک‌سازی شدند و پس‌ازاینکه درب ظروف با پوش‌برگ پیچیده شد به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. سپس حدود ۱۰ گرم از نمونه‌های رسوب خشک‌شده توزین گردید. جهت استخراج مواد آلی نمونه‌ها، از دستگاه سوکسله (هر نمونه ۱۰ ساعت) استفاده شد. حلال آلی به‌کاررفته در این مرحله ۱۰۰ mL دی‌کلرومتان (Dichloromethane (DCM)) بود. نمونه‌های رسوب به علت فعالیت میکروارگانیسم‌ها همواره دارای مقداری گوگرد (سولفات) می‌باشد که در کروماتوگرام دستگاه GC-MS ایجاد اختلال می‌نمایند و باعث ایجاد پیک مزاحم می‌شوند. به‌منظور فرآیند گوگردزدایی از نمونه‌ها، چند قطعه مس فعال‌شده به ظروف حاوی نمونه اضافه شد و نمونه‌ها به مدت یک شبانه‌روز در این وضعیت در یخچال نگهداری شدند. پس‌ازاین مدت چنانچه رنگ قطعه‌های مس زیاد تغییر کرده بود نیاز بود تا فرآیند مجدداً تکرار گردد. این فرآیند تا اطمینان از حذف کامل گوگرد از نمونه‌ها ادامه یافت. جهت فعال کردن تکه‌های مس از اسیدکلریدریک غلیظ استفاده شد و مس‌ها پس از فعال‌سازی با استفاده از متانول، استون و هگزان نرمال شستشو داده‌شده و در حلال دی کلرومتان نگهداری شدند تا در مواقع نیاز مورداستفاده قرار گیرند. پس‌ازاین مرحله، کاهش حجم نمونه‌های استخراجی توسط تبخیرکننده دوار (Rotary evaporator) و جریان ملایمی از گاز نیتروژن تا حدود ۳-۲ میلی‌لیتر انجام پذیرفت و در ادامه نمونه‌های تغلیظ شده بر روی ستون سیلیکاژل ۵ درصد غیرفعال شده آبگیری (خشک) شده و با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط دی‌کلرومتان/هگزان نرمال به نسبت حجمی (۳:۱)، هیدروکربن‌ها (بخش غیر قطبی) شامل آلکان‌ها جدا شدند. در ادامه هیدروکربن‌های به‌دست‌آمده از مرحله‌ی اول کروماتوگرافی ستونی توسط ستون سیلیکاژل کاملاً فعال‌شده، به دو بخش مجزا تقسیم گردید. جهت جداسازی آلکان‌های نرمال از ۴ میلی‌لیتر هگزان نرمال استفاده شد. بخش‌های جداشده مجدداً توسط دستگاه تبخیرکننده‌ی چرخشی و جریان ملایم گاز نیتروژن، حلال پرانی شده تا به حجم ۲-۳ mL برسد. نمونه‌ی مربوطه توسط پیپت پاستور به ظروف شیشه‌ای مخصوص دستگاه GC-MS (Vial) با حجم ۱/۵ میلی‌لیتر منتقل‌شده، سپس نمونه‌ها با جریان نسبتاً آرام گاز نیتروژن تقریباً خشک گردید. قبل از تزریق به دستگاه GC-MS، ۱۰۰ میکرو لیتر ایزواکتان حاوی استاندارد داخلی به نمونه محتوی ویال اضافه‌شده و درنهایت نمونه‌ها به دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) مارک Agilent مدل ۷۸۹۰A ساخت کشور آمریکا (به همراه طیف‌سنج جرمی (Mass spectrometer) مارک Agilent مدل ۵۹۷۵C ساخت کشور آمریکا) تزریق شدند. گاز حامل نمونه هلیوم و ستون کاپیلاری DB-5MS با مشخصات ۳۰ متر طول و ۰/۲۵ ضخامت میلی‌متر ساخت کشور آمریکا (مدل J&W Scientific) مورداستفاده قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری میزان ترکیبات آلکان‌های نرمال دمای تزریق ۷۰ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد (۳۰ درجه

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

افزایش در دقیقه) و مدت تزریق ۱۰ دقیقه تنظیم شد. به‌منظور کنترل کیفی، نمونه‌های blank (به ازا هر ۵ نمونه یک نمونه blank) به همراه نمونه‌های رسوب، آماده‌سازی و آنالیز شدند. با توجه به یک ترکیب دوتریت شده آلکان در ابتدای فرآیند استخراج (قبل از سوکسله)، میزان راندمان استخراج هیدروکربن‌ها محاسبه شد. به‌علاوه برای ارزیابی تکرارپذیری، یک نمونه به ۳ قسمت تقسیم و تمامی مراحل آزمایش برای هر ۳ قسمت به‌طور یکسان انجام شد. با محاسبه انحراف معیار و میانگین غلظت‌های به‌دست‌آمده میزان تکرارپذیری داده‌ها موردبررسی قرار گرفت (Yunker and Macdonald, 2003). جهت تعیین منشأ آلکان‌های نرمال از شاخص‌های ارجحیت کربن (CPI) (نسبت مجموع کربن‌های فرد به مجموع کربن‌های زوج) به‌منظور تشخیص منشأ انسانی یا طبیعی هیدروکربن‌ها، نسبت پریستان به فیتان (Pr/Ph)، نسبت پریستان به کربن ۱۷ (Pr/*n*-C_{17}) و نسبت فیتان به کربن ۱۸ (Ph/*n*-C_{18}) جهت اطمینان از حضور مواد نفتی، تشخیص میزان تجزیه زیستی آلکان‌ها و منشأ جانوری یا گیاهی بودن آن‌ها و نسبت هیدروکربن‌های با وزن مولکولی پایین به هیدروکربن‌های با وزن مولکولی بالا (LMW/HMW) به‌منظور تعیین منشأ هیدروکربن‌ها از جنبه موجودات آبزی یا خشکی زی و نسبت ترکیبات نامحلول آلیفاتیک به ترکیبات محلول آلیفاتیک (U/R) جهت تشخیص میزان تجزیه و شدت هوازدگی هیدروکربن‌ها استفاده شد (فریدونی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Riyahi Bakhtiari *et al*., 2009).

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات سطحی موردمطالعه در استان بوشهر (۱۳۹۷).

ردیف	ایستگاه	نام اختصاری	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	بندر بهرگان-۱	BAB-1	49′ 49.97"°29	15′ 31.67"°50
۲	بندر بهرگان-۲	BAB-2	49′ 41.2"°29	15′ 40.01"°50
۳	بندر بهرگان-۳	BAB-3	49′ 27.53"°29	15′ 53.96"°50
۴	بندر گناوه-۱	GP-1	33′ 44.06"°29	30′ 17.65"°50
۵	بندر گناوه-۲	GP-2	33′ 6.91"°29	30′ 35.06"°50
۶	بندر گناوه-۳	GP-3	32′ 34.24"°29	31′ 4.73"°50
۷	بندر بوشهر-۱	BUB-1	3′ 13.7"°29	52′ 11.54"°50
۸	بندر بوشهر-۲	BUB-2	59′ 42.33"°28	49′ 43.34"°50
۹	بندر بوشهر-۳	BUB-3	52′ 21.68"°28	50′ 35.24"°50
۱۰	ساحل باشی-۱	BSB-1	41′ 10.68"°28	4′ 19.33"°51
۱۱	ساحل باشی-۲	BSB-2	40′ 23.92"°28	4′ 26.07"°51
۱۲	ساحل باشی-۳	BSB-3	39′ 56.23"°28	4′ 28.4"°51
۱۳	منطقه حفاظت‌شده مند-۱	MPA-1	9′ 32.71"°28	16′ 4.51"°51
۱۴	منطقه حفاظت‌شده مند-۲	MPA-2	55′ 50.85"°27	23′ 47.23"°51
۱۵	منطقه حفاظت‌شده مند-۳	MPA-3	49′ 23.43"°27	42′ 23.64"°51
۱۶	بندر کنگان-۱	KP-1	50′ 30.48"°27	1′ 8.16"°52
۱۷	بندر کنگان-۲	KP-2	49′ 40.24"°27	3′ 38.87"°52
۱۸	بندر کنگان-۳	KP-3	48′ 37.16"°27	4′ 26.91"°52
۱۹	بندر عسلویه-۱	AP-1	29′ 28.03"°27	34′ 58.74"°52
۲۰	بندر عسلویه-۲	AP-2	28′ 6.95"°27	36′ 34.66"°52
۲۱	بندر عسلویه-۳	AP-3	27′ 30.92"°27	37′ 51.18"°52
۲۲	پارک ملی نایبند-۱	NNP-1	23′ 58.7"°27	38′ 54.4"°52
۲۳	پارک ملی نایبند-۲	NNP-2	24′ 13.21"°27	38′ 17.43"°52
۲۴	پارک ملی نایبند-۳	NNP-3	24′ 8.9"°27	37′ 41.65"°52

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

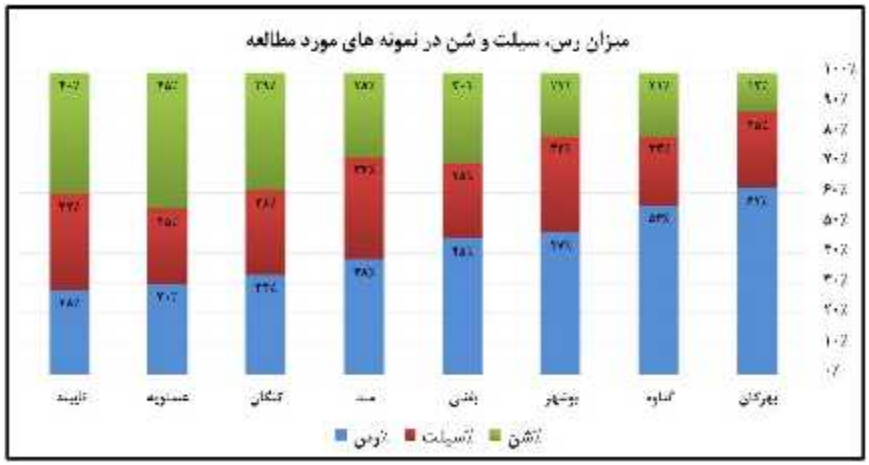
شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه در استان بوشهر (سال ۱۳۹۷).

نتایج

در این تحقیق، ترکیب دانه‌بندی رسوبات، میزان مواد آلی کل و هیدروکربن‌های آلکان نرمال در نمونه‌های رسوب سطحی خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر تعیین شد.

آزمایش دانه‌بندی رسوبات سطحی ایستگاه‌های موردمطالعه نشان داد که به‌طور میانگین رسوبات منطقه حاوی ۴۱/۵ درصد رس، ۲۸/۳ درصد سیلت و ۳۰/۲ درصد شن می‌باشند و بر اساس هرم دانه‌بندی رسوبات، در طبقه رسوبات رسی قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که هر چه از سمت بندر بهرگان به سمت پارک ملی نایبند حرکت می‌کنیم درصد رس کاهش و درصد شن افزایش می‌یابد. در شکل ۲ میانگین درصد رس، سیلت و شن در مناطق مختلف و در طول ساحل موردمطالعه (ایستگاه‌های هشتگانه) آورده شده است. آنالیز واریانس یک‌طرفه حاکی از اختلاف معنی‌دار میان درصد رس، سیلت و شن در ایستگاه‌های مختلف می‌باشد ($P \leq ۰/۰۵$).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]



شکل ۲: میانگین درصد رس، سیلت و شن در نمونه‌های رسوب منطقه موردمطالعه در استان بوشهر (سال ۱۳۹۷).

میزان مواد آلی کل در رسوبات ساحلی ایستگاه‌های موردمطالعه در جدول ۲ آورده شده است. محدوده مواد آلی کل در نمونه‌های رسوب ۱۸/۸–۲۶۴/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک می‌باشد (میانگین = ۵۲±۴۷/۷). بیشترین میزان مواد آلی کل مربوط به ایستگاه گناوه–۲ (GP-2) و کمترین میزان مربوط به ایستگاه بندر عسلویه–۳ (AP-3) می‌باشد (شکل ۳). آنالیز واریانس یک‌طرفه نتایج نشان داد که مواد آلی کل در نمونه‌های رسوب موردمطالعه دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (P≤۰/۰۵).

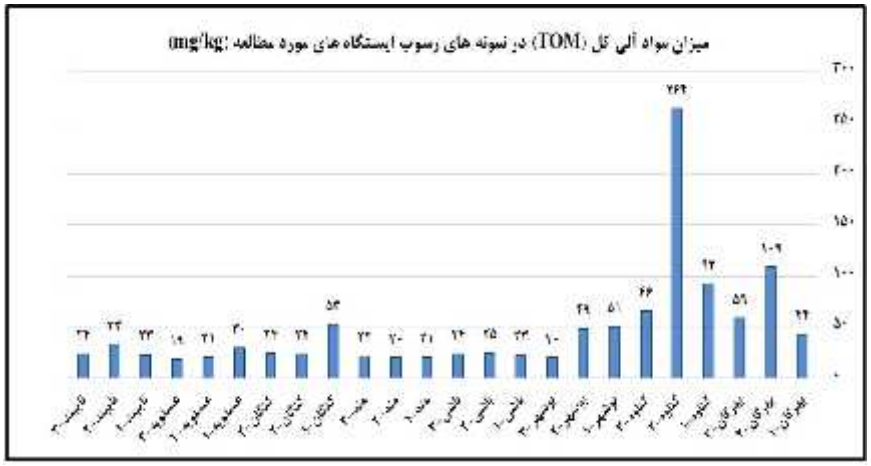
جدول ۲: میزان مواد آلی کل در رسوبات ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه در سواحل بوشهر (سال ۱۳۹۷).

ردیف	ایستگاه	مواد آلی کل (mg/g dw)	ردیف	ایستگاه	مواد آلی کل (mg/g dw)
۱	بهرگان–۱	۴۳/۷	۱۳	مند–۱	۲۱/۱
۲	بهرگان–۲	۱۰۹/۲	۱۴	مند–۲	۲۰/۳
۳	بهرگان–۳	۵۹/۴	۱۵	مند–۳	۲۲/۲
۴	گناوه–۱	۹۲/۶	۱۶	کنگان–۱	۵۳/۱
۵	گناوه–۲	۲۶۴/۴	۱۷	کنگان–۲	۲۴/۲
۶	گناوه–۳	۶۶/۲	۱۸	کنگان–۳	۲۴/۴
۷	بوشهر–۱	۵۱/۳	۱۹	عسلویه–۱	۳۰
۸	بوشهر–۲	۴۸/۹	۲۰	عسلویه–۲	۲۱/۱
۹	بوشهر–۳	۲۰/۴	۲۱	عسلویه–۳	۱۸/۸
۱۰	باشی–۱	۲۲/۹	۲۲	نایبند–۱	۲۳/۳
۱۱	باشی–۲	۲۵/۴	۲۳	نایبند–۲	۳۳/۳
۱۲	باشی–۳	۲۴/۲	۲۴	نایبند–۳	۲۴

در جدول ۳ میزان ترکیبات آلکان در نمونه‌های رسوب نشان داده‌شده است. بیشترین میزان آلکان‌ها مربوط به ایستگاه گناوه–۲ (GP-2) به میزان ۲۲۰۶۲۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان آلکان‌ها مربوط به ایستگاه عسلویه–۳ (AP-3) به میزان ۴۰۴ میکروگرم بر گرم وزن

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

خشک رسوب می‌باشد. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که میزان ترکیبات آلکان در رسوبات ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($p \leq ۰/۰۵$). در شکل ۴ میزان ترکیبات آلکان در رسوبات ایستگاه‌های مختلف موردمطالعه مقایسه شده است.

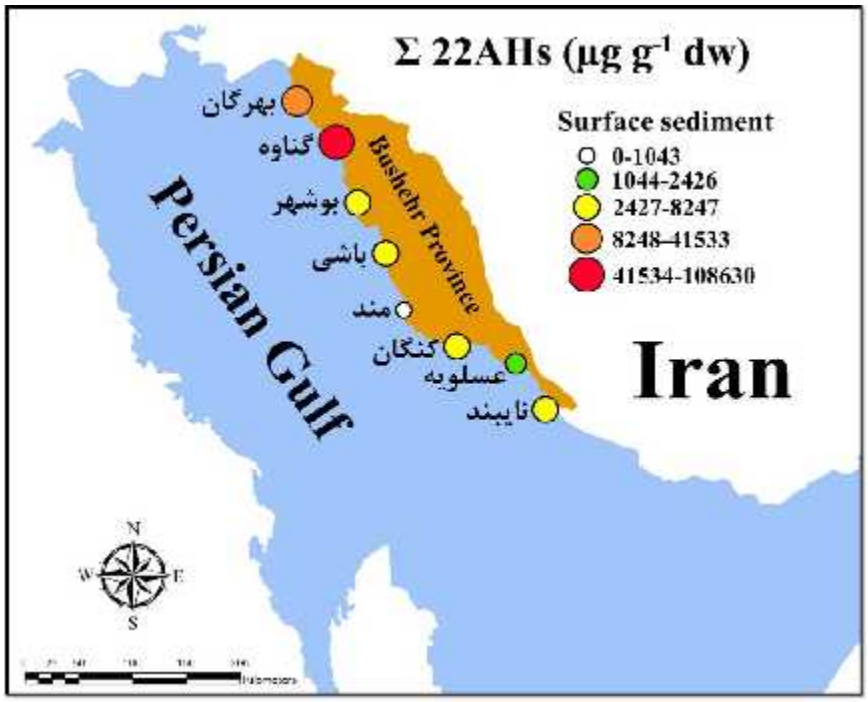


شکل ۳: مقایسه میزان مواد آلی کل (TOM) در رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه در استان بوشهر (سال ۱۳۹۷).

جدول ۳: میزان ترکیبات آلکان در رسوبات ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه در سواحل بوشهر (سال ۱۳۹۷).

ردیف	ایستگاه	میزان آلکان‌ها (µg/g dw)	ردیف	ایستگاه	میزان آلکان‌ها (µg/g dw)
۱	بهرگان-۱	۱۰۱۴۶/۲	۱۳	مند-۱	۱۲۲۶/۴
۲	بهرگان-۲	۸۶۴۸۲/۳	۱۴	مند-۲	۴۵۹/۲
۳	بهرگان-۳	۲۷۹۷۲/۷	۱۵	مند-۳	۱۴۴۴/۴
۴	گناوه-۱	۷۱۳۱۵/۲	۱۶	کنگان-۱	۱۲۳۷۰/۲
۵	گناوه-۲	۲۲۰۶۲۶/۲	۱۷	کنگان-۲	۲۳۸۳/۲
۶	گناوه-۳	۳۳۹۴۶/۱	۱۸	کنگان-۳	۲۸۴۹/۳
۷	بوشهر-۱	۱۳۱۵۲/۴	۱۹	عسلویه-۱	۶۱۴۱/۸
۸	بوشهر-۲	۱۰۶۶۲/۲	۲۰	عسلویه-۲	۷۳۳/۵
۹	بوشهر-۳	۹۲۸/۴	۲۱	عسلویه-۳	۴۰۴/۸
۱۰	باشی-۱	۳۳۳۱/۷	۲۲	نایبند-۱	۳۳۴۶/۳
۱۱	باشی-۲	۵۶۲۲/۱	۲۳	نایبند-۲	۶۹۵۲/۲
۱۲	باشی-۳	۴۹۹۳/۶	۲۴	نایبند-۳	۴۵۸۲/۷

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]



شکل ٤: مقایسه میزان ترکیبات آلکان در رسوبات ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه در سواحل بوشهر (۱۳۹۷).

نتایج آزمون همبستگی میان مواد آلی کل موجود در رسوبات و دانه‌بندی رسوبات (درصد رس) نشان داد که همبستگی بر اساس آزمون پیرسون r = ۰/۵۳۹ (P = ۰/۰۱) می‌باشد. در جدول ۴ ارتباط بین مواد آلی کل و اندازه ذرات در نمونه‌های رسوب موردمطالعه آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص‌شده است مواد آلی کل با ذرات رس دارای ارتباط معنی‌دار مثبت و با ذرات شن دارای ارتباط معنی‌دار منفی (r = −۰/۳۶۷) می‌باشد. در شکل ۵ همبستگی میان این دو پارامتر نشان داده‌شده است.

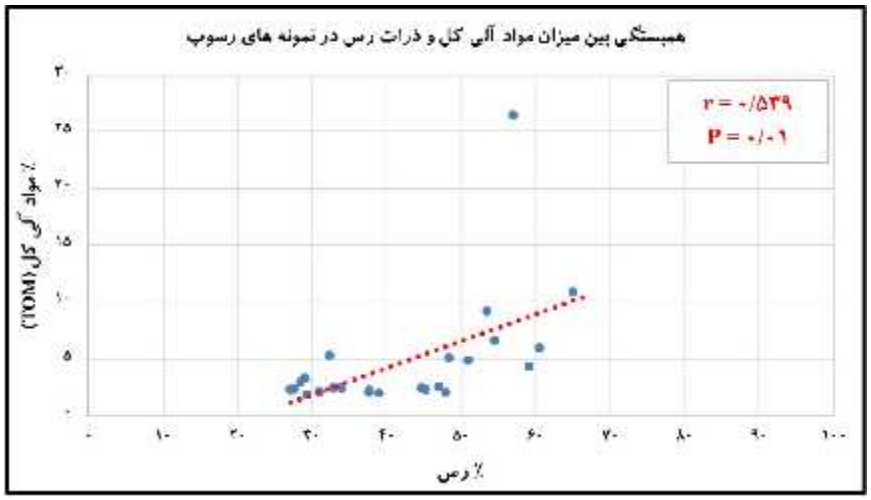
جهت تعیین همبستگی بین میزان آلکان‌های نرمال با میزان مواد آلی کل در رسوبات سطحی ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه در سواحل بوشهر از آزمون پیرسون استفاده گردید. نتایج این آزمون حاکی از آن است که همبستگی مثبت و بسیار بالایی (r = ۰/۹۹۱ و P = ۰/۰۱) بین میزان آلکان‌های نرمال و مواد آلی کل در رسوبات سطحی منطقه موردمطالعه وجود دارد (شکل ۶).

جدول ٤: ارتباط بین مواد آلی کل و اندازه ذرات در رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه در سواحل بوشهر (۱۳۹۷).

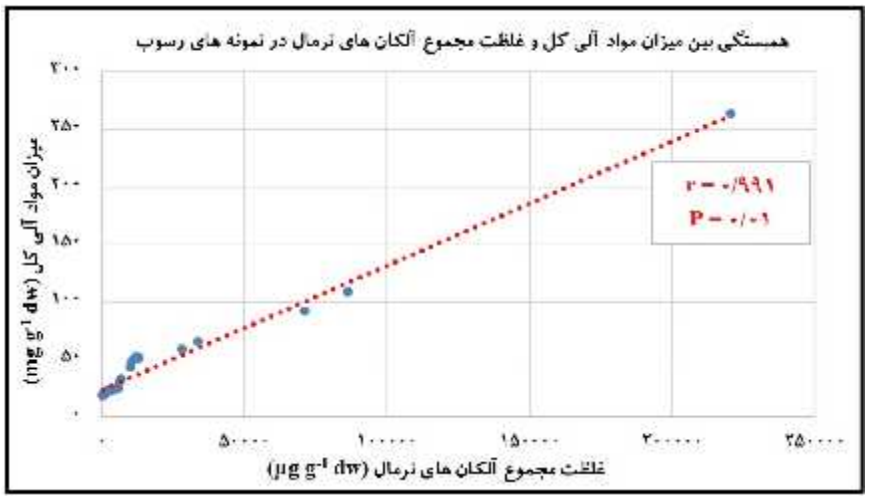
	مواد آلی کل٪	شن٪	سیلت٪	رس٪
مواد آلی کل٪	۱	--	--	--
شن٪	*-۰/۳۶۷	۱	--	--
سیلت٪	*-۰/۴۸۲	-۰/۱۲۳	۱	--
رس٪	*۰/۵۳۹	*-۰/۹۲۷	-۰/۲۵۸	۱

* معنی‌دار (P =۰/۰۱)..

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]



شکل ۵: همبستگی بین درصد رس و مواد آلی کل در رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه در سواحل بوشهر (سال ۱۳۹۷).



شکل ٦ : همبستگی بین آلکان‌های نرمال و مواد آلی کل در رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه در سواحل بوشهر (سال ۱۳۹۷).

جهت تعیین منشأ آلکان‌های نرمال در ایستگاه‌های موردمطالعه، نسبت‌های تشخیصی CPI، Pr/Ph، Pr/n-C_{17}، Ph/n-C_{18}، LMW/HMW و U/R موردبررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

جدول ۵: منشأ هیدروکربن‌های موجود در نمونه‌های رسوب ۲٤ ایستگاه موردمطالعه بر اساس نسبت‌های تشخیصی (سال ۱۳۹۷).

ایستگاه / شاخص	BAB			GP			BUB			BSB			منشأ (فریدونی و همکاران، ۱۳۹۲)	
	BAB-1	BAB-2	BAB-3	GP-1	GP-2	GP-3	BUB-1	BUB-2	BUB-3	BSB-1	BSB-2	BSB-3	نفتی	زیستی
CPI	۱/۱	۰/۴	۱/۱	۱/۳	۰/۷	۰/۶	۰/۹	۰/۷	۱	۰/۵	۱/۲	۱/۲	<۳	>۳
LMW/HMW	۰/۴	۰/۴	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۱/۵	۰/۹	۰/۲	۰/۵	<۱	>۱
U/R	۱۲/۳	۱۴/۵	۱۷/۷	۱۹/۱	۲۰/۳	۲۶/۸	۲۶/۹	۲۲/۷	۳۳/۷	۵۶/۹	۳۲/۹	۳۳/۶	>۲	<۲
Pr/Ph	۰/۴	۰/۹	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۷	۰/۳	۰/۶	۱/۱	۰/۴	<۳	>۳
Pr/n-C_{17}	۱/۴	۱/۳	۱	۰/۷	۰/۵	۰/۹	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۲/۵	۲/۲	۰/۶	<۴	>۴
Ph/n-C_{18}	۲/۱	۱/۴	۲	۰/۶	۲/۳	۰/۹	۰/۶	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۳/۷	<۴	>۴

ادامه جدول ۵: منشأ هیدروکربن‌های موجود در نمونه‌های رسوب ۲٤ ایستگاه موردمطالعه بر اساس نسبت‌های تشخیصی (سال ۱۳۹۷).

ایستگاه / شاخص	MPA			KP			AP			NNP			منشأ (فریدونی و همکاران، ۱۳۹۲)	
	MPA-1	MPA-2	MPA-3	KP-1	KP-2	KP-3	AP-1	AP-2	AP-3	NNP-1	NNP-2	NNP-3	نفتی	زیستی
CPI	۰/۶	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۲	۰/۳	۱	۰/۶	۰/۵	۱/۱	۰/۹	۰/۱	<۳	>۳
LMW/HMW	۰/۵	۱/۴	۰/۸	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۱	۱/۱	۰/۴	۰/۴	۰/۳	<۱	>۱
U/R	۴۶/۳	۵۵/۲	۳۴/۵	۱۰/۷	۳۵	۱۷/۲	۱۰/۳	۳۹/۵	۷۵/۱	۲۳/۵	۱۸/۶	۱۲/۹	>۲	<۲
Pr/Ph	۰/۳	۰/۶	۲	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۱/۰۳	۱/۸	۱/۷	۰/۲	۰/۶	۰/۴	<۳	>۳
Pr/n-C_{17}	۰/۸	۰/۸	۳/۶	۰/۶	۱/۴	۰/۹	۱/۴	۱/۵	۰/۹	۰/۷	۰/۴	۰/۴	<۴	>۴
Ph/n-C_{18}	۰/۵	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۱/۷	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۴	<۴	>۴

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که میزان مواد آلی کل در نمونه‌های رسوب موردمطالعه بیشتر از رسوبات سواحل موردبررسی در تحقیقات مشابه در نقاط دیگر ایران و جهان می‌باشد. در تحقیقی که در خصوص میزان مواد آلی کل در رسوبات سطحی خلیج‌فارس در تنگه هرمز انجام‌شده است محدوده مواد آلی کل ۲ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر گرم گزارش‌شده است (Agah *et al*., 2013). در مطالعه دیگری که در سواحل خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر انجام‌شده است میزان مواد آلی کل در رسوبات سطحی بین ۰/۲ تا ۱۴/۸ میلی‌گرم بر گرم گزارش‌شده است (Nourinezhad *et al*., 2013). عظیمی یانچشمه و همکاران (۱۳۹۳) میزان مواد آلی کل را در سواحل جنوبی دریای خزر (بندر انزلی) بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ درصد گزارش نمودند (عظیمی یانچشمه و همکاران، ۱۳۹۳). فعالیت‌های انسانی، بقایای گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها ازجمله منابعی هستند که می‌توانند مواد آلی را وارد محیط‌های رسوبی سواحل نمایند. میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده موکول‌های ساده‌تر (ازجمله اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها) را با سرعت زیادی مصرف می‌کنند و مولکول‌های با ساختار پیچیده‌تر در محیط باقی می‌مانند. به‌طورکلی جلبک‌ها تجزیه‌پذیرترین مواد آلی موجود در رسوبات می‌باشند (Opsahl and Brenner, 1995; Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2019a). همان‌طور که نتایج به‌دست‌آمده نشان داد میزان مواد آلی کل در نمونه‌های رسوب ایستگاه گناوه نسبت به سایر نمونه‌ها بسیار بیشتر است که این امر می‌تواند ناشی از تخلیه فاضلاب‌های صنایع نفت و گاز، رودخانه‌های فصلی حامل فاضلاب صنایع پالایشگاهی، تمرکز بالای خطوط لوله انتقال نفت و نشت از آن‌ها و مجاورات با سکوهای نفتی نوروز، سروش، ابوذر، بهرگانسر و هندیجان باشد. تحلیل‌های آماری حاکی از همبستگی نسبتاً بالای میزان مواد آلی کل و ذرات رس در نمونه‌های رسوب موردمطالعه می‌باشد، که این امر نشان می‌دهد با کاهش سایز ذرات رسوب میزان مواد آلی افزایش‌یافته و رابطه خطی مستقیم بین این دو پارامتر وجود دارد. مطالعه Weber در سال ۱۹۹۱ نشان داد که در بسترهای رسی میزان مواد آلی بیشتر از بسترهای ماسه‌ای و شنی است، که علت آن نیز دانه‌ریز بودن رسوبات، افزایش سطح تماس و خاصیت حفظ مواد آلی بیشتر است. هیدروکربن‌های ورودی به محیط آبی به دلیل خاصیت آب‌گریزی به‌سرعت به رسوبات و مواد معلق متصل می‌شوند (Weber, 1991). انتقال و ذخیره‌سازی مواد آلی (به‌ویژه هیدروکربنی) در رسوبات ساحلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چراکه تقریباً ۵۰ درصد از جمعیت جهان در این مناطق زندگی می‌کنند و بررسی و کنترل آلودگی آن‌ها می‌تواند در حفظ سلامت ساکنین مؤثر باشد (Bouloubassi *et al*., 2001). Colombo و همکاران در تحقیقی که انجام دادند اشاره کردند که مواد آلی بر اساس حلالیت، اندازه و ماهیت خود بسیار تمایل دارند که به ذرات ریز رسوبات چسبیده و به‌مرورزمان به لایه‌های زیرین رسوب منتقل‌شده و به‌عنوان آلاینده‌های ثانویه به محیط‌های دیگر راه یابند (Colombo *et al*., 2005). در تحقیقی که آگاه و همکاران در سال ۲۰۱۳ بر روی رسوبات خلیج‌فارس در تنگه هرمز انجام دادند، همبستگی میزان مواد آلی کل و درصد رس ۰/۸۵، و درصد شن ۰/۶۷- گزارش‌شده است (Agah *et al*., 2013).

میزان ترکیبات آلکان در نمونه‌های رسوب موردمطالعه در محدوده ۴۰۴-۲۲۰۶۲۶ میکروگرم بر گرم می‌باشد. Tolosa و همکاران در سال ۲۰۰۵ درنتیجه مطالعات خود مجموع آلکان‌های نرمال را در سواحل جنوبی خلیج‌فارس ازجمله سواحل امارات، قطر و بحرین به ترتیب ۰/۰۳۸-۱/۱، ۳/۰۷-۳/۰ و ۰/۶۷-۴/۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک رسوب گزارش دادند (Tolosa *et al*., 2005). در مطالعه دیگری که بر روی رسوبات سطحی خلیج‌فارس در جزیره خارگ انجام شد محدوده میزان ترکیبات آلکان ۱۷۱-۵۷۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش شد (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2018). در تحقیق دیگری در منطقه خلیج‌فارس، محدوده میزان آلکان‌های نرمال در رسوبات سطحی سواحل کشور کویت (جنوب غربی خلیج‌فارس) بین ۰/۴۹-۵/۲۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید (Zhang and Miller *et al*., 1995). Ranjbar Jafarabadi و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی که بر روی رسوبات سطحی ۱۰ جزیره ایرانی خلیج‌فارس (قشم، لارک، هرمز، هنگام، سیری، کیش، هندورابی، شیدور، لاوان و خارگ) و آلودگی آن‌ها به آلکان‌های نرمال انجام دادند محدوده این ترکیبات را ۳۶۱-۹۷۷ میکروگرم بر گرم

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

گزارش دادند (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2017b). مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با تحقیقات مشابه دیگر در خلیج‌فارس و سایر نقاط جهان نشان می‌دهد که رسوبات موردمطالعه در این تحقیق از آلودگی بسیار بیشتری نسبت به رسوبات موردمطالعه در تحقیقات مشابه در سراسر جهان برخوردارند. بررسی نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات مشابه دیگر نشان داد که میزان ترکیبات آلکان‌های نرمال در سواحل رودخانه کلانگ در مالزی ۱۷۰۰۸ تا ۲۷۱۱۶ میکروگرم بر گرم، سواحل ویتنام ۱۰۵۶ تا ۳۴۷۹۴ میکروگرم بر گرم و سواحل خلیج مکزیک ۰/۰۵ تا ۵۳۵۰۰۰ میکروگرم بر گرم می‌باشد (Riyahi Bakhtiari *et al*., 2010). البته ذکر این نکته ضروری است که گزارش‌های مختلف ارائه‌شده از یک منطقه نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند و بعضاً در مناطقی که مجاور هم واقع‌شده‌اند نیز نتایج بسیار متفاوت است. در سواحل خلیج‌فارس نیز نتایج گزارش‌شده بسیار متفاوت است به‌گونه‌ای که در رسوبات مطالعه حاضر میزان آلکان‌ها ۴۰۴/۸ تا ۲۲۰۶۲۶/۷ میکروگرم بر گرم گزارش‌شده درحالی‌که در سواحل جنوبی و حتی در سواحل شمالی (ایران) میزان آلکان‌ها بسیار کمتر گزارش‌شده است، به‌عنوان نمونه : سواحل خلیج‌فارس در بوشهر ۳/۱–۳۵/۶ (Aghadadashi and Mehdinia, 2016)، سواحل تالاب شادگان ۳۹۵/۳–۱۴۹۳۳/۵ (Bemanikharanagh *et al*., 2017)، سواحل خلیج‌فارس در خارگ ۱۷۱–۵۷۴ (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2018)، سواحل خلیج‌فارس در لارک ۵۸–۲۳۲ (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2018)، سواحل رودخانه شط‌العرب عراق ۰/۰۸–۴۲/۶ (Farid, 2017)، سواحل خلیج‌فارس در کویت ۰/۵–۵/۳ (Zhang and Miller, 1995)، سواحل خلیج‌فارس در بحرین ۰/۵–۸/۲ و سواحل خلیج‌فارس در امارات ۰/۰۱–۴/۳ (Tolosa *et al*., 2005) میکروگرم بر گرم وزن خشک.

Readman و همکاران در سال ۲۰۰۲ در تحقیق خود شاخص آلودگی رسوبات به هیدروکربن‌های آلیفاتیک را بیشتر از ۱۰۰ میکروگرم بر گرم عنوان کردند (Readman *et al*., 2002). Tolosa و همکاران در سال ۲۰۰۵ غلظت‌های بیشتر از ۵۰۰ میکروگرم بر گرم هیدرور کربن‌های آلیفاتیک را به‌عنوان آلودگی شدید رسوبات و غلظت‌های کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم را به‌عنوان رسوبات غیر آلوده معرفی نموده‌اند (Tolosa *et al*., 2005). Commendatore و همکاران در سال ۲۰۱۲ بر اساس مطالعات خود مناطق ساحلی را به لحاظ غلظت هیدروکربن‌های آلیفاتیک به سه دسته تقسیم نمودند و Wang و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ از این شاخص جهت ارزیابی آلودگی رسوبات ساحلی استفاده نمودند که بدین شرح می‌باشد: رسوبات با سطح آلودگی کم : میزان مجموع آلکان‌ها کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک، رسوبات با سطح آلودگی متوسط : میزان مجموع آلکان‌ها بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک و رسوبات با سطح آلودگی زیاد : میزان مجموع آلکان‌ها بیش از ۵۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک (Commendatore *et al*., 2012; Wang *et al*., 2011b). بررسی نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز شیمیایی رسوبات ایستگاه‌های موردمطالعه نشان داد که تمامی نمونه‌های رسوب دارای میزان آلکان بیش از ۱۰۰ میکروگرم بر گرم می‌باشند که این امر نشان‌دهنده این است که رسوبات موردمطالعه در طبقه بسیار آلوده قرار می‌گیرند. تردد بسیار زیاد نفت‌کش‌ها و کشتی‌های تجاری، فعالیت‌های انسانی گسترده، تمرکز بالای تأسیسات نفتی و خطوط انتقال نفت خام و میعانات گازی و فضای نیمه بسته خلیج‌فارس از مهم‌ترین دلایل این سطح آلودگی بالا می‌باشد. همبستگی بالای میزان آلکان‌های نرمال و مواد آلی کل نشان داد که افزایش میزان آلکان‌های نرمال در رسوبات تابعی از افزایش میزان مواد آلی در رسوبات می‌باشد. درواقع رسوباتی که میزان مواد آلی بالایی دارند می‌توانند هیدروکربن‌های نفتی زیادی را در خود ذخیره نمایند (Tsapakis *et al*., 2005; Vane *et al*., 2020; Wang *et al*., 2020). این نتایج کاملاً موافق با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات نعمتی و همکاران (۱۳۹۳) بود که همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مجموع غلظت هیدروکربن‌ها و مواد آلی کل رسوبات سطحی سواحل گزارش نمودند. برخلاف این نتایج، Tolosa و همکاران (۲۰۰۵) و عظیمی یانچشمه (۱۳۹۳) عدم همبستگی معنی‌دار بین غلظت ترکیبات آلیفاتیک و درصد مواد آلی رسوبات ساحلی در دریای خزر را گزارش نمودند (عظیمی یانچشمه و همکاران، ۱۳۹۳). در تحقیقی که شیرنشان و همکاران (۲۰۱۶) ارائه نمودند هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری میان غلظت هیدروکربن‌ها و مواد آلی موجود در رسوبات گزارش نشد (Shirneshan *et al*., 2016). همبستگی بالای گزارش‌شده در این تحقیق حاکی از این است که عمده مواد آلی موجود در رسوبات منشأ نفتی دارند، درحالی‌که

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

در سواحل دریای خزر این همبستگی بسیار کمتر است چراکه در آن منطقه تراکم پوشش گیاهی و جنگلی بالاست و عمده مواد آلی موجود در رسوبات می‌تواند ناشی از بقایای گیاهی دفن شده در سواحل دریای خزر باشد.

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که به‌طورکلی رسوبات سطحی خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر از آلودگی بسیار بالایی نسبت به رسوبات ساحلی مناطق دیگر ایران و جهان قرار دارند که این امر تأثیر شدید فعالیت‌های نفتی بر اکوسیستم ساحلی خلیج‌فارس را نشان می‌دهد.

در این مطالعه به‌منظور تعیین منشأ هیدروکربن‌های موجود در رسوبات سطحی موردنظر و قدمت ریزش‌های احتمالی مواد نفتی از شاخص‌ها و نسبت‌های تشخیصی مختلفی استفاده گردید ازجمله : شاخص ارجحیت کربن (CPI) که از تقسیم مجموع آلکان‌های نرمال با تعداد کربن‌های فرد نسبت به مجموع آلکان‌های نرمال با تعداد کربن‌های زوج به دست می‌آید. مقادیر کمتر از ۳ این شاخص نشان‌دهنده منشأ پتروژنیک و مقادیر بیش از ۳ نشان‌دهنده منشأ بیوژنیک می‌باشد (Guo and Fang, 2012). مقدار محاسبه‌شده در این مطالعه کمتر از ۳ بوده و بیانگر منشأ پتروژنیک می‌باشد. میزان این شاخص در این تحقیق با نتایج دست آمده در تحقیقات غفاری و همکاران در سال ۱۳۹۲ مغایرت دارد (غفاری و همکاران، ۱۳۹۲)، اما با نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق رنجبر جعفرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۹ و رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطابقت دارد (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2019 و Rostami *et al*., 2019) که در این دو تحقیق اخیر منشأ آلکان‌های نرمال پتروژنیک تشخیص داده‌شده است. از شاخص‌های دیگر موردبررسی در این تحقیق نسبت ترکیبات هیدروکربنی با وزن مولکولی کم (تعداد اتم کربن کمتر از ۲۰) به ترکیبات هیدروکربنی با وزن مولکولی زیاد (تعداد اتم بیشتر از ۲۰) (LMW/HMW) می‌باشد. این مقدار برای هیدروکربن‌های با منشأ نفت خام کمتر از ۱ و برای مواد آلی ناشی از باکتری‌ها و گیاهان آبزی و موجودات دریایی بیش از ۱ می‌باشد (Gearing *et al*., 1976; Zhang *et al*., 2020). در مناطق موردمطالعه در این تحقیق مقدار این شاخص کوچک‌تر از ۱ می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که منشأ ترکیبات هیدروکربنی در رسوبات موردمطالعه پتروژنیک می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص با تحقیقات رنجبر جعفرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۹ و رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطابقت دارد. شاخص U/R که جهت تعیین قدمت و زمان ریزش مواد نفتی در محیط پذیرنده موردبررسی قرار می‌گیرد نیز تحلیل شد. نتایج نشان داد که شاخص موردنظر بیشتر از ۲ می‌باشد که نشان‌دهنده منشأ نفتی ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد و قدمت ریزش نیز نسبتاً زیاد است. در این خصوص نیز نتایج به‌دست‌آمده مغایر بامطالعه غفاری و همکاران در سال ۱۳۹۲ (غفاری و همکاران، ۱۳۹۲) و مطابق با نتایج ارائه‌شده در تحقیق رنجبر جعفرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۹ و رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ می‌باشد (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2019 و Rostami *et al*., 2019). پریستان (Pr) و فیتان (Ph) ازجمله ترکیبات هیدروکربنی می‌باشند که در ترکیب نفت خام وجود دارند. چنانچه نسبت Pr/Ph کمتر از ۳ باشد نشان‌دهنده منشأ نفتی ترکیبات هیدروکربنی و چنانچه بیش از ۳ باشند نشان‌دهنده منشأ بیوژنیک ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که این نسبت مؤید منشأ پتروژنیک ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل این شاخص نیز مغایر با نتایج تحقیق غفاری و همکاران در سال ۱۳۹۲ می‌باشد (غفاری و همکاران، ۱۳۹۲) و با نتایج ارائه‌شده در تحقیق رنجبر جعفرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۹ و رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطابقت دارد (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2019 و Rostami *et al*., 2019). دو نسبت $Pr/n\text{-}C_{17}$ و $Ph/n\text{-}C_{18}$ ازجمله شاخص‌های مهمی هستند که جهت تخمین میزان تجزیه زیستی آلکان‌های نرمال بکار می‌روند. مقدار کم این شاخص نشان‌دهنده منشأ پتروژنیک و مقدار بالای آن نشان‌دهنده منشأ بیوژنیک ترکیبات هیدروکربنی است. محاسبه این شاخص نیز در تأیید شاخص‌های قبلی نشان داد که منشأ مواد هیدروکربنی موجود در رسوبات موردمطالعه پتروژنیک می‌باشد. نتایج ارائه‌شده در تحقیق رنجبر جعفرآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۹ و رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز منشأ مواد هیدروکربنی را بر اساس این شاخص‌ها پتروژنیک عنوان نمودند (Ranjbar Jafarabadi *et al*., 2019 و Rostami *et al*., 2019) که مطابق تحقیق حاضر می‌باشد درحالی‌که در تحقیق غفاری و همکاران در سال ۱۳۹۲ با توجه به محاسبه شاخص‌های مذکور منشأ را بیوژنیک عنوان نمودند (غفاری و همکاران، ۱۳۹۲).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

نتیجه‌گیری کلی این تحقیق نشان می‌دهد که مواد هیدروکربنی موجود در رسوبات سطحی خلیج‌فارس در محدوده استان بوشهر دارای منشأ پتروژنیک می‌باشند و این امر ناشی از نشت و راه‌یابی نفت خام و مشتقات آن از منابع مختلف موجود در محیط پیرامونی است. خطوط لوله انتقال نفت در محیط موردمطالعه بسیار متمرکز و گسترده بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع مهم این آلودگی موردمطالعه آتی قرار گیرد. پیش‌بینی می‌شود تردد بسیار زیاد کشتی‌های تجاری و نفت‌کش‌ها و وجود سکوهای بهره‌برداری از مخازن نفتی در آب‌های خلیج‌فارس نیز از مهم‌ترین دلایل دیگر این آلودگی محیطی باشند.

منابع

ابراهیمی سیریزی، ز.، ریاحی بختیاری، ع. ر. و غفاری، س.، ۱۳۹۳. شناسایی منشأ هیدروکربن‌های نفتی به رسوبات سطحی جنگل‌های مانگرو تنگهٔ خوران خلیج‌فارس. محیط‌شناسی. دوره ۴۰: شماره ۴: صفحات ۹۲۷-۹۱۳.

عظیمی یانچشمه، ر.، ریاحی بختیاری، ع. ر. و مرتضوی، ث.، ۱۳۹۳. تعیین غلظت و منشأ آلکان‌های نرمال در رسوبات سطحی سواحل جنوبی دریای خزر (بندر انزلی). اقیانوس‌شناسی. جلد ۱۷: صفحات ۷۳-۶۳.

غفاری، س.، ریاحی بختیاری، ع. ر. و ابراهیمی سیریزی، ز.، ۱۳۹۲. کاربرد توأم هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) و آلکان‌های نرمال در تعیین منشأ مواد آلی رسوبات مانگرویی جزیره قشم. محیط‌شناسی. دوره ۳۹: شماره ۲: صفحات ۱۱۲-۱۰۱.

فریدونی، ر.، فرهادی، ز.، ریاحی بختیاری، ع. ر. و نصراله زاده ساروی، ح.، ۱۳۹۲. استفاده توأم از آلکان‌های نرمال و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در منشاءیابی هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات سطحی اعماق ۵، ۱۵ و ۳۰ متری از بنادر نوشهر و امیرآباد، دریای خزر. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۳: شماره ۱۰۱: صفحات ۶۵-۵۶.

Agah, H., Rahmanpour, S. and Sheijooni Fumani, N., 2013. Organic Carbon and Organic Matter Levels in Sediments of the Strait of Hormoz, the Persian Gulf. Journal of the Persian Gulf, 4(13): 31-37.

Aghadadashi, V. and Mehdinia, A., 2016. Occurrence, spatial deposition and footprint of polybrominated diphenyl ethers in surficial sediments of Bushehr peninsula, the Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin, 112(1-2): 211-217.

Bemanikharanagh, A., Riyahi Bakhtiari, A., Mohammadi, J. and Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2017. Characterization and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and *n*-alkanes in sediments of Shadegan international wetland, the Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin, 124(1): 155-170.

Bouloubassi, I., Fillaux, J. and Saliot, A., 2001. Hydrocarbons in surface sediments from the Changjiang (Yangtze River) estuary, East China Sea. Marine Pollution Bulletin, 42(12): 1335-1346.

Burton, G. A. and Johnston, E. L., 2010. Assessing contaminated sediments in the context of multiple stressors. Environmental Toxicology and Chemistry, 29(12): 2625-2643.

Colombo, J. C., Barreda, A., Bilos, C., Cappelletti, N., Migoya, M. C. and Skorupka, C., 2005. Oil spill in the Rio de la Plata estuary, Argentina: 2-hydrocarbon disappearance rates in sediments and soils. Environmental Pollution, 134(2): 267-276.

Commendatore, M. G., Nievas, M. L., Amin, O. and Esteves, J. L., 2012. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in coastal sediments from the Ushuaia Bay (Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina). Marine Environmental Research, 74: 20-31.

Dashtbozorg, M., Riyahi Bakhtiari, A., Shushizadeh, M. R. and Taghavi, L., 2019. Quantitative evaluation of *n*-alkanes, PAHs, and petroleum biomarker accumulation in beachstranded tar balls and coastal surface sediments in the Bushehr Province, Persian Gulf (Iran). Marine Pollution Bulletin, 146: 801–815.

de Andrade, E., Alves, J. C., dos Santos, I. S., Jose do Patrocínio, H. A., Garcia, C. A. B. and Costa, A. C. S., 2010. Assessment of trace metals contamination in estuarine sediments using a sequential extraction technique and principal component analysis. Microchemical Journal, 96(1): 50-57.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

Farid, W. A. A., 2017. Assessment of Aliphatic Hydrocarbons in Sediments of Shatt Al-Arab River, Southern Iraq, North East Arabian Gulf. American Journal of Environmental Sciences, 13(6): 398-411.

Gao, X., Chen, S., Xie, X., Long, A. and Ma, F., 2007. Non-aromatic hydrocarbons in surface sediments near the Pearl River estuary in the South China Sea. Environmental pollution, 148(1): 40-47.

Gearing, P., Gearing, J. N., Lytle, T. F. and Lytle, J. S., 1976. Hydrocarbons in 60 northeast Gulf of Mexico shelf sediments: a preliminary survey. Geochim Cosmochim Ac, 40(9): 1005-1017.

Guo, J. X. and Fang, J., 2012. The distribution of *n*-alkanes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in water of Taihu Lake. Procedia Environmental Science, 12(1): 258-264.

He, D., Zhang, K., Cui, X., Tang, J. and Suna, Y., 2018. Spatiotemporal variability of hydrocarbons in surface sediments from an intensively human-impacted Xiaoqing River-Laizhou Bay system in the eastern China: Occurrence, compositional profile and source apportionment. Science of the Total Environment, 645: 1172-1182.

Khan, N. Y., 2002. Physical and Human Geography, Chapter. 1: The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability. Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands.

Kostka, J. E., Prakash, O., Overholt, W. A., Green, S., Freyer, G., Canion, A., Delgardio, J., Norton, N., Hazen, T. C. and Huettel, M., 2011. Hydrocarbon-degrading bacteria and the bacterial community response in Gulf of Mexico beach sands impacted by the Deepwater Horizon oil spill. Applied and Environmental Microbiology, 77(22): 7962-7974.

Lamine, S. and Xiong, D., 2013. Guinean environmental impact potential risks assessment of oil spills simulation. Ocean Engineering, 66: 44-57.

Laws, E. A., 1993. Oil pollution. Aquatic pollution: an introductory text, 2nd edition. John Wiley & Sons, 417-458.

Liu, P. W. G., Chang, T. C., Chen, C. H., Wang, M. Z. and Hsu, H. W., 2014. Bioaugmentation efficiency investigation on soil organic matters and microbial community shift of diesel-contaminated soils. International Biodeterioration & Biodegradation, 95(A): 276-284.

Lu, B., Pan, J. M. and Wang, Z. P., 2002. The composition indexes of *n*-alkanes in sediments and study on paleoenvironment in the Arctic. Acta Ocean ologica Sinica, 24(6): 34-48.

Mehdinia, A., Aghadadashi, V. and Sheijooni Fumani, N., 2015. Origin, distribution and toxicological potential of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from the Bushehr coast, The Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin, 90(1-2): 334-338.

Mokhtari, M., Ghaffar, M. A., Usup, G. and Cob, Z. C., 2015. Determination of key environmental factors responsible for distribution patterns of fiddler crabs in a tropical mangrove ecosystem. PLoS One, 10(1): 1-17.

Munawar, I.F., Carou, S., Niblock, H. and Orimer, J., 2002. Aquatic ecosystem health of the Persian Gulf: Status and research nedds. Bakhuys Publishers, Leiden, 303-325.

Niamaimandi, N., Javadzadeh, N., Kabgani, N., Ghorbani Vaghei, R. and Rajabzadeh, I., 2017. Biodiversity of the gastropods in different periods in intertidal zone of the Iranian waters of the Persian Gulf. Regional Studies in Marine Science, 13: 59-63.

Noroozi Karbasdehi, V., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Ostovar, A., Arfaeinia, H., Vazirizadeh, A., Mirahmadi, R., Keshtkar, M., Faraji Ghasemi, F. and Khalifei, F., 2017. Indicator bacteria community in seawater and coastal sediment: the Persian Gulf as a case. Journal of Environmental Health Science & Engineering, 15(6): 1-17.

Nourinezhad, M., Nabavi, S. M. B., Vosughi, Gh., Fatemi, M. R. and Sohrabi, M., 2012. Identification and estimation of macrofauna in low tides of Bushehr province, Persian Gulf. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 12(2): 411-429.

Opsahl, S. and Brenner, R., 1995. Early diagenesis of vascular plant tissues: lignin and cutin decomposition and biogeochemical implications. Geochimica et CosmochimicaActa, 59: 4889-4904.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

Ranjbar Jafarabadi, A., Riyahi Bakhtiari, A., Aliabadian, M. and Shadmehri Toosi, A., 2017a. Spatial distribution and composition of aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and hopanes in superficial sediments of the coral reefs of the Persian Gulf, Iran. Environmental Pollution, 224: 195-223.

Ranjbar Jafarabadi, A., Riyahi Bakhtiyari, A., Shadmehri Toosi, A. and Jadot, C., 2017b. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. Chemosphere, 185: 1090-1111.

Ranjbar Jafarabadi, A., Riyahi Bakhtiari, A., Maisano, M., Pereira, P. and Cappello, T., 2018. First record of bioaccumulation and bioconcentration of metals in Scleractinian corals and their algal symbionts from Kharg and Lark coral reefs (Persian Gulf, Iran). Science of the Total Environment, 640-641: 1500-1511.

Ranjbar Jafarabadi, A., Dashtbozorg, M., RiyahiBakhtiari, A., Maisano, M. and Cappello, T., 2019. Geochemical imprints of occurrence, vertical distribution and sources of aliphatic hydrocarbons, aliphatic ketones, hopanesand steranes in sediment cores from ten Iranian Coral Islands, Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin, 144: 287–298.

Readman, J. W., Fillmann, G., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J. P., Catinni, C. and Mee, L.D., 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. Marine Pollution Bulletin. 44: 48-62.

Riyahi Bakhtiari, A., Zakaria, M. P., Yaziz, M. I., Lajis, M. N. H., Bi, X. and Rahim, M. C. A., 2009. 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, 24(9): 1777-1787.

Riyahi Bakhtiari, A., Zakaria, M. P., Yaziz, M. I., Lajis, M. N. H., Bi, X., Shafiee, M. M. and Sakari, M., 2010. Distribution of PAHs and *n*-alkanes in Klang River surface sediments, Malaysia. Pertanika Journal of Science and Technology, 18(1): 167-179.

ROPME., 1996. The effect of oil on the marine environment- An overview. Kuwait. 311-312.

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.

Santos, C. F., Michel, J., Neves, M., Janeiro, J., Andrade, F. and Orbach, M., 2013. Marine spatial planning and oil spill risk analysis: finding common grounds. Marine Pollution Bulletin, 74(1), 73-81.

Shirneshan, G., Riyahi Bakhtiari, A. and Memariani, M., 2016. Identification of sources of tar balls deposited along the Southwest Caspian Coast, Iran using fingerprinting techniques. Science of the Total Environment, 568: 979-989.

Singkran, N., 2013. Classifying risk zones by the impacts of oil spills in the coastal waters of Thailand. Marine Pollution Bulletin, 70(1-2): 34-43.

Tolosa, I., de Mora, S. J., Fowler, S. W., Villeneuve, J., Bartocci, J. and Cattini, C., 2005. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in Marine Biota and Coastal Sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. Marine Pollution Bulletin, 50(12): 1619-1633.

Tsapakis, M. and Stephanou, E. G., 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in theatmosphere of the Eastern Mediterranean. Environmental Science and Technology, 39: 6584-6590.

UNEP., 1999. Overview on Land-based Sources and Activities Affecting the Marine Environment in the ROPME Sea Area. UNEP/GPA Coordination Office & ROPME. 127-128.

UNEP., 2002. Global Environmental Outlook 3. United Nations Environment Program. London and New York, Earthscan.

Vane, V. H., Kim, A. W., Moss-Hayes, V., Turner, G., Mills, K., Chenery, S. R., Barlow, T. S., Kemp, A. C., Engelhart, S. E., Hill, T. D., Horton, B. P. and Brain, M., 2020. Organic pollutants, heavy metals and toxicity in oil spill impacted salt marsh sediment cores, Staten Island, New York City, USA. Marine Pollution Bulletin, 151: 110721.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]

Wang, C., Wang, W., He, S., Du, J. and Sun, Z., 2011a. Sources and Distribution of Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Yellow River Delta Nature Reserve, China. Applied Geochemistry, 26(8): 1330-1336.

Wang, Z., Yang, C., Yang, Z., Sun, J., Hollebone, B., Brown, C. and Landriault, M., 2011b. Forensic fingerprinting and source identification of the 2009 Sarnia (Ontario) oil spill. Journal of Environmental Monitoring, 13(11): 3004-17.

Wang, M., Wang, C., Hu, X., Zhang, H., He, S. and Lv, S., 2015. Distributions and sources of petroleum, aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Bohai Bay and its adjacent river, China. Marine Pollution Bulletin, 90(1-2): 88-94.

Wang, C., He, S., Zou, Y., Liu, J., Zhao, R., Yin, X., Zhang, H. and Li, Y., 2020. Quantitative evaluation of in-situ bioremediation of compound pollution of oil and heavy metal in sediments from the Bohai Sea, China. Marine Pollution Bulletin, 150: 110787.

Weber, E. J., 1991. Studies of benzidine- based dyes in sediment- water systems. Environmental Toxicology and Chemistry, 10(5): 609-618.

Yunker, M. B. and Macdonald, R. W., 2003. Alkane and PAH depositional history, sources and fluxes in sediments from the Fraser River Basin and Strait of Georgia, Canada. Organic Geochemistry, 34(10): 1429-1454.

Zhang, Y. and Miller, R. M., 1995. Effect of Rhamnolipid (Biosurfactant) structure on solubilization and biodegradation of *n*-alkanes. Applied and Environmental Microbiology, 2247-2251.

Zhang, Y., Yu, J., Su, Y., Du, Y. and Liu, Z., 2020. A comparison of n-alkane contents in sediments of five lakes from contrasting environments. Organic Geochemistry, 139: 103943.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2025-11-27]