

بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات پیرامونی اکوسیستم‌های مرجانی جزایر خلیج فارس (قشم، هنگام و لاوان)

مهدی سلطانی^۱، صابر قاسمی^{۲*} و احسان کامرانی^۳

۱) دانشجوی دکتری رشته مدیریت محیط زیست، گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.
۲) استادیار گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات محیط زیست دریایی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.
*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: saberghasemi@gmail.com
۳) استاد گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۷

چکیده

دومین زیستگاه غنی کره زمین پس از جنگل‌های استوایی به اکوسیستم‌های مرجانی اختصاص دارد. این زیست‌بوم در تعادل بخشیدن به میزان کربن و نیتروژن، حفظ خطوط ساحلی در برابر تخریب ناشی از هجوم مداوم امواج، طوفان، سیل، ایجاد محیط‌زیست دریایی، مواد مغذی برای زنجیره غذایی و همچنین تعادل بخشیدن به سیستم ظرفیت طبیعت بسیار تاثیرگذار است. امروزه استخراج، بهره‌برداری و حمل‌ونقل نفت، نقش به‌سزایی را در تخریب سواحل مرجانی خلیج فارس برجای گذاشته است. نمونه‌های رسوبات دریایی و ساحلی جزایر مرجانی قشم، هنگام و لاوان از عمق حدود ۵-۰ سانتی‌متری بستر به‌طور تصادفی طبق روش MOOPAM جمع‌آوری و غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل توسط دستگاه UVF بر حسب میکروگرم بر گرم رسوب اندازه‌گیری شد. نوع بافت رسوبات نشان داد بالاترین درصد ذرات دانه‌ریز (سیلت + رس) در رسوبات دریایی و ساحلی جزیره لاوان به‌ترتیب ۵۱/۵۸ و ۵۱/۰۱ درصد است. میانگین غلظت‌های تشخیص داده شده TPH پایین‌تر از مقدار زمینه خطر زیست‌محیطی (۴ میکروگرم بر گرم) می‌باشد. بیشترین غلظت هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه‌های دریایی و ساحلی رسوبات جزیره لاوان مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل تاسیسات و فعالیت‌های نفتی و شناورهای صیادی در این جزیره باشد. همچنین ارزیابی خطر زیست‌محیطی ناشی از آلودگی TPH بر موجودات آبی با استفاده از شاخص‌های دستورالعمل‌های کیفیت رسوب و ضریب آلودگی نشان داد که رسوبات مورد مطالعه فاقد هرگونه اثرات بیولوژیکی نامطلوب بر موجودات آبی هستند. بهره‌برداری‌ها، حمل‌ونقل دریایی، نشت نفت و مشتقات آن یکی از عمده‌ترین دلایل نابودی و اثرات اکولوژیک منفی بر آب‌سنگ‌های مرجانی خلیج فارس می‌باشد که این چالش ضرورت حفاظت از مناطق ساحلی و محیط‌زیست دریایی را با رویکرد توسعه پایدار آشکارتر می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی محیط‌زیست، اکوسیستم حساس، خلیج فارس، هیدروکربن‌های نفتی کل (TPHs).

مقدمه

از سواحل دارند و از طرفی در زمره حساس‌ترین اکوسیستم‌ها نسبت به آلاینده‌های دریایی می‌باشند. امروزه وسعت صخره‌های مرجانی در دنیا به‌دلیل افزایش فعالیت‌های ماهی‌گیری، شکار، شیوع بیماری، تخریب زیستگاه، کاهش کیفیت آب، توسعه سواحل، گرمایش جهانی، اسیدی شدن

آب‌سنگ‌های مرجانی ارایه‌دهنده خدمات ضروری اکوسیستم از جمله گردشگری، تامین غذا و محصولات طبیعی برای میلیون‌ها نفر انسان می‌باشند (Hughes et al., 2017) و زیستگاه مناسبی برای انواع جانوران آبی به‌شمار می‌روند. این اکوسیستم‌های غنی نقش مهمی نیز در حفاظت

آب و آلودگی رو به کاهش است (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2017; Anthony *et al.*, 2020). سلامت این اکوسیستم‌ها با پارامترهای محیطی مانند دما، شوری و اکسیژن محلول همراه با کیفیت رسوبات مشخص می‌شود (Ranjbar-Jafarabadi *et al.*, 2017). رسوبات به دلیل نوع ساختارشان مکانی مناسب برای تجمع آلاینده‌ها، از جمله آلاینده‌های هیدروکربنی به حساب می‌آیند (Mille *et al.*, 2007). طبق تعریف آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا^۱ هیدروکربن‌های نفتی کل^۲ اصطلاحی است که برای توصیف ترکیبات هیدروکربنی مشتق شده از منابع نفتی استفاده می‌شود. حضور آلاینده‌های آلی، به‌ویژه هیدروکربن‌های نفتی در اکوسیستم‌های بسیار حساس و آسیب‌پذیر، همچنان یک مسئله جدی است (Rhind, 2009; Paluselli *et al.*, 2018). استفاده غیرمتوازن بشر از دریا و طیف وسیع آلاینده‌های ورودی و تخلیه شده به آب‌ها، علاوه بر کاهش توان خودپالایی اکوسیستم‌های دریایی، امکان خنثی‌سازی اثرات ناشی از ورود آلاینده‌ها را نیز کم‌رنگ‌تر نموده است. برآورد شده است سالانه حدود ۴/۶۳ میلیون تن نفت به صورت ناخواسته از طریق حمل‌ونقل به دریاها تخلیه می‌گردد (Carpenter, 2019) که این هیدروکربن‌ها به دلیل خاصیت آب‌گریزی، انحلال‌پذیری و سمیت می‌توانند در رسوبات تجمع پیدا کنند (Mirza *et al.*, 2014) و با حضور در زنجیره غذایی موجودات دریایی، سلامت آنها را به مخاطره اندازد (Paluselli *et al.*, 2018). در حال حاضر آلودگی رسوبات به TPHs یکی دیگر از منابع اصلی استرس سلامت اکوسیستم‌های مرجانی به حساب می‌آیند (Rodríguez-Barroso *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2012; Noman *et al.*, 2022). فشار فزاینده و سریع عوامل انسان ساخت ناشی از ورود منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلاینده‌ها از مناطق بالادستی به دریاها به‌طور بالقوه از ظرفیت‌های فعلی بسیاری از اکوسیستم‌های ساحلی برای سازگاری فراتر رفته که این امر می‌تواند در نهایت منجر به آلودگی شدید محیطی و تخریب محیط زیست این مناطق شود (Kennish, 2002; Halpern *et al.*, 2008; Richmond *et al.*, 2018). بنابراین، ارزیابی ریسک آلودگی رسوبات در اکوسیستم‌های حساس ساحلی نظیر آبنگ‌های مرجانی و درک روشنی از اهمیت بیولوژیکی و اکولوژیکی آن بسیار حایز اهمیت است.

آب‌سنگ‌های مرجانی از جمله زیستگاه‌های حساس دریایی در خلیج فارس به حساب می‌آیند که به‌منظور پیشگیری از آلودگی نفتی در این منطقه آبی کشور، اجرا و پایش دقیق کنوانسیون‌های بین‌المللی حفاظت از محیط زیست دریایی تصویب شده از جمله مارپل، مدیریت آب توازن کشتی‌ها، سیستم‌های مضر ضدخزه و منطقه‌ای کویت ضرورت پیدا می‌کند. امروزه نمونه بارزی از انطباق موجودات دریایی با شرایط محیطی را می‌توان در اکوسیستم‌های مرجانی خلیج فارس مشاهده نمود. آب‌سنگ‌های مرجانی این ناحیه برای تقابل با آلودگی‌های وارد شده به محیط، به دو صورت تکه‌تکه^۳ و حاشیه‌ای^۴ دیده می‌شوند (Fatemi & Shokri, 2001). تنوع گونه‌ای و درصد پوشش مرجانی با نزدیک شدن به مناطق ساحلی کاهش می‌یابد که می‌تواند بیانگر این نکته باشد که حد آستانه ای محیطی، به حد نامطلوب می‌رسد (Fouda, 1997). هم‌اکنون فعالیت‌های انسانی از جمله ترافیک نفت‌کش‌ها، کشتیرانی، تاسیسات و صنایع پتروشیمی و توسعه شهرهای ساحلی موجب شده که بخش وسیعی از آب‌سنگ‌های مرجانی خلیج فارس در معرض نابودی قرار گرفته (Monikh *et al.*, 2013) و از وسعت‌شان کاسته شود. اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌های نفتی خلیج فارس در پژوهش‌های محققین متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه در مطالعات سیده‌شترودی و همکاران (۱۳۹۶) منشا غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی^۵ در رسوبات به میزان ۲۳-۹۴ نانوگرم بر گرم و در نمونه‌های مرجان *Acropora downingi* به میزان ۱۲۳-۳۳ نانوگرم بر گرم می‌تواند به دلیل ورود محصولات ناشی از سوختن ترکیبات نفت باشد. در پژوهش میروکیلی و حاجی‌زاده‌ذاکر (۱۳۹۲) نشان داد غلظت TPHs در رسوبات ساحلی جزیره‌خارک از مقادیر بسیار زیاد ۵۶۲۴ میکروگرم بر گرم در مناطق مجاور پایانه‌های نفتی تا مقادیر بسیار کم در حد چند میکروگرم بر گرم در مناطق دورتر از فعالیت‌های نفتی متغیر است و به‌طور عمده دارای منشا نفت‌های فسیلی است. بیش از ۲۰۰ جزیره بزرگ و کوچک در خلیج فارس قرار دارد (نامی، ۱۳۹۶). بررسی‌ها نشان می‌دهد شناخت نادرست از ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های روند توسعه اقتصادی موجب شده است که رسوبات سواحل، جزایر و اکوسیستم‌های آبی خلیج

3 Patch reef
4 Fringing reef
5 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

1 USEPA
2 Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs)

بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات پیرامونی اکوسیستم‌های مرجانی جزایر خلیج فارس (قشم، هنگام و لاوان) / ۴۹

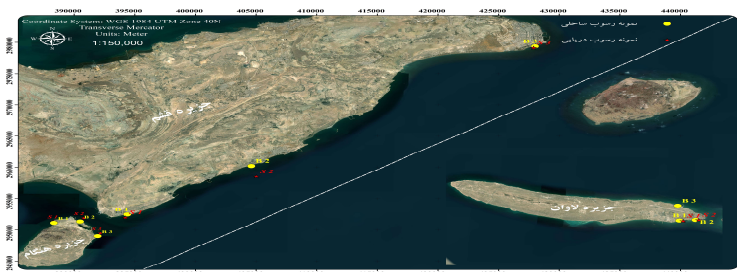
۱۳۹۴؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۵). جزیره هنگام در کرانه جنوبی جزیره قشم با وسعت حدود ۳۱ کیلومترمربع واقع شده و پوشش مرجانی آن عمدتاً حاشیه‌ای است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵). تنها فعالیت اقتصادی در جزیره هنگام که اکثر اهالی به آن مشغول هستند، ماهی‌گیری و صیادی است. اسکله کندالو تنها راه ارتباطی ساکنان جزیره و گردشگران فراوانی است که از قشم عازم هنگام هستند. جزیره لاوان نیز یکی از مناطق مهم چهارگانه عملیات نفتی در خلیج فارس به‌شمار می‌رود که دارای تاسیسات عظیمی برای پالایش، حمل‌ونقل و بارگیری و صدور نفت خام است. جزیره مرجانی لاوان در فاصله ۱/۵ کیلومتری پناهگاه حیات وحش و تالاب بین‌المللی شیدور قرار گرفته (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲) و عمده آبسنگ‌های مرجانی آن از نوع حاشیه‌ای است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵).

فارس تحت تاثیر آلاینده‌های نفتی قرار گیرد (سیدهشترودی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی آلاینده‌های هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) موجود در رسوبات پیرامونی جزایر قشم، هنگام و لاوان واقع در استان هرمزگان، به‌عنوان برخی از مهم‌ترین زیستگاه‌های حساس زیست‌محیطی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل سه جزیره قشم، هنگام و لاوان می‌باشد. جزیره قشم با وسعت ۱۴۷۷ کیلومترمربع، به‌عنوان بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس است که از نظر وضعیت مرجانی دارای پوشش غنی می‌باشد (Kavousi *et al.*, 2011) و عمده آبسنگ‌های مرجانی جزیره قشم از نوع حاشیه‌ای و تکه‌تکه است (چگونیان و همکاران،



شکل ۱. محدوده مطالعاتی

مختصات آنها توسط GPS تعیین و ثبت شد (جدول ۱). همچنین از الگوی ترانسکت خطی برای نمونه‌برداری تصادفی استفاده گردید (شکل ۱). در هر ایستگاه نمونه‌های رسوب دریا توسط چنگک فولادی ضدزنگ ونوین از عمق ۰-۵ سانتی‌متر بستر با سه تکرار برداشت شدند.

روش کار

در ابتدا ضمن بازدید میدانی از محدوده مطالعاتی در بهار ۱۴۰۱، طی عملیات غواصی با توجه به مهم‌ترین مکان‌های پراکنش اکوسیستم‌های مرجانی (اعماق کمتر از شش متر)، ۳ ایستگاه دریایی در جزیره قشم، ۳ ایستگاه در جزیره هنگام و ۲ ایستگاه در جزیره لاوان به‌صورت تصادفی انتخاب و

جدول ۱. مختصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات دریایی و ساحلی در جزایر مورد مطالعه

توضیحات	رسوبات ساحلی		رسوبات دریایی		ایستگاه	جزیره
	UTM		UTM			
	Y	X	Y	X		
صیادی، گردشگری ساحلی و دریایی، غواصی، لنج‌سازی، پتروشیمی، پالایشگاه گاز، فعالیت بندری و معادن	۲۹۵۲۴۴۱	۳۹۴۳۶۶	۲۹۵۱۹۵۵	۳۹۴۲۰۶	۱	قشم
	۲۹۶۰۱۹۱	۴۰۴۶۰۵	۲۹۵۸۴۹۷	۴۰۵۰۱۳	۲	
	۲۹۷۹۳۷۷	۴۲۸۰۰۵	۲۹۷۹۱۳۴	۴۲۷۸۸۳	۳	
صیادی، گردشگری ساحلی و دریایی، غواصی، آب شیرین‌کن	۲۹۵۱۱۳۱	۳۸۸۳۲۲	۲۹۵۱۳۸۲	۳۸۸۲۶۴	۱	هنگام
	۲۹۵۱۳۴۲	۳۹۰۴۷۹	۲۹۵۱۸۸۷	۳۹۰۷۹۱	۲	
	۲۹۴۸۹۸۹	۳۹۱۹۳۳	۲۹۴۹۴۵۸	۳۹۲۱۵۰	۳	
صیادی، گردشگری ساحلی و دریایی، غواصی، پالایشگاه نفت، فعالیت بندری	۲۹۶۵۶۹۰	۷۳۵۰۸۱	۲۹۶۵۶۲۸	۷۳۵۴۲۹	۱	لاوان
	۲۹۶۵۸۶۰	۷۳۶۵۲۱	۲۹۶۵۸۶۹	۷۳۶۸۲۳	۲	
	۲۹۶۸۸۰۱	۷۳۳۳۶۹	—	—	۳	

خشک شود. سپس رسوب حاصل را توزین نموده و در داخل الک‌ها که بر روی هم از بالا به پایین روی دستگاه لرزاننده قرار گرفته‌اند ریخته شد و به مدت ۱۵ دقیقه لرزاننده روشن شده تا جداسازی و عمل دانه‌بندی انجام شود. سپس الک‌ها را از روی لرزاننده الک جدا کرده و مقدار رسوبات باقی‌مانده داخل هر الک را توزین نموده و در نهایت درصد انواع رسوبات مشخص شد. کلیه آنالیزهای ذکر شده در بالا برای هر نمونه به صورت سه بار تکرار صورت پذیرفت (MOOPAM, 2010).

ارزیابی شدت آلودگی در رسوبات

در این پژوهش با استفاده از دو شاخص دستورالعمل‌های استانداردهای کیفیت رسوب^۳ و ضریب آلودگی^۴، ارزیابی شدت و خطر زیست‌محیطی به منظور بررسی اثرات بیولوژیکی نامطلوب و یا درجه سمیت رسوبات به آلاینده‌های نفتی مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا جهت بررسی کیفیت رسوب با استفاده از رابطه (۱)، ارتباط بین غلظت آلاینده در نمونه رسوب و اثرات بیولوژیکی نامطلوب ارزیابی شد.

$$PEL_q = \left(\frac{C}{P} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

بر اساس رابطه، PEL_q ° مقدار سمیت هیدروکربن‌های نفتی، C بیانگر غلظت هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های رسوبی (بر حسب میکروگرم بر گرم) و P مقدار PEL (بر حسب میکروگرم بر گرم) می‌باشد. این رابطه بر مبنای مقادیر مشخصی از دامنه اثر کم یا حد تاثیر آستانه (TEL)^۶ و دامنه اثر متوسط و یا حد اثرات احتمالی (PEL) تعریف می‌شود. مقدار TEL بیانگر غلظت آلاینده یا یک اثر نسبتاً پایین در جوامع زیستی و PEL به عنوان غلظت آلاینده با اثرات سمی بالا برآورد شده است (Monazami-Tehrani et al., 2012).

Long و همکاران (۱۹۹۵) غلظت TPHs در رسوبات خلیج فارس را به چهار بخش اصلی تقسیم‌بندی کرده‌اند که بر اساس این تقسیم‌بندی مقادیر TPHs کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم به عنوان زمینه طبیعی و یا TEL و مقادیر بیشتر از ۵۰۰ میکروگرم بر گرم به عنوان PEL در نظر گرفته شده‌است. بر مبنای همین ضریب، درجه‌بندی اثرات زیستی آلاینده‌های نفتی موجود در رسوبات برای موجودات آبی در جدول (۲) توسط Monazami-Tehrani و همکاران (۲۰۱۲) تقسیم‌بندی شده‌است.

همچنین پس از جزر کامل آب دریا ۳ ایستگاه در سواحل جزیره قشم، ۳ ایستگاه در سواحل جزیره هنگام و ۳ ایستگاه در سواحل جزیره لاوان انتخاب شد و با استفاده از یک بیلچه استیل ضدزنگ نمونه رسوب در یک کوادرات ۲۰×۲۰ سانتی‌مترمربعی و از عمق حدود ۵-۰ سانتی‌متری به طور تصادفی از ایستگاه مورد نظر جمع‌آوری شدند. برای نمونه‌های ساحل در هر ایستگاه فقط یک نمونه و برای نمونه‌های دریایی، جهت بالابردن میزان دقت در مقدار متغیر، از هر ایستگاه سه نمونه رسوب تهیه شد و میانگین سه نمونه به عنوان مقدار متغیر ثبت گردید. کلیه نمونه‌های رسوب دریایی و ساحلی در ظروف آلومینیومی نگهداری و از طریق یخدان به آزمایشگاه اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان هرمزگان منتقل شدند.

در آزمایشگاه نمونه‌ها به مدت سه شبانه‌روز تحت دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس ۲۰ گرم از نمونه خشک فریز درایر^۱ شده (تحت خلا و برودت ۵۰- درجه سانتی‌گراد) و همگن شده توسط هاون چینی درون ویال دستگاه مایکروویو منتقل و سپس به هر یک از آنها ۴۰ میلی‌لیتر حلال‌های هگزان نرمال و دی‌کلرومتان (نسبت ۱:۱) اضافه گردید. در مرحله بعد به منظور سنجش عملکرد دستگاه و ارزیابی بهبود درصد استخراج (کنترل کیفیت)، در ابتدا غلظت‌های مختلفی از محلول کرایزن (محلول استاندارد) به دستگاه داده شد و دستگاه میزان جذب را با رسم یک منحنی کالیبراسیون نشان داد. پس از آن غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل با استفاده از دستگاه فلوروسانس اشعه ماورای بنفش^۲ تحت طول موج ۳۱۰ نانومتر و طول موج انتشار ۳۶۰ نانومتر به صورت دو بار تکرار و بر حسب واحد نانوگرم بر میلی‌لیتر (ppb) قرائت و در نهایت مقدار آن بر حسب میکروگرم بر گرم ($\mu\text{g/g}$) وزن خشک رسوب محاسبه شد.

در این پژوهش به منظور تعیین دانه‌بندی رسوبات از سری الک‌های با مش ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۶۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۷۰ و ۲۳۰ استفاده شد. بدین صورت که در ابتدا مقداری از نمونه رسوب داخل ظرف استوانه‌ای ۵۰۰ یا ۱۰۰ سی‌سی ریخته و به آن مقداری آب اکسیژنه برای از بین بردن ماده آلی اضافه شد. در ادامه ظرف استوانه‌ای را در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، تا

4 Contamination Factor (Cf)
5 Probable Effect Level
6 Threshold Effect Level

1 Freeze-dry
2 Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy (UVF)
3 Sediment Quality Guidelines (SOGs)

بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات پیرامونی اکوسیستم‌های مرجانی جزایر خلیج فارس (قشم، هنگام و لاوان) ۵۱/

جدول ۲. رده‌بندی اثر سمیت هیدروکربن‌های نفتی بر موجودات آبی

PELq	PELq < ۰/۱	۰/۱ < PELq < ۰/۵	۰/۵ < PELq < ۱/۵	PELq > ۱/۵
شدت اثر نامطلوب	بدون اثر	کم	متوسط	شدید

منبع: Monazami-Tehrani *et al.*, 2012

هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های رسوبی (بر حسب میکروگرم بر گرم) و C_n غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات طبیعی (بر حسب میکروگرم بر گرم) است. این ضریب بر اساس درجه آلودگی به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۳).

در مرحله بعد ضریب آلودگی رسوبات جهت ارزیابی آلودگی محیط‌زیست نسبت به یک ماده آلاینده خاص با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Hakanson, 1980).

$$C_f = \left(\frac{C_{0-1}}{C_n} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

بر اساس رابطه، C_f ضریب آلودگی، C_{0-1} میانگین غلظت

جدول ۳. رده‌بندی درجه آلودگی هیدروکربن‌های نفتی بر اساس ضریب آلودگی

Cf	Cf < ۱	۱ ≤ Cf < ۳	۳ ≤ Cf < ۶	Cf > ۶
درجه آلودگی	کم	متوسط	قابل توجه	زیاد

منبع: Hakanson 1980

در آب پس از چسبیدن به ذرات رسوب پدید می‌آید. از آنجایی که آب‌های نواحی کم‌عمق ساحلی معمولاً مملو از مواد معلق است، به‌همین دلیل شرایط رسوب‌گذاری برای ترکیبات نفتی مطلوب است (Tolosa *et al.*, 2004; Mille *et al.*, 2007). نتایج حاصل از دانه‌بندی رسوبات دریایی و ساحلی در جدول (۴) آورده شده است.

در این تحقیق تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

بافت نمونه‌های رسوب

یکی از پارامترهای موثر در تمرکز و انباشت آلاینده‌ها، نوع بافت رسوبات است. رسوب‌گذاری ترکیبات نفتی موجود

جدول ۴. مقادیر میانگین دانه‌بندی در نمونه‌های مطالعاتی

رسوبات ساحلی			رسوبات دریایی			محدوده‌های مطالعاتی (جزایر)	
سیلت+رس (%)	ماسه (%)	ایستگاه	سیلت+رس (%)	ماسه (%)	ایستگاه		
۴۷/۹۷	۵۲/۰۳	۱	۴۶/۸۳	۵۳/۱۷	۱		
۵۳/۶۸	۴۶/۳۲	۲	۴۵/۸۹	۵۴/۱۱	۲		قشم
۴۴/۹۸	۵۵/۰۲	۳	۴۶/۷۴	۵۳/۲۶	۳		
۴۸/۸۸	۵۱/۱۲	میانگین	۴۶/۴۹	۵۳/۵۱	میانگین		
۴۳/۰۵	۵۶/۹۵	۱	۵۶/۱۸	۴۳/۸۲	۱		
۳۶/۰۷	۶۳/۹۳	۲	۴۸/۴۹	۵۱/۵۱	۲		هنگام
۵۰/۸۴	۴۹/۱۶	۳	۴۷/۵۵	۵۲/۴۵	۳		
۴۳/۳۲	۵۶/۶۸	میانگین	۵۰/۷۴	۴۹/۲۶	میانگین		
۵۳/۸۵	۴۶/۱۵	۱	۵۹/۳۱	۴۰/۶۹	۱		
۵۲/۶۱	۴۷/۳۹	۲	۴۳/۸۵	۵۶/۱۵	۲		لاوان
۴۶/۵۶	۵۳/۴۴	۳	-	-	-		
۵۱/۰۱	۴۸/۹۹	میانگین	۵۱/۵۸	۴۸/۴۲	میانگین		

< هنگام < قشم و محدوده میانگین ذرات ماسه از ۴۸/۴۲ درصد تا ۵۳/۵۱ درصد بوده است. بیشترین میانگین درصد

در رسوبات دریایی میانگین روند تغییرات از بیشترین تا کمترین درصد ذرات دانه‌ریز سیلت و رس در جزایر لاوان

آورده شده است. بر این اساس میانگین غلظت TPHs در رسوبات دریایی در جزایر قشم، هنگام و لاوان به ترتیب $2/29 \pm 0/172$ ، $2/33 \pm 0/123$ ، $2/72 \pm 0/172$ (میکروگرم بر گرم) و میانگین غلظت آن در رسوبات ساحلی در سه جزیره مذکور به ترتیب $1/96 \pm 0/066$ ، $2/31 \pm 0/1$ ، $2/71 \pm 0/347$ و $2/33 \pm 0/$ (میکروگرم بر گرم) به دست آمد.

سیلت و رس بافت رسوبات ساحلی در جزیره لاوان به میزان ۵۱/۰۱ درصد و کمترین آن در جزیره هنگام با ۴۳/۳۲ درصد و برای درصد ذرات تشکیل دهنده ماسه به ترتیب میانگین آن در جزیره هنگام < قشم < لاوان است.

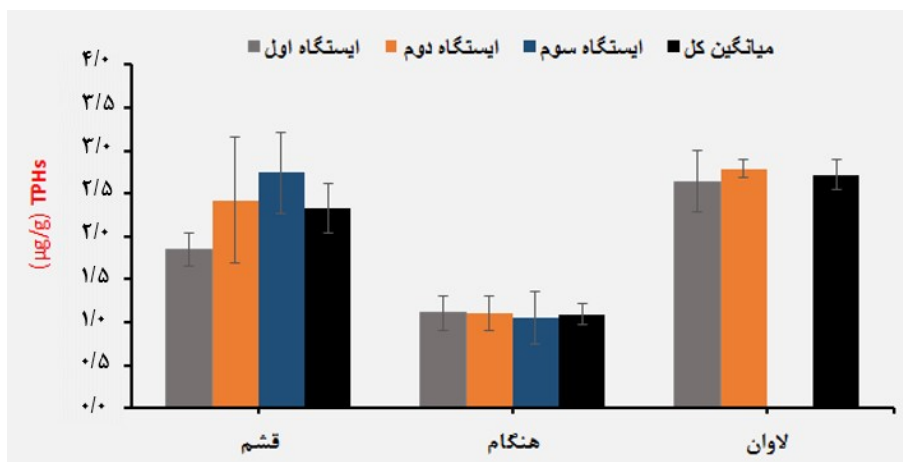
غلظت هیدروکربن های نفتی کل در رسوب

میزان غلظت هیدروکربن های نفتی کل موجود در رسوبات دریایی و ساحلی در جدول (۵) و شکل های ۲ و ۳

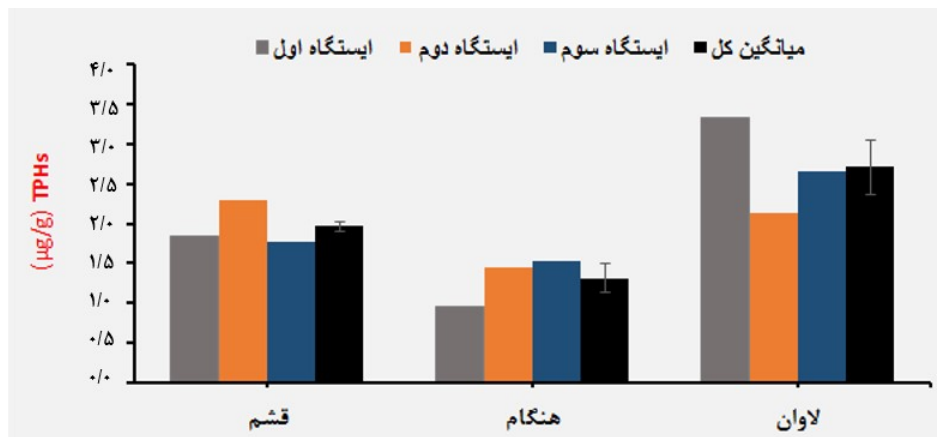
جدول ۵. مقادیر میانگین TPHs در نمونه های مطالعاتی*

رسوبات ساحلی		رسوبات دریایی		محدوده های مطالعاتی (جزایر)
غلظت TPHs (µg/g)	ایستگاه	غلظت TPHs (µg/g)	ایستگاه	
۱/۸۳	۱	۱/۸۴ (۰/۰۱۹)	۱	قشم
۲/۲۹	۲	۲/۴۲ (۰/۳۳۵)	۲	
۱/۷۶	۳	۲/۸۴ (۰/۴۷۳)	۳	
۱/۹۶ (۰/۰۶۶)	میانگین کل (n=۳)	۲/۳۳ (۰/۲۹)	میانگین کل (n=۹)	
۰/۹۵	۱	۱/۱۱ (۰/۲۰۵)	۱	هنگام
۱/۴۴	۲	۱/۱۱ (۰/۲۰۲)	۲	
۱/۵۳	۳	۱/۰۵ (۰/۳۱۱)	۳	
۱/۳۱ (۰/۱۸)	میانگین کل (n=۳)	۱/۰۹ (۰/۱۲۳)	میانگین کل (n=۹)	
۳/۳۴	۱	۲/۶۴ (۰/۳۶۱)	۱	لاوان
۲/۱۴	۲	۲/۷۹ (۰/۱۰۶)	۲	
۲/۶۶	۳	—	—	
۲/۷۱ (۰/۳۴۷)	میانگین کل (n=۳)	۲/۷۲ (۰/۱۷۲)	میانگین کل (n=۶)	

* اعداد داخل پرانتز مقدار انحراف معیار در نمونه های جمع آوری شده می باشد.



شکل ۲. مقادیر غلظت هیدروکربن های نفتی کل در نمونه های مطالعاتی از رسوبات دریایی



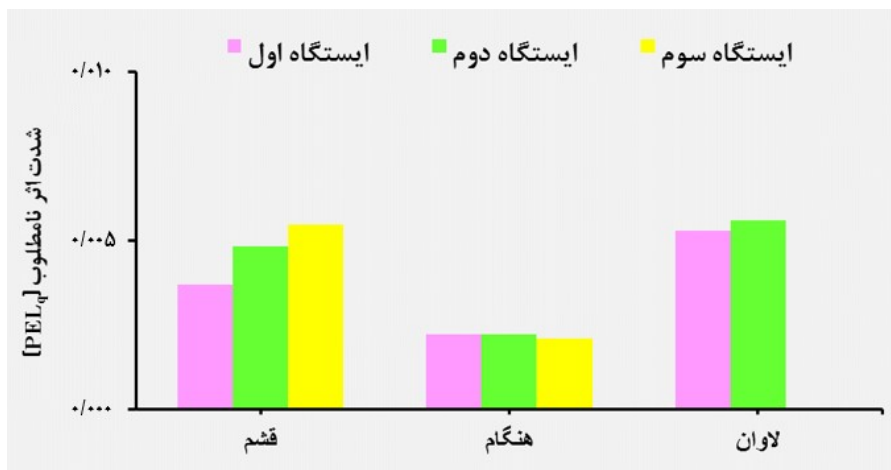
شکل ۳. مقادیر غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های مطالعاتی از رسوبات ساحلی

آلودگی استفاده شد.

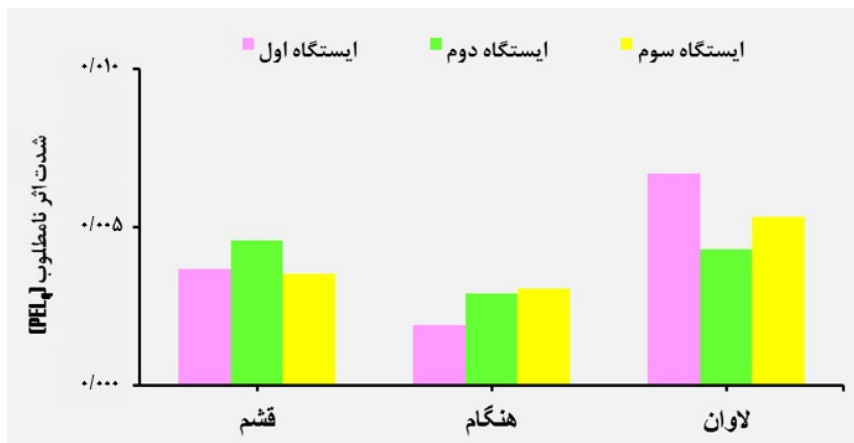
دستورالعمل‌های استاندارد کیفیت رسوبات

بر اساس محاسبات صورت گرفته جهت ارزیابی کیفیت رسوبات و اثرات بیولوژیک TPH بر موجودات آبی مقدار ۵۰۰ میکروگرم بر گرم به‌عنوان PEL برای رابطه (۱) در نظر گرفته شد که مطابق جدول (۲) غلظت این آلاینده در تمام رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده فاقد اثرات نامطلوب بیولوژیکی بر زندگی موجودات آبی هستند (شکل‌های ۴ و ۵).

نتایج حاکی از آن است در رسوبات دریایی بیشترین میانگین غلظت TPH در جزیره لاوان به‌میزان ۲/۷۲ میکروگرم بر گرم رسوب و پایین‌ترین میانگین غلظت با ۱/۰۹ میکروگرم بر گرم رسوب در جزیره هنگام مشاهده شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته محدوده میانگین هیدروکربن‌های نفتی کل از بیشترین تا کمترین غلظت به‌ترتیب در رسوبات ساحلی جزیره‌های لاوان < قشم < هنگام است. در ادامه بررسی‌ها به‌منظور ارزیابی آلودگی نفتی رسوبات از شاخص‌های دستورالعمل کیفیت رسوب و ضریب



شکل ۴. نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت رسوبات دریایی به هیدروکربن‌های نفتی در جزایر مورد مطالعه

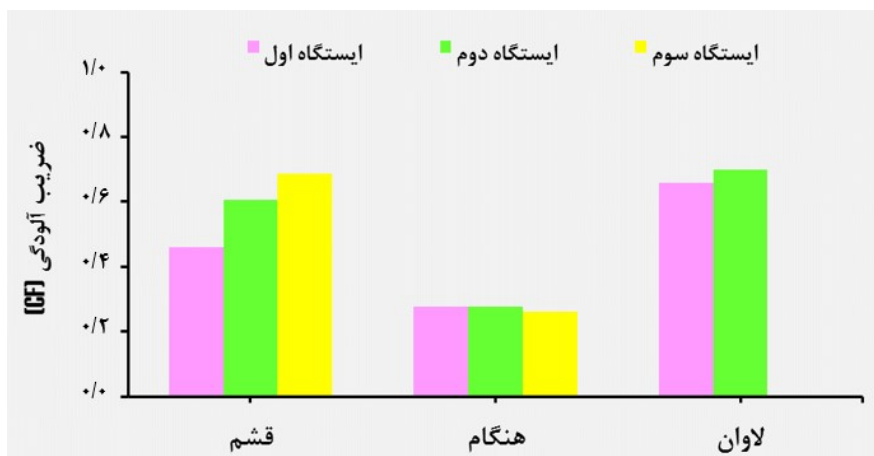


شکل ۵. نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت رسوبات ساحلی به هیدروکربن‌های نفتی در جزایر مورد مطالعه

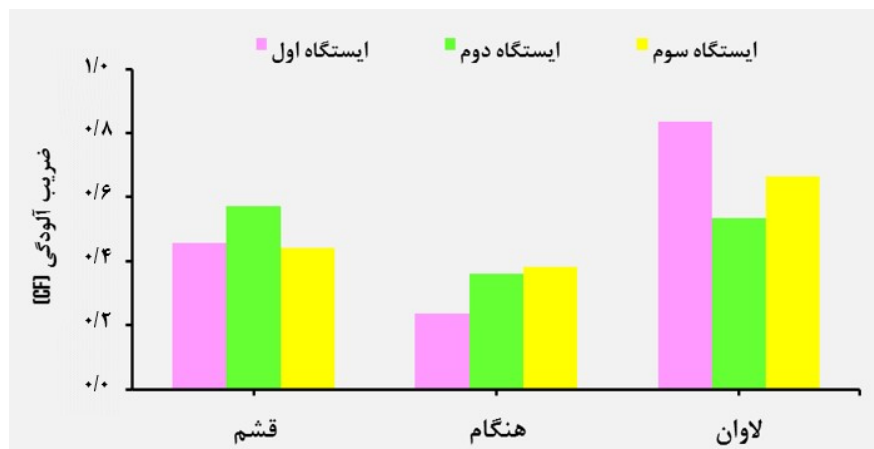
ساحلی پژوهش حاضر در رده آلودگی کم قرار دارد (شکل‌های ۶ و ۷).

ضریب آلودگی

برابر محاسبات انجام شده با استفاده از رابطه (۲) و جدول (۳) درجه آلودگی در تمام رسوبات ایستگاه‌های دریایی و



شکل ۶. نتایج حاصل از ضریب آلودگی رسوبات دریایی به TPH در محدوده مطالعاتی



شکل ۷. نتایج حاصل از ضریب آلودگی رسوبات ساحلی به TPH در محدوده مطالعاتی

بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات پیرامونی اکوسیستم‌های مرجانی جزایر خلیج فارس (قشم، هنگام و لاوان) / ۵۵

مقایسه نتایج میانگین TPH در رسوبات مورد مطالعه با میانگین خلیج فارس و جهان
 رسوبات دریایی را با توجه به غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل مطابق جدول (۶) به سه گروه تقسیم کرد.
 بر مبنای پژوهش‌های صورت گرفته Goldberg (۱۹۷۶)

جدول ۶. طبقه‌بندی مناطق بر اساس غلظت TPH

مقادیر TPH (µg/g)	وضعیت رسوبات
۱-۴	رسوبات اقیانوسی غیرآلوده
<۱۰۰	رسوبات ساحلی با آلودگی متوسط
>۱۲۰۰۰	رسوبات خیلی آلوده

منبع: Goldberg, 1976

همچنین Massoud و همکاران (۱۹۹۶) غلظت TPH در رسوبات خلیج فارس را مطابق جدول (۷) به چهار دسته تقسیم‌بندی کردند.
 برابر این طبقه‌بندی غلظت ۱۰-۱۵ میکروگرم بر گرم به‌عنوان میزان استاندارد TPH در رسوبات خلیج فارس در نظر گرفته شد.

جدول ۷. طبقه‌بندی مناطق بر اساس غلظت TPH

مقادیر TPH (µg/g)	درصد آلودگی منطقه
۱۰-۱۵	غیرآلوده (مقدار زمینه)
۱۵-۵۰	آلودگی کم
۵۰-۲۰۰	آلودگی متوسط
>۲۰۰	آلودگی شدید

منبع: Massoud et al., 1996

بر اساس دسته‌بندی‌های Goldberg (۱۹۷۶) و Massoud و همکاران (۱۹۹۶) کلیه ایستگاه‌های رسوبات دریایی جزایر مورد مطالعه جز مناطق غیرآلوده به هیدروکربن‌های نفتی قرار دارند (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین غلظت TPH در رسوبات دریایی جزایر مورد مطالعه با میانگین غلظت استاندارد آن در رسوبات جهانی و رسوبات خلیج فارس

میانگین غلظت TPHs (µg/g)	جزایر مورد مطالعه در پژوهش حاضر
۱/۹۶	قشم
۱/۳۱	هنگام
۲/۷۱	لاوان
۴	میانگین غلظت استاندارد TPH در رسوبات دریایی جهان (Goldberg, 1976)
۱۰	میانگین غلظت استاندارد TPH در رسوبات دریایی خلیج فارس (Massoud, 1996)

در دسته‌بندی دیگری Esteves و Commendatore (۲۰۰۷) شدت آلودگی رسوبات مناطق ساحلی به هیدروکربن‌های نفتی کل را طبق جدول (۹) به سه گروه تقسیم‌بندی نمودند.

جدول ۹. تقسیم‌بندی رسوبات مناطق ساحلی به آلودگی TPH

میزان TPH (µg/g)	شدت آلودگی
TPH < ۱۰	کم
۱۰ ≤ TPH < ۱۰۰	کم تا متوسط
۱۰۰ ≤ TPH < ۱۰۰۰	متوسط تا زیاد

منبع: Commendatore & Esteves, 2007

بر طبق دسته‌بندی بالا مشخص شد رسوبات ساحلی کلیه ایستگاه‌ها در جزایر مورد مطالعه از نظر هیدروکربن‌های نفتی کل از آلودگی کمی برخوردار می‌باشند (جدول ۱۰).

میانگین غلظت TPHs (µg/g)	جزایر مورد مطالعه در پژوهش حاضر	قسمت
۱/۹۶		قشم
۱/۳۱		هنگام
۲/۷۱		لاوان
۱۰		میانگین غلظت استاندارد TPH در رسوبات مناطق ساحلی جهان (Commendatore & Esteves, 2007)

تاسیسات نفتی موجود در این جزیره می‌باشد، زیرا رسوبات نواحی ساحلی در نزدیکی تاسیسات و صنایع نفتی می‌توانند حاوی غلظت‌های مختلفی از هیدروکربن‌های نفتی به دلیل فرآیند احتراق و نشت نفت باشند (Tolosa *et al.*, 2004). به‌طور کلی تفاوت کمتر بودن میانگین غلظت TPH رسوبات ساحلی در مقایسه با رسوبات دریایی جزایر مرجانی قشم و لاوان را می‌توان به‌طور عمده ناشی از فرآیندهای مختلف نوری، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دانست که این فرآیندها می‌توانند سبب تجزیه این آلاینده‌های آلی شوند (محمدی‌گلنگش و همکاران، ۱۳۹۷).

شرایط خاصی نظیر عمق کم، شوری و درجه حرارت بالا، کدورت زیاد و ورود انواع مختلف آلاینده‌های زیست‌محیطی از جمله هیدروکربن‌های نفتی، اکوسیستم خلیج فارس این آبراهه استراتژیک جهانی را تحت تاثیر قرار داده است. با توجه به اینکه عمق آب در کلیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری جزایر مورد مطالعه کمتر از ۶ متر بوده و طبق تعریف کنوانسیون رامسر از تالاب، مناطق دریایی که عمق‌شان در هنگام جزر از ۶ متر بیشتر نباشد جز تالاب‌ها به حساب می‌آیند (Ramsar Convention Secretariat, 2007)، اکوسیستم‌های مرجانی محدوده مطالعاتی این پژوهش نیز در ردیف تالاب‌ها قرار دارند. تالاب‌ها، به‌عنوان محل تلاقی زیست‌بوم‌های خشکی و دریا (Qi *et al.*, 2021)، نقش مهمی در تصفیه آب، تنظیم آب و هوا، حفاظت از آب و خاک و تنوع زیستی دارند (Strayer & Dudgeon., 2010; Costanza *et al.*, 2014) که در حال حاضر بهره‌برداری بی‌رویه، حمل و نقل، ریزش و نشت نفت اثرات اکولوژیک منفی بر پیکره تالاب‌ها وارد کرده است (Balogun *et al.*, 2020; Kuang *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2022). بدین

یافته‌های به‌دست آمده این پژوهش با نتایج حاصل از طبقه‌بندی‌های انجام شده توسط Goldberg (۱۹۷۶)، Massoud و همکاران (۱۹۹۶)، Commendatore و Esteves (۲۰۰۷) و همچنین مطالعات میروکیلی و حاجی‌زاده‌ذاکر (۱۳۹۲) همخوانی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه خلیج فارس در معرض تخلیه مستقیم مواد از رودخانه‌ها، رواناب‌های سطحی و زهاب اراضی دور از ساحل، مواد خروجی صنعتی، خانگی و بسیاری دیگر از مواد آلاینده به‌ویژه آلودگی‌های نفتی قرار دارد. به‌علاوه تمام اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد این مناطق نظیر آبسنگ‌های مرجانی، بسترهای علفی دریایی و جنگل‌های مانگرو در اثر فشار جمعیت و فعالیت‌های توسعه سواحل در روندی تخریبی قرار دارند. بر طبق نتایج به‌دست آمده درصد بالاتر ذرات دانه‌ریز سیلت و رس نسبت به ذرات دانه درشت ماسه در جزیره لاوان می‌تواند یکی از دلایل اصلی افزایش بار آلودگی نفتی در رسوبات دریایی آن جزیره باشد (Mohebbi-*et al.*, 2015). همچنین مجاورت اکوسیستم‌های مرجانی با تاسیسات نفتی (Tolosa *et al.*, 2004)، نزدیکی به مناطق مسکونی و صنعتی از یک‌سو و وجود اسکله‌های صیادی و تجاری، تردد، تخلیه آب توازن و سوخت‌گیری انواع شناورها (خصوصاً سوخت قاچاق) و نقاشی شناورها از سوی دیگر را می‌توان از دیگر دلایل بالا بودن میزان هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات دریایی جزایر لاوان و قشم در نظر گرفت (Maktoof *et al.*, 2014; Monazami-Tehran *et al.*, 2016). بر طبق نتایج به‌دست آمده در جزیره لاوان سطح بالای غلظت TPH از رسوبات جمع‌آوری شده در نزدیکی خط ساحلی به‌ویژه ایستگاه اول ناشی از فعالیت

ساحلی دریای خزر، استان گیلان. مجله بوم‌شناسی
آبزیان، ۷(۴): ۹-۱۷.

مرادی، م.، وارسته، ط. و نبی‌پور، ا. (۱۳۹۵) مرجان‌های
خلیج فارس و مهندسی بافت. بوشهر: ناشر دانشگاه
علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی، ۲۲۰ صفحه.
میروکیلی، ح.س. و حاجی‌زاده‌ذاکر، ن. (۱۳۹۲) غلظت و
منشا هیدروکربن‌های نفتی کل در خلیج فارس (TPH)
در رسوبات ساحلی جزیره خارک. مجله محیط‌شناسی،
۳۹(۴): ۱۳۷-۱۴۸.

نامی، م.ح. (۱۳۹۶) ویژگی‌های خلیج فارس. فصلنامه
مطالعات خلیج فارس، ۲(۴): ۴۸-۶۱.

Fatemi, S.M.R. and Shokri, M.R. (2001) Iranian coral reefs status with particular reference to Kish Island, Persian Gulf. International Coral Reef Initiative Indian Ocean Regional Workshop. Muzambique. November: 13p.

Anthony, K.R.N., Helmstedt, K.J., Bay, L.K., Fidelman, P., Hussey, K.E., Lundgren, P., Mead, D., McLeod, I.M., Mumby, P.J., Newlands, M., Schaffelke, B., Wilson, K.A. and Hardisty, P.E. (2020) Interventions to help coral reefs under global change a complex decision challenge. PLoS One, 15(8): 1-14. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236399/>

Balogun, A.L., Yekeen, S.T., Pradhan, B. and Althuwaynee, O.F. (2020) Spatio-temporal analysis of oil spill impact and recovery pattern of coastal vegetation and wetland using multispectral satellite landsat 8-OLI imagery and machine learning models. Remote Sensing, 12(7): 1225. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs12071225/>

Carpenter, A. (2019) Oil pollution in the North Sea: The impact of governance measures on oil pollution over several decades. Hydrobiologia, 845(1): 109-127.

Commendatore, M.G. and Esteves, J.L. (2007) An assessment of oil pollution in the coastal zone of Patagonia, Argentina. Environmental Management, 40(5): 814-821.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S. and Turner, R.K. (2014) Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 26(2014): 152-158. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j>

Fatemi, S.M.R. and Shokri, M.R. (2001) Iranian coral reefs status with particular reference to Kish Island, Persian Gulf. International Coral Reef Initiative Indian Ocean Regional Workshop, Muzambique, November, 13p.

Fouda, M. (1997) Overview on land-based sources and activities affecting the marine environment in ROPME Sea Area (DRAFT). Prepared for UNEP and ROPME.

منظور اهمیت صیانت از این اکوسیستم غنی، منحصر به فرد و در عین حال جز آسیب‌پذیرترین منابع زیست‌محیطی خلیج فارس که عمده آنها زیستگاه‌های جانوران آبی مهم و بی‌شماری در زنجیره غذایی دریاها به‌شمار می‌روند، در گرو حفاظت از مناطق ساحلی و محیط‌زیست دریایی با رویکرد توسعه پایدار نمایان‌تر می‌گردد. با توجه به نیاز بخش‌های مختلف تحقیقاتی و واحدهای اجرایی شیلات کشور به تغییرات و نوسانات خصوصیات محدوده آب‌های ایران در خلیج فارس و به دلیل بروز وقایع مختلف زیست‌محیطی در این آب‌ها و به‌ویژه آلودگی‌های نفتی، لزوم انجام بررسی‌های مشابه به‌صورت مستمر در قالب طرح‌های پایش در سایر اکوسیستم‌های مرجانی جزایر خلیج فارس و در نهایت اجرای موثر کنوانسیون‌های بین‌المللی تصویب شده در راستای حفاظت از محیط‌زیست دریاها به‌منظور کاهش منابع آلاینده دریایی نفتی در کشور پیشنهاد می‌گردد.

منابع

چگونیان، ا.م.، مختارزاده، م.، ولدان‌زوج، م.ج. و بلوکی، م. (۱۳۹۴) ارزیابی دقت طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی با استفاده از تصاویر ماهواره لنست ۸، مطالعه موردی خلیج فارس. مجله اقیانوس‌شناسی، ۶(۹): ۸۵-۹۳.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. (۱۳۸۲) جغرافیای جزایر ایرانی خلیج فارس: استان هرمزگان: جزیره لاوان. تهران: ناشر سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۲۸۸ صفحه.

سیدهشترودی، م.، صالح، ا. و شیجونی‌فومنی، ن. (۱۳۹۶) ارزیابی اولیه از غلظت ترکیبات PAH در نمونه‌های رسوب و مرجان *Acropora downingi* جمع‌آوری شده از جزیره هنگام. مجموعه مقالات اولین همایش بین‌المللی اقیانوس‌شناسی غرب آسیا، تهران، ۸ و ۹ آبان ماه، ۴ صفحه.

محمدی‌گلنگش، م.، صنعتی، ع.م. و بزرگ‌پناه، ز. (۱۳۹۷) بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) و فلزات شاخص (Ni & V) در گاماروس *Pontogammarus maeoticus* و رسوبات

- Environmental Monitoring and Assessment, 186(11): 7387-7398.
- Mohebbi-Nozar, S.L., Pauzi Zakaria, M., Seddiq Mortazawi, M., Salimizadeh, M., Momeni, M., Akbarzadeh, Gh.A. and Ismail, W.R. (2015) Total petroleum hydrocarbons in sediments from the coastline and mangroves of the northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 95(1): 407-411.
- Monazami-Tehrani, G.H., Hshim, R., Sulaiman, A.H., Tavakoly-Sany, S.B., Khani-Jani, R. and Monazami-Tehrani, Z. (2012) Assessment of contamination by petroleum hydrocarbons in sediments of Musa Bay, Northwest of the Persian Gulf-Iran. *International Conference on Environment, Energy and Biotechnology*, Singapore, 33, 75-80.
- Monazami-Tehrani, G.H., Tavakoly-Sany, S.B., Hashim, R. and Salleh, A. (2016) Predictive environmental impact assessment of total petroleum hydrocarbons in petrochemical wastewater effluent and surface sediment. *Environmental Earth Sciences*, 75(2): 1-13.
- Monikh, F.A., Safahieh, A., Savari, A. and Doraghi, A. (2013) Heavy metal concentration in sediment, benthic, benthopelagic, and pelagic fish species from Musa Estuary (Persian Gulf). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1): 215-222.
- MOOPAM. (2010) *Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods*. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. Kuwait (ROPME), 585p.
- Noman, M.A., Feng, W., Zhu, G., Hossain, M.B., Chen, Y., Zhang, H. and Sun, J. (2022) Bioaccumulation and potential human health risks of metals in commercially important fishes and shellfishes from Hangzhou Bay, China. *Scientific Reports*, 12(1): 1-15.
- Paluselli, A., Fauvelle, V., Schmidt, N., Galgani, F., Net, S. and Sempere, R. (2018) Distribution of phthalates in Marseille Bay (NW Mediterranean Sea). *Science of the Total Environment*, 621(2018): 578-587. Retrieved from <http://10.1016/j.scitotenv.2017.11.306/>
- Qi, Q., Zhang, D.J., Zhang, M.Y., Tong, S.Z., Wang, W.H. and An, Y. (2021) Spatial distribution of soil organic carbon and total nitrogen in disturbed *Carex tussock* wetland. *Ecological Indicator*, 120(2021): 106930. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106930/>
- Ramsar Convention Secretariat. (2007) *Ramsar handbooks for the wise use of wetlands*. 3rd eds, Ramsar Convention Secretariat: Gland, Switzerland, 30p.
- Ranjbar-Jafarabadi, A., Riyahi-Bakhtiyari, A., Shadmehri-Toosi, A. and Jadot, C. (2017) 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(2017): 1090-1111.
- Goldberg, E.D. (1976) *The health of the oceans*. UNESCO Press, Paris, 172p.
- Hakanson, L. (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8): 975-1001.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., d'Agrosa, C. and Watson, R. (2008) A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865): 948-952.
- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E.S., Skirving, W. and Dove, S. (2017) Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science*, 158(4): 20. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158/>
- Hughes, T.P., Barnes, M.L., Bellwood, D.R., Cinner, J.E., Cumming, G.S., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., Van de Leemput, I.A., Lough, J.M., Morrison, T.H., Palumbi, S.R., Van Nes, E.H. and Abnd Scheffer, M. (2017) Coral reefs in the anthropocene. *Nature*, 546(7656): 82-90. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/nature22901/>
- Kavousi, J., Seyfabadi, J., Rezai, H. and Fenner, D. (2011) Coral reefs and communities of Qeshm Island, the Persian Gulf. *Zoological Studies*, 50(3): 276-283.
- Kennish, M.J. (2002) Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1): 78-107.
- Kuang, S.P., Dong, Z.W., Wang, B.C., Wang, H.H., Li, J.L. and Shao, H.B. (2021) Changes of sensitive microbial community in oil polluted soil in the coastal area in Shandong. China for Eco restoration. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207(2021): 111551. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111551/>
- 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. *Environmental Management*, 19(1): 81-97.
- Maktoof, A.A., Alkhafaji, B.Y. and Al-janabi, Z.Z. (2014) Evaluation of total hydrocarbons levels and traces metals in water and sediment from Main Outfall Drain in Al-Nassiriya City/Southern Iraq. *Natural Resources*, 5(13): 795-803.
- Massoud, M.S., Al-Abdali, F., Al-Ghadban, A.N. and Al-Sarawi, M. (1996) Bottom sediments of the Arabian Gulf—II. TPH and TOC contents as indicators of oil pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil slick. *Environmental Pollution*, 93(3): 271-284.
- Mille, G., Asia, L., Guiliano, M., Malleret, L. and Doumenq, P. (2007) Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos Area, France). *Marine Pollution Bulletin*, 54(5): 566-575.
- Mirza, R., Mohammadi, M., Faghiri, I., Abedi, E., Fakhri, A., Azimi, A. and Zahed, M.A. (2014) Source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment samples from the northern part of the Persian Gulf, Iran.

- Tolosa, I., de Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Villeneuve, J.P., Bartocci, J. and Cattini, C. (2004) Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 48(1-2): 44-60.
- Wang, X.Y., Feng, J. and Zhao, J.M. (2010) Effects of crude oil residuals on soil chemical properties in oil sites, Momoge Wetland. China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161(1): 271-280. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0744-1/>
- Yang, L., Chen, F., Zhang, L., Liu, J., Wu, S. and Kang, M. (2012) Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River estuary and adjacent shelf. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9): 1947-1955.
- Zheng, X.X., Wang, H., Tao, Y., Kou, X. Ch., He, Ch.U. and Wang, Z.Q. (2022) Community diversity of soil meso-fauna indicates the impacts of oil exploitation on wetlands. *Ecological Indicators*, 144(2022): 109451. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109451/>
- Rhind, S.M. (2009) Anthropogenic pollutants: A threat to ecosystem sustainability. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 364(1534): 3391-3401. doi:10.1098/rstb.2009.0122/
- Richmond, R.H., Tisthammer, K.H. and Spies, N.P. (2018) The effects of anthropogenic stressors on reproduction and recruitment of corals and reef organisms. *Frontiers in Marine Science*, 5(2018): 226-226.
- Rodríguez-Barroso, M.R., García-Morales, J.L., Oviedo, C. and Quiroga Alonso, J.M. (2010) An assessment of heavy metal contamination in surface sediment using statistical analysis. *Environmental Monitoring Assessment*, 163(1): 489-501.
- Strayer, D.L. and Dudgeon, D. (2010) Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *North American Benthological Society*, 29(1): 344-358. Retrieved from <https://doi.org/10.1899/08-171.1/>

Investigation of total petroleum hydrocarbons in the peripheral sediments of the coral ecosystems of the Persian Gulf islands (Qeshm, Hengam and Lavan)

Mehdi Soltani¹, Saber Ghasemi^{2*} and Ehsan Kamrani³

- 1) Ph.D Student of Environmental Management, Department of Environmental Sciences, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.
- 2) Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.
*Corresponding Author Email Address: saberghasemi@gmail.com
- 3) Professor, Department of Environmental Sciences, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.

Date of Submission: 2022/10/09

Date of Acceptance: 2022/12/26

Abstract

The second richest habitat on the planet after tropical forests is dedicated to coral ecosystems. This ecosystem plays a significant role in balancing the amount of carbon and nitrogen, maintaining coastlines against destruction caused by continuous waves, storms, floods, creating a marine environment, nutrients for the food chain, and also balancing the delicate system of nature. Today, the extraction, exploitation and transportation of oil have left the biggest role in the destruction of the coral coasts of the Persian Gulf. Samples of marine and coastal sediments of Qeshm, Hengam and Lavan coral islands from a depth of about 0-5 cm were randomly collected according to the MOOPAM method and the concentration of total petroleum hydrocarbons was measured by UVF device in $\mu\text{g/g}$ of sediment. The texture type of sediments indicated that the highest percentage of fine particles (Silt+Clay) in marine and coastal sediments of Lavan Island is 51.58% and 51.01%, respectively. The average detected concentrations of TPH are lower than the environmental risk background value ($4 \mu\text{g/g}$). The highest concentration of petroleum hydrocarbons is observed in the marine and coastal sediment stations of Lavan Island, which can be due to the facilities and activities of oil and fishing vessels in this island. Also, the assessment of the environmental risk caused by TPH pollution on aquatic organisms using indicators of sediment quality guidelines (SOGs) and contamination factor (C_f) showed that the investigated sediments do not have any adverse biological effects on aquatic organisms. Exploitation, marine transportation, oil spills and its derivatives are considered as one of the main reasons for the destruction and negative ecological effects on the coral reefs of the Persian Gulf, which this challenge of the need to protect the coastal areas and the environment makes marine life more obvious with a sustainable development approach.

Keywords: Environmental pollution, Persian Gulf, Sensitive ecosystem, Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs).