

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی آلودگی هیدروکربن های نفتی کل (TPH) در رسوبات ساحلی جنگل های حرای منطقه تیاب، (استان هرمزگان)

نگارنده : لیلا زاهدی دهویی

اساتید راهنما

دکتر افشین قشلاقی

دکتر محمد صدیق مرتضوی

دی ۱۳۹۵

تقدیم به:

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید:

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را

سپاس نتوانم گفت. امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم لایق ذره ای از

مهر بی پایانتان باشد.

سپاس

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند، لذا اکنون که در سایه‌سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به‌جا آورم که اگر دست یاری‌گرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید. از اساتید گرامی جناب آقای دکتر افشین قشلاقی و جناب آقای دکتر محمد صدیق مرتضوی به پاس زحمات بی‌دریغ و بردباری بی‌نظیرشان و نیز راهنمایی‌های ایشان در پیمودن این مسیر، کمال سپاس را دارم. از استاد فرزانه و دلسوزم سرکار خانم دکتر گیتی فرقانی که در طول مراحل تحصیل، خالصانه علم و تجربه‌ی خویش را در اختیار این جانب قرار داده‌اند نهایت سپاس را دارم. بی‌شک انجام مراحل مختلف این پژوهش بدون مساعدت بعضی از کارمندان پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، آقایان اکبرزاده، آغاجری، جوکار و سرکار خانم دکتر محبی امکان‌پذیر نبود. همچنین از سرکار خانم دکتر سلیمی زاده، سرکار خانم مهندس دودی و جناب آقای مهندس محوری کارمندان بخش بانک ژن اداره کل محیط زیست استان هرمزگان کمال تشکر را دارم. ایشان در پیشبرد هر چه بهتر این پایان‌نامه سهم ارزنده‌ای ایفا کرده‌اند. اکنون فرصت را غنیمت شمرده و مراتب قدردانی و تشکر خود را از افراد مذکور اعلام کرده و به‌روزی در تمام امور را برای ایشان آرزومندم. هم‌چنین از تمام دوستانم که با تکیه بر دوستی و محبتشان توانستم این پروژه را به پایان برسانم سپاسگذارم.

در پایان از خانواده بزرگوارم بویژه دو گوه‌ر ناب زندگیم (پدر و مادر مهربانم) بردار و خواهران گرامیم که حضورشان مایه آسایش من و وجودشان آرامش‌بخش روح و روان من است، تشکر نموده و دستانشان را از صمیم قلب می‌فشارم.

تعهدنامه

اینجانب لیلا زاهدی دهویی دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان ارزیابی آلودگی هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در رسوبات ساحلی جنگل‌های حرا منطقه تیاب، (استان هرمزگان) تحت راهنمایی دکتر افشین قشلاقی و دکتر محمد صدیق مرتضوی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایان‌های، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

منطقه حفاظت شده حرای تیاب و سواحل مجاور آنها به دلیل نزدیکی به مناطق مسکونی، بنادر صیادی و تجاری و مجتمع های پرورش میگو، در معرض آلودگی های مختلفی از جمله آلودگی های نفتی و فلزات سنگین قرار دارد. هدف از این پژوهش، ارزیابی آلودگی نفتی کل (TPHS) و فلزات سنگین در رسوبات سطحی بنادر تیاب و کلاهی و همچنین رویشگاه های حرای مجاور آنها است. بدین منظور، نمونه برداری از رسوبات سطحی در ۱۶ ایستگاه و به صورت سه بار تکرار در سواحل بنادر و رویشگاه های مانگرو (حرا) انجام شد. ویژگی های فیزیکوشیمیایی رسوبات از قبیل دانه بندی، pH، ماده آلی کل (TOM) و کربن آلی (OC) با استفاده از روش های استاندارد اندازه گیری شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES و غلظت هیدروکربن های نفتی کل با استفاده از طیفسنجی فلوئورسانس پرتو ماورای بنفش (UVF) تعیین گردید. نتایج به دست آمده نشان می دهد که غلظت فلزات در رسوبات در محدوده بین ۱۶۳-۱۲۴ (برای نیکل)، ۸۹-۷۳ (برای وانادیوم)، ۹-۸ (برای سرب)، ۶۸-۴۸ (برای روی) و ۱۳۶-۱۱۲ (برای کروم) میلی گرم بر کیلوگرم قرار دارد و همه آنها (به جز فلز روی) دارای غلظت بالاتری از استاندارد رسوبات خلیج فارس هستند. هیدروکربن های نفتی دامنه تغییرات اندکی را از ۰/۳۶ تا ۴/۸۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک، در رسوبات بنادر و مانگروها نشان دادند. غلظت های تشخیص داده شده برای هیدروکربن های نفتی کل پایین تر از مقدار زمینه خطر زیست محیطی ($4 \mu\text{g/g}$) است. بیشترین غلظت آنها در ایستگاه های واقع در بنادر تیاب و کلاهی مشاهده می شود که احتمالاً به دلیل آلودگی ناشی از فعالیت بنادر و شناورهای صیادی است. محاسبه ضریب غنی شدگی (EF) و ضریب زمین انباشت (Igeo) برای فلزات سنگین نشان داد که تمام فلزات (به جز نیکل) در رسوبات مورد مطالعه دارای درجه آلودگی کم هستند. ضرایب غنی شدگی ($1/86$) و زمین انباشت ($0/54$) بالاتر نیکل نسبت به سایر فلزات نشان دهنده آلودگی متوسط این فلز و احتمال بیشتر وجود آلودگی نفتی در منطقه مورد مطالعه است. همچنین ارزیابی خطر زیست محیطی ناشی از آلودگی هیدروکربن های نفتی بر موجودات آبرزی با استفاده از شاخص های دستورالعمل های کیفیت رسوب (SQGs) و ضریب آلودگی (CF) نشان داد که رسوبات مورد مطالعه به جز ایستگاه شماره یک ($CF=1/22$)، فاقد هر گونه اثرات بیولوژیکی نامطلوب بر موجودات آبرزی هستند. در نهایت نتایج حاصل از تحلیل آماری داده ها نشان داد که پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات (دانه بندی، pH، ماده آلی و کربن آلی)، فلزات سنگین و هیدروکربن های نفتی کل با یکدیگر همبستگی نداشته که می تواند بیانگر وجود منشاء یا عوامل کنترل کننده متفاوت برای هر یک از این پارامترها در رسوبات مورد مطالعه باشد.

کلمات کلیدی: هیدروکربن های نفتی کل، فلزات سنگین، جنگل های مانگرو، بنادر صیادی، تیاب،

هرمزگان

مقالات استخراج شده از پایان نامه:

❖ بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، روی، وانادیوم، کروم و نیکل) در رسوبات ساحلی

و رویشگاه‌های حرای منطقه تیاب (استان هرمزگان)، بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی

ایران، دانشگاه تهران، شهریور ۱۳۹۵

❖ بررسی و اندازه‌گیری هیدروکربن‌های نفتی کل (TPHs) در رسوبات ساحلی و رویشگاه‌های

حرای منطقه تیاب (استان هرمزگان)، بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه

تهران، شهریور ۱۳۹۵

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- بیان مسأله.....	۳
۱-۳- اهداف تحقیق.....	۴
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق.....	۴
۱-۵- روش انجام تحقیق.....	۵
۱-۶- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه.....	۶
۱-۶-۱- ویژگی‌های عمومی استان هرمزگان.....	۶
۱-۶-۱-۱- وضعیت جغرافیایی استان هرمزگان.....	۶
۱-۶-۱-۲- وضعیت اقلیمی استان هرمزگان.....	۶
۱-۶-۱-۳- وضعیت توپوگرافی استان هرمزگان.....	۷
۱-۶-۱-۴- پوشش گیاهی استان هرمزگان.....	۷
۱-۶-۱-۵- رودخانه‌های استان هرمزگان.....	۸
۱-۶-۲- ویژگی‌های شهرستان میناب.....	۹
۱-۶-۲-۱- آب و هوا و اقلیم.....	۹
۱-۶-۲-۲- زمین‌شناسی و سنگشناسی.....	۹
۱-۶-۳- ویژگی‌های دهستان تیاب.....	۱۱
۱-۶-۳-۱- وضعیت جغرافیایی.....	۱۱
۱-۶-۳-۲- امکانات زیربنایی و فعالیت‌های تولیدی.....	۱۲
۱-۶-۳-۳- ویژگی‌های خور تیاب.....	۱۲
۱-۷- ویژگی‌های منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب و میناب.....	۱۳

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه.....	۱۶
۲-۲- اهمیت محیط‌های ساحلی.....	۱۷
۲-۳- منابع آلوده‌کننده سواحل.....	۱۷
۲-۴- جنگل‌های حرا یا مانگرو.....	۱۸
۲-۴-۱- اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی مانگروها.....	۱۸
۲-۴-۲- شرایط زیستی.....	۱۹

- ۲-۴-۳- عوامل اصلی مرگ و میر درختان مانگرو (حرا)..... ۱۹
- ۲-۴-۴- عوامل کنترل‌کننده رویش مانگروها..... ۲۰
- ۲-۵-۵- هیدروکربن‌های نفتی کل ۲۰
- ۲-۵-۱- منابع ورود هیدروکربن‌های نفتی به محیط‌زیست..... ۲۳
- ۲-۵-۲- سرنوشت هیدروکربن‌های نفتی کل در محیط زیست..... ۲۳
- ۲-۵-۳- اثرات زیست‌محیطی هیدروکربن‌های نفتی..... ۲۴
- ۲-۵-۳-۱- اثرات بر سلامتی انسان..... ۲۵
- ۲-۵-۳-۲- اثر آلودگی نفتی بر روی جوامع جانوری..... ۲۶
- ۲-۵-۳-۳- اثرات آلودگی نفتی بر اکوسیستم‌های مانگرو..... ۲۷
- ۲-۵-۴- مهم‌ترین عوامل مؤثر در تمرکز هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات ۲۸
- ۲-۵-۴-۱- ویژگی‌های رسوب‌شناسی ۲۸
- ۲-۵-۴-۲- تغییرات فصلی..... ۲۹
- ۲-۵-۴-۳- عمق رسوب ۲۹
- ۲-۵-۴-۴- عمق آب ۳۰
- ۲-۵-۵- غلظت هیدروکربن‌ها در آب..... ۳۱
- ۲-۶-۶- فلزات سنگین..... ۳۱
- ۲-۶-۱- منابع واردکننده فلزات سنگین به محیط‌های دریایی..... ۳۲
- ۲-۶-۱-۱- منابع انسان‌زاد..... ۳۲
- ۲-۶-۱-۲- منابع طبیعی..... ۳۲
- ۲-۶-۲- عوامل مؤثر بر تجمع فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی..... ۳۳
- ۲-۶-۳- اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین..... ۳۴
- ۲-۷-۷- مروری بر مطالعات انجام شده در جهان..... ۳۵

فصل سوم: روش انجام تحقیق

- ۳-۱- مقدمه..... ۴۰
- ۳-۲- انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری..... ۴۰
- ۳-۲-۱- نمونه‌برداری از رسوبات ساحلی..... ۴۲
- ۳-۳- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی، غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در نمونه‌های رسوب..... ۴۳
- ۳-۳-۱- آزمایش دانه‌سنجی..... ۴۳
- ۳-۳-۲- اندازه‌گیری pH نمونه‌های رسوب..... ۴۵
- ۳-۳-۳- اندازه‌گیری ماده آلی کل به روش احتراق خشک..... ۴۶

۴۷	۴-۳-۳- اندازه‌گیری درصد کربن آلی به روش اکسایش شیمیایی
۴۸	۵-۳-۳- هیدروکربن‌های نفتی کل
۴۹	۱-۵-۳-۳- مرحله استخراج
۵۲	۲-۵-۳-۳- مرحله اندازه‌گیری
۵۳	۶-۳-۳- تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب
۵۴	۴-۳- ارزیابی شدت آلودگی در رسوبات
۵۴	۱-۴-۳- ارزیابی شدت و خطر زیست‌محیطی آلودگی‌های نفتی در رسوبات
۵۴	۱-۱-۴-۳- دستورالعمل‌های کیفیت رسوب
۵۵	۲-۱-۴-۳- ضریب آلودگی
۵۵	۲-۴-۳- ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات
۵۶	۱-۲-۴-۳- ضریب غنی‌شدگی
۵۶	۲-۲-۴-۳- ضریب زمین‌انباشت
۵۷	۵-۳- تحلیل‌ها و روش‌های آماری به کار رفته
۵۷	۱-۵-۳- ضریب همبستگی
۵۸	۲-۵-۳- روش تحلیل خوشه‌ای
۵۸	۳-۵-۳- روش تحلیل مؤلفه اصلی

فصل چهارم: ارزیابی کیفیت و آلودگی رسوبات بنادر و رویشگاه‌های حرا

۶۰	۱-۴- مقدمه
۶۰	۲-۴- پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب
۶۱	۱-۲-۴- بافت نمونه‌های رسوب
۶۲	۲-۲-۴- pH نمونه‌های رسوب
۶۳	۳-۲-۴- میزان ماده آلی کل نمونه‌های رسوب
۶۴	۴-۲-۴- میزان کربن آلی در نمونه‌های رسوب
۶۵	۳-۴- میزان هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های رسوب
۶۸	۴-۴- غلظت فلزات سنگین و تغییرات آنها در نمونه‌های رسوب
۷۰	۱-۴-۴- نیکل (Ni)
۷۱	۲-۴-۴- وانادیوم (V)
۷۳	۳-۴-۴- سرب (Pb)
۷۵	۴-۴-۴- روی (Zn)

۷۶.....	۴-۵-۴- کروم (Cr).....
۷۸.....	۴-۵- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص های ژئوشیمیایی.....
۷۸.....	۴-۵-۱- ارزیابی آلودگی های نفتی رسوبات.....
۷۸.....	۴-۵-۱-۱- دستورالعمل های کیفیت رسوب.....
۷۸.....	۴-۵-۱-۲- ضریب آلودگی.....
۸۰.....	۴-۵-۲- ارزیابی شدت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین.....
۸۰.....	۴-۵-۲-۱- ضریب غنی شدگی.....
۸۱.....	۴-۵-۲-۲- ضریب زمین انباشت.....
۸۳.....	۴-۶- تحلیل های آماری داده ها.....
۸۳.....	۴-۶-۱- تحلیل همبستگی داده ها.....
۸۶.....	۴-۶-۲- تحلیل خوشه ای داده ها.....
۸۷.....	۴-۶-۳- تحلیل مؤلفه اصلی.....

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۹۲.....	۵-۱- مقدمه.....
۹۳.....	۵-۲- ارزیابی کیفیت و آلودگی رسوبات سواحل و رویشگاه های حرای تیاب.....
۹۳.....	۵-۲-۱- پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات.....
۹۳.....	۵-۲-۲- هیدروکربن های نفتی کل.....
۹۵.....	۵-۲-۳- فلزات سنگین.....
۹۷.....	۵-۲-۴- تحلیل های آماری داده ها.....
۹۹.....	۵-۲-۵- پیشنهادها.....
۱۰۰.....	منابع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه..... ۱۴
- شکل (۱-۳): موقعیت نقاط نمونه‌برداری از رسوبات در منطقه مورد مطالعه..... ۴۱
- شکل (۲-۳): نمایی از نحوه نمونه‌برداری از رسوب..... ۴۲
- شکل (۳-۳): ظروف مورد استفاده برای نگهداری نمونه‌های رسوب..... ۴۳
- شکل (۴-۳): نمایی از روش هیدرومتری انجام شده بر روی نمونه‌های رسوب در آزمایشگاه..... ۴۴
- شکل (۵-۳): (الف): قرار دادن بوته‌های چینی درون کوره ب): قرار دادن نمونه‌ها در دسیکاتور..... ۴۶
- شکل (۶-۳): (الف و ب): اندازه‌گیری کربن آلی به روش اکسایش شیمیایی..... ۴۸
- شکل (۷-۳): (الف، ب و ج): مراحل آماده‌سازی نمونه برای استخراج هیدروکربن‌های نفتی..... ۵۰
- شکل (۸-۳): آماده‌سازی دستگاه برای شروع مرحله استخراج..... ۵۰
- شکل (۹-۳): فیلتر کردن نمونه‌های استخراج شده..... ۵۱
- شکل (۱۰-۳): نمایی از دستگاه تبخیرکننده چرخشی..... ۵۱
- شکل (۱۱-۳): نمایی از مرحله اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های نفتی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر..... ۵۲
- شکل (۱-۴): توزیع اندازه ذرات رسوبی در طول ایستگاه‌های نمونه‌برداری..... ۶۳
- شکل (۲-۴): روند تغییرات pH رسوبات در طول نوار ساحلی..... ۶۳
- شکل (۳-۴): تغییرات درصد ماده آلی کل در رسوبات..... ۶۴
- شکل (۴-۴): تغییرات درصد کربن آلی کل در نمونه‌های رسوبی..... ۶۵
- شکل (۵-۴): نقشه هم‌غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۶۷
- شکل (۶-۴): تغییرات غلظت TPH در رسوبات محدوده مورد مطالعه..... ۶۷
- شکل (۷-۴): نقشه هم‌غلظت فلز نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۱
- شکل (۸-۴): تغییرات غلظت نیکل در رسوبات محدوده مورد مطالعه..... ۷۱
- شکل (۹-۴): نقشه هم‌غلظت فلز وانادیوم در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۲
- شکل (۱۰-۴): تغییرات غلظت نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۲
- شکل (۱۱-۴): نقشه هم‌غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۴
- شکل (۱۲-۴): تغییرات غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۴
- شکل (۱۳-۴): نقشه هم‌غلظت فلز روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۶
- شکل (۱۴-۴): تغییرات غلظت فلز روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۶
- شکل (۱۵-۴): نقشه هم‌غلظت فلز کروم در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۷
- شکل (۱۶-۴): تغییرات فلز کروم در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۷۷
- شکل (۱۷-۴): نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت رسوبات به آلاینده‌های نفتی در منطقه مورد مطالعه..... ۷۸
- شکل (۱۸-۴): نتایج حاصل از فاکتور آلودگی رسوبات به هیدروکربن‌های نفتی در منطقه مورد مطالعه..... ۷۹

- شکل (۴-۱۹): ضریب غنی‌شدگی فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۸۱
- شکل (۴-۲۰): میانگین ضریب غنی‌شدگی فلزات در رسوبات مورد مطالعه..... ۸۱
- شکل (۴-۲۱): ضریب زمین‌انباشت فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۸۲
- شکل (۴-۲۲): میانگین ضریب زمین‌انباشت فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۸۲
- شکل (۴-۲۳): نمودار شاخه درختی TPH، فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های رسوب..... ۸۷
- شکل (۴-۲۴): دو مؤلفه اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها با $Eignvalue > 1$ ۸۸
- شکل (۴-۲۵): نمودار سه‌بعدی بارگذاری متغیرهای مربوط به غلظت فلزات سنگین، TPH و پارامترهای فیزیکوشیمیایی
نمونه‌های رسوب..... ۹۰

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۲): تقسیم‌بندی TPH بر اساس تعداد اتم‌های کربن و برخی از خواص فیزیکی آنها.....	۲۲
جدول (۲-۲): تقسیم‌بندی بخش‌های TPH بر اساس اثرات زیست‌محیطی بالقوه آنها.....	۲۳
جدول (۱-۳): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات در منطقه مورد مطالعه.....	۴۱
جدول (۲-۳): جدول تصحیح دما در اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری.....	۴۵
جدول (۳-۳): رده‌بندی اثر سمیت هیدروکربن‌های نفتی بر موجودات	۵۵
جدول (۴-۳): رده‌بندی درجه آلودگی TPH بر اساس فاکتور آلودگی	۵۵
جدول (۵-۳): رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی	۵۶
جدول (۶-۳): رده‌بندی مولر بر مبنای ضریب زمین‌انباشت در تعیین آلودگی رسوبات.....	۵۷
جدول (۱-۴): مقادیر میانگین $\pm$ درصد خطا پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب.....	۶۴
جدول (۲-۴): مقادیر میانگین و درصد خطای ($\pm$) آلودگی‌های نفتی کل (TPH) در نمونه‌های رسوب.....	۶۶
جدول (۳-۴): طبقه‌بندی مناطق بر اساس غلظت TPH	۶۸
جدول (۴-۴): طبقه‌بندی رسوبات دریایی بر اساس غلظت TPHs	۶۸
جدول (۵-۴): غلظت فلزات سنگین $\pm$ انحراف معیار در رسوبات منطقه مورد مطالعه (برحسب mg/kg) و مقایسه آنها با غلظت فلزات سنگین در رسوبات جهانی، پوسته زمین، رسوبات خلیج فارس و شیل	۶۹
جدول (۶-۴): همبستگی هیدروکربن‌های نفتی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه	۸۵
جدول (۷-۴): نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه اصلی بر روی غلظت فلزات سنگین، TPH و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های رسوب.....	۸۸
جدول (۸-۴): دو مؤلفه اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها پس از چرخش به روش Varimax	۸۹
جدول (۱-۵): غلظت TPH (بر حسب $\mu\text{g/g}$) در رسوبات نواحی مختلف و رسوبات مورد مطالعه	۹۵
جدول (۲-۵): غلظت فلزات سنگین در رسوبات دریایی نواحی مختلف و رسوبات مورد مطالعه.....	۹۸

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

جنگل‌های حرا یا مانگروها اکوسیستم‌های جزر و مدی هستند که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری در طول خط ساحلی رشد کرده و با خشکی و دریا مرتبط هستند (Vane *et al.*, 2009). این اکوسیستم‌ها زیستگاه‌های مناسبی را برای خرچنگ‌ها، پرندگان و پستانداران کوچک فراهم می‌سازند و نوزادگاه تخصصی بسیاری از گونه‌های مهم ماهی، میگو و دوکفه‌ای‌ها محسوب می‌شوند و همچنین نقش مهمی در شیلات منطقه ایفا می‌کنند (Walters *et al.*, 2008). این اکوسیستم‌های غنی، در معرض خطر بالایی از آلودگی‌های نفتی قرار دارند و انتظار می‌رود مقدار زیادی از آلاینده‌ها در مدت زمان طولانی در رسوبات آنها باقی بماند (Mohebbi *et al.*, 2015). رسوبات نهشته شده در مانگروها به دلیل دارا بودن ذرات دانه‌ریز و خواص جذبی بالا و همچنین دور بودن از جریان‌ات ساحلی، قادر به تمرکز آلاینده‌های نفتی (و دیگر آلاینده‌های انسان‌زاد) تا مقادیر خیلی زیاد هستند که این آلاینده‌ها می‌توانند برای موجودات زنده ساکن در این اکوسیستم‌ها خطرآفرین باشد (Tam *et al.*, 2005). تخلیه و خروج مواد نفتی به عنوان یکی از عوامل شناخته‌شده و شدیداً مخرب اکوسیستم‌های مانگرویی و باتلاق‌های آب شور شناخته شده است. مانگروها عموماً در خلیج‌های شور و مصب‌های ساحلی قرار دارند و پایانه‌های کشتیرانی، مناطق شهری و صنعتی نیز عموماً در همین مناطق متمرکز شده‌اند. مطالعات انجام شده بر روی آلودگی‌های نفتی در این اکوسیستم ویژه، عموماً بر نشت‌های نفتی بزرگ‌مقیاس متمرکز شده‌اند و به منابع آلوده‌کننده حاصل از تراوش‌های تدریجی نفت، دفع نامناسب و تخلیه غیر قانونی روغن موتور و آلودگی حاصل از حمل و نقل آبی توجه کمتری شده است؛ در حالی که این موارد درصد قابل ملاحظه‌ای از کل ورودی‌های نفت به بندرگاه‌ها و سایر مسیرهای آبی ساحلی را تشکیل می‌دهند. فاضلاب‌های تصفیه نشده حاوی انواع مختلفی از مواد شیمیایی نفتی مضر مانند هیدروکربن‌های نفتی کل^۱ (TPH) هستند که از منابع نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای مانند نواحی شهری، نشت نفت، تردد شناورهای

¹ Total Petroleum Hydrocarbon

دریایی و فعالیت‌های دریایی و صنعتی منشاء گرفته و به صورت مستقیم یا غیر مستقیم و در حجم‌های کوچک و بزرگ وارد مناطق جزر و مدی می‌شوند (Ebrahimi and Riyahi, 2013). یکی دیگر از انواع مهم آلاینده‌های زیست‌محیطی فلزات سنگین^۱ هستند. فلزات سنگین به عنوان یکی از اجزای اصلی محیط‌های آبی شناخته شده‌اند. ۱۱ فلز به عنوان فلز ضروری برای حیات موجودات زنده دریایی شناخته شده‌اند که شامل: Fe، Cu، Zn، Co، Mn، Cr، Mo، Se و Ni هستند. این فلزات به صورت ترکیب با مولکول‌های آلی و پروتئین‌های معمولی قرار دارند (Kucuksezgin et al., 2006). عموماً آلودگی فلزات سنگین در جنگل‌های حرا ناشی از تخلیه پساب‌های صنعتی، پساب صنایع وابسته به کشاورزی، فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری، مواد شیمیایی و نشت نفت است (Usman et al., 2013). آلاینده‌های فلزی باعث ایجاد سمیت آبزیان دریایی مانند ماهی، میگو و حلزون صدفدار دوکفه‌ای می‌شوند و به عنوان یک آلاینده جدی برای محیط‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند؛ چرا که این آلاینده‌ها تمایل زیادی به تمرکز و تجمع در بدن این موجودات دارند (Kazemzadeh et al., 2013).

۱-۲- بیان مسأله

خلیج فارس دارای اکوسیستم‌های ارزشمند فراوانی است که یکی از این اکوسیستم‌های منحصر به فرد، جنگل‌های مانگرو یا حرا است. سطح این جنگل‌ها در سال‌های اخیر به شدت کاهش پیدا کرده است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که استفاده بی‌رویه از برگ درختان این جنگل‌ها برای استفاده دام و همچنین آلودگی نفتی مهم‌ترین تهدیدات بالقوه برای این جنگل‌ها محسوب می‌شوند. این جنگل‌ها از اکوسیستم‌های بسیار حساس به آلودگی نفتی هستند. شرایط بی‌هوازی بستر این جنگل‌ها باعث می‌شود که نفت وارد شده به آنها تا مدت طولانی بدون تغییر باقی بماند و این باعث به خطر افتادن حیات موجودات زنده ساکن در این اکوسیستم‌ها می‌شود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب به دلیل نزدیکی به مناطق مسکونی، اسکله‌های صیادی، مجتمع‌های

¹ Heavy metal

پرورش میگو، بارانداز برای تخلیه و بارگیری لنج‌ها و همچنین تردد زیاد قایق‌های صیادی و حمل سوخت در معرض آلودگی‌های مختلف، از جمله آلودگی‌های نفتی و فلزی قرار دارد. از آنجا که این جنگل‌ها نقش مهمی در تشکیل خاک، حفاظت و تثبیت نوار ساحلی، کاهش شدت جریان‌های دریایی، کاهش ریسک فرسایش (به‌ویژه در شرایط پرانرژی آب نظیر طوفان‌های استوایی)، افزایش کیفیت آب، ایجاد زمینه پرورشگاهی برای آبزیان مانند میگو و ماهی، مکان‌های امن برای پرندگان و همچنین اکوتوریسم ایفا می‌کنند، لذا ارزیابی آلودگی‌های نفتی و فلزی در رسوبات این مناطق از اهمیت خاصی برخوردار است.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف از این پژوهش بررسی میزان هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در رسوبات جنگل‌های حرای منطقه تیاب و تخمین خطر اکولوژیکی ناشی از آنها است.

برخی از پرسش‌هایی که این مطالعه سعی در پاسخگویی به آنها دارد عبارتند از:

۱- غلظت آلاینده‌های نفتی کل و فلزات سنگین در رسوبات جنگل‌های حرا (در منطقه تیاب) به چه میزان است و آیا غلظت‌ها به حد ایجاد آلودگی در رسوبات رسیده‌اند یا خیر؟ در صورت آلودگی، خطر اکولوژیکی ناشی از این آلودگی به چه میزان است؟

۲- تغییرات مکانی این آلاینده‌ها در رسوبات مورد مطالعه به چه صورت است؟

۳- چه ویژگی‌هایی از رسوب بر تمرکز و آلودگی احتمالی آلاینده‌های نفتی و فلزات سنگین تأثیر گذاشته است؟

۴- نقش عوامل انسان‌زاد در آلودگی رسوبات جنگل‌های حرا به هیدروکربن‌های نفتی چگونه است و کدام منبع بیشترین تأثیر را در این میان داشته است؟

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

یکی از باارزش‌ترین اکوسیستم‌های دریایی مانگروها یا جنگل‌های حرا هستند که بیشتر در نواحی

گرمسیری و نیمه گرمسیری و خلیج‌ها رشد می‌کنند و به‌ویژه در سالیان اخیر توسط آلودگی‌های نفتی مورد تهدید قرار گرفته‌اند (Ebrahimi and Riyahi, 2013). منشاء آلودگی‌ها می‌تواند نشت نفت، لایروبی سواحل به منظور توسعه آنها، تخلیه فاضلاب‌های کنترل نشده و فاضلاب‌های صنعتی باشد. به دلیل ریز بودن رسوبات ساحلی و همچنین بالا بودن میزان کربن آلی در محل رویش این درختان، آلاینده‌های وارد شده به این محیط به آسانی در رسوبات ته‌نشین شده و در اصطلاح باعث خفه شدن ریشه گیاه می‌شوند. نفت، روی ریشه‌ها پراکنده شده و نه‌تنها باعث مرگ بعضی از درختان می‌شود بلکه باعث کاهش رشد آنها، از بین رفتن برگ و تاج پوششی درختان، ناهنجاری در میوه‌ها و خسارات بیولوژیکی می‌شود (Tam et al., 2005). بخشی از منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب و میناب در مجاورت بنادر صیادی و تجاری کلاهی و تیاب قرار دارد و این بنادر، روزانه باعث ورود حجم زیادی از آلاینده‌ها به سواحل می‌شوند. با توجه به نقش مهم جنگل‌های مانگرو در مناطق ساحلی، به‌ویژه نقش آنها در چرخه بیولوژیکی، فعالیت‌های اقتصادی مانند ماهی‌گیری و آبی‌پروری، ارزیابی میزان آلودگی‌ها در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی بسیاری از ساکنین محلی، در این سواحل به امر صیادی می‌پردازند که افزایش بار آلودگی نفتی و فلزی در منطقه می‌تواند باعث آلوده شدن آبزیان و در نتیجه به خطر افتادن سلامتی افراد از طریق تغذیه آبزیان آلوده شود.

۱-۵- روش انجام تحقیق

به منظور دستیابی به اهداف این پژوهش، در ابتدا مطالعات نسبتاً جامعی در زمینه آلودگی آب و رسوبات ساحلی به هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین و همچنین مهم‌ترین منابع دخیل در ورود این آلاینده‌ها، چگونگی حرکت و توزیع آنها در محیط و عوامل مؤثر بر آنها (با استناد به منابع داخلی و خارجی مختلف) صورت گرفت. اطلاعات مربوط به منطقه با استفاده از تصاویر مختلف Google Earth و مطالعات میدانی از منطقه تهیه شد. در مرحله بعد با توجه به منابع آلاینده و تراکم جنگل‌های حرا، ۱۶ ایستگاه مختلف نمونه‌برداری در طول سواحل بنادر تیاب و کلاهی و همچنین در محل رویشگاه‌های حرا تعیین

شد و سپس نمونه‌برداری در طی یک مرحله و از هر ایستگاه به صورت سه بار تکرار انجام گردید. آنالیزهای مختلف جهت اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین و سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی بر روی نمونه‌های رسوبی صورت گرفت. نتایج حاصل از آنالیزها با استفاده از نرم‌افزارها، رسم نمودارها و اشکال مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۱-۶- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

۱-۶-۱- ویژگی‌های عمومی استان هرمزگان

از آنجا که منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب شرقی استان هرمزگان قرار دارد، لذا ابتدا به برخی از ویژگی‌های عمومی این استان اشاره می‌شود.

۱-۶-۱-۱- وضعیت جغرافیایی استان هرمزگان

استان هرمزگان در جنوب ایران و بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این استان ۷۱ کیلومتر مربع مساحت دارد. استان هرمزگان از شمال و شمال شرقی با استان کرمان، از غرب و شمال غرب با استان‌های فارس و بوشهر و از شرق با سیستان و بلوچستان همسایه است و جنوب آن را آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر در بر گرفته است (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۱-۲- وضعیت اقلیمی استان هرمزگان

استان هرمزگان به طور کلی دارای آب و هوای نیمه‌استوایی بوده و به جز نوار باریک ساحلی، اقلیم آن گرم و مرطوب است. ضمناً مناطق کوهستانی و جلگه‌های نسبتاً مرتفع نواحی شمالی که همجوار با استان‌های کرمان و فارس است از آب و هوای نیمه‌معتدل برخوردار هستند. سایر نواحی استان هرمزگان در محدوده مناطق گرم و خشک قرار دارند. در این استان بارش‌های سالیانه عمدتاً به صورت رگبار و

سیلابی بوده و بیشتر در فصل زمستان روی می‌دهد. متوسط میزان بارندگی سالیانه معمولاً کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و کل ریزش سالیانه در حوزه آبریز آن حدود ۲۰ میلیارد متر مکعب است که بخش اعظم آن (حدود ۱۳ میلیارد متر مکعب) تبخیر یا به دریا تخلیه می‌شود. میزان درجه حرارت تحت تأثیر رطوبت، متعادل بوده و به‌ندرت در تابستان از ۴۳/۱ درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌نماید، با این حال میزان رطوبت در نوار ساحلی در فصل تابستان حتی به ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد. در مناطق صحرایی و خشک، درجه حرارت در زمستان به سمت یک رقمی شدن میل می‌کند به نحوی که هرمزگان را باید استانی فاقد روزهای یخبندان تلقی کرد. در ارتفاعات آب و هوای معتدل تا نیمه‌معتدل حاکم است (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۱-۳- وضعیت توپوگرافی استان هرمزگان

به جز حاشیه باریک ساحلی که جلگه‌ای پست و کم‌ارتفاع است، بخش اعظم استان را کوه‌ها و ارتفاعات کوتاه و بلند، دشت‌ها و دره‌های نسبتاً عمیق بین آنها تشکیل می‌دهد. از این رو استان هرمزگان را باید استانی کوهستانی به حساب آورد؛ زیرا بیش از ۷۰ درصد گستره آن را کوه‌ها و ارتفاعات در بر گرفته است. کوه‌های استان عمدتاً دنباله سلسله کوه‌های بزرگ زاگرس هستند که از شمال غرب و غرب کشور به سوی جنوب شرقی تا به داخل آب‌های خلیج فارس امتداد یافته و به تدریج از ارتفاع آنها کاسته می‌شود (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۱-۴- پوشش گیاهی استان هرمزگان

استان هرمزگان از نظر پوشش گیاهی فقیر می‌باشد و گیاهان این منطقه منحصر به گیاهانی است که معمولاً در نقاط کم‌آب و خشک می‌رویند. پوشش گیاهی این استان در رابطه با تغییرات حاصله از آب و هوا و جنس خاک چهره متفاوتی به خود می‌گیرد. از درختان و درختچه‌ها و گیاهانی که در این مناطق رشد می‌کنند می‌توان به کهور، کنار، خرزهره درختی، کلپوره، بومادران، بابویه، خاکشیر و گیاهان شورپسند (که در مناطق شورزارها یافت می‌شوند) اشاره کرد. گونه جنگلی حرا از ویژگی‌های اکوسیستم

سواحل جنوبی ایران است که به طور پراکنده از تنگه هرمز به سمت شرق و اقیانوس هند در سواحل عمان پدید آمده‌اند. این جنگل‌ها در سواحل خلیج فارس، در اطراف بندر لافت، شمال جزیره قشم و بندر خمیر در کانون‌های متراکم دیده می‌شوند. وسیع‌ترین قسمت جنگل‌های حرا در آب‌های بندر لافت و بندر پل در شمال غربی جزیره قشم و در فاصله ۱۴۰ کیلومتری غرب بندرعباس قرار دارد. این جنگل‌های ماندابی بر روی خاک‌های لجنی ناشی از رسوب خاک‌های حاصل از فرسایش سواحل رشد یافته‌اند و دائماً در معرض جزر و مد آب قرار دارند؛ به طوری که در زمان جزر، درختان و بستر لجنی آنها از آب بیرون آمده و به صورت جزایری پراکنده نمایان می‌شوند و در زمان مد نیز تمامی جنگل حرا به زیر آب رفته و ناپدید می‌شود (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۱-۵- رودخانه‌های استان هرمزگان

با توجه به اینکه رودخانه‌های استان هرمزگان از رشته کوه‌های جنوب شرقی زاگرس سرچشمه می‌گیرند و این کوه‌ها فاقد یخچال‌ها و برف‌های دائمی هستند، لذا این استان فاقد رودخانه‌های دائمی قابل ملاحظه است. از طرفی رودخانه‌های استان هر چند از نظر کمیت، دبی آب قابل توجهی را نشان می‌دهند؛ ولی بیشتر آنها یا فصلی هستند که در هنگام بارندگی دارای آب می‌باشند و یا آب آنها شور است که در نتیجه فاقد ارزش کاربردی در کشاورزی، شرب و حتی صنعت هستند. عامل اصلی شوری آب و خاک در هرمزگان وجود بیش از ۷۰ گنبد نمکی بزرگ و کوچک است که در سرتاسر استان و با تراکم بیشتر در غرب استان پراکنده شده‌اند (معظمی، ۱۳۸۹).

مهم‌ترین رودخانه دائمی با آب شیرین که در شمال شرقی استان گسترش یافته، رودخانه میناب است که از به هم پیوستن رودخانه‌های جغین و رودان به وجود آمده است. از دیگر رودخانه‌های استان می‌توان به رودخانه‌های گنج در حاجی‌آباد، جگین و گابریک در جاسک و جلابی، حسن لنگی و ماشاری در بندرعباس اشاره کرد. رودخانه کل دارای وسیع‌ترین حوزه آبریز است که جمع‌کننده آب رودخانه‌های متعددی مانند شور و گنج بوده و هر چند در سرچشمه‌های خود شیرین است؛ اما در نهایت شور و غیر

قابل استفاده می‌گردد (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۲- ویژگی‌های شهرستان میناب

شهر میناب به عنوان مرکز شهرستان میناب در مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. این شهر در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی بندرعباس و در مسیر جاده اصلی بندرجاسک-بندرعباس و در ارتفاع ۱۶ متری از سطح دریا قرار دارد (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۲-۱- آب و هوا و اقلیم

شهرستان میناب به دلیل قرار گرفتن در عرض جغرافیایی کم و نزدیکی به آب و هوای گرم استوایی، از جمله مناطق گرم به حساب می‌آید و نوسان درجه حرارت در شبانه روز و حتی بین ماه‌های سال به علت رطوبت، محسوس نیست. با این حال به دلیل مجاورت با دریا تحت تأثیر تغییرات حرارتی قرار دارد. میناب جزء مناطق کم‌باران محسوب می‌شود و بارندگی‌های این منطقه اغلب کم‌دوام و کوتاه‌مدت هستند. بارندگی‌های تابستانی که به ندرت در این منطقه مشاهده می‌شود، نتیجه تأثیر بادهای موسمی اقیانوس هند است که همراه با طوفان و رعد و برق بوده و بیشتر در تیر و مرداد اتفاق می‌افتد. بارندگی‌های اصلی این منطقه بین آذرماه و اسفندماه صورت می‌گیرد (صفایسینی، ۱۳۸۵).

۱-۶-۲-۲- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

الف) وضعیت کلی زمین‌شناسی شهرستان میناب

شهرستان میناب از دیدگاه زمین‌شناختی بین زون‌های ساختاری زاگرس، مکران و سهندج-سیرجان قرار گرفته است و محدوده آن به وسیله گسل‌های مهم و شناخته‌شده کنترل می‌شود. گسل‌های موجود در محدوده عبارتند از: گسل‌های میناب و زندان در شرق و مرز حوزه با زاگرس، سیستم گسلی جیرفت و سبزواران در غرب و مرز حوزه با مکران و سیستم گسلی بین گسل سبزواران و گسل زندان که در

ارتباط با این دو گسل، با روند شمال غربی-جنوب شرقی قرار دارد. ویژگی‌های زمین‌شناسی این حوضه با توجه به پیچیدگی‌های زیاد ساختاری و در نتیجه چینه‌شناسی با هر سه زون اصلی مذکور تفاوت‌هایی دارد؛ ولی بیش از همه مشابه به زون سنندج-سیرجان است و شاید بتوان حوزه میناب را زیرمجموعه زون سنندج-سیرجان به حساب آورد (حسینی، ۱۳۸۹).

ب) چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای از ایران قرار گرفته که از دیدگاه زمین‌شناسی از ساختار پیچیده‌ای برخوردار است؛ زیرا عوامل مختلفی در تکوین و تکامل و در نهایت شکل‌گیری این منطقه مؤثر بوده‌اند. آمار زمین لرزه‌های گذشته و نیز چهره کنونی زمین، از پرتکاپو بودن منطقه و فعال بودن عوامل زمین-ساختی منطقه حکایت دارد. در این منطقه سنگ‌هایی از زمان پالئوزوئیک به صورت مجموعه دگرگونه^۱ نمایان هستند و قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. از دوره تریاس در این منطقه آثاری شناخته نشده است. سنگ‌های ژوراسیک-کرتاسه به صورت سه گروه متمایز بیرون‌زدگی دارند. گروه نخست مجموعه آمیزه رنگی^۲ است که این مجموعه مخلوطی از سنگ‌های افیولیتی و رسوبات ژرف اقیانوسی است که با گدازه‌های آذرین نیز همراه است. گروه دوم مجموعه آذرین-رسوبی^۳ است که از رسوبات کربناته و سیلیسی عمیق اقیانوسی و گدازه‌های آذرین تشکیل شده و در مراحل مختلف تکوین خود بر اثر حرکت‌های زمین‌ساختی در هم آمیخته است. گروه سوم که جوان‌تر از دو گروه گفته شده است، مخلوطی از سنگ‌های دگرگونی و رسوبی است. سنگ‌های رسوبی این مخلوط نشان دهنده کم‌ژرفا شدن و پسروری دریای کرتاسه پایانی^۴ است.

در زمان ائوسن، دریا با برجاگذاری رسوبات کم‌عمق بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر پیشروی می‌کند. به طور کلی در این زمان حوزه رسوبی دارای عمق زیادی نبوده و نهشته‌های برجا مانده شامل کنگلومرا،

¹ Metamorphic Complex

² Coloured Melange Complex

³ Volcano- sedimentary Complex

⁴ Late Cretaceous

ماسه سنگ، سنگ آهک، شیل و سیلتستون است. همزمان با رسوب گذاری در دریای ائوسن، فعالیت های آتشفشانی نیز وجود داشته است که حاصل آن امروزه به صورت گدازه و توف با ترکیب شیمیایی متوسط تا اسیدی دیده می شود. بر روی سنگ های دوره ائوسن، رسوبات دریایی کم عمق الیگوسن تا میوسن دیده می شود که به طور کلی شامل سنگ های تبخیری مانند گچ و نمک (به میزان کمتر) است. دریای کم عمق میوسن با فرونشینی کف آن تا اواخر پلیوسن و آغاز کواترنر همچنان رسوباتی مانند مارن، شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا، سیلتستون و رس سنگ را در خود انباشته نموده است. در پلیوسن پایانی این حوزه رسوبی با حرکت کوهزایی کاملاً بسته شده و رسوبات چین خورده اند. در زمان کواترنر ارتفاعات تازه شکل گرفته بر اثر فعالیت آب های سطحی و دیگر عوامل فرسایش، تخریب یافته و مواد حاصل از فرسایش در فرورفتگی های ایجاد شده بر اثر چین خوردگی انباشته شده و پادگانه های آبرفتی مختلف را که دانه بندی آنها از گراول تا رس و نمک متغیر است، تشکیل داده اند (حسینی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۳- ویژگی های دهستان تیاب

۱-۶-۳-۱- وضعیت جغرافیایی

دهستان تیاب به مرکزیت روستای بندر تیاب از بخش مرکزی شهرستان میناب در ۲۱ کیلومتری غرب این شهر و بین ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۹ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. این دهستان از شمال و شرق به دهستان حومه، از جنوب شرق به دهستان بندزرک، از جنوب و جنوب غرب به دریای عمان و از غرب و شمال غرب به دهستان شمیل محدود می گردد. دهستان مذکور با جمعیتی بالغ بر ۲۰۲۵۴ نفر از جمله دهستان های پرجمعیت استان هرمزگان است و همچنین یکی از بنادر کوچک؛ اما مهم استان از لحاظ فعالیت های تجاری، توریستی، ماهی گیری و فعالیت های وابسته به دریا به حساب می آید. در محدوده این دهستان تعداد ۱۹ روستا وجود دارد. (معظمی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۳-۲- امکانات زیربنایی و فعالیت‌های تولیدی

از جمله امکانات زیربنایی موجود در دهستان تیاب که می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر آلودگی سواحل و همچنین آبریان و جنگل‌های حرا داشته باشد می‌توان به سردخانه ۵۰۰ تنی، حوضچه‌های تکثیر و پرورش میگو، پمپ بنزین و اسکله‌های صیادی اشاره کرد. فعالیت‌های تولیدی مهم در این منطقه شامل ۲ واحد لنج‌سازی و ۷ واحد قایق‌سازی است.

۱-۶-۳-۳- ویژگی‌های خور تیاب

یکی از عوارض طبیعی در سواحل، خورها می‌باشند. بنا به تعریف، خور به پیشروی آب دریا به درون خشکی تحت تأثیر جزر و مد گفته می‌شود. خورها که نوعی شاخه محسوب می‌گردند، بر اساس شیب ساحل و جنس آن به شکل‌های مختلف دیده می‌شوند. گاهی پس از ورود به خشکی منشعب می‌گردند، گاه از وضعیتی کمانی، مارپیچی و غیر مستقیم برخوردارند و گاه مستقیم و تک شاخه‌اند؛ اما در تمام حالات فوق، با دور شدن از دریا کم‌عرض و کم‌عمق شده و در انتها باریک و با اراضی پست اطراف هم‌سطح می‌شوند (معظمی، ۱۳۸۹).

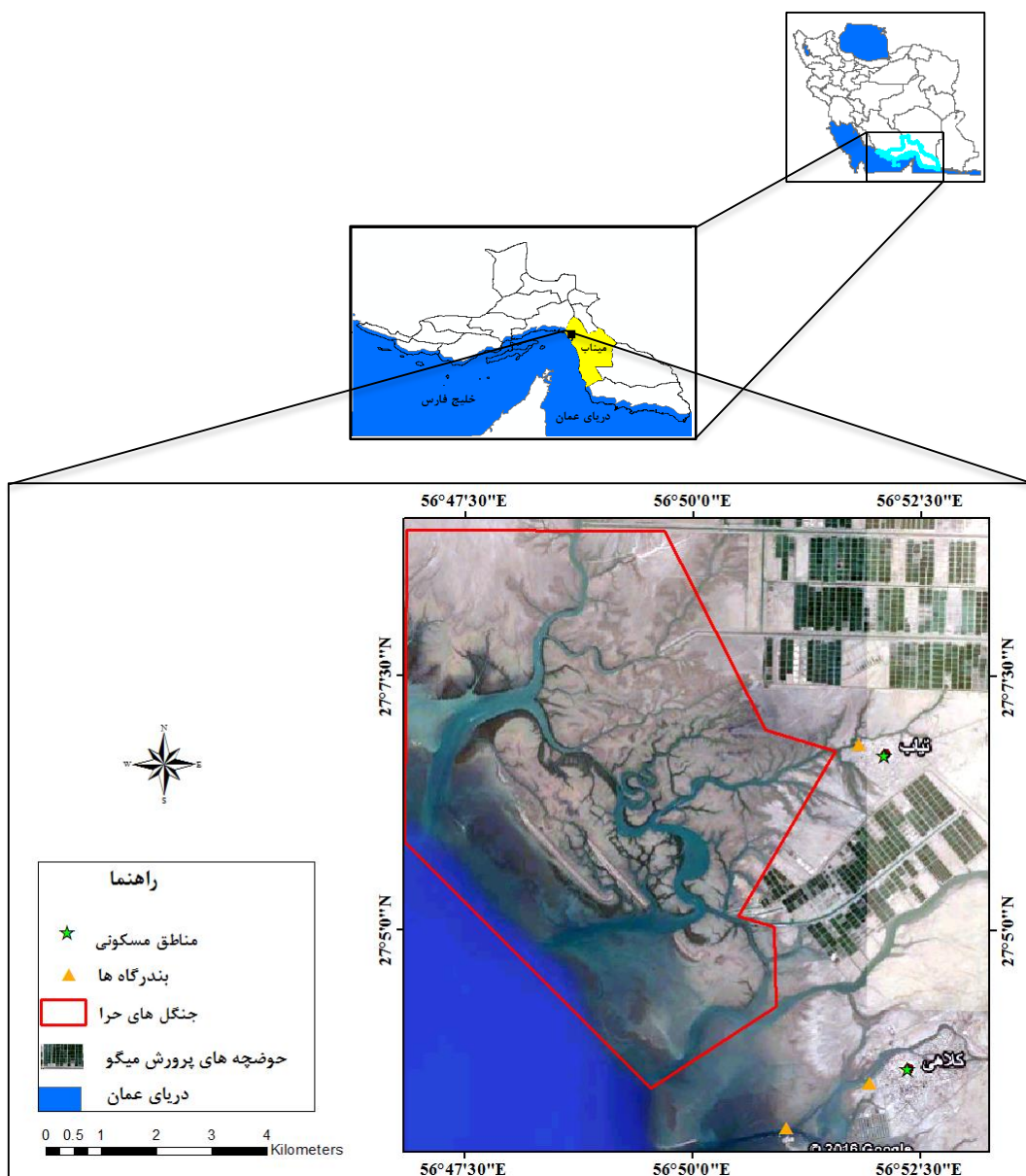
خور تیاب در شرق استان هرمزگان و در محدوده شهرستان میناب قرار گرفته است. انتهای خور مشرف به روستا و بندر تیاب بوده که در ضلع شرقی خور قرار دارد. به دلیل عمق مناسب خور، تردد شناورهای نیمه‌سنگین (لنج‌های صیادی و باری) و قایق‌های موتوری در این منطقه زیاد است. همچنین به دلیل رونق صید و صیادی، این بندر از جمله بنادر پر رفت و آمد محسوب می‌شود. در زمین‌های اطراف خور تیاب، از حدود ۳ کیلومتری بندر تیاب، بوته‌های حرا به چشم می‌خورد. طول خور تیاب ۷ مایل دریایی است (حمیدی، ۱۳۸۲). شرایطی مانند شور بودن و ماندابی بودن خاک‌های اطراف خور، محیط رشد مناسبی را برای گیاه حرا و گونه‌های هالوفیت مقاوم به شوری فراهم آورده است. پوشش جنگلی ماندابی تالاب تیاب از تراکم بالا و تنوع کم برخوردار است؛ به طوری که پوشش جنگلی را تنها یک گونه درخت حرا به نام *Avicennia marina* تشکیل می‌دهد. این تالاب همچنین از تنوع بالای پرندگان آبی و

کنارآبزی (۶۲ گونه پرنده از ۷ خانواده) برخوردار است. فراهم بودن منابع غذایی، بسترهای بین جزر و مدی، پوشش نیمه جنگلی حرا و وجود محیط امن از دلایل عمده تنوع گونه‌های پرندگان است. علاوه بر این انواعی از موجودات آبی دیگر از جمله بی‌مهرگان و دوکفه‌ای‌ها نیز در این تالاب زندگی می‌کنند (حمیدی، ۱۳۸۲). خور تیاب بر اساس کنواسیون رامسر، دائمی و مصبی است.

۷-۱- ویژگی‌های منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب و میناب

منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب و میناب در سال ۱۳۸۰ به عنوان منطقه حفاظت‌شده تصویب گردید و طی مصوبه شماره ۳۰۲ در سال ۱۳۹۰ آگهی رسمی شد. ۴۵۰۰۰ هکتار از این منطقه در سال ۱۳۵۴ (برابر با ۱۹۷۵ میلادی) به عنوان تالاب بین‌المللی در کنوانسیون رامسر به ثبت رسید. این منطقه در قسمت غربی مرکز دهستان تیاب و در موقعیت جغرافیایی ۲۷ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی در ۷۰ کیلومتری شرق بندرعباس و در ساحل شمالی خورهای هرمز قرار دارد (شکل ۱-۱). مساحت آن ۴۵۰۰۰ هکتار و هم‌تراز با سطح آب است. این منطقه از جمله تالاب‌های ساحلی-دریایی است که شامل پهنه وسیعی از کفه‌های گلی جزر و مدی، جنگل‌های حرا و سواحل شنی است و در میان شش رودخانه شور، جلابی، حسن لنگی، تیاب، میناب و زرانی قرار دارد. این منطقه از مهم‌ترین مکان‌های زمستان‌گذرانی پرندگان در استان و همچنین از زیستگاه‌های جوجه‌آوری گونه‌هایی از تیره حواصیل‌ها نظیر حواصیل بزرگ و حواصیل هندی نیز است. وجود درختان حرا و سواحل کم‌عمق در منطقه، زیستگاه مناسبی را جهت تخم‌ریزی و پرورش مراحل نوزادی آبزیانی از گونه‌های سخت‌پوستان و ماهیان فراهم آورده است (معظمی، ۱۳۸۹). تاکنون ۱۴ گونه از پرندگان در این تالاب شناسایی شده‌اند که در این میان تنها یک گونه با نام ماهی خورک سینه‌سفید، بومی منطقه و بقیه پرندگان مهاجر و عموماً زمستان‌گذران هستند. در این منطقه به دلیل جزر و مد کامل و طولانی، غرقاب کامل رخ می‌دهد. درختان در هنگام مد به صورت شناور در می‌آیند؛ ولی آب تاج درختان را نمی‌پوشاند و از طرف دیگر تا آخرین حد جزر و مد نیز در ساحل قرار می‌گیرند. شوری مناسب یکی از عوامل مهم

و تأثیرگذار در استقرار مانگروها (درختان حرا) در همه مناطق به شمار می‌رود. نمک بهینه و مناسب برای گونه حرا در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۸ ppt محاسبه شده است (Zahed et al., 2010).



شکل (۱-۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

فصل دوم:

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

آلودگی محیط‌های آبی مانند رودخانه‌ها و خلیج‌ها به یکی از مشکلات جدی در بسیاری از نقاط جهان تبدیل شده است. تقریباً تمام اکوسیستم‌های ساحلی دریایی ساختار پیچیده و ویژگی‌های دینامیک دارند و به راحتی نیز تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرند (Celino *et al.*, 2008). نواحی ساحلی به عنوان آخرین پذیرنده آلاینده‌های خشکی و دریا، در معرض تجمع انواع آلاینده‌ها قرار داشته و لذا به عنوان نواحی حساس و آسیب‌پذیر در برابر آلودگی‌های زیست‌محیطی به حساب می‌آیند. یکی از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌ها برای محیط‌های آبی، نفت و مشتقات آن است که می‌توانند از منابع مختلفی از جمله لوله‌های انتقال نفت، تصادم نفت‌کش‌ها، پساب‌های حاوی نفت، تخلیه آب توازن کشتی‌ها و فعالیت‌های بنادر وارد محیط‌های آبی شوند (Al-Imarah *et al.*, 2010). بخشی از هیدروکربن‌های نفتی بعد از ورود به دریا در همان ساعات اولیه تبخیر شده و بخشی از آنها نیز توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف می‌شوند؛ اما بخشی از آنها به ذرات دیگر می‌چسبند و با افزایش وزن، به تدریج از ستون آب پایین رفته و در رسوبات تا مدت‌های طولانی به دلایل شرایط کم اکسیژنی باقی می‌مانند. یکی از نگرانی‌های مهم در مورد آلودگی نفتی، حضور فلزات سنگین در ترکیبات نفتی است. این فلزات به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص همچون سمیت، عدم تجزیه‌پذیری و تجمع زیستی در گیاهان بسیار مورد توجه هستند. این فلزات ممکن است در نتیجه فرآیندهای طبیعی مانند (هوازدهی و فرسایش) و یا در اثر فعالیت‌های انسان‌زاد متحرک شوند (Celino *et al.*, 2008). مانگروها یکی از با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های دریایی هستند که بیشتر در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کنند و در معرض آلودگی‌های نفتی حاد و مزمن قرار می‌گیرند (Mohebbi *et al.*, 2015)، لذا شناسایی، اندازه‌گیری و ردیابی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات آب‌های ساحلی با توجه به اثرات زیانباری که بر اکوسیستم‌های دریایی از جمله مانگروها و آبزیان و به تبع آن بر انسان می‌گذارند اهمیت ویژه‌ای دارد.

۲-۲- اهمیت محیط‌های ساحلی

سواحل به دلیل داشتن سنگ‌های متنوع و اشکال ناهموار متعدد، محیط‌های مناسبی برای انجام برخی تحقیقات زمین‌شناسی یک منطقه هستند. از سوی دیگر در سواحل نواحی معتدل کره زمین، شرایط مناسبی برای توسعه برخی ورزش‌ها مانند: شنا، موج‌سواری و قایق‌رانی وجود دارد. در برخی نواحی ساحلی از انرژی امواج قوی و نیروی جزر و مد می‌توان برای تولید برق استفاده کرد. همچنین در برخی از نواحی ساحلی علاوه بر نفت و گاز، منابع معدنی باارزش دیگری نیز یافت می‌شود. در اغلب سواحل به خصوص سواحل پست کم‌شیب، آب و هوای مناسب و آب کافی شرایط مساعدی را برای زراعت فراهم آورده است. نزدیکی به دریا و دسترسی آسان به سایر مناطق، عامل ایجاد بندرگاه‌ها و توسعه ارتباطات و بازرگانی است (Barbier et al., 2011).

امروزه شمار زیادی از ساکنان نواحی ساحلی به فعالیت‌هایی مانند: ماهی‌گیری، ساخت و تعمیر قایق‌ها و کشتی‌ها، بافت تورهای ماهی‌گیری، بارگیری و تخلیه کشتی‌ها، خدمات گمرکی و کار در پایانه‌های بنادر و تعدادی از ساکنان سواحل نیز به فعالیت‌های توریستی مشغول هستند. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به مشاغل چوچون هتل‌داری، اداره تورهای تفریحی و اداره تأسیسات ورزشی و فرهنگی اشاره کرد. در بین بهره‌برداران مذکور استفاده ارتباطی از سواحل اهمیت خاصی دارد. زیرا یکی از راه‌های ارتباطی مهم در زمینه حمل کالا در دنیا در حال حاضر راه‌های دریایی است که در مقصد و مبدأ خود به سواحل ختم می‌شوند (Phillips and Jones, 2006).

۲-۳- منابع آلوده‌کننده سواحل

الف- آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسان در محیط دریایی که این مواد بعداً به نواحی ساحلی حمل می‌شوند. مواد نفتی یکی از آلاینده‌های ساحلی است که مقداری از آن در حد عادی در آب دریاها وجود دارد؛ ولی بخش اعظم آن به دنبال حفاری چاه‌های نفتی در دریاها، شکستن لوله‌های انتقال نفت خام و تصادف کشتی‌های نفت‌کش به وجود می‌آید و در هر مورد به ورود مقادیر عظیم نفت خام به آب‌های

ساحلی منجر می‌شود. این مواد نفتی سرانجام در سواحل ته‌نشین می‌شوند. آلودگی نفتی موجب از بین بردن جانوران و گیاهان این محیط‌ها می‌شود و بر فعالیت‌های گردشگری نیز تأثیر منفی می‌گذارد.

ب- مواد آلوده‌کننده‌ای که در نتیجه فعالیت‌های انسان در خشکی‌های مجاور به وجود می‌آیند مانند: فاضلاب‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی، فاضلاب‌های شهری، مواد رادیواکتیو زباله‌های اتمی و فاضلاب‌های کشاورزی (Mohebbi *et al.*, 2015).

۲-۴- جنگل‌های حرا یا مانگرو^۱

درختان حرا گیاهان چوبی هستند که به عنوان گیاهان منحصر به فرد نمک دوست شناخته شده‌اند و جزء انواع خاصی از گیاهان همیشه سبز به شمار می‌آیند (Usman *et al.*, 2013). همچنین مانگرو به درختان و درختچه‌هایی گفته می‌شود که در سواحل دریاها و اقیانوس‌ها رشد کرده و در آب‌های گرم مناطق استوایی و نیمه‌استوایی عمدتاً توزیع و پراکندگی آنها به مناطق جزر و مدی محدود می‌شود (Vane *et al.*, 2009; Ebrahimi and Riyahi, 2013). این جنگل‌ها در حد فاصل مدارهای ۳۰-۲۵ درجه عرض شمالی و ۴۰-۳۵ درجه عرض جنوبی در مناطقی که دارای شرایط مناسب رویش هستند حضور دارند. این اجتماعات شامل بیش از ۱۰۰ گونه‌ی گیاهی هستند و در ۶۵ نقطه جهان گزارش شده‌اند (Zahed *et al.*, 2010).

۲-۴-۱- اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی مانگروها

مانگروها نقش مهمی در تشکیل خاک، حفاظت و تثبیت نوار ساحلی ایفا می‌کنند. جنگل‌های مانگرو با سطح وسیع و پهناور و به مدد ساختار ریشه‌های هوایی خود به صورت یک غربال عمل می‌کنند، باعث کاهش شدت یا قطع جریان‌های دریایی می‌شوند و به این ترتیب رسوب‌زایی و تثبیت رسوب را افزایش می‌دهند. همچنین برگ و ریشه‌های مانگرو به افزایش عمق بستر کمک می‌کنند. در حقیقت مانگروها

¹ Mangrove

با کمک سه پدیده افزایش رسوبزایی و حفظ رسوب و تشکیل خاک باعث تثبیت اراضی می‌شوند که این مورد خود خطر فرسایش را به‌خصوص در شرایط پراثری آب نظیر طوفان‌های استوایی کاهش می‌دهد. مانگروها آب را در کیفیت خوبی نگه می‌دارند و با به دام انداختن رسوبات در سیستم ریشه‌ای خود، باعث دوری سایر مواد جامد از آب‌ها می‌شوند. این فرآیند قادر است آلاینده‌هایی چون ترکیبات نفتی و فلزات سنگین را نیز از آب حذف نماید؛ چرا که این آلاینده‌ها به ذرات رسوب می‌چسبند. این جنگل‌ها همچنین به عنوان ذخیره‌گاه، پناهگاه و محل‌های تغذیه و نوزادگاهی بسیاری از گیاهان و حیوانات غیر آبی و آبی عمل می‌کنند (Walters *et al.*, 2008; Zahed *et al.*, 2010). حدود ۸۰ درصد آبریان خلیج فارس و دریای عمان دوره تخم‌ریزی خود را در این منطقه می‌گذرانند. برآورد شده است که بیش از ۸۰ درصد میزان صید در کل دنیا وابسته به وجود اکوسیستم‌های غنی مانگرو، مصب‌ها و زیستگاه‌های مرجانی است. این اکوسیستم‌ها همچنین از جهت‌های تأمین علوفه دام و سوخت اهالی بومی، گردشگری و مواد دارویی نیز اهمیت زیادی دارند (Zahed *et al.*, 2010).

۲-۴-۲- شرایط زیستی

زمین‌های غرقابی بهترین و مناسب‌ترین شرایط را برای استقرار و رشد مانگرو دارا هستند؛ چرا که همواره حجم زیادی آب در آنها جریان دارد. اصولاً درختان حرا در محل‌هایی می‌رویند که در مواقع مد به زیر آب می‌روند و در نقاط مرتفع کمتر اثری از این گیاهان مشاهده می‌شود. عمق آب در محل رویش این درختان معمولاً از ۳ متر تجاوز نکرده و جنس خاک بسیار شور و دارای بافت سنگین و نسبتاً قلیایی است (Walters *et al.*, 2008).

۲-۴-۳- عوامل اصلی مرگ و میر درختان مانگرو (حرا)

درختان موجود در یک جنگل حرا ممکن است به دو روش از بین بروند. مرگ طبیعی درختان که در اثر ته‌نشین شدن رسوبات انباشته شده و بالا آمدن سطح آب و در نتیجه خفه شدن درختان به دلیل کمبود اکسیژن صورت می‌گیرد. مرگ غیر طبیعی این درختان که به دلایلی از جمله بهره‌برداری نادرست

از جنگل‌ها، گسترش کشتی‌های آبی، توسعه مناطق شهری و توسعه بخش صنعتی در مناطق ساحلی صورت می‌گیرد (Zahed et al., 2010).

۲-۴-۴- عوامل کنترل‌کننده رویش مانگروها

عواملی از قبیل شرایط آب و هوایی، جزر و مد، بافت و ساختمان خاک و شوری آب فاکتورهای هستند که رویش و پراکنش مانگروها را محدود و مشخص می‌کنند. اگر رسوب‌گذاری خورها (پیشروی آب دریا به درون خشکی تحت تأثیر جزر و مد، که بر اساس شیب ساحل و جنس آن به شکل‌های مختلف دیده می‌شوند، از خاک ریزدانه باشد منطقه جهت استقرار مانگروها مساعد است؛ اما اگر رسوب‌گذاری از نوع درشت‌دانه باشد موجب کاهش کیفیت و از بین رفتن اراضی جنگلی می‌شود. دوره خشکی طولانی مدت نیز یکی از عوامل اصلی در جهت کاهش کیفیت جنگل می‌باشد. جزر و مد شرایط مناسبی را جهت استقرار و بقاء جنگل‌ها فراهم می‌آورد. جزر و مد مواد غذایی را به داخل اکوسیستم مانگروها وارد نموده و خاک محل استقرار آنها را برای زندگی گیاه آماده می‌کند (Zahed et al., 2010).

۲-۵- هیدروکربن‌های نفتی کل

هیدروکربن‌های نفتی کل یک اصطلاح مورد استفاده برای توصیف یک خانواده بزرگ چند صد موردی از ترکیبات شیمیایی است که در اصل از نفت خام حاصل می‌شوند. TPHها مخلوطی از مواد شیمیایی هستند؛ اما همه آنها به طور عمده از هیدروژن و کربن تشکیل شده‌اند و به نام هیدروکربن‌ها شناخته می‌شوند. این مواد در حقیقت بخش‌هایی از هیدروکربن‌های نفتی هستند که هر بخش شامل طیفی از مواد شیمیایی است. برخی از مواد شیمیایی که ممکن است در TPHها یافت شود شامل: هگزان، سوخت جت، بنزن، تولوئن، زایلن‌ها، نفتالین، فلوئورن و همچنین سایر فرآورده‌های نفتی و اجزای بنزین است. با این حال این احتمال وجود دارد که نمونه TPH تنها برخی و یا یک مخلوط از این مواد شیمیایی باشند. نفت خام به طور گسترده به انواع نفت خام پارافینی، آسفالتی و مخلوط تقسیم‌بندی شود. نفت خام پارافینی از هیدروکربن‌های آلیفاتیک (پارافین)، موم پارافینی (هیدروکربن‌های آلیفاتیک بلند

زنجیر) و روغن‌های با درجه حرارت بالا تشکیل شده است. نفتا (بنزین سنگین) پس از نفت سفید، سبک‌ترین بخش پارافین است. نفت خام آسفالتی حاوی غلظت بالاتری از هیدروکربن‌های آلیفاتیک حلقوی و روغن‌های روان‌کننده با ویسکوزیته بالا است. حلال‌های نفتی محصول تقطیر نفت خام هستند و به طور کلی بر اساس نقطه جوش تقسیم‌بندی می‌شوند. روغن، گریس و واکس‌ها بخش‌هایی از نفت خام با نقطه جوش بالا هستند. سنگین‌ترین بخش جامد، روغن‌های خام باقیمانده یا قیر است (ATSDR¹, 1999). مقدار TPH در هر یک از فرآورده‌های نفتی تولید شده از نفت خام متفاوت است. برخی از آنها مایعات با رنگ روشن (شفاف) هستند که به راحتی تبخیر می‌شوند و برخی دیگر مایعات تیره یا نیمه‌جامد هستند که درجه تبخیر پایینی دارند. از آنجا که جامعه مدرن از بسیاری از محصولات مبتنی بر نفت (بنزین، نفت سفید، نفت سوخت، روغن‌های معدنی و آسفالت) استفاده می‌کند، آلودگی محیط زیست توسط این مواد به طور گسترده افزایش یافته است. آلودگی حاصل از فرآورده‌های نفتی شامل انواع این هیدروکربن‌ها است و از آنجا که مواد شیمیایی مختلفی در ترکیب نفت خام وجود دارد و اندازه‌گیری هر یک به طور جداگانه عملی نیست، لذا اندازه‌گیری هیدروکربن‌های نفتی کل در یک نمونه آب، خاک و هوا از اهمیت زیادی برخوردار است. مقدار TPH اندازه‌گیری شده در یک نمونه به عنوان یک شاخص کل از آلودگی‌های نفتی در آن مکان در نظر گرفته می‌شود. با این حال این روش اندازه‌گیری اطلاعات کمی را در مورد نحوه اثرگذاری مقدار TPH موجود در یک نمونه بر روی انسان، حیوان و گیاه در اختیار ما قرار می‌دهد. با تقسیم‌بندی TPH به گروه‌هایی از هیدروکربن‌های نفتی که عمل یکسانی در خاک و آب دارند، می‌توان اثرات آنها را راحت‌تر شناسایی کرد. این گروه‌ها که بخش‌های هیدروکربن‌های نفتی² نامیده می‌شوند هر کدام حاوی بسیاری از ترکیبات منفرد³ هستند. از آنجا که یکی از جنبه‌های مهم ارزیابی اثرات سمی TPH اندازه‌گیری ترکیبات آن است، نخست باید منشأ بخش‌های مختلف (ترکیبات) آن شناسایی شود. بخش حمل‌کننده⁴ هیدروکربن‌های نفتی توسط خواص

¹ Agency for Toxic Substances and Disease Registry

² Petroleum Hydrocarbon Fractions

³ Individual

⁴ Transport Fractions

فیزیکی و شیمیایی مختلف (مانند حلالیت، فشار بخار، و تمایل به اتصال با خاک و ذرات آلی) آنها کنترل می‌شود. این بخش بر اساس تعداد کربن معادل^۱ آنها به ۱۳ بخش تقسیم‌بندی می‌گردد (جدول ۱-۲). برای تحلیل نتایج حاصل از هیدروکربن‌های آلیفاتیک از آلکان‌های نرمال^۲ و تحلیل نتایج حاصل از هیدروکربن‌های آروماتیک از تعداد حلقه‌های بنزن موجود در آنها استفاده می‌شود. علاوه بر این، بسیاری از فرآورده‌های نفتی شامل مواد افزودنی غیر هیدروکربنی مانند الکل‌ها، آلدئیدها، فلزات و دیگر مواد شیمیایی هستند که ممکن است سمیت این فرآورده‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (ATSDR, 1999).

جدول (۱-۲): تقسیم‌بندی TPH بر اساس تعداد اتم‌های کربن و برخی از خواص فیزیکی آنها (ATSDR, 1999).

بخش	قابلیت انحلال (mg/l)	فشار بخار atm	ثابت قانون هنری (cm ³ /cm ²)
آروماتیک			
EC ₅ - EC ₇	۲۲۰	۰/۱۱	۱/۵
EC _{>7} - EC ₈	۱۳۰	۰/۰۳۵	۰/۸۶
EC _{>8} - EC ₁₀	۶۵	۰/۰۰۶۳	۰/۳۹
EC _{>10} - EC ₁₂	۲۵	۰/۰۰۰۶۳	۰/۱۳
EC _{>12} - EC ₁₆	۵/۸	۰/۰۰۰۰۴۸	۰/۰۲۸
EC _{>16} - EC ₂₁	۰/۶۵	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۲۵
EC _{>21} - EC ₃₅	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۱۷
آلیفاتیک			
EC ₅ - EC ₆	۳۶	۰/۳۵	۴۷
EC _{>6} - EC ₈	۵/۴	۰/۰۶۳	۵۰
EC _{>8} - EC ₁₀	۰/۴۳	۰/۰۰۶۳	۵۵
EC _{>10} - EC ₁₂	۰/۰۳۴	۰/۰۰۰۶۳	۶۰
EC _{>12} - EC ₁₆	۰/۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۰۷۶	۶۹
EC _{>16} - EC ₃₅	۰/۰۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۰۱۱	۸۵

معمولاً ارزیابی اثرات بالقوه هر یک از این بخش‌ها توسط روش ATSDR انجام می‌شود و بر اساس این ارزیابی تعداد بخش‌ها به سه قسمت آلیفاتیک و سه قسمت آروماتیک کاهش پیدا کرده است (جدول ۲-۲). به طور کلی از سمی‌ترین ترکیب نماینده هر بخش برای نشان دادن سمیت بالقوه کل آن بخش استفاده می‌شود.

¹ Equivalent Carbon Number

² n-alkanes

جدول (۲-۲): تقسیم‌بندی بخش‌های TPH بر اساس اثرات زیست‌محیطی بالقوه آنها (ATSDR, 1999).

بخش شیمیایی	ترکیبات نماینده
آروماتیک	
EC ₆ – EC ₉	بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن
EC _{>9} – EC ₁₆	ایزوپروپیل بنزن، نفتالین
EC _{>16} – EC ₃₅	فلوئورن، فلوئورانتن، بنزو (آ) پیرن
آلیفاتیک	
EC ₅ – EC ₈	ان هگزان
EC _{>8} – EC ₁₆	JP-5, JP-7, JP-8, کرایزن
EC _{>16} – EC ₃₅	روغن‌های معدنی

۲-۵-۱- منابع ورود هیدروکربن‌های نفتی به محیط زیست

مواد نفتی از منابع مختلف وارد آب می‌گردند و بیشترین منابع آلودگی، چاه‌های نفت، دکل‌ها و سکوها، بهره‌برداری نفت هستند. منابع هیدروکربن‌های نفتی که موجب آلودگی آب دریا می‌گردند را می‌توان

به صورت زیر دسته‌بندی کرد (Maktoof *et al.*, 2014; Mohebbi *et al.*, 2015):

الف- منابع مرتبط با عملیات حفاری و استخراج نفت در نزدیکی آب‌های ساحلی

ب- منابع مربوط به عملیات کشتی‌ها شامل شستشو، تمیز کردن کف مخازن و تخلیه آب توازن

ج- حوادث یا سوانح مربوط به نفت‌کش‌ها

د- پالایشگاه‌ها و تأسیسات نفتی ساحلی و کارخانه‌های پتروشیمی

ه- تخلیه زباله‌های شهری و صنعتی در نزدیکی سواحل

ر- مناطق تفریحی

ز- چشمه‌های طبیعی نفت

س- گرد و غبار

۲-۵-۲- سرنوشت هیدروکربن‌های نفتی کل در محیط زیست

هیدروکربن‌های نفتی بعد از ورود به محیط‌های آبی تحت تأثیر فرآیندهای مختلف قرار می‌گیرند. بخشی

از این آلاینده‌ها بر روی آب شناور شده و تشکیل یک غشای سطحی می‌دهند. بخشی دیگر در رسوبات کف ته‌نشین می‌شوند. باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود در آب ممکن است باعث شکستن یا تجزیه برخی از بخش‌های TPH ها شوند (ATSDR, 1999). از دیگر فرآیندهای مؤثر بر تمرکز هیدروکربن‌های نفتی در محیط‌های دریایی می‌توان به حذف آنها توسط فرآیند تبخیر، تجمع در رسوبات و سرانجام ورود به بدن موجودات زنده، پخش شدن در آب، کلنی شدن توسط فرآیند جذب، انحلال در ستون آب و تجزیه زیستی به وسیله میکروارگانیسم‌ها اشاره کرد (Al-Imarah et al., 2010). TPH انتقال یافته به خاک ممکن است از طریق خاک به آب زیرزمینی منتقل شود. برخی از این ترکیبات نیز از طریق تبخیر به هوا منتقل می‌شوند. ترکیبات دیگر در خاک به ذرات متصل می‌شوند و ممکن است در خاک برای مدت طولانی باقی بماند؛ در حالی که بعضی از آنها ممکن است توسط موجودات خاک تجزیه شوند (ATSDR, 1999).

۲-۵-۳- اثرات زیست‌محیطی هیدروکربن‌های نفتی

هیدروکربن‌های نفتی آلاینده‌های شایع موجود در محیط زیست هستند؛ اما به عنوان پسماندهای خطرناک شناخته نمی‌شوند. با وجود حضور تعداد زیادی از هیدروکربن‌ها در فرآورده‌های نفتی، ماهیت گسترده استفاده از این مواد و همچنین آلودگی حاصل از آنها در محیط، تنها مسمومیت تعداد نسبتاً کمی از این ترکیبات به خوبی مشخص گردیده است. اثرات بهداشتی برخی از آنها مانند BTEX^۱ به خوبی شناخته شده است؛ اما اجزای سنگین‌تر TPH ها به مراتب ترکیبات شناخته‌شده کمتری دارند. اثرات این ترکیبات بر روی سرطان‌زایی شناخته شده است؛ اما مقدار استاندارد و نقطه نهایی آن هنوز توسط روش ATSDR شناخته نشده است (ATSDR, 1999).

۲-۵-۳-۱- اثرات بر سلامتی انسان

هر شخصی ممکن است از طریق منابع مختلفی مانند بخار بنزین در پمپ بنزین^۲ ها، روغن^۳ های ریخته

^۱ Benzene, toluene, ethyl benzene, xylenes

شده در پیاده‌روها، مواد شیمیایی مورد استفاده در خانه و یا محل کار، آفت‌کش‌هایی که در آنها از TPH به عنوان حلال استفاده می‌شود و یا مشاغلی مانند استخراج و پالایش نفت در معرض این آلاینده‌ها قرار گیرد. مقدار کمی از اجزای سبک‌تر این هیدروکربن‌ها نیز در هوای تنفسی ما وجود دارد. کودکان ممکن است از راه بازی با خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌ها در معرض آن قرار گیرند. میزان تأثیر TPH‌ها بر سلامتی انسان به عوامل مختلفی از جمله دوز یا مقدار، مدت زمان، نحوه در معرض قرارگیری و نوع ترکیب شیمیایی هیدروکربن‌ها بستگی دارد. این ترکیبات به روش‌های مختلفی بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهند برخی از ترکیبات TPH به‌خصوص اجزای کوچک‌تر آن مانند بنزن، تولوئن و زایلن‌ها (که در ترکیب بنزین وجود دارند) باعث اختلال در سیستم عصبی مرکزی می‌شوند و در معرض قرارگیری طولانی مدت با آن باعث مرگ می‌شوند. در مواقعی که این ترکیبات در غلظت‌های بالا در هوا وجود داشته باشند باعث سردرد و سرگیجه می‌شوند. اجزای دیگر (مانند هگزان) می‌توانند باعث یک اختلال در سیستم عصبی به نام اختلالات عصبی ثانوی شوند که باعث بی‌حسی در قسمت ساق پا و در موارد شدید باعث فلج شدن می‌شوند (ATSDR, 1999).

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای^۱ (PAHs) یکی از مهم‌ترین اجزای هیدروکربن‌های نفتی هستند. PAH‌ها آلاینده‌های شایع در سراسر طبیعت هستند که به صورت ترکیبات کمپلکس وجود دارند و می‌توانند اثرات مضر و همچون سمیت، سرطان‌زایی و جهش‌های ژنتیکی در انسان ایجاد کنند (Ololade *et al.*, 2009; Ebrahimi and Riyahi, 2013). این ترکیبات به ۲ گروه PAH‌های با وزن مولکولی پایین (۲ یا ۳ حلقه آروماتیک) و PAH‌های با وزن مولکولی بالا (۴ یا ۶ حلقه آروماتیک) تقسیم می‌شوند (Ebrahimi and Riyahi, 2013). گروه اول به دلیل خاصیت آب‌گریزی^۲، انحلال‌پذیری و فشار بخار پایین، دارای سمیت بیشتری هستند و در رسوبات و ارگانیزم‌های دریایی تجمع پیدا می‌کنند (Mirza *et al.*, 2014).

¹ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

² Hydrophobic

۲-۵-۳-۲- اثر آلودگی نفتی بر روی جوامع جانوری

مطالعات انجام شده بر روی جوامع جانوری نشان داده است که این آلاینده‌ها می‌توانند اثراتی بر ریه، کبد، سیستم مرکزی و کلیه‌ها و همچنین اثراتی بر سیستم تناسلی و رشد جنین در حیوانات داشته باشند (ATSDR, 1999). این مواد باعث سمیت موجودات دریایی از جمله ماهی، میگو، حلزون‌های صدف‌دار دوکفه‌ای و همچنین پرندگان ساکن در این نواحی شده و می‌توانند حاوی اثرات جدی بر سیستم عصبی و مغز آنها داشته باشند (Kazemzadeh et al., 2013).

الف) ماهیان

تخم و لار و ماهیان و سایر آبزیان از قربانیان اولیه آلودگی نفتی به شمار می‌روند. از نشانه‌های بارز آلودگی نفتی بدطعم شدن گوشت ماهیان در غلظت‌های بسیار کم مواد نفتی حدود ۰/۰۲ واحد در هزار است. از عوارض ناهنجار آلودگی نفتی، اختلال و کاهش باروری ماهیان، ترک نمودن زیستگاه‌های طبیعی خود و همچنین تغییر حالات رفتاری آنها است. مواد نفتی و مشتقات آن از طریق شبکه غذایی وارد بدن موجودات آبی شده و در کبد و کیسه صفرا تجمع می‌یابد. مواد نفتی بلعیده شده مستقیماً وارد معده می‌شود که پس از مصرف، از طریق ادرار و مدفوع ماهی در محیط آلوده خارج می‌گردد. پوشیده شدن سطح آبشش‌ها به مواد نفتی و عدم امکان تبادل گازهای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن میان خون و هوا منجر به خفگی و مرگ آنها می‌گردد. بیشترین آسیب‌های ناشی از آلودگی نفتی متوجه اجتماعات ماهیان جوان و بالغ است که در آب‌های کم‌عمق زندگی می‌کنند. بررسی‌های به عمل آمده نشان داده که ماهیان صید شده آلوده به ترکیبات نفتی سبک دچار تغییرات ژنتیکی و سرطان پوست و آبشش می‌شوند (کوچکی، ۱۳۸۲).

ب) پرندگان دریایی:

در هر نشت نفتی پرندگان دریایی از عمده موجوداتی هستند که آسیب زیادی را متحمل می‌شوند؛ زیرا در بیشتر موارد روی سطح آب قرار دارند. این پرندگان در هنگام صید به آب شیرجه می‌زنند، در این

صورت پر و بال آنها به مواد نفتی آغشته می‌شود. آب جایگزین هوای موجود بین پرها می‌شود و پرنده قدرت شناوری خود را از دست می‌دهد که در این صورت امکان غرق شدن آن وجود دارد. همچنین مواد نفتی زیادی از طریق تغذیه وارد معده آنها می‌شود و منجر به سوزش روده، کبد و سایر ارگان‌ها می‌شود. اثرات سوء حاصله باعث ایجاد شوک و اضطراب در گونه‌های آسیب دیده می‌شود و در نهایت مرگ آنها را به دنبال دارد (کوچکی، ۱۳۸۲).

ج) میگو

میگوها یکی از بارزترین ذخایر شیلاتی دریاها به‌ویژه خلیج فارس و دریای عمان به شمار می‌روند. آلودگی نفتی بر میگوها نیز اثرات نامطلوبی دارد. رشد و نمو این گونه از حیوانات بیشتر در خورها و آب‌های کم‌عمق ساحلی صورت می‌گیرد. تأثیر لکه‌های نفتی بر ذخیره مولدین میگو عبارتست از:

- ۱- عقب افتادگی تقسیم سلولی
- ۲- تخم‌ریزی غیر طبیعی مولدین
- ۳- کاهش فعالیت‌های تغذیه‌ای در مولدین
- ۴- مسدود شدن اندام‌های تنفسی
- ۵- کاهش کیفیت مولدین میگو و کاهش بازدهی آنها در کارگاه‌های تکثیر و محیط طبیعی (کوچکی، ۱۳۸۲).

۲-۵-۳- اثرات آلودگی نفتی بر اکوسیستم‌های مانگرو

امروزه آلودگی‌های نفتی یکی از تهدیدهای اصلی برای اکوسیستم‌های ساحلی همچون جنگل‌های مانگرو محسوب می‌شود. نشت نفت ناشی از فعالیت‌هایی مانند قایق‌رانی، ماهی‌گیری، فعالیت‌های توریستی و حمل و نقل‌های دریایی بر سواحل تأثیر منفی می‌گذارد. رویشگاه‌های مانگرو واقع در سواحل به دلیل دارا بودن شرایط اکولوژیکی ویژه نظیر درصد بالای کربن آلی در رسوبات، مواد آلی فرسایشی فراوان و شرایط احیایی رسوبات بستر، محیط مناسبی برای دریافت، ذخیره و تجمع هیدروکربن‌ها محسوب

می‌شوند (Zhang et al., 2004; Mille, et al., 2006). این مواد در رسوبات ته‌نشین شده و باعث خفه شدن ریشه می‌شوند و از رشد آنها جلوگیری می‌کنند. نفت روی ریشه‌ها پراکنده شده و نه تنها باعث مرگ بعضی از درختان، بلکه باعث از بین بردن برگ و تاج پوششی درختان، ناهنجاری در میوه‌ها و خسارت‌های بیولوژیکی می‌شود (Tam et al., 2005). لکه‌های نفتی با پوشاندن حفره‌های تنفسی گیاه منجر به فقدان اکسیژن قابل دسترس به ریشه و در نهایت مرگ آنها می‌شوند (Orji et al., 2012).

۲-۵-۴- مهم‌ترین عوامل مؤثر در تمرکز هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات

غلظت هیدروکربن‌های نفتی در هر منطقه به عوامل متعددی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۲-۵-۴-۱- ویژگی‌های رسوب‌شناسی

الف) اندازه رسوبات

رسوبات ترکیبی از ذرات کانی‌ها و مواد آلی (با درجه‌های تجزیه مختلف) هستند. این رسوبات به عنوان شناساگرهای حساس و مهم بین تغییرات ایجاد شده حاصل از فرآیندهای طبیعی و انسان‌زاد شناخته می‌شوند (Kucuksezgin et al., 2006). رسوبات دهانه رودخانه‌ها و رسوبات دریایی به صورت انباشت-گاه‌هایی برای تجمع فلزات و هیدروکربن‌های نفتی گوناگون حمل شده از منابع مختلف به محیط‌های دریایی عمل می‌کنند (Celino et al., 2008; Kazemzadeh et al., 2013; Maktoof et al., 2014). میزان تمرکز هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات بیشتر از آب است (Kazemzadeh et al., 2013). هیدروکربن‌ها به دلایل پایداری شیمیایی بالا و خاصیت آب‌گریزی تمایل دارند تا به وسیله مواد ریز معلق جذب و در رسوبات ته‌نشین شوند و در مقادیر بالاتری نسبت به یک ستون آب تجمع پیدا کنند؛ بنابراین امروزه ارزیابی آلودگی هیدروکربنی به وسیله رسوبات زیرین به طور خاصی مورد توجه قرار گرفته است؛ زیرا رسوبات می‌توانند منبعی از آلاینده‌های بالقوه باشند (Silva et al., 2014). در میان

ذرات رسوبی، ذرات دانه‌ریز قابلیت جذب بالاتری دارند و قادرند مقدار بیشتری از هیدروکربن‌های نفتی را همراه خود انباشته سازند. با این حال در برخی موارد تفسیر داده‌های رسوبی مشکل است؛ زیرا رسوبات ناهمگن هستند و تفاوت‌های زیادی در تجمع آلاینده‌ها رخ می‌دهد (Mohebbi *et al.*, 2015).

ب) میزان کربن آلی رسوبات

ترکیبات شیمیایی موجود در رسوبات مانند کربن آلی بر تمرکز و توزیع هیدروکربن‌های نفتی اثر می‌گذارد؛ به عبارت دیگر به طور طبیعی مواد با میزان کربن آلی بیشتر حاوی درصد بالاتری از آلاینده‌ها هستند (Ebrahimi and Riyahi, 2013). همچنین می‌توان میزان کربن آلی را در مواردی که دارای غلظت بالا باشد به عنوان شاخص آلودگی نفتی در نظر گرفت (Maktoof *et al.*, 2014).

۲-۵-۴-۲- تغییرات فصلی

تغییرات فصلی نقش مهمی در تمرکز آلاینده‌های نفتی در رسوبات ساحلی ایفا می‌کنند. میزان تمرکز این آلاینده‌ها در رسوبات در فصل تابستان کمتر از فصل زمستان است و از جمله دلایل این امر می‌توان به تکثیر و فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها و فیتوپلانکتون‌ها و دمای بالای آب در فصل تابستان اشاره کرد. این عوامل مهم‌ترین شرایط زیست‌محیطی در افزایش سرعت تجزیه زیستی هیدروکربن‌های نفتی در فصل تابستان هستند (Al-Imarah *et al.*, 2010). در طول فصل گرم تجزیه زیستی TPHها با سرعت بالاتری نسبت به فصل سرد صورت می‌گیرد؛ بنابراین زیست‌تجزیه مهم‌ترین عامل در تجزیه TPHها در فصل‌های گرم است (Li *et al.*, 2010; Maktoof *et al.*, 2014). با افزایش دما میزان اکسیژن حل شده در آب بیشتر شده و باعث افزایش فعالیت اکسیداسیون زیستی و فعالیت جوامع زیستی مانند: باکتری‌ها و قارچ‌ها و در نتیجه افزایش تجزیه بیولوژیکی می‌شود (Al-Imarah *et al.*, 2010).

۲-۵-۴-۳- عمق رسوب

عمق رسوب نقش مهمی در میزان تمرکز و ماندگاری هیدروکربن‌ها در رسوبات دریایی ایفا می‌کند.

افزایش عمق رسوب گذاری به دلایل زیر می تواند باعث افزایش غلظت هیدروکربن های نفتی در رسوبات شود:

الف) با گذشت زمان به علت تابش نور خورشید و گرمای محیط، بر اثر فرآیندهای شیمیایی در رسوبات سطحی، آلاینده های نفتی از محیط خارج شده؛ در حالی که در اعماق بیشتر اثر نور و گرما بر آلاینده های نفتی کم تر است.

ب) رسوبات ساحلی دارای بافت و نفوذپذیری متغیری از سطح تا عمق هستند؛ به عبارت دیگر رسوبات سطحی به علت داشتن نفوذپذیری بالاتر، مواد نفتی کمتری را نگه می دارند و در اعماق بیشتر به علت تراکم بالاتر و تغییر بافت رسوبات، نفوذپذیری کاهش یافته و فرصت مناسبی برای جای گیری آلاینده ها پدید می آید. از طرفی در هر مرحله جزر و مد، آب نفوذی به داخل رسوبات باعث می شود که آلاینده ها به عمق بیشتری نفوذ کنند.

ج) در اثر عملکرد فرسایشی امواج، بخشی از رسوبات سطحی از بین رفته و رسوبات جدیدی جایگزین آنها می شود. تکرار این عمل در طی چندین سال باعث کاهش میزان آلاینده ها در رسوبات سطحی می گردد و رسوبات عمیق تر از عمل تخریبی امواج محفوظ می مانند.

علاوه بر آن مقدار اولیه آلاینده ها و سرعت توزیع آنها نیز نقش بسزایی در میزان جذب دارد. هر چه غلظت اولیه و سرعت توزیع بیشتر باشد، در یک عمق مشخص، مقدار بیشتری ماده آلاینده انباشته می شود. البته سرعت توزیع خود متأثر از دما است و با افزایش دما از ۵ به ۲۵ درجه سانتی گراد سرعت توزیع آلاینده به طور چشمگیری افزایش می یابد (تاجیک و همکاران، ۱۳۸۸). از دیگر عوامل مؤثر در میزان تجمع هیدروکربن های نفتی در رسوبات دریایی می توان نزدیکی به منشاء آلودگی و فعالیت های وابسته در منطقه مورد مطالعه را نام برد (Metwally et al., 1997).

۲-۵-۴-۴- عمق آب

عمق آب نیز می تواند تأثیر قابل توجهی بر روی ته نشین هیدروکربن های نفتی در رسوبات داشته باشد.

در حقیقت با کاهش ۱۶-۱۳ متری در عمق آب، غلظت هیدروکربن‌ها از ۳۵/۵ به ۱۰۰/۵ میکروگرم بر لیتر افزایش می‌یابد. معمولاً تمرکز هیدروکربن‌ها با افزایش عمق، کاهش می‌یابد؛ زیرا آب‌های کم‌عمق اغلب مملو از مواد جامد بوده و شرایط مساعدی را برای ته‌نشینی هیدروکربن‌ها فراهم می‌کنند (Ololade *et al.*, 2009). یکی از دلایل کاهش هیدروکربن‌ها در اعماق بیشتر آب، افزایش تراکم باکتری-های تجزیه‌کننده در اعماق زیاد است که باعث افزایش تجزیه زیستی هیدروکربن‌ها و کاهش غلظت آنها می‌شوند (Maktoof *et al.*, 2014).

۲-۵-۵- غلظت هیدروکربن‌ها در آب

به طور کلی غلظت TPHها در آب به عوامل متعددی از جمله خواص آنها، طبیعت آب‌گریزی یا انحلال-پذیری، تأثیر چندین فرآیند دیگر مانند فرار شدن، تمرکز زیستی، انحلال‌پذیری رسوب و تجزیه بیولوژیکی بستگی دارد (Maktoof *et al.*, 2014).

۲-۶- فلزات سنگین

اصطلاح "فلز سنگین" به گروهی از فلزات و شبه فلزات با چگالی بین ۳/۵ تا ۷، وزن اتمی ۲۳ تا ۴۰ و عدد اتمی ۲۰ تا ۹۲ به استثنای فلزات قلیایی و فلزات قلیایی خاکی گفته می‌شود. این فلزات بر خلاف سایر آلاینده‌ها غیر قابل تجزیه هستند و می‌توانند در زیستگاه‌های آبی انباشته شوند. این فلزات ترکیبات طبیعی از پوسته زمین هستند (Sharifuzzaman *et al.*, 2016). از دیدگاه بیولوژیکی آنها را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد: گروه اول ریزمغذی‌های مورد نیاز و ضروری برای عملکرد فیزیولوژیکی سلول‌ها در جانداران (مانند آهن، کروم ۳ ظرفیتی، کبالت، مس، منگنز، مولیبدن و روی) و گروه دیگر شامل فلزات سنگینی است که باعث ایجاد اثرات منفی بر روی سلامتی موجودات زنده و محیط زیست می‌شوند (مانند جیوه، کادمیوم، سرب، کروم، آرسنیک).

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی هستند. از آنجا که این فلزات به راحتی توسط

فرآیندهای فیزیکی یا شیمیایی قابلیت اکسید شدن، تخریب، حذف یا تبدیل به اجزای با سمیت کمتر را ندارند باعث بروز مشکلات جدی در محیط زیست می‌شوند. در واقع این فلزات به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص همچون سمیت، عدم تجزیه‌پذیری و تجمع زیستی باعث ایجاد اثرات مضر بر اشکال حیات دریایی، تخریب اکوسیستم طبیعی و تهدید جدی برای سلامت انسان (از طریق مصرف غذاهای دریایی آلوده) می‌شوند (Sharifuzzaman et al., 2016). در محیط‌های دریایی نیز فلزات سنگین به عنوان یکی از آلاینده‌های زیست‌محیطی مهم در نظر گرفته می‌شوند؛ هر چند که به عنوان یکی از اجزای اصلی در محیط‌های آبی به حساب می‌آیند.

۲-۶-۱- منابع واردکننده فلزات سنگین به محیط‌های دریایی

مقدار زیادی از عناصر مختلف مانند فلزات سمی (کادمیوم، سرب، کروم و جیوه) از منابع مختلف به محیط‌های دریایی راه می‌یابند (Sany et al., 2013). این منابع را می‌توان به دو گروه منابع انسان‌زاد و طبیعی تقسیم‌بندی کرد:

۲-۶-۱-۱- منابع انسان‌زاد

از جمله منابع انسان‌زادی که باعث آلودگی سواحل و جنگل‌های مانگرو به فلزات سنگین می‌شوند می‌توان به پساب‌های صنعتی، صنایع وابسته به کشاورزی، فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری، رواناب‌های کشاورزی، سوانح کشتی‌ها، تخلیه آب توازن شناورها، مواد شیمیایی و نشت نفت و گاز اشاره کرد (Usman et al., 2013; Sharifuzzaman et al., 2016).

۲-۶-۱-۲- منابع طبیعی

به طور طبیعی و بر اساس ترکیبات پوسته زمین، غلظت طبیعی فلزات سنگین در محیط‌های دریایی در یک بازه پایین بین نانوگرم تا میکروگرم در هر لیتر (فاز مایع) یا در هر گرم (فاز جامد) تغییر می‌کند (Sharifuzzaman et al., 2016). بسیاری از فلزات سنگین در اثر فرآیندهای طبیعی مانند

هوازدهگی، فرسایش، ساختارهای زمین‌شناسی، سیلاب، چرخش آب اقیانوس و دریا متحرک می‌شوند. غلظت بالای فلزات کمیاب در رسوبات ممکن است لزوماً به دلیل آلودگی انسان‌زاد نباشد بلکه به دلیل وجود مقادیر زمینه مختلف این فلزات در مواد مادری و همچنین خواص رسوبات منطقه مورد مطالعه باشد (Celino et al., 2008).

۲-۶-۲- عوامل مؤثر بر تجمع فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی

یکی از عوامل مهم در تمرکز فلزات سنگین نوع رسوبات بستر است. رسوبات به عنوان انباشگاه‌های مهم آلودگی فلزی در نواحی ساحلی عمل می‌کنند. غلظت فلزات در رسوبات اغلب ۱۰ تا ۱۰۰ برابر غلظت آنها در یک ستون آب است (Sharifuzzaman et al., 2016). رسوبات بستر و ساحل دریا، حاوی پیشینه‌ای از شرایط سطحی متغیر هستند، به ویژه در محیط‌های حاشیه‌ای دریا، از پیشینه یا تاریخچه رسوب برای مستند کردن تغییرات انسان‌زاد استفاده می‌شود. شایان ذکر است برهمکنش‌های آب و رسوب می‌تواند پیشینه رسوب را توسط توزیع مجدد فلزات دستخوش تغییر کنند. معمولاً رسوبات به عنوان بزرگ‌ترین انباشگاه ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاهی خاص برای آلودگی‌هایی که می‌توانند برای دوره‌های طولانی مدت باقی بمانند، به شمار می‌روند (Sany et al., 2013). یکی از دلایلی که بررسی و اندازه‌گیری غلظت فلزات موجود در رسوبات را اهمیت می‌بخشد این است که بسیاری از گونه‌های زیستی بخش عمده دوره زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند. به همین دلیل مواد موجود در آب و رسوبات از طریق چرخه زیستی وارد بدن موجودات دیگر و همچنین انسان می‌شود. از جمله عوامل مؤثر دیگر در تجمع فلزات سنگین می‌توان به عواملی مانند ترکیب شیمیایی رسوبات، نوع ترکیبات موجود در آب، نرخ رسوب‌گذاری عناصر، شرایط فیزیکی و شیمیایی آنها (یونی، کمپلکسی) و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب از نظر pH، وجود تجمع‌دهنده‌ها و غلظت اکسیژن محلول اشاره کرد. این بدان معنی است که فلزاتی که در رسوبات تثبیت شده‌اند به آسانی در دسترس زیستگاه‌های آبی قرار نمی‌گیرند؛ اما تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط مانند

pH، دما، شوری، پتانسیل رد اکس و لیگاندهای آلی به انحلال فلزات از فاز جامد کمک می‌کند؛ بنابراین شرایط محیطی یک منطقه تا حد زیادی تعیین‌کننده زیست‌دسترس‌پذیری، تحرک و سمیت فلزات در محیط‌های آبی است. فلزات سنگین پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلف همچون فاز کانی جامد، جذب سطحی توسط رسوبات دانه‌ریز و یا مواد آلی، تشکیل کمپلکس با مواد آلی و یا اکسیدها و هیدرواکسیدها تجمع می‌یابند (Celino et al., 2008).

۲-۶-۳- اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین

فعالیت‌های انسانی موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی گردیده است به طوری که همواره در مناطقی با سطوح بالای فعالیت‌های صنعتی و شهری، غلظت‌های بسیار زیاد این آلاینده‌ها در رسوبات این مناطق مشاهده می‌شود. جانوران دریایی می‌توانند فلزات را به واسطه‌ی آب دریا، ذرات معلق، رسوبات و از طریق زنجیره غذایی انباشته سازند. از آنجایی که فلزات سنگین آلاینده‌های پایداری هستند، می‌توانند به رده‌های بالاتر زنجیره غذایی انتقال یابند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱)؛ بنابراین غلظت بسیار بالای فلزات سنگین در رسوبات ساحلی، باعث ایجاد اثرات منفی فراوانی بر حیات جانداران کفزی و آبزی می‌شود. همچنین رسوبات ساحلی آلوده، باعث کاهش استفاده تفریحی از این سواحل می‌گردد. این اثرات، اهمیت ارزیابی و بررسی تغییرات فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی را آشکار می‌سازد (Defew et. al., 2005).

فلزات سنگین و عناصر کمیاب در نواحی ساحلی در مقادیر محدود به صورت غیر قابل تجزیه و غیر سمی و به صورت عناصر آزاد حضور دارند. این فلزات در مقادیر بالا و به صورت تغلیظ شده و متمرکز شده به محیط‌های ساحلی و دریایی وارد می‌شوند؛ اما سمیت قابل توجهی ندارند. اشکال کاتیونی این فلزات به دلیل توانایی آنها در اتصال به زنجیره کربن برای موجودات زنده خطرناک هستند. این فلزات به محض ورود به بدن در بافت‌های غنی از چربی مانند کبد و عضلات موجودات دریایی تجمع پیدا می‌کنند و در نهایت (از طریق تغذیه) وارد بدن انسان می‌شوند و با فرآیند سوخت و ساز بدن تداخل

پیدا کرده و اثرات مضر بر سلامتی انسان می‌گذارند (Freije, 2015). همچنین این فلزات به دلیل تمایل به تمرکز در بدن ارگانیزم‌های آبی، باعث ایجاد اثرات جدی بر روی سیستم عصبی و مغزی ارگانیزم‌ها و سمیت موجودات دریایی مانند ماهی و میگو می‌شوند (Kazemzadeh et al., 2013).

۷-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در جهان

خلیج فارس و دریای عمان به دلایلی چون تولید نفت، حمل و نقل و صادرات و همچنین عبور و مرور کشتی‌های نفتی و دیگر محموله‌های صادراتی به عنوان یکی از مهم‌ترین مسیرهای آبی جهان شناخته می‌شوند. با توجه به گسترده بودن منابع نفتی در این منطقه و همچنین حضور فلزات سنگین در نفت خام و مشتقات آن و از همه مهم‌تر، وجود یکی از با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های جزر و مدی (جنگل‌های حرا) در این منطقه، مطالعات و بررسی‌های آلودگی نفتی و فلزات سنگین در رسوبات و آب‌های این مناطق از چند دهه گذشته توسط کشورها و گروه‌های تحقیقاتی مختلف شروع شده است. همچنین به دلیل اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی جنگل‌های حرا و مناطق ساحلی، در سایر کشورها نیز مطالعات زیادی در زمینه آلودگی‌های نفتی و فلزی بر روی این مناطق انجام شده است که در ادامه به خلاصه نتایج بعضی از این پژوهش‌ها پرداخته می‌شود:

تام و همکاران (Tam et al., 2005) در طی یک تحقیق، آلودگی نفتی در باتلاق جنگل‌های حرا Hong Kong را مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان کردند که در رویشگاه‌هایی از مانگروها که در فاصله بیشتری از ساحل قرار داشتند میزان نابودی درختان به دلیل دارا بودن ذرات ریزتر و در نتیجه درصد بالاتر آلودگی نفتی، بیشتر است.

الولاد و همکاران (Ololade et al., 2009) در مطالعه‌ای که در نیجریه بر روی روند تغییرات مکانی غلظت هیدروکربن‌های نفتی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که عمق آب تأثیر قابل توجهی بر روی ته‌نشینی هیدروکربن‌ها دارد و با کاهش ۱۶-۱۳ متری در عمق آب، غلظت TPHها از ۳۵/۵ میکروگرم بر گرم رسوب به ۱۰۰/۵ میکروگرم بر گرم رسوب می‌رسد و با افزایش عمق آب از غلظت آن کاسته

می‌شود. آنها نتیجه گرفتند که آب‌های کم‌عمق اغلب مملو از مواد جامد بوده و شرایط مساعدی را برای ته‌نشینی هیدروکربن‌ها فراهم می‌کنند.

ال‌ایماره و همکاران (Al-Imarah et al., 2010) در مطالعه دیگری در بخش شمالی رودخانه شط‌العرب در عراق، تغییرات مکانی و زمانی هیدروکربن‌های نفتی در آب و رسوب این منطقه را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه مشخص شد که میزان تمرکز هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات در فصل تابستان کمتر از زمستان است که دلیل آن را افزایش اکسیژن محلول در آب، افزایش فعالیت جوامع زیستی و در نتیجه افزایش تجزیه بیولوژیکی مواد نفتی در فصل گرم دانستند. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که در همه فصل‌ها غلظت هیدروکربن‌ها در رسوب بیشتر از آب است و میانگین غلظت آنها در تابستان در آب، $4/20$ میکروگرم بر لیتر و در رسوب $10/36$ میکروگرم بر گرم؛ در حالی که در فصل زمستان میانگین آنها در آب $15/6$ میکروگرم بر لیتر و در رسوب $45/21$ میکروگرم بر گرم است. همچنین مشخص شد که یک همبستگی مثبت قوی ($r=0/93$) بین TPH و TOC در همه ایستگاه‌ها وجود دارد. پژوهشی تحت عنوان آلودگی‌های مرتبط با نفت در آب و رسوب جزیره خارک در خلیج فارس توسط کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh et al., 2013) انجام گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت PAH، Ni، V و Pb در رسوبات به ترتیب $0/42$ ، $121/38$ ، $21/88$ و $10/79$ میکروگرم بر گرم و در آب $0/04$ ، $18/57$ ، $2/47$ و $0/90$ میکروگرم بر لیتر است و بیشترین غلظت این آلاینده‌ها مربوط به ایستگاه‌های واقع در مجاورت یا نزدیکی صنایع پتروشیمی است. آنها وجود آلاینده‌های ذکر شده در منطقه را ناشی از مواد نفتی و فاضلاب صنایع پتروشیمی بیان کردند.

لی و همکاران (Li et al., 2014) در مقایسه‌ای که در رسوبات سطحی و مانگروها بین دو منطقه Baguan و Fution در چین انجام دادند، نتیجه گرفتند که منطقه Baguan با بیشترین میزان ذرات درشت رسوبی، حاوی کمترین میزان PAH‌ها و منطقه Fution با بیشترین میزان ذرات دانه‌ریز دارای بیشترین میزان PAH است. مطالعه آنها همچنین نشان داد که ذرات ریزتر موجود در منطقه باعث افزایش $10-200$ برابری در میزان PAH‌ها می‌شود.

مقادیر هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه الناصریه (AL-Nassiriya) توسط مکتوف و همکاران (Maktoof et al., 2014) در جنوب عراق بررسی شد. به منظور انجام این تحقیق، ۳ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد که در تمام ایستگاه‌ها غلظت TPHها در فصل سرد بیشتر از فصل گرم و به صورت ذره‌ای در نمونه‌های رسوب بیشتر از مقادیر حل شده در نمونه‌های آب بود. آنها همچنین نتیجه گرفتند که با افزایش عمق رسوب‌گذاری، غلظت هیدروکربن‌ها کاهش می‌یابد؛ زیرا با ته‌نشینی هیدروکربن‌ها به اعماق بیشتر رسوب، تراکم باکتری‌های تغذیه‌کننده آنها بیشتر شده و در نتیجه تجزیه بیولوژیکی آنها افزایش می‌یابد.

در مطالعه انجام شده توسط محبی و همکاران (Mohebbi et al., 2015) به منظور ارزیابی هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس (قشم، لافت و بندر خمیر) این نتیجه حاصل شد که رسوبات مانگروها به دلیل دارا بودن ذرات ریزتر نسبت به نواحی ساحلی حاوی میزان بالاتری از هیدروکربن‌های نفتی هستند و با افزایش میزان ذرات ریز، میزان هیدروکربن‌ها نیز افزایش می‌یابد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که در نواحی ساحلی به دلیل کم بودن میزان کربن آلی نسبت به رویشگاه‌های مانگرو، میزان آلودگی نفتی کمتر است.

مطالعات انجام شده توسط عظیمی و همکاران (۱۳۹۱) بر روی غلظت فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس نشان داد که توالی غلظت فلزات سنگین در رسوب ایستگاه‌های مختلف در بندر امام خمینی (ره) به صورت $Cd > Hg > Pb > Cu$ است. آنها همچنین مشخص ساختند که اختلافات معناداری بین مقادیر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در بین ایستگاه‌های مختلف وجود دارد که می‌تواند حاکی از آن باشد که منابع آلودگی در این بندر به صورت نقطه‌ای است. وجود این اختلافات بر اثر مجاورت با صنایع مختلف واقع در محدوده بندر به خصوص صنایع پتروشیمی، فراوانی حمل و نقل کشتی‌ها در اسکله‌های مختلف، مجاورت با محل تعمیر و نگهداری کشتی‌ها و نیز تخلیه و بارگیری انواع مواد سوختی، کالاهای نفتی، مواد معدنی، غذایی و ریزش مواد آلاینده در اسکله‌های مختلف است.

تاجیک و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی ژئوشیمیایی توزیع آلودگی‌های نفتی در رسوبات ساحلی استان بوشهر پرداختند. در این منطقه به منظور شناسایی مناطق آلوده از چهارده مقطع عرضی استفاده شد. آنالیز نمونه‌های جمع‌آوری شده در این پژوهش نشان داد که توزیع آلاینده‌ها در رسوبات ساحلی مناطق مختلف یکسان نیست، به طوری که بیشترین آلودگی در پایین‌ترین حد جزر و کم‌ترین مقدار در بالاترین حد مد وجود دارد. همچنین با آنالیز نمونه‌ها به این نتیجه رسیدند که بالاترین نرخ آلودگی در نمونه‌هایی است که از اعماق بیشتری برداشت شده است. علاوه بر آن در اکثر نمونه‌های برداشت شده از سواحل استان بوشهر رابطه مستقیمی بین درصد رس و هیدروکربن‌های آروماتیک یافت شد.

فصل سوم:

روش انجام تحقیق

۳-۱- مقدمه

به منظور به دست آوردن نتایج صحیح و دقیق در مورد کیفیت رسوبات ساحلی رویشگاه‌های حرا و تعیین ارتباط آنها با عوامل طبیعی و انسان‌زاد، در ابتدا بایستی به شناخت کلی از منطقه مورد نظر دست یافت که این امر با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر Google Earth و همچنین بازدید صحرایی از منطقه میسر شد. بعد از به دست آوردن اطلاعات کلی از قبیل راه‌های دسترسی موجود، منابع آلوده‌کننده و تراکم جنگل‌های حرا، محل‌های مناسب نمونه‌برداری مشخص شد و نمونه‌برداری از رسوبات ساحلی به عمل آمد. نمونه‌های رسوب بعد از آماده‌سازی در آزمایشگاه، جهت تعیین غلظت فلزات سنگین، غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) و سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف مانند pH، ماده آلی کل^۱ (TOM)، کربن آلی^۲ (OC) و بافت رسوبات مورد تجزیه قرار گرفتند. در این فصل به نحوه نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها، تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف و همچنین تعیین غلظت آلودگی‌های نفتی و فلزات سنگین موجود در نمونه‌های رسوب اشاره خواهد شد.

۳-۲- انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

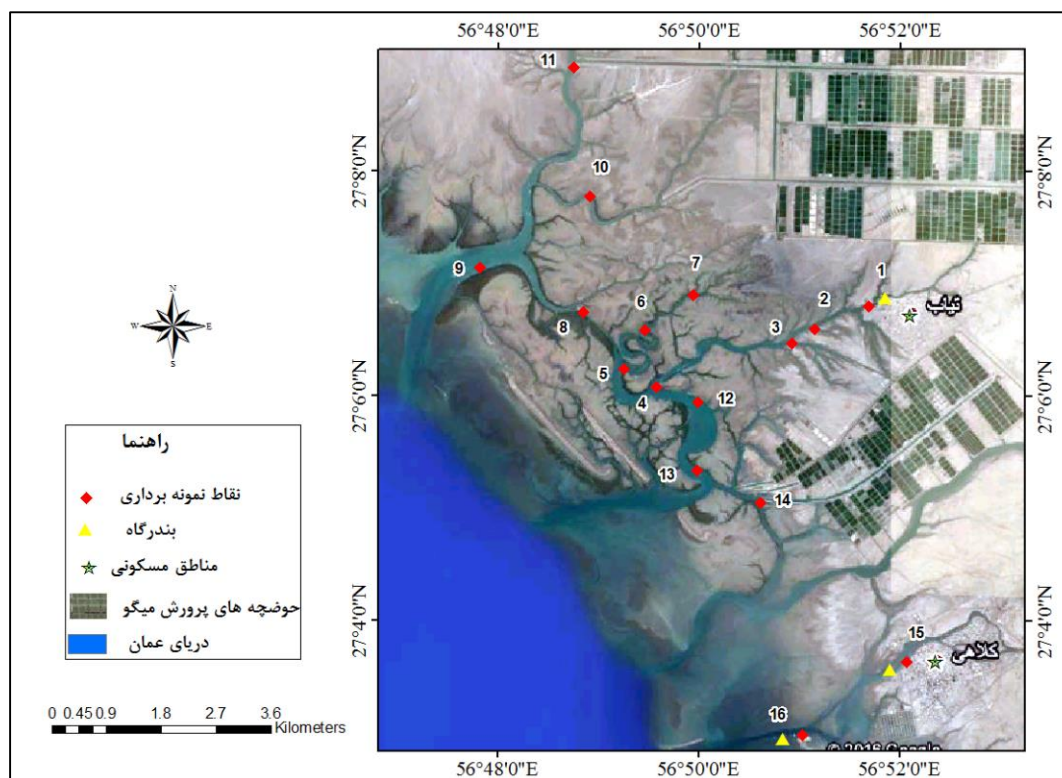
روش نمونه‌برداری باید به نحوی انتخاب شود که کلیه اهداف نمونه‌برداری را برآورده سازد. در این پژوهش به منظور ارزیابی و بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت رسوبات ساحلی جنگل‌های حرای تیاب، ابتدا با انجام بازدید صحرایی و همچنین مطالعه تصاویر Google Earth منطقه، مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده، تراکم جنگل‌ها و راه‌های دسترسی مشخص شد و با توجه به این مشخصات، محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه پایه مشخص گردید. نمونه‌برداری از رسوبات در آذرماه ۱۳۹۴ صورت گرفت. نام ایستگاه‌های نمونه‌برداری و موقعیت آنها در جدول (۳-۱) و همچنین شکل (۳-۱) آورده شده است.

¹ Total Organic Matter

² Organic Carbon

جدول (۳-۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	محل ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	اسکله (تیاب)	E ۵۶° ۵۱' ۴۱/۰۴"	N ۲۷° ۶' ۴۸/۳۶"
۲	۹۰ متری اسکله	E ۵۶° ۵۱' ۹/۰۰"	N ۲۷° ۶' ۳۶/۱۲"
۳	خرجی آب حوضچه‌های پرورش میگو	E ۵۶° ۵۰' ۵۵/۲۰"	N ۲۷° ۶' ۲۸/۲۰"
۴	وسط جنگل‌های حرا- جابه‌جایی سوخت قاچاق	E ۵۶° ۴۹' ۳۴/۰۸"	N ۲۷° ۶' ۵۱/۰۰"
۵	وسط جنگل‌های حرا	E ۵۶° ۴۹' ۱۵/۲۴"	N ۲۷° ۶' ۱۴/۴۶"
۶	وسط جنگل‌های حرا	E ۵۶° ۴۹' ۲۷/۴۸"	N ۲۷° ۶' ۳۵/۱۶"
۷	وسط جنگل‌های حرا	E ۵۶° ۴۹' ۵۶/۵۲"	N ۲۷° ۶' ۵۳/۸۸"
۸	خور نمکی	E ۵۶° ۴۸' ۵۰/۷۰"	N ۲۷° ۶' ۴۴/۷۶"
۹	اتصال به دریای آزاد	E ۵۶° ۴۷' ۹۴/۱۴"	N ۲۷° ۷' ۸/۵۸"
۱۰	وسط جنگل‌های حرا- محل جابه‌جایی سوخت	E ۵۶° ۴۸' ۵۴/۳۱"	N ۲۷° ۷' ۴۶/۵۲"
۱۱	خرجی آب حوضچه‌های پرورش میگو	E ۵۶° ۴۸' ۴۴/۷۶"	N ۲۷° ۸' ۵۰/۸۰"
۱۲	شغون	E ۵۶° ۴۹' ۵۹/۲۲"	N ۲۷° ۵' ۵۶/۹۴"
۱۳	نزدیک به حوضچه‌های پرورش میگو	E ۵۶° ۵۰' ۳۶/۶۶"	N ۲۷° ۵' ۳/۰۶"
۱۴	در فاصله ۲۰۰۰ متری از حوضچه‌ها	E ۵۶° ۴۹' ۵۹/۰۴"	N ۲۷° ۵' ۲۰/۵۲"
۱۵	پارکینگ قایق‌های صیادی (کلاهی)	E ۵۶° ۵۲' ۳/۸۴"	N ۲۷° ۳' ۳۸/۴۶"
۱۶	اسکله لنج‌های صیادی (کلاهی)	E ۵۶° ۵۱' ۱/۷۴"	N ۲۷° ۲' ۵۹/۱۶"



شکل (۳-۱): موقعیت نقاط نمونه‌برداری از رسوبات در منطقه مورد مطالعه

۳-۲-۱- نمونه برداری از رسوبات ساحلی

نمونه برداری از رسوبات در ۱۶ ایستگاه، در خور تیاب و کلاهی و رویشگاه‌های حرا انجام شد. رسوبات سطحی با استفاده از یک نمونه گیر گرب (Grab) از جنس فولاد ضد زنگ (مدل پونار Ponar) به وزن ۵ کیلوگرم برداشت شد. بدین منظور قبل از انجام عمل نمونه گیری در هر ایستگاه، قایق را خاموش کرده تا از آشفته شدن رسوبات جلوگیری شود. بعد از آرام شدن جریان آب در محیط، فک‌های گراب را با استفاده از بازوی متحرک واقع بر روی آن باز کرده و به آرامی روی سطح رسوبات قرار داده شد و بدین صورت نمونه برداری از رسوبات صورت گرفت. به منظور اینکه هر نمونه گویای شرایط واقعی تری باشد، در هر ایستگاه از سه نقطه مختلف نمونه برداری صورت گرفت نمونه‌ها با هم ترکیب شدند و در پایان یک نمونه مرکب و معرف به دست آمد (شکل ۳-۲).



شکل (۳-۲): نمایی از نحوه نمونه برداری از رسوب

پس از یادداشت کردن مشخصات هر ایستگاه بر روی ظروف نمونه، نمونه‌های مورد نظر برای اندازه گیری فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی، درون ظروف پلی اتیلنی از قبل اسید شویی شده و نمونه‌های مورد نیاز برای آنالیز هیدروکربن‌های نفتی کل، در ظروف آلومینیومی اسیدشویی شده قرار داده شد (شکل ۳-۳). سپس به منظور ممانعت از آلوده شدن نمونه‌ها و همچنین تبخیر اجزای نفتی، تمام نمونه‌ها در جعبه‌های حاوی یخ با دمای تقریباً $+4^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد نگهداری و برای انجام مراحل بعدی به آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان بندرعباس منتقل گردیدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، به مدت سه شبانه‌روز در محیط آزمایشگاه با دمای تقریباً 15°C درجه سانتی گراد

خشک شدند و پس از همگن شدن به وسیله هاون چینی آزمایشگاهی، رسوبات مورد نیاز برای آنالیز آلودگی‌های نفتی در ورقه‌های آلومینیومی و سایر رسوبات در کیسه‌های پلی‌اتیلنی نگهداری شد.



شکل (۳-۳): ظروف مورد استفاده برای نگهداری نمونه‌های رسوب

۳-۳- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی، غلظت فلزات سنگین و

هیدروکربن‌های نفتی در نمونه‌های رسوب

۳-۳-۱- آزمایش دانه‌سنجی

اندازه ذرات رسوبی یا در حقیقت بافت آنها از جمله ویژگی‌های مهم رسوبات است که می‌تواند نقش مهمی در تمرکز و انباشت آلاینده‌ها از جمله هیدروکربن‌های نفتی و همچنین فلزات سنگین داشته باشد (Mohebbi et al., 2015). در این پژوهش برای تعیین بافت رسوبات از روش هیدرومتری استفاده شد. اساس این روش بر اندازه‌گیری چگالی سوسپانسیون رسوب و آب استوار است.

برای انجام این روش، ابتدا ۵۰ گرم از رسوبات خشک شده را درون ظرف پلی‌اتیلنی ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول هگزامتافسفات سدیم ۵ درصد (۵۰ گرم پلی‌فسفات سدیم جامد را درون یک بالن یک لیتری ریخته شد و با مقداری آب مقطر کاملاً حل گردید، و به حجم یک لیتر رسانده شد) و ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها افزوده شد و پس از چند بار هم زدن، سوسپانسیون به مدت ۲۴ ساعت به حالت ساکن نگه داشته شد تا واکنش بین هگزامتافسفات سدیم و ذرات رسوبی انجام شود و مواد آلی نیز به طور کامل از ذرات رسوبی جدا شوند (Holme and McIntyre, 1984). بعد از گذشت مدت زمان

مذکور، مخلوط را درون استوانه‌های یک لیتری ریخته و با آب به حجم یک لیتر رسانده شد. سپس با همزن دستی به مدت یک دقیقه (حدوداً ۱۰ مرتبه) مخلوط را همزده و همزمان با خارج کردن همزن، دماسنج و هیدرومتر (مدل ASTM-E 100,152H) به آرامی در داخل مخلوط (سوسپانسیون) قرار داده شد. پس از ۴۰ ثانیه، اولین قرائت هیدرومتر و دما صورت گرفت. در این مدت شن ته‌نشین شده و آنچه در مخلوط، باقی مانده رس و سیلت می‌باشد؛ بنابراین قرائت اول هیدرومتر، مقدار رس و سیلت را در مخلوط به ما نشان خواهد داد. سوسپانسیون را به مدت ۳ ساعت به حال خود رها کرده و بعد از آن بدون همزدن نمونه، دماسنج و هیدرومتر، درون مخلوط قرار داده شد و دومین قرائت هیدرومتر و دما نیز انجام گرفت. در این مرحله سیلت ته‌نشین شده و آنچه در مخلوط، باقی مانده رس است؛ بنابراین قرائت دوم مربوط به میزان رس خواهد بود (شکل ۳-۴).



شکل (۳-۴): نمایی از روش هیدرومتری انجام شده بر روی نمونه‌های رسوب در آزمایشگاه

تصحیح حرارتی نیز در این روش انجام شد. از آنجا که هیدرومتر روی ۲۰ درجه سانتی‌گراد استاندارد شده و نیز با توجه به اینکه با افزایش دما، ویسکوزیته مایع کاهش می‌یابد و هیدرومتر بیشتر در مایع فرو می‌رود در نتیجه غلظت ذرات معلق، کمتر از مقدار واقعی به دست خواهد آمد، لذا اگر در زمان قرائت عدد هیدرومتر، دمای سوسپانسیون بیشتر یا کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده، با توجه به جدول (۳-۲) مقدار عدد قرائت شده توسط هیدرومتر تصحیح می‌گردد. تصحیح به این صورت انجام گرفت که عدد قرائت شده به وسیله هیدرومتر، با توجه به درجه حرارت هر نمونه با مقدار K در جدول زیر جمع گردید.

در پایان با استفاده از روابط مربوط، درصد هر یک از ذرات رسوبی محاسبه شد.

جدول (۲-۳): جدول تصحیح دما در اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (Holme and McIntyre, 1984)

K(مقدار تصحیح)	درجه حرارت	K(مقدار تصحیح)	درجه حرارت
۰/۷	۲۳	-۱/۱	۱۵
۱/۰۰	۲۴	-۰/۹	۱۶
۱/۳	۲۵	-۰/۷	۱۷
۱/۶۵	۲۶	-۰/۵	۱۸
۲	۲۷	-۰/۳	۱۹
۲/۵	۲۸	-۰/۰	۲۰
۳/۵	۲۹	۰/۲	۲۱
۳/۸	۳۰	۰/۴	۲۲

$$\% S+C=(H_1+K) \times \frac{100}{W} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

$$\% C=(H_2+K) \times \frac{100}{W} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

$$\% S=(S+C)-C \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

$$\% M= S-100 \quad \text{رابطه (۴-۳)}$$

در این روابط S سیلت، C رس، M ماسه، K مقدار تصحیح، W وزن خاک بر حسب گرم، H_1 اولین قرائت هیدرومتر پس از ۴۰ ثانیه و H_2 دومین قرائت هیدرومتر پس از مدت زمان ۳ ساعت است.

۳-۲-۳- اندازه‌گیری pH نمونه‌های رسوب

pH نمونه‌های رسوبی طبق روش استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (METHOD 9045D) اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که ابتدا ۲۰ گرم از هر نمونه رسوبی که از الک ۱۰ مش (رسوبات دارای قطر ۲ میلی‌متر) عبور داده شد را با ترازو دقیق وزن کرده و با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به نسبت (۱ به ۲) درون یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. مخلوط را به مدت ۱۰ دقیقه هم‌زده و پس از ته‌نشین شدن مواد معلق و شفاف شدن محلول، pH آن توسط pHسنج (مدل WTW) در آزمایشگاه پژوهشگاه اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان اندازه‌گیری گردید.

۳-۳-۳- اندازه‌گیری ماده آلی کل به روش احتراق خشک

با استفاده از این روش، مواد آلی کل موجود در هر نمونه اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، ابتدا حدود ۵ گرم از رسوبات خشک شده، روی شیشه‌های ساعت از قبل اسیدشویی شده ریخته شد و به منظور از بین رفتن کل رطوبت موجود در آنها، به مدت ۳ الی ۴ ساعت در آون (مدل Memmert) با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. بوته‌های چینی مورد نیاز نیز به منظور از بین بردن هر گونه آلودگی احتمالی قبلی، با اسید شسته شد و به مدت ۲ ساعت درون آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از سرد شدن کامل، با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیدند. سپس نمونه‌های خشک شده، درون بوته‌های چینی ریخته شد و پس از وزن کردن، درون کوره‌ای با حداکثر درجه حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت قرار داده شد (شکل ۳-۵، الف). بعد از گذشت ۸ ساعت بوته‌ها را از کوره خارج کرده و تا سرد شدن کامل آنها و به منظور ممانعت از جذب رطوبت محیط، درون یک دسیکاتور حاوی سیلیکاژل فعال قرار داده شد (شکل ۳-۵، ب). لازم به ذکر است که سیلیکاژل غیر فعال به رنگ سفید، حدود ۳ ساعت درون آون با دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از مشاهده رنگ آبی که نشان‌دهنده فعال بودن سیلیکاژل است درون دسیکاتور ریخته شد.



شکل (۳-۵): الف: قرار دادن بوته‌های چینی درون کوره ب: قرار دادن نمونه‌ها در دسیکاتور

سپس بوته‌های حاوی نمونه را وزن کرده و در نهایت ماده آلی موجود در هر نمونه با استفاده از رابطه

زیر محاسبه گردید (Neyestani et al., 2016):

$$[(C-D)/(C-B)] \times 100$$

رابطه (۳-۵)

در این رابطه C وزن بوته چینی و نمونه رسوب قبل از سوزانده شدن، D وزن بوته و نمونه پس از سوختن و B وزن بوته خالی است.

۳-۳-۴- اندازه‌گیری درصد کربن آلی به روش اکسایش شیمیایی

در اندازه‌گیری کربن آلی به روش اکسایش شیمیایی از یک ماده اکسیدکننده برای اکسید کردن کربن آلی استفاده می‌شود که غالباً مخلوطی از اسید سولفوریک (H_2SO_4) و دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) است. از آنجا که در ترکیبات آلی، کربن به حالت احیا (ظرفیت صفر) حضور دارد؛ بنابراین می‌تواند اکسید شده و به دی‌اکسیدکربن تبدیل شود. در این روش کربنات‌ها (کربن معدنی) مورد اندازه‌گیری قرار نمی‌گیرند؛ زیرا کربنات‌ها خود به حالت اکسید وجود دارند و در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا شرکت نمی‌کنند. برای تعیین میزان کربن آلی در این پژوهش از روش موپام (MOOPAM¹, 2010) استفاده شد. در ابتدا کلیه محلول‌های مورد نیاز در این روش برای سنجش میزان کربن آلی نمونه‌ها در آزمایشگاه آماده‌سازی شد. این محلول‌ها به قرار زیرند:

- محلول دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) ۱ نرمال: برای تهیه این محلول ۴۹/۰۴ گرم دی کرومات پتاسیم جامد در آب مقطر حل شد و سپس درون یک بالن ژوژه، به حجم یک لیتر رسانده شد.
- شناساگر دی‌فنیل‌آمین: حدود ۰/۵ گرم از دی‌فنیل‌آمین خالص، در مخلوطی از ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ ۹۵ درصد حل شد.
- محلول فرو آمونیوم سولفات ۰/۵ نرمال: مقدار ۱۹۶/۰۸ گرم از فروآمونیم سولفات شش‌آبه $((NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O)$ را در مقداری آب مقطر حل کرده و ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۹۵ درصد) به آن اضافه شد و سپس با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد.
- طبق این روش، ابتدا ۰/۵ گرم از رسوبات عبور داده شده از الک ۸۰ مش را درون ارلن ۵۰۰ میلی‌لیتر

¹ Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods

ریخته و با پیپت، ۱۰ میلی‌لیتر محلول دی‌کرومات‌پتاسیم ۱ نرمال و سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ ۹۵ درصد به آرامی به نمونه‌ها اضافه گردید (شکل ۳-۶، الف). محلول را حدود یک دقیقه تکان داده شد و پس از آن به مدت نیم ساعت به حالت استراحت قرار داده شد. در مرحله دوم ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک، ۰/۲ گرم سدیم فلوراید جامد و ۱ میلی‌لیتر (۱۵ قطره) شناساگر دی‌فنیل‌آمین به هر نمونه افزوده شد (شکل ۳-۶، ب). در مرحله پایانی نمونه‌ها توسط فروآمونوم سولفات تیترو شدند. در مرحله تیترو کردن رنگ نمونه‌ها ابتدا از سیاه به سرمه‌ای و سپس به رنگ سبز برلیان در می‌آید که نقطه پایان تیترو کردن را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۶): الف و ب: اندازه‌گیری کربن آلی به روش اکسایش شیمیایی

در نهایت میزان کربن آلی موجود در هر نمونه از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\%OC = \frac{3.951}{g} \left(1 - \frac{T}{S}\right) \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

در این رابطه OC درصد کربن آلی، g وزن رسوب بر حسب گرم، T میزان فروآمونوم مصرفی برای تیتراسیون نمونه اصلی (میلی‌لیتر) و S میزان فروآمونوم مصرفی برای تیتراسیون نمونه شاهد (میلی-لیتر) می‌باشد (MOOPAM, 2010).

۳-۳-۵- هیدروکربن‌های نفتی کل

در این پژوهش به منظور سنجش غلظت هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های رسوبی از روش (MOOPAM, 2010) استفاده شد. طبق این روش، اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های نفتی در نمونه‌ها

شامل دو مرحله استخراج^۱ و مرحله اندازه‌گیری^۲ است. هر یک از این مراحل توسط روش‌ها و دستگاه‌های مختلفی قابل اندازه‌گیری است که در ادامه به شرح هر کدام از این مراحل پرداخته می‌شود.

۳-۵-۱- مرحله استخراج

یکی از روش‌های مهم و مقرون‌به‌صرفه مورد استفاده برای استخراج هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های جامد، روش استخراج توسط دستگاه مایکروویو^۳ است. این روش یکی از روش‌های جایگزین روش استفاده از دستگاه سوکسله^۴ (دستگاه آزمایشگاهی که در سال ۱۸۷۹ توسط فرانتس فون سوکسلت^۵ برای استخراج چربی‌ها از مواد جامد اختراع شد) است. مزیت اصلی استفاده از مایکروویو به جای سوکسله این است که برای استخراج هر نمونه فقط ۴۰ میلی‌لیتر از مخلوط هگزان و دی‌کلرومتان استفاده می‌شود؛ در حالی که در روش سوکسله ۵۰۰ میلی‌لیتر از این مخلوط مورد نیاز است. همچنین می‌توان در مدت زمان یک ساعت (۱/۱۰ زمان مورد نیاز در روش سوکسله) استخراج ۱۰ نمونه را به طور هم‌زمان انجام داد.

برای شروع مرحله استخراج، ابتدا ۲۰ گرم از رسوبات خشک و عبور داده شده از الک ۲۵۰ میکرون را با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن کرده و درون ظروف مخصوص دستگاه مایکروویو به نام ویال ریخته شد و سپس به هر یک از آنها ۴۰ میلی‌لیتر مخلوطی از حلال‌های هگزان و دی‌کلرومتان (نسبت ۵۰/۵۰) اضافه گردید (شکل ۳-۷، الف). پس از قرار دادن درپوش و روپوش مخصوص ظروف (شکل ۳-۷، ب)، نمونه‌ها برای قرار گرفتن در دستگاه مایکروویو (مدل Ethos Plus) آماده شدند (شکل ۳-۷، ج). درگام بعدی، نمونه‌های آماده‌سازی شده را درون دستگاه قرار داده و با استفاده از صفحه LCD مخصوص دستگاه، برنامه مورد نیاز برای انجام مرحله استخراج به دستگاه داده شد (شکل ۳-۸). بر اساس روش (MOOPAM, 2010)، مشخصات دستگاه برای استخراج هیدروکربن‌های نفتی از نمونه‌های رسوب

¹ Extraction

² Measurement

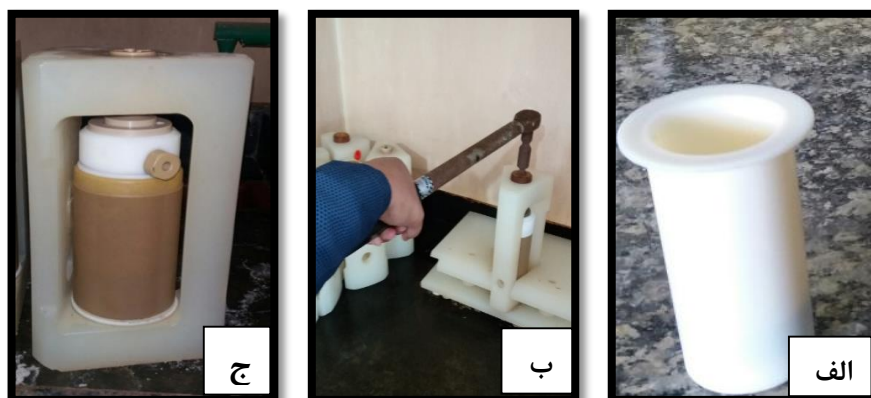
³ Microwave extraction

⁴ Soxhlet

⁵ Franz Von Soxhlet

به شرح زیر است:

- قدرت مایکروویو: ۱۲۰۰ وات
- افزایش دما تا ۱۱۵ درجه سانتی گراد در ۱۰ دقیقه
- ادامه استخراج در دمای ۱۱۵ درجه سانتی گراد در ۲۰ دقیقه



شکل (۳-۷): مراحل آماده سازی نمونه برای استخراج هیدروکربن های نفتی

پس از سرد شدن کامل نمونه ها و رسیدن به دمای محیط، آنها را از کاغذ صافی عبور داده و درون ظروف شیشه ای ریخته شد. رسوبات باقی مانده در ویال با ۱۰ میلی لیتر هگزان شستشو داده شد و سپس به ظروف شیشه ای منتقل گردید (شکل ۳-۹).



شکل (۳-۸): آماده سازی دستگاه برای شروع مرحله استخراج

برای ممانعت از تبخیر حلال های مورد استفاده، نمونه ها تا انجام مراحل بعدی اندازه گیری، در دمای ۳+ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. لازم به ذکر است که نمونه شاهد نیز با انجام تمام مراحل مشابه به کار رفته برای استخراج نمونه اصلی تهیه گردید. قبل از مرحله اندازه گیری، همه نمونه ها تا حجم حدوداً ۲۰

میلی لیتر کاهش حجم داده شدند. یکی از روش‌های کاهش حجم یک محلول افزایش دمای محلول تا رسیدن به نقطه جوش و تبخیر شدن بخشی از آن است؛ اما از آنجا که هیدروکربن‌های نفتی در دماهای بالا تبخیر شده و از بین می‌روند؛ بنابراین برای کاهش حجم نمونه‌های نفتی در این پژوهش از دستگاه تبخیرکننده چرخان^۱ استفاده شد (شکل ۳-۱۰).



شکل (۳-۹): فیلتر کردن نمونه‌های استخراج شده

در دستگاه تبخیرکننده چرخان با کاهش فشار درون مخزن نمونه توسط خلأ، نقطه جوش مایعات نیز کاهش می‌یابد و کاهش حجم نمونه‌ها بدون از بین رفتن اجزای آن صورت می‌گیرد. در این پژوهش برای کاهش حجم نمونه‌ها با استفاده از این دستگاه، نمونه‌های محلول در بالن دستگاه تبخیرکننده ریخته شد و کاهش حجم نمونه‌ها تقریباً تا ۲۰ میلی لیتر با سرعت ۳۰ rpm (دور بر دقیقه) و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.



شکل (۳-۱۰): نمایی از دستگاه تبخیرکننده چرخشی

^۱ Rotary Evaporator

۳-۳-۵-۲- مرحله اندازه‌گیری

تعیین غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل توسط دستگاه فلورئوسانس اشعه ماورای بنفش^۱ (UVF) در آزمایشگاه اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان انجام شد. ابتدا به منظور سنجش صحت دستگاه و ارزیابی بهبود درصد استخراج، غلظت‌های مختلفی از محلول کرایزن (محلول استاندارد) به دستگاه داده شد و دستگاه میزان جذب را با رسم یک منحنی کالیبراسیون نشان داد. قبل از قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه حجم دقیق آنها به وسیله یک پیت تعیین شد. سپس تقریباً ۱ میلی‌لیتر از هر نمونه درون سل دستگاه به نام کووت^۲ منتقل گردید و در دستگاه UVF با طول موج^۳ ۳۱۰ نانومتر و طول موج انتشار^۴ ۶۰ نانومتر قرار داده شد (شکل ۳-۱۱).



شکل (۳-۱۱): نمایی از مرحله اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های نفتی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر

غلظت TPH در تمام نمونه‌ها توسط دستگاه به صورت دو بار تکرار و بر حسب واحد ($\mu\text{g/ml}$) یا ppm قرائت شد. در ضمن با توجه به غلظت TPH در نمونه شاهد (0.04 ppm ، خلوص حلال‌های به‌کار برده شده و صحت و دقت مراحل انجام شده مورد تأیید قرار گرفت. در نهایت غلظت نهایی هیدروکربن‌های نفتی کل موجود در نمونه‌های رسوبی بر اساس واحد $\mu\text{g/g}$ رسوب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

¹ Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy

² Cuvvette

³ Wavelength

⁴ Emission Wavelength

$$A = \frac{V \times C}{W} \quad \text{رابطه (۷-۳)}$$

در این رابطه A غلظت هیدروکربن‌های نفتی در نمونه‌های اصلی (میکروگرم بر گرم)، V حجم نمونه (میلی‌لیتر)، C غلظت هیدروکربن‌های نفتی قرائت شده توسط دستگاه (بر حسب میکروگرم بر میلی‌لیتر) و W وزن رسوب استفاده شده (بر حسب گرم) است (MOOPAM, 2010).

در این پژوهش کلیه آنالیزهای ذکر شده در بالا برای هر نمونه به صورت سه بار تکرار انجام شد و در نهایت درصد خطای تمام آنالیزهای انجام شده برای هر نمونه در سطح معناداری ۹۵ درصد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Skoog et al., 2013):

$$e = \frac{t \cdot S}{\sqrt{N}} \quad \text{رابطه (۸-۳)}$$

در این رابطه e میزان خطا، t فاکتور آماری، (در این پژوهش برابر با ۴/۳ است) و N تعداد تکرار آنالیز هر نمونه (در اینجا ۳) و S انحراف معیار استاندارد داده‌ها است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N - 1}} \quad \text{رابطه (۹-۳)}$$

در رابطه بالا X داده مربوط به هر نمونه، μ میانگین داده‌ها و N تعداد تکرار انجام شده برای آنالیز هر نمونه است.

۳-۳-۶- تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب

به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوبی، رسوبات خشک شده پس از همگن کردن به وسیله هاون آزمایشگاهی، از الک شماره ۲۰۰ (۶۳ میکرون) عبور داده شد. حدود ۱۰ گرم از هر نمونه به آزمایشگاه شرکت زرآما ارسال گردید و غلظت فلزات سنگین مورد نظر توسط دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. حد آشکارسازی دستگاه برای تمام فلزات مورد بررسی در حد یک میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

۳-۴- ارزیابی شدت آلودگی در رسوبات

۳-۴-۱- ارزیابی شدت و خطر زیست‌محیطی آلودگی‌های نفتی در رسوبات

ارزیابی شدت و خطر زیست‌محیطی به منظور بررسی اثرات بیولوژیکی نامطلوب و یا درجه سمیت رسوبات به آلاینده‌های نفتی با استفاده از دو شاخص دستورالعمل‌های استانداردهای کیفیت رسوب^۱ (SQGs) و فاکتور آلودگی^۲ (Cf) مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۴-۱-۱- دستورالعمل‌های کیفیت رسوب

این روش که رابطه بین غلظت آلاینده در نمونه رسوب و اثرات بیولوژیکی نامطلوب را نشان می‌دهد، بر اساس مقادیر مشخص از دامنه اثر کم یا حد تأثیر آستانه^۳ (TEL) و دامنه اثر متوسط و یا حد اثرات احتمالی^۴ (PEL) است. مقدار TEL به عنوان غلظت آلاینده با یک اثر نسبتاً پایین در جوامع بیولوژیکی و PEL به عنوان غلظت آلاینده با اثرات سمی بالا برآورد شده است و در بسیاری از موارد انتظار می‌رود که غلظت آلاینده‌ها در بین این مقادیر قرار داشته باشد (Monazami Tehrani, 2012). در سال 1996 غلظت TPH در رسوبات خلیج فارس به چهار بخش اصلی تقسیم‌بندی شد که بر اساس این تقسیم‌بندی مقادیر TPH کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم به عنوان زمینه طبیعی و یا TEL و مقدار بیشتر از ۵۰۰ میکروگرم بر گرم به عنوان PEL در نظر گرفته شد (Massoud et al., 1996). سمیت کلی TPH توسط فرمول زیر محاسبه شد:

$$PELq = (C/P) \quad \text{رابطه (۳-۱۰)}$$

در این رابطه PELq مقدار سمیت هیدروکربن‌های نفتی، C غلظت هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های رسوبی (μg/g) و P مقدار PEL (μg/g) است. بر اساس این فاکتور اثرات بیولوژیکی آلودگی

¹ Sediment Quality Guidelines

² Contamination Factor

³ Threshold Effect Level

⁴ Probable Effects Level

نفتی در رسوبات بر موجودات آبی به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۳-۳):

جدول (۳-۳): رده‌بندی اثر سمیت هیدروکربن‌های نفتی بر موجودات (Monazami Tehrani, 2012)

PELq	PELq < 0.1	0.1 < PELq < 0.5	0.5 < PELq < 1.5	PELq > 1.5
شدت اثر نامطلوب	فاقد اثر	کم	متوسط	شدید

۳-۴-۱-۲- ضریب آلودگی

ضریب آلودگی به منظور بررسی و بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به یک عنصر خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Hakanson, 1980):

$$C_f = C_{0-1} / C_n \quad \text{رابطه (۳-۱۱)}$$

در این مطالعه C_f ضریب آلودگی، C_{0-1} میانگین غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های رسوبی ($\mu\text{g/g}$) و C_n غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات طبیعی ($\mu\text{g/g}$) است. این فاکتور بر اساس درجه آلودگی به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۳-۴):

جدول (۳-۴): رده‌بندی درجه آلودگی TPH بر اساس فاکتور آلودگی (Hakanson, 1980)

C_f	$C_f < 1$	$1 \leq C_f < 3$	$3 \leq C_f < 6$	$C_f > 6$
درجه آلودگی	کم	متوسط	قابل توجه	زیاد

۳-۴-۲- ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات

به منظور ارزیابی کمی شدت آلودگی و تعیین منابع احتمالی (بشرزاد و طبیعی) فلزات سنگین در رسوبات از شاخص‌های ژئوشیمیایی ضریب غنی‌شدگی^۱ (EF) و ضریب زمین‌انباشت^۲ (I_{geo}) استفاده گردید که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

¹ Enrichment Factor

² Geoaccumulation Index

۳-۴-۱- ضریب غنی‌شدگی

ضریب غنی‌شدگی سطح واقعی آلودگی رسوبات را نشان می‌دهد و این ضریب ابزاری نسبتاً مناسب برای متمایز ساختن منشأ طبیعی فلزات از منشأ انسان‌زاد آنها است (Valdes *et al.*, 2005). ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین از نسبت غلظت عنصر مورد نظر در رسوب مورد مطالعه به غلظت عنصر در ماده مرجع به دست می‌آید که غلظت عنصر مورد نظر را باید با یک عنصر مبناء که در محیط تغییرات اندک و غلظت یکنواختی داشته و متأثر از فعالیت‌های انسان‌زاد نیست بهنجار کرد. این ضریب از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود (Sutherland, 2000):

$$EF = (C/C_{ref})_{Sample} / (C/C_{ref})_{Background} \quad \text{رابطه (۳-۱۲)}$$

در این رابطه EF ضریب غنی‌شدگی، C غلظت عنصر مورد بررسی و C_{ref} غلظت عنصر مرجع در پوسته است (Sutherland, 2000). معمولاً از عناصری مانند Al, Zr, Sc, Ti, Fe و Si به عنوان عنصر مرجع استفاده می‌شود. در این پژوهش، عنصر اسکاندیم به دلیل تغییرات کمتر و غلظت یکنواخت آن در محیط به عنوان عنصر مرجع انتخاب شد. رده‌بندی ضریب غنی‌شدگی در جدول (۳-۵) آورده شده است.

جدول (۳-۵): رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Chen *et al.*, 2007)

EF	شدت غنی‌شدگی
$EF < 1$	بدون غنی‌شدگی
$EF = 1-3$	غنی‌شدگی اندک
$EF = 3-5$	غنی‌شدگی متوسط
$EF = 5-10$	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
$EF = 10-25$	غنی‌شدگی شدید
$EF = 25-50$	غنی‌شدگی خیلی شدید
$EF > 50$	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید

۳-۴-۲- ضریب زمین‌انباشت

ضریب زمین‌انباشت اولین بار توسط مولر (Muller, 1979) پیشنهاد شد و به منظور تعیین آلودگی فلز در رسوبات و مقایسه غلظت فعلی فلزات با غلظت‌های قبل از صنعتی شدن آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Suthar *et al.*, 2009). این ضریب توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right] \quad \text{رابطه (۳-۱۳)}$$

در این رابطه، I_{geo} ضریب زمین‌انباشت، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه خاک یا رسوب، B_n غلظت عنصر مورد مطالعه در مقدار زمینه (میانگین شیل) و ضریب $1/5$ به عنوان تصحیح اثر احتمالی ماتریکس زمینه به دلیل تغییرات سنگ‌شناسی در منطقه است (Muller, 1979). مولر بر اساس این شاخص، آلودگی در رسوبات را در هفت گروه رده‌بندی نمود (جدول ۳-۶):

جدول (۳-۶): رده‌بندی مولر بر مبنای ضریب زمین‌انباشت در تعیین آلودگی رسوبات (Muller, 1979)

رده آلودگی	شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo})	شدت آلودگی
۱	کمتر یا مساوی صفر	غیر آلوده
۲	۰-۱	غیر آلوده تا کمی آلوده
۳	۱-۲	کمی آلوده
۴	۲-۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۵	۳-۴	خیلی آلوده
۶	۴-۵	خیلی آلوده تا به‌شدت آلوده
۷	بزرگ‌تر از ۵	به‌شدت آلوده

۳-۵- تحلیل‌ها و روش‌های آماری به‌کار رفته

به منظور تحلیل آماری داده‌های حاصل از مطالعات انجام شده در این پژوهش از سه روش ضریب همبستگی^۱، تحلیل خوشه‌ای^۲ و تحلیل مؤلفه اصلی^۳ استفاده شد.

۳-۵-۱- ضریب همبستگی

ضریب همبستگی رابطه خطی بین دو متغیر، شدت خطی بودن و معنی‌دار بودن آن را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی (r) همواره بین $+1$ تا -1 تغییر می‌کند. اگر بین دو متغیر (به طور مثال: X و Y) یک رابطه خطی قوی و مثبت وجود داشته باشد در این صورت r نزدیک به $+1$ و یا خود $+1$ است و اگر بین

¹ Correlation Coefficient

² Clustral Analysis

³ Principle Component Analysis

دو متغیر یک رابطه خطی قوی و منفی وجود داشته باشد، r نزدیک به -1 و یا خود -1 خواهد بود. اگر بین دو متغیر رابطه خطی ضعیفی وجود داشته باشد و یا این رابطه معنی دار نباشد؛ در این صورت r نزدیک به صفر و یا خود صفر می‌باشد. برای متغیرهای پیوسته که دارای توزیع نرمال هستند از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌شود و اگر داده‌ها دارای توزیع غیر نرمال باشند در این صورت از ضریب همبستگی اسپیرمن و کندال که روش‌های آماری غیر پارامتریک هستند استفاده می‌شود. در این پژوهش پس از انجام آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و شاپیرو (Shapiro-Wilks) بر روی داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آنها از ضریب همبستگی پیرسون برای تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد.

۳-۵-۲- روش تحلیل خوشه‌ای

آنالیز خوشه‌ای (CA) یکی از انواع تکنیک‌های آماری چند متغیره است که هدف اصلی آن طبقه‌بندی متغیرها بر اساس ویژگی مشابه آنها است. در آنالیز خوشه‌ای طبقه‌بندی خوشه‌ها به گونه‌ای است که متغیرهایی که در داخل یک خوشه جای می‌گیرند بیشترین همگنی و تشابه را با یکدیگر داشته و بین خوشه‌ها حداکثر تفاوت و یا عدم شباهت وجود دارد (Monazami Tehrani, 2012).

۳-۵-۳- روش تحلیل مؤلفه اصلی

روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که دارای کاربردهای فراوانی در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی است. هدف اصلی استفاده از PCA کاهش پیچیدگی متغیرهای ورودی با حجم زیاد اطلاعات به خروجی‌های با ابعاد کوچک‌تر؛ اما با حفظ اطلاعات اولیه است. PCA کاهش ابعاد داده‌ها را از طریق چرخش مؤلفه‌های اصلی حول محورهای عمودی و افقی انجام می‌دهد. در این روش متغیرهایی که در یک مؤلفه قرار می‌گیرند دارای منشاء تغییرپذیری یکسانی بوده و با استفاده از آنها می‌توان رابطه چند بعدی بین متغیرها و یا منشاء آنها را تشخیص داد (Mico et al., 2006).

فصل چهارم:

ارزیابی کیفیت و آلودگی رسوبات

بنادر و رویشگاه‌های حرا

۴-۱- مقدمه

همان‌طور که قبلاً گفته شد امروزه سواحل نقش مهمی در فعالیتهایی مانند ماهی‌گیری، ساخت، تعمیر، بارگیری و تخلیه قایق‌ها و کشتی‌ها، خدمات گمرکی و فعالیتهای توریستی ایفا می‌کنند که مجموعه این فعالیتهای در طول زمان باعث آلودگی (به‌ویژه آلودگی‌های نفتی) سواحل و به خطر انداختن زندگی اکوسیستم‌های ارزشمند موجود در آنها می‌شود. یکی از این اکوسیستم‌ها که امروزه در معرض آلودگی‌های انسان‌زاد قرار گرفته است، جنگل‌های حرا هستند و بدین علت ارزیابی و پایش آلودگی‌ها در رویشگاه‌های این درختان از اهمیت زیادی برخوردار است.

هدف از این فصل، ارزیابی آلودگی‌های نفتی کل و فلزات سنگین رسوبات ساحلی رویشگاه‌های حرا در مناطق تیاب و کلاهی و عوامل احتمالی کنترل‌کننده آنها است. برای این منظور ابتدا به بررسی پارامتر-های فیزیکوشیمیایی رسوبات پرداخته و سپس روند تغییرات آلودگی نفتی و فلزات سنگین در طول منطقه ساحلی و رویشگاه‌های حرا و ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و تمرکز این آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نیز با استفاده از استانداردها و معیارهای مختلف، کیفیت رسوبات از نظر آلودگی به مواد نفتی و فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۴-۲- پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب

مهم‌ترین خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب که در این مطالعه اندازه‌گیری شد عبارتند از: بافت، میزان ماده آلی کل، کربن آلی و pH که در جدول (۴-۱) مقادیر آنها آورده شده است. همچنین در این پژوهش آنالیز هر نمونه به صورت سه بار تکرار انجام شده است و میزان درصد خطای آنالیز هر نمونه برای هر یک از پارامترهای مورد نظر با استفاده از رابطه (۳-۸) محاسبه گردید. این درصد خطاها می‌تواند تا حدودی دقت آنالیزهای انجام شده و همچنین دستگاه‌های مورد استفاده در مراحل مختلف آنالیز و اندازه‌گیری را نشان دهد.

جدول (۴-۱): مقادیر میانگین $\pm$ درصد خطا پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب

Stations	pH	Sand (%)	Silt+Clay (%)	OC (%)	TOM (%)
۱	۸/۱۵ $\pm$ ۰/۰۴	۴۷/۲۰ $\pm$ ۳/۸۲	۵۲/۸۰ $\pm$ ۳/۸۲	۰/۵۵ $\pm$ ۰/۰۳	۵/۶۷ $\pm$ ۰/۷۲
۲	۸/۱۳ $\pm$ ۰/۰۱	۳۶/۰۰ $\pm$ ۲/۲۹	۶۴/۰۰ $\pm$ ۲/۲۹	۰/۵۸ $\pm$ ۰/۲۱	۶/۰۱ $\pm$ ۰/۷۲
۳	۸/۱۶ $\pm$ ۰/۰۱	۵۷/۲۰ $\pm$ ۰/۰۰	۴۲/۸۰ $\pm$ ۰/۰۰	۰/۵۳ $\pm$ ۰/۲۰	۴/۹۷ $\pm$ ۰/۴۷
۴	۸/۱۱ $\pm$ ۰/۰۱	۵۳/۲۰ $\pm$ ۱/۹۱	۴۶/۸۰ $\pm$ ۱/۹۱	۰/۷۰ $\pm$ ۰/۱۲	۶/۴۲ $\pm$ ۰/۴۳
۵	۸/۱۵ $\pm$ ۰/۰۲	۴۶/۵۳ $\pm$ ۵/۱۰	۵۳/۴۷ $\pm$ ۵/۱۰	۰/۶۵ $\pm$ ۰/۱۸	۶/۳۵ $\pm$ ۰/۵۷
۶	۸/۰۸ $\pm$ ۰/۰۴	۷۴/۶۷ $\pm$ ۲/۵۵	۲۵/۳۳ $\pm$ ۲/۵۵	۰/۲۲ $\pm$ ۰/۳۳	۴/۲۰ $\pm$ ۰/۴۶
۷	۸/۱۷ $\pm$ ۰/۰۵	۵۶/۶۷ $\pm$ ۶/۳۷	۴۳/۳۳ $\pm$ ۶/۳۷	۰/۶۲ $\pm$ ۰/۱۴	۳/۵۶ $\pm$ ۰/۱۸
۸	۸/۱۰ $\pm$ ۰/۰۵	۴۸/۶۷ $\pm$ ۱/۲۷	۵۱/۳۳ $\pm$ ۱/۲۷	۰/۵۲ $\pm$ ۰/۲۵	۵/۰۲ $\pm$ ۰/۶۰
۹	۸/۲۱ $\pm$ ۰/۰۸	۳۱/۳۳ $\pm$ ۲/۵۵	۶۸/۶۷ $\pm$ ۲/۵۵	۰/۴۲ $\pm$ ۰/۲۷	۵/۴۰ $\pm$ ۰/۶۹
۱۰	۸/۲۴ $\pm$ ۰/۱۰	۲۶/۶۷ $\pm$ ۱/۴۰	۷۳/۳۳ $\pm$ ۱/۴۰	۰/۵۳ $\pm$ ۰/۱۹	۶/۰۹ $\pm$ ۰/۱۱
۱۱	۸/۱۴ $\pm$ ۰/۱۱	۲۱/۲۰ $\pm$ ۱/۹۱	۷۸/۸۰ $\pm$ ۱/۹۱	۰/۵۳ $\pm$ ۰/۰۸	۶/۲۳ $\pm$ ۱/۰۰
۱۲	۸/۲۰ $\pm$ ۰/۰۵	۶۲/۵۳ $\pm$ ۳/۱۹	۳۷/۴۷ $\pm$ ۳/۱۹	۰/۴۲ $\pm$ ۰/۰۲	۵/۴۰ $\pm$ ۰/۶۶
۱۳	۸/۲۱ $\pm$ ۰/۱۴	۵۶/۵۳ $\pm$ ۱/۲۷	۴۳/۴۷ $\pm$ ۱/۲۷	۰/۵۰ $\pm$ ۰/۰۹	۴/۷۶ $\pm$ ۱/۰۶
۱۴	۸/۲۱ $\pm$ ۰/۱۰	۶۸/۵۳ $\pm$ ۱/۲۷	۳۱/۴۷ $\pm$ ۱/۲۷	۰/۴۴ $\pm$ ۰/۱۱	۲/۸۲ $\pm$ ۱/۳۶
۱۵	۸/۱۵ $\pm$ ۰/۰۵	۳۴/۸۰ $\pm$ ۱/۷۲	۶۵/۲۰ $\pm$ ۱/۷۲	۰/۸۵ $\pm$ ۰/۳۱	۵/۳۹ $\pm$ ۰/۵۱
۱۶	۸/۱۸ $\pm$ ۰/۰۳	۷۰/۸۰ $\pm$ ۲/۱۰	۲۹/۲۰ $\pm$ ۲/۱۰	۰/۲۰ $\pm$ ۰/۰۵	۳/۵۵ $\pm$ ۰/۳۹
میانگین	۸/۱۶ $\pm$ ۰/۰۶	۴۹/۵۳ $\pm$ ۲/۴۲	۵۰/۴۷ $\pm$ ۲/۴۲	۰/۵۲ $\pm$ ۰/۱۶	۵/۱۱ $\pm$ ۰/۶۵

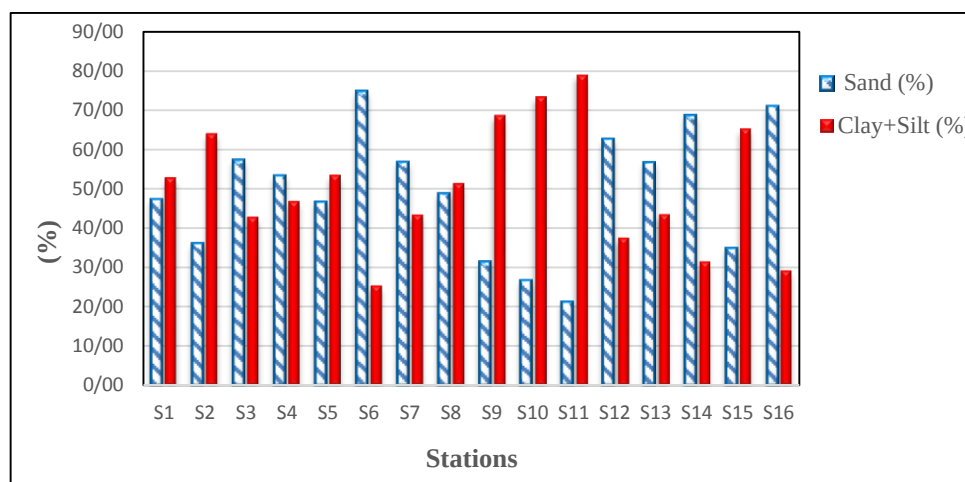
OC: Organic Carbon

TOM: Total Organic Matter

۴-۲-۱- بافت نمونه‌های رسوب

بافت رسوبات یکی از پارامترهای مهم در تمرکز و انباشت آلاینده‌ها در رسوبات است. ذرات دانه‌ریز سیلت و رس موجود در رسوبات به علت داشتن بار سطحی منفی، نقش مهمی در جذب این آلاینده‌ها ایفا می‌کنند (Maktoof *et al.*, 2014). در این مطالعه با استفاده از روش هیدرومتری و روابط (۳-۱) تا (۴-۳) درصد هر یک از ذرات رسوبی تعیین گردید. درصد ذرات دانه‌ریز سیلت و رس در ایستگاه‌های مختلف از ۲۵/۳۳ (در ایستگاه ۶) تا ۷۸/۸۰ (در ایستگاه ۱۱) با میانگین ۵۰/۴۷ درصد تغییر می‌کند و بیشترین درصد آنها مربوط به ایستگاه‌های واقع در رویشگاه‌های حرا (ایستگاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱) است. میانگین ذرات ماسه در ایستگاه‌های نمونه‌برداری برابر با ۴۹/۵۳ درصد است. به طور کلی توزیع اندازه ذرات رسوبی در محیط‌های آبی توسط فرآیندهای مختلفی از قبیل فرآیندهای رسوبی، رواناب‌های زمینی، انرژی امواج و فاصله از منابع ورود مواد رسوبی کنترل می‌شود (Sany *et al.*, 2013). در این پژوهش نیز توزیع اندازه ذرات رسوبی در ایستگاه‌های مختلف با توجه به فاصله از ساحل، تراکم درختان

حرا و وضعیت شدت جریان در محل نمونه‌برداری متفاوت است؛ به طوری که در ایستگاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ به دلیل تراکم بیشتر درختان حرا و کاهش شدت تلاطم امواج، درصد ذرات دانه‌ریز افزایش یافته است؛ زیرا همان‌طور که قبلاً گفته شد درختان حرا نقش بسیار مهمی در تراکم و انباشت ذرات دانه‌ریز ایفا می‌کنند.



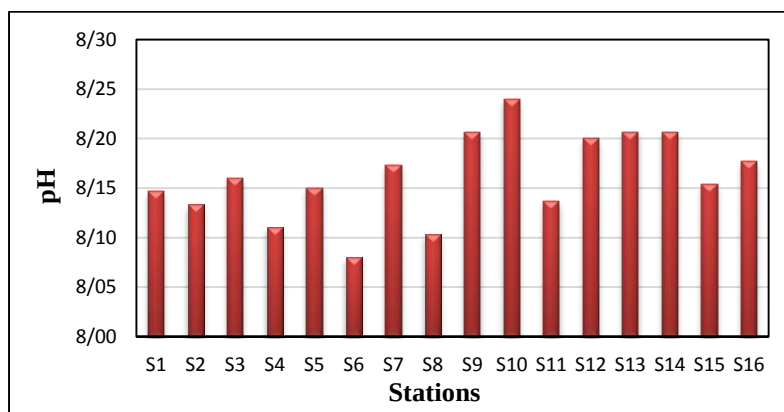
شکل (۴-۱): توزیع اندازه ذرات رسوبی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۱۵ در مجاورت مناطق مسکونی و نواحی ساحلی قرار دارند و احتمالاً مقداری از ذرات دانه‌ریز در هنگام ورود رواناب‌ها از اطراف به این مناطق وارد شده است. همچنین در نقاطی که محل نمونه‌برداری آنها دارای شدت جریان متفاوتی است، یک اختلاف زیاد در بین درصد ذرات دانه‌ریز موجود در آنها دیده می‌شود (ایستگاه‌های ۵ و ۶). در ایستگاه ۶ نمونه‌برداری از نقطه‌ای با شدت جریان زیاد صورت گرفته است و درصد ذرات دانه‌ریز در آن کمتر است؛ زیرا در این شرایط مقدار زیادی از این ذرات توسط امواج شسته شده و از محیط خارج می‌شوند.

۴-۲-۲- pH نمونه‌های رسوب

pH یا غلظت یون هیدروژن، اسیدی یا قلیایی بودن رسوب را نشان می‌دهد. میزان این پارامتر، یک عامل مهم و تأثیرگذار در اکوسیستم‌های آبی است. بر اساس دستورالعمل‌های موجود بازه قابل قبول pH برای محیط‌های ساحلی و دریایی ۶/۵-۸/۵ است (Sany et al., 2013). در این مطالعه pH

اندازه‌گیری شده از ۸/۲۴-۸/۰۸ تغییر می‌کند که بیانگر قلیایی بودن رسوبات منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که در شکل (۲-۴) دیده می‌شود روند تغییرات آن در نقاط مختلف بسیار اندک است که از دلایل آن می‌توان به فاصله کم نقاط نمونه‌برداری و همچنین شرایط تقریباً یکنواخت محیطی در منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. ایستگاه ۶ دارای کمترین مقدار pH (۸/۰۸) و ایستگاه ۱۰ دارای بیشترین مقدار (۸/۲۴) است.

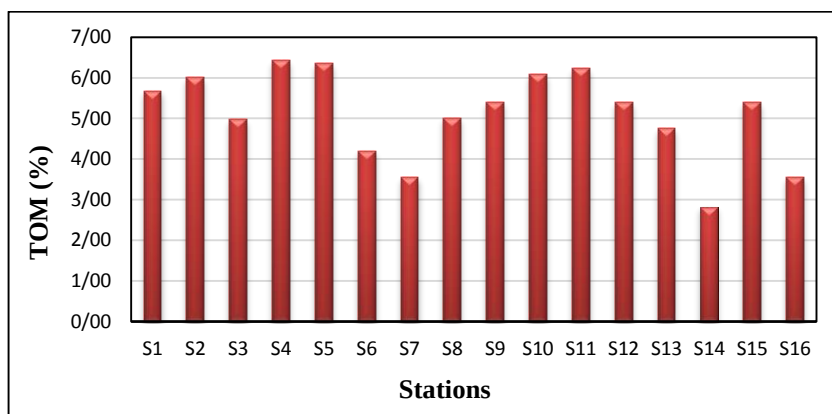


شکل (۲-۴): روند تغییرات pH رسوبات در طول نوار ساحلی

۴-۲-۳- میزان ماده آلی کل نمونه‌های رسوب

منشاء ماده آلی موجود در رسوبات دریایی بیشتر به بقایای گیاهان و جانوران دریایی باز می‌گردد. فاضلاب‌های خانگی و صنعتی نیز می‌توانند یکی از منابع مهم مواد آلی در رسوبات به شمار آیند (Usman et al., 2013). در نمونه‌های مورد مطالعه درصد ماده آلی کل از ۲/۸۲ تا ۶/۴۲ درصد تغییر می‌کند و در محل نقاط نمونه‌برداری روند خاصی را نشان نمی‌دهد؛ اما در بین نقاط مختلف نمونه‌برداری قابل مقایسه است (شکل ۳-۴). بالاترین میزان ماده آلی مربوط به نقاطی است که دارای درصد رسوبات دانه‌ریز بیشتری هستند (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۵). همچنین در تمام ایستگاه‌های ذکر شده (به جز ۱، ۲ و ۱۵) تراکم درختان حرا بیشتر از سایر نقاط است که این درختان خود باعث کاهش شدت تلاطم امواج در نوار ساحلی می‌شوند و در نتیجه شرایط مساعدی را برای تجمع و ته‌نشینی ماده آلی فراهم می‌کنند. از جمله دلایل دیگر بالا بودن نسبی ماده آلی در این مناطق، می‌توان به وجود

تنوع زیستی مانند آبریان و گیاهان دریایی در منطقه (که بخش قابل توجهی از مواد آلی را به خود اختصاص می‌دهند) اشاره کرد (Monazami Tehrani *et al.*, 2016).

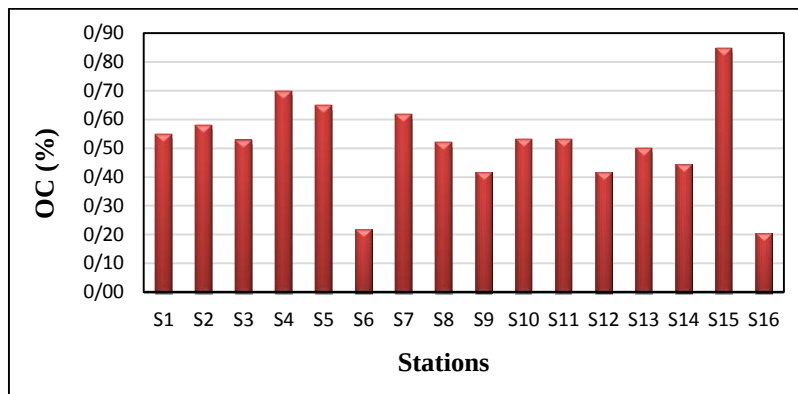


شکل (۴-۳): تغییرات درصد ماده آلی کل در رسوبات

۴-۲-۴- میزان کربن آلی در نمونه‌های رسوب

یکی دیگر از پارامترهای اندازه‌گیری شده در این مطالعه درصد کربن آلی نمونه‌های رسوبی است. همان‌طور که قبلاً گفته شد این پارامتر نیز مانند سایر پارامترهای یاد شده می‌تواند نقش مهمی در تجمع آلاینده‌ها در محیط‌های رسوبی داشته باشد. همچنین در بعضی از موارد درصد بالای این پارامتر به عنوان شاخص آلودگی نفتی شناخته می‌شود (Maktoof *et al.*, 2014). درصد کربن آلی اندازه‌گیری شده در رسوبات مورد مطالعه از ۰/۲۲ تا ۰/۸۵ درصد تغییر می‌کند (شکل ۴-۴). بالاترین میزان درصد کربن آلی مربوط به ایستگاه ۱۵ است. درصد بالای ذرات رسوبی دانه‌ریز در این ایستگاه شرایط مناسبی را برای جذب کربن آلی فراهم می‌کند. مطالعات زیادی نشان داده است که بخش دانه‌ریز به‌ویژه ذرات رس تمایل زیادی به جذب کربن آلی دارند و درصد آن با کاهش میانگین اندازه ذرات رسوبی افزایش می‌یابد (Zhang *et al.*, 2004; Monazami Tehrani *et al.*, 2016). کمترین درصد کربن آلی نیز مربوط به ایستگاه‌های ۱۶ و ۶ است که احتمالاً علت اصلی آن وجود درصد بالای ذرات دانه‌درشت در این ایستگاه‌ها است. ایستگاه ۱ و ۲ در محل اسکله قایق‌های صیادی و لنج‌های تجاری قرار دارند و افزایش کربن آلی در آنها را می‌توان به آلودگی نفتی ناشی از تردد این وسایل نسبت داد. ایستگاه‌های

۴، ۵ و ۷ در مجاورت محل‌های جابه‌جایی سوخت قاجاق (گازوییل) قرار دارند که احتمالاً این عوامل می‌تواند باعث افزایش کربن آلی در رسوبات این ایستگاه‌ها شده باشد.



شکل (۴-۴): تغییرات درصد کربن آلی در نمونه‌های رسوبی

۴-۳- میزان هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های رسوب

ترکیبات هیدروکربنی در همه اقیانوس‌ها وجود دارند و منشاء طبیعی چنین اجزایی ممکن است با منابع طبیعی مانند گیاهان خشکی، فیتوپلانکتون‌های دریایی، میکروارگانیسم‌ها و وجود زیست‌توده مرتبط باشد. با این حال فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی و نشت نفت، نقش قابل توجهی در ورود هیدروکربن‌ها به چنین محیط‌هایی دارند. برخی از این ترکیبات سرطان‌زا و جهش‌زا هستند و باعث تأثیر بر سلامتی موجودات دریایی و همچنین سلامتی انسان (از طریق تغذیه) می‌شوند. از جمله عوامل مؤثر در توزیع هیدروکربن‌ها در محیط دریایی می‌توان، نزدیکی به منابع آلوده‌کننده، انرژی امواج، نوع رسوب و میزان ذرات معلق را نام برد (Silva et al., 2014).

در این پژوهش نیز پس از اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر تجمع و توزیع هیدروکربن‌ها در محیط زیست دریایی، غلظت هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های رسوبی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (برای هر نمونه به صورت سه بار تکرار) و در نهایت از طریق رابطه (۳-۷) تعیین شد که مقادیر آنها در جدول (۴-۲) و روند تغییرات آنها در نمونه‌های رسوب در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود میانگین TPH در کل محدوده مورد مطالعه برابر با ۱/۹۸ میکروگرم بر گرم است و مقادیر آن از ۰/۳۶ میکروگرم بر گرم در ایستگاه شماره ۹ تا ۴/۸۹

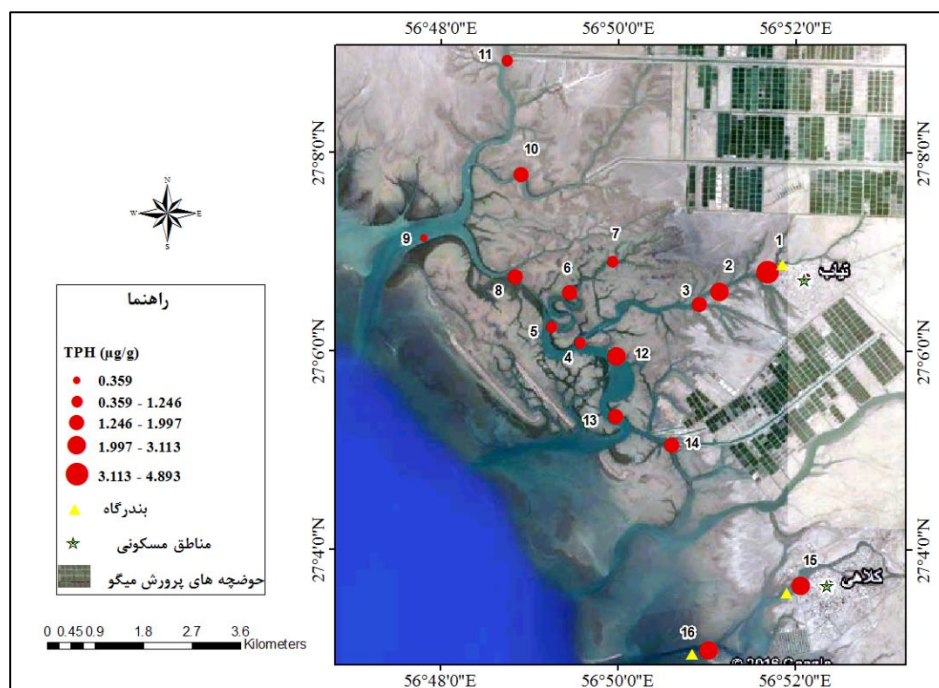
میکروگرم بر گرم در ایستگاه شماره یک تغییر می‌کند. همان‌طور که در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) دیده می‌شود با دور شدن از اسکله و گمرک و همچنین مناطق مسکونی (ایستگاه ۱ تا ۱۱) غلظت هیدروکربن‌ها کاهش می‌یابد و بیشترین غلظت مربوط به ایستگاه‌های واقع در مجاور این تأسیسات است (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۱۵ و ۱۶). ایستگاه‌های شماره ۱ و ۲ در مجاورت اسکله و گمرک بندر تیاب و ایستگاه‌های ۱۵ و ۱۶ در مجاورت پارکینگ و اسکله قایق‌ها و لنج‌های صیادی بندر کلاهی قرار دارند.

جدول (۴-۲): مقادیر میانگین و درصد خطای (±) TPH در نمونه‌های رسوب

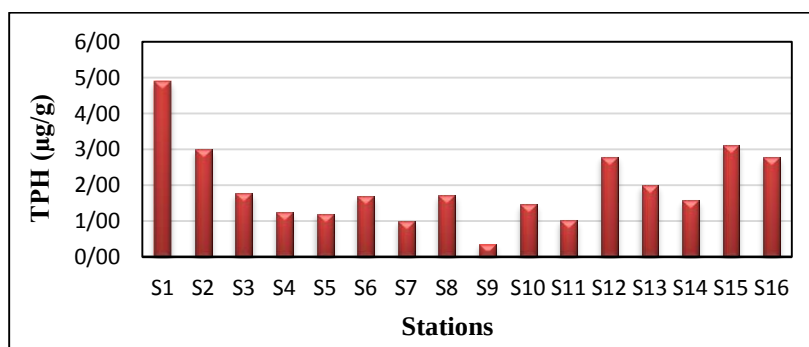
Stations	TPH (µg/g)	Stations	TPH (µg/g)
۱	۴/۸۹±۰/۶۹	۹	۰/۳۶±۰/۲۳
۲	۳/۰۰±۰/۱۸	۱۰	۱/۴۷±۰/۲۲
۳	۱/۷۸±۰/۰۸	۱۱	۱/۰۳±۰/۰۵
۴	۱/۲۵±۰/۲۹	۱۲	۲/۷۹±۰/۱۰
۵	۱/۲۱±۰/۱۷	۱۳	۲/۰۰±۰/۰۶
۶	۱/۶۹±۰/۱۴	۱۴	۱/۵۷±۰/۱۷
۷	۱/۰۱±۰/۰۶	۱۵	۳/۱۱±۰/۴۱
۸	۱/۷۱±۰/۰۳	۱۶	۲/۷۸±۰/۵۲
۱/۹۸ ± ۰/۲۱		میانگین	

از آنجا که تردد لنج‌های تجاری و صیادی و همچنین قایق‌های صیادی و تفریحی در این ایستگاه‌های نمونه‌برداری خیلی بیشتر از سایر نقاط نمونه‌برداری است، لذا احتمالاً غلظت بالای هیدروکربن‌های نفتی در این ایستگاه‌ها ناشی از نشت مواد نفتی است. کمترین غلظت هیدروکربن‌های نفتی مربوط به ایستگاه ۹ است که از جمله دلایل آن می‌توان به فاصله زیاد از منابع آلوده‌کننده، عمق زیاد آب و شدت زیاد انرژی امواج اشاره کرد. غلظت هیدروکربن‌ها در ایستگاه ۱۲ افزایش یافته است؛ زیرا این ایستگاه در مجاورت محل جابه‌جایی سوخت قایق قرار دارد و احتمالاً مقداری از گازوییل وارد شده به آب‌ها در رسوبات این منطقه ته‌نشین شده است. همچنین در بین ایستگاه‌های ذکر شده، ایستگاه‌هایی که شدت جریان امواج در آنها کمتر است، دارای غلظت بیشتری از این آلاینده‌ها هستند (ایستگاه‌های ۵ و ۷)؛ چرا که در این شرایط هیدروکربن‌ها فرصت بیشتری برای ته‌نشین شدن در رسوبات دارند. علاوه بر فاصله از منشأ آلودگی، یکی از دلایل احتمالی کاهش غلظت هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه‌های ۴،

۵، ۷، ۹، ۱۳ و ۱۴ را می‌توان افزایش عمق آب در این ایستگاه‌ها دانست؛ زیرا عمق آب می‌تواند تأثیر قابل توجهی در تمرکز هیدروکربن‌های نفتی داشته باشد و به طور طبیعی با افزایش عمق آب غلظت هیدروکربن‌ها کاهش می‌یابد (Ololade *et al.*, 2009; Monazami Tehrani *et al.*, 2013, 2014, 2016; Maktoof *et al.*, 2014).



شکل (۴-۵): نقشه هم‌غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات منطقه مورد مطالعه



شکل (۴-۶): تغییرات غلظت TPH در رسوبات محدوده مورد مطالعه

مسعود و همکاران (Massoud *et al.*, 1996)، در پژوهشی در منطقه خلیج فارس، مقادیر غلظت TPH در رسوبات منطقه را به ۴ دسته تقسیم نمودند (جدول ۴-۳). در این طبقه‌بندی مقدار ۱۵-۱۰ میکروگرم بر گرم به عنوان حد استاندارد TPH در رسوبات خلیج فارس در نظر گرفته شده است. در مطالعه حاضر

با توجه به اینکه در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری غلظت TPH کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم است، بر اساس طبقه‌بندی مذکور می‌توان رسوبات منطقه مورد مطالعه را در گروه مناطق غیر آلوده قرار داد.

جدول (۳-۴): طبقه‌بندی مناطق بر اساس غلظت TPH (Massoud *et al.*, 1996)

درصد آلودگی منطقه	مقادیر TPH بر حسب $\mu\text{g/g}$
غیر آلوده (مقدار زمینه)	۱۰-۱۵
آلودگی کم	۱۵-۵۰
آلودگی متوسط	۱۵-۲۰۰
آلودگی شدید	>۱۵

در طبقه‌بندی دیگری، گولدرگ (Goldberg, 1976)، رسوبات دریایی را بر اساس غلظت TPH به سه گروه رده‌بندی نمود (جدول ۴-۴). بر اساس طبقه‌بندی ذکر شده، مقادیر TPH در رسوبات بنادر و رویشگاه‌های حرا در منطقه مورد مطالعه به جز ایستگاه شماره یک ($4/89 \mu\text{g/g}$)، پایین‌تر از حد مجاز است. دو ایستگاه دیگری نیز وجود دارند که ممکن است غلظت TPH در آنها به حد آلودگی برسد (ایستگاه‌های ۲ و ۱۵)؛ چرا که این ایستگاه‌ها در ارتباط مستقیم با ورود منابع نقطه‌ای قرار دارند.

جدول (۴-۴): طبقه‌بندی رسوبات دریایی بر اساس غلظت TPHs (Goldberg, 1976)

وضعیت رسوبات	غلظت TPHs بر حسب $\mu\text{g/g}$
رسوبات اقیانوسی غیر آلوده	۱-۴
رسوبات ساحلی با آلودگی متوسط	<۱۰۰
رسوبات خیلی آلوده	>۱۲۰۰۰

۴-۴- غلظت فلزات سنگین و تغییرات آنها در نمونه‌های رسوب

فلزات سنگین به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم برای محیط‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند که عموماً از پساب‌های صنعتی، صنایع وابسته به کشاورزی، فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری، رواناب‌های کشاورزی و نشت مواد نفتی منشاء می‌گیرند و در بسیاری از موارد این آلاینده‌ها باعث مسمومیت آبزیان می‌شوند (Kazemzadeh *et al.*, 2013). رسوبات ساحلی بسته به شرایط محیطی می‌توانند نقش منبع (Source) یا مصرف‌گاه (Sink) فلزات را ایفا نمایند و از طرف دیگر به علت داشتن خواص جذبی بالا، آلودگی فلزی

را بهتر از آب نشان می‌دهند (Karbassi *et al.*, 2008; Sany *et al.*, 2013).

در این پژوهش غلظت فلزاتی چون نیکل، وانادیوم، سرب، روی و کروم در نمونه‌های رسوب با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد که مقادیر آن در جدول (۴-۵) آورده شده است. غلظت فلزات مورد مطالعه به عنوان داده‌های ورودی جهت تهیه نقشه‌های هم‌غلظت عناصر توسط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. هدف از تهیه این نقشه‌ها، مطالعه توزیع عناصر در نقاط مختلف نمونه‌برداری و تعیین نقاط آلوده است. در ادامه تغییرات غلظت هر یک از فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه شرح داده خواهد شد.

جدول (۴-۵): غلظت فلزات سنگین $\pm$ انحراف معیار در رسوبات منطقه مورد مطالعه (برحسب mg/kg) و مقایسه آنها با غلظت فلزات سنگین در رسوبات جهانی، پوسته زمین، رسوبات خلیج فارس و شیل میانگین

Stations	Ni	V	Pb	Zn	Cr
۱	۱۴۶±۰/۴۵	۸۱±۰/۰۳	۹±۰/۰۸	۶۱±۰/۵۵	۱۱۸±۱/۱۴
۲	۱۳۸±۲/۴۵	۷۴±۱/۷۲	۸±۰/۱۷	۵۲±۱/۷۰	۱۱۲±۲/۶۴
۳	۱۳۳±۳/۷۰	۸۲±۰/۲۸	۸±۰/۱۷	۵۱±۱/۹۵	۱۱۹±۰/۸۹
۴	۱۵۴±۱/۵۵	۸۷±۱/۵۳	۸±۰/۱۷	۶۲±۰/۸۰	۱۲۹±۱/۶۱
۵	۱۶۳±۳/۸۰	۸۵±۱/۰۳	۹±۰/۰۸	۶۸±۲/۳۰	۱۲۷±۱/۱۱
۶	۱۵۹±۲/۸۰	۸۷±۱/۵۳	۹±۰/۰۸	۶۲±۰/۸۰	۱۳۶±۳/۳۶
۷	۱۶۲±۳/۵۵	۸۷±۱/۵۳	۹±۰/۰۸	۶۶±۱/۸۰	۱۲۸±۱/۳۶
۸	۱۵۳±۱/۳۰	۸۰±۰/۲۲	۹±۰/۰۸	۶۲±۰/۸۰	۱۲۲±۰/۱۴
۹	۱۴۹±۰/۳۰	۷۳±۱/۹۷	۹±۰/۰۸	۵۷±۰/۴۵	۱۱۵±۱/۸۹
۱۰	۱۴۵±۰/۷۰	۷۷±۰/۹۷	۸±۰/۱۷	۵۷±۰/۴۵	۱۱۴±۲/۱۴
۱۱	۱۵۱±۰/۸۰	۷۷±۰/۹۷	۹±۰/۰۸	۵۹±۰/۰۵	۱۱۸±۱/۱۴
۱۲	۱۵۳±۰/۳۰	۸۹±۲/۳۰	۹±۰/۰۸	۶۱±۰/۵۵	۱۳۴±۲/۸۶
۱۳	۱۴۹±۰/۳۰	۷۹±۰/۴۷	۹±۰/۰۸	۵۹±۰/۰۵	۱۲۲±۰/۱۴
۱۴	۱۳۷±۲/۷۰	۸۳±۰/۵۳	۹±۰/۰۸	۵۳±۱/۴۵	۱۲۷±۱/۱۱
۱۵	۱۴۹±۰/۳۰	۷۵±۰/۴۷	۹±۰/۰۸	۶۳±۱/۰۵	۱۲۱±۰/۳۹
۱۶	۱۲۴±۵/۹۵	۷۸±۰/۷۲	۸±۰/۱۷	۴۸±۲/۷۰	۱۱۹±۱/۸۹
میانگین (مطالعه حاضر)	۱۴۷/۸۱	۸۰/۸۷	۸/۶۸	۵۸/۸۱	۱۲۲/۵۶
رسوبات جهانی ^۱	۵۲	۱۳۰	۱۹	۹۵	۷۲
پوسته زمین ^۱	۷۵	۱۳۵	۱۴	۷۰	۱۰۰
رسوبات خلیج فارس ^۲	۸۶	۷۶	۴/۵	۶۹	-
شیل میانگین ^۳	۶۸	۱۳۰	۲۰	۹۵	۹۰

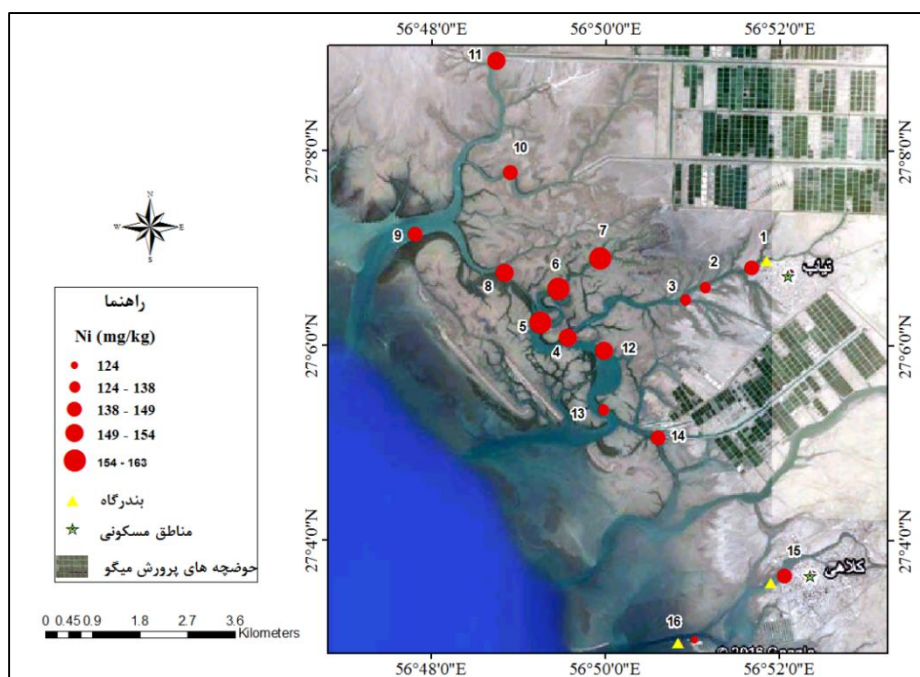
^۱- Bowen, 1979
^۲- Karbassi, 2001
^۳- Turekian and Wedepohl, 1961

۴-۴-۱- نیکل (Ni)

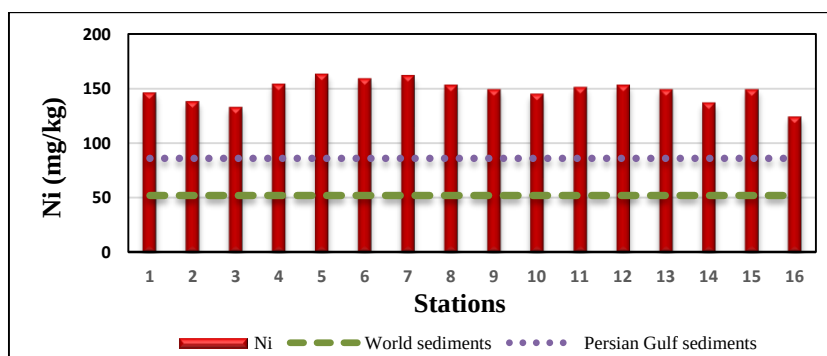
منابع اصلی انسان‌زاد نیکل در محیط‌های دریایی شامل احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع ذوب و تولید آلیاژ است. سمیت این فلز در سیستم‌های آبی وابسته به سختی، شوری، pH و درجه حرارت آب و رسوب است (Nelson and Esmoil, 2001). نیکل یک فلز سرطان‌زا است و مقادیر بیش از حد آن باعث کاهش وزن بدن، بیماری‌های قلب و کبد و همچنین سوزش پوست می‌شود. مقادیر بالای نیکل در خاک و رسوب معمولاً به دلیل فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود (Alomary and Belhadj, 2007).

با توجه به جدول (۴-۵) غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه از ۱۲۴ تا ۱۶۳ (میانگین ۱۴۷/۸۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. شکل‌های (۴-۷) و (۴-۸) توزیع و پراکندگی نیکل در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. همان‌طور که قبلاً گفته شد رسوبات منطقه مورد مطالعه دارای pH قلیایی هستند و نیکل در محیط‌های قلیایی معمولاً تمایل به جذب در سطح رسوبات دارد، لذا غلظت آن در رسوبات افزایش می‌یابد (Kabata Pendias, 2011). نتایج به‌دست آمده از بررسی روند تغییرات غلظت نیکل نشان می‌دهد که غلظت این فلز در رسوبات واقع در مجاورت با تأسیسات بنادر، کمتر از رویشگاه‌های درختان حرا است. افزایش غلظت این فلز در رویشگاه‌های حرا احتمالاً به علت افزایش کربن آلی، ماده آلی و ذرات دانه‌ریز سیلت و رس و همچنین کاهش شدت جریان امواج در این مناطق است. در بین ایستگاه‌های واقع در بنادر (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۱۵ و ۱۶)، ایستگاه‌های ۱ و ۱۵ که در فاصله کمتری از تأسیسات ساحلی مانند اسکله‌های صیادی قرار دارند غلظت نیکل بالاتری دارند و با افزایش فاصله نقاط نمونه‌برداری از این تأسیسات، غلظت نیکل در آنها کاهش می‌یابد. از آنجا که نیکل یکی از اجزای اصلی موجود در ترکیبات نفتی و همچنین مواد رنگی است، افزایش آن در ایستگاه‌های نام‌برده به احتمال زیاد ناشی از فعالیت‌های موجود در این مناطق از جمله سوخت‌گیری، رنگ‌آمیزی، تعمیر و تردد شناورهای دریایی است. کاهش غلظت نیکل در ایستگاه شماره ۱۶ با وجود قرار گرفتن آن در اسکله صیادی بندر کلاهی، احتمالاً ناشی از درصد بالای ذرات دانه‌درشت ماسه و همچنین درصد کم مواد آلی در این ایستگاه است.

همان‌طور که در شکل (۴-۸) نشان داده شده غلظت این فلز در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری از میانگین غلظت آن در رسوبات جهانی (52 mg/kg) (Bowen, 1979) (به جز در ایستگاه شماره ۱۶) و رسوبات خلیج فارس (86 mg/kg) (Karbasi, 2001) بیشتر است که این افزایش غلظت احتمالاً ناشی از آلودگی انسان‌زاد (فعالیت‌های صیادی، قاچاق سوخت، ورود فاضلاب‌های خانگی و تردد شناورها) این فلز در منطقه مورد مطالعه است.



شکل (۴-۷): نقشه هم‌غلظت فلز نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه

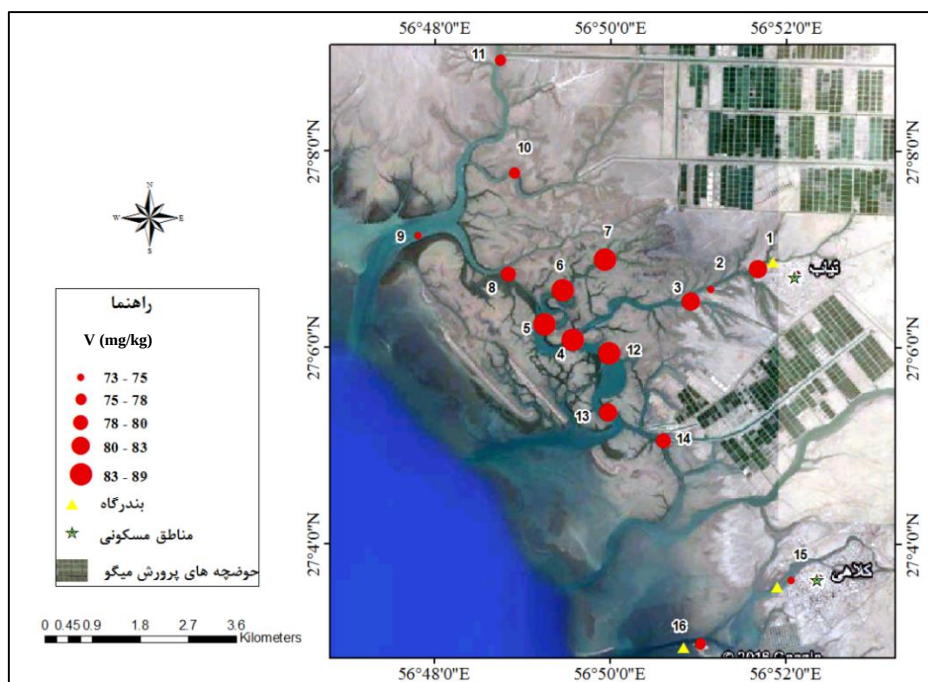


شکل (۴-۸): تغییرات غلظت نیکل در رسوبات محدوده مورد مطالعه

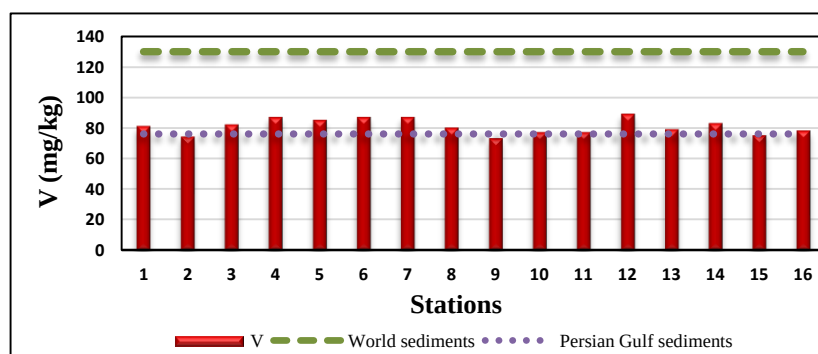
۴-۲-۴- واندیوم (V)

وانادیوم می‌تواند جایگزین آهن و آلومینیوم در شبکه کانی‌های دیگر شود. از طرف دیگر این فلز قابلیت

جذب بر روی کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم را دارد و می‌تواند در محیط همراه با آنها منتقل شود (Kabata Pendias, 2011). وانادیوم نیز همانند نیکل یکی از اجزای اصلی موجود در ترکیب شیمیایی فرآورده‌های نفتی و از جمله عناصری است که در متالورژی، صنایع تولید رنگ، جوهر و همچنین به عنوان یک کاتالیزور استفاده می‌شود. منبع اصلی انسان‌زاد وانادیوم در محیط زیست، احتراق نفت و مشتقات آن و زغال سنگ است (Nelson and Esmoil, 2001). در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه غلظت وانادیوم از ۷۳-۸۹ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر است. نقشه توزیع و پراکندگی وانادیوم در رسوبات منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین غلظت این فلز متعلق به نواحی رویشگاه‌های حرا است (شکل ۴-۹).



شکل (۴-۹): نقشه هم‌غلظت فلز وانادیوم در رسوبات منطقه مورد مطالعه



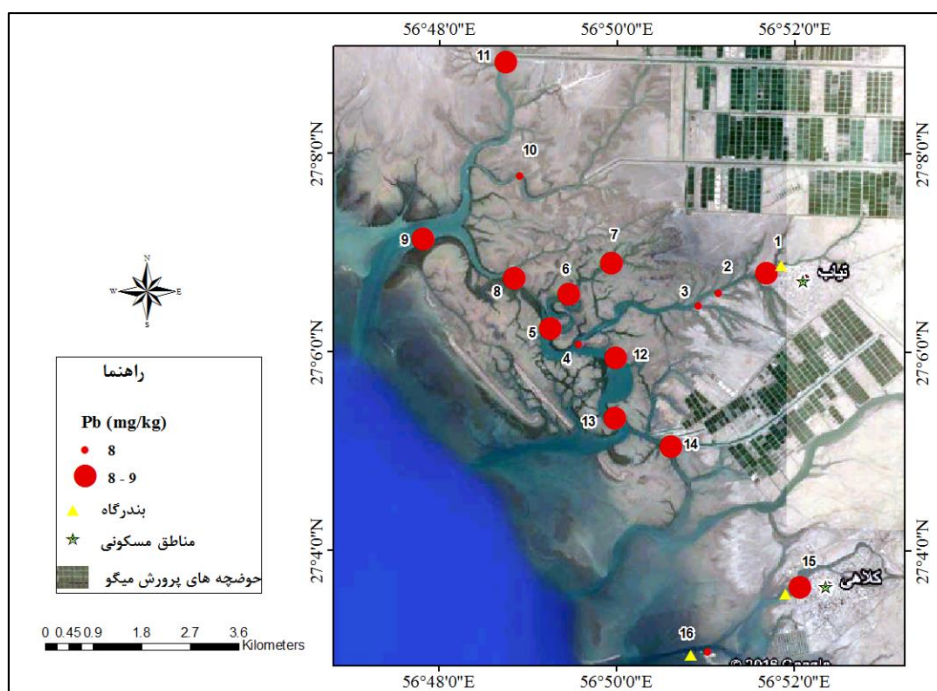
شکل (۴-۱۰): تغییرات غلظت نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه

با توجه به این نقشه غلظت این فلز در ایستگاه‌های نواحی جنگلی (نقاط ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۲ و ۱۳) بالاتر از سایر ایستگاه‌ها است که احتمالاً به دلیل تردد شناورهای دریایی، نشت مواد نفتی و همچنین ویژگی‌های رسوبی (وجود ذرات دانه‌ریز و مواد آلی) است. به طور کلی گستره تغییرات وانادیوم در رسوبات مورد مطالعه یکنواخت است که از دلایل آن می‌توان به یکنواخت بودن ویژگی‌های منطقه (pH، شدت امواج و ویژگی‌های رسوبی) و همچنین تنوع کم منابع آلوده‌کننده آن (فعالیت‌های بنادر و شناورهای صیادی) اشاره کرد. بیشترین غلظت وانادیوم در منطقه مربوط به ایستگاه ۱۲ است. بالا بودن pH و همچنین TPH در این ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های مجاور آن می‌تواند یکی از دلایل افزایش غلظت وانادیوم در این ایستگاه باشد. کمترین غلظت وانادیوم نیز مربوط به ایستگاه ۹ است. این ایستگاه همچنین دارای کمترین غلظت TPH در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. شکل (۴-۱۰) مقایسه غلظت فلز وانادیوم در نقاط نمونه‌برداری با غلظت این فلز در رسوبات جهانی (Bowen, ۵۲ mg/kg, 1979) و رسوبات خلیج فارس (۷۶ mg/kg) (Karbasi, 2001) را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل غلظت فلز وانادیوم در تمام ایستگاه‌ها کمتر از میانگین غلظت آن در رسوبات جهانی و بیشتر از رسوبات خلیج فارس (به جز ایستگاه‌های ۲، ۹ و ۱۵) است. با توجه به غلظت این فلز در رسوبات خلیج فارس، رسوبات منطقه مورد مطالعه را می‌توان آلوده به وانادیوم به حساب آورد.

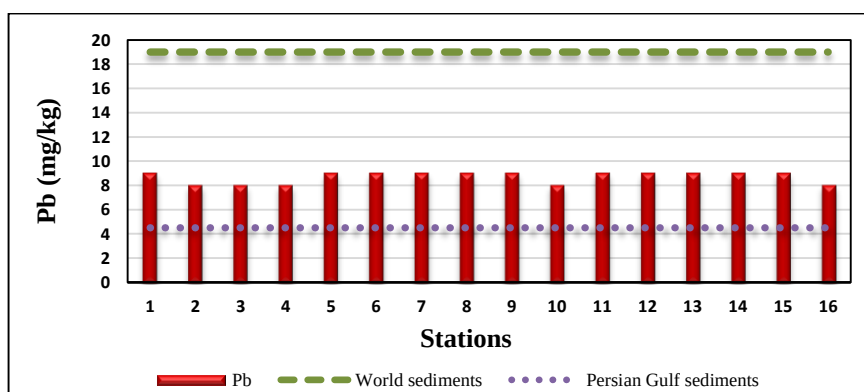
۴-۴-۳- سرب (Pb)

افزایش غلظت فلز سرب در رسوبات دریایی به منابعی چون نشت نفت از قایق‌های صیادی، پساب‌ها و فاضلاب‌های خانگی مرتبط است (Usman et al., 2013). سرب یک عنصر مغذی ضروری نیست و در غلظت‌های بسیار بالا می‌تواند به شدت سمی و خطرآفرین باشد (Nelson and Esmoil, 2001). مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم و کانی‌های رسی تمایل زیادی برای جذب سرب دارند (Kabata Pendias, 2011). میانگین غلظت سرب در نقاط نمونه‌برداری ۸/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و در کل ایستگاه‌های نمونه‌برداری روند تقریباً یکسانی را نشان می‌دهد. شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲)

روند تغییرات غلظت این فلز را در رسوبات مورد مطالعه نشان می‌دهند. در نقشه هم‌غلظت رسم شده، توزیع و پراکندگی تقریباً یکنواخت سرب در منطقه مورد مطالعه مشهود است که این روند احتمالاً به دلیل فاصله کم ایستگاه‌های نمونه‌برداری و یکسان بودن شرایط محیطی (pH رسوبات، انرژی امواج، منابع آلوده‌کننده و شرایط رسوبی) منطقه است.



شکل (۴-۱۱): نقشه هم‌غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه



شکل (۴-۱۲): تغییرات غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه

این نقشه نشان می‌دهد که با وجود یک روند یکسان در غلظت سرب در رسوبات، غلظت آن در توقف-گاه‌های قایق‌های صیادی و مسیرهای تردد این شناورها (ایستگاه‌های ۵ تا ۱۲) تا حدی بیشتر از سایر نقاط نمونه‌برداری است که این افزایش غلظت احتمالاً به دلیل آلودگی ناشی از سوخت این شناورها

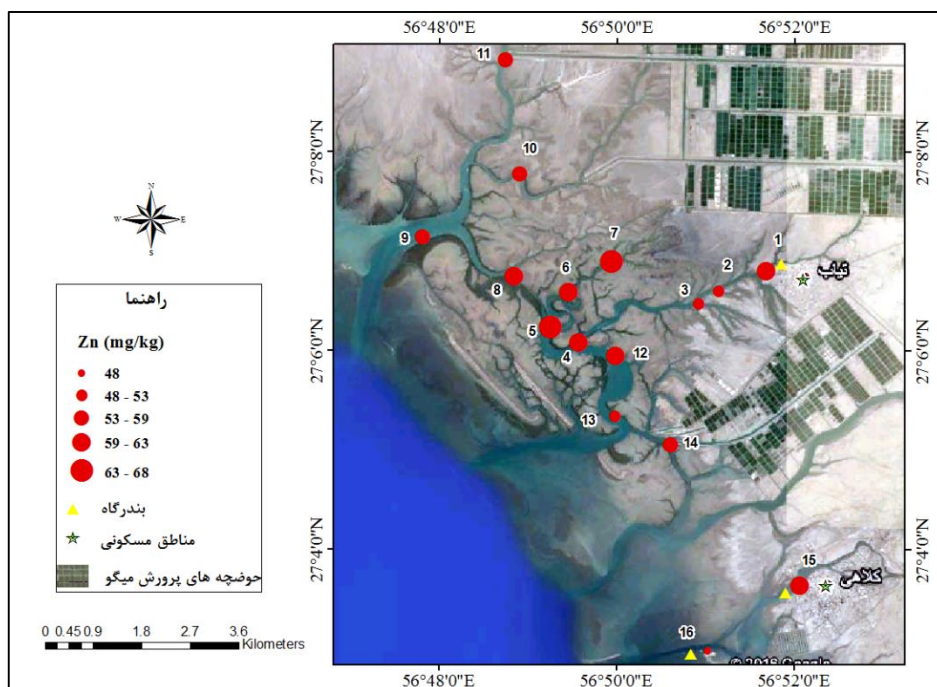
(بنزین) است؛ چرا که سرب یکی از عناصری است که در ترکیب بنزین و گازوئیل وجود دارد (Kucuksezgin *et al.*, 2006). غلظت این فلز در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از غلظت آن در رسوبات جهانی و بیشتر از رسوبات خلیج فارس است؛ بنابراین در مقایسه با غلظت میانگین آن در رسوبات خلیج فارس، رسوبات مورد مطالعه نسبت به سرب تا حدی آلوده هستند.

۴-۴-۴- روی (Zn)

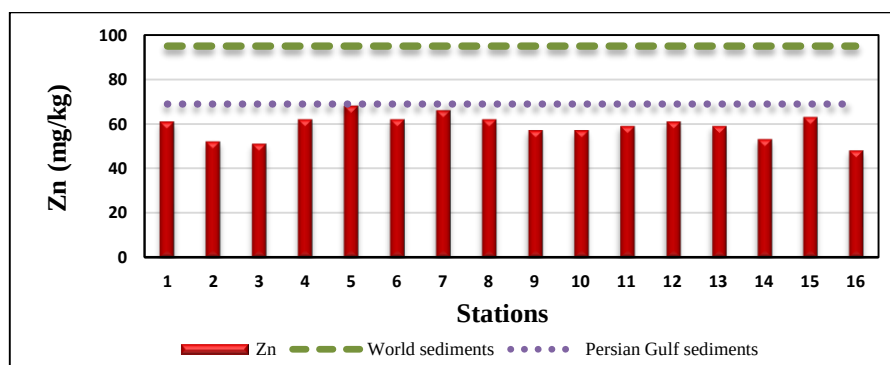
روی یکی از فلزاتی است که امروزه به طور گسترده در تولید فولاد گالوانیزه و به عنوان یک ماده افزودنی در تولید انواع رنگ‌ها استفاده می‌شود. از عمده منابع انسان‌زاد روی در محیط می‌توان به ذوب و احتراق سوخت‌های فسیلی اشاره کرد (Nelson and Esmoil, 2001). امروزه استفاده از رنگ‌های ضد رسوب‌گیر در بدنه شناورهای دریایی برای زدایش گل و لای و موجوداتی مانند کشتی‌چسب بسیار مرسوم است و روی، یکی از فلزات اصلی استفاده شده در این ترکیبات است؛ بنابراین ترکیبات شیمیایی استفاده شده در بدنه شناورها می‌تواند منشاء اصلی و غیر طبیعی فلز روی در رسوبات مناطق ساحلی باشد (مر و همکاران، ۱۳۹۳). شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) توزیع و تمرکز فلز روی را در رسوبات منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. در این مطالعه غلظت روی اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه‌برداری از ۴۸ تا ۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در دو ایستگاه ۱۶ و ۵ متفاوت است و بیشترین غلظت آن (مانند سایر فلزات) مربوط به نمونه‌های واقع در جنگل‌های حرا است.

از عمده‌ترین دلایل این افزایش غلظت می‌توان به کاهش انرژی امواج و افزایش درصد ذرات ریزدانه و ماده آلی در این مناطق اشاره کرد؛ چرا که این عوامل نقش مهمی در جذب بیشتر فلزات در رسوبات دارند (Sany *et al.*, 2013). بیشترین غلظت روی در ایستگاه شماره ۵ (با درصد ماده آلی و ذرات دانه‌ریز فراوان) و کمترین غلظت آن در ایستگاه ۱۶ (با کمترین درصد ماده آلی و ذرات دانه‌ریز رسوب) مشاهده می‌شود. همچنین غلظت این فلز در دو ایستگاه ۱ و ۱۵ (ایستگاه‌های واقع در توقف‌گاه‌های شناورهای صیادی) بیشتر از سایر ایستگاه‌های مجاور آنها است. غلظت آن در رسوبات مورد مطالعه کمتر از رسوبات

جهانی (۹۵ mg/kg) و همچنین رسوبات خلیج فارس (۶۹ mg/kg) است. این امر مبین عدم آلودگی رسوبات مورد مطالعه به فلز روی است.



شکل (۴-۱۳): نقشه هم‌غلظت فلز روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه

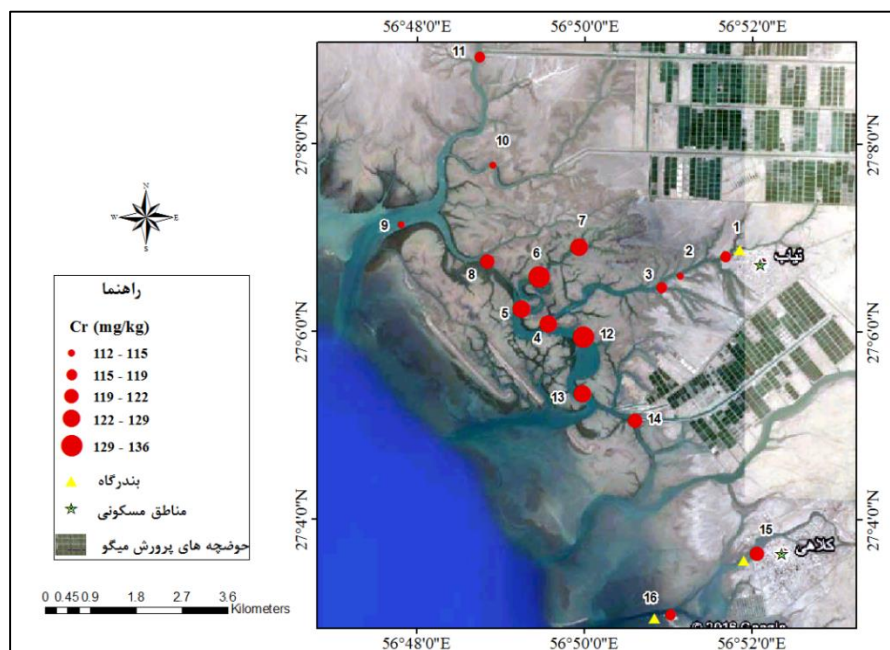


شکل (۴-۱۴): تغییرات غلظت فلز روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه

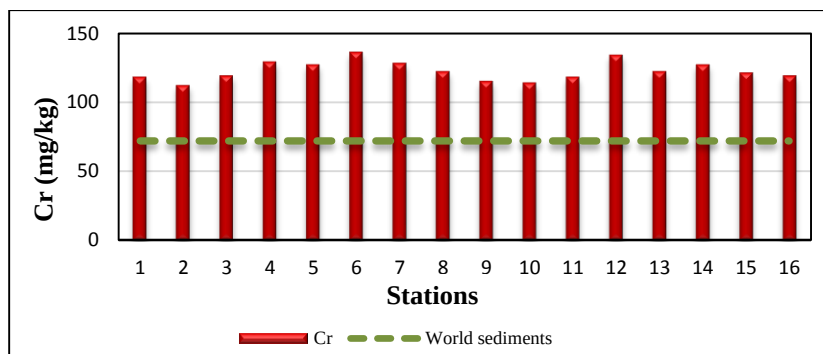
۴-۴-۵- کروم (Cr)

کروم یک فلز کمیاب ضروری به حساب می‌آید؛ اما در مقادیر بالا می‌تواند مسمومیت‌زا باشد. منابع انسان‌زاد کروم در محیط شامل کودهای شیمیایی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، صنایع تولید فلز، زغال‌سنگ، زباله‌سوزهای شهری و تولید سیمان است. کروم در محیط‌های آبی توسط مواد آلی، رس‌ها و کربنات‌ها از آب جذب شده و در رسوبات تجمع می‌یابد (Nelson and Esmoil, 2001). شکل‌های

(۴-۱۵) و (۴-۱۶) نحوه توزیع کروم در رسوبات را نشان می‌دهند. در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه غلظت کروم از ۱۱۲-۱۳۶ میکروگرم بر گرم تغییر می‌کند و این غلظت‌ها در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری از غلظت استاندارد این فلز در رسوبات جهانی ($72 \mu\text{g/g}$) بیشتر است. از آنجا که فلز کروم یکی از عناصر اصلی به‌کار رفته در مواد رنگی و ترکیبات نفتی است افزایش غلظت آن در رسوبات مورد مطالعه را می‌توان به آلودگی انسان‌زاد ناشی از فعالیت‌های مرتبط با بنادر نسبت داد. غلظت این فلز نیز همانند سایر فلزات در ایستگاه‌های واقع در رویشگاه‌های حرا نسبت به ایستگاه‌های واقع در سواحل بیشتر است و بیشترین غلظت آن مربوط به ایستگاه‌های ۶ و ۱۲ و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۲ است.



شکل (۴-۱۵): نقشه هم‌غلظت فلز کروم در رسوبات منطقه مورد مطالعه



شکل (۴-۱۶): تغییرات فلز کروم در رسوبات منطقه مورد مطالعه

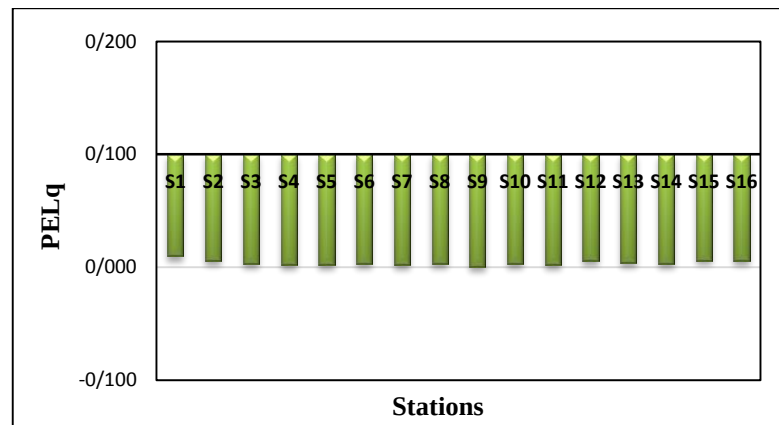
۴-۵- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی

۴-۵-۱- ارزیابی آلودگی‌های نفتی رسوبات

به منظور ارزیابی آلودگی نفتی رسوبات ساحلی بنادر تیاب و کلاهی و رویشگاه‌های حرای این مناطق از شاخص‌های دستورالعمل‌های کیفیت رسوب و ضریب آلودگی استفاده گردید.

۴-۵-۱-۱- دستورالعمل‌های کیفیت رسوب

محاسبه این ضریب روش مناسبی برای تعیین رابطه بین غلظت آلاینده در نمونه رسوب و اثرات بیولوژیکی نامطلوب بر موجودات آبی است. در این مطالعه کیفیت رسوبات با استفاده از رابطه (۳-۱۰) محاسبه گردید. در این رابطه مقدار ۵۰۰ میکروگرم بر گرم به عنوان PEL در نظر گرفته شد و نتایج حاصل از آن در شکل (۴-۱۷) آورده شده است. این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که هیدروکربن‌های موجود در رسوبات در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری فاقد اثرات نامطلوب بیولوژیکی بر زندگی موجودات آبی هستند.

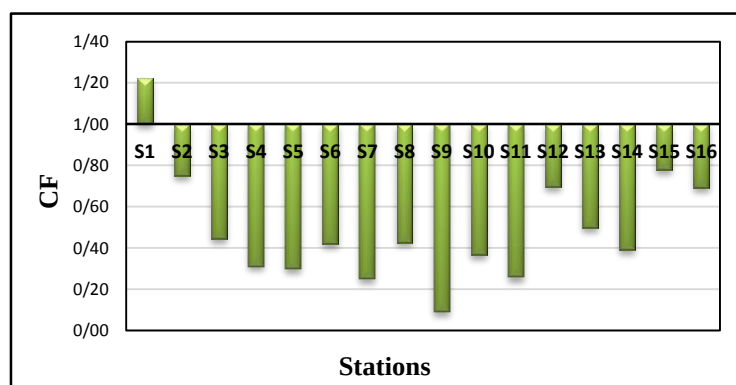


شکل (۴-۱۷): نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت رسوبات به آلاینده‌های نفتی در منطقه مورد مطالعه

۴-۵-۱-۲- ضریب آلودگی

در این پژوهش ضریب آلودگی TPH با استفاده از رابطه (۳-۱۱) محاسبه شد (شکل ۴-۱۸). در این رابطه غلظت ۴ میکروگرم بر گرم به عنوان حد استاندارد TPH در رسوبات ساحلی در نظر گرفته شد

(Monazami Tehrani *et al.*, 2012) و با توجه به جدول (۳-۵) درجه آلودگی رسوبات به هیدروکربن‌های نفتی در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشخص گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارای درجه آلودگی کم هستند و تنها ایستگاه شماره یک ($CF=1/22$) دارای درجه آلودگی متوسط است و احتمال دارد دارای اثرات نامطلوب کمی بر موجودات آبی باشد. این نتایج با نتایج حاصل از طبقه‌بندی انجام شده توسط مسعود (Massoud *et al.*, 1996) و گلدبرگ (Goldberg, 1976) برای ارزیابی آلودگی رسوبات ساحلی به هیدروکربن‌های نفتی همخوانی دارد.



شکل (۴-۱۸): نتایج حاصل از فاکتور آلودگی رسوبات به هیدروکربن‌های نفتی در منطقه مورد مطالعه

چندین عامل به احتمال زیاد موجب کاهش غلظت TPH در منطقه مورد مطالعه گردیده‌اند که از جمله آنها می‌توان به شرایط آب و هوایی (دمای زیاد منطقه و در نتیجه افزایش تجزیه مواد نفتی توسط میکروارگانیسم‌ها) و انرژی هیدرودینامیکی قوی آب‌های ساحلی در بنادر تیاب و کلاهی اشاره کرد. مطالعات زیادی نشان داده است که شرایط آب و هوایی نقش اصلی را در کنترل غلظت هیدروکربن‌های نفتی در مقیاس‌های زمانی ایفا می‌کند. دمای بالا، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فیتوپلانکتون‌های موجود در آب را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش فعالیت آنها در محیط و در نتیجه افزایش تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌های نفتی موجود در آب می‌شود (Ololade *et al.*, 2009; Al-Imarah *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010; Maktoof *et al.*, 2014; Monazami Tehrani *et al.*, 2016). درصد زیاد ذرات ماسه و همچنین مقدار کم کربن و ماده آلی موجود در رسوبات نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل اصلی کاهش

بار آلودگی نفتی در رسوبات مورد مطالعه باشد (Silva et al., 2014).

۴-۵-۲- ارزیابی شدت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین

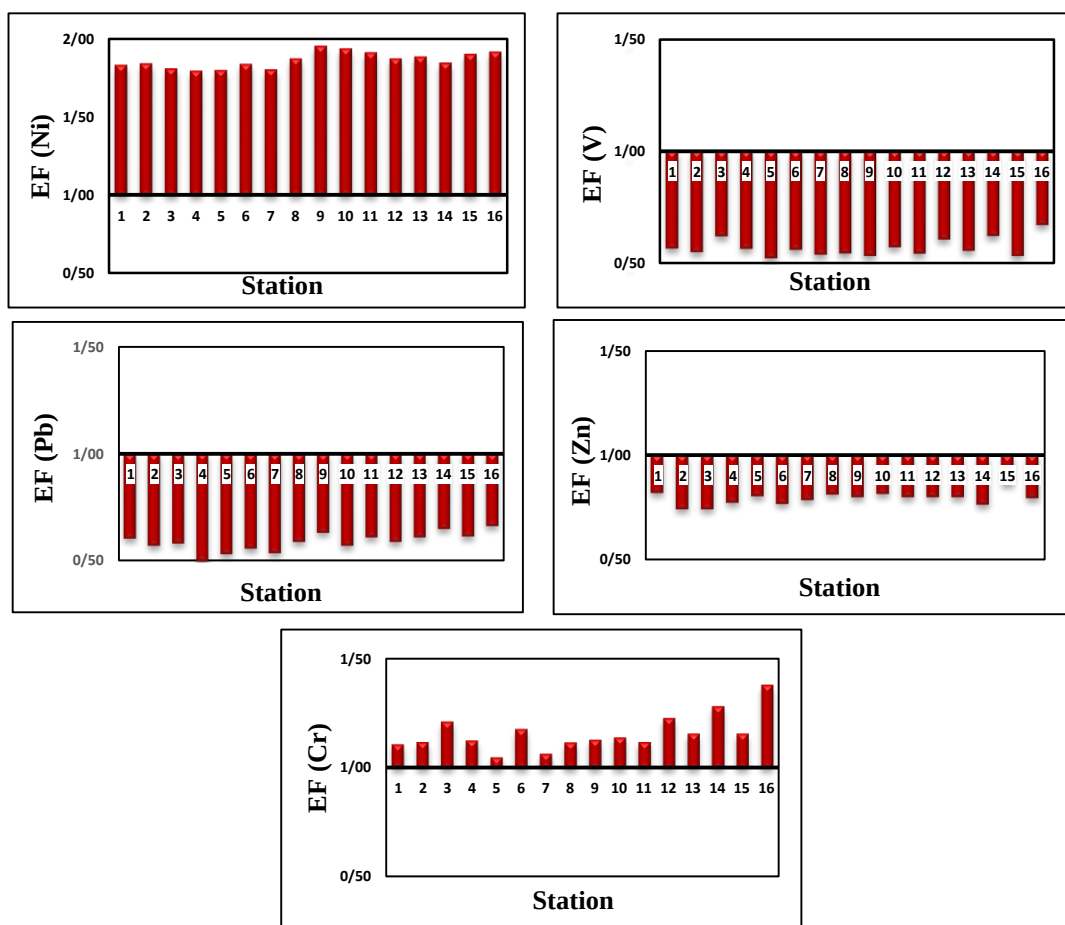
برای تعیین آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه به فلزات سنگین از دو شاخص ژئوشیمیایی ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین‌انباشت استفاده گردید.

۴-۵-۲-۱- ضریب غنی‌شدگی

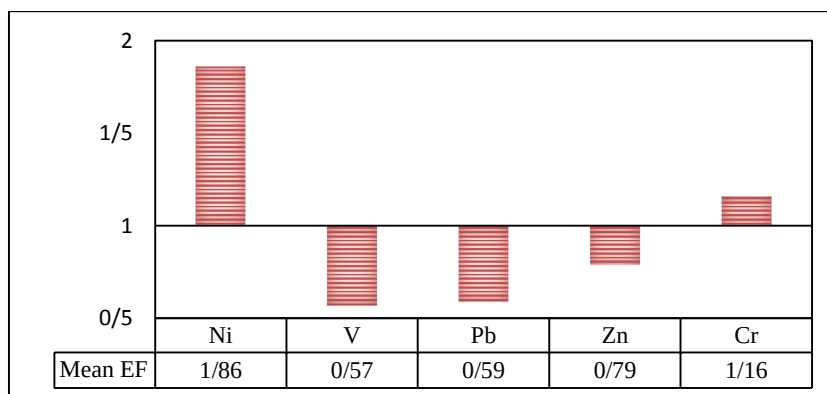
محاسبه این ضریب روش مناسبی جهت تعیین منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی است. در این مطالعه برای محاسبه این ضریب از غلظت میانگین عناصر در پوسته فوقانی^۱ استفاده شد (Bowen, 1979). با توجه به تغییرات کمتر غلظت عنصر Sc ($CV = 0.08$) نسبت به سایر عناصر، این فلز به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد. ضریب غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۳-۱۲) محاسبه گردید که نتایج آن در شکل‌های (۴-۱۹) و (۴-۲۰) آورده شده است.

با توجه به این شکل‌ها فلزات نیکل و کروم در تمام ایستگاه‌ها در رده غنی‌شدگی اندک قرار دارند. بالاترین میزان غنی‌شدگی نیکل مربوط به ایستگاه شماره ۹ (۱/۹۵) و کمترین آن مربوط به ایستگاه شماره ۴ (۱/۷۴) است. وانادیوم، سرب و روی در تمام ایستگاه‌ها در رده بدون غنی‌شدگی قرار دارند. به طور کلی مقایسه میانگین ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد بررسی (شکل ۴-۲۰) معلوم می‌سازد که رسوبات نسبت به نیکل و کروم در رده غنی‌شدگی اندک و نسبت به وانادیوم، سرب و روی در رده بدون غنی‌شدگی هستند. غنی‌شدگی بالای کروم و نیکل در رسوبات مورد مطالعه را می‌توان احتمالاً به منابعی چون اسکله‌های صیادی موجود در خور تیاب و کلاهی، تعمیر و نگهداری شناورهای صیادی، قاقاق سوخت و تخلیه ترکیبات نفتی، تردد شناورهای دریایی در منطقه و همچنین ورود فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری نسبت داد.

¹ Upper Continental Crust



شکل (۴-۱۹): ضریب غنی‌شدگی فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه

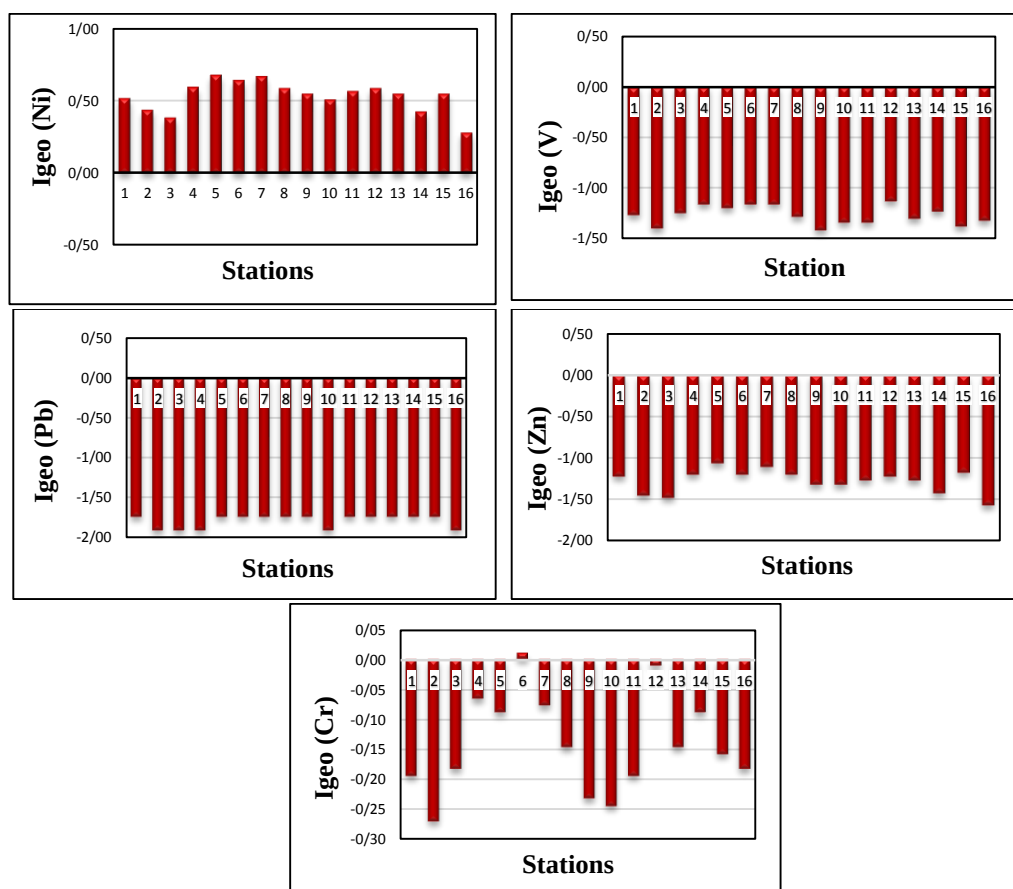


شکل (۴-۲۰): میانگین ضریب غنی‌شدگی فلزات در رسوبات مورد مطالعه

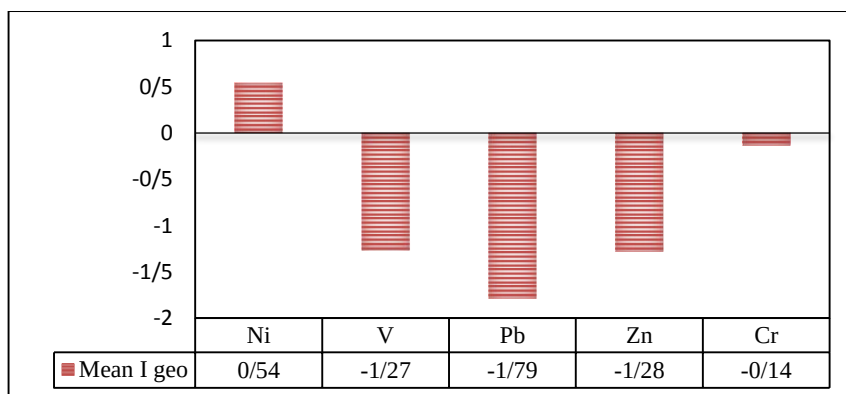
۴-۲-۵-۲- ضریب زمین‌انباشت

به منظور محاسبه شاخص زمین‌انباشت از غلظت فلزات در ترکیب شیل میانگین و رابطه (۳-۱۳) استفاده شد و نتایج حاصل از آن در شکل‌های (۴-۲۱) و (۴-۲۲) آورده شده است. فلزات وانادیوم، سرب، روی و کروم (بجز ایستگاه شماره ۶ که در رده غیر آلوده تا کمی آلوده قرار دارد) در تمام

ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارای شاخص زمین‌انباشت منفی هستند و طبق جدول (۳-۷) در رده غیر آلوده قرار می‌گیرند. نیکل در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رده غیر آلوده تا کمی آلوده قرار می‌گیرد. در نهایت مقایسه میانگین مقادیر ضریب زمین‌انباشت فلزات مورد مطالعه (شکل ۴-۲۲) نشان داد که رسوبات منطقه مورد مطالعه نسبت به فلزات نیکل در رده غیر آلوده تا کمی آلوده و نسبت به سایر فلزات در رده غیر آلوده قرار دارند.



شکل (۴-۲۱): ضریب زمین‌انباشت فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه



شکل (۴-۲۲): میانگین ضریب زمین‌انباشت فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه

از آنجا که نیکل از جمله عناصری است که در ترکیب سوخت‌های فسیلی و سوخت نفت و همچنین در ترکیب رنگ‌ها وجود دارد، احتمالاً انباشتگی بیشتر آن در رسوبات منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود دو اسکله صیادی بنادر تیاب و کلاهی، تردد شناورهای دریایی و همچنین فعالیت‌های مربوط به تعمیر، رنگ‌آمیزی و روغن‌کاری شناورها در سواحل این مناطق است.

۴-۶- تحلیل‌های آماری داده‌ها

امروزه از روش‌های آماری (تک متغیره یا چند متغیره) به شکل گسترده‌ای در مطالعات زیست‌محیطی به‌ویژه ارزیابی آلودگی‌های شیمیایی استفاده می‌شود. این روش‌ها در حقیقت قادرند ضمن توصیف کمی از ویژگی‌های داده‌های موجود، اطلاعاتی در مورد روابط بین متغیرهای اندازه‌گیری شده، عوامل مؤثر بر تغییرپذیری داده‌ها و یا فرآیندهای اصلی کنترل‌کننده آنها و همچنین منشاء احتمالی متغیرها در اختیار قرار دهند. در این مطالعه به منظور ارزیابی رابطه بین متغیرهای رسوب (غلظت TPH، فلزات سنگین و خواص رسوب) از سه روش تحلیل ضریب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی استفاده شد که در زیر به بررسی هر یک از آنها پرداخته می‌شود.

۴-۶-۱- تحلیل همبستگی داده‌ها

جهت تعیین رابطه آماری غلظت فلزات سنگین با یکدیگر و همچنین با غلظت هیدروکربن‌های نفتی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب از روش همبستگی پیرسون^۱ استفاده شد. این ضرایب در دو سطح معناداری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ محاسبه گردید. همان‌طور که در جدول (۴-۶) مشاهده می‌شود میان TPH موجود در رسوب با درصد ذرات دانه‌درشت ماسه یک ضریب همبستگی ضعیف و مثبت (۰/۱۳۰) و با ذرات دانه‌ریز سیلت و رس یک ضریب همبستگی منفی (۰/۱۳۰-) وجود دارد. همبستگی TPH با سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی (TOM, OC و pH) نیز چندان قابل ملاحظه نیست. این نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای ذکر شده، پارامترهای مؤثری در کنترل غلظت TPH در منطقه مورد مطالعه

¹ Pearson Correlation

نبوده و نشان‌دهنده وجود تفاوت در منابع آنها در محیط است؛ به طوری که TPH از منابع انسانی (فاضلاب‌های خانگی و فعالیت بنادر) و کربن آلی از منابع طبیعی (بقایای گیاهان و جانوران) منشاء گرفته است. این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات دیگر که عدم وجود رابطه TPH با ذرات دانه‌ریز و OC را گزارش کرده‌اند یکسان است (Massoud *et al.*, 1996; de Mora *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2014). ذرات دانه‌ریز سیلت و رس دارای یک رابطه معنادار با ماده آلی کل (TOM) ($0/726$) در سطح معناداری $0/01$ و کربن آلی (OC) ($0/534$) در سطح معناداری $0/05$ هستند. این روابط نشان‌دهنده این است که میزان کربن آلی و ماده آلی موجود در منطقه با افزایش درصد ذرات دانه‌ریز افزایش می‌یابد. این همبستگی‌ها در مورد ذرات دانه‌درشت ماسه معکوس می‌شود. pH نمونه‌های رسوبی با هیچ یک از پارامترهای دیگر رابطه معناداری ندارد. بین ماده آلی کل و کربن آلی یک همبستگی مثبت نسبتاً قوی ($0/498$) در سطح معناداری $0/05$ وجود دارد که نشان‌دهنده یکسان بودن منشاء این دو پارامتر در رسوبات مورد مطالعه است.

همبستگی فلزات سنگین با یکدیگر نشان می‌دهد که بین نیکل با سرب و کروم در سطح معناداری $0/05$ و با روی در سطح معناداری $0/01$ رابطه مثبت و بااهمیت وجود دارد. نیکل همچنین با وانادیوم دارای یک ضریب همبستگی ($0/495$) است. همبستگی این فلزات با یکدیگر احتمالاً نشان‌دهنده منشاء یکسان یا مشابه آنها در نمونه‌های رسوب است که به ورود فاضلاب‌های خانگی و فعالیت‌های مربوط به تأسیسات ساحلی (روغن‌کاری، رنگ‌آمیزی، سوخت‌گیری و تردد شناورهای دریایی) در منطقه مربوط می‌شود. از طرفی همبستگی مثبت و ضعیف دو فلز نیکل و روی با بعضی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند (TOM)، (OC) و ذرات ریزدانه سیلت و رس نشان‌دهنده این است که این پارامترها می‌توانند از عوامل کنترل‌کننده غلظت این دو فلز در رسوبات مورد مطالعه باشند. همبستگی بالای وانادیوم و کروم ($0/891$) علاوه بر منشاء انسان‌زاد، احتمالاً به دلیل منشاء و رفتار زمین‌شیمیایی مشابه این عناصر و قرارگرفتن آنها در گروه یون‌های نامتحرک (عناصر هیدرولیزات) است. همچنین این دو فلز دارای یک رابطه معناداری با ذرات ماسه موجود در رسوبات هستند (Neyestani *et al.*, 2016).

جدول (۴-۶): همبستگی هیدروکربن‌های نفتی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه

	TPH	Sand	Silt+Clay	pH	TOM	OC	Ni	V	Pb	Zn	Cr
TPH	۱										
Sand	۰/۱۳۰	۱									
Silt+Clay	-۰/۱۳۰	-۱/۰۰۰**	۱								
pH	-۰/۰۹۷	-۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۱							
TOM	۰/۰۳۴	-۰/۷۲۶**	۰/۷۲۶**	-۰/۱۵۹	۱						
OC	۰/۰۴۶	-۰/۵۲۴*	۰/۵۲۴*	-۰/۰۶۳	۰/۴۹۸*	۱					
Ni	-۰/۳۳۹	-۰/۱۲۷	۰/۱۲۷	-۰/۲۹۸	۰/۸۸۵	۰/۳۲۸	۱				
V	-۰/۰۸۲	۰/۶۶۴**	-۰/۶۶۴**	-۰/۲۲۵	-۰/۲۳۴	-۰/۱۰۵	۰/۴۵۹	۱			
Pb	-۰/۰۴۸	۰/۰۳۳	-۰/۰۳۳	-۰/۰۴۰	-۰/۱۷۵	۰/۰۳۲	۰/۵۹۴*	۰/۱۷۵	۱		
Zn	-۰/۱۴۴	-۰/۱۲۳	۰/۱۲۳	-۰/۲۹۱	۰/۲۹۲	۰/۴۶۸	۰/۹۵۰**	۰/۴۴۷	۰/۶۰۶*	۱	
Cr	-۰/۱۴۴	۰/۶۸۵**	-۰/۶۸۵**	-۰/۲۹۱	-۰/۳۱۶	-۰/۱۷۰	۰/۵۳۳**	۰/۸۹۱**	۰/۳۹۴	۰/۵۰۱*	۱

** معناداری در سطح ۰/۰۱

* معناداری در سطح ۰/۰۵

در مطالعه انجام شده توسط مر و همکاران (۱۳۹۳) در رسوبات ساحلی بخش ایرانی خلیج گواتر نیز رابطه معناداری بین فلزات کروم و وانادیوم و ذرات ماسه دیده شد و بیشترین غلظت این فلزات در سواحل ماسه‌ای پسابندر گزارش شد. همچنین وجود رابطه معنادار بین سرب با روی (۰/۶۰۶) و روی با کروم (۰/۵۰۱)، یکسان بودن منشاء این فلزات را در رسوبات مورد مطالعه اثبات می‌کند. از آنجا که عواملی مانند pH، ماده آلی و ذرات دانه‌ریز از جمله عوامل تأثیرگذار بر تجمع تمام فلزات ذکر شده در رسوبات دریایی به شمار می‌روند (kabata pendias, 2011)، عدم وجود همبستگی بین این پارامترها با توزیع فلزات سنگین در منطقه می‌تواند نشان‌دهنده ورود این فلزات از یک یا چند منبع آلوده‌کننده نقطه‌ای باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمام فلزات دارای یک رابطه منفی خیلی ضعیف با غلظت TPH در رسوبات هستند و این عدم همبستگی مبین منشاء متفاوت این دو پارامتر در محیط است.

۴-۶-۲- تحلیل خوشه‌ای داده‌ها

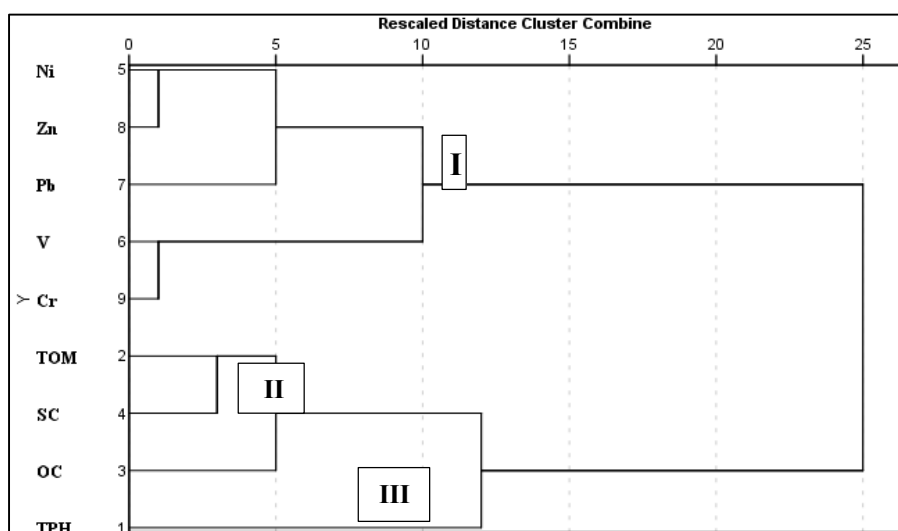
آنالیز خوشه‌ای یکی از انواع تکنیک‌های آماری چند متغیره است که در آن متغیرها بر اساس درجه تشابه^۱ در یک خوشه قرار می‌گیرند (Monazemi Tehran, 2012). در این پژوهش از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد^۲ استفاده شد. روش وارد^۳ در حقیقت بهترین روش خوشه‌بندی داده‌ها به حساب می‌آید؛ چرا که در آن تابع مربع خطاها نیز در نظر گرفته می‌شود (Jordan et al., 1998). نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های حاصل از غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی و همچنین پارامترهای فیزیکوشیمیایی مؤثر بر غلظت آنها در شکل (۴-۲۳) آورده شده است. سه خوشه اصلی (I)، (II) و (III) در شکل دیده می‌شود. خوشه (I) شامل فلزات نیکل، روی، سرب، وانادیوم و کروم است که بر اساس میزان درجه تشابه بین آنها در فاصله‌های مختلفی از هم قرار گرفته‌اند و نشان‌دهنده منشاء مشترک یا یکسان بودن عوامل تغییرپذیری این فلزات در رسوبات مورد مطالعه است. در خوشه (II)

¹ Similarities

² Ward Method Linkage Amalgamation

³ Ward

پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک (TOM، SC^۱ و OC) قرار دارند که احتمالاً دارای یک عوامل تغییرپذیری یکسانی در رسوبات هستند. TPH به تنهایی خوشه (III) را تشکیل می‌دهد و دارای بیشترین فاصله و کمترین شباهت با دو خوشه دیگر است و این امر بیانگر این است که آلودگی نفتی موجود در رسوبات با سایر پارامترهای ذکر شده همبستگی قابل ملاحظه‌ای ندارد. این نتایج با نتایج حاصل از تفسیر همبستگی بین این پارامترها (جدول ۴-۶) همخوانی دارد.



شکل (۴-۲۳): نمودار شاخه درختی TPH، فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های رسوب

۴-۶-۳- تحلیل مؤلفه اصلی

تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی به عنوان روشی برای کاهش ابعاد داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. این کاهش ابعاد داده‌ها معمولاً با چرخش مؤلفه‌های اصلی حول محورهای عمودی و افقی مختصات انجام می‌شود (Mico et al., 2006). در این روش متغیرهایی که دارای خواص ژئوشیمیایی مشابه و یا منشاء مشترک هستند در یک مؤلفه قرار می‌گیرند. هر مؤلفه استخراج شده درصدی از واریانس کل را تشکیل می‌دهد که هر چه درصد این واریانس بیشتر باشد ارزش یا نمره^۲ آن مؤلفه بیشتر خواهد بود. همچنین در هر مؤلفه متغیرهایی که دارای بارگذاری^۳ بیشتر از ۰/۵ هستند به عنوان متغیرهای بااهمیت در نظر

^۱ Silt+Clay

^۲ Eigenvalue

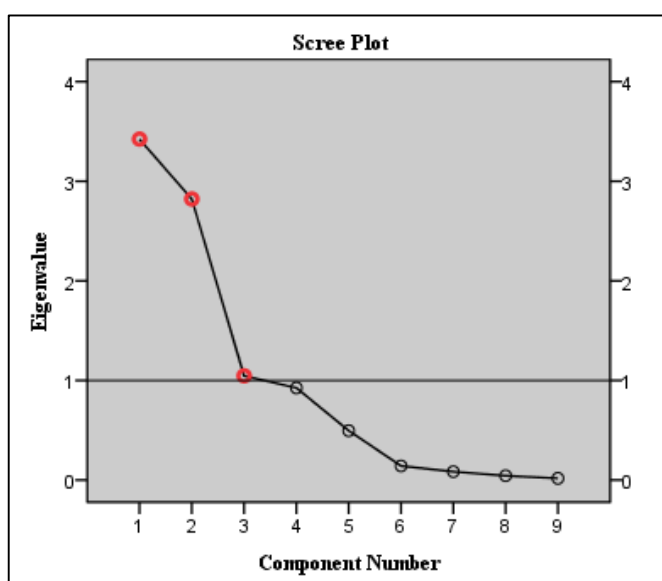
^۳ Loading

گرفته می‌شوند (Chen et al., 2007). نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی داده‌های مربوط به فلزات سنگین، TPH و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در جدول (۷-۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود از داده‌های اولیه ۹ مؤلفه استخراج شده است.

جدول (۷-۴): نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه اصلی بر روی غلظت فلزات سنگین، TPH و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های رسوب

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۳/۴۲۳	۳۸/۰۳۵	۳۸/۰۳۵	۳/۴۲۳	۳۸/۰۳۵	۳۸/۰۳۵	۳/۳۴۷	۳۷/۱۹۳	۳۷/۱۹۳
۲	۲/۸۲۲	۳۱/۳۵۲	۶۹/۳۸۷	۲/۸۲۲	۳۱/۳۵۲	۶۹/۳۸۷	۲/۸۶۰	۳۱/۷۷۸	۶۸/۹۷۱
۳	۱/۰۴۶	۱۱/۶۲۵	۸۱/۰۱۲	۱/۰۴۶	۱۱/۶۲۵	۸۱/۰۱۲	۱/۰۸۴	۱۲/۰۴۱	۸۱/۰۱۲
۴	۰/۹۲۵	۱۰/۲۸۲	۹۱/۲۹۴						
۵	۰/۴۹۶	۵/۵۰۷	۹۶/۸۰۱						
۶	۰/۱۴۲	۱/۵۸۰	۹۸/۳۸۱						
۷	۰/۰۸۴	۰/۹۳۸	۹۹/۳۱۸						
۸	۰/۰۴۴	۰/۴۸۶	۹۹/۸۰۵						
۹	۰/۰۱۸	۰/۱۹۵	۱۰۰/۰۰۰						

از بین این ۹ مؤلفه، ۳ مؤلفه که دارای مقدار ویژه بیش از یک هستند (یعنی درصد بیشتری از واریانس کل را شامل می‌شوند) به عنوان مؤلفه اصلی در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۴-۲۴).



شکل (۴-۲۴): دو مؤلفه اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها با $\text{Eigenvalue} > 1$

در ادامه، مؤلفه‌های اولیه به روش Varimax حول محورهای مختصات چرخانده می‌شود که طی این عمل مؤلفه‌ها به حداکثر اختلاف واریانس می‌رسند. در نهایت ۳ مؤلفه‌ی اصلی چرخش یافته ایجاد شد (جدول ۴-۸) که در شکل (۴-۲۵) موقعیت این ۳ مؤلفه در حالات سه‌بعدی نشان داده شده است.

جدول (۴-۸): دو مؤلفه اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها پس از چرخش به روش Varimax

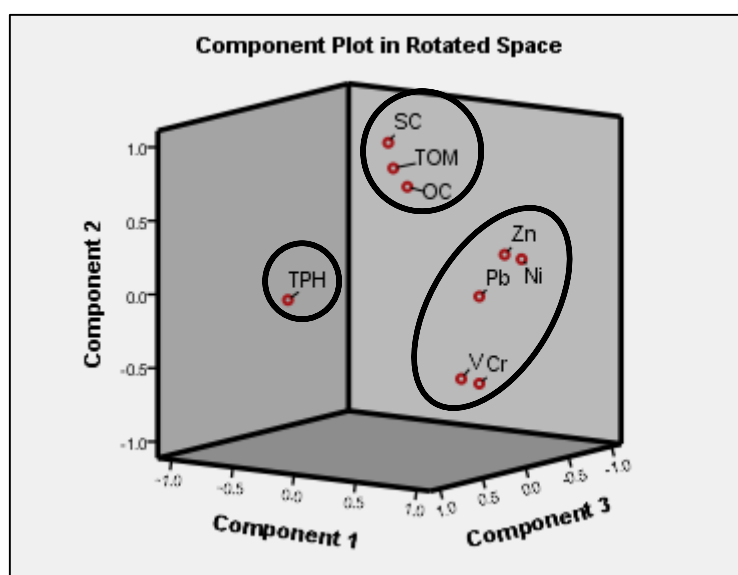
	مؤلفه		
	۱	۲	۳
TPH	-۰/۱۷۲	۰/۰۳۲	۰/۹۳۸
TOM	۰/۰۸۱	۰/۸۲۸	۰/۰۷۲
OC	۰/۲۸۶	۰/۷۴۱	۰/۲۰۰
SC	-۰/۱۸۰	۰/۹۲۹	-۰/۲۴۱
Ni	۰/۹۱۵	۰/۲۵۱	-۰/۲۳۲
V	۰/۷۰۳	-۰/۵۲۷	۰/۱۶۷
Pb	۰/۶۴۴	-۰/۰۱۶	-۰/۱۲۸
Zn	۰/۹۲۷	۰/۳۱۲	-۰/۰۱۹
Cr	۰/۷۷۰	-۰/۵۶۸	۰/۰۵۳

با توجه به شکل (۴-۲۵) و جدول (۴-۷) در مؤلفه اول با ۳۷/۱۹ درصد از واریانس کل، فلزات نیکل، روی، سرب، وانادیوم و کروم بیشترین بارگذاری‌ها را نشان می‌دهند. مؤلفه دوم با ۳۱/۷۷ درصد از واریانس کل، شامل پارامترهای TOM، SC و OC و مؤلفه سوم با ۱۲/۰۴ درصد از واریانس کل، تنها شامل پارامتر TPH می‌باشد. همان‌طور که در ابتدا ذکر شد در هر مؤلفه، متغیرهایی با خواص ژئوشیمیایی مشابه یا منشاء مشترک قرار می‌گیرند؛ بنابراین قرار گرفتن هر یک از پارامترهای فلزات سنگین، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و هیدروکربن‌های نفتی در یک مؤلفه جداگانه بیانگر وجود منشاء متفاوت برای هر کدام از این پارامترها است. با توجه به عدم وجود همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی (مؤلفه دوم) با فلزات سنگین (مؤلفه اول) و هیدروکربن‌های نفتی کل (مؤلفه سوم) می‌توان چنین استنباط کرد که وجود فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات تابع خواص فیزیکوشیمیایی رسوبات نبوده بلکه احتمالاً از دو منشاء متفاوت انسان‌زاد شامل موارد زیر سرچشمه گرفته‌اند:

الف) سوخت‌گیری و تردد شناورها و نشت گازوییل حاصل از قاچاق سوخت (منشاء احتمالی هیدروکربن‌های نفتی)

ب) رنگ‌آمیزی و روغن‌کاری شناورها و فاضلاب‌های تصفیه نشده خانگی (منشاء احتمالی فلزات سنگین سرچشمه گرفته‌اند).

تمامی این نتایج با نتایج حاصل از تحلیل همبستگی و تحلیل خوشه‌ای نیز سازگار است.



شکل (۴-۲۵): نمودار سه‌بعدی بارگذاری متغیرهای مربوط به غلظت فلزات سنگین، TPH و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های مضر هستند که می‌توانند از طریق فعالیت‌های انسان به محیط‌های ساحلی راه یابند و باعث آلودگی و به خطر انداختن حیات اکوسیستم‌های ساحلی و موجودات آبی شوند. یکی از اکوسیستم‌های مهمی که امروزه به‌شدت در معرض این آلاینده‌ها قرار دارد و سطح وسیعی از آنها از بین رفته است، جنگل‌های حرا هستند. این جنگل‌ها نقش بسزایی در حفظ سواحل و به‌خصوص شیلات منطقه ایفا می‌کنند. همچنین باعث افزایش کیفیت آب از طریق به دام انداختن آلاینده‌ها و مواد معلق با استفاده از سیستم ریشه‌ای خود می‌شوند و آنها را درختان آب شیرین‌کن می‌نامند (Walters et al., 2008). بنادر تیاب و کلاهی از جمله بنادر مهم استان هرمزگان در زمینه فعالیت‌های صیادی و تجاری هستند. فعالیت‌های این بنادر ممکن است روزانه باعث ورود حجم زیادی از آلاینده‌ها به محیط‌های ساحلی این مناطق شود. با توجه به مجاورت این بنادر با منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب و اهمیت اکولوژیکی این مناطق، بررسی کیفیت رسوبات این مناطق از نظر آلودگی به آلاینده‌های ذکر شده ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف ارزیابی غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در رسوبات سواحل مجاور بنادر مورد نظر و همچنین رسوبات رویشگاه‌های حرا انجام شده است. برای این منظور ۱۶ نمونه رسوب از این منطقه برداشت شد. پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) و فلزات سنگین در آنها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. سپس نقشه‌های هم‌غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در منطقه تهیه گردید. در نهایت با استفاده از محاسبه ضرایب دستورالعمل‌های کیفیت رسوب (SQG) و فاکتور آلودگی (C_f) برای هیدروکربن‌های نفتی و ضرایب غنی‌شدگی (EF) و زمین‌انباشت (I_{geo}) برای فلزات سنگین و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده، شدت آلودگی و منشاء احتمالی هر یک از آنها تعیین گردید. در این فصل ابتدا نتایج به‌دست آمده از فصل‌های پیشین، به طور خلاصه ارائه شده و در انتها پیشنهادهایی برای مطالعات تکمیلی ارائه خواهد شد.

۵-۲- ارزیابی کیفیت و آلودگی رسوبات سواحل و رویشگاه‌های حرای تیاب

۵-۲-۱- پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات

نتایج حاصل از اندازه‌گیری دانه‌سنجی رسوبات منطقه مورد مطالعه نشان داد که در رسوبات مورد مطالعه میانگین درصد سیلت و رس بیشتر از ذرات ماسه است. بافت رسوبات در منطقه بیشتر تحت تأثیر شدت جریان آب و تراکم درختان حرا است، به گونه‌ای که در نقاطی که شدت جریان آب کمتر و تراکم درختان حرا بیشتر است درصد ذرات ریزدانه نیز بیشتر است و در ایستگاه‌های دارای شدت جریان بیشتر و تراکم درختان حرای کمتر بافت ماسه‌ای غالب است. pH در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدوده قلیایی (۸/۰۸-۸/۲۴) قرار دارد و تغییرات اندکی را نشان می‌دهد که از دلایل آن می‌توان به کم بودن فاصله نقاط نمونه‌برداری و همچنین شرایط تقریباً یکنواخت محیطی در منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. درصد ماده آلی کل (TOM) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری روند خاصی را نشان نمی‌دهد. تغییرات آن در منطقه توسط عواملی چون تنوع زیستی، بافت رسوبات، تراکم درختان حرا و نزدیکی به مناطق مسکونی کنترل می‌شود. ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به دلیل درصد ذرات دانه‌ریز بیشتر، قرار گرفتن در منطقه‌ای با تراکم بیشتر درختان حرا و همچنین سرعت کم جریان آب، دارای درصد بالاتری از ماده آلی هستند. یکی دیگر از پارامترهای اندازه‌گیری شده درصد کربن آلی (OC) است. تغییرات این پارامتر در منطقه مورد مطالعه نیز همانند ماده آلی تا حدی توسط ذرات دانه‌ریز موجود در منطقه کنترل می‌شود. بیشترین درصد کربن آلی متعلق به ایستگاه ۱۵ با بیشترین درصد ذرات دانه‌ریز و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۶ و ۱۶ با بیشترین درصد ذرات ماسه است.

۵-۲-۲- هیدروکربن‌های نفتی کل

با اندازه‌گیری و بررسی تغییرات TPH در رسوبات و همچنین تهیه نقشه هم‌غلظت آنها مشاهده شد که غلظت هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه‌های واقع در اسلکه صیادی بندر کلاهی (۱۵ و ۱۶) و گمرک بندر تیاب (۱ و ۲) نسبت به سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری افزایش یافته است و با افزایش فاصله از این

مناطق غلظت آنها نیز کاهش می‌یابد. از دلایل عمده افزایش غلظت آلودگی نفتی در این ایستگاه‌ها می‌توان به فعالیت‌های مرتبط با این تأسیسات ساحلی (سوخت‌گیری، تعمیر، روغن‌کاری، رنگ‌آمیزی و تخلیه آب توازن شناورهای دریایی) اشاره کرد. کمترین غلظت TPH مربوط به ایستگاه ۹ است. فاصله زیاد از منشأ آلودگی، عمق زیاد آب و شدت زیاد تلاطم امواج در این ایستگاه از جمله دلایل کاهش غلظت TPH در این ایستگاه به شمار می‌رود. به طور کلی فاصله از منشأ آلودگی، عمق آب و شدت جریان امواج را می‌توان از عوامل اصلی کنترل‌کننده غلظت TPH در رسوبات مورد مطالعه در نظر گرفت. مقایسه میانگین غلظت TPH در منطقه مورد مطالعه با میانگین غلظت آنها در رسوبات خلیج فارس و رسوبات جهانی نشان داد که غلظت هیدروکربن‌های نفتی در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری از میانگین غلظت آنها در رسوبات خلیج فارس کمتر بوده و بر اساس این رده‌بندی، منطقه مورد مطالعه در رده مناطق غیر آلوده قرار می‌گیرد. همچنین ارزیابی میزان آلودگی رسوبات به هیدروکربن‌های نفتی توسط شاخص‌های دستورالعمل‌های کیفیت رسوب و فاکتور آلودگی نشان داد که رسوبات در رده آلودگی کم تا متوسط قرار دارند و فاقد اثرات بیولوژیکی بر موجودات آبی هستند. دمای بالای محیط، شدت جریان بسیار زیاد آب در خورهای تیاب و کلاهی، عمق زیاد آب، تنوع بسیار بالای زیستی در جنگل‌های حرا و تراکم جنگل‌های حرا از عوامل تأثیرگذار بر کاهش شدت آلودگی رسوبات در منطقه مورد مطالعه است. میزان هیدروکربن‌های به‌دست آمده در مطالعه حاضر با نتایج سایر مناطق با آب و هوای مشابه و دارای جنگل‌های مانگرو مقایسه شد (جدول ۵-۱). همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌شود غلظت TPH در رسوبات مورد مطالعه نسبت به رسوبات سطحی بندر امام خمینی (Jazani et al., 2013) کمتر است. بندر امام خمینی یک اکوسیستم نیمه‌بسته با اتصال محدود به خلیج فارس است. با توجه به فعالیت گسترده و تردد زیاد شناورهای حمل سوخت و دیگر کالاهای صادراتی در این بندر و همچنین پایین بودن ظرفیت خودپالایی آن، غلظت مواد جامد معلق و آلاینده‌ها در آن زیاد است. غلظت TPH در سایر مطالعات انجام شده با پژوهش حاضر تقریباً در یک بازه قرار دارند؛ زیرا این مناطق از شرایط آب و هوایی و منابع آلوده‌کننده مشابهی برخوردار هستند. علاوه بر این نتایج حاصل از پژوهش انجام شده در رسوبات

ساحلی و جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس (Mohebbi et al., 2015) نشان می‌دهد که غلظت TPH در رسوبات بنادر بیشتر از رسوبات جنگل‌های حرا است که با نتایج این پژوهش مشابه است.

جدول (۵-۱): غلظت TPH (بر حسب $\mu\text{g/g}$) در رسوبات نواحی مختلف و رسوبات مورد مطالعه

موقعیت	غلظت TPH	منبع
جنگل‌های حرای خوران	۱/۲۲-۶/۸۵	مرتضوی و میزاسماعیلی، ۱۳۹۰
اروند رود و شمال غربی خلیج فارس	۲/۴۶-۳/۸۳	Al-Saad, 1995
بخش‌های مختلف دریای عمان	۰/۰۵-۱/۳۰	Tolosa et al., 2005
بخش‌های مختلف دریای عمان	۰/۱۰-۴/۱۰	de Mora et al., 2010
ایران (جزیره خارک، بندرعباس و رود مند)	۰/۱۰-۲/۷۰	de Mora et al., 2010
رسوبات سطحی بندر امام خمینی-بندرعباس	۳۲/۷۳-۹۷/۱۵	Jazani et al., 2013
جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس	۰/۲۰-۰/۶۳	Mohebbi et al., 2015
سواحل شمالی خلیج فارس	ND-۱/۷۲	
جنگل‌های حرای تیاب و کلاهی	۰/۳۶-۴/۸۹	مطالعه حاضر

ND: غیر قابل تشخیص

۵-۲-۳- فلزات سنگین

اندازه‌گیری و بررسی غلظت هر یک از فلزات سنگین در رسوبات بنادر و رویشگاه‌های حرا نشان داد که غلظت نیکل در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری بالاتر از میانگین رسوبات جهانی و همچنین رسوبات خلیج فارس (به جز ایستگاه ۱۶) است. از آنجا که نیکل یکی از فلزات اصلی موجود در ترکیبات نفتی و مواد رنگی و روغنی است، به نظر می‌رسد افزایش غلظت آن در رسوبات به فعالیت‌های بنادر و شناورهای صیادی موجود در منطقه وابسته باشد. ایستگاه شماره ۱۶ دارای کمترین میزان نیکل در منطقه است که دلیل آن احتمالاً درصد بالای ذرات دانه‌درشت ماسه و همچنین درصد کم مواد آلی در این ایستگاه است. همچنین نقشه هم‌غلظت فلز نیکل نشان داد که بیشترین غلظت آن مربوط به ایستگاه‌های واقع در رویشگاه‌های حرا است؛ چرا که این مناطق دارای بیشترین درصد مواد آلی و ذرات دانه‌ریز و همچنین کمترین مقدار انرژی امواج هستند. غلظت وانادیوم در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از استاندارد رسوبات خلیج فارس است. تغییرات آن در بیشتر ایستگاه‌ها مشابه با تغییرات نیکل است و علت آن را می‌توان به منشاء

یکسان و عوامل کنترل‌کننده مشابه این دو فلز در رسوبات نسبت داد؛ زیرا این دو فلز از فلزات اصلی موجود در ترکیبات نفتی هستند. غلظت سرب در کل محدوده مورد مطالعه تقریباً یکنواخت است و از میانگین غلظت آن در رسوبات خلیج فارس بیشتر است که دلیل آن احتمالاً آلودگی ناشی از سوخت شناورهای صیادی و تفریحی است. فلز روی در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارای غلظت کمتری از میانگین غلظت آن در رسوبات جهانی و خلیج فارس است. الگوی پراکندگی این فلز در منطقه مورد مطالعه مشابه با فلز نیکل است. بیشترین غلظت کروم مربوط به ایستگاه ۶ با بیشترین درصد ذرات ماسه است. روند تغییرات آن در منطقه شباهت زیادی به وانادیوم و به مقدار کمتر به فلزات نیکل و روی دارد؛ زیرا این فلزات از جمله فلزات اصلی موجود در ترکیب رنگ‌ها هستند و می‌توانند از طریق فعالیت‌های چون رنگ‌آمیزی و تردد شناورهای دریایی وارد آب‌های ساحلی شده و سپس در رسوبات ته‌نشین شوند. غلظت کروم در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری از میانگین غلظت آن در رسوبات جهانی بیشتر است. به طور کلی نقشه‌های هم‌غلظت فلزات نشان داد که غلظت تمام فلزات ذکر شده در این پژوهش در رویشگاه‌های حرا بیشتر از سواحل بنادر است؛ چرا که مناطق ساحلی واقع در خورهای تیاب و کلاهی در تماس مستقیم با جریان شدیدتر امواج قرار دارند؛ ولی سواحل دریا در رویشگاه‌های حرا دارای انشعابات بسیار زیادی هستند و این باعث می‌شود تحت تأثیر جریان‌ات ضعیف‌تری قرار گیرند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سرعت رفت و برگشت آب‌های آلوده در رویشگاه‌های حرا کمتر و زمان تماس آنها با رسوبات بیشتر است و در نهایت میزان بیشتری از فلزات سنگین توسط ریشه‌ها جذب شده‌اند. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در افزایش غلظت فلزات سنگین در رویشگاه‌های حرا شرایط احیایی حاکم در این مناطق است؛ زیرا فلزات سنگین در شرایط احیایی تمایل دارند در رسوبات ته‌نشین شوند.

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی شدت آلودگی رسوبات با استفاده از ضریب غنی‌شدگی مشخص شد که رسوبات در منطقه مورد مطالعه نسبت به دو فلز نیکل و کروم دارای غنی‌شدگی اندک هستند و نسبت به سرب، روی و وانادیوم در رده بدون غنی‌شدگی قرار دارند. غنی‌شدگی بیشتر فلزات نیکل و کروم احتمالاً به ورود آنها به وسیله منابع انسان‌زاد (فاضلاب‌های خانگی و تأسیسات ساحلی) و همچنین

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات (مواد آلی، ذرات رسوبی و pH) مربوط می‌شود. ضریب زمین‌انباشت محاسبه شده برای فلزات سنگین نیز نشان داد که فلزات وانادیوم، سرب، روی و کروم با توجه ضریب زمین‌انباشت منفی، در تمام ایستگاه‌ها در رده غیر آلوده قرار می‌گیرند و نیکل در تمام ایستگاه‌ها در رده کمی آلوده قرار می‌گیرد. به طور کلی نتایج این پژوهش پیش‌بینی و فرض اولیه ما را کاملاً دگرگون کرد؛ زیرا انتظار بر این بود که مناطقی مانند رویشگاه‌های حرا نسبت به بندرگاه‌های تیاب و کلاهی که در فاصله بیشتری از تماس مستقیم با آب‌های آلوده قرار دارند از آلودگی فلزی بیشتری برخوردار باشند. این نتایج نگران‌کننده است؛ زیرا معمولاً اکثر برنامه‌های حفاظتی، کنترلی و پایشی بر روی مناطق مجاور و یا نزدیک به فعالیت‌های نفتی متمرکز می‌شوند؛ با وجود اینکه این پژوهش نشان داد که بافت رسوبات و عوامل فیزیکی دیگری به جز فاصله تا منشأ آلودگی در میزان جذب فلزات سنگین مؤثر بوده‌اند.

نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه با دیگر مطالعات انجام شده در رسوبات مناطق ساحلی و جنگل‌های حرا (شرایط تقریباً مشابه با پژوهش حاضر) در جدول (۵-۲) آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود غلظت فلزات سنگین در پژوهش حاضر نسبت به برخی از مناطق کمتر و نسبت به برخی از آنها بیشتر است. به طور مثال غلظت نیکل و وانادیوم در رسوبات مورد مطالعه بیشتر از سایر مناطق یاد شده است، در حالی که غلظت سرب در اکثر مطالعات انجام شده بیشتر از مطالعه حاضر است. اختلاف موجود در بین غلظت فلزات در مطالعات مختلف احتمالاً ناشی از تفاوت در نوع منابع آلوده‌کننده، شرایط نمونه‌برداری و ویژگی‌های رسوب‌شناسی منطقه است.

۵-۲-۴- تحلیل‌های آماری داده‌ها

نتایج حاصل از همبستگی داده‌ها به روش پیرسون نشان داد که بین TPH و پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده رابطه معنادار قابل توجهی وجود ندارد. این عدم وابستگی نشان‌دهنده این است که غلظت هیدروکربن‌های نفتی موجود در رسوبات توسط پارامترهای فیزیکوشیمیایی کنترل نمی‌شود؛ بلکه احتمالاً از یک منبع آلودگی نقطه‌ای وارد محیط شده‌اند. رابطه معنادار مثبت و نسبتاً قوی بین

جدول (۵-۲): غلظت فلزات سنگین در رسوبات دریایی نواحی مختلف و رسوبات مورد مطالعه

موقعیت	نیکل	وانادیوم	سرب	روی	کروم	رفرنس
جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس	۴۵/۸-۹۷/۲	۱۷/۹-۳۸/۷	-	-	-	مرادی و همکاران، ۱۳۹۳
بخش ایرانی خلیج گواتر	۲۵/۰-۱۲۱/۷	۲۶/۰-۶۲/۰	۱۱/۶-۴۸/۰	۳۰/۹-۱۱۸/۹	۳۱/۴-۷۳/۹	مر و همکاران، ۱۳۹۳
دریای عمان	۹/۹-۴۶/۰	۱۰/۴-۴۸/۰	۱/۲-۷/۲	۷/۷-۹/۸	۶۶/۰	Fowler <i>et al.</i> , 1993
دریای عمان	۱/۸-۷۷/۸	۴/۷-۴۴/۱	۰/۲-۱/۸	۱/۵-۱ ۱/۴	۶/۴-۱۳۳/۰	de Mora <i>et al.</i> , 2004
رسوبات خلیج فارس	۹۶/۷-۱۳۳/۴	-	۳۳/۵-۸۰/۶	۳۴/۲-۶۵/۹	۱۰۶/۸-۱۸۱/۹	Karbassi and Bayati, 2005
رسوبات خلیج فارس	۲۰/۰-۱۹۲/۰	۴۷/۴-۵۷/۹	۳/۰-۱۰/۰	۴/۰-۷۹/۰	۹۲/۳-۱۰۴/۱	Agah <i>et al.</i> , 2012
جزیره خارک	۱۱۲/۳-۱۲۶/۹	۱۵/۹-۲۸/۶	۸/۳-۱۲/۶	-	-	Kazemzadeh <i>et al.</i> , 2013
شمال خلیج فارس	۹۱/۴-۱۰۱/۶	۶۳/۳-۷۰/۹	۶/۰-۹/۲	۵۰/۵-۵۷/۳	۹۳/۳-۱۰۵/۵	Neyestani <i>et al.</i> , 2016
جنگل‌های حرای تیاب و کلاهی	۱۲۴/۰-۱۶۳/۰	۷۳/۰-۸۹/۰	۸/۰-۹/۰	۴۸/۰-۶۸/۰	۱۱۲/۰-۱۳۶/۰	مطالعه حاضر

مواد آلی و کربن آلی با ذرات دانه‌ریز رسوبی نشان‌دهنده وجود رابطه مستقیم بین آنها در منطقه مورد مطالعه است. در بین فلزات مورد مطالعه، تمام فلزات نیکل، وانادیوم، سرب، روی و کروم دارای یک همبستگی معنادار با یکدیگر هستند که دلالت بر منشاء (احتمالاً منشاء انسان‌زاد) یا عوامل کنترل‌کننده یکسان غلظت این فلزات در محیط است. یکی از موارد دیگری که در همبستگی بین داده‌ها دیده می‌شود این است که بین TPH و فلزات سنگین هیچ همبستگی وجود ندارد و بیانگر وجود دو منشاء متفاوت در منطقه مورد مطالعه برای پارامترهای ذکر شده است. نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای نیز مؤید نتایج همبستگی داده‌ها است؛ به طوری که بر طبق نتایج این روش، فلزات نیکل، وانادیوم، سرب، روی و کروم در یک خوشه قرار می‌گیرند. ذرات دانه‌ریز، ماده آلی کل و کربن آلی نیز در یک گروه جداگانه قرار دارند و TPH نیز به تنهایی یک خوشه جداگانه را تشکیل می‌دهد.

نتایج حاصل از روش تحلیل مؤلفه اصلی نیز تأییدی بر دو روش آماری قبلی است؛ به طوری که مؤلفه اول دارای بارگذاری مثبت و بالایی از فلزات سنگین است. مؤلفه دوم را ذرات دانه‌ریز سیلت و رس، ماده آلی کل و کربن آلی و مؤلفه سوم را پارامتر TPH تشکیل می‌دهد.

۵-۲-۵- پیشنهادها

۱. بررسی روند تغییرات هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی و عمقی در فصول مختلف سال
۲. اندازه‌گیری و ارزیابی غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) در رسوبات سطحی و عمقی و تعیین منشاء آنها با استفاده از آلکان‌های نرمال
۳. بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل (TPHs) و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در رسوبات و ریشه درختان سبز و خشکیده و مقایسه آنها با یکدیگر
۴. ارزیابی میزان زیست‌دسترس‌پذیری هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین در رسوبات و درختان

حرا

منابع

منابع فارسی

- ابراهیمی سیریزی، ز. ریاحی بختیاری، ع.ا. و غفاری، س. (۱۳۹۲). "ارزیابی خطر آلودگی نفتی در رسوبات منطقه حفاظت شده حرا با اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای." *مجله دانشگاهی علوم پزشکی مازندران*. دوره ۲۳، ص ۱۹۴-۱۸۶.
- تاجیک، م. خامه چیان، م. و چرخانی، ا.ح. (۱۳۹۲). "بررسی زمین زیست‌محیطی توزیع آلودگی‌های نفتی در رسوبات ساحلی (مطالعه موردی استان بوشهر)." *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره ۱۵، شماره ۳، ص ۶۵-۵۳.
- حسینی، ل. (۱۳۸۹). "بررسی اثرات زیست‌محیطی سد استقلال میناب در فاز بهره‌برداری با روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP)." *پایان‌نامه کارشناسی/ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس*.
- حمیدی، ن. (۱۳۸۲). "بررسی و شناخت پرندگان آبی و کنارآبی تالاب تیاب." *اداره کل حفاظت محیط زیست هرمزگان*.
- صفایسینی، ه. (۱۳۸۵). "مدیریت زیست‌محیطی جنگل‌های مانگرو در حوزه تیاب و کلاهی بر اساس ساختار و تحولات رویشگاه." *علوم محیطی*، شماره ۱۱، ص ۳۶-۱.
- عظیمی، ع. داداللهی، س. صفاهیه، ع.ر. ذوالقرنین، ح. سواری، ا. و فقیری، ا. (۱۳۹۱). "مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس - بندر امام خمینی (ره)." *اکیانوس‌شناسی*، دوره ۵، شماره ۱۱، ص ۴۱-۳۳.
- کوچکی، س. (۱۳۸۲). "آلودگی نفتی در دریا و اثرات آن در اکوسیستم دریاهای." *پنجمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران*. COI: NSMI05_071.
- مر، ف. نعمت الهی، م.ج. کشاورزی، ب. و حمزه، م.ع. (۱۳۹۳). "توزیع سطحی و عمقی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی و دریایی بخش ایرانی خلیج گواتر." *مجله علوم و فنون دریایی*، دوره ۱۳، شماره ۲، ص ۴۰-۳۱.
- مرادی، ح. رضوی، ز. حیدری خسرو، ع و محبوبی صوفیانی، ن. (۱۳۹۳). "اثر ویژگی‌های رسوب بر تجمع و نرخ انتقال فلزات سنگین در درختان مانگرو (مطالعه موردی: خلیج نابیند و جزیره قشم)." *بوم‌شناسی کاربردی*، دوره ۳، شماره ۸، ص ۹۰-۷۹.
- مرتضوی، م.ص. و میزا اسماعیلی، ف. (۱۳۹۰). "بررسی میزان آلودگی نفتی جنگل‌های حرای خوران." *چهاردهمین همایش ملی بهداشت محیط، شناسه مقاله NCEH14_182*
- معظمی آ، (۱۳۸۹). *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی میزان آلاینده‌های نفتی در خور تیاب و ارائه برنامه مدیریت زیست‌محیطی جهت تقلیل و پایش اثرات."* دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس.

منابع لاتین

- Agah, H., Hashtroudi, M.S. and Baeyens, W. (2012). "Trace metals and major elements in sediments of the northern Persian Gulf." *Journal of the Persian Gulf*, Vol. 3, pp.45-58.

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry ToxFAQs August (1999). "Toxicological Profile Total petroleum hydrocarbons (TPH)." Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Al-Imarah, F.J.M., Ali, S.A. and Ali, A.A. (2010). "Temporal and spatial variations of petroleum hydrocarbons in water and sediments from Northern parts of Shatt Al-Arab River, Iraq." *Journal of Marine Mesopotamia Sciences*, Vol. 25, pp. 65-74.
- Alomary, A.A. and Belhadj, S. (2007). "Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure." *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 135, pp. 265-280.
- Al-Saad, H.T. (1995). "Distribution and sources of hydrocarbons in Shatt Al-Arab estuary and NW Arabian Gulf." (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Basrah Univ., Iraq).
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. and Silliman, B.R. (2011). "The value of estuarine and coastal ecosystem services." *Ecological monographs*, Vol. 81, pp.169-193.
- Bowen, H.J.M. (1979). "Environmental chemistry of the elements." *Academic London New York, Toronto*, pp. 333.
- Cavalcante, R.M., Sousa, F.W., Nascimento, R.F., Silveira, E.R. and Freire, G.S. (2009). "The impact of urbanization on tropical mangroves (Fortaleza, Brazil): evidence from PAH distribution in sediments." *Journal of Environmental Management*, Vol. 91, pp. 328-335.
- Celino, J.J., de Oliveira, O.M.C., Hadlich, G.M., de Souza Queiroz, A.F. and Garcia, K.S. (2008). "Assessment of contamination by trace metals and petroleum hydrocarbons in sediments from the tropical estuary of Todos os Santos Bay, Brazil." *Brazilian Journal of Geology*, Vol. 38, pp. 753-760.
- Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F. and Dong, C.D. (2007). "Distribution and accumulation of heavy metal in the sediment of Kaohsiung Harbor, Taiwan." *Chemosphere*, Vol. 66, pp. 1431-1440.
- de Mora, S., Fowler, S.W., Wyse, E. and Azemard, S. (2004). "Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman." *Marine pollution bulletin*, Vol. 49, pp.410-424.
- de Mora, S., Tolosa, I., Fowler, S.W., Villeneuve, J.P., Cassi, R. and Cattini, C. (2010). "Distribution of petroleum hydrocarbons and organochlorinated contaminants in marine biota and coastal sediments from the ROPME Sea Area during 2005." *Marine pollution bulletin*, Vol. 60, pp. 2323-2349.
- Defew, L. H., Mair, J. M. and Guzman, H. M. (2005). "An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama." *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 50, pp. 547-552.
- Ebrahimi-Sirizi, Z. and Riyahi-Bakhtiyari, A.L. (2013). "Petroleum pollution in mangrove forests sediments from Qeshm Island and Khamir Port—Persian Gulf, Iran." *Environ Monit Assess.*, Vol. 185, pp. 4019-4032.
- Fowler, S.W., Readman, J.W., Oregioni, B.J.P.V., Villeneuve, J.P. and McKay, K. (1993). "Petroleum hydrocarbons and trace metals in nearshore Gulf sediments

- and biota before and after the 1991 war: an assessment of temporal and spatial trends.” *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 27, pp.171-182.
- Freije, A.F. (2015). “Heavy metal, trace element and petroleum hydrocarbon pollution in the Arabian Gulf: Review.” *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences.*, Vol. 17, pp. 90-100.
- Hakanson, L. (1980). “An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach.” *Water research*, Vol. 14, pp. 975-1001.
- Holme, N.A; McIntyre, D.A., 1984. *Methods for the Study of Marine Benthos*. 2nd Ed. *ISP Handbook*. pp. 387.
- Jazani, R.K., Tehrani, G.M. and Hashim, R.O.S.L.I. (2013). “TPH-PAH contamination and benthic health in the surface sediments of Bandar-E-Imam Khomeini-Northwest of the Persian Gulf.” *Int J Engin Sci Innov Technol*, Vol. 2, pp.213-225.
- Jordán, M.M., Mateu, J. and Boix, A. (1998). “A classification of sediment types based on statistical multivariate techniques.” *Water, air, and soil pollution*, Vol. 107, pp. 91-104.
- Kabata-Pendias, A. (2010). “Trace elements in soils and plants.” CRC press. Boca Raton, London, New York.
- Karbassi, A. (2001). “Standard concentrations and origin of Pb, Mn, Ni, Zn, Cu, Co, Cd, V and Fe in surface sediment of Persian Gulf.” *Journal of Science and Technology of Environment, Iran.*, Vol. 5, pp. 53-66.
- Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Bidhendi, G. R. N., Nouri, J. and Nematpour, K. (2008). “Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River.” *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 147, pp. 107-116.
- Karbassi, A.R. and Bayati, G.R.N.B.I. (2005). “Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf.” *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, Vol. 2, pp.255-260.
- Kazemzadeh Khoei, J., AbdiBastami, A. and Farmohammadi, S. (2013). “Oil-related Contamination in the Sediment and Water of Khark Island, Persian Gulf.” *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, Vol. 13, pp. 1076-1079.
- Kucuksezgin, F., Kontas, A., Altay, O., Uluturhan, E. and Darilmaz, E. (2006). “Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations.” *Environment International.*, Vol. 32, pp. 41-51.
- Li, F., Zeng, X., Yang, J., Zhou, K., Zan, Q., Anping Lei, A. and Tam, N.F. (2014). “Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments and plants of mangrove swamps in Shenzhen, China.” *Marine Pollution Bulletin.*, Vol. 85, pp. 590–596.
- Li, Y., Zhao, Y., Peng, S., Zhou, Q. and Ma, LQ. (2010). “Temporal and spatial trends of total petroleum hydrocarbons in the seawater of Bohai Bay, China from 1996 to 2005.” *Marine Pollution Bulletin.*, Vol. 60, pp. 238–243.
- Maktoof, A.A., Alkhafaji1, 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.*, Vol. 5, pp. 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*, Vol. 93, pp.271-284.
- Metwally, M.E.-S., Al Muzaini, S., Jacob, P.G. and Bahloul, M. (1997). “Petroleum hydrocarbons and related heavy metals in the near-shore marine sediments of Kuwait.” *Environment International*, Vol. 23, pp. 115-121.
- Mico, C., Recatala, L., Peris, M. Sanchez, J. (2006). “Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis.” *Chemosphere*, Vol. 65, pp. 863-872.
- Mille, G., Guiliano, M., Asia, L., Malleret, L. and Jalaluddin, N. (2006). “Sources of hydrocarbons in sediments of the Bay of Fort de France (Martinique).” *Chemosphere*, Vol. 64, pp. 1062-1073.
- 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.” *Environ Monit Assess.*, Vol. 186, pp. 7387–7398.
- Mohebbi-Nozar, 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.*, Vol. 10, pp. 3-37.
- Monazami Tehrani, G.H. (2012). “Evaluation of risk caused by wastewater discharges from the petrochemical special economic zone (PETZONE) to the musa bay (Persian Gulf-Iran).” Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, Institute of biological science faculty of science university of Malaya kualalumpur., pp. 1-203.
- Monazami Tehrani, G.H., Hashim, R., Sulaiman, A.H., Belin Tavakoly Sany, B., Salleh, A., Khani Jazani, R., Savari, A. and Falah Barandoust, R. (2013). “Distribution of total petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in musa bay sediment (northwest of the Persian Gulf).” *Environment Protection Engineering.*, Vol. 39, pp. 115-128.
- Monazami Tehrani, G.H., Hshim, R., Sulaiman, A.H., Tavakoly, S.B., Sany, R.K.J. and Tehrani, Z.M. (2012). “Assessment of Contamination by Petroleum Hydrocarbons in Sediments of Musa Bay, Northwest of the Persian Gulf-Iran.” *International Conference of Environment, Energy and Biotechnology IPCBEE* Vol. 33.
- Monazami Tehrani, G.H., Sany, S.B.T., Hashim, R. and Salleh, A. (2016). “Predictive environmental impact assessment of total petroleum hydrocarbons in petrochemical wastewater effluent and surface sediment.” *Environmental Earth Sciences*, Vol. 75, pp. 1-13.

- MOOPAM. (2010). "Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods". Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait (ROPME)., pp. 1-54.
- Muller, G. (1979). "Index of geoaccumulation in the sediment of the Rhine River." *Journal of Geology*., Vol. 2, pp. 108-118.
- Nelson, K.J. and Esmoil, B.J., (2001). "Trace element concentrations in plants and sediments at Crescent Lake National Wildlife Refuge."
- Neyestani, M.R., Bastami, K.D., Esmaeilzadeh, M., Shemirani, F., Khazaali, A., Molamohyeddin, N., Afkhami, M., Nourbakhsh, S., Dehghani, M., Aghaei, S. and Firouzbakht, M. (2016). "Geochemical speciation and ecological risk assessment of selected metals in the surface sediments of the northern Persian Gulf." *Marine pollution bulletin*, Vol. 109, pp. 603-611.
- Ololade, I.A., Lajide, L. and Amoo, I.A. (2010). "Spatial trends of petroleum hydrocarbons in water and sediments." *Cent. Eur. J. Chem.*, Vol. 7, pp. 83-89.
- Orji, F. A., Ibiene, A. and Ugbogu, O. C. (2012). "Petroleum hydrocarbon pollution of mangrove swamps: The promises of remediation by enhanced natural attenuation." *American Journal of Agricultural and Biological Science*., vol. 7, pp. 207-216.
- Phillips, M. and Jones, A.L. (2006). "Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management." *Tourism Management*, Vol. 27, pp.517-524.
- Saeedi, M., Li, L.Y. and Salmanzadeh, M. (2012). "Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran." *Journal of hazardous materials*, Vol.227, pp. 9-17.
- Sany, S.B.T., Salleh, A., Sulaiman, A.H., Sasekumar, A., Rezayi, M. and Tehrani, G.M. (2013). "Heavy metal contamination in water and sediment of the Port Klang coastal area, Selangor, Malaysia." *Environmental Earth Sciences*, Vol. 69 pp. 2013-2025.
- Sharifuzzaman, S.M., Rahman, H., Ashekuzzaman, S.M., Islam, M.M., Chowdhury, S.R. and Hossain, M.S. (2016). Heavy Metals Accumulation in Coastal Sediments. pp. 21-42. In "*Environmental Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils*." Hasegawa, H., Rahman, I.M.M. and Rahman, M.A. eds. Springer Japan.
- Silva, C.S., Moreira, I.T., de Oliveira, O.M., Queiroz, A.F., Garcia, K.S., Falcão, B.A., Escobar, N.F. and Rios, M.C. (2014). "Spatial distribution and concentration assessment of total petroleum hydrocarbons in the intertidal zone surface sediment of Todos os Santos Bay, Brazil." *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 186, pp. 1271-1280.
- Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. and Crouch, S.R., (2013). "Fundamentals of analytical chemistry." Nelson Education.
- Suthar, S., Nema, A.K., Chabukdhara, M., and Gupta, S.K. (2009). "Assessment of metals in water and sediment of Hindon River, India: Impact of industrial and urban discharges." *Journal of Hazardous Materials*., Vol. 171, pp. 1088-1095.

- Sutherland, R.A. (2000). "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii." *Environmental Geology*, Vol. 39, pp.611-627.
- Tam, N.F., Wong, T.W. and Wong, Y.S. (2005). "A case study on fuel oil contamination in a mangrove swamp in Hong Kong." *Marine Pollution Bulletin.*, Vol. 51, pp. 1092–1100.
- Tolosa, I., De Mora, S.J., Fowler, S.W., Villeneuve, J.P., 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*, Vol. 50, pp. 1619-1633.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. (1961). "Distribution of the elements in some major units of the earth's crust." *Geol. Soc.Am. Bull.*, Vol. 72, pp. 175–192.
- Usman, A.R., Alkredaa, R.S, and Al-Wabel, M.I. (2013). "Heavy metal contamination in sediments and mangroves from the coast of Red Sea: *Avicennia marina* as potential metal bioaccumulator." *Ecotoxicology and Environmental Safety.*, Vol. 97, pp. 263–270.
- Vane, I., Harrison, A.W., Kim, V., Moss-Hayes, B.P., Vickers, K. and Hong, b. (2009). "Organic and metal contamination in surface mangrove sediments of South China." *Marine Pollution Bulletin.*, Vol. 58, pp. 134–144.
- Walters, B.B., Rönnbäck, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R., Primavera, J.H., Barbier, E. and Dahdouh-Guebas, F. (2008). "Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review". *Aquatic Botany*, Vol. 89, pp. 220-236.
- Zahed, M.A., Rouhani, F., Mohajeri, S., Bateni, F. and Mohajeri, L. (2010). "An overview of Iranian mangrove ecosystems, northern part of the Persian Gulf and Oman Sea." *Acta Ecologica Sinica*, Vol. 30, pp. 240–244.
- Zhang, J., Cai, L., Yuan, D. and Chen, M. (2004). "Distribution and sources of polynuclear aromatic hydrocarbons in Mangrove surficial sediments of Deep Bay, China." *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 49, pp. 479-486.
- Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H. and Yu, L. (2009). "Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes." *Environmental pollution*, Vol. 157, pp.1533-1543.

Abstract

Tyab mangrove protected area and its adjacent coastal areas are at risk to environmental contaminations due to its close proximity to residential areas, the fishing and commercial ports and shrimp farming centers. The general aim of this research is to evaluate the concentrations of Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs) and heavy metals in surface sediments of Tyab and Kolahi as well as the adjacent mangroves. For this purpose, sediment samples were taken from 16 stations (in triplicate) along the coastline and mangrove habitats. Physico-chemical properties of sediments such as grain size, pH, Total Organic Matter (TOM) and Organic Carbon (OC) were measured using the standard methods. The concentrations of heavy metals were also determined using ICP-OES and concentration of total petroleum hydrocarbons was determined by means of Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy (UVF). Metal concentrations ranged from (in mgkg^{-1}) 124-163 (for Ni), 73-89 (for V), 8-9 (for Pb), 48-68 (for Zn) and 112-136 (for Cr) in sediment samples and their mean concentrations (except for zinc) are all higher than those in the Persian Gulf sediments. Petroleum hydrocarbons showed a slightly variation ranging from 4.89-0.36 ($\mu\text{g/g}$) dry weight for the sampled sediments. The concentrations for total petroleum hydrocarbons were generally lower than the guideline values for environmental risks. Highest TPH concentrations are found in sediments from Tyab and Kolahi berth are due to pollution from fishing boats and other activities. Calculated enrichment factor (EF) and geo-accumulation index (Igeo) for heavy metals showed that all metals (except for nickel) in the sediments have low contamination degree. Enrichment factor (1.86) and geo-accumulation index (0.54) for nickel are higher than the other metals suggesting that this metal is most likely connected to hydrocarbon pollution in the study area. As well as environmental risk assessment of petroleum hydrocarbon contamination on aquatic organisms using indicators sediment quality guidelines (SQGs) and the contamination factor (CF) indicated that sediments except (in station No.1 (CF=1.22)) generally have no adverse biological effects on aquatic organisms. Finally, the results of multivariate statistical data showed that physico-chemical parameters of sediments (grain size, pH, organic matter and organic carbon), heavy metals contents and total petroleum hydrocarbons have no mutual correlation and grouped in different clusters or components representing that there are probably different sources or controlling factors for these parameters in sediments.

Keywords: total petroleum hydrocarbons, heavy metals, mangrove forests, Fishing ports, Tyab, Hormozgan



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

Evaluating the contamination of total petroleum hydrocarbons
(TPH) in coastal sediments of Mangroves near Tiab district,
(Hormozgan Province)

By: Leila zahedi dehuui

Supervisors:

Dr. Afshin Qishlaqi

Dr. Mohammad Seddiq Mortazavi

January 2017