

## پهنه بندی، توزیع و منشاء هیدروکربن های نفتی کل (TPH) و آلاینده های فلزی در رسوبات خور ماهشهر، خلیج فارس

علیرضا واعظی<sup>۱</sup>

عبدالرضا کرباسی<sup>\*۲</sup>

[akarbasi@ut.ac.ir](mailto:akarbasi@ut.ac.ir)

علیرضا ولی سامانی<sup>۳</sup>

مهدی حیدری<sup>۴</sup>

مجتبی فخرایی<sup>۵</sup>

علیرضا رحمتی<sup>۶</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۴

### چکیده

زمینه و هدف: هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین از شایع ترین آلاینده های دریایی به حساب می آیند. آلودگی دریایی ناشی از این مواد به یک مشکل زیست محیطی مهم در سراسر دنیا تبدیل شده است. هدف از انجام این تحقیق پایش زیست محیطی فلزات و هیدروکربن های نفتی در رسوبات خور ماهشهر به منظور ارتقای کیفیت محیط زیست منطقه می باشد.

روش بررسی: در همین راستا نمونه برداری از رسوبات ناحیه ساحلی اطراف صنایع پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر در خور موسی واقع در شمال غرب خلیج فارس صورت گرفت. سی و دو نمونه سطحی رسوب به وسیله نمونه گیر پترسون جمع آوری گردید. غلظت کل هیدروکربن های نفتی (TPH) در نمونه های رسوب به وسیله (GC-FID) تعیین شد. همچنین غلظت ومنشا آلاینده های فلزی ( Zn, Sr, Ni, Mn, Cu, Cr, Co, Ba, ) (As, Al) در رسوبات به وسیله ICP-AES تعیین گردید. کمی سازی شدت آلودگی در رسوبات با استفاده از شاخص های CF, mCd, Cd, PLI صورت گرفت و تجزیه و تحلیل های آماری توسط بسته نرم افزاری MVSP در خور انجام پذیرفت

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست - منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست دانشگاه تهران.
- ۲- دانشیار مهندسی محیط زیست دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست دانشگاه تهران\* (مسئول مکاتبات).
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست - منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست دانشگاه تهران.
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست - منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست دانشگاه تهران.
- ۵- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست - منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست دانشگاه تهران.
- ۶- دانشجوی کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.

**نتایج:** میانگین غلظت کل هیدروکربن های نفتی در منطقه مورد مطالعه ۴۲ mg/kg بود. بیشینه مقدار TPH در ایستگاه ۸ گزارش گردیده است. تفاوت قابل ملاحظه ای بین غلظت آلومینیوم در رسوبات خور ماهشهر و مقدار میانگین آن در پوسته زمین وجود داشت. نتیجه گیری: نتایج بدست آمده حاکی از آن است که شاخص فاکتور آلودگی (CF)، درجه آلودگی (Cd)، درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)، شاخص بار آلودگی (PLI) برای فلزات در ایستگاه های نمونه برداری بیانگر آلودگی کمی هستند. میانگین غلظت کل هیدروکربن های نفتی در منطقه مورد مطالعه بر مبنای شاخص CF بیانگر آلودگی متوسط تا آلودگی قابل ملاحظه است. نتایج آنالیز خوشه ای بیانگر این بود که Cr و Ni موجود در نمونه های رسوب دارای منشأ نفتی است.

**واژه های کلیدی:** خلیج فارس، خور موسی، آلودگی رسوبات، فلزات سنگین، هیدروکربن های نفتی.

## مقدمه

عناصر پس از ورود ممکن است دستخوش تغییرات مختلف در فازهای فیزیکی و شیمیایی گردند و از حالت محلول به غیرمحلول و یا به عکس تغییر فاز دهند. همچنین عناصر هنگام تغییر فاز ممکن است پیوندهای مختلف شیمیایی برقرار نموده و یا از پیوندهای مختلف آزاد گردند (۱۰ و ۱). فعالیت های چشمه های آب گرم در آب های عمیق دریایی یکی دیگر از منابع طبیعی فلزات سنگین به ویژه آرسنیک و جیوه در محیط زیست دریایی است. بعضی از فلزات سنگین از جمله مس، سرب و روی به طور طبیعی در آب های مصبی و دریایی وجود دارند. در مناطق ساحلی، فلزات سنگین به طور طبیعی به وسیله رودخانه و یا فرسایش بادی و خاکی به دریا انتقال پیدا می کنند. به هر حال میزان بالایی از فلزات سنگین در محیط زیست ساحلی عموماً در اثر فعالیت های انسانی می باشد. راه های اصلی ورود فلزات به محیط زیست دریایی رودخانه ها، ته نشست های اتمسفری و فعالیت های انسانی می باشد. مهم ترین فعالیت های انسانی که موجب ورود فلزات به محیط زیست دریایی می شود شامل فعالیت های کشتی رانی، لایروبی کف یا بستر دریا، فاضلاب های شهری و صنعتی، معدن کاوی، استفاده از کود های کشاورزی و سوزاندن سوخت های فسیلی و غیره می باشد (۹ و ۱۳).

هیدروکربن ها ترکیباتی آلی هستند که عمدتاً از اتم های کربن و هیدروژن ساخته شده اند. هیدروکربن آروماتیک حلقوی گروهی از آلاینده ها هستند که در فعالیت های اکتشاف و استخراج نفت ایجاد می شوند. هیدروکربن های نفتی از آلاینده های متداول محیط زیست محسوب می گردند. این آلاینده ها به واسطه نشت های تصادفی یا عمدی نفت از اسکله های نفتی یا کشتی ها وارد اکوسیستم های آبی می شوند (۱). در مناطقی که غلظت آن ها بالاست (مانند نشت های نفتی) می توانند دارای سمیت کشنده مزمن نیز باشند. مهم ترین نگرانی از وجود این آلاینده ها در محیط این است که حتی در غلظت های کم نیز می توانند موجب بروز سرطان و یا جهش های ژنتیکی شوند. کل هیدروکربن های نفتی (TPH) به صورت بیولوژیکی در دسترس هستند و رسوبات آلوده به هیدروکربن های نفتی تاثیرات

امروزه انسان به منظور فراهم نمودن زندگی بهتر، مشکلاتی را برای محیط زیست اطراف خود به وجود می آورد و آلودگی آب ها یکی از این مشکلات است. اما تعیین میزان آلودگی قدری مشکل و از آن مشکل تر، نشان دادن راه حل مناسب برای جلوگیری از آن است. بوم سازگان های آبی به دلیل تجمع دادن غلظت های نسبتاً بالای مواد شیمیایی، حساس و آسیب پذیر شده اند. آلودگی دریا به یک مشکل زیست محیطی مهم در سراسر دنیا تبدیل شده است. آلاینده های موجود در دریا شامل گستره وسیعی از انواع مواد می باشد که از جمله می توان به فلزات سنگین، هیدروکربن ها، آفت کش ها، مواد آلی ناشی از فاضلاب های خانگی، صنعتی، معادن و کشاورزی اشاره نمود (۱).

مطالعه فلزات سنگین و اندرکنش آن ها با آب به عنوان ابزار مناسبی جهت بررسی آلودگی فلزات سنگین در محیط های آبی رودخانه، دریاچه، مخازن و دریاها قابل کاربرد است (۲ و ۳). رسوبات طی سالیان سال رفته رفته بر روی هم انباشته شده و در نهایت می توانند به عنوان تثبیت کننده میزان آلودگی ها در نظر گرفته شوند. ترکیبات آلوده کننده پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت های مختلف رسوب کرده و تجمع می کنند. در صورتی که مقدار آلودگی رسوبات از مقادیر خاصی تجاوز کند، سریعاً باعث برهم خوردن تعادل اکوسیستم و زوال آن می شود. بررسی مقدار تجمع فلزات در رسوبات امکان نظارت پیوسته بر آلودگی در یک منطقه را میسر می کند که از تجزیه و مطالعه آنها می توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را تشخیص داد و تصمیمات مقتضی را برای کنترل آن اتخاذ نمود (۴). دانه بندی رسوبات فاکتور مهمی برای ارزیابی میزان آلودگی آن ها به فلزات سنگین است (۵). برای آنالیز آلودگی رسوبات توصیه می شود رسوبات از الک نمرة ۲۳۰ (اندازه ۶۳ میکرون) عبور داده شوند (۶). غلظت فلزات در رسوب بر اثر عواملی مختلفی چون سرعت ته نشینی، اندازه ذرات، سرعت رسوب گذاری ذرات معلق و میزان مواد آلی موجود در رسوبات دچار نوسان می شود (۶ و ۷).

فلزات سنگین یا به صورت محلول و یا به صورت غیرمحلول و در سطح یا درون ذرات معلق و خاک وارد محیط های آبی می شوند. این

مخری بر روی موجوداتی که در اکوسیستم های آبی زندگی می کنند، بر جای می گذارند. گاهی در غلظت های بالا در بافت های موجودات زنده دیده می شوند (۱۵ و ۱۴). به دلیل رشد اقتصادی کشورهای آسیایی تخلیه فلزات سنگین و هیدروکربن های نفتی و سایر آلاینده ها در محیط های ساحلی در حال افزایش است. تولیدات نفتی نشأت یافته مهم ترین عامل تولید TPH در محیط دریا می باشد. آب تولید شده از سکوی استخراج نفت حاوی TPH می باشد. لذا با عنایت به این موضوع و با توجه به این که مقادیر زیادی آب از سکوهای نفت و گاز تولید می شود میزان ورودی سالانه آن به محیط از سکوی نفتی می تواند بسیار زیاد باشد (۱۶ و ۱۷).

بنادر و لنگرگاه ها به عنوان بخش اصلی نوار ساحلی، به عنوان گودالی برای فاضلاب های صنعتی و شهری اطراف عمل می کنند، بنابراین بار سنگینی از آلودگی ها را دریافت می کنند. لایروبی بنادر دریایی برای حفظ عمق کشتی رانی در بنادر لازم است. رسوبات دفع شده اغلب دارای بار آلودگی بسیار بالایی می باشد. رسوبات لایروبی شده لزوماً پایدار و غیر متحرک نبوده و فلزات سنگین به علت اغتشاشات زیستی (Bioturbation) و دوباره معلق شدن (Resuspention) از رسوبات جدا شده و یک خطر بالقوه را به وجود می آورد (۱۰ و ۱۸).

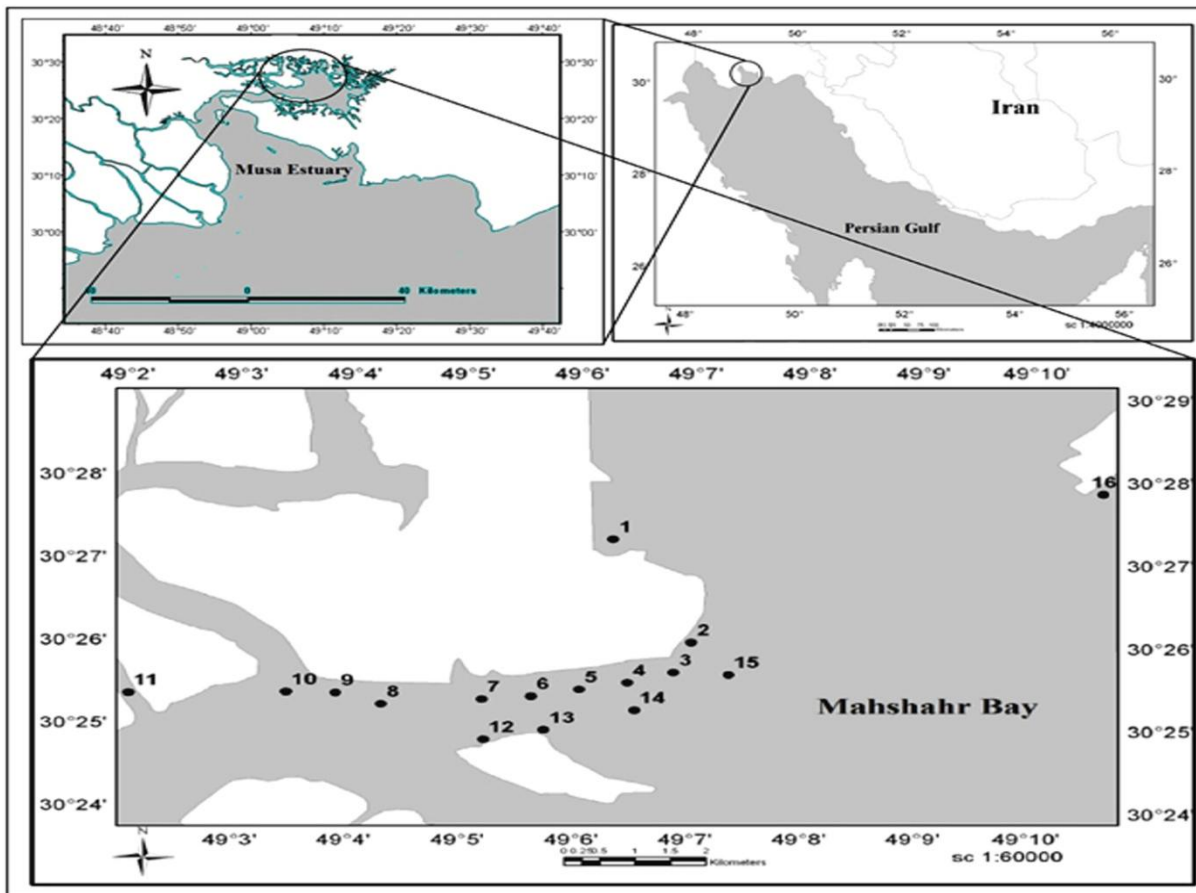
منطقه خلیج فارس به دلیل دارا بودن منابع عظیم نفتی به یکی از مهم ترین محل های حمل و نقل نفت جهان تبدیل شده است. رشد جمعیت و پیشرفت های صنعتی در سواحل این منطقه باعث بروز مشکلات زیست محیطی شده و حیات آب زیان را به خطر انداخته است. خور موسی کانال طویل و عمیقی است که از خلیج فارس منشعب شده و به دلیل ویژگی های خاص خود در منطقه از موقعیت ممتازی برخوردار است. از لحاظ اکولوژیک خور موسی یکی از متنوع ترین کانال های آبی محسوب می شود و با اکوسیستمی منحصر به فرد، در ساحل شمالی خلیج فارس و جنوب استان خوزستان واقع است. پهنای دهانه آن ۲۷ تا ۴۰ کیلومتر و طول آن از دهانه تا بندر امام خمینی ۹۰ کیلومتر و تا بندر ماهشهر ۱۲۰ کیلومتر است. بندر امام خمینی (ره) در انتهای شمال غربی خلیج فارس به وسیله آب راهه خور موسی به این خلیج متصل می شود. آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفت کش ها، حوادث و سوانح مربوط به سکوهای نفتی، رفت و آمد کشتی ها، منابع و صنایع مستقر در خشکی از جمله عوامل تأثیرگذار بر روی اکولوژی منطقه است. در بندر امام خمینی نیز تردد فراوان کشتی ها و لایروبی رسوبات جهت سهولت در حرکت کشتی ها باعث افزایش میزان فلزات سنگین به این منطقه شده است. از طرفی وجود صنایع پتروشیمی نیز بر میزان این آلودگی افزوده است.

Massoud و همکاران در سال ۱۹۹۶ به بررسی غلظت TPH و TOC در رسوبات خلیج فارس پرداختند. هفتاد و هفت نمونه رسوبی از بستر خلیج فارس برداشت شد و غلظت TPH در نمونه ها به منظور طبقه بندی آلودگی نفتی رسوبات خلیج فارس تعیین شد. غلظت TPH در رسوبات خلیج فارس به چهار گروه تقسیم گردید (guideline mg/kg): فاقد آلودگی (۱۰-۱۵)، کمی آلوده (۱۵-۵۰)، آلودگی متوسط (۵۰-۲۰۰)، خیلی آلودگی ( $\geq 200$ ) (۱۹). Christophoridis و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی تجمع و توزیع فلزات سنگین در رسوبات خلیج درماکوس واقع در یونان پرداختند. چهل نمونه رسوب و پانزده نمونه آب به منظور تعیین غلظت Zn, Cu, Pb و Cr جمع آوری گردید. چندین شاخص برای تعیین آلودگی در رسوبات استفاده گردید از جمله EF,  $mc_d$ , Igeo و CF. برای نمایش بهتر غلظت فلزات نیز از تکنیک GIS استفاده شد. به منظور ارزیابی تأثیرات مخرب بر روی موجودات دریایی از راهنماهای کیفیت رسوب (SQG) استفاده گردید. شاخص تجمع زیستی نشان دهنده منشاء انسانی برای Cd و Pb بود و غلظت Zn و Pb, Cu در بیش تر نمونه های رسوبی کمی سمی ارزیابی گردید (۲۰ و ۲۱). در جمع بندی مطالعات انجام شده در داخل و خارج کشور به وضوح مشخص می شود که استفاده از رسوبات محیط های آبی یکی از راه های مورد استفاده و تأیید شده برای پایش زیست محیطی می باشد.

هدف از انجام این تحقیق پایش زیست محیطی فلزات و هیدروکربن های نفتی در رسوبات خور ماهشهر به منظور ارتقای کیفیت محیط زیست منطقه می باشد. در همین راستا نمونه برداری از رسوبات ناحیه ساحلی اطراف صنایع پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر در خور موسی واقع در شمال غرب خلیج فارس صورت گرفت.

### روش بررسی

تعداد ۳۲ نمونه رسوبی از ۱۶ ایستگاه در منطقه خور ماهشهر برداشت و مورد مطالعه قرار گرفت. انتخاب ایستگاه ها به گونه ای بود که اولاً کل محدوده بندر را تحت پوشش قرار دهد، ثانیاً تأثیر آلودگی های حاصل از صنایع مختلف واقع در بندر به خصوص مجتمع پتروشیمی بندر امام و همچنین سایر عوامل و منابع آلاینده در منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد. در شکل ۱ نقشه جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در منطقه و در جدول ۱ خصوصیات ایستگاه های نمونه برداری نشان داده شده است.



تصویر ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

توضیحات	تاریخ نمونه‌برداری	دما (°C)	عمق (m)	مختصات جغرافیایی		ردیف
				طول	عرض	
تخلیه پساب پتروشیمی	۱۳۹۱/۴/۱	۲۸/۰	۲/۰	" E۱۸/۵'۶° ۴۹	" N۱۵/۹'۲۷°۳۰	۱
تخلیه پساب پتروشیمی	۱۳۹۱/۴/۱	۲۸/۶	۲/۲	" E۰/۸۸'۷° ۴۹	" N۱/۶۱'۲۶°۳۰	۲
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۲۸/۵	۱۹/۳	"E۵۲/۰۲'۶° ۴۹	"N۳۹/۶۸'۲۵°۳۰	۳
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۴	۱۵/۲	"E۲۷/۸۹'۶° ۴۹	"N۳۲/۰۲'۲۵°۳۰	۴
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۶	۲۱/۲	" E۲/۵۱'۶° ۴۹	"N۲۶/۸۰'۲۵°۳۰	۵
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۵	۷/۸	"E۳۷/۰۵'۵° ۴۹	"N۲۱/۴۷'۲۵°۳۰	۶
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۸	۲۰/۴	"E۱۱/۱۵'۵° ۴۹	"N۱۹/۱۵'۲۵°۳۰	۷
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۳۰/۰	۱۱/۱	"E۱۸/۰۲'۴° ۴۹	"N۱۴/۹۱'۲۵°۳۰	۸
تخلیه و بارگیری مواد	۱۳۹۱/۴/۱	۳۰/۲	۱۶/۹	"E۵۳/۹۴'۳° ۴۹	"N۲۲/۷۰'۲۵°۳۰	۹
محل تلاقی خوریات ماهشهر و زنگی	۱۳۹۱/۴/۱	۳۰/۳	۲۳/۰	"E۲۷/۸۰'۳° ۴۹	"N۲۳/۰۱'۲۵°۳۰	۱۰
نقطه ای در فاصله ۲	۱۳۹۱/۴/۱	۳۰/۰	۸/۷	" E۱۱/۳'۲° ۴۹	" N۲/۲۴'۲۵°۳۰	۱۱

کیلومتری از منطقه ویژه						
نقطه ای در فاصله ۱ کیلومتری از منطقه ویژه	۱۳۹۱/۴/۱	۳۱/۱	۱/۰	" E ۱۲/۵'۵° ۴۹	" N ۴۹/۹'۲۴° ۳۰	۱۲
نقطه ای در فاصله ۱ کیلومتری از منطقه ویژه	۱۳۹۱/۴/۱	۳۰/۵	۲/۴	" E ۴۴/۲'۵° ۴۹	" N ۵۷/۲'۲۴° ۳۰	۱۳
خط عبور کشتی	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۳	۱۳/۱	" E ۳۱/۷۸'۶° ۴۹	" N ۱۲/۴'۲۵° ۳۰	۱۴
خط عبور کشتی	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۰	۱۳/۰	" E ۲۱/۴'۷° ۴۹	" N ۳۸/۵'۱۲° ۵۳	۱۵
تخلیه و بارگیری نفت	۱۳۹۱/۴/۱	۲۹/۷	۱۶/۲	" E ۴۵/۹'۱۰° ۴۹	" N ۴۴/۵'۲۷° ۳۰	۱۶

نموده و نمونه‌ها را به مدت ۱ ساعت در دمای  $95^{\circ}\text{C}$  قرار دادیم و بعد از خنک شدن نمونه‌ها به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه یعنی تا وقتی که دود خاکستری دیگر دیده نشود، ۵ میلی لیتر HF به محلول اضافه کردیم. محلول‌های هضم شده به بالن ژوژه ۵۰ میلی لیتری انتقال و با استفاده از  $\text{HCl}$  رقیق شدند. نمونه‌های آماده شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند. در این هنگام نمونه‌ها آماده آنالیز بودند (۲۳ و ۲۴). بار آلی مقدار مواد آلی می باشد که در نمونه موجود است مواد آلی در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  فرار بوده و از نمونه خارج می شود. جهت محاسبه بار آلی، یک گرم از نمونه خشک شده را در کروزه چینی ریخته و به مدت ۴ ساعت در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  حرارت می‌دهیم. اختلاف وزن قبل و بعد از سوزاندن برحسب گرم (یا درصد)، میزان مواد آلی را نشان می‌دهد (۲۵). جهت اندازه گیری کل هیدرو کربنهای نفتی ابتدا حدود ۱۰ گرم نمونه رسوب را وزن کرده و عمل استخراج بوسیله سوکسله به مدت ۸ ساعت با ۲۵۰ میلی لیتر حلال ۵۰:۵۰ هگزان-دی کلرومتان انجام می‌گیرد. زمانی که استخراج کامل شد ماده استخراج شده به وسیله دستگاه روتاری اوپریاتور تا حجم ۱۵ میلی لیتر تغلیظ می‌گردد. (حرارت حمام آب روتاری نباید بیش تر از  $30^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد باشد) غلظت TPH در نمونه‌ها به وسیله دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC-FID) اندازه گیری شد (۲۶).

پهنه بندی مقادیر غلظت‌ها در گستره خور به وسیله تکنیک GIS برای نمایش بهتر توزیع آلودگی در رسوبات دریایی استفاده گردید. به دلیل بهتر به تصویر کشیدن اطلاعات ابزارهای GIS به کار برده شد، تا چندین نقشه سودمند از پهنه بندی غلظت عناصر ایجاد گردید (۲۰ و ۲۱). داده‌ها با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ درون‌یابی شدند و روش  $\text{natural breaks}$  برای طبقه بندی داده‌ها در نرم افزار ArcMap ۱۰ انتخاب گردید. انتخاب روش درون‌یابی کریجینگ به این علت است که توزیع مکانی نقاط نمونه برداری شده همگن نیست و به صورت مناسب در سطح منطقه توزیع نشده اند. همچنین مقدار نوسان یا دامنه تغییرات غلظت عناصر زیاد است.

برای نمونه برداری رسوبات از بستر دریا به منظور بررسی و آنالیز هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین در این تحقیق از پترسون گرب استفاده شد. مجموعاً ۳۲ نمونه رسوبی جهت آنالیز فلزات و هیدروکربن های نفتی برداشت گردید، مشخصات منطقه و مختصات جغرافیایی هر ایستگاه توسط دستگاه GPS تعیین و ثبت گردید. پس از هر بار بالا کشیدن گرب از آب، رسوبات سطحی و مرکزی گرب به وسیله یک قاشق تفلنی برای نمونه های فلزات و یک قاشق فلزی برای نمونه های TPH برداشته شد. نمونه های TPH در ظروف آلومینیومی نام گذاری شده و نمونه های فلزات سنگین در ظروف پلاستیکی نام گذاری شده، قرار داده شدند. نمونه‌ها تا انتقال به آزمایشگاه پتروشیمی بندر امام درون یخدان حاوی یخ قرار داده شده و تا زمان شروع آنالیز در آزمایشگاه در دمای  $20^{\circ}\text{C}$ - نگه داری شدند. جهت سنجش فلزات سنگین در رسوب لازم است که از ظروف پلاستیکی استفاده نموده و نیازی به فیکساتور نمی باشد و تنها نمونه‌ها بر روی یخ به آزمایشگاه منتقل و فریز می‌شود.

جهت بررسی غلظت آلاینده های فلزی شانزده نمونه مورد تجزیه و آنالیز کامل با استفاده از اسید کلریدریک، اسید نیتریک و HF قرار گرفت. کلیه نمونه‌ها تحت دمای  $50^{\circ}\text{C}$  خشک شده سپس از الک نمرة ۲۳۰ (اندازه ۶۳ میکرون) عبور داده شدند (۲۲). حدود ۵g از هر نمونه در هاون عقیق به آرامی پودر گردید تا از ایجاد گرمای زیاد جلوگیری شود. سپس تجزیه رسوب پودر شده در روش هضم با استفاده از  $\text{HCl}$ ،  $\text{HNO}_3$  و HF صورت پذیرفت. دمای هضم  $95^{\circ}\text{C}$  بوده است. کلیه اسیدها و مواد شیمیایی مورد استفاده با کیفیت بالا و درجه خلوص بالا با حداقل ناخالصی به نمونه‌ها اضافه شد. به منظور سنجش فلزات مقدار ۱ گرم از نمونه را به دقت وزن نموده و به لوله آزمایش به منظور استخراج فلزی انتقال دادیم. به نمونه‌ها ۷ میلی لیتر اسید نیتریک ( $\text{HNO}_3$ ) غلیظ و اسید کلریدریک (HCL) به نسبت ۳ به ۱ اضافه شد. لوله‌های آزمایش برای استخراج فلزات بر روی هات پلیت قرار داده شدند. دمای هات پلیت را روی  $95^{\circ}\text{C}$  تنظیم

فاکتور آلودگی (Contamination Factor: CF) در سال ۱۹۸۰ به وسیله Hakanson تعریف گردید. این فاکتور از تقسیم غلظت هر عنصر در نمونه رسوب به غلظت زمینه در رسوبات غیر آلوده به دست می آید.

$$CF = \frac{C_{\text{heavy metal}}}{C_{\text{background}}} \quad (1)$$

هاکانسن شاخص CF را به شکل زیر اصلاح کرد

$$Cd = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (2)$$

طبقه بندی Cd و CF در جدول زیر ارائه شده است (۲۹):

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (3)$$

آنالیز خوشه ای یک روش آماری است که به وسیله آن گروه هایی از عناصر که رفتاری مشابه دارند، یا خوشه هایی را که ارتباط قابل ملاحظه ای با هم دارند می توان مشخص کرد. نتایج آنالیز خوشه ای به شکل دندوگرام نمایش داده می شود (۱۲). به منظور تجزیه و تحلیل ارتباط عناصر با هم و همچنین با عناصر شاخص (آلومینیوم، TPH، نیکل، و بار مواد آلی به ترتیب به عنوان شاخص های زمینی، نفتی و آلی در نظر گرفته شده اند)، نتایج حاصل از تجزیه کامل به صورت دندوگرام رسم و ضرایب مشابه عناصر و ارتباط آن ها با هم مشخص گردید که بدین منظور از نرم افزار MVSP استفاده شد. این نرم افزار گزینه های هم وزن را به هم متصل می کند تا خوشه های بزرگ تر ایجاد شود و تشابهات بین نمونه ها را سنجش و ارزیابی نماید (۲۷ و ۲۸).

جدول ۲- خط کش شدت آلودگی بر اساس شاخص های Cd و CF

CF	Cd	توضیحات
CF < ۱	Cd < ۷	درجه کمی از آلودگی
۱ < CF < ۳	۷ < Cd < ۱۴	درجه متوسطی از آلودگی
۳ < CF < ۶	۱۴ < Cd < ۲۸	درجه قابل ملاحظه ای از آلودگی
CF > ۶	Cd > ۲۸	درجه بسیار بالایی از آلودگی

طبقه بندی درجه آلودگی اصلاح شده شامل ۷ کلاس است که در جدول ۳ ذکر شده است (۳۰).

درجه آلودگی اصلاح شده (modified degree of contamination: mCd) و Parker پیشنهاد گردید.

جدول ۳- خط کش شدت آلودگی بر اساس شاخص های mCd

mCd	توضیحات
mCd < ۱/۵	بدون آلودگی تا درجه کمی از آلودگی
۱/۵ < mCd < ۲	درجه کمی از آلودگی
۲ < mCd < ۴	درجه متوسطی از آلودگی
۴ < mCd < ۸	درجه نسبتاً بالایی از آلودگی
۸ < mCd < ۱۶	درجه بالایی از آلودگی
۱۰ < mCd < ۳۲	درجه بسیار بالایی از آلودگی
mCd ≥ ۳۲	درجه فوق العاده بالایی از آلودگی

بار آلودگی

(Pollution load index: PLI) در سال ۱۹۸۰ بوسیله Tomlinson پیشنهاد گردید. PLI به وسیله فرمول زیر محاسبه می گردد (۳۱):

فاکتور آلودگی CF "Contamination Factor" برای بررسی غلظت TPH در رسوب در سال ۱۹۸۰ به وسیله هاگنسن تعریف گردید. این فاکتور از تقسیم غلظت TPH در نمونه رسوب به غلظت زمینه در رسوبات غیر آلوده بدست می آید.

$$CF = \frac{C_{TPH}}{C_{background}} \quad (5)$$

طبقه بندی CF همانند طبقه بندی که در جدول ۲ ارائه گردیده، می باشد (۱۹).

#### یافته ها

در این مرحله از طرح نمونه های هر شانزده ایستگاه جهت بررسی غلظت آلاینده های فلزی شامل ( Zn, Sr, Ni, Mn, Cu, Cr, Co, ) (Ba, As, Al) به روش تجزیه کامل مورد آنالیز قرار گرفتند که نتایج آن به همراه مقادیر LOI در جدول ۵ خلاصه شده است.

$$PLI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n)^{1/n} \quad (4)$$

PLI : شاخص بار آلودگی (Pollution load index)

Cf: فاکتور آلودگی

N: تعداد عناصر

مقادیر بزرگ تر از عدد ۱ برای شاخص بار آلودگی نشان دهنده آلودگی می باشد و مقادیر کوچک تر از عدد ۱ نمایانگر نقطه ای فاقد آلودگی است. بر مبنای تحقیقات صورت گرفته به وسیله Massoud در سال ۱۹۹۶ غلظت TPH در رسوبات خلیج فارس به چهار گروه تقسیم شد (guideline mg/kg).

جدول ۴- خط کش شدت آلودگی نفتی در رسوبات خلیج فارس

توضیحات	TPH (mg/kg)
فاقد آلودگی	$10 \leq TPH < 15$
کمی آلوده	$15 \leq TPH < 50$
آلودگی متوسط	$50 \leq TPH < 200$
خیلی آلودگی	$TPH \geq 200$

جدول ۵- غلظت فلزات حاصل از آزمایش آنالیز کامل به همراه مقادیر LOI در رسوبات خور ماهشهر در تاریخ ۱ تیر ۱۳۹۱

شماره ایستگاه	mg/kg									بار مواد آلی %	
	آرسنیک	باریم	کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	استرانسیوم	روی		
۱	۷/۷	۵۱	۶/۱	۴۶	۲۳	۳۳۷	۶۴	۳۷۵	۱۴۵	۱/۱۳	۴/۹۰
۲	۱۰/۶	۴۹	۳/۸	۴۲	۱۸	۳۶۰	۶۲	۳۹۰	۹۹	۰/۹۸	۳/۵۵
۳	۸/۰	۵۳	۳/۳	۴۳	۲۰	۳۴۵	۶۴	۳۸۶	۱۱۹	۱/۰۰	۳/۴۰
۴	۱۰/۹	۵۴	۳/۶	۴۳	۵۸	۳۳۸	۶۲	۳۷۸	۱۰۴	۱/۰۸	۵/۴۲
۵	۸/۰	۵۷	۲/۴	۴۷	۲۰	۳۳۸	۶۰	۳۶۸	۱۲۷	۱/۱۲	۴/۳۵
۶	۱۱/۸	۵۴	۲/۰	۴۷	۲۴	۳۴۰	۶۲	۳۷۶	۱۱۳	۱/۱۵	۵/۸۱
۷	۷/۰	۴۰	۱/۳	۳۵	۱۶	۲۷۳	۵۴	۲۸۹	۵۸	۰/۸۵	۴/۶۷
۸	۱۳/۶	۵۹	۱/۵	۴۸	۲۱	۴۱۵	۷۰	۵۰۱	۸۳	۱/۱۵	۲/۸۳
۹	۱۶/۳	۶۳	۳/۵	۴۸	۲۲	۴۰۹	۶۷	۴۳۰	۹۶	۱/۲۰	۶/۵۴
۱۰	۶/۳	۵۲	۲/۹	۴۲	۱۹	۳۵۶	۶۰	۳۶۳	۶۴	۱/۰۰	۴/۹۸
۱۱	۱۲/۶	۵۵	۲/۰	۴۵	۲۰	۳۵۱	۷۰	۳۶۱	۶۸	۱/۰۱	۴/۳۲
۱۲	۷/۲	۸۲	۲/۲	۳۴	۱۴	۳۴۵	۴۹	۳۳۰	۵۷	۰/۷۶	۳/۰۵
۱۳	۲۶/۲	۷۰	۴/۷	۴۶	۲۰	۳۷۴	۶۴	۳۶۷	۸۵	۰/۸۸	۳/۱۱
۱۴	۷/۵	۵۰	۲/۶	۴۶	۲۱	۳۷۳	۶۸	۳۵۹	۱۰۳	۰/۹۹	۴/۳۱
۱۵	۸/۰	۵۰	۲/۷	۳۷	۱۸	۳۲۵	۵۳	۴۱۰	۷۳	۰/۸۷	۴/۵۱
۱۶	۷/۰	۵۵	۳/۳	۴۳	۱۹	۳۳۴	۶۱	۴۰۱	۹۹	۱/۰۶	۶/۰۸
حداقل	۶/۳	۴۰	۱/۳	۳۴	۱۴	۲۷۳	۴۹	۲۸۹	۵۷	۰/۷۶	۲/۸۳

۲۶/۲	۸۲	۶/۱	۴۸	۵۸	۴۱۵	۷۰	۵۰۱	۱۴۵	۱/۲۰	۶/۵۴	حداکثر
۱۰/۵	۵۶	۳/۰	۴۳	۲۲	۳۵۱	۶۲	۳۸۰	۹۳	۱/۰۱	۴/۴۹	میانگین
۵/۱	۱۰	۱/۲	۴	۱۰	۳۳	۶	۴۵	۲۶	۰/۱۳	۱/۱۲	انحراف معیار
۱/۵	۳۳۰	۲۰/۰	۳۵	۵۰	۸۵۰	۸۰	۴۶۵	۷۵	۸/۱۰	-	پوسته زمین

می گیرد. نتایج آشکار می کند که غلظت Mn در محدوده mg/kg ۲۷۳ تا ۴۱۵ mg/kg با میانگینی برابر با ۳۵۱ mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت نیکل در رسوبات ۶۲ mg/kg می باشد که در محدوده ای با کمینه ۴۹ mg/kg و بیشینه ۷۰ mg/kg قرار می گیرد. میانگین غلظت Zn در رسوبات ۹۳ mg/kg می باشد که در محدوده ای با کمینه ۵۷ mg/kg و بیشینه ۱۴۵ mg/kg قرار می گیرد. میانگین غلظت Sr در رسوبات ۳۸۰ mg/kg می باشد که در محدوده ای با کمینه ۲۸۹ mg/kg و بیشینه ۵۰۱ mg/kg قرار می گیرد. با توجه به انحراف معیار کمی که در غلظت عناصر منطقه مشاهده می شود می توان گفت ارتباط مستقیمی بین ایستگاه های نمونه برداری و غلظت ها وجود ندارد.

همان طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، تفاوت قابل ملاحظه ای بین میانگین غلظت آلومینیوم در رسوبات خور ماهشهر و مقدار میانگین آن در پوسته زمین وجود دارد. نتایج آشکار می کند که غلظت As در محدوده mg/kg ۶/۳ تا ۲۶/۲ mg/kg با میانگینی برابر با ۱۰/۵ mg/kg قرار دارد. بیش ترین غلظت As در ایستگاه ۱۳ یافت شد. میانگین غلظت مس در رسوبات ۲۲ mg/kg می باشد که در محدوده ای با کمینه ۱۴ mg/kg و بیشینه ۵۸ mg/kg قرار می گیرد. نتایج بیان می کند که غلظت Co در محدوده mg/kg ۱/۳ تا ۶/۱ mg/kg با میانگینی برابر با ۳ mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت باریم در رسوبات ۵۶ mg/kg می باشد که در محدوده ای با کمینه ۴۰ mg/kg و بیشینه ۸۲ mg/kg قرار می گیرد. میانگین غلظت Cr در رسوبات ۴۳ mg/kg می باشد که در محدوده ای با کمینه ۳۴ mg/kg و بیشینه ۴۸ mg/kg قرار

جدول ۶- غلظت کل هیدروکربن های نفتی در رسوبات خور ماهشهر

شماره ایستگاه	TPH mg/kg
۱	۴۵

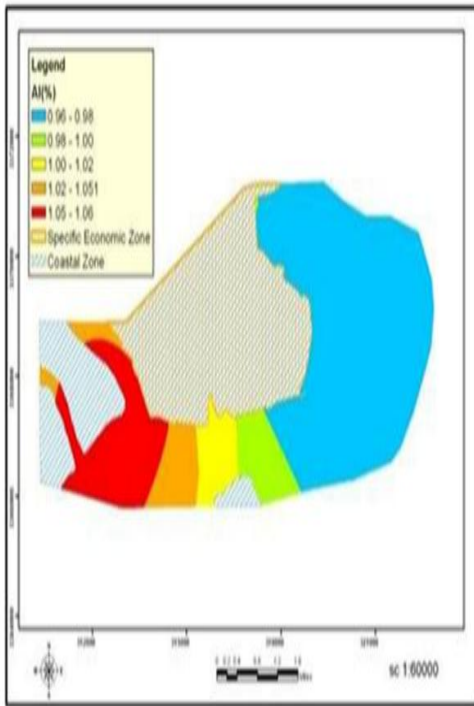


۲	۴۳
۳	۴۴
۴	۴۰
۵	۴۰
۶	۴۴
۷	۳۲
۸	۵۰
۹	۴۸
۱۰	۴۲
۱۱	۴۹
۱۲	۲۸
۱۳	۴۶
۱۴	۴۹
۱۵	۳۰
۱۶	۴۸
میانگین	۴۲

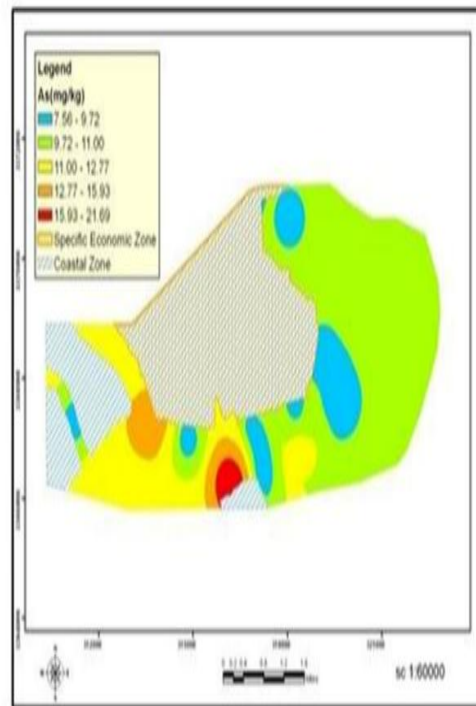
اطلاعات ابزارهای GIS به کار برده شد تا چندین نقشه سودمند از پهنه بندی غلظت عناصر ایجاد گردد. نمایش بهتر توزیع غلظت های ذکر شده در جداول ۲ و ۳ در نقشه های ارایه در تصاویر ۲ تا ۴ شده آمده است.

همان طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، میانگین غلظت TPH در رسوبات خور ماهشهر  $42 \text{ mg/kg}$  که در محدوده  $28 \text{ mg/kg}$  تا  $50 \text{ mg/kg}$  متغیر می باشد. بیشینه مقدار TPH در ایستگاه ۸ گزارش شده است.

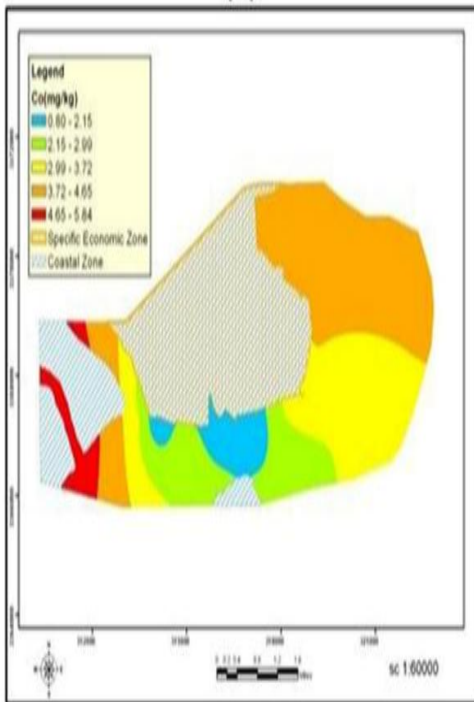
تکنیک GIS در این تحقیق برای نمایش بهتر توزیع آلودگی در رسوبات دریایی استفاده شد. همچنین به دلیل بهتر به تصویر کشیدن



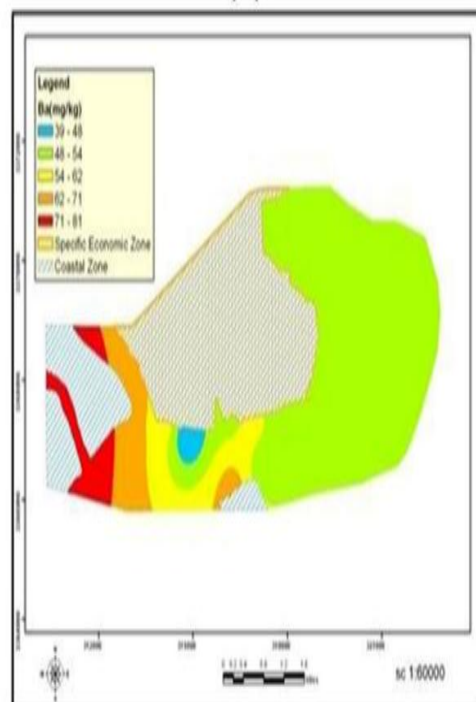
(a)



(b)

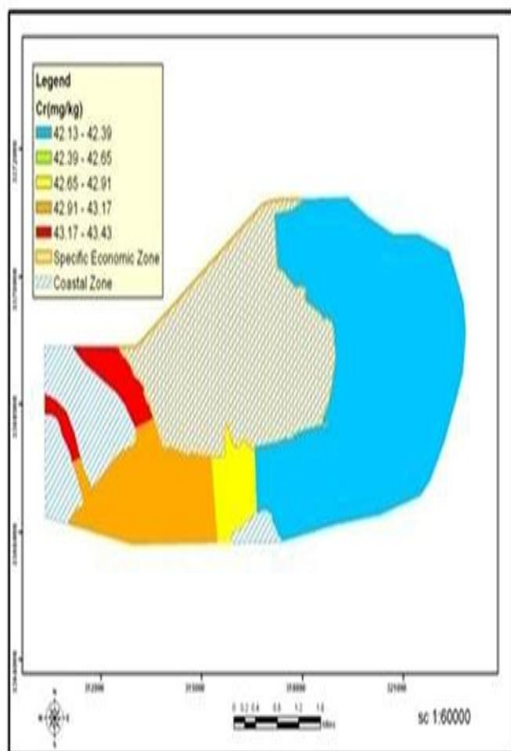


(d)

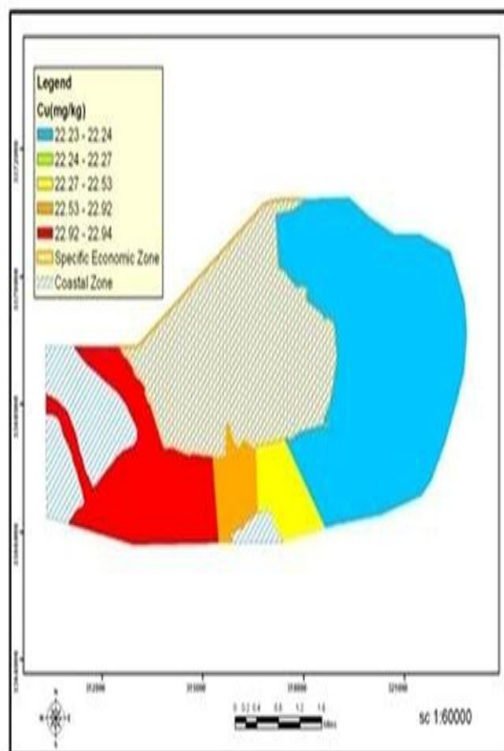


(c)

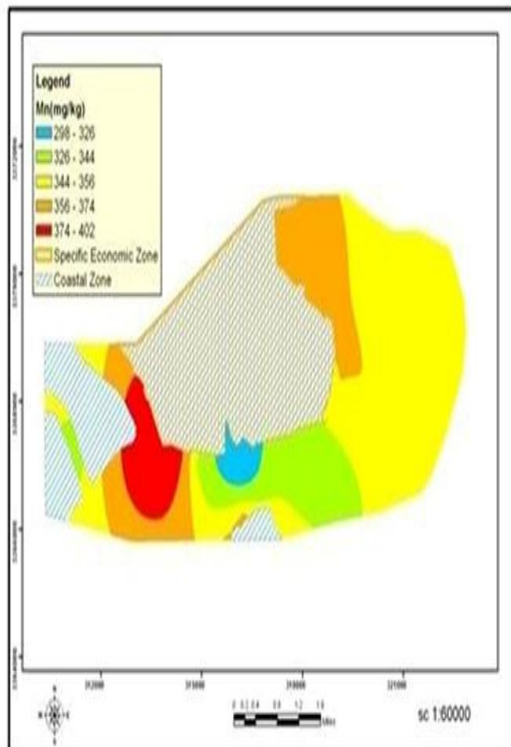
تصویر ۲- پهنه بندی غلظت Al(a), As(b), Ba(c), Co(d) در رسوبات خور ماهشهر



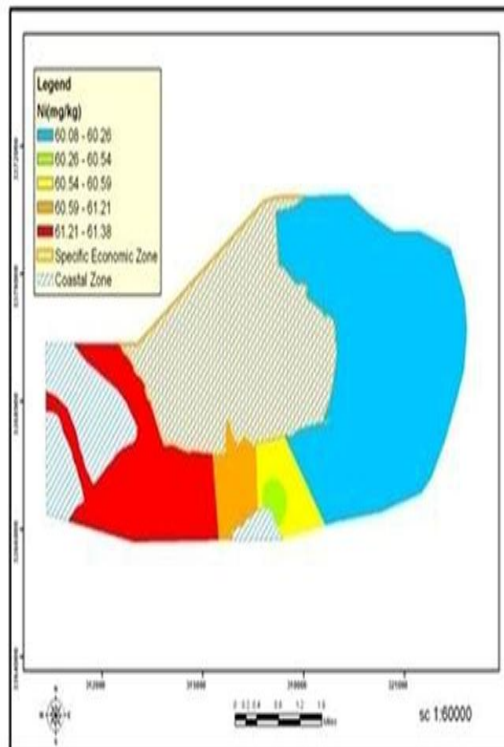
(a)



(b)

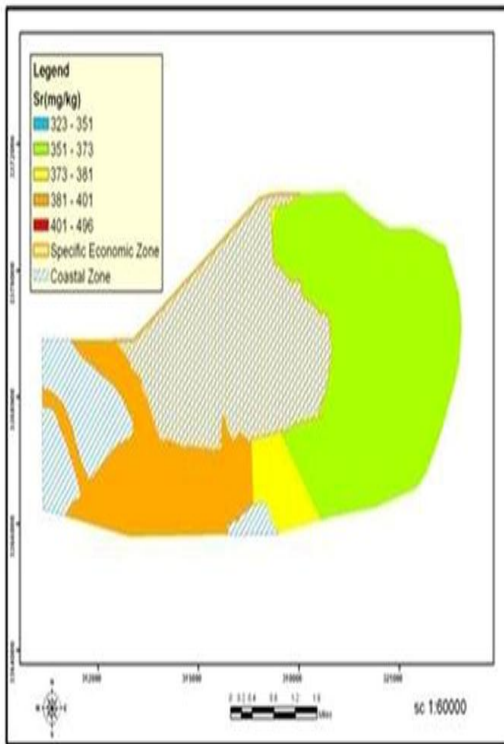


(d)

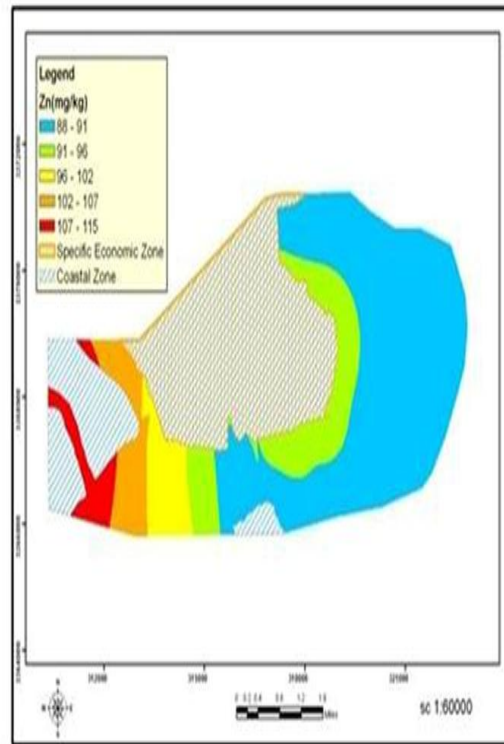


(c)

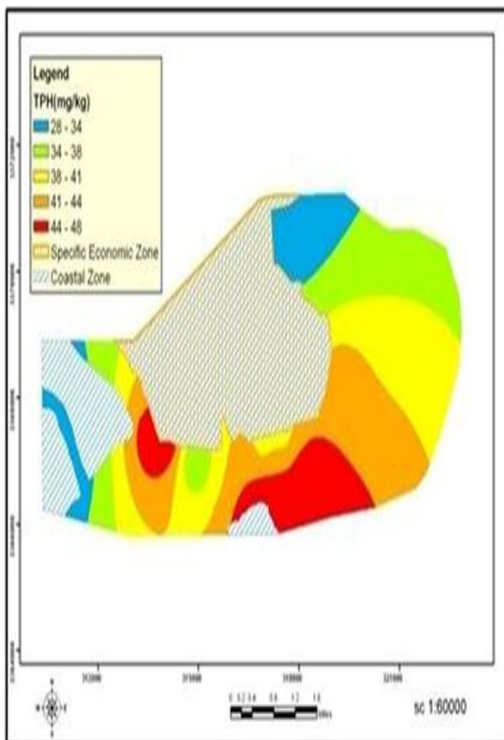
تصویر ۳- پهنه بندی غلظت Cr(a), Cu(b), Ni (c), Mn (d) در رسوبات خور ماهشهر



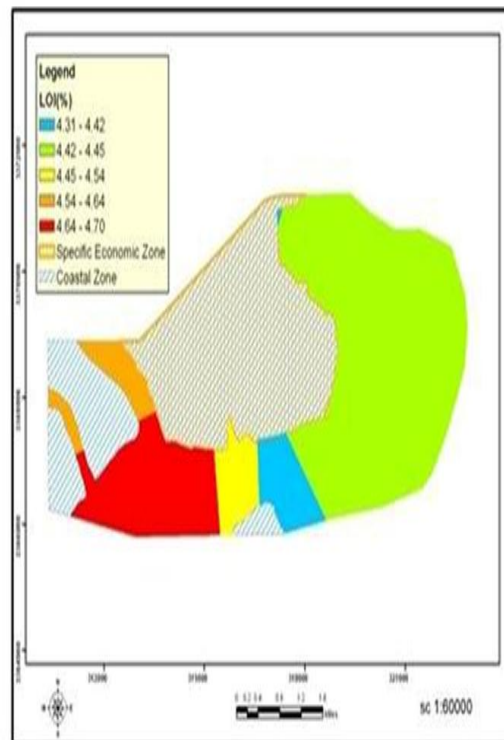
(a)



(b)



(d)



(c)

تصویر ۴- پهنه بندی غلظت Sr(a), Zn(b), LOI(c), TPH(d) در رسوبات خور ماهشهر

گرفتن از منطقه ویژه اقتصادی غلظت های Zn, Sr, Ni, LOI, Cu, Cr, Ba, As, Al کم می شود اما غلظت TPH با توجه به قرار گرفتن ایستگاه ۱۶ در رسوبات بندر صادراتی نفت ماهشهر در جهت جریان آب افزایش می یابد. نتایج شدت آلودگی در رسوبات با استفاده از شاخص CF، در جدول ۷ آمده است.

بررسی نقشه های توزیع پراکنش آلودگی نشان می دهد که ناحیه خور زنگی در امتداد منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر جزء آلوده ترین نواحی در نقشه می باشد. در این ناحیه غلظت Zn, Ni, Mn, LOI, Cu, Co, Cr, Ba, Al نقشه های توزیع پراکنش غلظت Al, Cu, Ni تقریباً از یک الگو تبعیت می کنند. با فاصله

جدول ۷- شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص CF

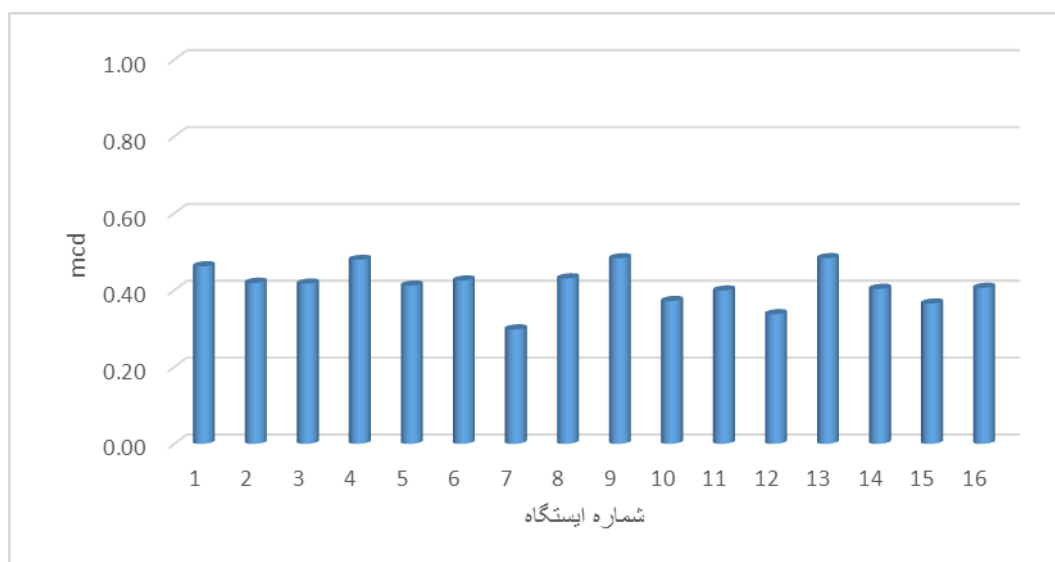
Contamination factors (CF)										شماره ایستگاه
As	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Sr	Zn	Al	
۰/۵۹	۰/۰۹	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۹۴	۱/۲۵	۱/۵۳	۰/۱۴	۱
۰/۸۱	۰/۰۸	۰/۲۰	۰/۴۷	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۹۲	۱/۳۰	۱/۰۴	۰/۱۲	۲
۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۹۵	۱/۲۹	۱/۲۵	۰/۱۲	۳
۰/۸۴	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۴۸	۱/۲۹	۰/۴۰	۰/۹۱	۱/۲۶	۱/۰۹	۰/۱۴	۴
۰/۶۲	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۸۹	۱/۲۳	۱/۳۴	۰/۱۴	۵
۰/۹۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۰	۰/۹۲	۱/۲۵	۱/۱۹	۰/۱۴	۶
۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۶۱	۰/۱۱	۷
۱/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۴۹	۱/۰۳	۱/۶۷	۰/۸۸	۰/۱۴	۸
۱/۲۶	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۹۹	۱/۴۳	۱/۰۱	۰/۱۵	۹
۰/۴۹	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۸۹	۱/۲۱	۰/۶۷	۰/۱۲	۱۰
۰/۹۷	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۱	۱/۰۳	۱/۲۰	۰/۷۲	۰/۱۳	۱۱
۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۷۲	۱/۱۰	۰/۶۰	۰/۰۹	۱۲
۲/۰۱	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۹۵	۱/۲۲	۰/۸۹	۰/۱۱	۱۳
۰/۵۸	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۲۰	۱/۰۹	۰/۱۲	۱۴
۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۷۸	۱/۳۷	۰/۷۷	۰/۱۱	۱۵
۰/۵۴	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۹۰	۱/۳۴	۱/۰۴	۰/۱۳	۱۶
۰/۸۱	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۹۱	۱/۲۷	۰/۹۸	۰/۱۳	میانگین

رسوبات با استفاده از شاخص های Cd، mCd و PLI، در جدول ۸ آمده است و در تصاویر ۵ و ۶ به شکل نمودار بین ایستگاه های مختلف مقایسه گردیده است.

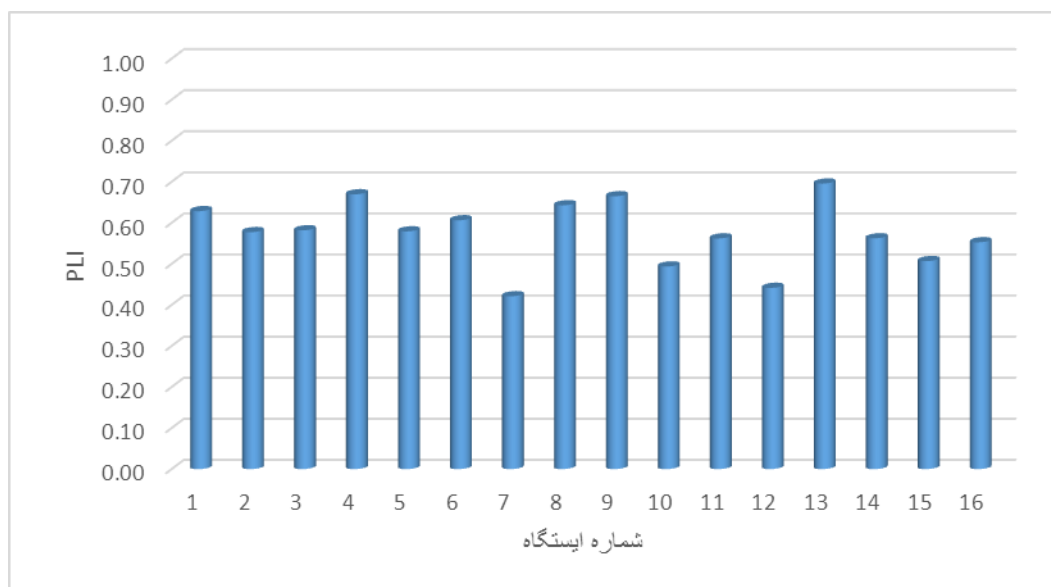
شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر توسط شاخص contamination factor (CF) مورد بررسی قرار گرفت که بیشینه مقادیر CF برای عنصر As در ایستگاه ۱۳ گزارش گردید. همه مقادیر CF بین درجه کمی از آلودگی تا درجه متوسطی از آلودگی بر اساس طبقه بندی Hakanson قرار گرفتند. نتایج شدت آلودگی در

جدول ۸- شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص های mCd, Cd و PLI

شماره ایستگاه	mCd همه عناصر	Cd همه عناصر	PLI همه عناصر
۱	۰/۶۳	۶/۲۸	۰/۴۶
۲	۰/۵۸	۵/۷۷	۰/۴۲
۳	۰/۵۸	۵/۸۲	۰/۴۲
۴	۰/۶۷	۶/۶۹	۰/۴۸
۵	۰/۵۸	۵/۷۹	۰/۴۱
۶	۰/۶۱	۶/۰۶	۰/۴۳
۷	۰/۴۲	۴/۲۱	۰/۳۰
۸	۰/۶۴	۶/۴۲	۰/۴۳
۹	۰/۶۶	۶/۶۵	۰/۴۸
۱۰	۰/۴۹	۴/۹۳	۰/۳۷
۱۱	۰/۵۶	۵/۶۲	۰/۴۰
۱۲	۰/۴۴	۴/۴۱	۰/۳۴
۱۳	۰/۷۰	۶/۹۶	۰/۴۸
۱۴	۰/۵۶	۵/۶۲	۰/۴۰
۱۵	۰/۵۱	۵/۰۷	۰/۳۷
۱۶	۰/۵۵	۵/۵۲	۰/۴۱
میانگین	۰/۵۷	۵/۷۴	۰/۴۱
حداکثر	۰/۷۰	۶/۹۶	۰/۴۸
حداقل	۰/۴۲	۴/۲۱	۰/۳۰



تصویر ۵- نمودار متوسط شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر با استفاده از شاخص mcd



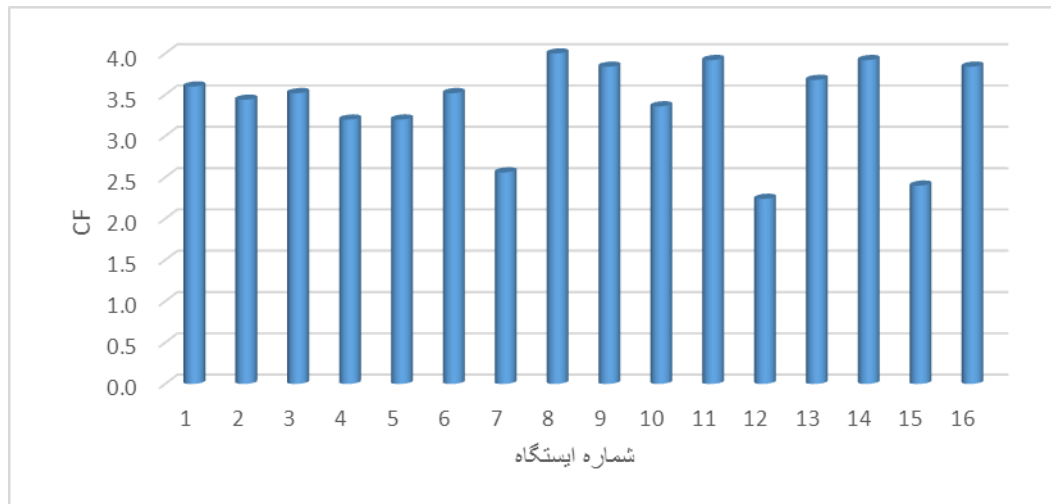
تصویر ۶- نمودار متوسط شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر با استفاده از شاخص PLI

نتایج هر ۳ شاخص  $mCd$ ،  $Cd$  و  $PLI$  در ایستگاه ۱۳ نشان دهنده درجه کمی از آلودگی هستند. نتایج شدت آلودگی نفتی در رسوبات با استفاده از شاخص  $CF$ ، در جدول ۹ آمده است.

همه مقادیر بر اساس شاخص های  $mCd$ ،  $Cd$  در محدوده درجه کمی از آلودگی قرار گرفتند. بر مبنای جدول ۸ بیشینه مقادیر  $mCd$ ،  $Cd$  و  $PLI$  در ایستگاه ۱۳ گزارش گردید. مقادیر  $PLI$  بین ۰/۳ در ایستگاه ۷ تا ۰/۴۸ در ایستگاه ۴، ۸ و ۱۳ گزارش گردید. بر اساس

جدول ۹- شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص  $CF$

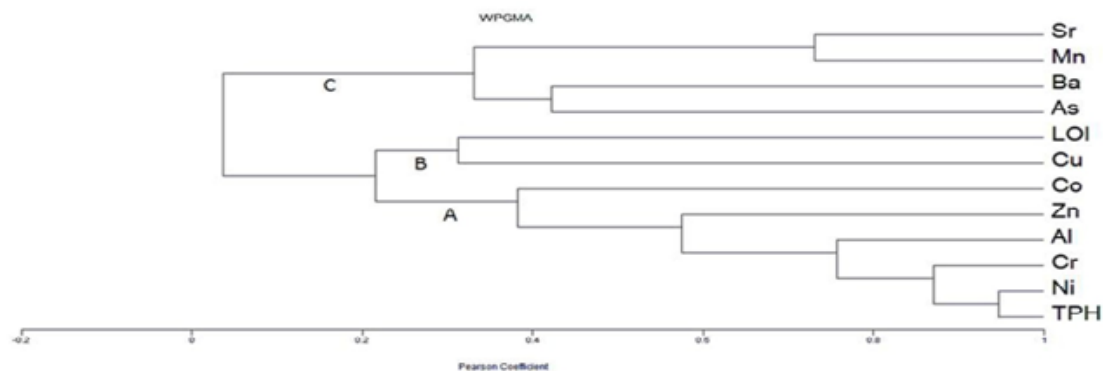
Contamination Factor	Guideline mg/kg	TPH mg/kg	شماره ایستگاه
۳/۶	۱۲/۵	۴۵	۱
۳/۴	۱۲/۵	۴۳	۲
۳/۵	۱۲/۵	۴۴	۳
۳/۲	۱۲/۵	۴۰	۴
۳/۲	۱۲/۵	۴۰	۵
۳/۵	۱۲/۵	۴۴	۶
۲/۶	۱۲/۵	۳۲	۷
۴/۰	۱۲/۵	۵۰	۸
۳/۸	۱۲/۵	۴۸	۹
۳/۴	۱۲/۵	۴۲	۱۰
۳/۹	۱۲/۵	۴۹	۱۱
۲/۲	۱۲/۵	۲۸	۱۲
۳/۷	۱۲/۵	۴۶	۱۳
۳/۹	۱۲/۵	۴۹	۱۴
۲/۴	۱۲/۵	۳۰	۱۵
۳/۸	۱۲/۵	۴۸	۱۶



تصویر ۷- نمودار متوسط شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر با استفاده از شاخص CF

آلودگی قابل ملاحظه قرار دارد. در تصویر ۷ مقایسه مقادیر بین ایستگاه های مختلف صورت گرفته است. همانطور که ذکر گردید آنالیز خوشه ای بیانگر منشأ آلودگی عناصر سنگین است. دندوگرام آنالیز خوشه ای عناصر سنگین در رسوبات خور ماهشهر در تصویر ۸ نمایش داده شده است.

همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است غلظت TPH در رسوبات خور ماهشهر از ۲۸ تا ۵۰ mg/kg متغیر می باشد بیشینه مقدار TPH در ایستگاه ۸ گزارش گردیده است. در همه ایستگاه ها غلظت TPH بزرگ تر از مقدار ارایه شده توسط مسعود به عنوان غلظت زمینه می باشد. نتایج نشان می دهد غلظت TPH در این مطالعه بر مبنای طبقه بندی CF در محدوده آلودگی متوسط تا



تصویر ۸- دندوگرام آنالیز خوشه ای عناصر سنگین در رسوبات خور ماهشهر

است. دو عنصر Ni, Cr با ضریب تشابه حدود ۰/۷۶ با عنصر Al متصل شده اند که به خاطر وجود شاخص زمینی Al بخشی از منشأ دو عنصر دیگر نیز زمینی خواهد بود. چهار عنصر Ni, Cr, Al و TPH با ضریب تشابه حدود ۰/۵۸ با عنصر Zn متصل شده اند که بخاطر وجود شاخص زمینی Al و شاخص نفتی TPH بخشی از منشأ Zn زمینی و بخشی دیگر نفتی خواهد بود. دو عنصر Sr, Mn با ضریب تشابه حدود ۰/۷۶ به یکدیگر متصل شده اند که نمایانگر این است که بخشی از منشأ دو عنصر مشترک خواهد بود. از آن جایی که LOI با شاخه های دیگر با ضریب تشابه غیر معناداری متصل می شود پس

بر اساس دندوگرام سه دسته مجزا قابل تشخیص است- Co (A); Zn-Al-Cr-Ni-TPH; (B) LOI-Cu; (C) As-Ba-Mn-Sr در شاخه A عنصر Ni و TPH با ضریب تشابه نزدیک به ۱ به یکدیگر متصل شده اند، از آن جا که TPH شاخص نفتی است، پس نتیجه گیری می شود که منشأ عنصر Ni نیز نفتی می باشد و این تاییدی است بر نظری که بیان می کند که Ni به عنوان شاخص نفتی می تواند مد نظر قرار گیرد. دو عنصر Ni و TPH با ضریب تشابه حدود ۰/۸۵ با عنصر Cr متصل شده اند، از آن جا که TPH شاخص نفتی است، نتیجه گیری می شود که منشأ عنصر Cr در شاخه A نفتی



کمی از آلودگی تا درجه متوسطی از آلودگی بر اساس طبقه بندی Hakanson قرار گرفتند. همه مقادیر بر اساس شاخص های Cd, mCd در محدوده درجه کمی از آلودگی قرار گرفتند. بیشینه مقادیر mCd, Cd و PLI در ایستگاه ۱۳ گزارش گردید. مقادیر PLI بین ۰/۳ تا ۰/۴۸ در ایستگاه ۷ تا ۰/۴۸ در ایستگاه ۴، ۸ و ۱۳ گزارش گردید. آنالیز خوشه‌ای از ۳ شاخه A, B, C تشکیل شده است. Co-Zn-TPH در شاخه A را تشکیل می‌دهند. در شاخه A عناصر Zn-Al-Cr-Ni-TPH تحت ضریب تشابه نسبتا بالا و معنی‌دار به یکدیگر متصل شده‌اند و به دلیل این که Ni و TPH می‌تواند به عنوان شاخص نفتی به کار رود، بنابراین بخشی از منشأ Zn-Al-Cr در این شاخه نیز تاحدودی نفتی است. دو عنصر Ni, Cr با ضریب تشابه حدود ۰/۷۶ با عنصر Al متصل شده اند که به خاطر وجود شاخص زمینی Al بخشی از منشأ دو عنصر دیگر نیز زمینی خواهد بود. از آن جایی که LOI با شاخه های دیگر با ضریب تشابه غیر معنی‌داری متصل می‌شود، پس نتیجه می‌شود که مواد آلی نقش قابل ملاحظه ای را در منشأ غلظت سایر عناصر ایفا نمی‌کنند. ضریب تشابه شاخه‌های سه گانه ضعیف است. آنالیز های بخش کیفیت شیمیایی رسوبات نشان می‌دهد که نتایج حاصل از شاخص های آلودگی مختلف یکدیگر را تأیید نموده و نشان دهنده وضعیت کمی آلوده تا آلودگی متوسط برای این خور می‌باشد.

#### تشکر و قدردانی

کار شرح داده شده در این مقاله، از سوی واحد تحقیق و توسعه پتروشیمی بندر امام خمینی پشتیبانی گردید و بر اساس قرارداد شماره ۰۸۷۱۶۹۹۱۰۴ به ثبت رسیده است. نویسندگان کمال تشکر و قدردانی خود را از شرکت پتروشیمی بندر امام ابراز می‌نمایند.

#### منابع

- Muijs, B., Jonker, MTO., 2009. Evaluation of clean-up agents for total petroleum hydrocarbon analysis in biota and sediments. *Journal of Chromatography A*, Vol.1216, pp. 5182-9.
- Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E., Yörük, R., 1991. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and İzmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical Geology*, Vol. 91, pp. 269-85.
- Sinem Atgin, R., El-Agha, O., Zararsız, A., Kocataş, A., Parlak, H., Tuncel, G., 2000. Investigation of the sediment pollution in Izmir Bay: trace elements.

نتیجه می‌شود که مواد آلی نقش قابل ملاحظه ای را در منشأ غلظت سایر عناصر ایفا نمی‌کنند.

#### بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق کمی سازی شدت آلودگی ناشی از وجود فلزات سنگین و هیدروکربن های نفتی و بررسی آن در رسوبات با استفاده از شاخص های شاخص بار آلودگی (PLI)، فاکتور آلودگی (CF)، شاخص درجه آلودگی (Cd) و شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mcd) در رسوبات خور ماهشهر بوده است. میانگین غلظت TPH در رسوبات خور ماهشهر ۴۲ mg/kg که در محدوده ۲۸ mg/kg تا ۵۰ mg/kg متغیر می‌باشد. بیشینه مقدار TPH در ایستگاه ۸ گزارش گردیده است. تفاوت قابل ملاحظه ای بین میانگین غلظت آلومینیوم در رسوبات خور ماهشهر و مقدار میانگین آن در پوسته زمین وجود دارد. نتایج آشکار می‌کند که غلظت As در محدوده ۲/۶ mg/kg تا ۶/۳ mg/kg با میانگینی برابر با ۲۲ mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت مس در رسوبات ۱۴ mg/kg و بیشینه ۵۸ mg/kg قرار می‌گیرد. نتایج بیان می‌کند که غلظت Co در محدوده ۱/۳ mg/kg تا ۶/۱ mg/kg با میانگینی برابر با ۳ mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت باریم در رسوبات ۵۶ mg/kg می‌باشد که در محدوده ای با کمینه ۴۰ mg/kg و بیشینه ۸۲ mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت Cr در رسوبات ۴۳ mg/kg می‌باشد که در محدوده ای با کمینه ۳۴ mg/kg و بیشینه ۴۸ mg/kg قرار می‌گیرد. نتایج آشکار می‌کند که غلظت Mn در محدوده ۲۷۳ mg/kg تا ۴۱۵ mg/kg با میانگینی برابر با ۳۵۱ mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت نیکل در رسوبات ۶۲ mg/kg می‌باشد که در محدوده ای با کمینه ۴۹ mg/kg و بیشینه ۷۰ mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت Zn در رسوبات ۹۳ mg/kg می‌باشد که در محدوده ای با کمینه ۴۵ mg/kg و بیشینه ۱۵۷ mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت Sr در رسوبات ۳۸۰ mg/kg می‌باشد که در محدوده ای با کمینه ۲۸۹ mg/kg و بیشینه ۵۰۱ mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت مواد آلی در رسوبات ۴/۴۹٪ می‌باشد که در محدوده ای با کمینه ۲/۸۳ mg/kg و بیشینه ۶/۳ mg/kg قرار می‌گیرد. در همه ایستگاه ها غلظت TPH در رسوبات بزرگتر از مقدار ارائه شده توسط مسعود به عنوان غلظت زمینه می‌باشد ( $10 < TPH \leq 15$ ). نتایج نشان می‌دهد غلظت TPH در این مطالعه بر مبنای طبقه بندی CF در محدوده آلودگی متوسط تا آلودگی قابل ملاحظه قرار دارد. شدت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات خور ماهشهر توسط شاخص CF مورد بررسی قرار گرفت که بیشینه مقادیر CF برای عنصر As در ایستگاه ۱۳ گزارش گردید. همه مقادیر CF بین درجه

14. Hollister, T., Ward, G., Parrish, P., 1980. Acute toxicity of a #6 fuel oil to marine organisms. *Bull Environ Contam Toxicol*, Vol. 24, pp. 656-61.
15. Pruell, R.J., Hoffman, E.J., Quinn, J.G., 1984. Total hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and synthetic organic compounds in the Hard shell clam, *Mercenaria mercenaria*, purchased at commercial seafood stores. *Marine Environmental Research*, Vol. 11, pp. 163-81.
16. Nasehi, F., Hassani, A.H., Monavvari, M., Karbassi, A.R., Khorasani, N., 2012. Evaluating the metallic pollution of riverine water and sediments: a case study of Aras River. *Environ Monit Assess*, Vol. 185, pp. 197-203.
17. Zhu, L., Xu, J., Wang, F., Lee, B., 2011. An assessment of selected heavy metal contamination in the surface sediments from the South China Sea before 1998. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 108, pp. 1-14.
18. Zhu, H-n., Yuan, X-z., Zeng, G-m., Jiang, M., Liang, J., Zhang, C., 2012. Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Xiawan Port based on modified potential ecological risk index. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 22, pp. 1470-7.
19. Massoud, M. S., Al-Abdali, F., Al-Ghadban, A. N., 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.
20. Christophoridis, C., Dedepsidis, D., Fytianos, K., 2009. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 168, pp. 1082-91.
21. Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*, Vol. 5, pp. 151-69.
4. Förstner, U., Wittmann, G.T.W., 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2nd rev ed: Springer.
5. Szefer, P., Szefer, K., Glasby, G.P., Pempkowiak, J., Kaliszan, R., 1996. Heavy-metal pollution in surficial sediments from the Southern Baltic sea off Poland. *Journal of Environmental Science and Health Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, Vol. 31, pp. 2723-54.
6. Salomons, W., Förstner, U., 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer.
7. Nemr, A., Sikaily, A., Khaled, A., 2007. Total and Leachable Heavy Metals in Muddy and Sandy Sediments of Egyptian Coast Along Mediterranean Sea. *Environ Monit Assess*, Vol. 129, pp. 151-68.
8. Tam, N.F.Y., Wong, Y.S., 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, Vol. 110, pp. 195-205.
9. Yang, Y., Chen, F., Zhang, L., Liu, J., Wu, S., Kang, M., 2012. Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 64, pp. 1947-55.
10. Karbassi, A.R., Fakhraee, M., Heidari, M., Vaezi, A.R., Valikhani Samani, A.R., 2014. Dissolved and particulate trace metal geochemistry during mixing of Karganrud River with Caspian Sea water. *Arab J Geosci*, Vol. 6, pp. 1-9.
11. Zhang, W., Liu, X., Cheng, H., Zeng, E.Y., Hu, Y., 2012. Heavy metal pollution in sediments of a typical mariculture zone in South China. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 64, pp. 712-20.
12. Davis, 1973. *Wie Statistics and Data Analysis in Geology*: Wiley.
13. Karbassi, A.R., Heidari, M., Vaezi, A.R., Samani, A.R.V., Fakhraee, M., Heidari, F., 2013. Effect of pH and salinity on flocculation process of heavy metals during mixing of Aras River water with Caspian Sea water. *Environ Earth Sci*, Vol. 72, pp. 457-465.

- Marine Sediments of Musa Estuary, Persian Gulf. *Journal of Environmental Studies.*, 40, 345-360.
28. Samani, A. R. V., Karbassi, A. R., Fakhræe, M., Heidari, M., Vaezi, A. R., & Valikhani, Z. (2014). "Effect of dissolved organic carbon and salinity on flocculation process of heavy metals during mixing of the Navrud River water with Caspian Seawater." *Desalination and Water Treatment*: 1-9.
29. Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Water Research*, Vol. 14, pp. 975-1001.
30. Abraham, GMS., Parker, RJ., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ Monit Assess*, Vol. 136, pp. 227-238.
31. Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., Jeffrey, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, Vol. 33, pp. 566-575.
22. Morillo, J., Usero, J., Gracia, I., 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*, Vol. 55, pp. 431-42.
23. Karbassi, AR., Monavari, SM., Nabi Bidhendi, GR., Nouri, J., Nematpour, K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environ Monit Assess*, Vol. 147, pp. 107-16.
24. Loring, DH., Rantala, RTT., 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, Vol. 32, pp. 235-83.
25. Glasby, GP., Szefer, P., 1998. Marine pollution in Gdansk Bay, Puck Bay and the Vistula Lagoon, Poland: An overview. *Science of The Total Environment*, Vol. 212, pp. 49-57.
26. ROPME, 1999. Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analysis Methods(MOOPAM). Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait.
27. Vaezi, A. R., Karbassi, A. R., Fakhræe, M., Valikhani Samani, A. R., Heidari, M. (2014). Assessment of Sources and Concentration of Metal Contaminants in