

بررسی غلظت و منشأ آلاینده‌های فلزی در رسوبات خور موسی، خلیج فارس

علیرضا واعظی^۱، عبدالرضا کرباسی*^۲، مجتبی فخرایی^۳، علیرضا ولی‌خانی سامانی^۴، مهدی حیدری^۵

۱. دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران
al.vaezi@ut.ac.ir

۲. دانشیار مهندسی محیط‌زیست دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران

۳. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران
mjfakhraee@ut.ac.ir

۴. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران
Arvs_101@yahoo.com

۵. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران
mehdiheidary@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۲۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

چکیده

خور ماهشهر در ۶۵ کیلومتری مدخل ورودی خور موسی واقع در خلیج فارس قرار دارد. به واسطه حساسیت خلیج فارس و تأثیرات منفی و مخربی که این منطقه به دلیل وجود صنایع پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر متحمل می‌شود، مطالعه حاضر در تیرماه ۱۳۹۱ در خور ماهشهر واقع در شمال غرب خلیج فارس صورت گرفت. ۱۶ نمونه سطحی رسوب به وسیله نمونه‌گیر پترسون جمع‌آوری شد. غلظت و منشأ آلاینده‌های فلزی (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sr, Zn) در رسوبات از طریق ICP-AES تعیین شد. هدف اصلی از انجام این تحقیق پایش زیست‌محیطی فلزات در رسوبات خور ماهشهر به منظور ارتقای کیفیت محیط‌زیست منطقه است. در همین راستا کمی‌سازی شدت آلودگی در رسوبات با استفاده از شاخص‌های Igeo, EF, IPOLL و m-ERM-Q صورت گرفت. از دیگر اهداف این مطالعه جداکردن بخش انسان‌ساخت از طبیعی و مشخص کردن منشأ عناصر است. در این تحقیق از روش آزمایشگاهی تفکیک شیمیایی یک‌مرحله‌ای استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که شاخص تجمع زیستی (Igeo) در حالت کلی بیانگر آلودگی کمی است با این حال فاکتور تجمع (EF) و شاخص آلودگی (IPOLL) برای فلزات آلودگی به نسبت بالایی را نمایش می‌دهد. میانگین مقادیر EF برای هر یک از فلزات بین محدوده تجمع کم تا بسیار زیاد قرار دارد. بر اساس شاخص m-ERM-Q همه نمونه‌های رسوبی ۳۰ درصد احتمال سمیت دارند. نتایج آنالیز خوشه‌ای بیانگر این بود که Cr در نمونه‌های رسوب دارای منشأ نفتی است.

کلیدواژه

آلودگی رسوبات، آنالیز خوشه‌ای، تفکیک شیمیایی، خلیج فارس، فلزات سنگین.

۱. سرآغاز

تجمع‌دادن غلظت‌های به نسبت بالای مواد شیمیایی، حساس و آسیب‌پذیر شده‌اند و در حقیقت این ورودی عظیم، آن‌ها را به مخزنی برای انواع مواد شیمیایی آلاینده و استرس‌زا تبدیل کرده است. آلودگی دریا به مشکل زیست‌محیطی مهم در سراسر دنیا تبدیل شده است

آلودگی‌های دریایی بخش زیادی از بحران آلودگی محیط‌زیست را تشکیل می‌دهند. حدود ۲/۳ سطح زمین را آب فرا گرفته است، از این رو آلودگی تأثیر بسیاری در زیستگاه‌های دریایی دارد. بوم‌سازگان‌های آبی به علت

می‌شود (Tam and Wong, 2000; Nemr, et al., 2007).
 به عناصری که جرم مخصوص آن‌ها از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشتر باشد فلز سنگین اطلاق می‌شود. فلزات سنگین نیمه‌عمر زیستی طولانی دارند و به همین جهت برای ارگانسیم‌های آبی خطر جدی محسوب می‌شوند. ارگانسیم‌ها از نظر توانایی تنظیم فلزات وارد شده به بدن متفاوت‌اند. اکثر آن‌ها فقط در محدوده خاصی می‌توانند عمل کنند و فلزات دفع‌نشده در بدن باقی می‌مانند و به طور مداوم طی دوره زندگی، میزان آن‌ها افزوده می‌شود که این امر تجمع زیستی نام دارد. خطرهای حاصله از تجمع زیستی این فلزات در سطوح بالاتر زنجیره غذایی، یکی از نگرانی‌های عمده در بحث سلامت انسان است (Karbassi, et al., 2013; Yang, et al., 2012).
 بعضی از فلزات از طریق فرایندهای طبیعی به حالت گازی یا آئروسل از طریق ته‌نشست خشک یا باران به سطح دریا می‌رسند (Karbassi, et al., 2014).

در کشورهای مختلف جهان تحقیقات وسیعی روی رسوبات و غلظت فلزات سنگین روی آن‌ها انجام شده است. رابین و همکاران در سال ۲۰۱۲ به ارزیابی ریسک ناشی از فلزات سنگین در آب، رسوبات، ذرات معلق و زوپلانکتون‌ها در قسمت جنوب‌غربی اقیانوس هند پرداختند. نتایج بیانگر این بود که به طور تقریبی در تمام ایستگاه‌ها غلظت‌ها کمتر از حد مرزی سمیت بودند. تجمع فلزات در مناطق شهری کناره‌های ساحل بیشتر از سایر مناطق گزارش شد. شاخص‌های Igeo، I_{POLL} و EF^۴ برای تخمین آلودگی رسوبات به کار برده شدند (Essien, et al., 2009; Robin, et al., 2012). ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات دریایی سواحل جنوبی چین پرداختند. نتایج ارزیابی ریسک زیست‌محیطی غلظت فلزات سنگین در رسوبات بیانگر ریسک بالای Cd در رسوبات بود. بیشترین پتانسیل ریسک نزدیک مناطق کشاورزی به دست آمد، بنابراین کنترل فلزات سنگین ورودی از فعالیت‌های کشاورزی به‌منزله

(Muijs and Jonker, 2009). در سال ۱۹۹۰ متخصصان سازمان ملل در جنبه علمی آلودگی دریا (GESAMP)^۱ آن را چنین تعریف کردند: آلودگی دریا شامل ورود هرگونه مواد یا انرژی به دست انسان به شکل مستقیم یا غیرمستقیم به محیط‌زیست دریایی (اعم از مناطق ساحلی و خوریات) است که اثر نامطلوبی در بر دارد و خطرهایی را برای منابع زنده دریایی و سلامت انسان ایجاد می‌کند یا مانع فعالیت‌های دریایی نظیر شیلات و سبب کاهش کیفیت آب دریا و کاهش مطبوعیت آن می‌شود. البته تأکید این تعریف بیشتر بر آلودگی با منشأ انسانی است و بر آلودگی‌های طبیعی تأکید کمتری دارد (Valikhani Samani, et al., 2014).
 استفاده از رسوبات برای پایش فلزات سنگین در محیط دریا ارائه‌دهنده نتایج سودمندی در خصوص پراکنش این آلاینده‌ها در محیط دریاست (Ergin, et al., 1991; Sinem, et al., 2000). رسوبات طی سالیان با گذشت زمان روی هم انباشته می‌شوند و در نهایت می‌توانند به‌منزله تثبیت‌کننده میزان آلودگی‌ها در نظر گرفته شوند. ترکیبات آلوده‌کننده پس از ورود به منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلف رسوب و تجمع می‌کنند. در صورتی که مقدار آلودگی رسوبات از مقادیر خاصی تجاوز کند، سبب برهم خوردن تعادل اکوسیستم و زوال آن می‌شود. بررسی مقدار تجمع فلزات در رسوبات امکان نظارت پیوسته بر آلودگی در یک منطقه را میسر می‌کند که از تجزیه و مطالعه آن‌ها می‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را تشخیص داد و تصمیمات مقتضی را برای کنترل آن اتخاذ کرد (Förstner and Wittmann, 1981). دانه‌بندی رسوبات فاکتور مهمی برای ارزیابی میزان آلودگی آن‌ها به فلزات سنگین است (Szefer, et al., 1996). برای آنالیز آلودگی رسوبات توصیه می‌شود از الک نمره ۲۳۰ (اندازه ۶۳ میکرون) عبور داده شوند (Salomons and Förstner, 1984). غلظت فلزات در رسوب در اثر عوامل مختلفی چون سرعت ته‌نشینی، اندازه ذرات، سرعت رسوب‌گذاری ذرات معلق و میزان مواد آلی در رسوبات دچار نوسان

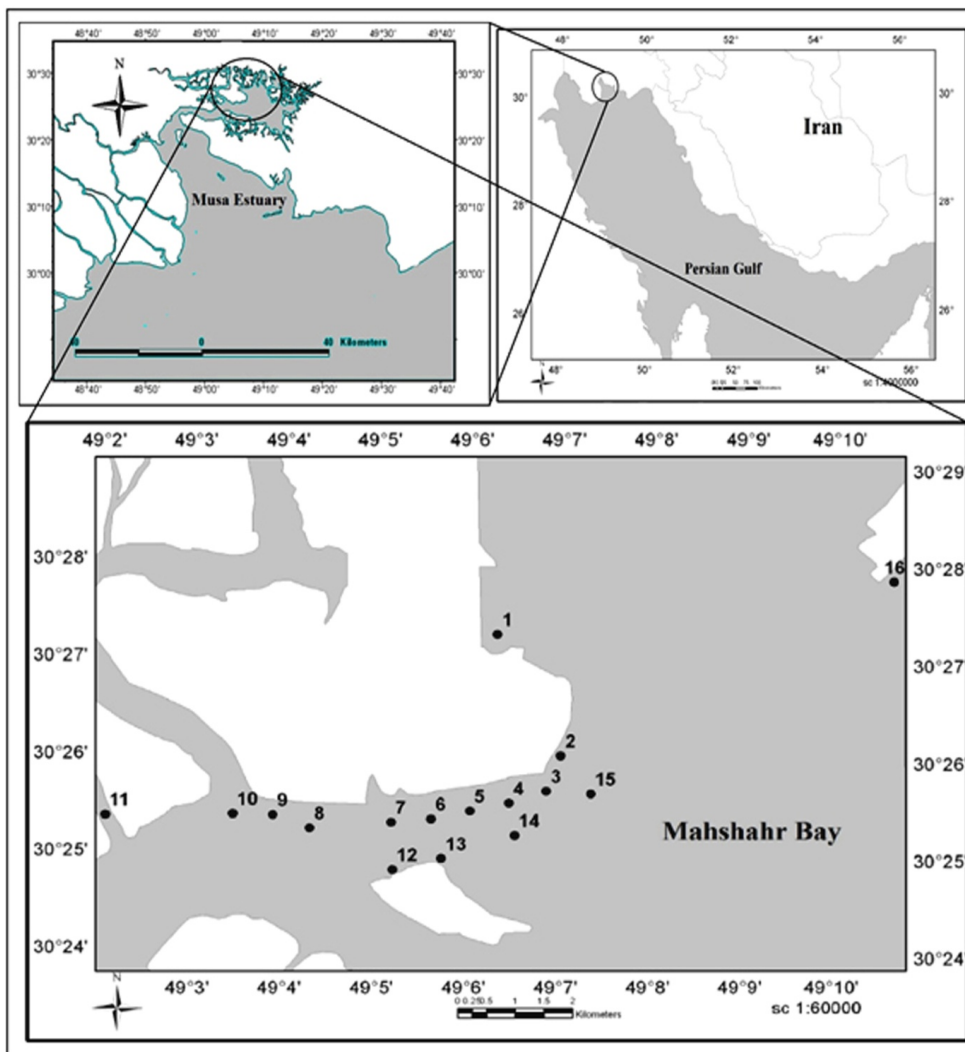
گزارش کردند. خراسانی و همکاران (۱۳۸۴) میزان فلزات سنگین (روی، مس، آهن و کروم) در رسوبات سطحی بندرعباس را اندازه‌گیری کردند. بدین منظور ۹ مقطع عمود بر ساحل در نظر گرفته و روی هر مقطع ۳ ایستگاه مشخص شد. تجزیه و تحلیل رسوبات نشان داد که به جز کروم بقیه فلزات غلظت کمتری نسبت به استانداردهای جهانی داشتند. ضریب همبستگی نشان داد منابع آلاینده مس، روی، کروم و سرب یکسان‌اند، اما آهن با توجه به پراکندگی آن در منطقه منشأ زمینی دارد. سرتاج و همکارانش (۱۳۸۱) به بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که غلظت فلزات سنگین در رسوبات نقاط داخل تالاب نسبت به ایستگاه‌های دیگر کمتر است. به طور کلی با دور شدن از مصب رودخانه‌های ورودی مقدار فلزات سنگین در رسوبات تالاب کاهش می‌یابد که در اثر عملکرد اجزای تالاب در کاهش و ترسیب فلزات سنگین در مناطق ابتدای تالاب است. در جمع‌بندی مطالعات انجام‌شده در داخل و خارج کشور به وضوح مشخص می‌شود که استفاده از رسوبات محیط‌های آبی یکی از راه‌های استفاده و تأییدشده برای پایش زیست‌محیطی است. بر اساس مطالعات ذکرشده، بررسی آلودگی محیط‌های آبی در آب و رسوبات مناطق مختلف تطابق قابل قبولی با یکدیگر دارند.

۲. مواد و روش بررسی

عملیات میدانی این پروژه در منطقه خور ماهشهر و بندر امام خمینی (ره) صورت پذیرفت. ۱۶ ایستگاه در منطقه انتخاب و مطالعه شد. انتخاب ایستگاه‌ها به گونه‌ای بود که ابتدا کل محدوده بندر تحت پوشش قرار گیرد سپس، تأثیر آلودگی‌های حاصل از صنایع مختلف واقع در بندر به خصوص مجتمع پتروشیمی بندر امام و سایر عوامل و منابع آلاینده در منطقه ارزیابی شود. در شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه و در جدول ۱ مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است.

راه‌حلی برای کاهش آلودگی مطرح شد (Zhang, et al., 2012; 2012). کریستوفریدیس و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی فلزات سنگین در رسوبات خلیج در ماکوس واقع در یونان پرداختند. چهل نمونه رسوب و پانزده نمونه آب به منظور تعیین غلظت Zn, Cu, Pb و Cr جمع‌آوری شد. چندین شاخص برای تعیین آلودگی در رسوبات استفاده شد که از جمله می‌توان به mcd^۵، EF و Igeo اشاره کرد. برای نمایش بهتر غلظت فلزات نیز از تکنیک GIS استفاده شد. به منظور ارزیابی تأثیرات مخرب روی موجودات دریایی از راهنماهای کیفیت رسوب (SQG)^۶ استفاده شد. شاخص تجمع زیستی نشان‌دهنده منشأ انسانی برای Cd و Pb بود و غلظت Cu, Pb و Zn در رسوبات کمی سمی ارزیابی شد (Christophoridis, et al., 2009; 2005). ابراهیم و پارکر در سال ۲۰۰۸ به بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوبات مغزی دریایی منطقه تماکی در نیوزلند پرداختند. غلظت عناصر Pb, Cd, Cu و Zn در هشت نمونه رسوبی بررسی شد. نتایج بیانگر تجمع بسیار فلزات در قسمت بالایی رسوبات بود. نتایج شاخص‌های mcd و EF نشان داد که رسوبات آلوده به مقدار زیادی از فلزات سنگین است (Abraham, 1997; and Parker, 2008).

کرباسی (۱۳۷۹) در تحقیقی با عنوان «غلظت استاندارد و منشأ Zn, Cu, Co, Cd, V, Fe, Pb, Mn, Ni» از طریق روش استخراج شیمیایی متوالی عناصر سنگین و آنالیز کامل آن‌ها و استفاده از شاخص شدت آلودگی رسوبات وضعیت آلودگی رسوبات سطحی خلیج فارس و استانداردهای زمینه‌ای برای رسوبات سطحی این منطقه ارائه کرده است. کرباسی و همکاران (۱۳۷۴) در تحقیقی با عنوان «غلظت و منشأ Zn, Cu, Pb, Co, Fe, Mn, Cr» در رسوبات سطحی بستر دماغه رودخانه سیاهرود، آلودگی رسوبات بستر این رودخانه در استان مازندران را بررسی و آن را آلوده به فلزات سنگین اعلام و علت را فعالیت‌های صنعتی در حوزه این رودخانه



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه

آنالیز شدند. پس از تعیین غلظت کل فلزات از روش تفکیک شیمیایی تک مرحله‌ای برای تعیین سهم انسان‌ساخت و طبیعی عناصر استفاده شد. در این مرحله از اسید کلریدریک استفاده شد. کلیه نمونه‌ها تحت دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و از الک نمرة ۲۳۰ (اندازه ۶۳ میکرون) عبور داده شدند (Morillo, et al., 2004). حدود ۵g از هر نمونه در هاون عقیق به آرامی پودر شد تا از ایجاد گرمای زیاد جلوگیری شود. سپس، تجزیه رسوب پودر شده در روش هضم با استفاده از HNO_3 ، HCl و HF صورت گرفت. دمای هضم ۹۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. کلیه اسیدها و مواد شیمیایی استفاده شده با کیفیت و درجه خلوص بالا با حداقل ناخالصی به نمونه‌ها اضافه شدند.

برای نمونه برداری رسوبات از بستر دریا به منظور بررسی و آنالیز غلظت فلزات سنگین در این تحقیق از پترسون گرب استفاده شد. در مجموع ۱۶ نمونه رسوبی برای آنالیز فلزات برداشت شد. مشخصات منطقه و مختصات جغرافیایی هر ایستگاه از طریق دستگاه GPS^{\vee} تعیین و ثبت شد. پس از هر بار بالاکشیدن گرب از آب، رسوبات سطحی و مرکزی گرب به وسیله قاشق تفلونی برداشت شد. برای سنجش غلظت فلزات سنگین در رسوب باید از ظروف پلاستیکی استفاده شود و به استفاده از فیکساتور نیازی نیست و فقط نمونه‌ها را روی یخ به آزمایشگاه منتقل و فریز کنیم.

برای بررسی غلظت آلاینده‌های فلزی ۱۶ نمونه با استفاده از اسید کلریدریک، اسید نیتریک و HF تجزیه و

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ردیف	مختصات جغرافیایی		عمق (m)	دما (°C)	تاریخ نمونه‌برداری	توضیحات
	عرض	طول				
۱	۳۰°۲۷'۱۵/۹" N	۴۹° ۶'۱۸/۵" E	۲/۰	۲۸/۰	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیهٔ پساب پتروشیمی
۲	۳۰°۲۶'۱/۶۱" N	۴۹° ۷'۰/۸۸" E	۲/۲	۲۸/۶	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیهٔ پساب پتروشیمی
۳	۳۰°۲۵'۳۹/۶۸" N	۴۹° ۶'۵۲/۰۲" E	۱۹/۳	۲۸/۵	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۴	۳۰°۲۵'۳۲/۰۲" N	۴۹° ۶'۲۷/۸۹" E	۱۵/۲	۲۹/۴	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۵	۳۰°۲۵'۲۶/۸۰" N	۴۹° ۶'۲/۵۱" E	۲۱/۲	۲۹/۶	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۶	۳۰°۲۵'۲۱/۴۷" N	۴۹° ۵'۳۷/۰۵" E	۷/۸	۲۹/۵	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۷	۳۰°۲۵'۱۹/۱۵" N	۴۹° ۵'۱۱/۱۵" E	۲۰/۴	۲۹/۸	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۸	۳۰°۲۵'۱۴/۹۱" N	۴۹° ۴'۱۸/۰۲" E	۱۱/۱	۳۰/۰	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۹	۳۰°۲۵'۲۲/۷۰" N	۴۹° ۳'۵۳/۹۴" E	۱۶/۹	۳۰/۲	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری مواد
۱۰	۳۰°۲۵'۲۳/۰۱" N	۴۹° ۳'۲۷/۸۰" E	۲۳/۰	۳۰/۳	۱۳۹۱/۴/۱	محل تلاقی خوریات ماهشهر و زنگی
۱۱	۳۰°۲۵'۲۴/۲" N	۴۹° ۲'۱۱/۳" E	۸/۷	۳۰/۰	۱۳۹۱/۴/۱	نقطه‌ای در فاصلهٔ ۲ کیلومتری از منطقه ویژه
۱۲	۳۰°۲۴'۴۹/۹" N	۴۹° ۵'۱۲/۵" E	۱/۰	۳۱/۱	۱۳۹۱/۴/۱	نقطه‌ای در فاصلهٔ ۱ کیلومتری از منطقه ویژه
۱۳	۳۰°۲۴'۵۷/۲" N	۴۹° ۵'۴۴/۲" E	۲/۴	۳۰/۵	۱۳۹۱/۴/۱	نقطه‌ای در فاصلهٔ ۱ کیلومتری از منطقه ویژه
۱۴	۳۰°۲۵'۱۲/۴۰" N	۴۹° ۶'۳۱/۷۸" E	۱۳/۱	۲۹/۳	۱۳۹۱/۴/۱	خط عبور کشتی
۱۵	۳۰°۲۵'۳۸/۵۱" N	۴۹° ۷'۲۱/۴۰" E	۱۳/۰	۲۹/۰	۱۳۹۱/۴/۱	خط عبور کشتی
۱۶	۳۰°۲۷'۴۴/۵" N	۴۹° ۱۰'۴۵/۹" E	۱۶/۲	۲۹/۷	۱۳۹۱/۴/۱	تخلیه و بارگیری نفت

به منظور سنجش فلزات مقدار ۱ گرم از نمونه را به دقت وزن کردیم و به منظور استخراج فلزی به لوله آزمایش انتقال دادیم. سپس، ۷ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO₃) غلیظ و اسید کلریدریک (HCL) به نسبت ۳ به ۱ به نمونه‌ها اضافه شد. لوله‌های آزمایش برای استخراج فلزات روی هات پلیت قرار داده شدند. دمای هات پلیت

را روی ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد تنظیم کردیم و نمونه‌ها را به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار دادیم و پس از خنک‌شدن به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه یعنی تا وقتی که دود خاکستری دیگر دیده نشود، ۵ میلی‌لیتر HF به محلول اضافه کردیم. محلول‌های هضم‌شده به بالن ژورژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و با استفاده از NH₄Cl رقیق شدند.

در این فرمول به لحاظ آنکه غلظت پیشین عنصر از طریق تجزیه کامل به دست نمی‌آید باید از غلظت شیل که نوعی سنگ رسوبی است، استفاده کرد. چون متوسط غلظت عناصر در شیل نسبت به متوسط غلظت عناصر در رسوبات غیرآلوده کمتر است، بنابراین باید برای متعادل‌سازی آن را در عدد ۱/۵ ضرب کرد (Abraham, 2008; Anagnostou, et al., 1997; and Parker, 2008). چنانچه آمار تفکیک شیمیایی در دسترس باشد، می‌توان فرمول مولر را بهینه یا اصلاح کرد. چون روش تفکیک شیمیایی بخش انسان‌ساخت را از طبیعی جدا می‌کند، بنابراین میزان دقیق Bn به دست می‌آید. فرمول مولر از سوی کرباسی در سال ۱۳۸۶ به شرح زیر تغییر یافت (Karbassi, et al., 2005):

$$I_{\text{POLL}} = \log_r \left(\frac{B_n}{L_p} \right) \quad (2)$$

نهایتاً در هر دو فرمول ذکر شده، خط‌کشی برای تعیین شدت آلودگی به کار گرفته می‌شود که این خط‌کش در جدول ۲ آورده شده است.

نمونه‌های آماده‌شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند. در این هنگام نمونه‌ها آماده آنالیز بودند (Loring and Rantala, 1992; Karbassi, et al., 2008). به منظور تفکیک شیمیایی تک‌مرحله‌ای ۲ گرم از نمونه خشک را داخل ارلن مایر می‌ریزیم و به آن ۱۵ سی‌سی اسید کلریدریک ۰/۵۳ نرمال اضافه می‌کنیم. این ماده سبب شکست پیوند سست و سولفیدی خواهد شد. دقت نداشتن آن به لحاظ شکسته‌نشدن پیوند آلی است. ارلن مایر را ۳۰ دقیقه به دستگاه تکان‌دهنده وصل سپس، آن را فیلتر می‌کنیم و به حجم ۵۰ سی‌سی می‌رسانیم (Karbassi, et al., 2005).

برای تعیین شدت آلودگی در محیط‌زیست می‌توان با استفاده از شاخص‌های مختلف نسبت به شناسایی و تعیین شدت آلودگی اقدام کرد. یکی از قدیمی‌ترین شاخص‌های شدت آلودگی، ژئوشیمیایی مولر است که در سال ۱۹۷۹ تدوین شد. فرمول به شرح زیر است (Muller, 1979):

$$I_{\text{geo}} = \log_r \left(\frac{C_n}{1/\Delta B_n} \right) \quad (1)$$

Igeo = شاخص شدت آلودگی در خاک؛

cn = غلظت فلز سنگین در مطالعه حاضر؛

Bn = غلظت فلز سنگین در سنگ شیل؛

۱/۵ = فاکتور تصحیح شیل.

جدول ۲. رده‌بندی خاک بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر و شاخص آلودگی

شاخص زمین‌انباشتگی	درجه آلودگی
کمتر از صفر	غیرآلوده
۱ - ۰	غیرآلوده تا کمی آلوده
۲ - ۱	کمی آلوده
۳ - ۲	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۴ - ۳	خیلی آلوده
۵ - ۴	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
بزرگ‌تر از ۵	شدیداً آلوده

در غلظت‌های بزرگ‌تر از ERM تأثیرات مخرب غالباً اتفاق می‌افتند.

جدول ۴. خط‌کش شدت آلودگی بر اساس شاخص‌های ERL و ERM

عنصر	ERM	ERL
آرسنیک	۷۰	۸
کروم	۳۷۰	۸۱
مس	۲۷۰	۳۴
نیکل	۵۲	۲۱
روی	۴۱۰	۱۵۰

به منظور محاسبه مقدار سمیت حاصل از ترکیب گروهی از عناصر سمی با غلظت‌های متفاوت در نمونه سوب میانگین سهم SQG به شکل $m-ERM-Q$ محاسبه می‌شود (Robin, et al., ; Essien, et al., 2009) (2012):

$$m-ERM-Q = \sum \frac{C_i/ERM_i}{n} \quad (4)$$

ERM: میانه رنج مؤثر؛

C_i : غلظت عناصر؛

N: تعداد عناصر.

جدول ۵. طبقه‌بندی احتمال سمیت رسوبات بر مبنای ERM

احتمال سمیت	m-ERM-Q
۱۲ درصد	<۰/۱
۳۰ درصد	۰/۱۱-۰/۵
۴۰ درصد	۰/۵۱-۱/۵
۷۴ درصد	>۱/۵

آنالیز خوشه‌ای روشی آماری است که به وسیله آن می‌توان گروهی از عناصر که رفتاری مشابه یا خوشه‌هایی را که ارتباط زیادی با هم دارند مشخص کرد. نتایج آنالیز خوشه‌ای به شکل دندروگرام نمایش داده می‌شود (Davis, 1973). هر عنصری که با نیکل ضریب همبستگی مثبت و بالایی برقرار کند دارای منشأ نفتی و هر عنصری که با

شاخص EF در سال ۱۹۷۹ از سوی Buat-Menard and Chesselet ارائه شد. فرمول به شرح زیر است:

$$EF = (C_n / Al) / (B_n / Al) \quad (3)$$

EF: فاکتور تجمع (Enrichment Factor)؛

C_n / Al : غلظت فعلی عنصر در نمونه تقسیم بر غلظت آلومینیوم در نمونه؛

B_n / Al : غلظت عنصر به آلومینیوم در پوسته زمین.

در این فرمول در صورت کسر غلظت عنصر مورد نظر تقسیم بر غلظت آهن در همان محیط می‌شود سپس، حاصل تقسیم در کسر دوم که مربوط به غلظت‌های پوسته زمین است، مجدداً تقسیم می‌شود. این روش با استفاده از عنصر نرمال‌کننده مانند آلومینیوم آهن تغییرات ناشی از ناهمگنی رسوبات را کاهش می‌دهد (Abraham and Parker, 2008). دانشمندان استرالیا به‌تازگی طبقه‌بندی خوبی برای شاخص EF ارائه کرده‌اند که به شرح زیر است (Loska and Wiechula, 2003; Sutherland, 2000):

جدول ۳. خط‌کش شدت آلودگی EF

درجه آلودگی	EF
تجمع کم	$EF < 2$
تجمع متوسط	$2 \leq EF < 5$
تجمع قابل ملاحظه	$5 \leq EF < 20$
تجمع بسیار زیاد	$20 \leq EF < 40$
تجمع بسیار زیاد	$EF \geq 40$

رسوبات به صورت بالقوه در محیط‌های آبی منبع و دریافت‌کننده ترکیبات شیمیایی سمی به شمار می‌روند (McCready, et al., 2006). راهنماهای کیفیت برای رسوبات (SQGs) به منظور ارزیابی آثار مخرب بیولوژیکی روی حیات دریایی بر مبنای مشاهدات حاصل از مطالعات مختلف در دهه‌های اخیر ابداع شده است (Essien, et al., 2009). دو مقدار راهنمای ERM^1 و ERM^9 برای عناصر مختلف ابداع شده که در جدول ۴ آمده است. در غلظت‌های کوچک‌تر از ERL تأثیرات مخرب به ندرت و

آن‌ها با هم مشخص شد که بدین منظور از نرم‌افزار MVSP^{۱۱} استفاده شده است (Karbassi, et al., 2001).

۳. نتایج

نمونه‌های هر ۱۶ ایستگاه برای بررسی غلظت آلاینده‌های فلزی شامل (As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sr, Zn) و (Al) به روش تجزیه کامل آنالیز شدند که نتایج آن همراه مقادیر LOI^{۱۲} در جدول ۶ خلاصه شده است.

آلومینیوم ارتباط مثبت و معنی‌دار برقرار کند دارای منشأ زمینی خواهد بود. اگر در آنالیزهای آماری ارتباط قوی بین عنصر و مواد آلی دیده شود، منشأ عنصر آلی خواهد بود (Karbassi, et al., 2005). به منظور تجزیه و تحلیل ارتباط عناصر با هم همچنین، با عناصر شاخص آلودگی و در نهایت با شاخص‌های تعیین‌کننده منشأ عناصر (آلومینیوم، نیکل و بار مواد آلی)، نتایج حاصل از تجزیه کامل به صورت دندروگرام رسم و ضرایب مشابه عناصر و ارتباط

جدول ۶. غلظت فلزات حاصل از آزمایش آنالیز کامل همراه مقادیر LOI در رسوبات خور ماهشهر

شماره ایستگاه	mg/kg									%	
	آرسنیک	باریم	کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	استرانسیوم	روی	آلومینیوم	بار مواد آلی
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	۳۳۵	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
حداکثر	۲۶/۲	۸۲	۶/۱	۴۸	۵۸	۴۱۵	۷۰	۵۰۱	۱۴۵	۱/۲۰	۶/۵۴
میانگین	۱۰/۵	۵۶	۳/۰	۴۳	۲۲	۳۵۱	۶۲	۳۸۰	۹۳	۱/۰۱	۴/۴۹
انحراف معیار	۵/۱	۱۰	۱/۲	۴	۱۰	۳۳	۶	۴۵	۲۶	۰/۱۳	۱/۱۲
پوسته زمین	۱/۵	۳۳۰	۲۰/۰	۳۵	۵۰	۸۵۰	۸۰	۴۶۵	۷۵	۸/۱۰	-

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است تفاوت زیادی 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 $6/3 \text{ mg/kg}$ تا $26/2 \text{ mg/kg}$ با میانگینی برابر با $10/5 \text{ mg/kg}$ قرار دارد. بیشترین غلظت As در ایستگاه ۱۳ یافت شد. میانگین غلظت مس در رسوبات 22 mg/kg است که در محدوده‌ای با مینیمم 14 mg/kg و ماکزیمم 58 mg/kg قرار می‌گیرد. نتایج بیان می‌کند که غلظت Co در محدوده $1/3 \text{ mg/kg}$ تا $6/1 \text{ mg/kg}$ با میانگینی برابر 3 mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت باریم در رسوبات 56 mg/kg است که در محدوده‌ای با مینیمم 40 mg/kg و ماکزیمم 82 mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت Cr در رسوبات 43 mg/kg است که در محدوده‌ای با مینیمم 34 mg/kg و ماکزیمم 48 mg/kg قرار می‌گیرد. نتایج آشکار می‌کند که غلظت Mn در محدوده 273 mg/kg تا 415 mg/kg با میانگینی برابر با

۳۵۱ mg/kg قرار دارد. میانگین غلظت نیکل در رسوبات 62 mg/kg است که در محدوده‌ای با مینیمم 49 mg/kg و ماکزیمم 70 mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت Zn در رسوبات 93 mg/kg است که در محدوده‌ای با مینیمم 57 mg/kg و ماکزیمم 145 mg/kg قرار می‌گیرد. میانگین غلظت Sr در رسوبات 380 mg/kg است که در محدوده‌ای با مینیمم 289 mg/kg و ماکزیمم 501 mg/kg قرار می‌گیرد. با توجه به انحراف معیار کمی که در غلظت عناصر منطقه مشاهده می‌شود می‌توان گفت که بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و غلظت‌ها ارتباط مستقیمی وجود ندارد. با دست بودن نتایج تجزیه کامل و تفکیک شیمیایی تک‌مرحله‌ای حاصل از شکستن پیوندهای سست و سولفیدی فازهای طبیعی و انسان‌ساخت فلزات سنگین (Zn, Sr, Ni, Mn, Cu, Cr و Co) به صورت جدول ۷ به دست می‌آید.

جدول ۷. سهم فاز انسان‌ساخت و طبیعی فلزات سنگین در رسوبات خور ماهشهر

کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	استرانسیوم	روی	
۳	۴۳	۲۲	۳۵۱	۶۲	۳۸۰	۹۳	میانگین غلظت mg/kg
۲	۲۹	۳	۳۰۲	۴۹	۲۹۲	۸۵	سهم پیوند سست و سولفیدی
۱	۱۹	۲۱	۸۴	۱۹	۱۲۶	۱۸	سهم طبیعی
۲	۲۵	۱	۲۶۷	۴۳	۲۵۴	۷۶	سهم انسان‌ساخت
۷۶	۶۷	۱۴	۸۶	۷۹	۷۷	۹۱	درصد پیوند سست و سولفیدی
۳۴	۴۳	۹۶	۲۴	۳۱	۳۳	۱۹	درصد طبیعی
۶۶	۵۷	۴	۷۶	۶۹	۶۷	۸۱	درصد انسان‌ساخت

نتایج تفکیک شیمیایی تک‌مرحله‌ای نمایانگر این است که غیر از عنصر Cu سایر فلزات مقدار زیادی آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی را نشان می‌دهند. از قدیمی‌ترین شاخص‌های شدت آلودگی، ژئوشیمیایی مولر است که در سال ۱۹۷۹ تدوین شده و برای تعیین

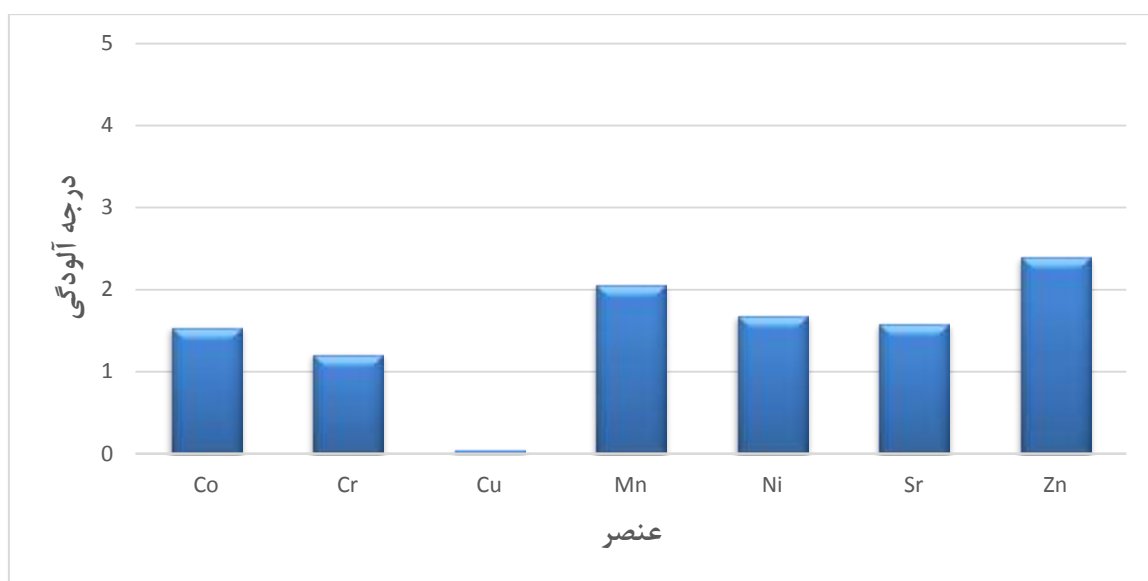
شدت آلودگی در محیط‌زیست می‌توان از آن استفاده کرد. در این فرمول به لحاظ آنکه غلظت پیشین عنصر از طریق تجزیه کامل به دست نمی‌آید باید از غلظت شیل که نوعی سنگ رسوبی است، استفاده کرد. به دلیل آنکه متوسط غلظت عناصر در شیل نسبت به متوسط غلظت عناصر در

از فرمول مولر در این منطقه منفی به دست آمده، در طبقه بندی این شاخص آلودگی تفسیری بر آن پیش بینی نشده است. بنابراین، این شاخص نمی تواند ابزار مناسبی برای تعیین شدت و درجه آلودگی در خور ماهشهر باشد. با توجه به کاستی ها و اشکالات در شاخص تعیین آلودگی مولر این فرمول اصلاح شد به طوری که در فرمول جدید به جای استفاده از غلظت شیل با استفاده از روش تفکیک شیمیایی، غلظت طبیعی همان عنصر جایگزین شده است (کرباسی، ۱۳۸۶).

رسوبات غیرآلوده کمتر است، بنابراین برای متعادل سازی آن را در عدد ۱/۵ ضرب می کنیم. با در دست بودن مقدار غلظت عناصر از تجزیه کامل و شیل شدت آلودگی عناصر بر مبنای شاخص Igeo مقادیری منفی به دست آمد. خط کش تعیین آلودگی مولر برای اعداد منفی عناصر جایگاه مشخصی ارائه نداده است، از آنجا که زمین شناسی های مناطق مختلف با هم متفاوت اند استفاده از ضریب تصحیح ۱/۵ در این فرمول نمی تواند به تنهایی صحیح باشد. از طرفی شیل در مناطق مختلف غلظت های یکسانی ندارد و آخر اینکه با توجه به اینکه مقادیر حاصل

جدول ۸. شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص Ipoll کرباسی ۱۳۸۶

کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	استرانسیوم	روی	عنصر
۳	۴۳	۲۲	۳۵۱	۶۲	۳۸۰	۹۳	میانگین غلظت mg/kg
۳۴	۴۳	۹۶	۲۴	۳۱	۳۳	۱۹	درصد انسان ساخت
۶۶	۵۷	۴	۷۶	۶۹	۶۷	۸۱	درصد طبیعی
۱/۵۵	۱/۲۱	۰/۰۵	۲/۰۷	۱/۶۹	۱/۵۹	۲/۴۰	I _{POLL}



شکل ۲. نمودار متوسط شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر با استفاده از شاخص I_{POLL}

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در این شاخص غلظت عناصر Zn و Mn در حد کمی آلوده تا خیلی آلوده است و عناصر دیگر آلودگی کمی را نشان می‌دهند به غیر از مس که در طبقه‌بندی در رده غیرآلوده تا کمی آلوده قرار می‌گیرد.

شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر از طریق شاخص EF بررسی شد که با قراردادن مقادیر مورد نیاز در فرمول غنی‌سازی جدول ۹ به دست آمد. مقادیر به‌دست‌آمده از طریق شاخص EF برای عناصر مختلف در رسوبات خور ماهشهر بین تجمع کم تا بسیار زیاد تغییر می‌کند. ماکزیمم مقدار EF متعلق است به

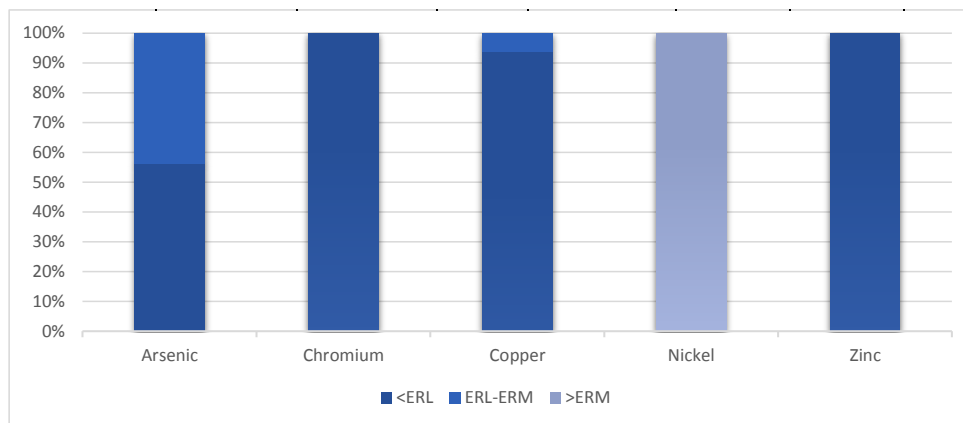
بر مبنای جدول ۱۰ در تمام نمونه‌ها غلظت عنصر نیکل بزرگ‌تر از حد ERM است و در ۴۴ درصد نمونه‌ها غلظت عنصر آرسنیک بین ERL و ERM قرار گرفت. در تمام نمونه‌ها غلظت عناصر مس، کروم و روی کوچک‌تر از حد ERL است.

جدول ۹. شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص EF

Enrichment Factor									شماره
آرسنیک	باریم	کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	استرانسیوم	روی	ایستگاه
۲۷/۷	۱/۱	۲/۲	۹/۵	۳/۳	۲/۸	۵/۸	۵/۸	۱۳/۹	۱
۴۳/۶	۱/۲	۱/۶	۹/۹	۳/۰	۳/۵	۶/۴	۶/۹	۱۰/۹	۲
۳۲/۶	۱/۳	۱/۳	۹/۹	۳/۳	۳/۳	۶/۶	۶/۸	۱۲/۹	۳
۴۱/۰	۱/۲	۱/۴	۹/۳	۸/۷	۳/۰	۵/۸	۶/۱	۱۰/۳	۴
۲۸/۹	۱/۲	۰/۹	۹/۶	۲/۹	۲/۹	۵/۴	۵/۷	۱۲/۳	۵
۴۱/۷	۱/۲	۰/۷	۹/۵	۳/۳	۲/۸	۵/۵	۵/۷	۱۰/۶	۶
۳۳/۵	۱/۲	۰/۶	۹/۶	۳/۱	۳/۱	۶/۴	۶/۰	۷/۴	۷
۴۷/۹	۱/۳	۰/۵	۹/۶	۲/۹	۳/۴	۶/۱	۷/۶	۷/۸	۸
۵۵/۲	۱/۳	۱/۲	۹/۴	۳/۰	۳/۳	۵/۷	۶/۳	۸/۷	۹
۲۵/۶	۱/۳	۱/۲	۹/۷	۳/۱	۳/۴	۶/۱	۶/۳	۶/۹	۱۰
۵۰/۶	۱/۳	۰/۸	۱۰/۴	۳/۳	۳/۳	۷/۱	۶/۳	۷/۳	۱۱
۳۸/۵	۲/۶	۱/۲	۱۰/۴	۲/۹	۴/۳	۶/۵	۷/۶	۸/۱	۱۲
۱۲۰/۱	۲/۰	۲/۱	۱۲/۱	۳/۷	۴/۰	۷/۴	۷/۲	۱۰/۴	۱۳
۳۰/۸	۱/۲	۱/۱	۱۰/۷	۳/۴	۳/۶	۷/۰	۶/۳	۱۱/۳	۱۴
۳۷/۲	۱/۴	۱/۲	۹/۹	۳/۳	۳/۶	۶/۲	۸/۲	۹/۱	۱۵
۲۶/۷	۱/۳	۱/۳	۹/۵	۲/۹	۳/۰	۵/۸	۶/۶	۱۰/۱	۱۶
۴۲/۶	۱/۴	۱/۲	۹/۹	۳/۵	۳/۳	۶/۲	۶/۵	۹/۹	میانگین

جدول ۱۰. شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص‌های ERM و ERL

عناصر	ERM<	ERL-ERM	ERL>	ERM	ERL
آرسنیک	۰	۴۴	۵۶	۷۰	۸
کروم	۰	۰	۱۰۰	۳۷۰	۸۱
مس	۰	۶	۹۴	۲۷۰	۳۴
نیکل	۱۰۰	۰	۰	۵۲	۲۱
روی	۰	۰	۱۰۰	۴۱۰	۱۵۰



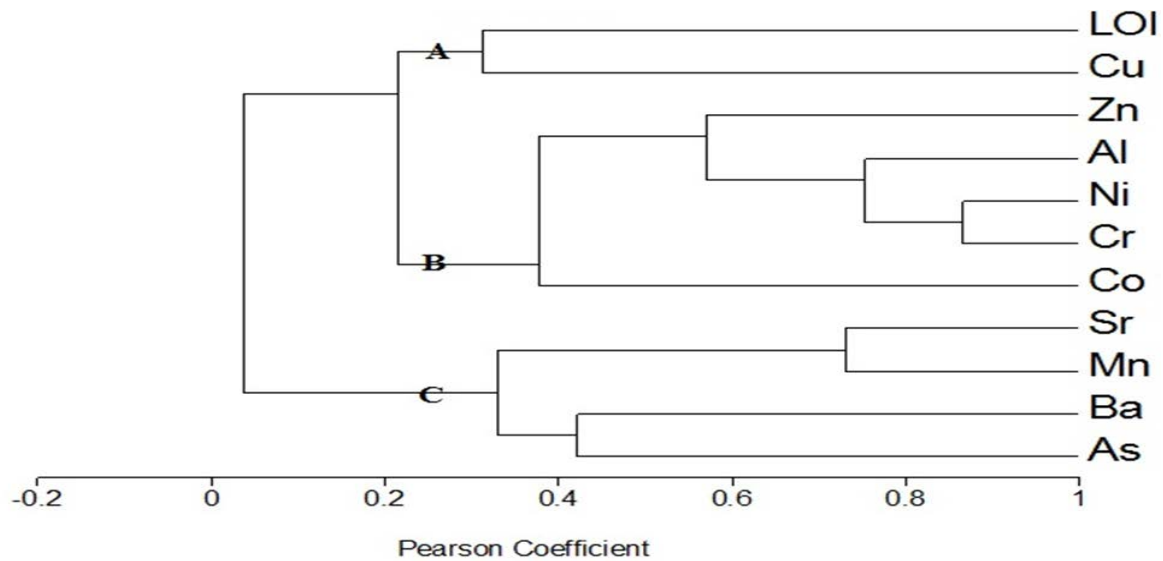
شکل ۳. نمودار متوسط شدت آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ERM و ERL

همچنین، شدت آلودگی رسوبات خور ماهشهر از طریق شاخص m-ERM-Q بررسی شد:

جدول ۱۱. شدت آلودگی در رسوبات خور ماهشهر بر اساس شاخص m-ERM-Q

m-ERM-Q	Ci/ERMi					شماره ایستگاه
	آرسنیک	کروم	مس	نیکل	روی	
۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۱/۲۳	۰/۳۵	۱
۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۷	۱/۲۰	۰/۲۴	۲
۰/۳۷	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۲۴	۰/۲۹	۳
۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۲۲	۱/۱۹	۰/۲۵	۴
۰/۳۶	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۱/۱۶	۰/۳۱	۵
۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۹	۱/۲۰	۰/۲۸	۶
۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۶	۱/۰۳	۰/۱۴	۷
۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۱/۳۴	۰/۲۰	۸
۰/۴۰	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۰۸	۱/۳۰	۰/۲۳	۹
۰/۳۲	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۷	۱/۱۶	۰/۱۶	۱۰
۰/۳۸	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۸	۱/۳۵	۰/۱۷	۱۱
۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۹۴	۰/۱۴	۱۲
۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۰۸	۱/۲۴	۰/۲۱	۱۳
۰/۳۷	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۱/۳۱	۰/۲۵	۱۴
۰/۳۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۷	۱/۰۲	۰/۱۸	۱۵
۰/۳۴	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۱۸	۰/۲۴	۱۶
-	۷۰	۳۷۰	۲۷۰	۵۲	۴۱۰	ERM

بر اساس شاخص m-ERM-Q همه نمونه‌های رسوبی ۳۰ درصد احتمال سمیت دارند.



شکل ۴. دندروگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین در رسوبات خور ماهشهر

فلزات سنگین در رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی مولر (Igeo)، شاخص بار آلودگی کرباسی (I_{POLL})، فاکتور غنی‌شدگی (EF) و شاخص m-ERM-Q در رسوبات خور ماهشهر تعیین شد. نتایج تفکیک شیمیایی تک‌مرحله‌ای نمایانگر این است که غیر از عنصر Cu سایر فلزات مقدار زیادی آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی را نشان می‌دهند. از قدیمی‌ترین شاخص‌های شدت آلودگی، ژئوشیمیایی مولر است که نتایج به‌دست‌آمده از آن در منطقه مورد نظر کارایی ندارد. با توجه به کاستی‌ها و اشکالات در شاخص تعیین آلودگی مولر این فرمول در سال ۱۳۸۶ از سوی آقای دکتر کرباسی اصلاح شد. ملاحظه شد که در این شاخص غلظت عناصر Zn و Mn در حد کمی آلوده تا خیلی آلوده بوده‌اند و عناصر دیگر حد کمی از آلودگی را نشان می‌دهند به غیر از مس که در طبقه‌بندی در رده غیرآلوده تا کمی آلوده قرار می‌گیرد. مقادیر به‌دست‌آمده از طریق شاخص EF برای عناصر مختلف در رسوبات خور ماهشهر بین تجمع کم تا بسیار زیاد تغییر می‌کند. ماکزیمم مقدار EF متعلق است به $As=42/6$ که نشان‌دهنده تجمع بسیار زیاد برای این عنصر در رسوبات است. کمترین مقدار EF متعلق است به $Co=1/2$ که نشان‌دهنده تجمع کم برای این عنصر در

بر اساس دندروگرام سه دسته مجزا قابل تشخیص است: (A) LOI-Cu، (B) Co-Zn-Al-Cr-Ni و (C) As-Ba-Mn-Sr

عنصر Ni با ضریب تشابه حدود ۰/۸۵ به عنصر Cr متصل شده است، از آنجا که Ni شاخص نفتی است نتیجه‌گیری می‌شود که بخش زیادی از منشأ عنصر Cr نفتی است. دو عنصر Ni و Cr با ضریب تشابه حدود ۰/۷۶ با عنصر Al متصل شده‌اند که به علت شاخص زمینی Al بخشی از منشأ دو عنصر دیگر نیز زمینی خواهد بود. سه عنصر Ni، Cr و Al با ضریب تشابه حدود ۰/۵۸ با عنصر Zn متصل شده‌اند که به علت شاخص زمینی Al و نفتی Ni بخشی از منشأ Zn زمینی و بخشی دیگر نفتی خواهد بود. دو عنصر Mn و Sr با ضریب تشابه حدود ۰/۷۶ به یکدیگر متصل شده‌اند که نمایانگر این است که بخشی از منشأ دو عنصر مشترک خواهد بود. از آنجا که LOI با ضریب تشابه غیرمعناداری با شاخه‌های دیگر متصل می‌شود پس می‌توان گفت که مواد آلی نقش بسیاری در منشأ غلظت سایر عناصر ایفا نمی‌کنند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق کمی‌سازی شدت آلودگی ناشی از

یکدیگر را تأیید و به طور کلی خور ماهشهر را در وضعیت کمی آلوده تا آلودگی متوسط ارزیابی می‌کنند. با توجه به بهره‌برداری‌های متعدد در این ناحیه ساحلی اعلام شرایط نامتعادل و رو به آلودگی در این منطقه بدیهی است.

تشکر و قدردانی

کار شرح داده‌شده در این مقاله، از سوی واحد تحقیق و توسعه پتروشیمی بندر امام خمینی پشتیبانی شد و بر اساس قرارداد شماره ۰۸۷۱۶۹۹۱۰۴ به ثبت رسید. نویسندگان کمال تشکر و قدردانی خود را از شرکت پتروشیمی بندر امام ابراز می‌کنند.

یادداشت‌ها

1. Joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection
2. Geo-accumulation Index
3. Pollution Index
4. Enrichment Factor
5. Modified degree of contamination
6. Sediment Quality Guidelines
7. Global Positioning System
8. Effects Range-Low
9. Effects Range-Median
10. Mean ERM Quotient
11. MultiVariate Statistical Package
12. Loss on Ignition

رسوبات است. دو مقدار راهنمای ERL و ERM برای عناصر مختلف در رسوبات خور ماهشهر محاسبه شد. در تمام نمونه‌ها غلظت عنصر نیکل بزرگ‌تر از حد ERM است و در ۴۴ درصد نمونه‌ها غلظت عنصر آرسنیک بین ERL و ERM قرار گرفت. در تمام نمونه‌ها غلظت عناصر مس، کروم و روی کوچک‌تر از حد ERL است. در غلظت‌های کوچک‌تر از ERL تأثیرات مخرب به ندرت و در غلظت‌های بزرگ‌تر از ERM تأثیرات مخرب غالباً اتفاق می‌افتد. مقدار سمیت حاصل از ترکیب گروهی از عناصر سمی با غلظت‌های متفاوت در نمونه رسوب بر اساس شاخص m-ERM-Q محاسبه شد و بر اساس این شاخص همه نمونه‌های رسوبی ۳۰ درصد احتمال سمیت دارند. آنالیز خوشه‌ای نشان داد که عنصر Ni با ضریب تشابه حدود ۰/۸۵ به عنصر Cr متصل شده است، از آنجا که Ni شاخص نفتی است نتیجه‌گیری می‌شود که بخش زیادی از منشأ عنصر Cr نفتی است. دو عنصر Ni و Cr با ضریب تشابه حدود ۰/۷۶ با عنصر Al متصل شده‌اند که به علت شاخص زمینی Al بخشی از منشأ دو عنصر دیگر نیز زمینی خواهد بود. آنالیزهای بخش کیفیت شیمیایی رسوبات نشان می‌دهند که نتایج حاصل از شاخص‌های آلودگی مختلف

منابع

- خراسانی، ن. شایگان، ج. کریمی‌شهری، ن. ۱۳۸۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (روی، مس، آهن، کروم و سرب) در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۴، صص ۸۶۱-۸۶۹.
- سرتاج، م. فتح‌اللهی‌دهکردی، ف. فیلی‌زاده، ی. ۱۳۸۴. بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی، فصلنامه منابع طبیعی ایران، سال پنجاه و هشتم، شماره ۳، صص ۶۲۳-۶۳۴.
- کرباسی، ع. ۱۳۷۴. غلظت و منشأ Zn, Cu, Cr, Mn, Fe, Co, Pb در رسوبات سطحی بستر دماغه رودخانه سیاهرود، فصلنامه علمی سازمان حفاظت محیط‌زیست، جلد ۷، شماره ۲، صص ۳۵-۳۹.
- کرباسی، ع. ۱۳۷۹. غلظت استاندارد و منشأ Ni, Mn, Pb, Fe, V, Cd, Co, Cu و Zn در رسوبات خلیج فارس، مجله علم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره ۵-۶، صص ۵۳-۶۶.

Abraham, G. M. S., & Parker, R. J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1-3), 227-238.

Anagnostou, C., Kaberi, H., & Karageorgis, A. 1997. Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf

of Thessaloniki according to the Geoaccumulation Index classification. Paper presented at the Rajar J , Brebbia CA (eds) Water pollution IV – measuring, modelling and prediction. ,

Buat-Menard, P., & Chesselet, R. 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42(3), 399-411.

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*, 5(2), 151-169.

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*, 168(2-3), 1082-1091.

Davis (1973). *Statistics and Data Analysis in Geology*: Wiley.

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*, 91(3), 269-285.

Essien, J. P., Antai, S. P., & Olajire, A. A. 2009. Distribution, Seasonal Variations and Ecotoxicological Significance of Heavy Metals in Sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1-4), 91-105.

Förstner, U., & Wittmann, G. T. W. 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment* (2nd rev ed.): Springer.

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. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-9.

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. *Environmental Earth Sciences*, 1-9.

Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, G. R., Nouri, J., & Nematpour, K. 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147(1-3), 107-116.

Karbassi, A. R., Nabi-Bidhendi, G. R., & Bayati, I. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2(4), 255-260.

Karbassi, A. R., Shankar, R., & Manjunatha, B. R. 2001. Geochemistry of shelf sediments off Mulki on southwestern coast of India and their palaeo-environment significance. *Journal of the Geological Society of India*, 58, 37-44.

Loring, D. H., & Rantala, R. T. T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32(4), 235-283.

Loska, K., & Wiechuła, D. 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, 51(8), 723-733.

McCready, S., Birch, G. F., Long, E. R., Spyrikis, G., & Greely, C. R. 2006. An Evaluation of Australian Sediment Quality Guidelines. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(3), 306-315.

Morillo, J., Usero, J., & Gracia, I. 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*, 55(3), 431-442.

Muijs, B., & Jonker, M. T. O. 2009. Evaluation of clean-up agents for total petroleum hydrocarbon analysis in biota and sediments. *Journal of Chromatography A*, 1216(27), 5182-5189.

Muller, G. 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins Veränderungenseit. *Umschau*, 79 (24), 778 –783.

Nemr, A., Sikaily, A., & Khaled, A. 2007. Total and Leachable Heavy Metals in Muddy and Sandy Sediments of Egyptian Coast Along Mediterranean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1-3), 151-168.

Robin, R. S., Muduli, P. R., Vardhan, K. V., Ganguly, D., Abhilash, K. R., & Balasubramanian, T. 2012. Heavy Metal Contamination and Risk Assessment in the Marine Environment of Arabian Sea, along the Southwest Coast of India. *American Journal of Chemistry*, 2(4), 191-208.

Salomons, W., & Förstner, U. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer.

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. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 55(7), 1151-1164.

- Sutherland, R. A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611-627.
- 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*, 31(10), 2723-2754.
- Tam, N. F. Y., & Wong, Y. S. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110(2), 195-205.
- Valikhani Samani, A. R., Karbassi, A. R., Fakhraee, 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.
- 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*, 64(9), 1947-1955.
- 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*, 64(4), 712-720.
- 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*, 22(6), 1470-1477.