

بررسی غلظت فلزات در رسوبات سطحی دریای خزر در امتداد نیم‌خط‌های کیورچال، بندرانزلی و کیاشهر

سید جواد هاشمی^۱

علیرضا ریاحی بختیاری^۲

راضیه لک^۳

(دریافت ۹۱/۱۱/۸ پذیرش ۹۲/۳/۱۸)

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی پراکنش و تعیین منشأ فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در رسوبات سطحی سواحل جنوب غربی دریای خزر، نمونه برداری از رسوبات سطحی سه نیم خط کیورچال، بندرانزلی و کیاشهر در خرداد ماه ۱۳۹۱ انجام شد. غلظت فلزات توسط دستگاه ICP-OES تعیین شد. منشأ فلزات در منطقه طبیعی و ناشی از فرسایش خاک و سنگ‌های حوضه آبریز رودخانه‌های ورودی به دریا به دست آمد. میانگین غلظت کلی فلزات در امتداد نیم‌خط‌های مورد مطالعه با افزایش فاصله از ساحل، افزایش معنی‌داری را نشان دادند که می‌تواند ناشی از انتقال رسوبات با توجه به شیب ساحل در امتداد نیم‌خط‌ها باشد. همچنین میانگین غلظت کلی فلزات در امتداد ساحل، افزایش معنی‌داری را در نیم خط بندرانزلی نشان دادند، که از دلایل آن می‌توان به وجود تالاب انزلی با توجه به تعدد رودخانه‌های ورودی به آن و مجاری خروجی از آن به دریا اشاره کرد. همچنین غلظت کلی فلزات در رسوبات سطحی منطقه در مقایسه با استانداردهای جهانی SQGs و NOAA پایین‌تر بود. کد ارزیابی ریسک نیز برای فلزات مورد مطالعه، عدم ریسک و فقط برای سرب و مس، ریسک پایین را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: منشأیابی، ارزیابی ریسک، سرب، مس، روی

Concentrations of Different Metals in the Caspian Sea Coastal Surface Sediments along the Three Transects of Kapourchal, Bandar-Anzali, and Kiashahr

S. J. Hashemi¹

A.R. Riahi Bakhtiari²

R. Lak³

(Received Jan. 27, 2013 Accepted June 8, 2013)

Abstract

This study was conducted to determine the origin and distribution of the lead, copper, zinc, nickel, chromium, and vanadium metals in the surface sediments of the southwestern coasts of the Caspian Sea. Surface sediment samples were collected from the three transects of Kapourchal, Bandar-Anzali, and Kiashahr at three different depths of 10, 20, and 50 m. Metal concentrations were determined by ICP-OES. The metals in these areas were identified to originate from such natural sources as rock weathering and soil erosion transported by rivers into the sea. The mean total concentrations of the metals along the three transects showed significant increases with increasing distance from the shore, which might be due to the transportation of sediments as a result of increasing slope along the sampling transects. The same trend was observed in the samples taken from the coastal areas along Bandar-Anzali, which could be due to the wetlands in the region and the multitude of rivers flowing into this wetland which eventually carried the sediments into the sea. Results revealed that the total metal concentrations in the region were below the SQGs and NOAA standards. Finally, risk assessment code did not show any serious risks, but indicated only a low risk due to lead and copper levels.

Keywords: Source Identification, Risk Assessment, Lead, Copper, Zinc, Gamma Test.

1. MSc Student of Environmental Eng., Dept. of Natural Resources Eng., Tarbiat Modares University, Noor

2. Assoc. Prof. of Environment, Dept. of Natural Resources Eng., Tarbiat Modares University, Noor (Corresponding Author) (+98 122) 6253101 riahi@modares.ac.ir

3. Assist. Prof. of Geological Survey of Iran, Research Institute Earth Sciences, Tehran, Iran

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور (نویسنده مسئول) ۶۲۵۳۱۰۱ (+۹۸ ۱۲۲) riahi@modares.ac.ir

۳- استادیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

تحقیق، بیشترین غلظت فلز روی در بخش تبادل بود، که نشان دهنده تحرک بالای این فلز است. بنابراین انتظار می‌رود این فلز به راحتی بین رسوب و ستون آب مبادله شود. بیشترین غلظت فلز مس در پیوند با اکسیدهای آهن و منگنز مشاهده شد. نتایج برای فلز سرب تحرک متوسطی را نشان داد. در این تحقیق کمترین تحرک برای فلزات آهن، نیکل و کروم دیده شد، زیرا بیشترین غلظت آنها در بخش پایدار بود. دویوسن و گورکم غلظت فلزات کروم، مس، سرب و روی را در چهار بخش ژئوشیمیایی رسوبات خلیج از میر ترکیه بررسی و منشاء فلزات را تعیین نمودند [۱۰]. نتایج نشان داد که فلزات کروم و مس اغلب در پیوند با بخش آلی بوده که داشتن تحرک کمتر، نشان دهنده فرم پایدار آنها بود. فلز سرب بیشتر در ترکیب با اکسیدهای آهن و منگنز یافت شد، که این فرم ناپایدار بوده و می‌تواند به صورت کسر قابل دسترس در آید. بیشترین غلظت فلز روی در کسر تبادل مشاهده شد. بنابراین در این تحقیق مشخص شد که فلز روی بیشترین تحرک را در رسوبات داراست. از دیگر مطالعات مشابه می‌توان به بررسی‌های لی و همکاران و یاپ و همکاران، اشاره کرد [۱۱ و ۱۲]. هدف از این مطالعه تعیین منشاء فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم از طریق آنالیز فلزات در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات سطحی سواحل جنوب غربی دریای خزر بود. این فلزات از عمده‌ترین فلزات شاخص آلودگی نفتی می‌باشند [۱۳]. همچنین روند تغییرات غلظت و پراکنش این فلزات در امتداد ساحل و با افزایش فاصله از ساحل در امتداد نیم خط‌های نمونه‌برداری نیز بررسی شد. علاوه بر این، برای رسیدن به درک بهتری از وضعیت آلودگی رسوبات به فلزات در منطقه مورد مطالعه، میانگین غلظت فلزات با استانداردهای بین‌المللی کیفیت رسوب آمریکا^۱ و استاندارد کیفیت رسوب کانادا^۲ مقایسه شد. در ادامه برای ارزیابی تحرک و دسترسی زیستی فلزات در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه، کد ارزیابی ریسک برای آنها محاسبه شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در خرداد ماه سال ۱۳۹۱ از رسوبات سطحی سواحل جنوب غربی دریای خزر انجام شد. انتخاب محل‌های نمونه‌برداری بر اساس حضور منابع آلاینده، توزیع آنها، پیوستن رودخانه‌ها به دریا، مناطق با اهمیت بندرگاهی و حمل و نقل، امکانات و تجهیزات موجود و سهولت دسترسی به محل برای انجام نمونه‌برداری صورت گرفت. در این مطالعه سعی شد غلظت فلزات هم در امتداد ساحل و هم با افزایش فاصله از ساحل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. بر

رسوبات به‌عنوان نشانگرهای حساس برای پایش آلودگی در مناطق ساحلی به‌کار می‌روند [۱]. این رسوبات محل تجمع انواع آلاینده‌های ورودی به سواحل هستند [۲]. در میان آلاینده‌های مختلف، فلزات سنگین به‌علت سمیت، پایداری و طبیعت غیر قابل تجزیه در محیط زیست، یکی از بزرگ‌ترین خطرات زیست محیطی اکوسیستم‌های ساحلی و دریایی به‌شمار می‌روند [۳]. فلزات می‌توانند از طریق فعالیت‌های انسانی از جمله تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، رواناب‌های کشاورزی، حمل و نقل، سوزاندن زباله، شیرابه معدن و فرایندهای طبیعی از جمله نشست اتمسفری و فرسایش سنگ و خاک، وارد آب‌های ساحلی شوند [۴]. در رسوبات، سمیت، تحرک و دسترسی زیستی فلزات در فرم‌های شیمیایی مختلف متفاوت است. به‌طوری‌که فلزات با منشاء طبیعی عمدتاً با سیلیکات‌ها و مواد معدنی در ارتباط هستند. در نتیجه تحرک و سمیت کمتری دارند. در حالی که فلزات با منشاء انسانی با کربنات‌ها، اکسیدها، هیدروکسیدها و سولفیدها در ارتباط بوده و در نتیجه تحرک و سمیت بیشتری دارند [۵]. بنابراین فقط اندازه‌گیری غلظت کلی فلزات در رسوبات نمی‌تواند اطلاعات کافی در رابطه با تحرک، دسترسی زیستی و در نتیجه خطرات برای اکوسیستم‌های آبی را فراهم کند. در نقطه مقابل، بررسی فلزات در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات، ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از تأثیرات محیط زیستی فراهم می‌کند [۶].

دریای خزر بزرگ‌ترین پیکره آبی محصور در دنیا است که به وسیله پنج کشور ساحلی آذربایجان، روسیه، ایران، قزاقستان و ترکمنستان محصور شده است [۷]. این دریاچه به‌رغم ویژگی‌های اکولوژیکی خاص خود و همچنین محدودیت‌های جغرافیایی حاکم بر آن، همواره تحت تأثیر منابع آلاینده مختلف واقع شده است. بخشی از این آلاینده‌ها دارای منشاء طبیعی ناشی از غلظت زمینهای آنها در خاک و سنگ‌های منطقه می‌باشند. علاوه بر این، توسعه فعالیت‌های ساحلی و برون ساحلی استخراج، پالایش و بهره‌برداری از نفت، نشست چاه‌ها، انتقال و پالایش نفت، انفجار خطوط لوله و چاه‌های نفت، تصادفات محتمل، آب موتورخانه و آب تعادل کشتی‌ها، پسماندهای تأسیسات ساحلی و فرا ساحلی استخراج نفت در کنار تخلیه مستقیم فاضلاب‌های شهری و صنعتی ورودی به دریا و رودخانه‌های منتهی به آن را می‌توان عمده‌ترین منابع ورود آلاینده‌ها به دریای خزر دانست [۸]. آنالیز فلزات در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات در نقاط مختلف جهان در مطالعات زیادی گزارش شده است. موریلو و همکاران، غلظت و تحرک فلزات مس، روی، سرب، آهن، نیکل و کروم را در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات دریایی سواحل جنوب غربی اسپانیا بررسی نمودند [۹]. در این تحقیق مقادیر غلظت کلی برای فلزات کروم و نیکل مشابه با مناطق غیر آلوده به‌دست آمد. بر اساس نتیجه‌گیری کلی این

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

² Interim Sediment Quality Guideline (Environment Canada) (ISQG)

نسبت ۴:۱ بر روی دستگاه هضم کننده، ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه به مدت ۳ ساعت هضم شد. در ادامه نمونه‌های هضم شده تا ۲۵ میلی‌لیتر با استفاده از آب دو بار تقطیر شده رقیق و با کاغذ صافی واتمن^۳ شماره ۱ صاف شدند. بعد از فیلتر کردن و رقیق‌سازی، غلظت کلی فلزات در نمونه‌های رسوب توسط دستگاه پلاسما ی جفت شده القایی - طیف سنج نوری نشری^۴ مدل واریان ۷۳۵^۵ تعیین شد.

۲-۴- آنالیز فلزات در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات

آنالیز فلزات در بخش‌های ژئوشیمیایی رسوبات به وسیله روش اصلاح شده^۶ (SET) انجام شد [۱۱ و ۱۲]:

۱- فرم تبادل: در حدود ۱۰ گرم از هر نمونه رسوب خشک شده به طور متناوب به مدت ۳ ساعت با ۵۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم ۱ مولار و pH برابر ۷ در دمای اتاق توسط دستگاه تکان دهنده مدل OSIOLD، ساخت شرکت فن آوران سهند آذر تکان داده شد. ۲- فرم احیاء: ماده باقیمانده از بخش قبلی به طور متناوب برای مدت سه ساعت با ۵۰ میلی‌لیتر از هیدروکسیل آمونیوم کلرید ۰/۲۵ مولار، اسیدی شد تا pH برابر ۲ با HCl در دمای اتاق بر روی دستگاه تکان دهنده، تکان داده شد. ۳- فرم وابسته به مواد آلی: ماده باقیمانده از مرحله قبل با ۲۰ میلی‌لیتر H_2O_2 ۳۰ درصد در حمام آبی در دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه سلسیوس اکسیده شد و بعد از سرد شدن، به طور متناوب به مدت سه ساعت با استات آمونیوم ۱ مولار pH برابر ۲ شده با استفاده از HCL، در دمای اتاق بر روی دستگاه تکان دهنده، تکان داده شد. ۴- فرم پایدار: ماده باقیمانده از مرحله سوم توسط ترکیبی از اسید نیتریک (۶۹ درصد) و اسید پرکلریدریک (۶۰ درصد) با نسبت ۴:۱ بر روی دستگاه هضم کننده ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت ۱ ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه به مدت ۳ ساعت هضم شد. ماده باقیمانده از هر بخش قبل از انجام مرحله بعد وزن شد. ماده باقیمانده تا حجم نهایی ۸۰ میلی‌لیتر با استفاده از آب دو بار تقطیر شده، رقیق و سپس با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. پس از آن، محلول صاف شده در ظروف پلی‌اتیلنی مخصوص نگهداری شد. بعد از فیلتر کردن و رقیق‌سازی، غلظت فلزات در بخش‌های مختلف

این اساس نمونه برداری در سه نیم خط عمود بر ساحل انجام شد. نیم خط‌های انتخاب شده از غرب به شرق شامل: کپورچال، بندر انزلی و کیشهر بودند. در هر نیم خط، نمونه‌های رسوب از لایه سطحی (۵-۰ سانتی متری) و از سه عمق متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری و با سه تکرار در هر عمق با دستگاه نمونه بردار گراب ون وین^۱ جمع‌آوری شدند. نمونه‌ها در یونولیت محتوی یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند و در آنجا تا انجام مراحل بعدی در سردخانه، در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. شکل ۱ موقعیت نیم خط‌های نمونه برداری را در طول ساحل نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در امتداد نیم خط‌های کپورچال، بندرانزلی و کیشهر

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور خشک کردن نمونه‌های رسوب، این نمونه‌ها پس از توزین و اندازه‌گیری وزن تر، به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه خشک کننده انجمادی^۲ در دمای ۶۳- درجه سلسیوس قرار داده شدند تا به وزن ثابتی برسند. نمونه‌های خشک شده توزین شدند و درصد رطوبت برای هر نمونه به دست آمد. سپس رسوبات خشک شده با استفاده از الک ۶۳ میکرون برای حذف موجودات ریز مرده و یکنواخت شدن، غربال شدند.

۲-۳- تعیین غلظت کلی فلزات در نمونه‌های رسوب

برای تعیین غلظت کلی فلزات در نمونه‌های رسوب از روش ارائه شده توسط یاپ و همکاران استفاده شد [۱۲]. در این روش حدود ۱ گرم از هر نمونه رسوب خشک و یکنواخت شده توسط ترکیبی از اسید نیتریک (۶۹ درصد) و اسید پرکلریدریک (۶۰ درصد) با

³ Whatman

⁴ Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP – OES)

⁵ Varian

⁶ Sequential Extraction Technique (SET)

¹ Van Veen Grab

² Freeze Dryer

جدول ۱- حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد و میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم

V	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	ایستگاه
۳/۶۴ ± ۳۹/۳	۱/۷۴ ± ۲۳/۳	۲/۱۱ ± ۳۳/۳	۱/۴۹ ± ۴۴/۱	۲/۸۸ ± ۳۰/۱	۰/۶۸ ± ۹/۷۹	Mean ± S.D. Min - Max
۴۲/۸ - ۳۵/۵	۲۵ - ۲۱/۵	۳۵/۵ - ۳۱/۳	۴۵/۸ - ۴۳	۳۳/۳ - ۲۷/۷	۱۰/۵ - ۹/۲۷	A _۱
۰/۲۲ ± ۲۳/۹	۰/۲۳ ± ۲۴/۰۲	۱/۰۱ ± ۴۷	۰/۳۹ ± ۶۲/۷	۰/۹۶ ± ۳۶/۴	۱/۴۱ ± ۱۶/۹	Mean ± S.D. Min - Max
۲۴/۱ - ۲۳/۷	۲۴/۲ - ۲۳/۸	۴۸/۰۱ - ۴۵/۹	۶۳/۲ - ۶۲/۴	۳۵/۷ - ۳۷/۵	۱۸/۳ - ۱۵/۵	A _۲
۱/۷۴ ± ۲۵/۵	۳/۲ ± ۳۳/۴	۵/۲۲ ± ۵۵/۵	۹/۱۸ ± ۸۶/۹	۴/۹۶ ± ۵۶/۷	۶/۱ ± ۲۸/۱	Mean ± S.D. Min - Max
۲۶/۶ - ۲۳/۵	۳۵/۷ - ۲۹/۸	۵۹/۳ - ۴۹/۵	۹۴/۴ - ۷۶/۶	۶۰/۳ - ۵۱	۳۱/۸ - ۲۱/۰۵	A _۵
۱/۵۱ ± ۴۷/۰۱	۰/۷۸ ± ۳۰/۸	۱/۱۶ ± ۵۲/۰۹	۰/۷۵ ± ۷۲/۹	۰/۲۱ ± ۴۸/۷	۰/۹۷ ± ۱۱/۱	Mean ± S.D. Min - Max
۴۸/۶ - ۴۵/۶	۳۱/۶ - ۳۰/۱	۵۳/۲ - ۵۰/۹	۷۳/۶ - ۷۲/۱	۴۸/۹ - ۴۸/۵	۱۱/۷ - ۱۰/۰۲	B _۱
۰/۹۶ ± ۴۰/۳	۱/۳۳ ± ۴۰	۱/۹۷ ± ۶۰/۲	۲/۷۹ ± ۹۳/۳	۴/۹۴ ± ۵۵/۸	۱/۰۳ ± ۱۷/۶	Mean ± S.D. Min - Max
۴۱/۳ - ۳۹/۳	۴۱/۱ - ۳۸/۶	۶۲ - ۵۸/۱	۹۶/۱ - ۹۰/۵	۶۱ - ۵۱/۱	۱۹/۸ - ۱۵/۸	B _۲
۰/۶۳ ± ۳۷/۱	۳/۶۸ ± ۴۶/۴	۲/۹۷ ± ۶۷/۵	۲/۷۸ ± ۱۲۱/۱	۴/۶۸ ± ۷۶/۹	۱/۱۳ ± ۳۰/۵	Mean ± S.D. Min - Max
۳۷/۹ - ۳۶/۷	۴۳/۸ - ۵۰/۶	۷۰/۹ - ۶۵/۲۶	۱۲۳/۳ - ۱۱۸	۷۲/۹ - ۸۲/۱	۳۱/۳ - ۲۹/۲	B _۵
۳/۸۳ ± ۳۰/۹	۲/۲۶ ± ۱۷/۱	۱/۲۴ ± ۲۰/۵	۰/۷۷ ± ۵۸/۲	۲/۵۸ ± ۳۰/۸	۰/۵۲ ± ۱۲/۰۲	Mean ± S.D. Min - Max
۳۵/۴ - ۲۸/۷	۱۵/۷ - ۱۹/۷	۲۱/۳ - ۱۹/۰۸	۵۹/۱ - ۵۷/۷	۳۲/۴ - ۲۷/۹	۱۲/۶ - ۱۱/۶	C _۱
۲/۶۵ ± ۴۰/۶	۵/۶۳ ± ۲۲/۵	۱۲/۴ ± ۳۰/۱	۱۵/۲ ± ۶۵/۷	۱۴/۴ ± ۳۱/۱	۷/۸۶ ± ۱۸/۹	Mean ± S.D. Min - Max
۴۳/۵ - ۳۸/۳	۲۷/۷ - ۱۶/۵	۴۰/۶ - ۱۶/۳	۶۹/۶ - ۴۹/۶	۴۴/۴ - ۱۵/۸	۲۶/۲ - ۱۰/۶	C _۲
۱/۴ ± ۴۱/۳	۰/۳۳ ± ۴۴/۳	۰/۹ ± ۶۱/۷	۴/۲۱ ± ۱۰۹/۹	۰/۸۸ ± ۶۹/۹	۳/۷۵ ± ۲۵/۸	Mean ± S.D. Min - Max
۴۲/۲ - ۳۹/۷	۴۴/۶ - ۴۴	۶۲/۶ - ۶۰/۸	۱۱۴/۷ - ۱۰۶/۷	۷۰/۷ - ۶۹	۳۰/۲ - ۲۳/۴	C _۵

به‌طور کلی غلظت فلزات سرب، مس، روی، نیکل و کروم افزایش معنی‌داری را در طول هر سه نیم خط کپورچال، بندرانزلی و کياشهر با افزایش فاصله از ساحل نشان می‌دهند ($P < ۰/۰۵$): به استثنای فلز وانادیم که در امتداد نیم‌خط‌های کپورچال و بندرانزلی روند کاهشی را نشان می‌دهد و فقط در نیم خط کياشهر این روند افزایشی است ($P < ۰/۰۵$). این روند افزایش غلظت می‌تواند متأثر از عوامل مختلفی باشد. از جمله این عوامل، روند افزایشی شیب در ساحل دریا با افزایش عمق است. شکل ۵ نمودارهای تغییرات شیب دریا را در امتداد نیم‌خط‌های مورد مطالعه با افزایش فاصله از ساحل نشان می‌دهد. این شکل با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ دریاى خزر تهیه شده از سازمان زمین شناسی کشور تنظیم شده است. در این شکل، محور طولی نشان دهنده فاصله از ساحل بر حسب متر در امتداد نیم‌خط‌های نمونه‌برداری و محور عرضی نشان دهنده درصد شیب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، نمودارهای شیب در امتداد نیم‌خط‌های نمونه‌برداری به‌ویژه برای دو نیم خط بندرانزلی و کياشهر، روند شدیداً افزایشی دارد.

بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط کامفیوس و همکاران،

ژئوشیمیایی رسوبات توسط دستگاه پلاسمای جفت شده القایی - طیف سنج نوری نشری مدل واریان ۷۳۵ تعیین شد.

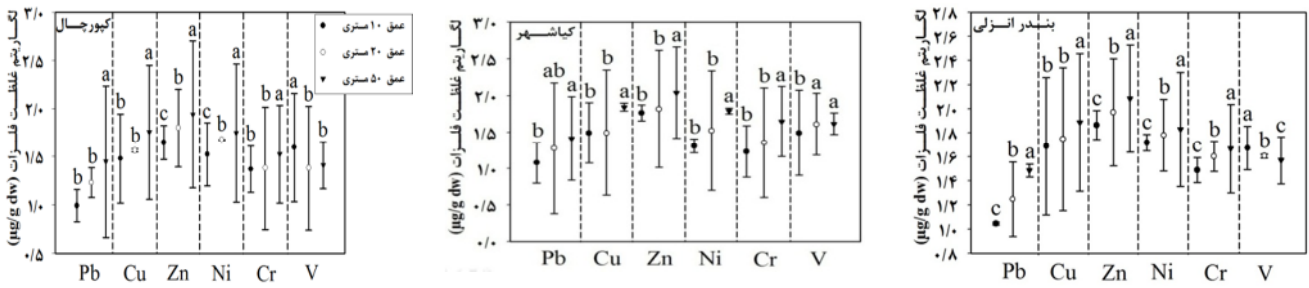
۳- نتایج و بحث

۳-۱- غلظت کلی فلزات در نمونه‌های رسوبات سطحی

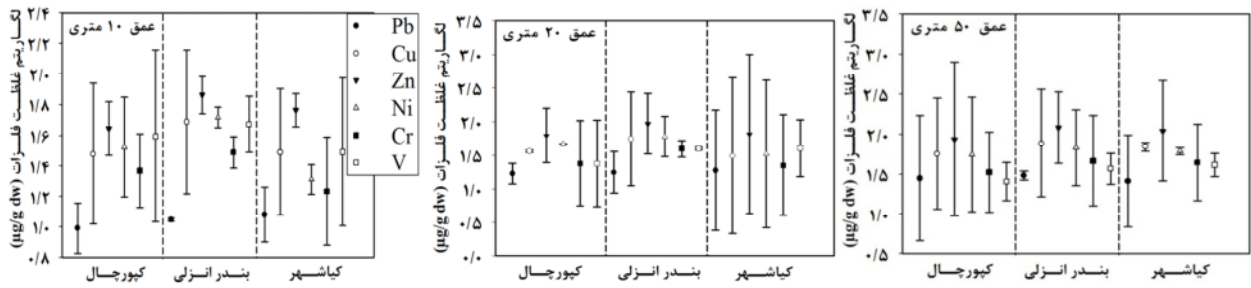
نتایج حاصل از این تحقیق شامل میانگین غلظت کلی فلزات، انحراف استاندارد، حداقل و حداکثر غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب در هر ایستگاه در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳-۱-۱- بررسی روند تغییرات میانگین غلظت کلی فلزات در

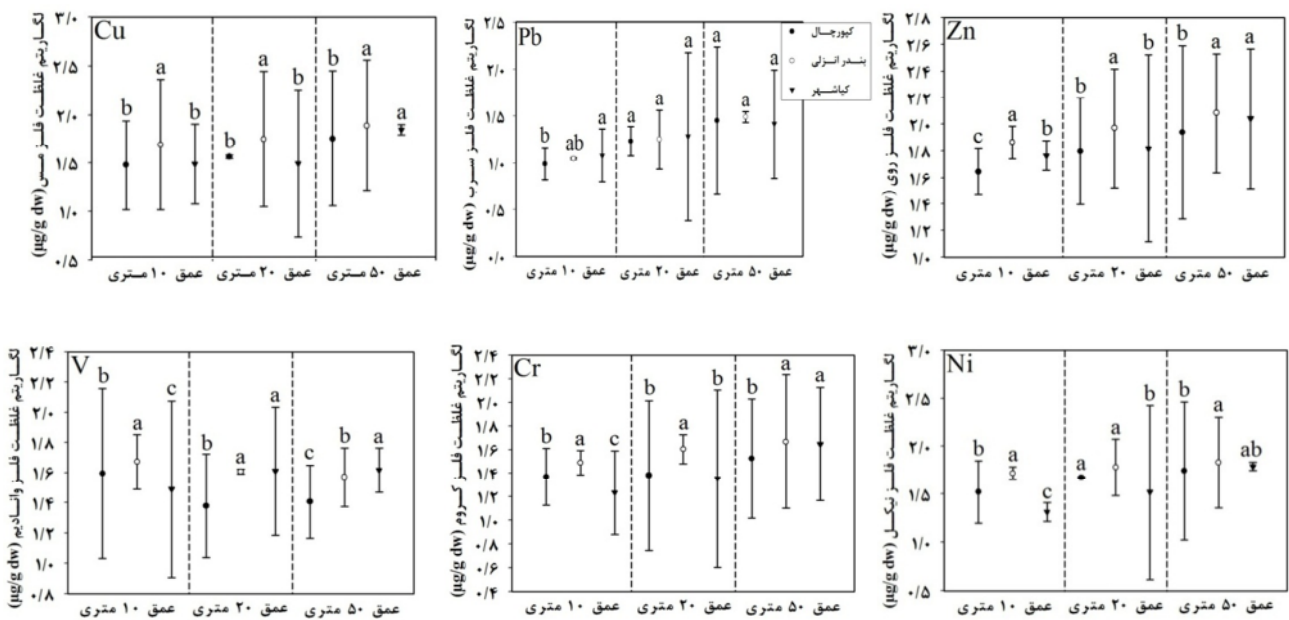
امتداد نیم‌خط‌های نمونه‌برداری با افزایش فاصله از ساحل شکل ۲ روند تغییرات میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم را در امتداد هر یک از ۳ نیم خط کپورچال، بندرانزلی و کياشهر با افزایش فاصله از ساحل نشان می‌دهد. در این شکل و همچنین شکل‌های ۳ و ۴ برای نمایش بهتر نتایج این تحقیق از لگاریتم میانگین غلظت کلی فلزات و لگاریتم انحراف استاندارد استفاده شد. حروف a، b و c، نیز نشان دهنده وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند.



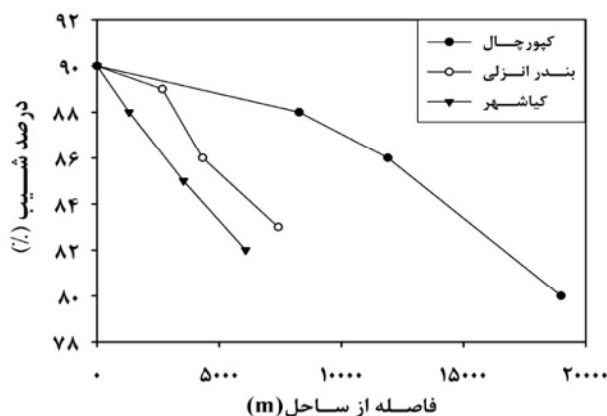
شکل ۲- روند تغییرات میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در امتداد نیم خط‌های کپورچال، بندرانزلی و کیشهر با افزایش فاصله از ساحل



شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در عمق‌های یکسان نیم خط‌های کپورچال، بندرانزلی و کیشهر



شکل ۴- روند تغییرات میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در امتداد ساحل در بین عمق‌های یکسان ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری



شکل ۵- روند تغییرات شیب در امتداد نیم خط‌های کپورچال، بندرانزلی و کياشهر

($P < 0/05$). بنابراین بیشترین غلظت کلی فلزات مورد مطالعه در امتداد نیم خط بندرانزلی به دست آمد.

تالاب انزلی در ساحل جنوبی دریای خزر با مساحت حوزه آبریز ۳۷۴ هزار هکتار در منتهی الیه ۱۹ رودخانه مهم واقع شده است. این رودخانه‌ها با عبور از مناطق جنگلی، شهری و روستایی انواع مواد آلی، معدنی، مواد رسوبی، پساب‌های خانگی و صنعتی را با خود حمل می‌کنند. در ادامه، آب‌های ورودی به تالاب از طریق مجاری خروجی انزلی و غازیان وارد دریای خزر می‌شوند [۱۶]. البته این به این معنی نیست که منابع انسانی در ورود آلاینده‌ها به سواحل نقشی ندارند. فلزات سرب و مس در ترکیب فاضلاب‌های صنعتی و شهری وجود دارند [۱۸]. فعالیت‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی در حاشیه تالاب، رودخانه‌های منتهی به تالاب، عدم وجود سیستم تصفیه فاضلاب و همچنین ورود مستقیم پساب‌های کشاورزی که حاوی کودها و سموم کشاورزی هستند، باعث ورود مقادیر زیادی از آلاینده‌های مختلف به ویژه فلزات سنگین به این اکوسیستم آبی شده است. علاوه بر این، فاضلاب‌های روستایی و همچنین فاضلاب شهر رشت نیز به طور مستقیم به وسیله شبکه فاضلاب به رودخانه‌های زرجوب و گوهر رود و در نهایت به تالاب انزلی هدایت شده و در ادامه مسیر به دریا تخلیه می‌شوند [۱۹]. در حوضه آبریز سفیدرود، نیز توسعه فعالیت‌های انسانی در چند دهه اخیر باعث شده فاضلاب‌های انسانی اعم از شهری، صنعتی و کشاورزی وارد رودخانه سفیدرود شده و در ادامه مسیر، وارد دریای خزر شوند [۲۰]. همچنین فلزات سرب و مس در ترکیب رنگ‌ها از جمله رنگ‌های مورد استفاده برای کشتی‌ها و شناورها وجود دارند [۱۸]. بنابراین وجود بندر انزلی به عنوان بزرگ‌ترین بندر شمال ایران و از فعال‌ترین بندرهای حاشیه دریای خزر که باعث تردد کشتی‌ها و نفت کش‌ها در این منطقه شده است نیز می‌تواند در بروز این مهم مؤثر باشد [۱۵].

خصوصیات هندسی بستر دریا (شیب ساحل) و مشخصات امواج (ارتفاع، پریود و جهت موج) از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتقال رسوبات به سمت دریا شناخته شده‌اند [۱۴]. مطالعات اخیر نشان داده است که وجود جریان‌های برگشتی ناشی از شکست موج در سواحل دریای خزر باعث جابه‌جایی ذرات بستر به سمت دریا می‌شوند [۱۵]. مطالعه دیگری توسط لشت نشایی و همکاران، در سواحل جنوبی دریای خزر نیز نشان داد که مقدار قطر متوسط ذرات از ساحل به سمت دریا کاهش پیدا می‌کند و جهت انتقال رسوب، عمود بر ساحل به سمت دریا است [۱۶]. با توجه به اینکه تجمع فلزات در رسوبات ریزدانه به علت افزایش سطح، بیشتر صورت می‌گیرد، این عامل را نیز می‌توان یکی از عوامل افزایش غلظت به حساب آورد [۱۷].

۳-۱-۲- بررسی روند تغییرات میانگین غلظت کلی فلزات در امتداد ساحل در بین عمق‌های یکسان

شکل ۴ روند تغییرات میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم را در امتداد ساحل برای مقایسه بین عمق‌های یکسان نشان می‌دهد.

به طور کلی میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در امتداد ساحل در بین عمق‌های یکسان، در عمق‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری بندر انزلی، افزایش معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/05$); به جز برای فلز سرب که در میان عمق‌های ۱۰ متری، در عمق ۱۰ متری کياشهر، افزایش معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/05$) و در بین عمق‌های ۲۰ و ۵۰ متری، تفاوت معنی‌داری برای این فلز مشاهده نشد ($P > 0/05$). برای فلز وانادیم نیز فقط در بین عمق‌های ۱۰ متری، این روند حاکم بود و در بین عمق‌های ۲۰ و ۵۰ متری، افزایش معنی‌داری در عمق‌های ۲۰ و ۵۰ متری کياشهر مشاهده شد

۳-۱-۳- مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات در عمق‌های یکسان

سه نیم‌خط نمونه‌برداری

شکل ۳ میانگین غلظت کلی فلزات مورد مطالعه را در اعماق ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری نیم‌خط‌های کپورچال، بندرانزلی و کیشهر نشان می‌دهد.

بررسی میانگین غلظت کلی فلزات مورد مطالعه نشان می‌دهند که، در بین اعماق ۱۰ متری، فلز روی با ۷۲/۹ میکروگرم بر گرم در نیم‌خط بندر انزلی بیشترین و فلز سرب با ۹/۷۹ میکروگرم بر گرم در نیم‌خط کپورچال، کمترین غلظت را دارا می‌باشند. در میان اعماق ۲۰ متری، فلز روی با ۹۳/۳ میکروگرم بر گرم در نیم‌خط بندرانزلی، بیشترین و فلز سرب با ۱۶/۹ میکروگرم بر گرم در نیم‌خط کپورچال کمترین غلظت را نشان دادند. در میان اعماق ۵۰ متری، فلز روی با ۱۲۱/۱ میکروگرم بر گرم در نیم‌خط بندر انزلی بیشترین و فلز وانادیم با ۲۵/۵ میکروگرم بر گرم در نیم‌خط کپورچال کمترین غلظت را دارا می‌باشند.

۳-۲- تعیین منشأ فلزات در نمونه‌های رسوبات سطحی

اگر چه اندازه‌گیری غلظت کلی فلزات به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آلودگی آنها در محیط رسوب به حساب می‌آید، اما تفاوتی بین منابع طبیعی و انسانی قائل نمی‌شود [۲۱]. این مسئله، لزوم انجام مطالعات تفکیک شیمیایی را به منظور دستیابی به منشأ و نوع پیوندها، ضروری می‌سازد [۲۲]. لذا به‌منظور تعیین منشأ فلزات در محیط زیست باید علاوه بر اندازه‌گیری غلظت کلی فلزات، نسبت حضور فلزات در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات (پایدار و ناپایدار) تعیین شود [۲۳]. بخش‌های ناپایدار (تبادلی، احیاء و وابسته به مواد آلی) ناشی از ورود در اثر فعالیت‌های انسانی از جمله تخلیه پساب‌های شهری و صنعتی، رواناب‌های کشاورزی و معدن کاوی می‌باشند، در حالی که بخش پایدار در نتیجه حضور فلزات با منشأ طبیعی ناشی از هوازدگی سنگ و خاک منطقه است. به‌طور کلی، فلزات در بخش پایدار، کمترین سمیت و دسترسی زیستی را برای موجودات زنده در محیط آبی دارند. در حالی که بخش‌های ناپایدار به راحتی جذب سطحی ذرات رسوب شده و دسترسی زیستی زیادی دارند [۲۴].

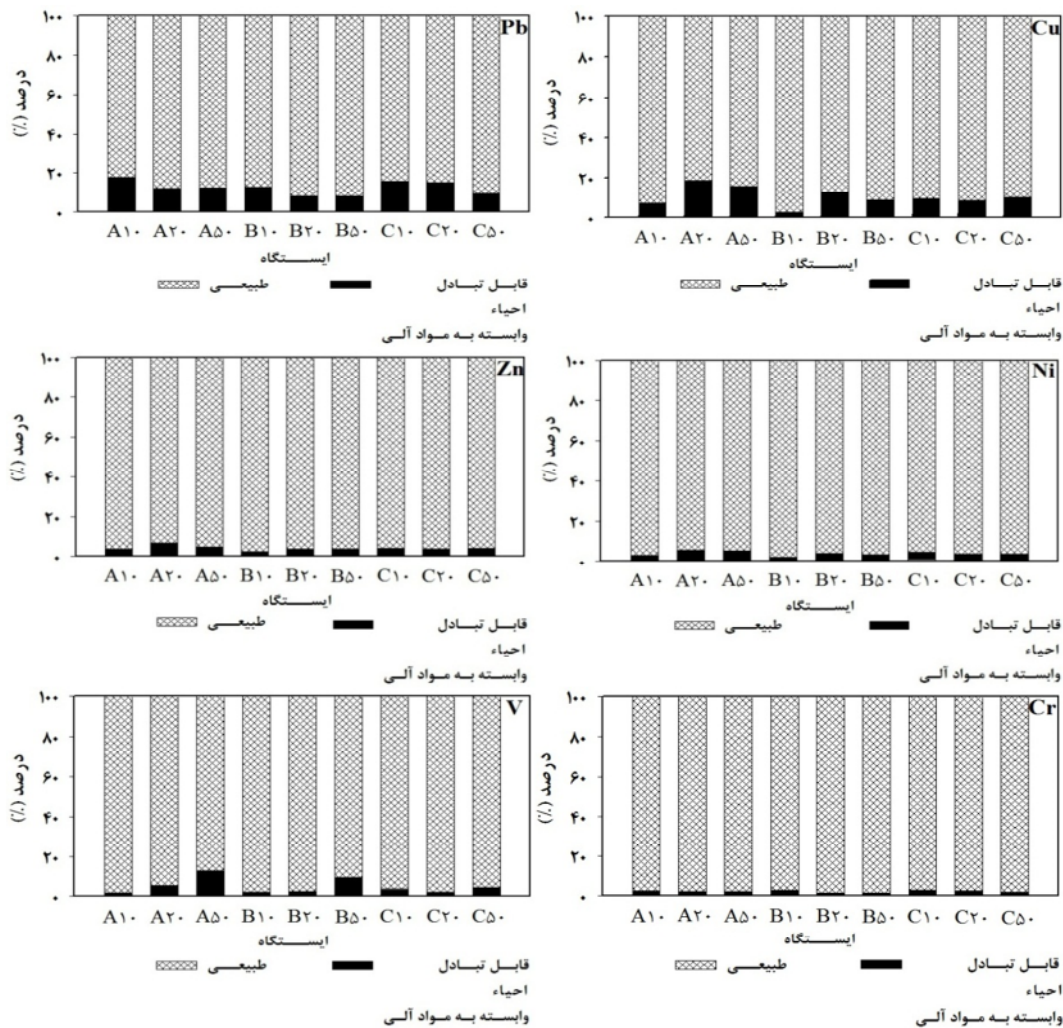
شکل ۶ درصد غلظت فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات سطحی را نشان می‌دهد. با توجه به درصد کم غلظت فلزات در بخش‌های قابل تبادل، احیاء و وابسته به مواد آلی، مجموع درصد غلظت فلزات در این سه بخش در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین درصد غلظت فلزات مورد مطالعه در بخش پایدار مشاهده شد که منشأ طبیعی را برای

این فلزات نشان می‌دهد. در این تحقیق روند تغییرات دسترسی زیستی فلزات در منطقه مورد مطالعه که از مجموع درصد غلظت فلزات در ۳ بخش ناپایدار حاصل شده است، به‌صورت زیر است:

$Pb > Cu > Zn > Ni > Cr > V$ که به ترتیب ۱۲/۲، ۱۰/۵، ۴/۹۵، ۴/۱۶، ۳/۹۶ و ۲/۰۴ درصد، از غلظت کل را تشکیل می‌دهند. در نتیجه بیش از ۸۵ درصد غلظت فلزات مورد مطالعه در بخش پایدار به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مشابه با نتایج به‌دست آمده توسط دمورا بود. دمورا و همکاران غلظت کلی فلزات $Pb, Ni, Mn, Mg, Li, Hg, Fe, Cu, Cr, Co, Cd, Ca$ ، سواحل دریای خزر، در امتداد سواحل کشورهای آذربایجان، ایران، قزاقستان، روسیه و ترکمنستان بررسی کرده‌اند [۲۵]. در این مطالعه با توجه به اهمیت فلز آلومینیوم که توزیع بسیاری از فلزات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، با استفاده از نمودار درختی و بر اساس میزان قرابت و قرار گرفتن در خوشه‌های یکسان با آلومینیوم، مشخص شد بسیاری از فلزات از جمله فلزات مورد مطالعه، منشأ طبیعی و منشأ حاصل از فرسایش سنگ و خاک در منطقه دارند. بنابراین به‌نظر می‌رسد رودخانه‌ها و آوردهای رسوبی حاصل از فرسایش حوضه آبریزشان، نقش مهمی در ورود فلزات به منطقه مورد مطالعه ایفا می‌کنند.

رودخانه‌های اصلی تأمین‌کننده آب دریای خزر، ولگا در روسیه، کورا در آذربایجان و اورال در قزاقستان هستند که به ترتیب ۸۰، ۶ و ۵ درصد جریان ورودی به دریا را فراهم می‌کنند [۲۵]. در تحقیق صورت گرفته توسط دمورا و همکاران، حوضه آبریز رودخانه کورا به‌عنوان منبعی برای ورود فلزات نیکل و مس و حوضه آبریز رودخانه اورال به‌عنوان منبعی برای ورود فلز کروم به دریا معرفی شد [۲۵]. در سواحل جنوبی دریای خزر نیز رسوبات به‌وسیله ۶۱ رودخانه به دریا وارد می‌شوند [۲۰].

این رودخانه‌ها به‌طور متوسط سالانه ۱۶ کیلومتر مکعب آب و ۴۷ میلیون تن رسوب را به خط ساحلی عرضه می‌کنند. در این میان، سفیدرود به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانه جنوب دریای خزر، با مساحت حوضه آبریز ۶۷۰۰۰ کیلومتر مربع، طول ۸۰۰ کیلومتر، آبدهی سالانه ۴ کیلومتر مکعب و تولید ۳۰ میلیون تن رسوب در سال که معادل ۷۰ درصد از کل بار رسوبی است که از ساحل ایران وارد دریا می‌شود، از ناحیه کیشهر به دریای خزر می‌ریزد [۱۴]. کنک لاهیجانی و همکاران غلظت فلزات سرب، مس، نیکل، کروم و روی را در رسوبات دلتای سفیدرود بررسی کردند، که در این تحقیق منشأ این فلزات عمدتاً از منابع طبیعی (فرسایش حوضه آبریز)، بوده و اثر فعالیت‌های انسانی در تمرکز فلزات در دلتای سفیدرود ناچیز بیان شده است که این نتایج با تحقیق حاضر مطابقت دارد [۱۴].



شکل ۶- درصد غلظت فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در بخش های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات سطحی سواحل جنوب غربی دریای خزر

مقایسه با این استانداردها پایین تر بود که نشان دهنده عدم آلودگی منطقه به این فلزات است. میانگین غلظت فلزات مس و نیکل نیز فقط نسبت به شاخص های ERL که نشان دهنده کمترین میزان تأثیر و TEC که نشان دهنده آستانه تأثیر غلظت هستند، بالاتر بود. بنابراین برای این فلزات نیز در منطقه مورد مطالعه نگرانی وجود ندارد. لازم به ذکر است برای فلز وانادیم به علت در دسترس نبودن استانداردهای یاد شده، مقایسه ای صورت نگرفت.

۳-۴- ارزیابی ریسک

در این مطالعه به منظور ارزیابی تحرک و دسترسی زیستی فلزات در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه، کد ارزیابی ریسک^۵ برای آنها مشخص شد. کد ارزیابی ریسک برای اولین بار توسط پرین معرفی

۳-۳- مقایسه غلظت فلزات در رسوبات سطحی با استانداردهای جهانی

به منظور تعیین میزان آلودگی رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه به فلزات سرب، مس، روی، نیکل و کروم، مقدار میانگین غلظت آنها با استانداردهای SQGs و NOAA مقایسه شد (جدول ۲). استانداردهای SQGs و NOAA، برای ارزیابی درجه آلودگی و بررسی میزان تأثیر آلاینده ها بر روی موجودات زنده مورد استفاده قرار گرفتند [۲۶ و ۲۷]. SQGs با دو شاخص^۱ TEC و^۲ PEC و استاندارد NOAA با شاخص های^۳ ERL و^۴ ERM نشان داده می شوند. به طور کلی میانگین غلظت فلزات سرب، روی و کروم در

^۱ Threshold effect concentration

^۲ Probable effect concentration

^۳ Effects range low

^۴ Effects range meadian

^۵ Risk Assessment Code

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل و کروم با استانداردهای SQGs و NOAA

مرجع	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	
[۲۷]	۸۱	۲۰/۹	۱۵۰	۳۴	۴۷	ERL
[۲۷]	۳۷۰	۵۱/۶	۴۱۰	۲۷۰	۲۱۸	ERM
[۲۶]	۴۳/۴	۳۵	۱۲۱	۳۱/۶	۳۵/۸	TEC
[۲۶]	۱۱۱	۹۱/۳	۴۵۹	۱۴۹	۱۲۸	PEC
	۳۱/۳۷	۴۷/۵۶	۷۹/۴۸	۴۸/۵۵	۱۹/۰۱	مطالعه حاضر

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از منشأیابی و برآورد غلظت کلی فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کروم و وانادیم در سواحل جنوب غربی دریای خزر نشان دهنده منشأ طبیعی این فلزات ناشی از ورود آنها از طریق آوردهای رسوبی رودخانه‌های منتهی به دریا در این منطقه است، اگر چه اثرات کمی از فعالیت‌های انسانی نیز به چشم می‌خورد. میانگین غلظت کلی فلزات مورد مطالعه در امتداد نیم‌خط‌های کپورچال، بندرانزلی و کپاشهر، افزایش معنی‌داری را با افزایش فاصله از ساحل نشان دادند. این افزایش غلظت می‌تواند ناشی از انتقال رسوبات به‌ویژه با اندازه کوچک‌تر توسط جریان‌های برگشتی و با توجه به شیب ساحل در امتداد نیم‌خط‌های نمونه‌برداری باشد. علاوه بر این، میانگین غلظت کلی فلزات مورد مطالعه در امتداد ساحل در بین عمق‌های یکسان، در عمق‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ متری بندرانزلی افزایش معنی‌داری را نشان دادند، که از دلایل آن می‌توان به وجود تالاب انزلی در این ناحیه اشاره کرد. غلظت کلی فلزات در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه در مقایسه با استانداردهای جهانی SQGs و NOAA پایین‌تر بود که نشان دهنده عدم آلودگی منطقه به این فلزات است. همچنین کد ارزیابی ریسک که بر مبنای درصد حضور فلزات در بخش تبادل تعریف شد، نیز برای فلزات مورد مطالعه عدم ریسک و فقط برای فلزات سرب و مس، ریسک پایین را نشان داد. بنابراین با وجود توسعه صنعتی و افزایش فعالیت‌های انسانی در منطقه، هنوز تأثیر این عوامل برای ورود آلودگی به رسوبات در حد بحرانی نیست. به هر حال با توجه به پیشرفت‌های روزافزون این منطقه، نظارت دقیق، کنترل شده و دوره‌ای برای ورود آلاینده‌ها به سواحل، امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

شد [۶]. در معیار RAC، درصد هر فلز در بخش تبادل برای بررسی در دسترس بودن فلزات در رسوبات به کار برده می‌شود [۶]. طبقه‌بندی RAC در جدول ۳ نشان داده شده است. درصد فلزات مورد مطالعه در بخش تبادل نیز در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج، درصد فلزات روی، نیکل، کروم و وانادیم در بخش تبادل کمتر از ۱ درصد از میزان غلظت کل به‌دست آمد، که در طبقه‌بندی RAC، نشان‌دهنده طبقه بدون ریسک است. درصد فلزات سرب و مس نیز در بخش تبادل به ترتیب در محدوده ۰/۳۵-۱/۱۲ و ۰/۳۹-۱/۸ به‌دست آمد که نشان دهنده طبقه با ریسک پایین است. بنابراین از نتایج می‌توان استنباط کرد که فلزات مورد بررسی برای محیط زیست محلی کم خطر هستند.

جدول ۳- طبقه‌بندی کد ارزیابی ریسک (RAC)

معیار (درصد)	RAC
<۱	بدون ریسک
۱-۱۰	ریسک پایین
۱۱-۳۰	ریسک متوسط
۳۱-۵۰	ریسک بالا
۵۰<	ریسک بسیار زیاد

جدول ۴- محدوده درصد فلزات در بخش تبادل

فلز	محدوده درصد بخش تبادل
Pb	۰/۳۵-۱/۱۲
Cu	۰/۳۹-۱/۸
Zn	۰/۰۵۴-۰/۱۴
Ni	۰/۰۹۸-۰/۳۲
Cr	۰/۰۴۶-۰/۱۱
V	۰/۰۴۶-۰/۰۹۳

۵- مراجع

1. Muzuka, A.N.N.(2007). "Distribution of heavy metals in the coastal marine surficial sediments in the Msasani Bay- Dar es Salaam Harbour Area." *J. of Marine Science*, 6(1), 73 - 83.
2. Berkowitz, B., Dror, I., and Yaron, B.(2008). *Contaminant geochemistry: Interactions and transport in the subsurface environment*, Springer Verlag, Berlin.
3. Pekey, H. (2006). "The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected bay polluted stream." *Marine Pollution Bulletin*, 52(10), 1197- 1208.

4. Hosono, T., Su, C.C., Delinom, R., Umezawa, Y., Toyota, T., Kaneko, S., and Taniguchi, M. (2011). "Decline in heavy metal contamination in marine sediments in Jakarta Bay, Indonesia due to increasing environmental regulations." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(2), 297 - 306.
5. Heltai, G., Percsich, K., Halász, G., Jung, K., and Fekete, I. (2005). "Estimation of ecotoxicological potential of contaminated sediments based on a sequential extraction procedure with supercritical CO₂ and subcritical H₂O solvents." *J. of Microchemical* . 79(1), 231 - 237.
6. Perin, G., Craboledda, L., Lucchese, M., Cirillo, R., Dotta, L., Zanetta, M.L., and Oro, A.A. (1985). "Heavy metal speciation in the sediments of Northern Adriatic Sea-a new approach for environmental toxicity determination." *International Conf. of Heavy Metals in the Environmental*, University of Cafoscari, Vinizai, Italy, 2, 454-456.
7. Kosarev, A.N., and Yablonskaya, E.A. (1994). *The Caspian Sea*, SPB Academic Publishing, Hague.
8. Effimoff, I. (2000). "The oil and gas resource base of the Caspian region." *J. of Petroleum Science and Engineering*, 28(4), 157-159.
9. Morillo, J., Usero, J., and Gracia, I. (2003). "Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain." *Chemosphere*, 55, 431-442.
10. Duyusen, G., and Gorkem, A. (2007). "Heavy metals partitioning in the sediments of Izmir Inner Bay". *J. of Environmental Sciences*, 20(4), 413-418.
11. Li, X., Shen, Z., Wai, O.W.H., and Li, Y.S.(2001). "Chemical fraction of Pb, Zn and Cu in the Sediment profiles of the Pearl River Estuary." *Marine Pollution Bulletin*, 42(3), 215 - 223.
12. Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G., and Omar, H. (2002). "Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia." *Environment International*, 28(1-2), 117-126.
13. Wong, K., Wong, P.P.K., and Chu, L.M. (2001). "Heavy metal concentrations in marine fishes collected from fish culture sites in Hong Kong." *Archives of Environmental Contamina and Toxicology*, 40(1), 60 - 69.
14. Kamphuis, J.W., Davies, M.H., Nairn, R.B., and Sayao, O.J. (1986). "Calculation of littoral sand transport rate." *Coastol Engineering*, 10(1), 1-22.
15. Lashte Neshaei, M.A. (1997). "Beach profile evolution in front of a partially reflective structure." Ph.D. Thesis, Imperial College, University of London, England.
16. Lashte Neshae, M.A., Eslami, A., and Peiravi Chashnasar, M. (2006). "Sediment transport potential of the Caspian Sea." *J. of International Engineering*, 2, 39-45. (In Persian).
17. Furness, R.W., and Rainbow, P.S. (1990). *Heavy Metals in the marine environment*, CRC Press, 256 p.
18. Luoma, S.N., and Rainbow, P.S. (2008). "Metal contamination in aquatic environments: Science and lateral Heavy metals mobility in harbour contaminated sediments: The case of Port-en-Bessin." *Marine Pollution Bulletin*, 50, 504-516.
19. Karimi, A., Yazdan Dad, H., and Esmaeeli Sari, A. (2007) . "Accumulation of heavy metals Cd, Cr, Cu, Zn and Fe in some organs of *Phalacrocorax carbo* in Anzali Lagoon." *J. of Environmental Studies*, 43, 83-92. (In Persian)
20. Voropaev, G.V., Krasnozhan, G.F., and Lahijani, H. (1998). "Caspian river deltas." *Caspia Bulletin*, 1, 23-27.
21. Adami, G., Barbieri, P., and Reisenhofer, E. (2000). "An improved index for monitoring metal pollutants in surface sediments." *Toxicological and Environmental Chemistry*, 77(3 - 4), 189 -197.
22. Kesavan, K., Raja, P., Ravi, V., and Rajagopal, S. (2010). " Heavy metals in teleoscopium and sediments from two station of velar estuary, southeast coast of India." *J. of African Marine Science*, 26(1), 35-41.
23. Karbassi, A.R., Monavari, S.M., Nabi Bidhendi, Gh.R., Nouri, J., and Nematpour, K. (2008). "Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur river." *Environmental Monitoring and Assessment*, 147(1-3), 107-116.
24. Wang, S., Jia, Y., Wang, S., Wang, X., Wang, H., Zhao, Z., and Liu, B. (2010). "Fractionation of heavy metals in shallow marine sediments from Jinzhou Bay, China." *J. of Environmental Sciences*, 22(1), 23-31.
25. Demora, S., Sheikholeslami, M.R., Wyse, E., Azemard, S., and Cassi, R. (2004). "An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea." *Marine Pollution Bulletin*, 48, 61-77.
26. Hongyi, N., Wenjing, D., Qunhe, W., and Xingeng, C. (2009). "Potential toxic risk of heavy metals from sediment of the Pearl River in South China." *J. of Environmental Sciences*, 21(8), 1053 - 1058.
27. Long, E.R., Robertson, A., Wolfe, D.A., Hameedi, J., and Sloane, G.M. (1995). " Estimates of the spatial extent of sediment toxicity in major US estuaries." *Environmental Science and Technology*, 30(12), 3585 - 3592.