

## ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان

حسین باقری<sup>۱\*</sup>، کاظم درویش بسطامی<sup>۲</sup>، ترانه شارمد<sup>۳</sup>، زهرا باقری<sup>۴</sup>

۱- موسسه ملی اقیانوس شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: baghery1@gmail.com

۲- موسسه ملی اقیانوس شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: darvish.bastami@inio.ac.ir

۳- دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: t\_sharmad@yahoo.com

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، استان مازندران، نور، پست الکترونیکی: bagheri.zahra@hotmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۶

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۶

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۹۱، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

### چکیده

مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات حوضه‌های آبی مثل رودخانه‌ها، مصب‌ها و بستر دریا، می‌تواند گام موثری برای پیدا کردن منشا و ارزیابی مدل توزیع آلاینده‌های زیست محیطی در منطقه باشد. اگرچه رسوبات محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی هستند، اما تحت شرایطی خود می‌توانند به‌عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند. ورود فلزات سنگین به منابع آبی از طرق مختلف، باعث ایجاد مخاطراتی از قبیل مسمویت، سرطان‌زایی و... در بدن موجودات زنده می‌شود. برای مطالعه‌ی چگونگی پراکنش فلزات سنگین در خلیج گرگان در ۱۵ ایستگاه، نمونه‌ی سطحی (N=۱۵) و یک مغزه برداشت شد. در این مطالعه از بخش ریزدانه‌ی رسوبات برای تعیین غلظت فلزات سنگین استفاده گردید و غلظت فلزات سنگین (Al, Sr, Ni, As, V, Fe, Co, Mn) توسط روش پلاسمای جفت شده القایی-حلیف سطحی جرمی تعیین شد. مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی نسبت به پوسته با فاکتور غنی شدگی انجام شد که در بیشتر مناطق، ضریب غنی شدگی بیشتر از سه (بین ۳-۴۲) را نشان داد. ترسیم نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین حاکی از آن است که بیشترین ورودی فلزات سنگین از طریق دهانه‌ی رودخانه‌ها (گرگانرود، نکارود و قره‌سو) و عوامل انترپوژنیک و صنعتی صورت می‌گیرد. همچنین اندیس ژئوشیمیایی (Igeo) برای تمامی فلزات سنگین مشخص گردید که تنها در مورد استرانسیم این اندیس بیشتر از مقدار استاندارد را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: رسوب، فلزات سنگین، خلیج گرگان، آلودگی.

### ۱. مقدمه

آب عمل کنند Berkowitz et al., 2008; Yu et al., 2001; (Izquierdo et al., 1997). آلودگی محیط ناشی از فلزات سنگین اکنون به مشکلی در مقیاس جهانی تبدیل شده است (Nriago & Pasyana, 1998). آلودگی یکی از مهمترین مسایل در حفاظت

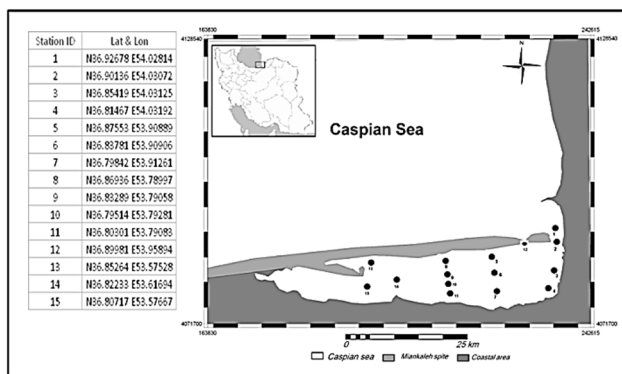
اگرچه رسوبات محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی هستند، اما تحت شرایطی خود می‌توانند به‌عنوان منبع آلودگی در

انترپروژنیک و صنعتی در ورود این فلزات مشخص گردید و اندیس ژئوشیمیایی (Igeo) برای تمامی فلزات سنگین مطالعه و معین شد.

## ۲. مواد و روش کار

### ۲-۱. ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

خلیج گرگان حوضه‌ی نیمه‌بسته‌ای است که در منتهی‌الیه جنوب خاوری دریای خزر واقع است. طول خلیج گرگان ۶۰ کیلومتر و عرض آن ۱۲ کیلومتر و ژرفای بیشینه‌ی آن در تراز ۲۸- متری سطح آب دریای خزر برابر با ۴ متر است. این حوضه توسط بار ماسه‌ای میانکاله از دریای خزر جدا می‌شود. اکنون اتصال آبی خلیج گرگان با دریای خزر از طریق دهانه‌ای در حد فاصل آشوراده با سرزمین اصلی و همچنین کانال خوزینی، که میانکاله را قطع می‌کند، برقرار است. این ارتباط به گونه‌ای نیست که خلیج گرگان انرژی امواج دریای خزر را دریافت کند، بنابراین خلیج گرگان از این نظر بیشتر متأثر از فرایندهای داخل حوضه است. رودخانه‌هایی که خلیج گرگان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، عبارتند از: گرگان‌رود، قره سو و باغو که در این میان گرگان‌رود از نزدیک دهانه‌ی خلیج گرگان وارد دریا می‌شود (شکل ۱).

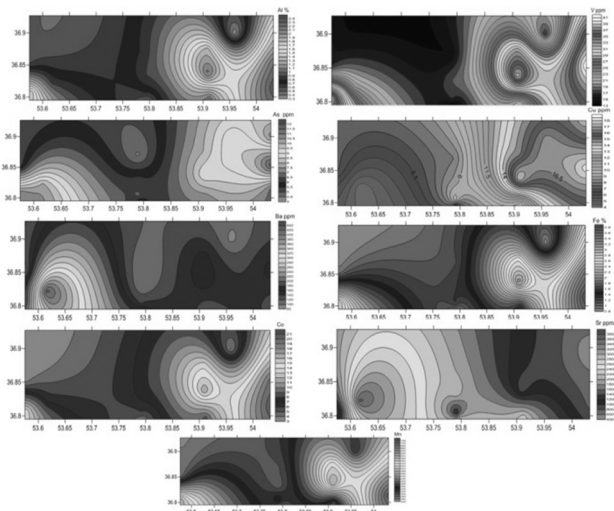


شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های برداشت نمونه رسوب در خلیج گرگان

حوضه‌ی آبریز خلیج گرگان یکی از زیرحوضه‌های دریای خزر است که به‌طور عمده در استان گلستان و بخش کمی از آن در استان‌های مازندران و خراسان واقع است. مساحت کل این حوضه‌ی آبریز حدود ۱۵۰۰۰ کیلومتر مربع است که بیشتر آن را مناطق کوهستانی و بقیه را کوهپایه‌ها و دشت‌های ساحلی تشکیل می‌دهند. در این حوضه آبریز، دو رودخانه گرگان‌رود و

دریاها و حفظ تعادل بوم‌شناختی آنها محسوب می‌شود. مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات پیکره‌های آبی مانند رودخانه‌ها، مصب‌ها و بستر دریاها، می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی محیط زیستی وضعیت آلاینده‌ها برای مدت موجود در یک منطقه باشد (Shajan, 2001). اگرچه آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند، ولی در اثر فعالیت‌های زیست‌شناختی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی می‌توانند وارد آبهای فوقانی شوند؛ لذا اندازه‌گیری غلظت کل عنصر سنگین می‌تواند تصویری واقعی از آلودگی یک محیط آبی را فراهم آورد (Karbassi, 1998; Helling et al., 1990; Chester & Hughes, 1967; Karbassi, 1998; Karbassi et al., 2010; Gupta & Chen, 1975; رودخانه‌های بخش باختری و شمالی خزر نقش اصلی را در ورود آلاینده‌های رسوبات فلزی به خزر ایفا می‌کنند (Aliev, 1997). همچنین بخش عمده‌ی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی دریای خزر حاصل فرسایش سنگ‌های حوضه آبریز است (Stephen and Etal, 2004). مطالعات گسترده‌ای در مورد ترکیب شیمیایی رسوبات سطحی دریای خزر انجام شده است. ترکیب رسوبات بستر خزر متأثر از منشأ آنها است. رسوبات با منشأ رودخانه‌ای، شیمیایی، زیستی و گل‌فشانها در بستر خزر حضور دارند (Kholodov and Lisitsina, 1989). فعالیت‌های انسانی در چند دهه‌ی اخیر بر روی ترکیب شیمیایی رسوبات تأثیر داشته است. مطالعه‌ی ژئوشیمی رسوبات سطحی خزر حاکی است که در مورد برخی عناصر همبستگی خوبی بین فراوانی عنصر با دانه‌بندی و کانی‌شناسی وجود دارد (Lahijani, 1997). در واقع منشأ تخریبی رسوبات سهم اصلی در توزیع عناصر به ویژه فلزات سنگین در بستر دارد. توزیع عناصر فلزی در رسوبات نواحی نیمه عمیق پیرامون خزر حاکی است که در مواردی غلظت آنها بیشتر از مقدار زمینه است که بیانگر ورود آنها از طریق فعالیت‌های انسانی است، اگرچه بخش عمده‌ی آنها از رسوبات تخریبی حوضه‌ی آبریز تأمین می‌شوند. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی پراکنش فلزات سنگین در خلیج گرگان نمونه‌ی سطحی در ۱۵ ایستگاه و یک مغزه برداشت شد. به‌علاوه از بخش ریزدانه‌ی رسوبات برای تعیین غلظت فلزات سنگین استفاده گردید و غلظت فلزات سنگین (Al, Sr, Ni, As, V, Fe, Co, Mn) توسط روش پلاسما‌ی جفت شده القایی تعیین شد. فاکتور غنی‌شدگی رسوبات محاسبه گردید و سپس با ترسیم نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین، نقش رودخانه‌ها، (گرگان‌رود، نکارود و قره سو)، عوامل

پودر ۲۰۰ مش تبدیل شوند سپس با ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه *ACME LAB* در کشور کانادا، غلظت هریک از فلزات سنگین با استفاده از روش *Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)* تعیین گردید از نمونه‌های مرجع *Oreas 45Pa, DS7 and DS8* برای تایید صحت اندازه‌گیری شده بین ۱۰۷/۹۸-۹۴/۰۴ درصد بود. برای تعیین ماده‌ی آلی از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه و مدت ۴ ساعت استفاده شد (Daessle et al., 2009 ; Abrantes et al., 1999). به‌علاوه، یک نمونه بین ایستگاه‌های ۲ و ۱۲ از بستر و عمق ۱ متری برداشته شد تا به‌عنوان نمونه طبیعی که تحت تاثیر عوامل بیرونی قرار نداشته به‌کار برده شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین جهت مشخص کردن نرمال بودن داده‌ها از آزمون اسمرینوف-کولوموگراف استفاده شد که همه داده‌ها نرمال بودند و از آزمون خوشه‌ای برای دسته‌بندی فلزات سنگین استفاده گردید. در نهایت با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی، شدت آلودگی و نحوه پراکنش آن مشخص گردید (Muller, 1979).



شکل ۲: نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین در خلیج گرگان و محل اصلی ورود آنها

### ۳. نتایج

نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، کبالت، منگنز، آرسنیک، استرانسیم، وانادیوم، آهن، آلومینیوم و باریم در نمونه‌های سطحی در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب برابر با ۲۹/۲۰، ۱۰/۵۷، ۴۴۶/۴۷، ۷/۷۷، ۱۴۴۹/۸۷، ۲۶/۴۷، ۲/۰۴، ۱/۲۸ و

قره‌سو زهکش اصلی به حساب می‌آیند. گرگان‌رود در بخش خاوری و میانی و قره‌سو در بخش جنوب باختری این حوضه واقع است (شکل ۱). مجموع دبی آب رودخانه‌های حوضه آبریز خلیج گرگان حدود ۰/۵ کیلومتر مکعب و مجموع دبی رسوب آنها ۳/۵ میلیون تن در سال است (آمارنامه استان مازندران، ۱۳۷۵).

### ۲-۲. نمونه‌برداری

به منظور بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناختی و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خلیج گرگان، تعداد ۱۵ نمونه رسوب از بستر خلیج گرگان در تابستان ۱۳۸۸ برداشت شد (شکل ۲ و جدول ۱) نمونه‌برداری رسوب با کمک دستگاه نمونه‌بردار اکمن با سطح ۲۲۵ سانتی متر مربع تا ۲۵ سانتی متری سطح انجام شد. همچنین از یک لوله پلی اتیلن تا عمق ۱ متر (در نزدیکی ایستگاه شماره ۲) استفاده شد که در هر ایستگاه تعداد ۳ نمونه رسوب برداشته شد و پس از قرار دادن در یک ظرف پلاستیکی با ثبت مشخصات به آزمایشگاه حمل شد. آنگاه نمونه‌ها به روش دانه‌بندی خشک و تر از یکدیگر تفکیک شدند (Carver, 1971). همچنین مقدار کربنات کلسیم و مقدار ماده آلی نیز مورد سنجش قرار گرفت (Lewis and Mc Conchie, 1994).

جدول ۱: میزان غنی‌شدگی رسوبات در ایستگاه‌های مختلف

Station	Ni	Co	Mn	As	Sr	V	Fe	Ba
St1	10.23	7.08	4.44	3.29	11.1	3	3.9	1.37
St2	9.53	6.76	4.07	2.47	5.5	2.84	3.7	1.19
St3	9.29	7.08	3.78	3.11	7.08	2.52	3.58	1.14
St4	8.16	7.03	4.01	1.66	7.35	2.08	3.68	0.85
St5	8.85	5.98	4.06	2.51	13.34	2.42	3.31	1.34
St6	8.71	6.28	3.79	2.38	9.59	2.43	3.41	1.19
St7	8.04	6.79	3.94	3.96	51.34	2.73	3.28	1.83
St8	9.06	7.17	4.79	3.04	54.97	2.42	3.24	1.88
St9	8.72	6.68	4.31	3.94	55.44	2.71	3.3	1.64
St10	9.29	6.97	8.37	7.15	125.17	3.87	4.19	5.98
St11	10.74	6.96	7.36	5.66	38.37	3.4	4.49	3.03
St12	12.94	9.55	15.03	16.87	66.9	7.12	5.81	4.29
St13	10.15	4.77	6.04	5.16	68.52	3.86	3.58	2.68
St14	9.27	6.3	7.13	6.59	95.72	3.5	4.62	7.14
St15	9.67	6.16	4.38	3.48	11.36	2.83	3.7	1.47
Average	9.51	6.77	5.7	4.75	41.45	3.18	3.85	2.47

### ۲-۳. مطالعات آزمایشگاهی

در آزمایشگاه پس از طبقه‌بندی نمونه‌ها، با توجه به نوع نمونه، عمل خشک کردن و دانه‌بندی بر روی آن صورت گرفت تا به

همچنین از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی آلودگی رسوبات عهد حاضر استفاده از اندیس ژئوشیمیایی و مقایسه‌ی آن با رسوبات قدیم‌تر همان ناحیه است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در این رویکرد نسبت لگاریتم غلظت عناصر فلزی در رسوبات ریزدانه‌ی عهد حاضر به غلظت همان عناصر در رسوبات قدیم‌تر سنجیده می‌شود. مقداری که به دست می‌آید به‌عنوان شاخص تجمع زمینی شناخته می‌شود. در واقع این شاخص بیانگر تمرکز مواد شیمیایی بر اساس وضعیت زمین‌شناختی است. اگر مقادیر اندیس نزدیک به صفر باشد، بیانگر غیرآلوده بودن و اگر مقادیر آن ۵ یا بیشتر باشد، بیانگر آلودگی بسیار شدید است (Farkas et al., 2007):

$$Igeo = \log_2 \frac{Cn}{1.5 Bn}$$

$Igeo$  شاخص زمین‌شیمیایی،  $Cn$  غلظت فلزات سنگین در نمونه سطحی و  $Bn$  غلظت در نمونه دست نخورده است. بر اساس این فرمول، شدت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات خلیج گرگان در مورد ایستگاه‌های مختلف در رده‌ی غیرآلوده (کمتر از ۱) قرار می‌گیرد. اما در مورد استرانسیم، میزان آلودگی در اکثر ایستگاه‌ها متوسط است.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

مطابق جدول شماره ۱ مشاهده می‌گردد که میانگین غلظت فلزات آهن، منگنز، باریم، وانادیم و آلومینیوم از مقادیر پوسته پایین‌تر است، در حالی که سطح فلزات سنگین نیکل، کبالت و آرسنیک نیز در حد فاصل مقادیر استاندارد رسوبات جهانی و پوسته زمین قرار دارد. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که غلظت‌های عناصر سنگین در واحدهای مختلف زمین‌شناسی بسیار متفاوت بوده، اگرچه در برخی از ایستگاه‌ها از جمله ایستگاه شماره ۳ مقدار فلزات سنگین از استاندارد جهانی بیشتر است. البته مقایسه غلظت‌ها با میانگین‌های پوسته و رسوبات جهانی نتیجه خاصی را به دست نمی‌دهد. بنابراین برای طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس میزان فلزات اندازه‌گیری شده، از آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید (نمودار ۱).

۱۶۰ است، در حالی که غلظت فلزات فوق در نمونه‌ی عمیق به ترتیب برابر با ۱۹، ۶، ۳۱۸، ۵، ۱۶۵، ۲۲، ۱/۴۸، ۱/۰۹، ۸۲ است (جدول ۲). بیشترین غلظت عنصر نیکل، آرسنیک، وانادیم و باریم در ایستگاه ۳ و در خصوص کبالت، منگنز، بیشترین مقادیر در ایستگاه‌های ۴ مشاهده گردید؛ در حالی که کمترین مقدار غلظت این عناصر مربوط به ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۲ است. همچنین بیشترین غلظت استرانسیم که در تمامی ایستگاه‌ها مقادیر بالایی را نشان می‌دهد به ایستگاه ۱۴ و کمترین غلظت آن به ایستگاه شماره ۲ مربوط است. مقادیر کربنات و ماده‌ی آلی در نمونه‌ها به ترتیب بین ۱۷-۳۹ و ۵ تا ۳ متغیر است که بیشترین مقدار کربنات کلسیم در ایستگاه ۹ و بیشترین ماده آلی در ایستگاه شماره ۱۵ مشاهده گردیده است (جدول ۱). همچنین جهت مشخص کردن منشأ و سهم عوامل طبیعی و انسانی در رسوبات سطحی از فاکتور غنی‌شدگی<sup>۱</sup> و نقشه‌های پراکنش استفاده گردید (شکل ۱). در این تحقیق عنصر آلومینیوم به‌عنوان عنصر هنجارساز جهت جداسازی آلودگی‌های انسانی و طبیعی به کار برده شد. آلومینیوم عنصری است که به فراوانی در پوسته حضور دارد و به‌ندرت تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد.

$$EF = (M/Al)_{\text{sample}} / (M/Al)_{\text{crust}}$$

$M_{\text{crust}}$  و  $M_{\text{sample}}$  به ترتیب غلظت این فلزات در نمونه‌ها و پوسته‌ی زمین هستند و  $Al$  نیز فلزی است که در اثر هوازگی به راحتی در رسوبات قرار می‌گیرد.  $EF$  کمتر از ۳ نشان دهنده عوامل طبیعی و فرایند هوازگی و  $EF$  بیشتر از ۳ نشان دهنده سهم عوامل انтропоژنیک در غنی‌شدگی این فلزات است. به علاوه،  $EF=3-5$  غنی‌شدگی متوسط،  $EF=5-10$  غنی‌شدگی متوسط تا شدید، غنی‌شدگی  $EF=10-25$  شدید و  $EF=25-50$  غنی‌شدگی خیلی شدید و  $EF > 50$  نشان دهنده غنی‌شدگی فوق‌العاده شدید است (Chen et al., 2007). محاسبه‌ی فاکتور غنی‌شدگی نشان داد که استرانسیم غنی‌شدگی بسیار شدید و منگنز، کبالت و نیکل غنی‌شدگی متوسط تا شدید و باریم، آرسنیک، آهن و وانادیم غنی‌شدگی متوسط دارند (جدول ۲).

<sup>1</sup> Enrichment factor

جدول ۲: مقایسه‌ی دامنه مقادیر فلزات (مقادیر بر حسب ppm) در بررسی حاضر و دستور العمل‌های کیفیت رسوب (اقتباس از NOAA) (Long, et al., 1995)

Station	Ni	Co	Mn	As	Sr	V	Fe%	Al%	Ba	Clay	OM%	Caco3
St1	36.40	12.60	474.00	8.20	691	32.00	2.43	1.43	134	37.56	3.50	32.07
St2	40.30	14.30	516.00	7.30	407	36.00	2.74	1.70	138	35.35	3.75	25.86
St3	50.40	19.20	615.00	11.80	672	41.00	3.40	2.18	170	34.72	3.50	26.21
St4	48.30	20.80	713.00	6.90	761	37.00	3.81	2.38	138	32.68	4.00	17.24
St5	40.30	13.60	554.00	8.00	1063	33.00	2.64	1.83	168	50.76	5.75	28.97
St6	46.60	16.80	608.00	8.90	898	39.00	3.19	2.15	175	59.04	6.00	28.62
St7	20.60	8.70	303.00	7.10	2302	21.00	1.47	1.03	129	41.51	4.00	32.07
St8	18.70	7.40	297.00	4.40	1986	15.00	1.17	0.83	107	44.74	3.50	31.03
St9	19.30	7.40	286.00	6.10	2148	18.00	1.28	0.89	100	53.66	3.75	38.97
St10	10.40	3.90	281.00	5.60	2452	13.00	0.82	0.45	184	27.75	4.75	34.83
St11	17.90	5.80	368.00	6.60	1119	17.00	1.31	0.67	139	36.76	3.00	24.14
St12	10.30	3.80	359.00	9.40	932	17.00	0.81	0.32	94	50.62	6.25	32.76
St13	14.90	3.50	266.00	5.30	1760	17.00	0.92	0.59	108	23.62	4.25	38.28
St14	20.30	6.90	468.00	10.10	3667	23.00	1.77	0.88	430	6.50	1.75	29.66
St15	43.30	13.80	589.00	10.90	890	38.00	2.90	1.80	181	61.05	9.00	35.86
میانگین	29.20	10.57	446.47	7.77	1450	26.47	2.04	1.28	160	-	-	-
انحراف معیار	14.19	5.51	142.81	2.06	871.99	9.91	0.99	0.66	77.81	-	-	-
نمونه دست نخورده	19.00	5.00	318.00	10.00	74	22.00	1.48	1.09	82	-	-	-
*پوسته زمین	20.00	10	600	5	350	60	3.5	8.04	550	-	-	-
a-b*رسوبات جهانی	21-52	50	460-1110	8.2-70	-	-	4.1	7.2	-	-	-	-

ERL.a = Effect range low (NOAA) ERM.b = Effect range medium (NOAA)

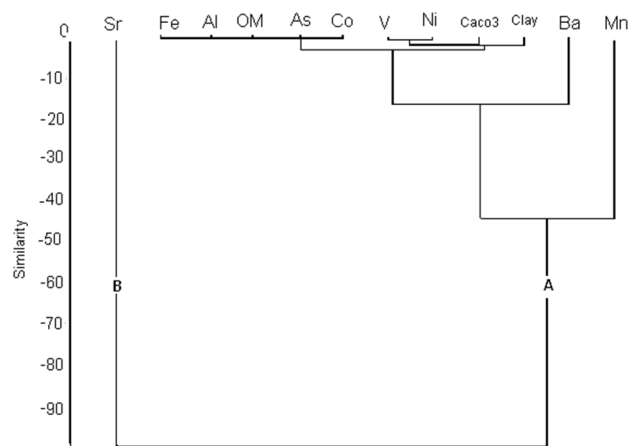
و pH باعث رهاسازی این فلزات در آب دریا می‌شود (Zhang et al., 2001)، مشاهده می‌گردد که بیشترین مقادیر غلظت فلزات سنگین در این منطقه نیز در محل ورودی رودخانه‌های گرگانرود و قره سو و نکارود تمرکز یافته است. همچنین مشاهده می‌گردد ورودی اصلی عناصر باریوم و استرانسیم از نکارود و بقیه فلزات بیشتر در دهانه‌ی گرگانرود و قره سو تمرکز دارند (شکل ۲). همچنین مطابق جدول ۳ مشاهده گردید که شدت آلودگی به فلزات سنگین در خلیج گرگان براساس طبقه‌بندی مولر در بیشتر ایستگاه‌ها، شاخص زمین‌شیمیایی (Igeo) به صورت مقادیر منفی و نزدیک به صفر به دست می‌آید که نشان می‌دهد در رسوبات عمیق‌تر و قدیمی‌تر (حداقل ۵۰۰ سال) خلیج گرگان تمرکز عناصر مورد بحث باید بیشتر باشد. با توجه به اینکه اثر فعالیت‌های انسانی بر محیط در زمان نهشته شدن در رسوبات عمیق ناچیز بوده است، لذا می‌توان گفت عوامل طبیعی مهمترین عامل تمرکز این عناصر بوده‌اند و احتمالاً اقلیم تقریباً مرطوب که در گذشته‌ی نه چندان دور در شمال شرق ایران و جنوب آسیای میانه حاکم بوده، می‌توانسته سبب فرسایش بیشتر حوزه‌های بالا دستی رودخانه‌ها و تمرکز بیشتر عناصر گردد. به علاوه ثابت شده است که بخش عمده‌ای از فلزات سنگین بخش جنوبی دریای خزر حاصل فرسایش سنگ‌های حوضه آبریز است، درحالی که عوامل صنعتی در بخش‌های شمالی عامل اصلی محسوب می‌شوند (Stephen, et al., 2004). در مقابل، مطابق نمودار شماره ۱ و جدول شماره ۳ مشاهده می‌گردد که فلز استرانسیم تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها مقدار آلودگی متوسطی

بر این اساس دندوگرام از دو شاخه تشکیل شده است که در شاخه A عناصر نیکل، کبالت، آلومینیم، آهن، وانادیم، منگنز و آرسنیک قرار دارند و تحت ضرایب تشابه بسیار بالا و معنی‌دار به یکدیگر متصل شده‌اند که به دلیل حضور کلسیم و مواد آلی می‌توان نتیجه گرفت که کلیه عناصر این شاخه دارای منشأ زمینی هستند. از سوی دیگر، در مکان‌هایی که مواد کربناتی در توزیع عناصر نقش ایفا می‌نمایند، معمولاً غلظت عناصر نسبت به دیگر محیط‌های رسوبی کمتر است. علت این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد که به دلیل اشباع شدن ظرفیت رسوبات از کلسیم، میزان حضور در فازهای سست بیشتر است. همچنین در محیط‌های کم‌عمق، پیوند عناصر با ذرات معلق، احتمال آلودگی در رسوبات را کاهش می‌دهد (کرباسی، ۱۳۸۵). بنابراین همبستگی بالای این فلزات با کربنات کلسیم، رس و ماده آلی موجود در رسوبات نشان می‌دهد که منشأ این فلزات تخریبی بوده و عوامل کنترل‌کننده‌ی آنها یکسان و زمینی است. در واقع منشأ تخریبی رسوبات سهم اصلی در توزیع عناصر، به‌ویژه فلزات سنگین در بستر دارد. همچنین در شاخه B استرانسیم قرار دارد که مشخصاً تفاوت معناداری با دیگر فلزات سنگین این مجموعه دارد و احتمالاً منشأ آن متفاوت بوده و یا عوامل انسانی سبب تمرکز این فلز گردیده‌اند. بنابراین با توجه به فاکتور غنی شدگی (EF) عوامل انسانی (انترپوزنیک) در غنی شدگی رسوبات تاثیر گذار بوده‌اند که با ترسیم نقشه‌های پراکنش نیز (میانگین غلظت در رسوبات) مشخص گردید. با توجه به اینکه رودخانه‌ها منشأ اصلی فلزات حل شده و معلق هستند و مقاومت یونی آب دریا و تغییرات Eh

به‌طور کلی اگرچه فعالیت‌های انسانی در جنوب و شرق خلیج گرگان گسترش دارد، اما میزان صنعتی شدن چندان برجسته نیست و هنوز اثرات این عامل بر آلودگی رسوبات و ایجاد خطر جدی برای بوم‌سامانه در حد بحرانی نیست. البته به‌دلیل افزایش جمعیت شهری و صنعتی شدن تدریجی منطقه، انجام تحقیقات جامع تر و کنترل دقیق‌تر بوم‌سامانه‌ی منطقه ضروری است.

مطالعه و ارزیابی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خلیج گرگان و ترسیم نقشه‌ی پراکنش رسوب در آن نشان می‌دهد که غنی‌شدگی فلزات سنگین از طریق رودخانه‌های ورودی صورت می‌گیرد. اگرچه فعالیت‌های انسانی در جنوب خلیج گرگان گسترش دارد، اما میزان صنعتی شدن چندان برجسته نیست و هنوز اثرات عوامل انسانی بر آلودگی رسوبات در مورد فلزات سنگین آن‌چنان شدید نیست. همچنین مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی و عمیق‌تر (ژرفای ۱۰۰ سانتیمتری) نشان از آلودگی ناچیز این رسوبات دارد و به جز استرانسیم، در بقیه موارد غلظت فلزات کمتر از استاندارد کیفیت رسوب امریکا است (جدول ۱). با این وجود، لزوم حفاظت و انجام مطالعات دقیق‌تر در خصوص ورود سایر آلاینده‌ها به محیط ضروری است.

را نشان می‌دهد که احتمالاً علاوه بر عوامل زمین‌شناختی و طبیعی، عامل انسانی نیز ممکن است سبب تمرکز بیشتر این فلز در رسوبات منطقه شده باشد بنابراین در این خصوص باید مطالعات دقیق‌تری انجام شود.



نمودار شماره ۱: دندوگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین در رسوبات خلیج گرگان

جدول ۳: شدت آلودگی به فلزات سنگین در خلیج گرگان براساس طبقه‌بندی مولر

Station	Ni	Co	Mn	As	Sr	V	Fe%	Al%	Ba
St1	0.35	0.75	-0.01	-0.87	2.64	-0.04	0.13	-0.19	0.12
St2	0.35	0.75	-0.01	-0.87	2.64	-0.04	0.13	-0.19	0.12
St3	0.82	1.36	0.37	-0.35	2.60	0.31	0.61	0.42	0.47
St4	0.76	1.47	0.58	-1.12	2.78	0.17	0.78	0.54	0.17
St5	0.50	0.86	0.22	-0.91	3.26	0.00	0.25	0.16	0.45
St6	0.21	0.35	0.11	-0.23	0.91	0.07	0.16	0.12	0.15
St7	-0.47	0.21	-0.65	-1.08	4.37	-0.65	-0.59	-0.67	0.07
St8	-0.61	-0.02	-0.68	-1.77	4.16	-1.14	-0.92	-0.98	-0.20
St9	-0.56	-0.02	-0.74	-1.30	4.27	-0.87	-0.79	-0.88	-0.30
St10	-1.45	-0.94	-0.76	-1.42	4.47	-1.34	-1.44	-1.86	0.58
St11	-0.67	-0.37	-0.37	-1.18	3.33	-0.96	-0.76	-1.29	0.18
St12	-1.47	-0.98	-0.41	-0.67	3.07	-0.96	-1.45	-2.35	-0.39
St13	-0.94	-1.10	-0.84	-1.50	3.99	-0.96	-1.27	-1.47	-0.19
St14	-0.49	-0.12	-0.03	-0.57	5.05	-0.52	-0.33	-0.89	1.81
St15	0.60	0.88	0.30	-0.46	3.00	0.20	0.39	0.14	0.56
Mean(Igeo)	0.04	0.49	-0.10	-0.95	3.71	-0.32	-0.12	-0.36	0.38

production and oogenic cycle. Acta Oceanology 20(4): 267-283.

Aliev, N.k., 1997. Ecological Problems of the Caspian Sea, Ministry of Environment Protection, Makhachkala, Russia. 168 p.

Berkowitz, B.; Dror, I. and Yaron, B., 2008. Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 412 p.

## منابع

- آمارنامه استان مازندران، ۱۳۷۵. سازمان برنامه و بودجه، ۸۰۲ صفحه.
- لاهیجانی، ح؛ حایری اردکانی، الف؛ شریفی، الف؛ نادری بنی، ع، ۱۳۸۹. شاخص‌های رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی رسوبات خلیج گرگان، اقیانوس شناسی، سال اول شماره ۱، بهار ۱۳۸۹.
- Abrantes, A.; Pinto, F.; Moreira, M., 1999. Ecology of polychaete *Nereis diversicolor*, in the Cannal de Mira (Ria de averio, Portugal). Population dynamics,

- of Environmental Studies Volume 54, Issue 3-4.
- Kholodov, V.N.; Lisitsina N.A., 1989, The Caspian Sea; Sedimentology, Moscow, Nauka. 180 p.
- Lahijani H., 1997. Riverine sediment and stability of the Iranian coast of the Caspian Sea. Russian Academy of Sciences. SCC. Caspy, 120 p.
- Lewis, D.W.; Mc Conchie D., 1994, Analytical sedimentology, Chapman and Hau, 197 p.
- Long, E.R.; MacDonald, D.D.; Smith, S.L.; Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19: 18-97.
- Martin, M.H.; Coughtrey, P.J., 1982. Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution. Land and Air Applied Science, London 475pp.
- Mason, C.F., 1991. Biology of Freshwater Pollution, second ed. Longman, New York, 351 pp.
- Muller, G.; Schwermetalle in: Calmano, W.; Forstner, U., 1979. Sediment and Toxic substances. 336p.
- Nriagu, J.O.; Pacyna, J.M., 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333: 134-139.
- Shajan, K.P., 2001. Geochemistry of Bottom Sediments from a River-Estuary-Shelf Mixing Zone on the Tropical Southwest Coast of India. Bulletin of Geological Survey of Japan. 52 (8): 371-382.
- Stephen de, M.; Sheikholeslami, M.R.; Wyse E.; Azemard, S.; Cassi, R., 2004. An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea, Marine Pollution Bulletin. 48(1-2): 61-77.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. Reviews in Geophysics, 33: 241-265.
- Terziev, S.F., 1992. Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas. Vol. 6, No. 1. the Caspian Sea; Hydrometeorological Conditions,
- Carver R.E., 1971, Procedures in sedimentary petrology, Wily Interscience, 562 p.
- Chen, C.W.; Kao, C.M.; Chen, C.F.; Dong, C.D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. Chemospher, 66(8): 1431-1440.
- Chester, R. and Hughes, M., 1967. A Chemical Technique for the Separation of Ferromanganese Minerals, Carbonate Minerals and Adsorbed Trace Elements from Pelagic Sediments. Journal of Chemical Geology. 2: 242-262.
- Daesslé, L.W., 2009. Geochemistry of modern sediments from San Quintin coastal lagoon, Baja California: Implication for provenance. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26(1): 117-132
- Farkas, A.; Erratico, C. and Vigano, L., 2007. Assesment of the Environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. Journal of Chemospher, 68:761-768.
- Gupta, S.K.; Chen, K.Y., 1975. Partitioning of Trace Metals in Selective Chemical Fraction of Near shore Sediments. Journal of Environmental Letters, 10: 129-158.
- Helling, D., 1990. Sediments and Environmental Geochemistry. Springer Verlag, New York.
- Izquierdo, C.; Usero, J.; Gracia, I., 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes on the southern Atlantic Coast of Spain. Marine Pollution Bulletin, 34(2): 123-128.
- Karbassi, A.; Nabi Bidhendi, G.R.; Saeedi, M.; Rastegari, A., 2010. Metals removal during estuarine mixing of Arvand River water with the Persian Gulf water, Central European Journal of Geosciences, Volume 2, Issue 4: 531-536
- Karbassi, A.R., 1998. Geochemistry of Ni, Zn, Cu, Pb, Co, Cd, V, Mn, Fe, Al and Ca in Sediments of North Western Part of the Persian Gulf. International Journal

Yu K. C.; Tsal L. J.; Chen S. H.; Ho S. T., 2001. Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments. Water Research, 35 (17): 4086-4096.

Gidrometeoizdat, Leningrad, 360 pp.

Voropaev, G.V., 1994. Studies of Ocean and Seas: The Caspian Sea, Moscow, Water Problem Institute. 117p.