Archive of SID

پراکندگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خروجی تالاب انزلی، شمال ایران

بهروز رفیعی*[۱]، عاطفه موثق[۱]، افشین کریم‌خانی[۲] و مجید صادقی‌فر[۳]

۱ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
۲ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت زمین‌شناسی دریایی
۳ گروه آمار، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: *b_rafiei@basu.ac.ir

دریافت: ۹۲/۱۱/۱ پذیرش: ۹۳/۲/۱۰

چکیده

در این مطالعه محتوای فلزات سنگین ناحیه‌ی خروجی تالاب انزلی به منظور برآورد درجه و منشأ آلودگی، مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور تعداد ۱۵ نمونه از رسوبات سطحی برداشت گردید و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها تعیین گردید. دو روش آنالیز به کار گرفته شد؛ تفرق اشعه ایکس (XRD) برای تعیین کانی‌شناسی رسی و آنالیز ICP-OES برای تعیین غلظت کل فلزات مورد استفاده قرار گرفت. غلظت هشت عنصر کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، کروم (Cr)، مس(Cu)، تیتانیوم (Ti)، وانادیوم (V) و روی (Zn) در رسوبات سطحی برآورد گردید. میزان آلودگی منطقه، توسط شاخص‌های مختلف آلودگی شامل شاخص زمین انباشت (I_{geo})، شاخص غنی‌شدگی (EF)، و شاخص بار آلودگی (PLI) محاسبه شدند. نتایج به دست آمده از شاخص زمین‌انباشت مبین آن است که شدت آلودگی رسوبات منطقه نسبت به دو فاز کروم و کادمیوم در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند. بر اساس نتایج به دست آمده از شاخص غنی‌شدگی، فلزات سرب (ایستگاه‌های ۱A و ۱۵A)، کروم (ایستگاه ۱۲A)، مس (ایستگاه ۱A) و روی (ایستگاه‌های ۱A و ۱۵A) غنی‌شدگی متوسط نشان می‌دهند. مقادیر شاخص بار آلودگی در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیش‌تر از یک است، که نشان دهنده‌ی آلودگی این مناطق است، اما قابل توجه‌ترین آن‌ها مربوط به ایستگاه ۱۲A می‌باشد که برابر ۳/۱۲ است. روش‌های آماری تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) نشان می‌دهد که آلودگی فلزات کادمیوم، سرب، روی و مس عمدتاً دارای منشأ انسانی بوده و سایر فلزات از منشأ زمین‌شناسی می‌باشند. منابع اصلی آلودگی انسانی در این منطقه مرتبط با فعالیت‌های صنعتی و کشتیرانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی فلزات سنگین، شاخص زمین‌انباشت، شاخص غنی‌شدگی، شاخص بار آلودگی، تالاب انزلی

۱- مقدمه

اگرچه فلزات سنگین به طور طبیعی جزو عناصر تشکیل دهنده‌ی پوسته‌ی زمین به شمار می‌روند و در بیش‌تر اکوسیستم‌ها حضور دارند، اما در اثر فعالیت‌های انسانی، غلظت این فلزات به طور قابل توجهی رو به فزونی گذاشته [۸ و ۲۶] و به همین دلیل طی دو دهه‌ی اخیر تاثیرات فلزات سنگین بر روی سلامت اکوسیستم‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. اکوسیستم‌های آبی به واسطه ورود مواد ناشی از محیط‌های طبیعی، صنعتی و شهری، که به طور معمول از طریق رودخانه‌ها وارد این مناطق می‌شوند، در معرض آلودگی این فلزات قرار می‌گیرند [۱۹ و ۲۰] فلزات سنگین، مواد ناشی از کودهای کشاورزی و سایر مواد سمی ابتدا وارد ستون آب شده و سپس به درون رسوبات، به ویژه رسوبات دانه ریز منتقل می‌شوند [۲۲]. رسوبات به عنوان مخزن نهایی فلزات سنگین و مواد سمی عمل می‌کنند. بنابراین تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات اطلاعات زیادی را در مورد سلامت اکوسیستم در اختیار ما قرار می‌دهد [۱۰].

تالاب انزلی، یک تالاب ساحلی است که در حاشیه‌ی شمالی استان گیلان و جنوب‌غربی دریای خزر واقع شده است. این تالاب جزو تالاب‌های آب شیرین حفاظت شده‌ی بین‌المللی و جالب توجه در جهان به شمار می‌رود که به دلیل شرایط خاص فیزیکی و شیمیایی، از تنوع گیاهی و جانوری بالایی برخوردار است. هم‌چنین نقش مهمی را در اقتصاد، کشاورزی و گردشگری ایفا می‌کند. این تالاب طی چند دهه‌ی اخیر به دلیل توسعه‌ی

www.SID.ir

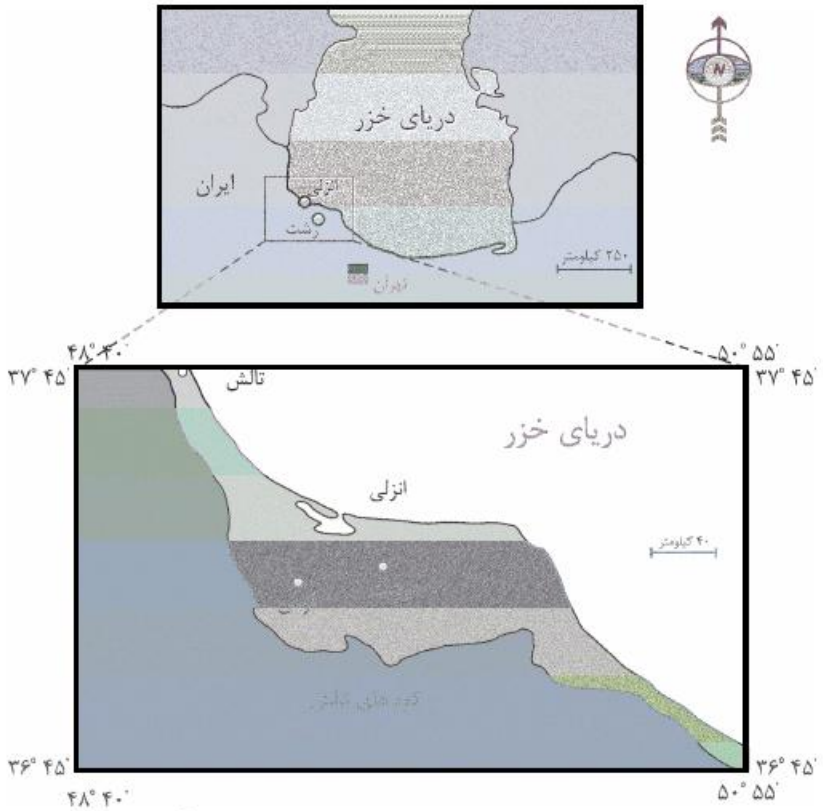
Archive of SID

شهرنشینی، کشاورزی و صنعت در معرض خطر آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین قرار گرفته که به طور معمول از طریق رودخانه‌های حوضه آبریز، وارد این تالاب می‌شوند [۷].

تاکنون مطالعات زیادی در بررسی آلودگی فلزات سنگین این تالاب انجام شده و خطرات زیستی ناشی از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است [۲ و ۳ و ۶، ۲۱] با وجود تمام بررسی‌های انجام شده، مطالعات در منطقه‌ی حاشیه‌ی بندر انزلی بسیار محدود می‌باشد. به همین منظور هدف ما در این مطالعه، بررسی آلودگی فلزات سنگین شامل کادمیوم، مس، نیکل، سرب، کروم، تیتانیوم، وانادیوم و روی در رسوبات سطحی منطقه‌ی خروجی تالاب انزلی، در حاشیه‌ی بندر انزلی و اسکله کشتی‌رانی این بندر مهم، و تعیین منشأ احتمالی آن‌ها است.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

تالاب انزلی در استان گیلان و در ضلع جنوبی شهرستان بندر انزلی و سواحل جنوبی دریای خزر واقع است که دارای مختصات جغرافیایی به طول شرقی ´ ۱۵ °۴۹ تا ´ ۳۰ °۴۹ و عرض شمالی ´ ۲۵ °۳۷ تا ´ ۳۰ °۳۷ است (شکل ۱). مساحت تالاب حدود ۱۶۰ کیلومتر مربع است [۱۵] که با توجه به تاثیر دریای خزر در سطح آبگیری تالاب، متغیر می‌باشد. به این ترتیب هرچه ارتفاع سطح دریای خزر بیش‌تر باشد، سطح و حجم ذخیره‌ی آب تالاب انزلی نیز بیش‌تر می‌شود. عمق تالاب نیز بین ۲ تا ۳/۵ متر متغیر است که از سمت شرق به غرب، به دلیل تغییر شکل کف حوضه، افزایش می‌یابد [۵]. متوسط ارتفاع ریزش نزولات جوی در این منطقه بین ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی‌متر در سال و درجه حرارت سالیانه بین ۱۴ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد متغیر است [۱]. تالاب انزلی از مهم‌ترین ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناختی منطقه است و از این نظر به چهار بخش مجزا شامل: بخش شرقی (شیجان)، بخش مرکزی (هند خاله)، بخش غربی (آبکنار) و بخش جنوبی (سیاه کشیم) تفکیک می‌شود [۱۴]. این تالاب توسط آب‌های بیش از ۱۵ رودخانه تغذیه می‌شود. رودخانه‌ی پیربازار به دلیل عبور از شهر رشت و اضافه شدن فاضلاب‌های شهری و صنعتی به آن، جزو آلوده‌ترین رودخانه‌های منطقه محسوب می‌شود.



شکل ۱. موقعیت مکانی تالاب انزلی در شمال ایران و استان گیلان

www.SID.ir

Archive of SID

نهشته‌های ساحلی دریای خزر در بخش شمالی تا قسمت‌های میانی چهارگوش انزلی گسترش یافته و واحدهای سنگی تنها در محدوده‌ای کوچک در جنوب غربی چهارگوش انزلی رخنمون دارند. در بخش‌های جنوب غربی، سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، شامل آمفیبولیت و گنیس، گسترش زیادی دارند و در منتهی الیه جنوب غربی، گستره وسیعی از رسوبات آواری متعلق به پالئوزوئیک رخنمون دارند. این رسوبات در بخش‌های شمالی‌تر به همراه سنگ‌های آهک پرمین دیده می‌شوند. رسوبات کرتاسه را به صورت توف ولکانیکی، بیش‌تر در شمال‌غربی چهارگوش انزلی، و نهشته‌های ژوراسیک را به صورت آهک و ماسه‌سنگ آهکی در جنوب ورقه انزلی می‌توان مشاهده کرد. هم‌چنین سنگ‌های آذرین (مافیک و الترامافیک) به صورت رخنمون‌های کوچکی در جنوب غربی چهارگوش یافت می‌شوند [۴]. بنابراین به طور کلی جنس نهشته‌های این منطقه را می‌توان سنگ‌های آهکی کریستالین، شیل، شیست، سنگ‌های آهکی، گنیس و میکاشیست‌های پرکامبرین، آهک‌های کربونیفر و پرمین و توف‌های آتش‌فشانی کرتاسه نام برد [۵].

۳- مواد و روش‌ها

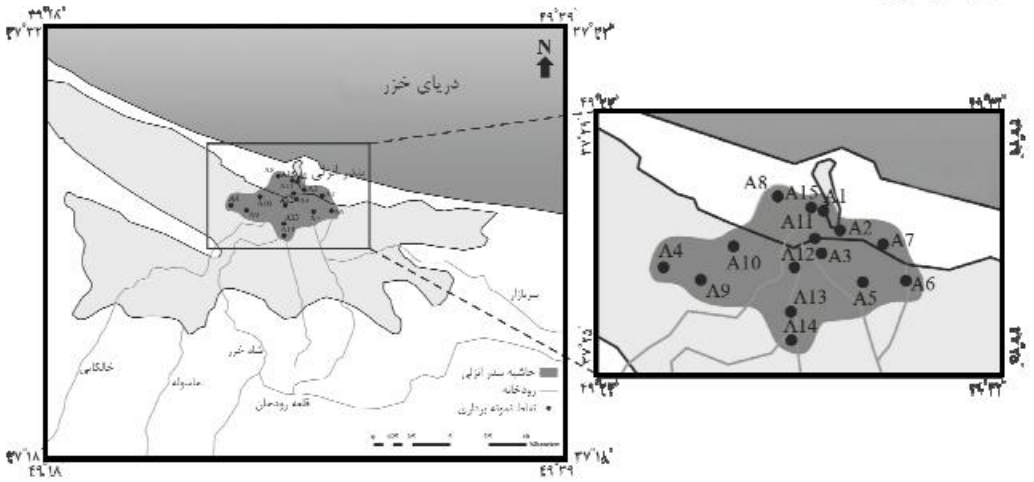
۳-۱- نمونه‌برداری

نمونه‌های رسوبات سطحی در دی ماه ۱۳۹۱ از ۱۵ ایستگاه در حاشیه‌ی بندر انزلی و ناحیه خروجی تالاب انزلی، توسط نمونه‌گیر فکی جمع‌آوری شد (شکل ۲). بعد از اتمام نمونه‌برداری، نمونه‌های رسوبی در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده، به آزمایشگاه منتقل و جهت تعیین بافت و آنالیزهای فیزیکوشیمیایی به بخش‌های مجزا تقسیم‌بندی گردیدند.

۳-۲- آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و شیمیایی

نمونه‌ها در آزمایشگاه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و جهت آزمایش دانه‌سنجی توزین شدند. برای دانه‌بندی ذرات بالای ۶۳ میکرون از روش دانه‌بندی مرطوب [۱۶] و از دستگاه دانه‌بندی رسوبات به روش مرطوب، مدل Analysette و برای دانه‌سنجی ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون، از دستگاه دانه‌بندی لیزری مدل Analysette A22 استفاده گردید. برای نام‌گذاری رسوبات از طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) استفاده گردید. هم‌چنین پارامترهای آماری شامل میانه، میانگین، کج شدگی و انحراف معیار محاسبه گردید. میزان مواد آلی رسوبات جمع‌آوری شده توسط روش سوزاندن در کوره [۱۸] و میزان درصد کربنات کلسیم با روش تیتراسیون [۱۶] تعیین گردید. برای تعیین pH نمونه‌های رسوبی، مخلوط آب به رسوب با نسبت ۵ به ۱ تهیه و بعد از ته‌نشینی مواد معلق، pH محلول شفاف حاصله با استفاده از pH متر(مدل Metrohm 2744) اندازه‌گیری گردید [۲۳].

برای تعیین غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌های رسوب، ابتدا نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شده و پودر شدند و سپس توسط مخلوط چهار اسید (اسید کلریدریک، اسید فلوئوریدریک، اسید نیتریک و اسید پرکلریک) هضم گردیدند. پس از این مراحل، محلول‌های به دست آمده توسط روش ICP-OES مورد آنالیز قرار گرفتند و مقدار هر یک از عناصر اندازه‌گیری و مشخص گردید. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Varian 735 در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مورد آنالیز قرار گرفته‌اند.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در ناحیه‌ی خروجی تالاب انزلی. اسکله کشتی‌رانی بندر انزلی در محل خروجی تالاب مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۳- آنالیز کانی‌شناسی رسی

برای تعیین کانی‌های رسی موجود در رسوبات، ابتدا بخش رسی توسط روش معلق‌سازی [۱۶] از نمونه‌های رسوبی جدا شدند. از این نمونه‌ها، مقاطع جهت‌یافته تهیه و جهت انجام آنالیز XRD آماده شدند. به منظور تشخیص کامل کانی‌های رسی از تیمارهای کلرید پتاسیم، حرارت و اتیلن گلیکول استفاده شده است. برای آنالیز پراش اشعه ایکس نمونه‌های مورد مطالعه از دستگاه پراش اشعه ایکس Four-D (ساخت شرکت بروکر، تحت لیسانس زیمنس آلمان، Cu kα، 30mA، 40kV) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شد.

۳-۴- روش‌های ارزیابی آلودگی

برای تعیین میزان آلودگی رسوبات منطقه‌ی مورد مطالعه، با توجه به غلظت کل عناصر[1]، از فاکتور غنی شدگی[2]، شاخص زمین‌انباشت[3] و شاخص بار آلودگی[4] استفاده شد.

۳-۴-۱- شاخص غنی‌شدگی (EF)

این فاکتور از طریق رابطه (۱) قابل محاسبه است [۳۱]:

$$EF = (C_i/C_{ie})_S/(C_i/C_{ie})_{RS} \quad (۱)$$

که $(C_i/C_{ie})_S$ نسبت غلظت فلز سنگین به غلظت یک عنصر مرجع در نمونه‌ی رسوب و $(C_i/C_{ie})_{RS}$ نسبت غلظت فلز سنگین به غلظت عنصر مرجع در زمینه است. در این مطالعه از زمینه محلی[5] برای انجام محاسبات میزان غنی‌شدگی عناصر در منطقه مورد استفاده شده است. عنصر مرجع اغلب از بین عناصری با کمترین تغییرات غلظت، مانند Al, Fe, Ti, Si, Sr, K, Sc و نظایر آن انتخاب می‌شود [۱۱، ۱۳، ۲۷، ۲۹و ۳۰]. عنصر اسکاندیوم (Sc) به دلیل غیر متحرک بودن و نیز داشتن کم‌ترین تغییرات در نمونه‌ها، به عنوان مرجع استفاده گردید. بر اساس فاکتور غنی‌شدگی، پنج گروه قابل تشخیص است [۲۵]، که در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین مقادیر شاخص غنی‌شدگی می‌تواند نشان دهنده‌ی منشا آلودگی باشد به این ترتیب که مقادیر بین ۰/۵ تا ۱/۵ نشان دهنده‌ی وجود منشأ طبیعی و لیتولوژیک و مقادیر بیشتر از ۱/۵ نشان دهنده‌ی منشأ انسانی برای فلزات می‌باشد [۳۱].

۳-۴-۲- شاخص زمین انباشت (I_{geo})

این شاخص، شدت آلودگی نمونه‌ها را نسبت به فلزات سنگین نشان می‌دهد. این شاخص توسط رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۷]:

$$I_{geo} = \log_2(C_i/1.5C_{ri}) \quad (۲)$$

که در آن C_i غلظت فلز سنگین در نمونه‌ی رسوبی و C_{ri} میزان فراوانی فلز مورد نظر در شیل (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند. ضریب ۱/۵ برای به حداقل رساندن تأثیر تغییرات احتمالی در مقدار زمینه، مربوط به تغییرات لیتولوژی اعمال شده است. بر اساس نتایج حاصل از شاخص زمین انباشت، ۷ رده آلودگی قابل تشخیص است که در جدول ۲ نمایش داده شده است [۹].

۳-۴-۳- شاخص بار آلودگی (PLI)

این شاخص جهت تعیین سطح آلودگی ارائه شده است [۲۸] و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار ما قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$PLI = \sqrt[n]{cf_1 \times cf_2 \times \ldots\ldots\ldots \times cf_n} \quad (۳)$$

که در آن C_f^i فاکتور آلودگی بوده و از رابطه‌ی $C_f^i = \frac{C_i}{C_{ri}}$ به دست می آید. در این رابطه C_i غلظت فلز سنگین در نمونه‌ی رسوبی و C_{ri} میزان فراوانی فلز مورد نظر در زمینه محلی است. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می‌کند. به طور معمول مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان دهنده‌ی عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از یک نشان دهنده‌ی آلودگی نسبت به فلزات سنگین است [۱۲].

۳-۵- آنالیزهای آماری

پس از انجام آنالیزهای شیمیایی، به منظور بررسی نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر و نیز تعیین منشأ آن‌ها، نتایج حاصل تحت آنالیزهای آماری قرار گرفتند. آنالیزهای آمار توصیفی، تعیین ضرایب همبستگی (پیرسون)، آنالیز خوشه‌ای (پیرسون) (CA) و آنالیز تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) توسط نرم‌افزار SPSS 16.0 برای داده‌ها انجام شد.

[1] Total concentration
[2] Enrichment Factor (EF)
[3] Geo-accumulation Index (I_{geo})
[4] Pollution Load Index (PLI)
[5] Local background

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. رده‌بندی میزان غنی‌شدگی فلزات موجود در رسوبات [۲۵]

سطح آلودگی	میزان EF
تهی تا کمی غنی شده	EF < 2
غنی‌شدگی متوسط	2 ≤ EF < 5
غنی‌شدگی قابل توجه	5 ≤ EF < 20
غنی‌شدگی بسیار بالا	20 ≤ EF < 40
غنی‌شدگی بسیار بسیار بالا	EF > 40

جدول ۲. رده‌های شدت آلودگی بر اساس شاخص زمین انباشت [۹]

وضعیت آلودگی	مقدار	رده
غیر آلوده	$I_{geo} \leq 0$	0
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	$0 < I_{geo} \leq 1$	1
آلودگی متوسط	$1 < I_{geo} \leq 2$	2
آلودگی متوسط تا شدید	$2 < I_{geo} \leq 3$	3
به شدت آلوده	$3 < I_{geo} \leq 4$	4
به شدت تا بی نهایت آلوده	$4 < I_{geo} \leq 5$	5
بی نهایت آلوده	$I_{geo} > 5$	6

۴ـ نتایج و بحث

۴ـ۱ـ نتایج آنالیزهای فیزیکوشیمیایی

نتایج دانه‌سنجی رسوبات سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که این رسوبات به طور میانگین دارای ۶۱/۳۱٪ ماسه و ۳۰/۰۵ ٪ گل می‌باشند (جدول ۳). بافت این رسوبات بر اساس تقسیم‌بندی فولک (۱۹۷۴)، از نوع ماسه، گراول ماسه‌ای، ماسه گراولی، گل ماسه‌ای و گل ماسه‌ای با کمی گراول است (شکل ۳). پارامترهای آماری محاسبه شده نشان دهنده‌ی ریز تا درشت بودن و جورشدگی بد ذرات است. به طور کلی رسوبات نزدیک به بندر انزلی درشت‌تر بوده و به سمت تالاب رسوبات ریزدانه‌تر می‌شوند. میزان ماده آلی این رسوبات به طور متوسط برابر ۳/۵۳٪ و میزان کربنات کلسیم آن‌ها به طور میانگین برابر ۴/۷۵٪ است. مقدار متوسط pH رسوبات سطحی این منطقه ۷/۳۲ بوده که نشان می‌دهد رسوبات سطحی در محدوده خنثی قرار می‌گیرند (جدول ۴).

۴ـ۲ـ کانی‌شناسی رسی رسوبات مورد مطالعه

نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس نشان می‌دهد که کانی‌های رسی این منطقه شامل ایلیت، اسمکتیت و کلریت هستند. این کانی‌ها در به دام اندختن فلزات سنگین نقش مهمی ایفا می‌کنند. اسمکتیت دارای بیش‌ترین میزان جذب می‌باشد.

۴ـ۳ـ غلظت فلزات سنگین در رسوبات

غلظت ۸ فلز (Cd، Pb، Ni، Cu، Cr، Ti، V و Zn) در رسوبات سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول ۵ قابل مشاهده است. غلظت کادمیوم از ۰/۲۵تا ۲/۱۱ (با میانگین۰/۷۷)، سرب از۴/۳۷ تا ۵۹/۱۹ (با میانگین ۲۸/۲۱)، نیکل از ۲۴/۵۴ تا ۶۷/۴۸ (با میانگین ۴۵/۷۱)، مس از ۱۴/۵۹ تا ۹۶/۶۱ (با میانگین ۴۹/۳۴)، کروم از۷۳/۶۶ تا ۹۷۵/۹۰ (با میانگین ۱۹۱/۵۹)، تیتانیوم از ۴۰۱۰/۹۰ تا ۲۷۱۴۶/۸۲ (با میانگین ۶۴۴۰/۵۱)، وانادیوم از ۷۳/۲۹ تا ۱۰۹۹/۴۸ (با میانگین ۱۹۳/۷۹) و روی از ۵۰/۵۹ تا ۵۳۶/۸۳ (با میانگین ۱۷۶/۰۹) میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. بیشترین غلظت فلز مس و روی متعلق به ایستگاه ۱A و بیش‌ترین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، تیتانیوم و وانادیوم متعلق به ایستگاه ۱۲A می‌باشد. شکل ۴ چگونگی تغییرات غلظت عناصر در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمونه ۱A از اسکله بندر انزلی، در جایی که کشتی‌ها تردد دارند، برداشت شده است. محل نمونه-برداری ۱۲A در نزدیکی محل احداث پل واقع شده و به دلیل مصالح ناشی از فعالیت‌های عمرانی در این منطقه، غلظت فلزات در این نمونه بسیار بالا است. به طور کلی غلظت فلزات سنگین به سمت خروجی تالاب انزلی و اسکله کشتی‌رانی بندر انزلی افزایش می‌یابد (شکل ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج دانه‌سنجی رسوبات سطحی ناحیه خروجی تالاب و بندر انزلی

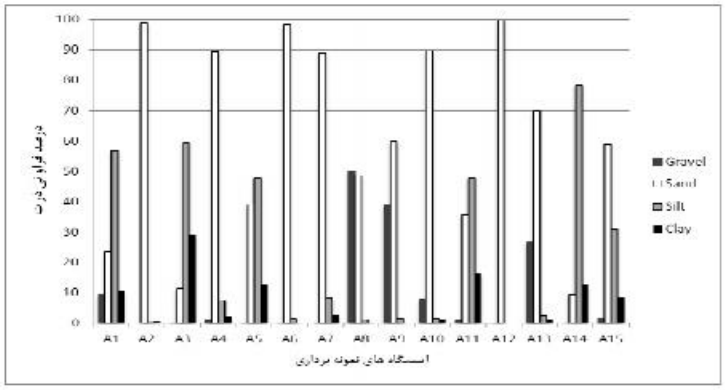
شماره نمونه	گراول (٪)	ماسه (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	میانگین (Mz)	انحراف معیار (δI)	میانه (Md)	کج شدگی (SKI)	بافت رسوبات
۱A	۹/۳۶	۲۳/۳۷	۵۶/۶۸	۱۰/۵۶	۴/۸۷	۳/۳۲	۴/۹۰	-۰/۲۴	گل گراولی
۲A	۰/۰۰	۹۸/۷۲	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۳۰	۰/۶۲	۲/۱۰	-۰/۱۲	ماسه
۳A	۰/۴۰	۱۱/۰۸	۵۹/۵۷	۲۸/۹۳	۶/۸۳	۱/۷۰	۶/۹۰	-۰/۷۶	گل ماسه ای با کمی گراول
۴A	۰/۹۵	۸۹/۴۶	۷/۴۹	۲/۰۹	۲/۸۳	۱/۰۷	۲/۶۰	۰/۶۰	ماسه با کمی گراول
۵A	۰/۴۴	۳۸/۸۷	۴۷/۸۲	۱۲/۸۳	۵/۰۳	۲/۳۹	۵/۰۰	۰/۰۳	گل ماسه ای با کمی گراول
۶A	۰/۲۹	۹۸/۱۵	۱/۴۲	۰/۱۴	۲/۹۳	۰/۵۵	۲/۹۰	۰/۱۹	ماسه با کمی گراول
۷A	۰/۱۸	۸۸/۹۹	۸/۲۳	۲/۵۸	۳/۰۳	۱/۱۴	۲/۹۰	۰/۴۴	ماسه با کمی گراول
۸A	۴۹/۸۵	۴۸/۵۶	۱/۱۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۱/۷۵	-۰/۵۰	۰/۶۴	گراول ماسه ای
۹A	۳۸/۶۵	۵۹/۶۹	۱/۴۶	۰/۱۷	-۰/۲۶	۲/۴۱	۰/۰۰	-۰/۱۵	گراول ماسه ای
۱۰A	۷/۷۷	۸۹/۶۷	۱/۲۸	۱/۲۵	۰/۸۳	۱/۷۳	۱/۶۰	-۰/۴۴	ماسه گراولی
۱۱A	۰/۶۶	۳۵/۵۰	۴۷/۷۲	۱۶/۱۲	۵/۳۰	۲/۳۵	۵/۳۰	۰/۰۱	گل ماسه ای با کمی گراول
۱۲A	۰/۳۰	۹۹/۷۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۴۳	۰/۵۶	۲/۴۰	۰/۰۵	ماسه با کمی گراول
۱۳A	۲۶/۶۲	۶۹/۷۶	۲/۵۵	۱/۰۶	۰/۷۳	۱/۵۳	۱/۰۰	۰/۱۳	ماسه گراولی
۱۴A	۰/۰۸	۲/۲۷	۷۸/۲۳	۱۲/۴۱	۵/۸۷	۱/۶۱	۵/۷۰	۰/۱۳	گل با کمی گراول
۱۵A	۱/۴۹	۵۸/۸۹	۳۱/۰۹	۸/۵۳	۴/۲۷	۲/۲۵	-۳/۵۰	۰/۴۳	ماسه گلی با کمی گراول
بیشینه	۴۹/۸۵	۹۹/۷۰	۷۸/۲۳	۲۸/۹۳	۶/۸۳	۳/۳۲	۶/۹۰	۰/۶۴	-
کمینه	۰/۰۰	۹/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۲۶	۰/۵۵	-۰/۰۵	۰/۰۱	-
میانه	۰/۶۶	۵۹/۶۹	۷/۴۹	۲/۰۹	۲/۹۳	۱/۷۰	۲/۹۰	۰/۱۶	-
میانگین	۹/۱۳	۶۱/۳۱	۲۳/۰۲	۶/۵۲	۳/۱۴	۱/۶۷	۳/۰۹	۰/۱۸	-
انحراف معیار	۱۶/۰۱	۳۲/۳۸	۲۷/۵۲	۸۰/۳۵	۲/۱۷	۰/۸۰	۲/۱۴	۰/۲۳	-

جدول ۴. نتایج آنالیزهای کربنات سنجی، تعیین درصد ماده آلی و pH در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه

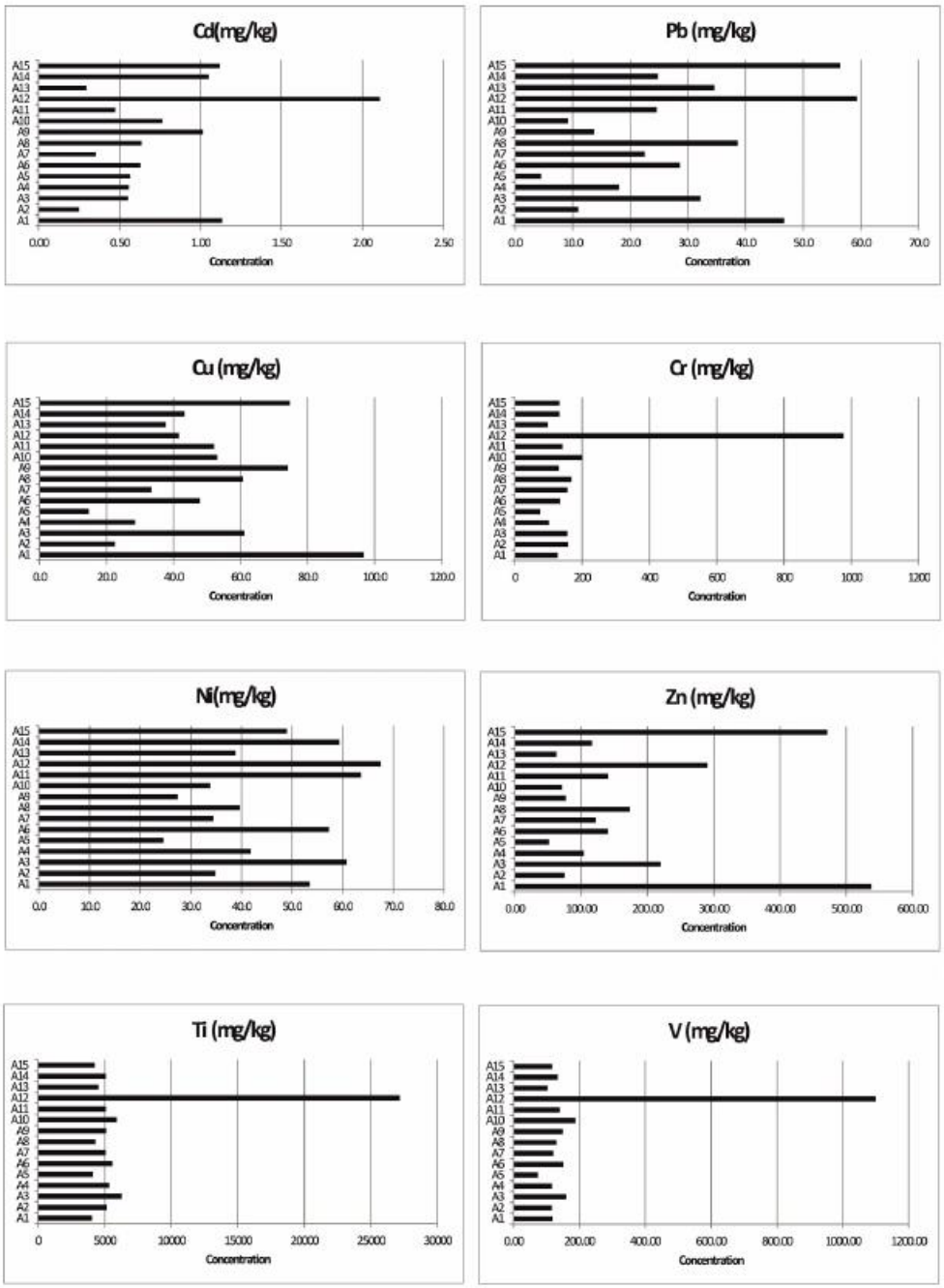
شماره نمونه	کربنات کلسیم (٪)	ماده آلی (٪)	pH
۱A	۳/۶۵	۱۷/۰۰	۷/۳۶
۲A	۱۱/۳۰	۱/۰۰	۷/۱۰
۳A	۵/۲۵	۶/۰۰	۷/۲۸
۴A	۱۱/۰۵	۲/۰۰	۷/۴۵
۵A	۱/۲۰	۵/۰۰	۷/۷۰
۶A	۱/۵۰	۱/۰۰	۷/۵۴
۷A	۱۶/۲۰	۳/۰۰	۷/۶۳
۸A	۲/۶۴	۰/۰۰	۶/۸۰
۹A	۱/۹۰	۱/۰۰	۴/۸۳
۱۰A	۳/۵۵	۰/۰۰	۶/۹۰
۱۱A	۴/۲۵	۵/۰۰	۷/۴۲
۱۲A	۱/۵۰	۱/۰۰	۷/۴۹
۱۳A	۰/۰۵	۱/۰۰	۷/۹۰
۱۴A	۳/۳۵	۵/۰۰	۷/۸۹
۱۵A	۳/۹۹	۵/۰۰	۷/۲۹
کمینه	۰/۰۵	۰/۰۰	۴/۸۳
بیشینه	۱۶/۲۰	۱۷/۰۰	۷/۹۰
میانه	۳/۵۵	۲/۰۰	۷/۴۲
میانگین	۴/۷۶	۳/۵۳	۷/۲۴
انحراف معیار	۴/۵۳	۴/۲۷	۰/۷۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نمودار فراوانی گراول، ماسه، سیلت و رس در ایستگاه‌های نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. نحوه تغییرات غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵ . غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه

شماره نمونه	غلظت کل (mg/kg)													
	Zn	V	Ti	Cr	Cu	Ni	Pb	Cd	Al	Fe	K	Mg	Mn	Ca
۱A	۵۳۷/۸۳	۱۱۷/۸۳	۴۰۱۰/۹۰	۱۲۶/۰۲	۹۶/۶۱	۵۳/۴۴	۴۶/۵۹	۱/۱۳	۸/۲۲	۵/۳۸	۱/۸۶	۱/۵۱	۱۱۰۷/۱۷	۳/۶۹
۲A	۷۴/۲۳	۱۱۵/۴۹	۵۱۱۸/۳۳	۱۵۷/۳۹	۲۲/۳۸	۳۴/۸۰	۱۰/۸۴	۰/۲۵	۶/۶۳	۴/۳۸	۲/۰۸	۱/۰۹	۵۱۴/۰۵	۲/۱۱
۳A	۲۱۹/۳۱	۱۵۹/۲۶	۶۲۴۵/۵۵	۱۵۵/۳۵	۶۱/۰۴	۶۰/۷۶	۳۲/۰۷	۰/۵۵	۹/۵۱	۶/۶۸	۱/۸۹	۱/۳۷	۱۷۷۴/۵۵	۱/۶۷
۴A	۱۰۳/۰۲	۱۱۵/۷۳	۵۳۲۹/۹۵	۹۹/۹۲	۲۸/۳۶	۴۱/۷۶	۱۷/۹۰	۰/۵۶	۷/۴۳	۴/۷۹	۱/۹۲	۱/۰۷	۶۷۱/۹۴	۱/۶۷
۵A	۵۰/۵۹	۷۳/۲۹	۴۰۷۴/۴۵	۷۳/۶۶	۱۴/۵۹	۲۴/۵۴	۴/۳۷	۰/۵۷	۷/۰۴	۴/۲۷	۰/۹۸	۰/۵۱	۸۷۷/۷۹	۰/۸۰
۶A	۱۳۹/۸۰	۱۴۹/۵۹	۵۵۳۵/۹۴	۱۳۳/۷۶	۴۷/۷۰	۵۷/۲۳	۲۸/۵۱	۰/۶۳	۹/۱۹	۶/۳۷	۱/۸۵	۱/۵۹	۱۳۴۶/۳۰	۲/۷۶
۷A	۱۲۱/۴۵	۱۲۰/۵۲	۵۰۴۷/۰۸	۱۵۵/۷۸	۳۳/۲۹	۳۴/۳۹	۲۲/۴۰	۰/۳۵	۸/۴۰	۵/۰۲	۱/۶۰	۱/۳۷	۱۰۱۳/۶۵	۵/۶۵
۸A	۱۷۲/۶۷	۱۲۸/۹۹	۴۲۹۶/۲۹	۱۶۶/۸۱	۶۰/۵۴	۳۹/۵۶	۳۸/۵۴	۰/۶۳	۹/۲۵	۵/۱۱	۱/۸۶	۱/۵۵	۸۴۳/۳۷	۸/۱۲
۹A	۷۶/۴۱	۱۴۸/۱۵	۵۰۴۷/۱۳	۱۲۹/۹۰	۷۴/۰۳	۲۷/۳۴	۱۳/۶۱	۱/۰۲	۸/۷۳	۴/۵۹	۲/۵۲	۱/۵۲	۷۱۹/۷۱	۴/۰۶
۱۰A	۷۰/۰۴	۱۸۷/۵۰	۵۸۹۲/۷۹	۱۹۹/۸۵	۵۲/۸۹	۳۳/۸۰	۹/۱۲	۰/۷۶	۹/۳۷	۵/۷۶	۲/۲۴	۱/۸۶	۹۶۶/۵۳	۷/۷۹
۱۱A	۱۴۰/۱۲	۱۳۹/۸۲	۵۰۴۷/۸۸	۱۴۰/۰۹	۵۱/۹۴	۶۳/۵۷	۲۴/۴۶	۰/۴۷	۸/۰۵	۵/۸۰	۲/۲۱	۱/۴۷	۱۰۲۲/۵۶	۱/۵۸
۱۲A	۲۸۹/۵۴	۱۰۹۹/۴۸	۲۷۱۴۶/۸۲	۹۷۵/۹۰	۴۱/۴۸	۶۷/۴۸	۵۹/۱۹	۲/۱۱	۴/۵۴	۲۳/۵	۰/۷۶	۲/۷۴	۳۱۳۱/۴۵	۷/۰۶
۱۳A	۶۱/۸۱	۱۰۱/۵۴	۴۵۰۲/۰۰	۹۵/۹۱	۳۷/۵۸	۳۸/۷۷	۳۴/۴۷	۰/۳۰	۷/۰۱	۴/۱۵	۱/۶۴	۱/۱۳	۷۷۱/۹۶	۱/۴۸
۱۴A	۱۱۵/۴۲	۱۳۳/۱۴	۵۰۵۱/۲۶	۱۳۱/۹۰	۴۳/۱۱	۵۹/۳۰	۲۴/۶۸	۱/۰۵	۹/۰۶	۵/۵۴	۲/۱۸	۱/۳۴	۱۵۵۲/۷۹	۱/۲۶
۱۵A	۴۷۰/۰۳	۱۱۶/۵۸	۴۲۳۴/۳۲	۱۳۱/۶۳	۷۴/۵۹	۴۸/۹۴	۵۶/۲۶	۱/۱۲	۹/۰۱	۵/۲۱	۱/۷۴	۱/۶۷	۸۷۷/۱۱	۳/۷۵
بیشینه	۵۳۶/۸۳	۱۰۹۹/۴۸	۲۷۱۴۶/۸۲	۹۷۵/۹۰	۹۶/۶۱	۶۷/۴۸	۵۹/۱۹	۲/۱۱	۹/۵۱	۲۳/۵۳	۲/۵۲	۲/۷۴	۳۱۳۱/۴۵	۸/۱۲
کمینه	۵۰/۵۹	۷۳/۲۹	۴۰۱۰/۹۰	۷۳/۶۶	۱۴/۵۹	۲۴/۵۴	۴/۳۷	۰/۲۵	۴/۵۴	۴/۱۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۵۱۴/۰۵	۰/۸۰
میانه	۱۲۱/۴۵	۱۲۸/۹۹	۵۰۵۱/۲۶	۱۳۳/۷۶	۴۷/۷۰	۴۱/۷۶	۲۴/۶۸	۰/۶۳	۸/۴۰	۵/۲۱	۱/۸۶	۱/۴۷	۹۶۶/۵۳	۲/۷۶
میانگین	۱۷۶/۰۹	۱۹۳/۷۹	۶۴۴۰/۵۱	۱۹۱/۵۹	۴۹/۳۴	۴۵/۷۱	۲۸/۲۱	۰/۷۷	۸/۱۰	۶/۴۴	۱/۸۲	۱/۴۵	۱۱۴۶/۰۶	۳/۵۶
انحراف معیار	۱۴۷/۹۱	۲۵۱/۹۵	۵۷۶۴/۹۹	۲۱۹/۱۴	۲۱/۷۷	۱۲/۸۴	۱۶/۶۱	۰/۴۷	۱/۳۶	۴/۷۹	۰/۴۶	۰/۴۸	۶۴۳/۱۴	۲/۴۹

۴-۴- نتایج ارزیابی آلودگی فلزات سنگین

۴-۴-۱- شاخص غنی‌شدگی (EF)

نتایج به دست آمده از محاسبه EF برای فلزات سنگین در جدول ۶ نمایش داده شده است. متوسط مقدار EF برای کادمیوم، نیکل، تیتانیوم و وانادیوم در منطقه مورد مطالعه کوچک‌تر از ۲ است، بنابراین به‌طور کلی منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به این فلزات غنی‌شدگی نشان نمی‌دهد. شاخص غنی‌شدگی محاسبه شده برای سرب (نمونه‌های ۱A و ۱۵A)، کروم (نمونه ۱۲A)، مس (نمونه ۱A) و روی (نمونه‌های ۱A و ۱۵A) بین ۲ تا ۵ می‌باشد، که نشان دهنده‌ی غنی‌شدگی متوسط این نمونه‌ها نسبت به عناصر مذکور است. نمونه‌های مذکور اغلب در ناحیه خروجی تالاب قرار دارند. با توجه به این که مقادیر شاخص غنی‌شدگی برای آن‌ها بالاتر از ۱/۵ است، بنابراین منشا این فلزات را می‌توان به عوامل انسانی نسبت داد [۳۱].

۴-۴-۲- شاخص زمین انباشت (I_{geo})

نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین انباشت منطقه مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. این شاخص برای کادمیوم در نمونه‌های ۳A، ۴A، ۵A، ۶A، ۸A، ۱۰A و ۱۱A در رده‌ی یک قرار می‌گیرد که نشان دهنده‌ی رسوباتی غیر آلوده تا با آلودگی متوسط است. نمونه‌های ۱A، ۹A، ۱۴A و ۱۵A در رده‌ی دو و ایستگاه ۱۲A در رده‌ی سه قرار می‌گیرند که به ترتیب نشان دهنده‌ی آلودگی متوسط، و آلودگی متوسط تا شدید نمونه‌های مذکور نسبت به فلز کادمیوم است. به طور کلی کادمیوم در اغلب نمونه‌ها باعث ایجاد آلودگی شده است. مقادیر شاخص زمین انباشت برای فلز نیکل در تمامی نمونه‌ها در رده‌ی صفر قرار می‌گیرد که نشان دهنده‌ی غیر آلوده بودن نمونه‌ها نسبت به این فلز است. مقادیر شاخص زمین انباشت برای فلز سرب در نمونه‌های ۱A، ۳A، ۸A، ۱۲A، ۱۳A و ۱۵A در رده‌ی یک قرار می‌گیرند که بیانگر رسوباتی غیر آلوده تا با آلودگی متوسط این مناطق نسبت به فلز سرب است. سایر نمونه‌ها نسبت به این عنصر غیر آلوده محسوب می‌شوند. این مقادیر برای فلز کروم در نمونه‌های ۲A، ۳A، ۷A، ۸A، ۱۰A و ۱۱A در رده‌ی یک قرار می‌گیرند که نشان دهنده‌ی غیر آلوده بودن تا آلودگی متوسط این مناطق نسبت به فلز کروم است اما نمونه ۱۲A نسبت به این فلز، آلودگی متوسط تا شدید نشان می‌دهد. فلز مس در

www.SID.ir

Archive of SID

بیش‌تر نمونه‌ها غیر آلوده است و فقط در سه ایستگاه ۱A، ۹A و ۱۵A در رده‌ی یک قرار می‌گیرد که نشان دهنده‌ی عدم آلودگی تا آلودگی متوسط آن‌ها نسبت به این فلز است. مقادیر شاخص زمین انباشت برای فلزات تیتانیوم و وانادیوم در تمامی نمونه‌ها کم‌تر از صفر بوده و در رده غیر آلوده قرار می‌گیرند. تنها نمونه ۱۲A نسبت به فلز تیتانیوم آلودگی متوسط و نسبت به وانادیوم آلودگی متوسط تا شدید نشان می‌دهد. فلز روی در نمونه‌های ۳A و ۸A در رده‌ی یک و در نمونه‌های ۱A و ۱۲A در رده‌ی دو قرار می‌گیرد که به ترتیب نشان دهنده‌ی رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط، و آلودگی متوسط می‌باشد.

مقادیر میانگین شاخص زمین انباشت برای فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سطحی ناحیه خروجی تالاب انزلی به صورت (۱/۲۲-) Ni > (۰/۴۲-) V > (۰/۳۸-) > Cr(۰/۱۶) > Zn (۰/۰۷-) > Ti (۰/۳۲-) > Pb (۰/۵۵) Cd تغییر می‌کند که بیانگر آلودگی این منطقه نسبت به دو فلز کادمیوم و کروم بیش از سایر فلزات مورد مطالعه است. این مطلب نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی سبب تغییر غلظت و تجاوز آن‌ها از حد طبیعی شده و منطقه مورد مطالعه را نسبت به این فلزات آلوده کرده است. شکل ۵ چگونگی تغییرات شاخص زمین انباشت را برای این فلزات در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۴-۴-۳- شاخص بار آلودگی (PLI)

نتایج به دست آمده برای شاخص بار آلودگی در جدول ۶ نشان داده شده است. مقدار این شاخص برای نمونه‌های ۱A، ۳A، ۶A، ۸A، ۱۱A، ۱۲A، ۱۴A و ۱۵A بیش‌تر از ۱ بوده و نشان دهنده‌ی آلودگی این مناطق نسبت به فلزات سنگین مورد مطالعه است. بیش‌ترین مقدار این شاخص متعلق به ایستگاه ۱۲A است که برابر با ۳/۱۲ می‌باشد.

۴-۵- نتایج مطالعات آماری و تعیین منشأ آلودگی

۴-۵-۱- تعیین ضرایب هم‌بستگی بین عناصر

ارتباط میان فلزات سنگین و منشا احتمالی آن‌ها از با استفاده از هم‌بستگی بین عناصر تعیین شد (جدول ۷). مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که کادمیوم بیش‌ترین تطابق را با روی (r=۰/۶۰۷, p < ۰/۰۵) و مس (r=۰/۷۲۵, p < ۰/۰۱): نیکل بیش‌ترین تطابق را با منگنز (r=۰/۷۰۵, p < ۰/۰۱) و آهن (r=۰/۷۵۹, p < ۰/۰۱): سرب بیش‌ترین تطابق را با روی (r=۰/۸۲۴, p < ۰/۰۱) و مس (r=۰/۶۶۶, p < ۰/۰۱): آلومینیوم بیش‌ترین تطابق را وانادیوم (r=۰/۷۳۷, p < ۰/۰۱)، منگنز (r=۰/۶۳۵, p < ۰/۰۵)، منیزیوم (r=۰/۷۶۹, p < ۰/۰۱)، آهن (r=۰/۷۶۳, p < ۰/۰۱)، مس (r=۰/۵۸۴, p < ۰/۰۵) و کروم (r=۰/۵۹۰, p < ۰/۰۵): تیتانیوم بیش‌ترین تطابق را با وانادیوم (r=۰/۷۵۶, p < ۰/۰۱) و آهن (r=۰/۵۹۷, p < ۰/۰۵): وانادیوم بیش‌ترین تطابق را با منیزیوم (r=۰/۷۹۷, p < ۰/۰۱)، پتاسیم (r=۰/۷۲۷, p < ۰/۰۱)، آهن (r=۰/۷۱۲, p < ۰/۰۱) و کروم (r=۰/۷۸۴, p < ۰/۰۱): روی بیش‌ترین تطابق را با مس (r=۰/۷۶۲, p < ۰/۰۱): منگنز بیش‌ترین تطابق را با آهن (r=۰/۸۱۷, p < ۰/۰۱): و منیزیم بیش‌ترین تطابق را با پتاسیم (r=۰/۶۳۸, p < ۰/۰۵)، آهن (r=۰/۵۷۹, p < ۰/۰۵)، مس (r=۰/۷۰۶, p < ۰/۰۱) و کروم (r=۰/۷۳۹, p < ۰/۰۱) دارند. داشتن تطابق بین فلزات بیانگر وجود منشا مشترک برای این فلزات باشد.

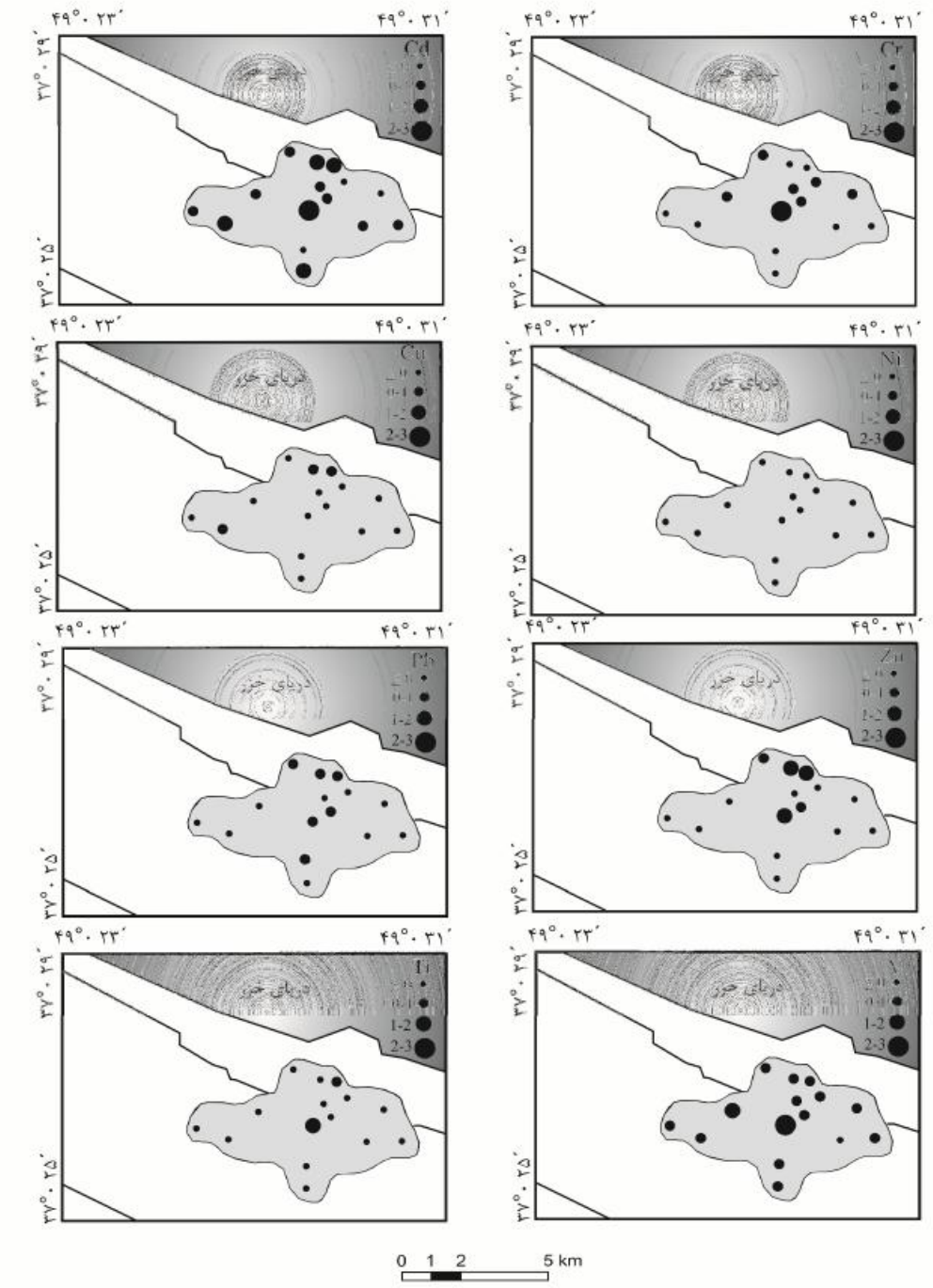
۴-۵-۲- تحلیل خوشه‌ای (CA)

نمودار تحلیل خوشه‌ای که بر اساس عناصر رسم شده است (شکل ۶)، دو شاخه‌ی کاملاً مجزا را نشان می‌دهد. شاخه‌ی A شامل عناصر سرب، روی، کادمیوم و مس بوده و شاخه‌ی B شامل عناصر منیزیم، وانادیوم، کروم، آلومینیوم، کلسیم، پتاسیم، آهن، منگنز، تیتانیوم و نیکل می‌باشد. عناصر شاخه‌ی A که هم‌بستگی خوبی با عناصر آلومینیوم، آهن، کلسیم و پتاسیم ندارند از منشأ غیر زمین‌شناسی و انسانی می‌باشند. وجود اسکله کشتی‌رانی بندر انزلی، تردد کشتی‌ها، کارگاه‌های ساختمانی و کارخانجات مختلف مستقر در منطقه، از جمله منابع این عناصر هستند. عناصر موجود در شاخه‌ی B، که ارتباط کم‌تری با منابع آلاینده انسانی دارند، را می‌توان به عوامل زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، نسبت داد. این شاخه خود از دو خوشه مجزا (خوشه B۱ و B۲) تشکیل شده است. خوشه اول، شامل عناصر منیزیم، وانادیوم، کروم، آلومینیوم، کلسیم و پتاسیم، احتمالاً از ترکیبات سیلیکاتی ناشی شده است. عناصر خوشه دوم که شامل آهن، منگنز، تیتانیوم و نیکل می‌باشد، می‌توانند از

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیبات اکسید آهن، منگنز و تیتانیوم مشتق شده باشند [۲۴]. نمودار تحلیل خوشه‌ای بر اساس ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۷ نشان داده شده است. در این نمودار نیز دو شاخه‌ی مجزا قابل تفکیک است. شاخه‌ی A شامل ایستگاه‌های ۲A، ۴A، ۵A، ۶A، ۷A، ۸A، ۹A، ۱۰A، ۱۱A، ۱۲A و ۱۳A، و شاخه B شامل ایستگاه‌های ۱A، ۳A، ۱۴A و ۱۵A می‌باشد. این دسته‌بندی بر مبنای شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها از نظر عناصر یا یکدیگر صورت گرفته است. نمونه‌های شاخه B دارای مقادیر بیش‌تری سرب، روی، مس و نیکل نسبت به نمونه‌های شاخه دیگر هستند. به استثنای نمونه ۱۴A، سایر نمونه‌های شاخه B در نزدیکی اسکله بندر انزلی واقع شده‌اند. نمونه ۱۲A، به دلیل موقعیت خاص، با سایر نمونه‌ها از نظر غلظت فلزات سنگین متفاوت است.



شکل ۵. توزیع مکانی شاخص زمین انباشت برای فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سطحی ناحیه خروجی تالاب و بندر انزلی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. مقادیر شاخص غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت و شاخص بار آلودگی برای فلزات سنگین در رسوبات سطحی ناحیه خروجی تالاب و بندر انزلی

شماره نمونه	Zn		V		Ti		Cu		Cr		Pb		Ni		Cd		PLI
	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	
۱A	۱/۸۱	۱/۹۱	۰/۹۹	۰/۷۳	۰/۸۶	۰/۷۸	۲/۱۹	۰/۵۲	۱/۰۲	۰/۱۰	۲/۰۴	۰/۶۳	۱/۳۹	۰/۹۳	۱/۹۵	۱/۳۳	۱/۵۱
۲A	۰/۷۰	۰/۹۴	۱/۰۲	۰/۷۶	۱/۱۵	۰/۴۳	۰/۵۳	۱/۵۹	۱/۳۴	۰/۲۲	۰/۵۰	۱/۴۷	۰/۹۵	۱/۵۵	۰/۴۵	۰/۸۵	۰/۶۸
۳A	۱/۵۲	۰/۶۲	۱/۰۴	۰/۲۹	۱/۰۴	۰/۱۴	۱/۰۸	۰/۱۵	۰/۹۸	۰/۲۰	۱/۰۹	۰/۱۰	۱/۲۲	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۳۰	۱/۲۷
۴A	۱/۰۱	۰/۴۷	۱/۰۶	۰/۷۵	۱/۲۵	۰/۳۷	۰/۷۰	۱/۲۵	۰/۸۸	۰/۴۳	۰/۸۶	۰/۷۴	۱/۱۸	۱/۲۹	۱/۰۵	۰/۳۱	۰/۸۳
۵A	۰/۶۸	۱/۴۹	۰/۹۳	۱/۴۱	۱/۳۲	۰/۷۶	۱/۵۰	۲/۲۱	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۲۹	۲/۷۸	۰/۹۶	۲/۰۶	۱/۴۷	۰/۳۳	۰/۴۸
۶A	۱/۰۳	۰/۰۳	۱/۰۴	۰/۳۸	۰/۹۸	۰/۳۲	۰/۸۹	۰/۵۰	۰/۸۹	۰/۰۱	۱/۰۳	۰/۰۷	۱/۲۲	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۴۸	۱/۱۱
۷A	۱/۰۹	۰/۲۳	۱/۰۲	۰/۶۹	۱/۰۹	۰/۴۵	۱/۲۷	۱/۰۲	۱/۲۷	۰/۲۱	۰/۹۹	۰/۴۲	۰/۹۰	۱/۵۷	۰/۶۱	۰/۳۵	۰/۸۷
۸A	۱/۳۳	۰/۲۸	۰/۹۳	۰/۶۰	۰/۷۹	۰/۶۸	۱/۱۹	۰/۱۶	۱/۱۶	۰/۳۱	۱/۴۶	۰/۳۶	۰/۸۸	۱/۳۷	۰/۹۴	۰/۵۰	۱/۱۴
۹A	۰/۵۴	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۴۰	۰/۸۵	۰/۴۴	۱/۳۲	۰/۱۳	۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۴۷	۱/۱۴	۰/۵۶	۱/۹۰	۱/۳۷	۱/۱۷	۰/۹۵
۱۰A	۰/۳۷	۱/۰۲	۰/۹۳	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۲۳	۰/۷۱	۰/۳۵	۰/۹۶	۰/۵۷	۰/۲۴	۱/۷۲	۰/۵۲	۱/۵۹	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۹۴
۱۱A	۱/۱۷	۰/۰۲	۱/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۴۵	۱/۱۰	۰/۳۸	۱/۰۵	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۲۹	۱/۵۳	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۰۷	۱/۰۶
۱۲A	۰/۶۷	۱/۰۲	۲/۴۰	۲/۵۰	۱/۵۱	۱/۹۸	۰/۲۴	۰/۷۰	۲/۰۵	۲/۸۵	۰/۶۷	۰/۹۸	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۹۴	۲/۲۳	۳/۱۲
۱۳A	۰/۶۹	۱/۲۱	۱/۰۶	۰/۹۴	۱/۲۰	۰/۶۲	۱/۰۶	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۴۹	۱/۸۸	۰/۲۰	۱/۲۵	۱/۴۰	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۷۷
۱۴A	۰/۹۵	۰/۳۰	۱/۰۳	۰/۵۵	۱/۰۰	۰/۴۵	۰/۹۰	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۰۳	۱/۰۰	۰/۲۸	۱/۴۲	۰/۷۸	۱/۶۷	۱/۲۲	۱/۱۰
۱۵A	۳/۷۶	۱/۷۲	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۷۰	۱/۵۱	۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۰۴	۲/۲۱	۰/۹۱	۱/۱۳	۱/۰۶	۱/۷۲	۱/۳۱	۱/۴۷
بیشینه	۴/۸۱	۱/۹۱	۲/۴۰	۲/۵۰	۱/۵۱	۱/۹۸	۲/۱۹	۰/۵۲	۲/۰۵	۲/۸۵	۲/۲۱	۰/۹۸	۱/۵۳	۰/۶۰	۱/۹۵	۲/۲۳	۳/۱۲
کمینه	۰/۳۷	۱/۴۹	۰/۸۸	۱/۴۱	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۲۴	۲/۲۱	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۲۴	۲/۷۸	۰/۴۵	۲/۰۶	۰/۴۵	۰/۸۵	۰/۴۸
میانه	۱/۰۱	۰/۲۳	۱/۰۲	۰/۶۰	۱/۰۱	۰/۴۵	۰/۹۰	۰/۵۰	۰/۹۸	۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۲۸	۱/۱۳	۱/۲۹	۰/۹۴	۰/۴۸	۱/۰۶
میانگین	۱/۳۶	۰/۰۷	۱/۰۹	۰/۴۲	۱/۰۴	۰/۳۲	۰/۹۸	۰/۶۰	۱/۰۸	۰/۱۶	۱/۰۵	۰/۳۸	۱/۰۴	۱/۲۲	۱/۰۶	۰/۵۵	۱/۱۵
انحراف معیار	۱/۲۴	۱/۰۳	۰/۳۷	۰/۸۶	۰/۲۲	۰/۶۶	۰/۴۷	۰/۷۱	۰/۳۰	۰/۸۳	۰/۶۱	۱/۰۴	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۸۲	۰/۶۱

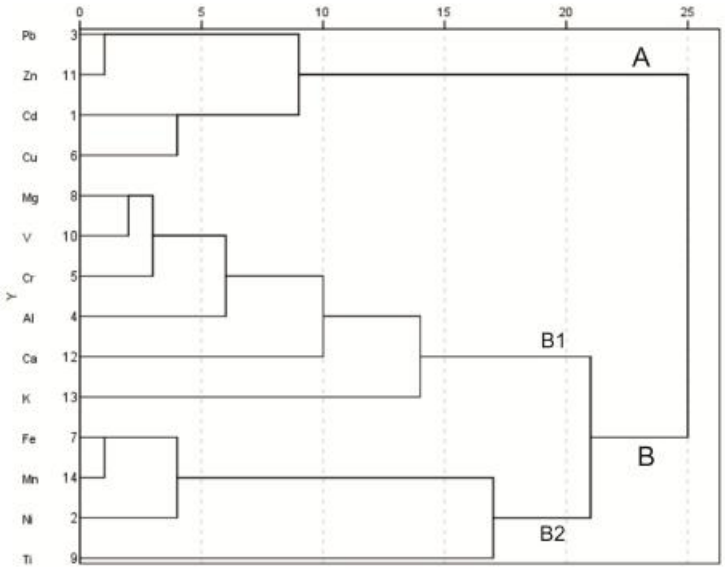
www.SID.ir

Archive of SID

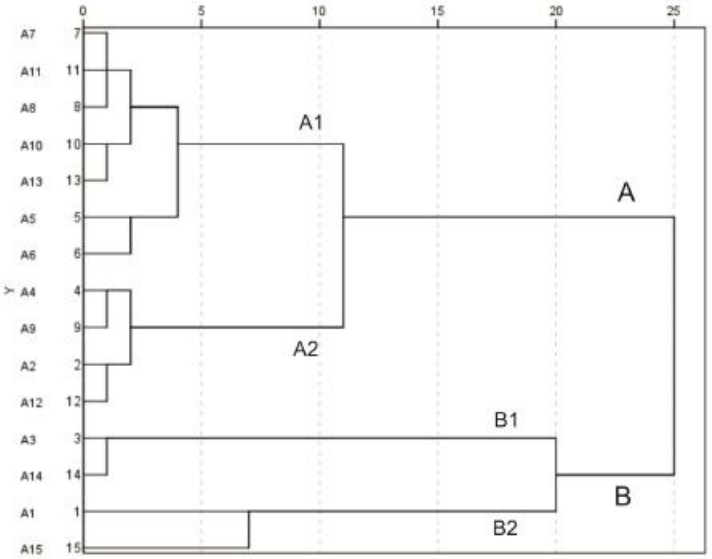
جدول ۷. ماتریس هم‌بستگی پیرسون بین عناصر اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

	Cd	Ni	Pb	Al	Ti	V	Zn	Mn	Mg	K	Fe	Cu	Cr
Cd	۱												
Ni	۰/۲۰۴	۱											
Pb	۰/۴۰۰	۰/۵۳۲	۱										
Al	۰/۵۲۶	۰/۴۰۶	۰/۳۵۰	۱									
Ti	-۰/۲۴۶	۰/۲۴۶	-۰/۳۷۴	۰/۳۷۶	۱								
V	۰/۲۰۲	۰/۳۱۰	-۰/۰۵۴	**۰/۷۳۷	**۰/۷۵۶	۱							
Zn	*۰/۶۰۷	۰/۴۳۱	**۰/۸۲۴	۰/۲۸۵	-۰/۳۹۷	-۰/۰۵۳	۱						
Mn	۰/۲۴۲	**۰/۷۰۵	۰/۲۴۱	*۰/۶۳۵	۰/۴۲۴	۰/۴۰۲	۰/۱۹۹	۱					
Mg	۰/۴۴۱	۰/۳۶۲	۰/۴۳۷	**۰/۷۶۹	۰/۲۹۴	**۰/۷۹۷	۰/۳۸۱	۰/۲۳۳	۱				
K	۰/۲۸۷	۰/۲۴۷	-۰/۰۶۸	۰/۳۶۷	۰/۴۷۴	**۰/۷۲۷	-۰/۰۶۲	۰/۰۲۹	*۰/۶۳۸	۱			
Fe	۰/۲۱۴	**۰/۷۵۹	۰/۲۶۷	**۰/۷۶۳	*۰/۵۹۷	**۰/۷۱۲	۰/۲۷۵	**۰/۸۱۷	*۰/۵۷۹	۰/۲۸۶	۱		
Cu	**۰/۷۲۵	۰/۳۶۶	**۰/۶۶۶	*۰/۵۸۴	-۰/۱۴۲	۰/۳۹۸	**۰/۷۶۲	۰/۲۴۲	**۰/۷۰۶	۰/۴۰۹	۰/۳۹۲	۱	
Cr	۰/۰۱۰	۰/۱۱۷	۰/۰۱۲	*۰/۵۹۰	۰/۴۹۸	**۰/۷۸۴	۰/۰۲۷	۰/۱۷۱	**۰/۷۳۹	۰/۵۴۴	۰/۴۹۱	۰/۲۸۱	۱

*تطابق قابل توجه با سطح معنی داری ۰/۰۵ **تطابق قابل توجه با سطح معنی داری ۰/۰۱



شکل ۶. نمودار تحلیل خوشه‌ای بر مبنای عناصر در منطقه مورد مطالعه؛ دو خوشه اصلی قابل مشاهده است.



شکل ۷. نمودار تحلیل خوشه‌ای بر مبنای ایستگاه‌های نمونه‌برداری؛ دو خوشه مجزا پیانگر وجود دو گروه متمایز از نمونه‌ها در منطقه است.

www.SID.ir

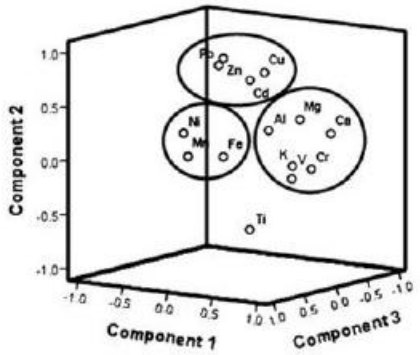
Archive of SID

۴-۵-۳- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

کاربرد روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ۳ مؤلفه‌ی اصلی را مشخص نمود (جدول ۸). چرخش واریماکس به منظور به حداقل رساندن مجموع واریانس ضرایب عوامل موثر به کار گرفته شده است. هم‌چنین نمونه‌ی ۱۲A به دلیل داشتن بیش‌ترین مقدار عناصر سنگین و به واسطه اختلاف شدید با سایر نمونه‌ها در محاسبات PCA در نظر گرفته نشده است. مؤلفه‌ی اول شامل عناصر آلومینیوم، کروم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، وانادیوم بوده و ۳۲/۳۲٪ از واریانس را شامل می‌شود. این مولفه از منشأ زمین‌شناسی بوده و به نظر می‌رسد بیانگر سیلیکات‌های موجود در رسوبات باشد. حضور عناصری مانند آلومینیوم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم مبین این امر است. مولفه‌ی دوم شامل عناصر کادمیوم، سرب، روی، مس است و ۲۶/۱۴٪ از واریانس را در بر می‌گیرد. این مولفه از منشأ انسانی بوده و در رابطه با فعالیت‌های اسکله کشتی‌رانی بندر انزلی و صنایع موجود در منطقه می‌باشد. این عناصر در ارتباط با فاز سولفیدی می‌باشند. مولفه‌ی سوم از عناصر آهن، نیکل، منگنز و تیتانیوم تشکیل یافته و ۲۳/۰۹٪ از واریانس را تشکیل می‌دهد. این مولفه در ارتباط با منشأ زمین‌شناسی بوده و بیانگر عناصر در ارتباط با اکسیدهای آهن، منگنز و تیتانیوم می‌باشد. به نظر می‌رسد عنصر تیتانیوم به یک نسبت در هر سه مولفه مشارکت دارد و از منشأ زمین‌شناسی و انسانی حاصل می‌شود. البته با توجه به شکل ۶، عنصر تیتانیوم ارتباط قوی‌تری با عناصر آهن، منگنز و نیکل، نسبت به سایر فلزات موجود در خوشه B، داشته و بیانگر منشأ مشترکی با این دسته از فلزات است. دسته‌بندی ۳ مؤلفه‌ی اصلی در شکل ۸ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، مولفه‌های معرفی شده در سه مجموعه عنصر دسته‌بندی شده‌اند. عنصر Ti در منطقه‌ای دور از سه مجموعه قرار گرفته است.

جدول ۸. سه مؤلفه اصلی بعد از چرخش واریماکس. ارتباط متوسط تا قوی به صورت ضخیم مشخص شده است.

	مولفه		
	۱	۲	۳
Cd	۰/۲۰۱	۰/۷۳۱	۰/۰۷۸
Ni	۰/۰۰۴	۰/۳۳۳	۰/۸۵۴
Pb	۰/۵۹۰	۰/۸۶۲	۰/۲۰۶
Al	۰/۶۷۵	۰/۳۶۹	۰/۴۵۹
Ca	۰/۷۶۱	۰/۲۲۲	۰/۴۰۹
Cr	۰/۸۹۴	۰/۰۲۴	۰/۰۸۶
Cu	۰/۴۰۲	۰/۸۳۱	۰/۱۳۲
Fe	۰/۴۳۸	۰/۱۵۵	۰/۸۴۳
K	۰/۷۱۲	۰/۰۰۷	۰/۱۲۹
Mg	۰/۸۳۳	۰/۴۴۶	۰/۱۸۱
Mn	۰/۰۸۵	۰/۱۳۰	۰/۸۹۹
Ti	۰/۵۳۰	۰/۵۵۴	۰/۵۳۳
V	۰/۸۹۵	۰/۰۶۷	۰/۴۰۰
Zn	۰/۰۵۲	۰/۹۱۹	۰/۱۴۴
واریانس (٪)	۳۲/۳۲۵	۲۶/۱۴۵	۲۳/۰۹۱



شکل ۸. نمودار سه مؤلفه‌ی اصلی حاصل از آنالیز PCA. هر یک از مولفه‌های اصلی در یک گروه مشخص شده‌اند. عنصر تیتانیوم از سه گروه عناصر دور می‌باشد و به نظر می‌رسد در هر سه گروه مشارکت داشته باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که رسوبات سطحی ناحیه‌ی خروجی تالاب انزلی نسبت به برخی از عناصر دارای آلودگی می‌باشد. با توجه به مقادیر شاخص زمین‌انباشت، منطقه مورد مطالعه به ترتیب نسبت به کادمیوم، کروم، سرب، مس و روی بیش‌ترین آلودگی را دارد. سایر عناصر موجود در منطقه آلودگی نشان نمی‌دهند. نتایج فاکتور غنی‌شدگی مبین غنی‌شدگی متوسط عناصر سرب، کروم، مس و روی در برخی ایستگاه‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج شاخص زمین انباشت و فاکتور غنی‌شدگی، می‌توان دریافت که بالاترین میزان آلودگی و غنی‌شدگی نسبت به فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های نزدیک به خروجی تالاب انزلی، اسکله کشتی‌رانی و منطقه صنعتی بندر انزلی دیده می‌شود. نتایج حاصل از شاخص بار آلودگی در بیش‌تر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیش‌تر از یک است که بیانگر آلودگی آن‌ها نسبت به مجموع فلزات سنگین مورد مطالعه است.

بررسی‌های آماری انجام شده نشان می‌دهد که عناصر مورد مطالعه در دو گروه قرار می‌گیرند. مجموعه کادمیوم، سرب، روی و مس که سبب آلودگی در منطقه شده‌اند و ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشند. گروه دوم که شامل دو زیر گروه بوده و از زمین‌شناسی منطقه ناشی می‌شوند. مجموعه آلومینیوم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، کروم و وانادیوم، مرتبط به مواد سیلیکاتی، و مجموعه آهن، تیتانیوم، منگنز و نیکل، مرتبط به کانی‌های اکسیدی آهن، منگنز و تیتانیوم، دو زیر گروه این دسته می‌باشند. عدم ارتباط مجموعه عناصر گروه اول با عناصر اصلی موجود در گروه دوم، دلیل خوبی برای منشأ غیر زمین‌شناسی این عناصر می‌باشد. ضمن این که غلظت عناصر کادمیوم، سرب، روی و مس به سمت خروجی تالاب و مناطق شهری و صنعتی افزایش می‌یابد و تاییدی بر منشأ انسانی و غیر زمین‌شناسی آن‌ها می‌باشد.

منابع

[۱] اداره کل هواشناسی استان گیلان (۱۳۹۲) سازمان هواشناسی کل کشور (www.gilmet.ir).

[۲] بابایی، ه.، خداپرست، ح (۱۳۸۸) بررسی میزان غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین (Cr, Cd, Cu, Hg, Fe, Pb, Zn) در خروجی تالاب انزلی. مجله علمی ـ تخصصی تالاب ـ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، شماره اول.

[۳] بهروش، س.، ابراهیم پور، م.، پورخباز، ع.، بابایی، ه (۱۳۸۹) بررسی تجمع فلزات سنگین (Cu, Cd) در رسوبات سطحی تالاب انزلی. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست.

[۴] خیری، ف (۱۳۸۴) گزارش مقدماتی بررسی‌های دورسنجی در محدوده شمالی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بندر انزلی با نگاهی ویژه به زمین‌شناسی دریایی. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور،گروه دورسنجی.

[۵] دیسه، ج.، کشاورزان‌زاده، ز (۱۳۸۴) گزارش اطلس بررسی‌های ژئومورفولوژیکی و ویژگی‌های طبیعی ساحلی بندر انزلی. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه زمین‌شناسی دریایی.

[۶] زارع خوش اقبال، م (۱۳۸۹) بررسی آلودگی سرب و روی در رسوبات تالاب انزلی. پنجمین همایش ملی زمین شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلام شهر.

[۷] لویزه، ف (۱۳۷۸) طرح مطالعات بازیافت مواد آلاینده مرداب انزلی. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه اکتشافات ژئوشیمیایی.

[8] Bethoux, J.P., Courau, P., Nicolas, E., Ruiz-Pino, D (1990) Trace metal pollution in the Mediterranean Sea. Oceanology Acta, 13: 481-488.

[9] Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N (2006) Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). Marine Chemistry, 99: 227-235.

[10] Burton, G.A (1992) Sediment toxicity assessment. Lewis Publishers, Chelsea, MI, p. 457.

[11] Hao, Y., Guo, Z., Yang, Z., Fang, M., and Feng, J (2007) Seasonal variations and sources of various elements in the atmospheric aerosols in Qingdao, China. Atmos. Res.: 85, 27–37.

[12] Harikumar, P.S., Nasir, Y.P., Mujeebu Rahman, M.P (2009) Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. International Journal of Environmental Science Technology, 6 (2): 225-232.

[13] Kartal, S., Ayd, Z., and Tokalioglu, S (2006) Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. J. Hazard. Mater. 132: 80–89.

[14] Kazanci, N., Gulbabazadeh, T., Leroy, S.A.G., and Ileri, Ö (2004) Sedimentary and environmental characteristics of the Gilan-

www.SID.ir

Archive of SID

Mazandaran plain northen Iran: influence of long and short –term Caspian water level fluctuation on geomorphology. Mar. Syst., 46 (1-4): 145-168.

[15] Leroy, S.A.G., Lahijani, H.A.K., Djamali, M., Naqinezhad, A., Moghadam, M.V., Arpe, K., Shah-Hosseini, M., Hosseinidoust, M., Miller, Ch.S., Tavakoli, V., Habibi, P., Naderi Beni, M (2011) Late little ice age palaeoenvironmental records from the Anzali and Amirkola Lagoons (South Caspian Sea): Vegetation and sea level changes. J. Palaeogeography, Plaeoclimatology, Plaeoecology, 302: 415-434.

[16] Lewis, D.D. and McConchi, D (1994) Analytical Sedimentalogy. Springer Pub., p. 197.

[17] Müller, G (1979) Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veranderungen seitt 1971. Umschan, 79: 778-783.

[18] Nelson, D. and Sommers, L (1996) Total carbon, inorganic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. SSSA Book Series, p. 961-1010.

[19] Prange, J.A., Dennison, W.C (2000) Physiological responses of five sea grass species to trace metals. Mar. Pollut. Bull., 4: 327-336.

[20] Radenac, G., Fichet, D., Miramand, P (2001) Bioaccumulation and toxity of four dissolved metals in Paracentrotus lividus sea-urchin embryo. Mar. Environ. Res., 5: 151-166.

[21] Rafiei, B., Ahmadi Ghomi, F., Ardebili, L., Sadeghifar, M., Khodaparast Sharifi, H (2012) Distribution of metals (Cu, Zn, Pb, and Cd) in sediment of the Anzali Lagoon, North Iran. Soil and Sediment Contamination: an International Journal, 21(6): 768-787.

[22] Salamons, W., Fostner, V (1984) Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, p. 349.

[23] Segura, R., Arancibia, V., Zuniga, M.C., Pasten, P (2006) Distribution of copper, zinc, Lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile. Journal of Geochemical Exploration, 91: 71-80.

[24] Selinus, O. and Alloway, B.J (2005) Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health. Academic Press, p. 812.

[25] Sutherland, R.A (2000) Bed sediment-Associated Trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology, 39: 611-627.

[26] Szefer, P., Glasby, G.P., Stuben, D., Kusak, A., Geldon, J., Berner, Z., Neumann, T., Warzocha, J (1999) Distribution of selected trace metals and rare earth elements in surficial sediments from the Polish sector of the Vistula Lagoon. Chemosphere, 39: 2785-2798.

[27] Tasdemir, Y., and Kural, C (2005) Atmospheric dry deposition fluxes of trace elements measured in Bursa, Turkey. Environ. Pollut. 138: 462–472.

[28] Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Hariis, C.R., Jeffrey, D.W (1980) Problems in the Assessment of Heavy Metal Levels in Estuaries and the formation of a pollution Index. Helgoländer Meeresunters, 33: 566-575.

[29] Turner, A., and Simmonds, L (2006) Elemental concentrations and metal bioaccessibility in UK household dust. Sci. Total. Environ. Geol.: 371, 74–81.

[30] Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., and Posmentier, E. S (2006) Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xian, central China. Sci. Total. Environ.: 355, 176–186.

[31] Zhang, L.P., Ye, X., Feng, H (2007) Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. Marine pollution bulletin, 54: 974-982.

www.SID.ir