

ژئوشیمی، پهنه‌بندی و ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در گرد و خاک های مدارس

منطقه صنعتی غرب بندرعباس

سارا امانی لاری

گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: sara.amanilari@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

چکیده

در این مطالعه گرد و خاکهای مدارس ابتدایی واقع در پیرامون مراکز صنعتی غرب بندرعباس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمونه ها به روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) آنالیز گردید. شاخص‌های زیست محیطی عناصر سرب، روی، کادمیوم، آرسنیک، کروم و نیکل ارزیابی شد نتایج به دست آمده حاکی از آن است که نمونه‌های مطالعاتی به جز در مورد کروم، دارای فاکتور آلودگی در حد متوسط تا خیلی قوی نسبت به سایر عناصر سنگین دارند که بیشترین مقدار متعلق به عناصر کادمیوم و سرب است. بالاترین مقدار شاخص ریسک اکولوژیک متعلق به عنصر کادمیوم (۲۸۵) و کمترین مقدار این شاخص را عنصر کروم (۳/۶۸) نشان داد. میانگین شاخص زمین انباشتگی عنصر کادمیوم کمترین و عنصر سرب بیشترین به دست آمد. با استفاده از داده‌های آنالیز ژئوشیمیایی پهنه‌بندی غلظت این عناصر انجام گرفت. پهنه‌بندی‌های غلظت عناصر نیز انطباق بالاترین محتوای فلزات سنگین را بر مناطق صنعتی نشان می‌دهند و با افزایش فاصله از این مراکز از غلظت این عناصر کاسته می‌شود. مقایسه چگونگی تغییرات فلزات و میزان شباهت الگوهای آنها در نمونه‌های گرد و خاک مدارس و الگوی نمونه میانگین مراکز صنعتی و سازندهای زمین شناسی نتایج حاصله را تأیید می‌کند.

واژگان کلیدی: "ریسک اکولوژیک"، "فلزات سنگین"، "گرد و خاک"، "منطقه صنعتی"، "غرب بندرعباس"

۱- مقدمه

سلامت به عنوان بعد مهم ساحت اساسی تربیت زیستی و بدنی غفلت نمود؛ چرا که این ساحت به طور مستقیم با ارتقاء سلامت بر اساس نتایج تحقیقات صورت گرفته است (طهرانی بنی‌هاشمی، ۱۳۸۸). بر این اساس یکی از عرصه‌های مبانی نظری سند تحول بنیادین آموزش و پرورش، عرصه ارتقای سلامت فردی و بهداشت محیطی در نظر گرفته شده است (سند تحول بنیادین آموزش و پرورش سال ۱۳۹۰). در این زمینه مطالعات اندک اما بسیار ارزشمندی در سطح ملی صورت گرفته است. بررسی میزان آلودگی به سرب در کودکان ۶-۱۱ سال شهر سمنان در سال ۱۳۸۰، نشان داد که میزان آلودگی به عنصر سرب سمنان بالا بوده اما کمتر از سطح توکسیک است و ضرورت شناسایی علائم در کودکان را مورد تأکید قرار می‌دهد. بررسی آلودگی هوای ناشی از بایوآروسولها در مدارس ابتدایی شهر قم نشان داد این نوع آلودگی با گرد و غبارهای منطقه مرتبط است (فولادی فر و همکاران ۱۳۹۶). ارتباط معکوس بین امید به زندگی و آلودگی زیست محیطی در کشورها با سطوح مختلف توسعه یافتگی است؛ به طوری که با افزایش آلودگی زیست محیطی میزان امید به زندگی کاهش می‌یابد و در کشورهای کمتر توسعه یافته روند کاهش بیشتر است. خوشنویس و پژویان (۱۳۹۵). بررسی سطح آلودگی هوای داخل و بیرون مدارس ابتدایی شهر بندرعباس توسط حیدری و همکاران (۱۳۹۹)، نشان داد غلظت ذرات معلق در هوای داخل بیشتر از هوای بیرون مدارس است. در این زمینه مطالعات متعدد بر روی کودکان ایالات متحده در مکان‌های مختلفی صورت گرفت. نتایج نشان داد در صورت بالا رفتن سرب خون، میزان بهره‌دهی به شدت افت خواهد کرد (Mushak, 1989). علاوه بر این، بروز آسیب‌های شنوایی و اختلال در متابولیسم ویتامین D، رخ می‌دهد (CDC, 1991). قرار گیری کودکان در معرض سرب و عناصر سنگین، موجب بروز بیماری‌های متعدد در سراسر طول زندگی می‌شود (Dietert 2000, Mushak, 1989). در صورتی که

فلزات سنگین از آلاینده‌های محیط زیستی محسوب می‌شوند که از طریق منابع زمین شناسی و انسان‌زا به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم وارد محیط زیست بشر و سایر موجودات زنده می‌شود. این عناصر به دلیل سمیت و پایداری در محیط به عنوان آلوده کننده اصلی یاد می‌کنند (Tuzen, 2003, Krishna and Govil, 2004). امروزه مسمومیت با این عناصر از طریق بلع و یا تنفس به مشکلی بزرگ برای سلامت عمومی جامعه تبدیل شده است (CDC, 1991) به همین دلیل مطالعات بسیار گسترده‌ای بر روی غلظت این عناصر در اجزای مختلف محیط زیست صورت گرفته است (Kim et al., 2015 & Sun et al., 2010). امروزه به دلیل گسترش شهرها و توسعه صنایع کوچک و بزرگ استفاده از انواع منابع طبیعی به عنوان ماده اولیه و خوراک این صنایع، ورود این فلزات به زیست بوم‌های مختلف از حد معمول طبیعی خارج شده و باعث افزایش غیر متعارف برخی از این گروه عناصر در هوا، آب و خاک و سنگ‌کره گردیده است. تجمع این دسته از فلزات، با توجه به ویژگی شیمیایی آنها، باعث ایجاد نابسامانی‌های حیاتی و زیست محیطی می‌شود به طوری که امروزه به عنوان عامل اصلی و خطرناک برای سلامتی کل موجودات زنده شناخته شده اند (Chen et al., 2015). بر همین اساس امروزه شاهد مطالعات جهانی گسترده‌ای در زمینه عوامل مؤثر بر آلودگی‌های زیست محیطی فلزات سنگین تحت عنوان پروژه‌های جهانی، ملی و محلی به منظور بهبود کیفیت و ارتقاء سطح زندگی بشر هستیم. در طول چند سال اخیر نیز گردهمایی‌ها و اساسنامه‌های متعددی در زمینه اهمیت ارتقاء سلامت با همکاری سازمان‌های بین‌المللی ارائه گردیده است (حمید زاده و رضاخانی، ۱۳۹۴). رسیدن به حیات طیبه یکی از اهداف کلان و اصلی نظام آموزش و پرورش جمهوری اسلامی ایران می‌باشد (مبانی نظری سند تحول بنیادین نظام آموزش و پرورش، ۱۳۹۰)، نباید از

• روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی نمونه برداری از سطوح مدارس ابتدایی واقع در منطقه صنعتی و واحدهای زمین شناسی (شکل ۱)، برداشت و جهت انجام آنالیز ICP-MS به آزمایشگاه شرکت زرازی تهران ارسال گردید. نمونه ها پس از ورود به در آزمایشگاه، خشک شده و تا قطر کمتر از ۴ میلیمتر به وسیله سنگ شکن فکی (Jaw Crusher) خرد میشوند. نمونه های خرد شده توسط آسیاب دیسکی نرم، هاون و با ساینده ها تمیز می شوند. در نهایت پودر حاصله به روش چهار اسید حل و توسط دستگاه ICP-MS آنالیز و مقادیر استخراج می شود. راستی آزمایی، به وسیله نمونه های استاندارد مرجع بین المللی (Certified Reference Material) صورت گرفته است. داده های آزمایشگاهی توسط نرم افزار Excel و Arc GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه نیز با توجه به پراکندگی نمونه های در دسترس و عدم پوشش دهی کلی محدوده مورد مطالعه، از روش های زمین آمار و درون یابی در محیط نرم افزار ArcGIS 10.6.1 استفاده شد. به منظور تهیه نقشه های پهنه بندی غلظت عناصر از روش درون یابی Spline و روش Regularized استفاده شد تا سطح حاصل از درون یابی کل منطقه مورد مطالعه را پوشش دهد. در تحلیل های زیست محیطی یکی از شاخص های مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان زاد و طبیعی شاخص غنی شدگی EF (Enrichment Factor) است که توسط ضریب غنی شدگی از رابطه (۱) محاسبه می شود (Lu et al., 2009). یکی از شاخص های مهم ارزیابی غلظت عناصر تحت تأثیر عوامل انسان زا نسبت به غلظت متعارف آن در پوسته که در مطالعات زیست محیطی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد شاخص غنی شدگی (EF: Enrichment Factor) است. این شاخص از رابطه (۱) زیر محاسبه می شود.

$$EF = \frac{\left(\frac{C_s}{C_{ref}}\right)_{sample}}{\left(\frac{C_s}{C_{ref}}\right)_{Background}} \quad (1)$$

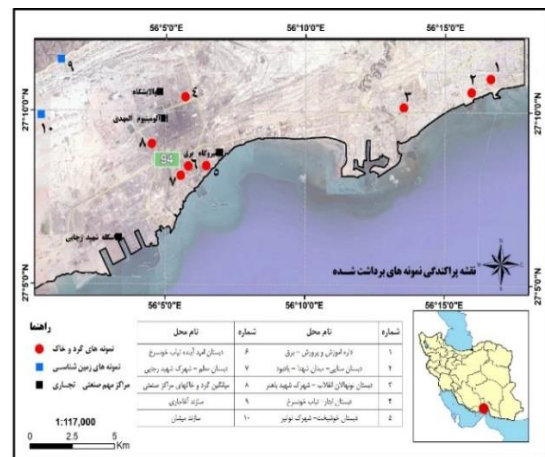
در رابطه (۱)، EF، شاخص غنی شدگی، C_s ، غلظت عنصر در نمونه گرد و خاک و C_{ref} ، غلظت عنصر مرجع است. فلز مرجع اغلب عنصری است که دارای کمترین تحرک و تغییر پذیری باشد (Romic, 2003). مهمترین عنصری که به عنوان مرجع مورد استفاده قرار می گیرد شامل آهن، تیتانیوم، استرانسیوم، آلومینیوم و پتاسیم است (Brumsaels, 2006). در این مطالعه به دلیل تغییرات بسیار کمتر نسبت به دیگر عناصر و ماهیت ژئوشیمیایی از عنصر استرانسیوم استفاده شد. در مطالعات مختلف از پوسته زمین، شیل و پوسته فوقانی (Dehghani et al., 2017) و گاهی از مطالعات پیشین (Manasereh, 2010; Zangh et al., 2012) به عنوان زمینه استفاده میکنند. در این مطالعه از پوسته زمین به عنوان زمینه استفاده گردید. درجه بندی آلودگی فلزات سنگین را بر اساس مقدار ضریب EF به پنج سطح قابل تقسیم است (Barbieri., 2016). $EF < 2$ ، غنی شدگی کم، $2 \leq EF < 5$ ، غنی شدگی متوسط، $5 \leq EF < 20$ ، غنی شدگی خیلی زیاد و $EF \geq 40$ ، غنی شدگی به شدت زیاد.

مقدار غلظت سرب در خون به مدت طولانی در حد ۱۰-۱۵ mg/dl باقی بماند، باعث افت قدرت یادگیری و اختلالات رفتاری در سالهای بعدی عمر خواهد شد (Needleman, 1996). مقدار سرب در خون ۳۰ درصد از کودکان زیر ۶ سال ساکن نیواورلئان، بیش از ۱۰ mg/dl اندازه گیری شده است (Mielke, 1997). و تغییرات این مقدار با حجم ترافیک هر منطقه ارتباط مستقیم نشان داده است. ارتباط میزان سرب محیط و قدرت یادگیری با مطالعه بر روی دانش آموزان سال چهارم ابتدایی توسط گونزالس و همکاران (۱۹۹۹) ثابت شد؛ به طوریکه مدرسی خاک و محیط در دسترسی کودکان محتوای بالاتر سرب را داشته اند، قدرت یادگیری پایینتری را نشان داده و بروز مسمومیت با سرب در کودکان دبستانی این مدارس محتمل بود. با توجه به اهمیت شاخص های زیست محیطی به خصوص در مکانهایی که کودکان مدت زمان زیادی در آنجا حضور دارند، اهمیت بررسی میزان غلظت عناصر سنگین و سمی در گرد و غبارهای ترسیب شده در مدارس بیه ویژه مدارس واقع در مناطق صنعتی به طور خاص احساس می شود، بنابراین هدف از این پژوهش علاوه بر تعیین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبارهای مدارس، ارزیابی شاخص های زیست محیطی و پهنه بندی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبارهای مدارس منطقه با استفاده از سیستم داده های اطلاعاتی است.

۲- روش انجام تحقیق

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی بین طول های ۵۵ درجه و ۵۹ دقیقه و ۵۰/۸۸ ثانیه و ۵۶ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵۰/۱۹ ثانیه و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۴ دقیقه و ۴۰/۱۹ ثانیه و ۲۷ درجه و ۱۲ دقیقه و ۷/۵۹ ثانیه و به مساحت ۲۱۷ کیلومتر مربع در در غرب بندرعباس واقع شده است. بهترین مسیر دسترسی آزادراه بندرعباس - بندر شهید رجایی به سمت بندر پل است. صنایع نیروگاهی، پالایشگاه، آلومینیوم المهدی، صنایع فولاد، کشتی سازی، اسکله شهید رجایی و ... مسیر این آزاد راه را احاطه کرده اند. روستاهای خونسرخ و تیاب خونسرخ، شهرک شهید باهنر، شهرک شهید رجایی، شهرک توانیر از مناطق مسکونی واقع در اطراف مراکز صنعتی غرب بندعباس می باشند. جهت بررسی چگونگی تغییرات روند غلظت عناصر مورد مطالعه به مرکز شهر از سه مرکز آموزشی دیگر علاوه بر مناطق مذکور نیز نمونه برداری صورت گرفت.



شکل ۱- نقشه پراکندگی مناطق نمونه برداری شده

۵: آلودگی شدید تا بسیار شدید، $I_{geo} \geq 5$: آلودگی بسیار شدید (Heling et al., 1990).

Er ریسک اکولوژی هر عنصر، Tr فاکتور سمیت فلز مورد

مطالعه و RI نشانه ریسک اکولوژیک بالقوه برای مجموع فلزات است و از روابط ۴ و ۵ به دست می‌آیند. (Jamshidi and Bastami, 2017; Hakanson, 1980; Xu et al., 2008).

$$Er = Tr \cdot Cn \quad (4)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n Er \quad (5)$$

که در آن Cs غلظت فلز سنگین مورد نظر در نمونه مورد نظر، Cn غلظت زمینه فلزات، Er ریسک اکولوژی هر عنصر، Tr فاکتور سمیت فلز مورد مطالعه و RI نشانه ریسک اکولوژیک بالقوه برای مجموع فلزات است. (Jamshidi and Bastami, 2017; Hakanson, 1980; Xu et al., 2008).

۳- نتایج و بحث

جدول شماره (۱) نتایج محتوای فلزات سنگین در نمونه های گد و غبار مدارس مورد مطالعه واقع در منطقه صنعتی غرب بندرعباس ارائه شده است. غلظت میانگین تمام فلزات از میانگین پوسسته بیشتر است. این نسبت در سرب، نیکل، آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس و روی به ترتیب بیش از ۴، ۲، ۳، ۵، ۲ و ۵ برابر است. بالا بودن نسبت این فلزات می‌تواند مربوط فعالیت های انسانی و یا عوامل طبیعی باشد. به دلیل تمرکز تأسیسات صنعتی مانند نیروگاه برق، پالایشگاه، صنایع فولاد و آلومینیوم و... و استفاده از منابع سوختی فسیلی، عامل انسان‌زاد از اهمیت بیشتری برخوردار است. نقشه‌ی الگوی توزیع مکانی غلظت فلزات مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است. تطابق این نوع الگوها می‌توان به شناسایی روند تغییرات آلودگی عناصر کمک کند. همانگونه که انتظار می‌رفت بالاترین غلظت عناصر مورد مطالعه در محدوده مراکز صنعتی است. در مورد عنصر آرسنیک علاوه بر محدوده صنعتی، به دلیل وجود کانی‌های معدنی، بر روی گنبد نمکی گچین نیز تمرکز بالا نشان می‌دهد. لذا جهت بررسی‌های بیشتر از فاکتورهای زیست محیطی رایج، به منظور پی بردن به منابع آلودگی استفاده شد.

فاکتور آلودگی (Cf): درجه آلودگی از تقسیم کردن غلظت یک فلز در نمونه جمع‌آوری شده به غلظت همان عنصر در زمینه به دست می‌آید (Chabukdhara and Nema, 2012; Buccolieri et al., 2006). به منظور دستیابی به مقدار آلودگی فلز سنگین در محیط، از این فاکتور استفاده می‌شود (Rastmenesh et al., 2010). فاکتور آلودگی از طریق فرمول (۲) به دست می‌آید که در آن Cs غلظت عنصر سنگین در نمونه، Cn غلظت فلز سنگین در زمینه است. در این تحقیق از مقادیر میانگین غلظت پوسسته به عنوان زمینه استفاده شده است.

$$Cf = Cs/Cn \quad (2)$$

در واقع این فاکتور نشان دهنده میزان آلودگی یک عنصر می باشد و مجموع فاکتور آلودگی $\sum Cf$ مربوط به تمام عناصر است که درجه آلودگی کل (Cd) نام داشته و به صورت زیر محاسبه می‌شود. فاکتور آلودگی در ۴ رده تقسیم‌بندی می‌شود (Hakanson, 1980). ۱ $Cf < 3$: بدون آلودگی، ۲ $3 < Cf < 6$: آلودگی متوسط، ۳ $6 < Cf < 12$: آلودگی قوی تا خیلی قوی و ۴ $Cf > 12$: آلودگی خیلی قوی. شاخصه آلودگی کل (Cd) نیز ۴ طبقه دارد (Hakanson, 1980). اگر $8 < Cd < 16$: آلودگی پایین، $16 < Cd < 32$: آلودگی متوسط، $32 < Cd < 64$: آلودگی قابل ملاحظه و $Cd \geq 64$: آلودگی بسیار شدید.

شاخص زمین‌انباشتگی

شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo} : Geoaccumulation Index) توسط مولر معرفی شد. این شاخص معیار دیگری برای تعیین درجه آلودگی ترسیب است و از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Muller, 1981; Jiang et al., 2014).

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{CB}{1.5Ba} \right) \quad (3)$$

در رابطه بالا C_B غلظت فلز مورد سنجش در نمونه، B_n غلظت زمینه-ای ژئوشیمیایی فلز و $1/5$ ضریب تصحیح تأثیر سنگ‌شناسی مقدار غلظت زمینه است. اگر $I_{geo} > 0$: نسبتاً غیرآلوده، $I_{geo} \geq 1$: غیرآلوده آلودگی متوسط، $I_{geo} \geq 2$: آلودگی متوسط، $I_{geo} \geq 3$: آلودگی متوسط تا شدید، $I_{geo} \geq 4$: شدیداً آلوده، $I_{geo} \geq 5$: آلودگی بسیار شدید.

جدول ۱. غلظت عناصر سنگین گرد و خاکها در مدارس مورد مطالعه وسازندهای منطقه (بر حسب گرم بر تن ppm)، میزان میانگین پوسسته زمین و شیل و ظریب سمیت آنها								
منبع	مس	روی	کروم	نیکل	کادمیوم	آرسنیک	سرب	دبستان
همین مطالعه	۲۸۰	۴۴۸	۲۳۹	۱۲۵	۱/۲	۲۵	۶۹	امید آینده (خونسرخ)
	۱۱۷	۵۸۰	۳۶۸	۱۵۶	۱/۷	۲۰/۱	۱۰۳	ایثار (تیاب خونسرخ)
	۲۲۹	۵۷۲	۶۰۹	۹۰۳	۱/۹	۲۲/۶	۸۹	خوشبخت (شهرک توانیر)
	۱۹۹	۳۷۰	۳۲۲	۷۰۱	۱/۲	۱۱/۲	۷۸	معلم (شهرک شهید رجایی)
	۱۲۰	۳۶۶	۱۹۳	۱۰۳	۰/۸	۱۵/۹	۹۳	نونه‌الان انقلاب (شهرک شهید باهنر)
	۸۰	۲۲۸	۱۶۶	۹۲	۰/۵	۲۲/۳	۵۳	سنایی (میدان شهدا)

اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲ (برق)	۳۷	۸/۹	۰/۵	۱۰۸	۲۱۹	۳۳۹	۸۳
سازند میشان	۱۶	۱۱	۰/۵	۳۳	۱۵۵	۵۰	۱۷
سازند آغاچاری	۲۷	۸/۶	۰/۸	۳۲	۳۸	۳۵۵	۳۶
میانگین غلظت پوسته زمین	۱۶	۵	۰/۲	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۷۰
ضریب سمیت (Tr)	۵	۱۰	۳۰	۶	۲	۱	۵
میانگین شیل	۲۰	۶/۶	۰/۳	۱۳	۱۰۰	۸۰	۵۷

فاکتور غنی‌شدگی عنصر سرب و روی از کم تا قابل ملاحظه، آرسنیک، کادمیوم و نیکل و مس مشابه و معادل با کم تا متوسط و کروم کم است. دسته‌بندی مدارس از نظر فاکتور غنی‌شدگی هر عنصر در جدول (۲) صورت گرفته است. مدارس واقع در کمترین فاصله از مراکز صنعتی بالاترین ضریب غنی‌شدگی را نسبت به عناصر مورد مطالعه نشان می‌دهند و با افزایش فاصله از مقدار این شاخص کاسته می‌شود.

فاکتور غنی‌شدگی (EF)

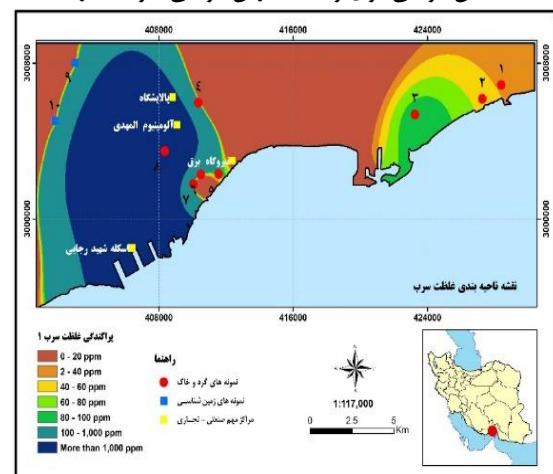
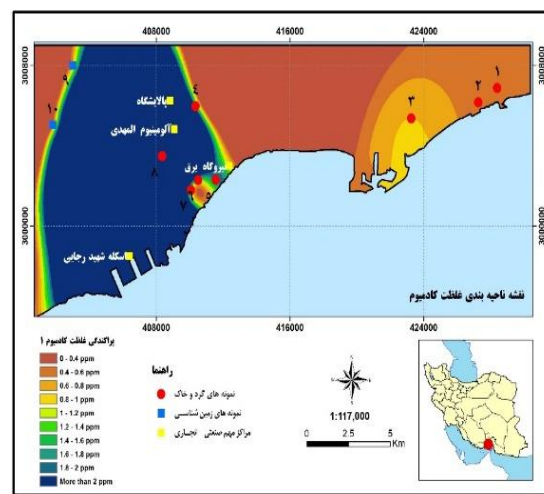
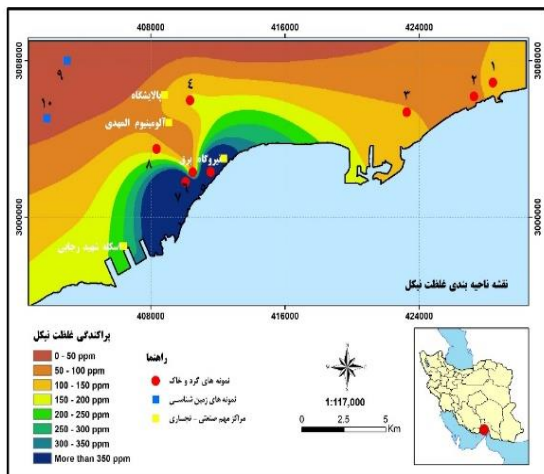
بیشترین فاکتور غنی‌شدگی متعلق به عنصر سرب (Pb) و کمترین را عنصر کروم (Cr) دارد. محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ این فاکتور ارتباط ژنز فلز را به عوامل طبیعی محتمل تر می‌کند. مقادیر بالاتر از آن، انسان‌زاد بودن عناصر را نزدیک به واقعیت می‌داند (Wei et al., 2015). در نمونه‌های مطالعه شده میانگین فاکتور غنی‌شدگی عنصر کروم برابر با ۰/۵۴ بوده و سایر عناصر مقادیر بالاتر از ۱/۵ است. دامنه تغییرات

جدول ۲. نتایج آماری فاکتور غنی‌شدگی (EF) و شاخص آلودگی (Cf) فلزات سنگین در گرد و خاکهای مدارس مورد مطالعه							
شاخص	عنصر	میزان	مقدار	شماره مدرسه	شاخص	میزان	مقدار
EF	سرب (Pb)	$EF < 2$	کم	معلم، امید آینده، سنایی و اداره آموزش و پرورش	Cf	$1 \leq Cf < 3$	متوسط
		$2 \leq EF < 5$	متوسط	نونهالان، ایثار و خوشبخت		$3 \leq Cf < 6$	قوی
		$5 \leq EF < 20$	قابل توجه	-		$6 \leq Cf$	خیلی قوی
	آرسنیک (As)	$EF < 2$	کم	معلم، امید آینده، ایثار، نونهالان، سنایی و اداره آموزش و پرورش		$1 \leq Cf < 3$	متوسط
		$2 \leq EF < 5$	متوسط	خوشبخت		$3 \leq Cf < 6$	قوی
	کادمیوم (Cd)	$EF < 2$	کم	نونهالان، سنایی		$1 \leq Cf < 3$	متوسط
		$2 \leq EF < 5$	متوسط	معلم، خوشبخت، ایثار و اداره آموزش و پرورش		$3 \leq Cf < 6$	قوی
	نیکل (Ni)	$EF < 2$	کم	امید آینده، تیاب، نونهالان، سنایی و اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲		$Cf < 1$	بدون آلودگی
		$2 \leq EF < 5$	متوسط	-		$1 \leq Cf < 3$	متوسط
	روی (Zn)	$EF < 2$	کم	معلم و سنایی		$6 \leq Cf$	خیلی قوی
						$Cf < 1$	بدون آلودگی

سنایی	متوسط	$1 \leq Cf < 3$	خوشبخت، امید آینده، تیاب، نونهالان و اداره آموزش و پرورش	$2 \leq EF < 5$	متوسط		
اداره آموزش و پرورش ۲ و معلم	قوی	$3 \leq Cf < 6$	-	$EF < 20$	قابل ملاحظه		
ایثار، امید آینده، نونهالان، سنایی	خیلی قوی	$6 \leq Cf$					
-	بدون آلودگی	$Cf < 1$					
اداره آموزش و پرورش ۲، سنایی و نونهالان، ایثار، امید آینده، خوشبخت	متوسط	$1 \leq Cf < 3$	معلم، خوشبخت، امید آینده، ایثار، نونهالان و اداره آموزش و پرورش	$EF < 2$	کم	مس (Cu)	
-	قوی	$3 \leq Cf < 6$	-	$2 \leq EF < 5$	متوسط		
-	بدون آلودگی	$Cf < 1$					
اداره آموزش و پرورش ۲، سنایی و نونهالان، امید، معلم	متوسط	$1 \leq Cf < 3$	تمام مدارس و مراکز آموزشی	$EF < 2$	کم	کروم (Cr)	
ایثار، معلم خوشبخت	قوی خیلی قوی	$3 \leq Cf < 6$ $6 \leq Cf$					

فاکتور آلودگی (Cf)

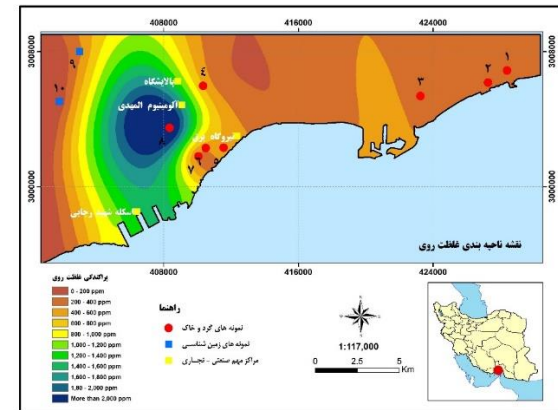
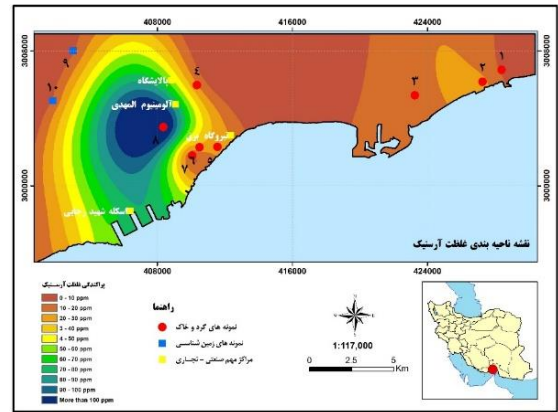
درجه آلودگی گرد و غبارهای مدارس نسبت به هر کدام از عناصر در جدول (۲) قابل مشاهده است. میانگین این شاخص برای سرب (۴/۵)، آرسنیک (۳/۵)، کادمیوم (۵/۱)، کروم (۲/۵)، نیکل (۲/۹)، روی (۵/۷) و مس (۲/۰۶) است. مدارس ایثار (خونسرخ) فاکتور آلودگی سرب بالای ۶ داشته و آلودگی خیلی قوی نشان می دهند. دبستانهای نونهالان انقلاب، خوشبخت و امیدآینده قوی و سایر مدارس فاکتور آلودگی متوسط دارند. اغلب مدارس در سطح آلودگی قوی آرسنیک قرار گرفته اند. درجه آلودگی عنصر نیکل در بیشتر مدارس متوسط است. دبستانهای خوشبخت (شهرک توانیر) و معلم (شهرک شهید رجایی، اداره بنادر و کشتیرانی) درجه آلودگی خیلی قوی نیکل نشان دادند و تنها مدرسه سنایی (میدان شهدا) فاقد آلودگی نیکل بود. عنصر کروم فقط در مدرسه خوشبخت آلودگی قوی دارد. یک سوم از دبستانها دارای آلودگی خیلی قوی روی و سایر آلودگی متوسط دارند مدرسه خوشبخت نسبت به مس آلودگی قوی و بقیه مدارس آلودگی متوسط دارند.



آلودگی متوسط، مقدار $32 < Cd \leq 16$ ، آلودگی قابل ملاحظه را نشان می‌دهد و آلودگی‌های بسیار شدید با $Cd \leq 32$ مشخص می‌شوند (Hakanson, 1980). با توجه به شکل (۳) مدرسه خوشبخت و تیباب خونسرخ با داشتن درجه آلودگی کل $Cd \leq 32$ و درجه آلودگی بسیار شدید هستند. بقیه مدارس با داشتن Cd در بازه‌ی بین ۱۶ تا ۳۲ آلودگی قابل ملاحظه‌ای داشته و اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲، با $16 < Cd \leq 8$ آلودگی متوسطی را نشان می‌دهد. تمامی نمونه‌ها نسبت به دو عنصر روی و مس خطر زیست محیطی پایین دارند. ریسک اکولوژیک گرد و غبارهای مدارس برای سه عنصر سرب، آرسنیک و نیکل در دو سطح متوسط و پایین قرار می‌گیرد.

ریسک اکولوژیک (Er)

عنصر کادمیوم با داشتن میانگین $167/14$ بالاترین و عنصر روی با میانگین $5/17$ پایین‌ترین شاخص ریسک زیست محیطی را دارند. محدوده این شاخص و سطوح مختلف خطر زیست محیطی عناصر سنگین در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، ریسک اکولوژیک عناصر سرب، نیکل، روی، مس و کروم برای تمام نمونه‌ها کمتر از ۴۰ و در حد پایین است. این مقدار برای عنصر آرسنیک در دو محدوده پایین و متوسط قرار می‌گیرد. مدارس معلم، نونهالان، سنایی و اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲ در حد پایین، اما دبستانهای امیدآینده، ایثار و سنایی در حد متوسط هستند. عنصر کادمیوم دارای ریسک اکولوژیک درسه محدوده متوسط، قابل ملاحظه و زیاد است. دبستان سنایی و اداره آموزش و پرورش در حد متوسط مدرسه نونهالان قابل ملاحظه و مدارس معلم، خوشبخت، ایثار و امیدآینده دارای مقدار ریسک اکولوژیک زیاد نسبت به عنصر آرسنیک هستند.



شکل ۲- پهنه بندی غلظت فلزات سنگین در گرد و خاکهای مدارس محدوده مطالعاتی

شاخص آلودگی کل (Cd)، شامل مجموع فاکتو آلودگی همه فلزات است. اگر $Cd > 8$ درجه آلودگی کل پایین، اگر $16 < Cd \leq 8$

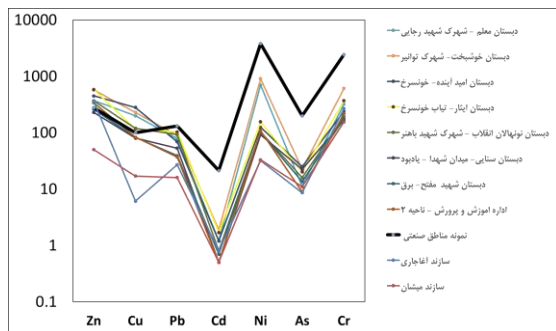
جدول ۳. نتایج آماری شاخص ریسک اکولوژیک (Er) فلزات سنگین در گرد و خاکهای و دسته بندی مدارس مورد مطالعه				شاخص ریسک اکولوژیک (Er)			
مدارس			Er < 40	میانگین	بیشینه	کمینه	عنصر سنگین
$160 \leq Er < 320$	$80 \leq Er < 160$	$40 \leq Er < 80$					
زیاد	قابل ملاحظه	متوسط	پایین				
-	-	-	تمام نمونه‌ها	۲۲/۵۵	۴۹/۶۸	۱۰	سرب
-	-	امید آینده، ایثار، سنایی	معلم، نونهالان، سنایی و اداره آموزش و پرورش	۳۵/۴۶	۵۴/۸	۱۷/۸	آرسنیک
معلم، خوشبخت، امیدآینده، ایثار	نونهالان	سنایی و اداره آموزش و پرورش	-	۱۵۳/۷۵	۲۸۵	۷۵	کادمیوم
-	-	-	امیدآینده، ایثار، نونهالان، سنایی، اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲	۱۷/۶۲	۶۷/۷۲	۷/۴۲	نیکل
-	-	-	تمام دبستانهای در این مطالعه	۵/۷۶	۱۵/۸۵	۲/۸۵	روی
-	-	-	تمام دبستانهای در این مطالعه	۲۸/۲۸	۱۰/۳۱	۴/۵۷	مس
-	-	-	تمام دبستانهای در این مطالعه	۲/۶۲	۳/۶۸	۱/۵	کروم

میانگین شاخص زمین انباشتی (I_{geo}) عنصر کادمیوم از ۰/۲- تا ۱/۴۷ (میانگین ۰/۰۴) به دست آمد؛ بنابراین نمونه ها در برخی از مدارس غیرآلوده و در بعضی دیگر آلودگی متوسط دارند. عناصر آرسنیک، نیکل، کروم و مس با شاخص زمین انباشتی $I_{geo} \geq 1$ دارای آلودگی متوسط و دو عنصر سرب و روی با داشتن $I_{geo} > 2$ شاخص زمین انباشتی متوسط تا شدید را نشان می دهند (جدول ۴)

ریسک اکولوژیک بالقوه (RI) از مجموع ریسک اکولوژیک تمام عناصر در یک ایستگاه نمونه برداری (در این مطالعه مدرسه) به دست می آید. این ضریب برای تمام مدارس مورد مطالعه محاسبه و به صورت نمودار شکل (۴) نشان داده است. همانگونه که مشخص است، این شاخص برای مدارس معلم، امید آینده، نونهالان انقلاب و سنایی متوسط است. مدارس خوشبخت و ایثار تیبای دارای ریسک اکولوژیک بالقوه قابل توجه و اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲ خطر محیط زیستی بالقوه پایینی دارد.

جدول ۴. نتایج آماری شاخص زمین انباشتی (I_{geo}) فلزات سنگین در گرد و خاکهای مدارس مورد مطالعه

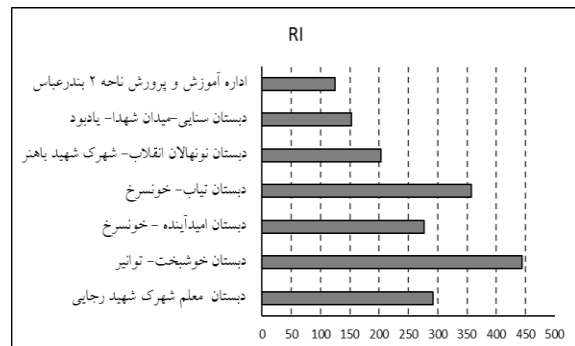
شاخص زمین انباشتی							
دبستان	سرب	آرسنیک	کادمیوم	نیکل	کروم	مس	روی
امید آینده (خونسرخ)	۱/۲۴	۱/۴	-۰/۲	۱/۶۲	۱/۰۸	۱/۰۶	۲/۰۳
ایثار (تیاب خونسرخ)	۱/۲۶	۱/۳	-۰/۶	۱/۶۹	۱/۱۷	۱/۰۷	۲/۱۲
خوشبخت (شهرک توانیر)	۱/۳۱	۱/۳۶	-۰/۷۹	۲/۲۹	۱/۲۷	۱/۲۷	۲/۱۱
معلم (شهرک شهید رجایی)	۱/۲۹	۱/۰۵	-۰/۲	۲/۰۱	۱/۱۴	۱/۱۸	۱/۹۶
نونهالان انقلاب (شهرک شهید باهنر)	۱/۳۳	۱/۲۱	۰/۲۶	۱/۵۵	۱/۰۴	۰/۹۸	۱/۹۶
سنایی (میدان شهدا)	۱/۱۷	۱/۳۵	۰/۴۴	۰/۷۳	۱/۰۲	۰/۹۸	۱/۸
اداره آموزش و پرورش ناحیه ۲ (برق)	۱/۰۶	۰/۹۴	۱/۴۷	۱/۵۷	۱/۰۷	۰/۹	۱/۹۴
میانگین	۲/۷۶	۱/۶۳	-۰/۰۱	۱/۲۳	۱/۰۸	۱/۰۷	۲/۲
میزان شاخص آلودگی	متوسط تا شدید	متوسط	غیرآلوده	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط تا شدید



شکل ۴- مقایسه روند تغییرات عناصر سنگین در نمونه های گرد و خاکهای دبستانهای مورد مطالعه با میانگین نمونه مراکز صنعتی و سازندهای زمین شناسی میلی گرم / کیلوگرم

عناصر نادر خاکی (REES)، می توانند اطلاعات اساسی در مورد منشأ پدیده ها در اختیار ما قرار دهد (Hein et al., 1997). بهره گیری از الگوی توزیع عناصر کمیاب خاکی و مقایسه الگوهای مختلف منطقه کمک زیادی در انطباق مشترکات بین نمونه های مطالعاتی و در نهایت تشخیص منشأ می کند. بدین منظور نتایج مربوط به کلیه نمونه ها که شامل نمونه های گرد و خاکهای ترسیب شده در مدارس منطقه، نمونه

جهت اطمینان از منشأ عناصر سنگین، الگوهای خطی روند تغییرات عناصر نمونه های گرد غبار دبستانها و اداره آموزش و پرورش با نمونه گرد و غبار مخلوط مراکز صنعتی مقایسه شد. همانگونه که در شکل (۵) نیز مشخص است این الگوها مشابه بوده و صنعتی بودن منشأ فلزات سنگین گرد و خاکهای مطالعه شده را تأیید می کند.



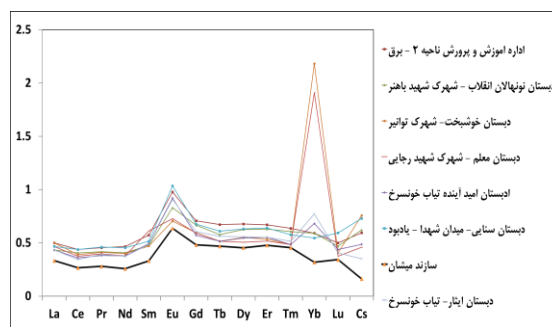
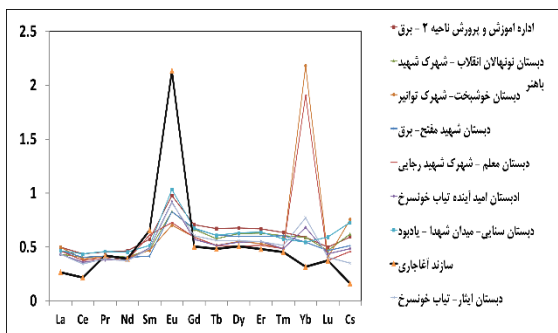
شکل ۳- نتایج آماری ریسک اکولوژیک بالقوه گرد و خاکهای دبستانهای مورد مطالعه

نرمال شده سازند آجاجاری با الگوهای مشابه نمونه های گرد و خاک مدارس منطقه در الگوی مربوط به اکثر عناصر به غیر از Ce و Yb، La، Eu تشابه نسبی نشان می دهند. شکل (۵) نیز شباهت گرد و خاکهای مورد مطالعه با نمونه میانگین مراکز صنعتی را نشان داده و با توجه به پهنه بندی عناصر سنگین می توان منشأ اصلی فلزات سنگین را مراکز صنعتی در نظر گرفت.

مناطق صنعتی و نمونه های مربوط به واحدهای زمین شناسی است، نسبت به استاندارد پوسته فوقانی (تیلورمک لنان، ۱۹۸۱) نرمال و با هم مقایسه گردید. داده های ژئوشیمیایی عناصر نادر نمونه های مطالعاتی در جدول (۵) ارائه شده است. تشابه الگوهای عناصر نادر خاکی گرد و خاکهای مدارس با این سازند میشان در شکل (۵) مشخص است. در این الگو تفاوت اصلی مربوط به Yb است و ترکیب سنگ رسوبی علت اصلی آن است. بنابراین سازند میشان می تواند در ترکیب گرد و خاکهای منطقه تأثیر گذار باشد. روند کلی الگوهای عناصر نادر خاکی

جدول ۵. مقادیر عناصر نادر خاکی نادر در نمونه های مطالعاتی

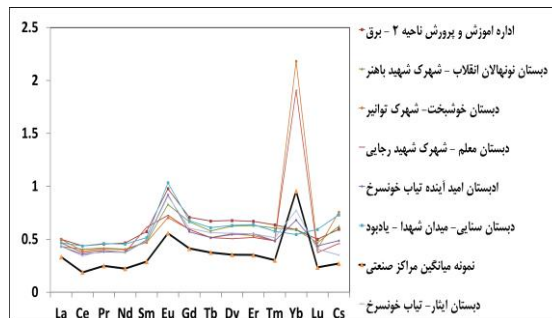
عناصر نادر خاکی	سازند آجاجاری	نمونه میکین مناطق	سازند میشان	اقرار	سنایی	معلم	امید آینده	خوشبین	نوپهلان انقلاب	اداره آب و تپه ۲	پوسته فوقانی
La	۸	۱۰	۱۰	۱۳	۱۴	۱۴	۱۳	۱۵	۱۳	۱۵	۳۰
Ce	۱۴	۱۲	۱۷	۲۲	۲۸	۲۴	۲۳	۲۵	۲۶	۲۸	۶۴
Pr	۱/۶۱	۱/۷	۱/۹۹	۲/۷۹	۳/۲۷	۲/۸۲	۲/۷۱	۲/۹۲	۲/۹۶	۳/۲۳	۷/۱
Nd	۵/۲	۵/۸	۶/۷	۹/۷	۱۱/۸	۹/۸	۹/۸	۱۰/۴	۱۰/۶	۱۲/۱	۲۶
Sm	۲/۹۵	۱/۳	۱/۴۹	۲/۱۹	۲/۳۹	۱/۸۸	۲/۲۲	۲/۱۲	۲/۱۴	۲/۵۸	۴/۵
Eu	۱/۸۸	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۸	۰/۹۱	۰/۶۴	۰/۸۱	۰/۶۲	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۸
Gd	۱/۹۲	۱/۵۷	۱/۸۳	۲/۳	۲/۵۷	۲/۲۵	۲/۱۷	۲/۲۶	۲/۵۳	۲/۶۹	۳/۸
Tb	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۳	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۶۴
Dy	۱/۷۸	۱/۲۴	۱/۵۹	۱/۹۵	۲/۲۱	۱/۷۷	۱/۹۱	۱/۹۳	۲/۱۹	۲/۳۷	۳/۵
Er	۱/۱۱	۰/۸۱	۱/۱	۱/۲۷	۱/۴۷	۱/۱۹	۱/۲۷	۱/۲۳	۱/۴۵	۱/۵۴	۲/۳
Tm	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۱	۰/۳۳
Yb	۰/۷	۲/۱	۰/۷	۱/۷	۱/۲	۴/۲	۱/۵	۴/۸	۱/۳	۱/۳	۲/۲
Lu	۰/۱۲	<۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۳۲
Ref	همین مطالعه										تیلور مک لنان (۱۹۸۱)



حاصله میتواند نقش مهمی در تدوین استراتژی های حفاظتی برای بهبود کیفیت محیط آموزشی داش آموزان و مدیریت آلودگی های محیطی توسط نهادهای مسئول داشته باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح درون دانشگاهی تحت عنوان " بررسی ژئوشیمیایی فلزات سنگین گرد و خاکهای ترسیب شده در مدارس ابتدایی منطقه صنعتی غرب بندرعباس " با شماره قرارداد ۵۳/۱۸۴ استخراج شده است که به این وسیله از حوضه معاونت پژوهشی دانشگاه فرهنگیان تشکر و قدردانی می شود.



شکل ۵- مقایسه الگوهای عناصر نادر خاکی بین نمونه های گرد و خاک مراکز آموزشی با سازند آغاچاری، سازند میشان و مراکز صنعتی، میلی گرم / کیلوگرم

نتیجه گیری

بررسی شاخص ها نشان داد غالب گرد و غبارها در رده متوسط به بالای آلودگی هستند و با فاصله از این مراکز میزان شاخص های مطالعه شده روند کاهشی نشان می دهد... با وجود شباهت روند محتوای عنصری سازندهای زمین شناسی با نمونه های گرد و خاک، این نمونه ها بر خلاف نمونه مراکز صنعتی محتوایی پایین تری از فلزات سنگین را دارند. مقایسه الگوهای بهنجار شده عناصر خاکی نمونه های مطالعاتی، مراکز صنعتی و سازند میشان و آغاچاری نیز تأیید کننده تأثیر بیشتر سازند میشان بر ترکیب ژئوشیمیایی گرد و خاکها نسبت به سازند آغاچاری بوده، اما از طرفی الگوی بهنجار شده نمونه مراکز صنعتی کاملاً مشابه نمونه های مطالعاتی گردو خاکهای مدارس بوده و تأثیر فعالیت های انسان زاد بر افزایش غیر معمول غلظت فلزات است را به طور کامل مورد تأیید قرار می دهد. پیشنهاد می شود جهت بررسی ها بیشتر و حاصل شدن نتایج تکمیلی، کانی شناسی گرد و غبارها و نیز آزمایشات فلزات سنگین خون از دانش آموزان، کادر آموزشی و کارکنان دبستانها و سایر مراکز آموزشی واقع در منطقه صورت پذیرد. نتایج

References

- Brunmsacls, 2006. The trace metal content of organic carbon reach sediments: implication for cretaceous. *Palaeocol*, 232, 431-361.
- Buccollieri, A., Buccollieri, G., Cardelicchio, N., Dell' Atti., Di Leo, A. and Maci A., 2006. Heavy metals in marine sedimes of Taranto Gulf (Ionian Sea, southern Italy) *Marine chemistry*, 99 (1):227-235.
- Chabukdhara, M. and Nema, A. K., 2012. Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: a chemometric and geochemical approach *Chemosphere*, 87 (8), 945-953.

- Chen , H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., Wang, J. 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of the Total Environment*. 512: 143-53.
- CRC, 1991, Preventing lead Poisoning in Young Children: Atlanta GA: Centers for Disease Control.
- Dietert, R. R., Etzel, R. A., Chen, D., Halonen, M., Holladay, S. C., Jarabek, A. M., Landreth, K., Peden, D. B., Pinkerton, K., Smialowicz, R.J., Zoetis, T., 2000. Workshop to identify critical windows of exposure for children's health: immune and respiratory systems work group summary. *Environ Health Perspective*, v. 108 (suppl3), p.483-490.
- Ghazban, F., 2005. *Environmental Geology*, Tehran University press, Tehran.
- Gonzales, C., Poweli, E., Sabrina Coty, Aila Shab., Mielke., H. W. Lead dispersion due to human activities. PP.219-230. In: *Geology and Health*. Piroozfar, P., 2014. *Medical Geology Group*, Geological Survey of Iran (GSI). Tehran.
- Hakanson, I., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8): 975-1001.
- Hamidzadeh Arbabi, Y., Rezakhani Moghadam, H., 2015. The position of health education and health promotion in Iran's five-year development programs (letter to the Secretary). *Journal of Education and Community Health*, 2(4): 1 -2. (in Farsi).
- Heidari, M., Alizadeh, Z., Dinarloo, K. 2021. Level of particulate matter pollution in the indoor and outdoor air of primary School of Bandar Abbas, Iran, *Teb-e- pishgiri*. Vol. 7(3).
- Heling, D., Rothe, P., Forstner, U., Stoffers, P. 1990. *Sediments and Environmental Geochemistry*. Berlin: Springer.
- Jaing, X., Teng, A., Xu, W. and Liu, X. 2014. Distribution and pollution assessment of heavy metals in surface sediments in the Yellow Sea. *Marine pollution bulletin*, 83(1): 366-375.
- Khoshnesvis, M., and Pajooan, J. 2016. Comparative Analysis of the Effect of Environmental pollution on the Human Development Index in Countries with Different Levels of Development. *Quarterly Energy Economics Review*. v.12 (48).p.33-61.
- Kim, H. S., Kim, Y, J., Seo, Y. R. 2015. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. *Journal of Cancer Prevention*. 20(4): 232-40.
- Krishna, AK, Govil, P. K. Heavy metal contamination of soil around Pali industrial area, Rajasthan, India. *Environmental Geology*. 2004; 47(1): 38-44.
- Lu, A., Wang, J., Qin, X., Wang, K., Hang, P., and Zhang, S., 2012. Multivariate and geostatistical analyses of spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soil in Shunyi, Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 425, pp. 66-74.
- Lu, Y, Gan, H. H., Zhang, B, Shi, Z. J. 2009. Concentration and chemical fractionation of heavy metals in soils of urban green space in Shenzhen City. *Environ Chem*. 28. 284-288.
- Mielke, H. W., Dugas, D., Ir. PWM, Smith, K. S., Smith, S. I., Gonzales, C. R. 1997. Associations between Soil Lead and Childhood Blood Lead in Urban New Orleans and Rural Lafourche Parish of Louisiana. *Environmental Health Perspectives*, v. 105, p.950-954.
- Mushak, P., Davis, J. M., Crocetti, A. F., Grant, L. D., 1989. Prenatal and postnatal effects of low-level lead exposure integrated summary of a report to the US Congress on childhood lead poisoning. *Environ Res*; v. 50, p.11-36.
- Needleman, H. L., Riess, J. A. Tobin, M. J., Biiesecker, G. E. and Greenhouse, J. B. 1996. Bone lead levels and delinquent behavior; *Journal of American Medical Association*, 275 (22), p.1727-1728.
- Muller, G. 1996. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- Romic, M., Romic, D. 2003. Heavy Metal distribution in agricultural top soils in urban area. *Environ*, 43, 795-805.
- Sun, Y., Zhou, Q., Xie, X Liu, R. 2010. Spatial, source and risk assessment of heavy metal Contamination of urban soil in typical regions of Shenyang China. *Journal of Hazardous Materials*., 174 (1-3): 455-62.

- Tuzen, M. 2004. Determination of heavy metals in mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. *Microchemical Journal*. 74 (3): 289-97.
- Xu, Z., Ni, S., Tuo, X. and Zhang, C., 2008. Calculation of heavy metals' toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index. *Environmental Science and Technology*, 31: 112-115.
- Wei, X., Gao, P. Wang, H. Zhou and J. Lu. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 112: 186-192.
- Zhang, X. L., Yang, Y., Li, H., Li, W. Wang and B. Ye. 2012. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184 (4): 2261-2273.

Geochemistry, Zoning and Ecological Risk of Heavy Metals in the Dust in Schools located in West Bandar Abbas Industrial Zone

Sara Amani Lari

Associate Professor, Department of Basic Sciences, University of Farhangian, Tehran, Iran

Email Address: sara.amanilari@yahoo.com

Abstract

In this study, the dust of primary schools located around the industrial centers of western Bandar Abbas was analyzed. Samples were analyzed by induced coupled plasma spectroscopy (ICP-MS). Environmental index of lead, zinc, cadmium, arsenic, chromium and nickel were evaluated. The results indicate that the study samples, except for chromium, have moderate to very strong contamination factor compared to other heavy elements, with the highest amount belonging to cadmium and lead. The highest value of ecological risk index belonged to the element cadmium (285) and the lowest value of this index showed the element chromium (3.68). The mean geo accumulation index of cadmium was the lowest and lead was the highest. Concentration of these elements was zoned using geochemical analysis data. Comparison of how metal change and the similarity of their patterns in school dust samples with the average pattern of industrial centers and geological formations confirms the results

Introduction

Heavy metals are considered as environmental pollutions that enter the living environment of humans and other living organisms directly or indirectly. These elements are known as the primary pollutants given their toxicity and durability in the environment (Tuzen, 2003; Krishna and Govil, 2004). Poisoning due to these elements through inhaling or swallowing has recently become a severe public health problem (CDC, 1991). Hence, extensive research has been conducted on these elements' concentration in various parts of the environment (Kim et al., 2015 & Sun et al., 2010). Personal and environmental health promotion is among the scopes included in the Fundamental Education Transformation document (the Fundamental Education Transformation, 2011). Few yet extremely valuable studies have been conducted in this regard on a national scale. The importance of environmental indices, specifically in places occupied by students for long periods, highlights the significance of studying the concentration of toxic and heavy elements in the dust deposited in schools, especially those in industrial areas. Thus, the present study seeks to determine the concentration of heavy metals in the dust and evaluate the environmental indices and zone the concentration of such elements in schools located in the region using information data services.

Materials and methods

The studied site resides between the longitude of 55 degrees and 59':50.88" and the latitude of 27 degrees and 4':40.19", occupying an area of 217km² in West Bandar Abbas. Convenience sampling was conducted in elementary schools located in the industrial region, and the geological formations of the studied area were surveyed and sent to Zarazma Company's laboratory in Tehran for ICP-MS analysis. Laboratory data were analyzed using ArcGIS and Excel software. Given the dispersion of the convenient samples and the lack of coverage of the entire study area, the present study took advantage of geostatistical and interpolation methods using ArcGIS10.6.1 software. Regularized Spline

interpolation was used to compile the element concentration zoning maps so that interpolation results would cover the entire studied area.

Results

The mean concentration of all metals exceeds the average crust concentration. This ratio was over 4, 2, 3, 5, 2, 2, and 5 times in lead, nickel, arsenic, cadmium, chromium, copper, and zinc, respectively. Comparing these patterns can help identify the trend of changes in pollution with these elements. As expected, the highest concentration of the studied elements was revealed to be in the range of industrial centers. The schools in the proximity of industrial centers had a lead pollution factor of over 6 and extremely high pollution levels. Most schools indicated high arsenic contamination, while most of them had moderate levels of nickel contamination. The schools in the proximity of industrial centers had extremely high nickel contamination which declined as moved towards the city center. Chrome element revealed to have strong contamination in the school nearest to the power plant. One-third of the elementary schools suffered from extremely high zinc pollution and others had moderate levels of pollution with this element. The schools near the power plant had high copper pollution and others had moderate levels of pollution with this element. The highest enrichment factor was associated with lead (Pb) and the lowest was associated with chromium (Cr). A range of 0.5 to 1.5 in this factor indicates that metal genesis is most probably due to natural factors, while higher values indicate that the elements are most likely to be due to human activities (Wei et al., 2015). The mean enrichment factor of chromium was 0.54 in the studied samples while other elements had values higher than 1.5. The enrichment factor ranged from low to significant for lead and zinc, low to moderate for arsenic, cadmium, nickel, and copper, and low for chromium. Overall, the schools positioned closets to industrial centers had the highest enrichment factors for the studied heavy elements, and the enrichment factor declined as the distance between the school and industrial centers increased. The mean geoaccumulation index (I_{geo}) of cadmium was revealed to be negative, indicating that the samples from some schools were non-contaminated and the others had moderate contamination. The elements of nickel, arsenic, chromium, and copper had moderate geoaccumulation indices of $1 \leq I_{geo} < 2$, while zinc and lead had moderate to high geoaccumulation indices of $2 \leq I_{geo} < 3$. The environmental risk index of dust collected from schools was revealed to be the highest in cadmium and the lowest in zinc. Rare earth elements normalized patterns were used to find whether there was a genetic relationship between dust from the schools and geological formations in the region. The similarities between these patterns confirmed genesis links with the Mishan formation. Still, the trend of change in the heavy element content of dust indicated complete similarity with the average of samples obtained from industrial centers.

Conclusion

Despite the heavy metal trend in Mishan formation samples and dust from the industrial center being similar to other samples, Mishan formation had low content and the industrial sample had the highest content of the studied elements. Thus, industrial activities are the most essential source of these elements in the dust in schools located in the studied area.

Key words

Ecological Risk; Heavy Metals; Dust; Industrial Zone; West Bandar Abbas