

بررسی زمین‌شیمی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در ذرات گرد و غبار شهر آبادان

آزاده قاسمی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز

نویسنده مسئول: azadehghasemi1456@yahoo.com

دریافت: ۹۳/۹/۲۵ پذیرش: ۹۴/۸/۲۳

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی آلودگی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل غبار خیابان، شهرستان آبادان در استان خوزستان است. برای تحقق این هدف، ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات محاسبه شده است. از روش‌های آماری چند متغیره، ضریب همبستگی اسپیرمن و تحلیل مولفه اصلی (Principal Component Analysis) نیز برای تعیین همبستگی و منشأ فلزات استفاده شده است. تعداد ۲۰ نمونه غبار از سطح خیابان‌های شهر آبادان به صورت سیستماتیک برداشته شد و غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل به ترتیب با استفاده از روش تجزیه‌ای طیف‌سنجی نشر نوری پلاسما جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) و کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (Gas Chromatography-Flame Ionization Detection) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت عناصر از روند زیر تبعیت می‌کند: $Cd > Ag > Mo > As > Co > V > Ni > Pb > Cu > Cr > Zn > Mn > Fe$. نتایج حاصل از محاسبه ضریب غنی‌شدگی نشان می‌دهد که بیش‌تر عناصر در بسیاری از ایستگاه‌های نمونه‌برداری غنی‌شدگی قابل‌ملاحظه دارند. شاخص زمین‌انباشت بیش‌تر عناصر در ایستگاه "گیت ۱۳" بالاتر است و نشانگر آلودگی بالای این ایستگاه است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل مولفه اصلی، منشأ عناصر نیکل، کبالت و کروم بیش‌تر زمین‌زاد و در ارتباط با ترکیب زمین‌شیمیایی محیط طبیعی است در حالی که سایر عناصر دارای منشأ انسانی هستند. نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین‌انباشت این نتایج را تأیید می‌کند. بیشینه غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در ایستگاه "چهارراه لین یک" مشاهده شد. منشأ اصلی هیدروکربن‌های نفتی کل در این منطقه می‌تواند ناشی از وسایل نقلیه و فعالیت پالایشگاه باشد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، ضریب غنی‌شدگی، ضریب زمین‌انباشت، شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی، روش‌های آماری تحلیل داده‌ها، هیدروکربن‌های نفتی کل، آبادان

۱- مقدمه

به گونه‌ای غیر عادی افزایش یافته است [۳۸]. این یافته‌ها انگیزه لازم برای مطالعات جامع در مناطقی که آلودگی در آن‌ها شناخته شده و یا احتمال آلودگی می‌رود را فراهم می‌سازد. غبار خیابان در واقع مواد جامد مشتق شده از خاک است که به مقدار زیادی آلاینده آلی و فلزات سمی آلوده شده است و پایش و کنترل آلودگی آن در مناطق شهری به دلیل تاثیر بر سلامت انسان‌ها به ویژه خردسالان، تاثیر بر کیفیت آب و هوا، تاثیر بر کیفیت روان‌آب‌ها و بالاخره به عنوان نشانگر آلودگی هوا، اهمیت بسیار زیادی دارد [۲۲]. مطالعات زیادی در مورد آلودگی فلزات سنگین در غبار خیابان شهرهای مختلف جهان انجام شده است که از این میان می‌توان به پژوهش‌های

رشد روز افزون صنایع مختلف و گسترش شهرنشینی، پیوسته مواد آلاینده بیش‌تری را وارد محیط زیست می‌کند که نتیجه آن کاهش توان خود پالایی زمین است. در این ارتباط آلودگی محیط شهری اهمیت زیادی دارد زیرا بیش‌تر جمعیت جهان در این محیط زندگی می‌کنند. آلودگی محیط شهرها از منابع زیادی ناشی می‌شود که در این میان، وسایل نقلیه موتوری و صنایع، نقش اصلی را ایفا می‌کنند. بررسی‌های انجام شده بیانگر آن است که غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل^۱ در بسیاری از نقاط جهان به ویژه در مناطق شهری و صنعتی

1 Total Petroleum Hydrocarbons

مشخص کردن شدت آلودگی و تعیین منشأ عناصر مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

آبادان پس از اهواز مهم‌ترین شهر استان خوزستان است. طول جغرافیایی این شهر ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی آن ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۳ متر از سطح دریا با مساحت ۲۷۹۶ کیلومتر مربع است. کمینه دمای سالانه ۱۷/۷ درجه و بیشینه آن ۵۲ درجه و شدت آن از تیر تا پایان شهریور ماه است. میانگین بارندگی سالیانه در منطقه ۲۶۹/۱ میلی‌متر و جهت باد غالب شمال غرب به جنوب شرق است. این شهر با وجود پالایشگاه نفت، کارخانه پتروشیمی، و دسترسی به آب‌های آزاد نقش مهمی در اقتصاد کشور دارد. آبادان پرآب‌ترین شهر استان خوزستان است که دو رود اروند و بهمنشیر در آن جاری است. مهم‌ترین محصول زراعی و باغی آبادان خرما است. شهرستان آبادان حاصل رسوبات دلتایی مصب رودهای کارون و اروند در دوران چهارم زمین‌شناختی است [۳].

۲-۲- روش و محل نمونه‌برداری

در مجموع تعداد ۲۰ نمونه رسوب شهری از خیابان‌ها و میدان‌های اصلی واقع در شهر آبادان برداشته شد. شکل ۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی وضعیت آلودگی فلزی نمونه‌های گرد و غبار، نمونه‌ها با استفاده از خاک‌انداز پلاستیکی، و بُرس پلاستیکی بی‌رنگ از خیابان و میدان‌ها برداشته شد (بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ گرم). بعد از هر نمونه‌برداری، برس کاملاً تمیز، و با استون شسته شد. سپس نمونه‌ها به کیسه‌های ضخیم زیپدار منتقل شد، و پس از کدگذاری، در محیط خشک و خنک نگهداری شدند. پس از آن نمونه‌ها برای آماده‌سازی به آزمایشگاه علوم زمین دانشگاه شیراز منتقل شدند. در آزمایشگاه ابتدا قطعات چوب و فلز، برگ درختان، شیشه و سایر مواد زائد از نمونه‌ها جدا، و نمونه‌ها از غربال ۶۳ میکرون عبور داده شدند. سپس نمونه‌ها به کیسه‌های مخصوص پلاستیکی و بی‌رنگ منتقل، کدگذاری و برای تجزیه عنصری به روش تجزیه‌ای طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده‌ی القایی

انجام شده توسط کابادایی و همکاران [۲۰]، مبنی بر ارزیابی غلظت عناصری مانند مس، سرب، روی، نیکل، کادمیم و منگنز در غبار خیابان شهر سام‌سون^۲، تعیین غلظت فلزات بالقوه سمناک در غبار خیابان در محیط‌های شهری و بین‌شهری شانگهای چین توسط ژانگ و همکاران [۴۰] و بررسی زمین‌شیمی فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای^۳ در غبار خیابان کلان‌شهر اصفهان (شعاع ۵۰ کیلومتری) توسط توکل (۱۳۹۲) اشاره کرد. در تمام مطالعات انجام شده در این زمینه منشأ فلزات سنگین در غبار خیابان، به حجم انبوه وسایل نقلیه و ترافیک سنگین، سایش قطعات خودروها و احتراق سوخت‌های فسیلی در موتور وسایل نقلیه و مواد گسیل شده از آگزوز اتومبیل‌ها اشاره شده است. با توجه به سرطان‌زایی و جهش‌زایی شدید بعضی از ترکیبات آلی مانند TPH و با توجه به حضور این ترکیبات در مناطق مختلف محیط‌زیست مطالعات زیادی طی سال‌های اخیر در مورد این ترکیبات نیز در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به بررسی و اندازه‌گیری هیدروکربن‌های نفتی در آب و رسوب خلیج فارس در محدوده بهرگان توسط حاتمی و همکاران (۱۳۸۸) و بررسی غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین در خروجی تالاب انزلی توسط بابایی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد.

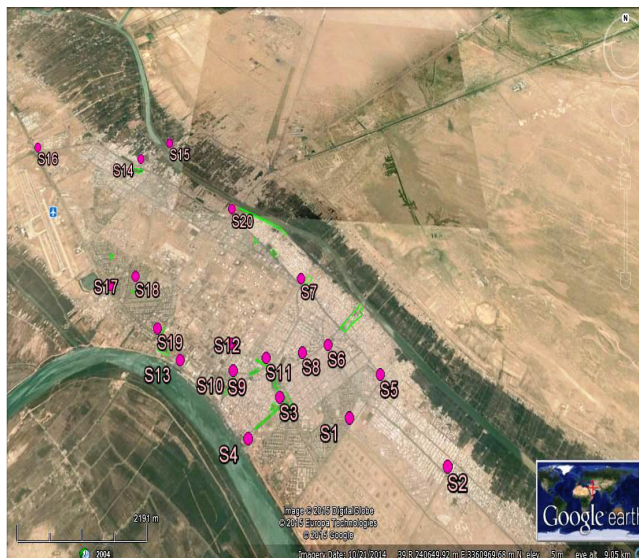
شهر آبادان مرکز شهرستان آبادان، در استان خوزستان در جنوب غرب ایران است. با توجه به توسعه صنعتی در چند دهه اخیر و برنامه‌ریزی‌های آتی و هم‌چنین روند رو به رشد تعداد وسایل نقلیه با موتورهای درون‌سوز آلودگی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل و اثرات آن‌ها در چرخه زیست‌محیطی از جمله غبار خیابان در این شهر، از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این پژوهش تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های گرد و غبار آبادان است. برای دستیابی به این هدف، توزیع فلزات سنگین در نمونه‌های مربوطه با استفاده از شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی و روش آماری ضریب همبستگی و تحلیل مولفه اصلی به منظور

² samsun

³ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

سپس نمونه‌ها به درون بطری‌ها انتقال داده شد، و سر بطری‌ها توسط فویل آلومینیومی ضخیم پوشانده، و نهایتاً درب پلاستیکی آن‌ها بسته شد. نمونه‌ها پس از برچسب‌گذاری با استفاده از یخ خشک در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شدند. پس از اتمام نمونه‌برداری، نمونه‌ها بسته‌بندی و به آزمایشگاه محیط‌زیست "مرکز تحقیقات و فراوری مواد معدنی ایران" در کرج ارسال شدند و توسط دستگاه GC-FID تجزیه شدند.

(ICP-OES) به آزمایشگاه زرآزما در تهران ارسال شدند. قابل ذکر است که نقاط انتخاب شده برای نمونه‌برداری گرد و غبار خیابان برای تجزیه و بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل از همان نقاط نمونه‌برداری گرد و غبار خیابان برای بررسی فلزات سنگین انتخاب شد. نمونه‌برداری با استفاده از یک جاروی دستی و خاک‌انداز غیرپلاستیکی انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از الک ۲ میلی‌متری الک شدند تا سنگ، و سایر اضافات بزرگ اندازه جدا شوند.



شکل ۱. نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری از غبار خیابان در محدوده مطالعاتی

غنی‌شدگی از میانگین پوسته بالایی [۳۶] به عنوان محیط مرجع و از عنصر آلومینیم به دلیل ماهیت زمین‌شیمیایی، تغییرات بسیار ناچیز و تحرک کمی که در محیط‌های زمین‌شیمیایی از خود نشان می‌دهد [۱۶]، به عنوان عنصر مرجع استفاده شد و بر این اساس، میزان آلودگی نمونه‌های غبار خیابان آبادان تعیین گردید. $EF < 10$ نشانگر آلودگی طبیعی، و $EF > 10$ نمایانگر آلودگی انسان‌زاد است [۱۰]. ساترلند [۳۳]، آلودگی فلزی بر مبنای مقدار عددی ضریب غنی‌شدگی را به شرح زیر ارائه کرده است (جدول ۲).

ضریب زمین‌انباشت^۲

ضریب زمین‌انباشت اولین بار توسط مولر [۱۸]، برای تعیین و توصیف آلودگی‌های فلزی ارائه، و سپس توسط پژوهشگران دیگر، تصحیحاتی روی آن اعمال شد. این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

۳-۲- ارزیابی گرد و غبار خیابان منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی زیر استفاده شد.

ضریب غنی‌شدگی^۱

در تحلیل‌های زیست‌محیطی ضریب غنی‌شدگی، یکی از ضرایب مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر خصوصاً فلزات سنگین، متاثر از عوامل طبیعی و انسانی است [۳۹]. با استفاده از این ضریب می‌توان بین منشا طبیعی (زمین‌زاد یا پوسته‌ای) و انسان‌زاد (آلودگی، و یا منشا غیر پوسته‌ای) تمایز قائل شد.

$$EF = \frac{\left(\frac{X}{RE}\right)_{Sample}}{\left(\frac{X}{RE}\right)_{Baseline}}$$

در این رابطه EF ضریب غنی‌شدگی، RE عنصر مرجع، و X عنصر مورد نظر می‌باشد. برای محاسبه ضریب

² Geoaccumulation index

¹ Enrichment Factor

اضافه شده است. پس از محاسبه این ضریب با استفاده از جدولی که خاک‌ها و رسوبات را بر اساس کیفیت رده‌بندی می‌کند [۱۴]، آلودگی ارزیابی می‌شود (جدول ۲).

$$I_{geo} = \log_2 (Cn / [1.5] Bn)$$

در این رابطه Cn غلظت اندازه‌گیری شده عنصر n در نمونه و Bn غلظت زمینه زمین‌شیمیایی عنصر مورد نظر (پوسته قاره‌ای بالایی) است. عدد ثابت ۱/۵ برای کمینه کردن اثر تغییرات محتمل در مقدار زمینه با توجه به تغییرات سنگ‌شناختی در محیط‌های مختلف به رابطه

جدول ۱. نام و مختصات محل نمونه‌برداری غبار خیابان

نام ایستگاه	نوع نمونه	Y	X	کد نمونه
دانشکده نفت	غبار خیابان	۳۳۵۸۲۸۳	۲۴۰۹۸۳	S1
فلکه ذولفقاری	غبار خیابان	۳۳۵۷۶۰۸	۲۴۲۷۱۵	S2
خیابان دبستان	غبار خیابان	۳۳۵۸۷۴۵	۲۳۹۶۵۴	S3
بازار ماهی فروش‌ها	غبار خیابان	۳۳۵۸۱۰۸	۲۳۹۰۹۱	S4
بازار جمشیدآباد	غبار خیابان	۳۳۵۹۰۸۱	۲۴۱۶۲۸	S5
چهار راه لین یک	غبار خیابان	۳۳۵۹۶۳۲	۲۴۰۶۰۷	S6
میدان طیب	غبار خیابان	۳۳۶۰۹۶۳	۲۴۰۰۴۵	S7
خیابان اروسی (بلوار ولایت)	غبار خیابان	۳۳۵۹۵۰۷	۲۴۰۰۸۶	S8
چهار راه امیری	غبار خیابان	۳۳۵۸۹۵۹	۲۳۸۹۰۷	S9
خیابان شاپور (شهید منتظری)	غبار خیابان	۳۳۵۹۲۱۸	۲۳۸۷۱۳	S10
میدان انقلاب (مجسمه)	غبار خیابان	۳۳۵۹۴۲۹	۲۳۹۳۵۶	S11
خیابان ناتاکسپرس (گیت ۱۳)	غبار خیابان	۳۳۵۹۷۰۵	۲۳۸۶۳۷	S12
گیت ۱۸	غبار خیابان	۳۳۵۹۴۳۴	۲۳۷۶۳۰	S13
میدان سید عباس	غبار خیابان	۳۳۶۴۰۵۳	۲۳۵۹۰۵	S14
پل ایستگاه ۱۲	غبار خیابان	۳۳۶۴۵۰۲	۲۳۶۵۶۷	S15
فلکه فرودگاه	غبار خیابان	۳۳۶۴۴۷۸	۲۳۳۱۳۷	S16
دهکده بریم	غبار خیابان	۳۳۶۰۹۲۸	۲۳۵۸۷۶	S17
چهار باغ بریم	غبار خیابان	۳۳۶۱۱۰۶	۲۳۶۳۸۶	S18
فلکه الفی	غبار خیابان	۳۳۶۰۰۳۶	۲۳۷۰۶۵	S19
فلکه ایستگاه ۷	غبار خیابان	۳۳۶۲۶۳۴	۲۳۸۳۴۷	S20

جدول ۲. رده‌بندی شاخص‌های I_{geo} و EF

وضعیت آلودگی	گستره	وضعیت آلودگی	گستره
غنی‌شدگی کمینه	$EF < 2$	غیر آلوده	$I_{geo} \leq 0$
غنی‌شدگی متوسط	$2 \leq EF < 5$	غیر آلوده تا آلودگی متوسط	$0 < I_{geo} \leq 1$
غنی‌شدگی قابل ملاحظه	$5 \leq EF < 20$	آلودگی متوسط	$1 < I_{geo} \leq 2$
غنی‌شدگی بسیار بالا	$20 \leq EF < 40$	آلودگی متوسط تا شدید	$2 < I_{geo} \leq 3$
غنی‌شدگی بسیار شدید	$EF > 40$	آلودگی شدید	$3 < I_{geo} \leq 4$
		آلودگی شدید تا بی‌نهایت آلوده	$4 < I_{geo} \leq 5$
		بی‌نهایت آلوده (آلودگی بیشینه)	$I_{geo} \geq 5$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i$$

در این روابط C_r^i شاخص آلودگی فلز، C_n^i غلظت فلز در نمونه، C_0^i غلظت فلز در پوسته قاره‌ای بالایی، E_r^i ضریب خطر بالقوه بوم‌شناختی، T_r^i ضریب پاسخ فلز سنگین است که هاکنسون آن‌ها را برای عناصر به قرار زیر تعیین کرده است:

Zn = 1, Cr = 2, Cu = Ni = Pb = 5, As = 10, Cd = 30, Hg = 40. RI شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی توسط آلودگی کلی فلزات است. رده‌بندی E_r^i و RI در جدول ۳ ارائه شده است [۱۹، ۳۷].

شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات سمناک (potential ecological risk index) (RI)

برای ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات سمناک در غبار خیابان از شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (potential ecological risk index (RI)، ارائه شده توسط هاکنسون استفاده می‌شود. روش RI در محدوده وسیعی از پژوهش‌ها مانند سم‌زیست‌شناختی، شیمی محیط‌زیست و همچنین بوم‌شناختی کاربرد دارد و به طور جامع، توانایی ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات سمناک را دارد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

$$C_f^i = \frac{C_n^i}{C_0^i}$$

جدول ۳. رده‌بندی عناصر و نمونه‌های غبار خیابان با توجه به شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی [۱۹]

$RI < 150$	$E_r^i < 40$	ریسک بالقوه بوم‌شناختی پایین
$150 < RI \leq 300$	$40 < E_r^i \leq 80$	ریسک بالقوه بوم‌شناختی متوسط
$300 < RI \leq 600$	$80 < E_r^i \leq 160$	ریسک بالقوه بوم‌شناختی قابل ملاحظه
$RI \geq 600$	$E_r^i > 160$	ریسک بالقوه بوم‌شناختی بالا
	$E_r^i \geq 320$	ریسک بالقوه بوم‌شناختی بسیار بالا

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آمار توصیفی داده‌ها

نتایج آمار توصیفی داده‌های غلظت فلزات سنگین در غبار خیابان شهر آبادان همراه با غلظت نظیر پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقدار کثیدگی و چولگی عناصر نقره، آرسنیک، کادمیم، مولیبدن و روی بیش از ۲ است که نشان‌دهنده غیر نرمال بودن داده‌ها نسبت به کثیدگی و چولگی است. بنابراین غلظت میانگین معیار مناسبی برای در نظر گرفتن به عنوان زمینه این داده‌ها نیست و بهتر است از غلظت میانه به عنوان غلظت زمینه داده‌ها استفاده شود [۷]. غلظت میانه عناصر نقره، کادمیم، مولیبدن، آرسنیک، روی و میانگین غلظت عناصر کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، وانادیم و سرب (بر حسب $mg \cdot kg^{-1}$) غبار خیابان آبادان در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود گستره تغییرات غلظت فلزات سنگین در غبار خیابان آبادان وسیع است (شکل ۲). برای مثال، بیشینه غلظت مس، روی و سرب به ترتیب ۴/۲۵، ۴/۴ و ۴/۷۸ برابر کمینه غلظت آن‌ها است. انحراف معیار فلزات سنگین مورد مطالعه نیز به جز عنصر کادمیم بیش

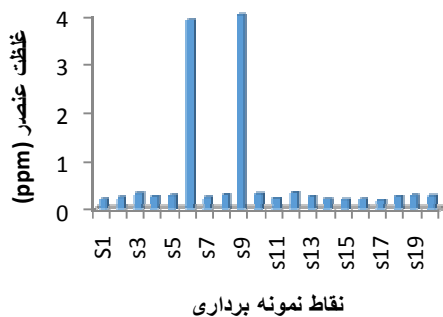
از ۱ است که نشان‌دهنده تغییرات وسیع غلظت فلزات سنگین از یک نقطه به نقطه دیگر می‌باشد.

مقایسه نتایج به دست آمده با پوسته قاره‌ای بالایی (UCC)، نشان‌دهنده غنی‌شدگی غلظت فلزات سنگین در غبار خیابان منطقه مورد مطالعه است، به طوری که روند کاهشی تغییر میانگین غلظت عناصر نسبت به مرجع به صورت $Ag > Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > As > Mo > Cd > V > Mn > Fe > Co$ می‌باشد. بررسی غلظت عناصر غبار خیابان در ایستگاه‌های مختلف نسبت به UCC نشان داد که سرب در فلکه الفی (S19)، روی در گیت ۱۳ (S12)، مولیبدن در گیت ۱۳ (S12)، مس در خیابان دبستان (S3) و گیت ۱۳ (S12)، کادمیم در چهارراه لین یک (S6) و خیابان شاپور (S10)، نقره در چهارراه امیری (S9) و آرسنیک در گیت ۱۳ (S12) به ترتیب ۷/۹، ۱/۱۵۹، ۱۵/۸، ۸، ۵/۱۰، ۸۰ و ۷/۹۳ برابر غلظت UCC است. غلظت عنصر کبالت در بیش‌تر ایستگاه‌ها نزدیک به غلظت UCC است. منشأ اصلی این عناصر می‌تواند شامل فعالیت پالایشگاه و پتروشیمی، حمل و نقل عمومی، سایش قطعات خودروها، احتراق بنزین، روغن اتومبیل و مواد گسیل شده از آگروز اتومبیل‌ها باشد [۲۵، ۱۷ و ۱۵].

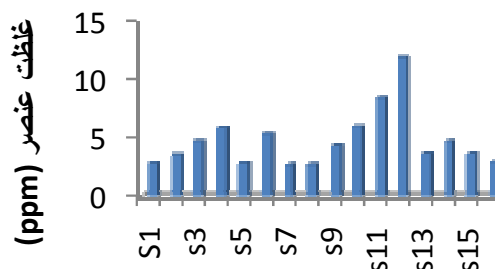
جدول ۴. شاخص خطر بوم‌شناختی برای عناصر مورد مطالعه در غبار خیابان آبادان

	Eir (As)	Eir (Cd)	Eir (Cr)	Eir (Cu)	Eir (Ni)	Eir (Pb)	Eir (Zn)	RI
Mean	۳۲/۷۳	۷۱/۰۲	۶/۸۶	۱۹/۲۷	۱۸/۲۸	۱۹/۴۸	۴/۷۳	۱۷۲/۳۶
وضعیت ضریب خطر بوم شناختی	پایین	متوسط	پایین	پایین	پایین	پایین	پایین	متوسط
Minimum	۱۹	۵۲	۵	۹	۱۵	۸	۳	۱۲۳
Maximum	۷۹	۱۵۳	۹	۴۰	۲۲	۴۰	۱۲	۲۹۱

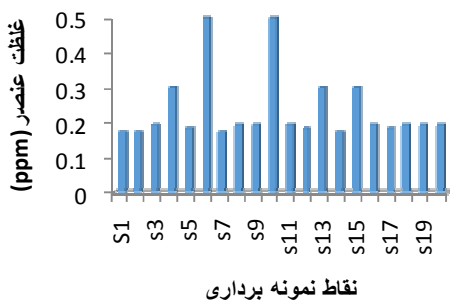
نقره



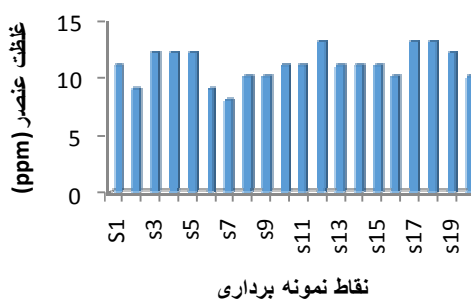
آرسنیک



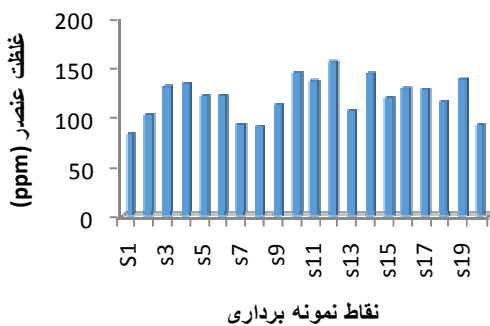
کادمیم



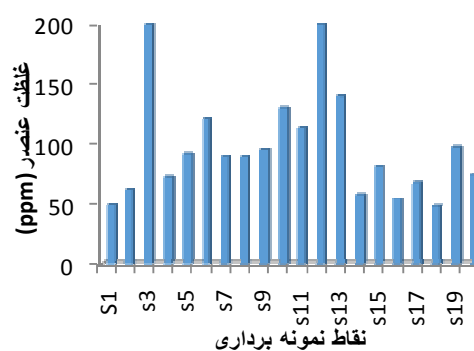
کبالت



کروم

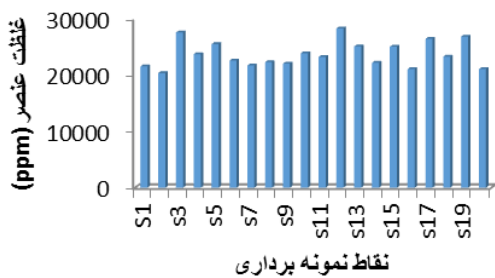


مس

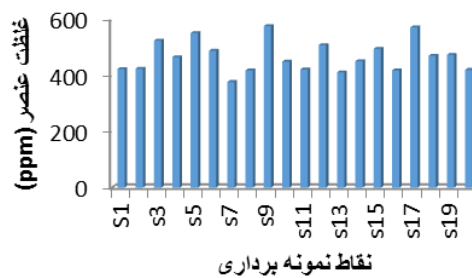


شکل ۲. نمودارهای غلظت عناصر در نمونه‌های غبار خیابان آبادان

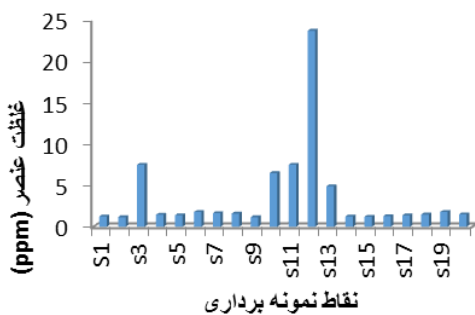
آهن



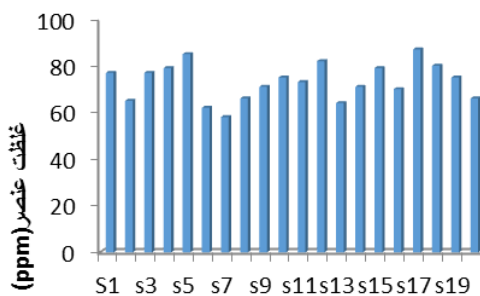
منگنز



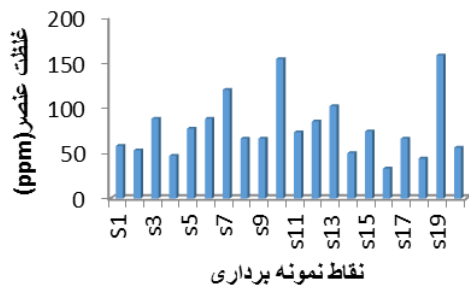
مولیبدن



نیکل



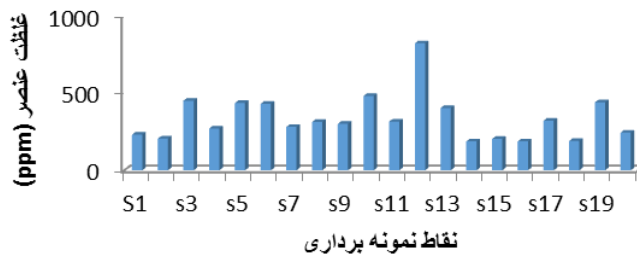
سرب



وانادیم



روی



ادامه شکل ۲. نمودارهای غلظت عناصر در نمونه‌های غبار خیابان آبادان

جدول ۵. آمار توصیفی غلظت عناصر در نمونه‌های غبار خیابان آبادان

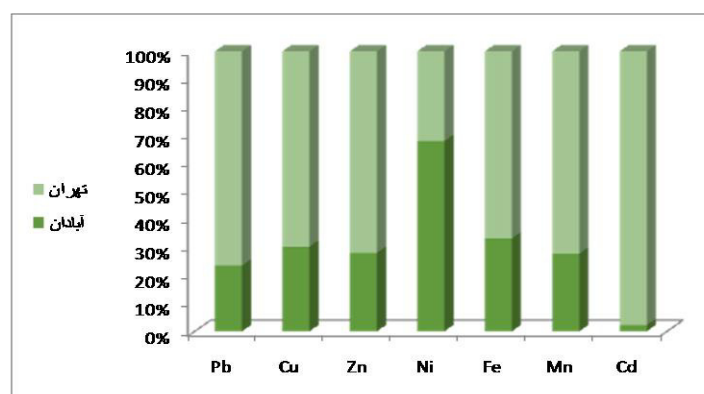
N=20	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	V	Zn
Minimum	۰/۲	۲/۸	۰/۱۱	۸	۸۳	۴۷	۲۰۳۵۷	۳۷۶	۱/۱۵	۵۸	۳۳	۵۲	۱۸۷
Maximum	۴	۱۱/۹	۰/۵	۱۳	۱۵۵	۲۰۰	۲۸۳۰۶	۵۷۵	۲۳/۷	۸۷	۱۵۸	۷۲	۸۲۳
Mean	۰/۶۳	۴/۹۱	۰/۲۳	۱۰/۹۵	۱۲۰/۰۵	۱۹/۳۵	۲۳۶۹۶/۹۵	۴۶۵/۶۵	۳/۵۷	۷۳/۱	۷۷/۹	۶۱/۲	۳۳۵/۸
Median	۰/۲۷	۴/۵	۰/۱۹	۱۱	۱۲۲	۸۹	۲۳۲۶۵/۵	۴۵۷	۱/۵	۷۴	۶۹/۵	۶۲	۳۰۷
Std. Deviation	۱/۱۳	۲/۲۲	۰/۱۰	۱/۳۹	۲۰/۲۹	۴۴/۰۱	۲۳۲۵/۵۷	۵۶/۵۱	۵/۲۱	۷/۹۰	۳۳/۷۷	۶/۱۲	۱۵۱/۲۲
Variance	۱/۲۸	۴/۹۵	۰/۰۱	۱/۹۴	۴۱۲/۰۵	۱۹۳۷/۷۱	۵۴۰۸۳۰۶/۳	۳۱۹۳/۸۱	۲۷/۱۶	۶۲/۵۱	۱۱۴۰/۷۲	۳۷/۵۳	۲۲۹۳۰/۰۶
Skewness	۲/۸۸	۱/۸۲	۲/۱۰	-۰/۲۹	-۰/۲۹	۱/۳۰	۰/۵۴	۰/۵۹	۳/۳۶	-۰/۱۰	۱/۲۵	-۰/۰۵	۱/۸
Kurtosis	۷/۰۲	۴/۲۴	۳/۶۴	-۰/۳۷	-۰/۷۷	۱/۳۷	-۰/۷۴	-۰/۵۰	۱۲/۶۱	-۰/۷۲	۱/۲۳	-۱/۰۳	۴/۶۴
UCC	۰/۰۵	۱/۵	۰/۰۹	۱۰	۳۵	۲۵	۳۵۰۰۰	۶۰۰	۱/۵	۲۰	۲۰	۶۰	۷۱

غبار خیابان آبادان در مقایسه با شهرهای لندن، پاریس، اتاوا، اولانباتور، دمشق و ورشو بیش‌تر است. میانگین غلظت منگنز و آهن در غبار خیابان آبادان از تمام شهرهای فوق بیش‌تر است. در مقابل، غلظت کادمیم در آبادان از همه این شهرها کمتر است. در هر صورت، هر منطقه ترکیب عنصری خاص خود را دارد و برخورداری از روشی استاندارد برای تحلیل نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های شهری ضرورت دارد [۱۳].

غلظت برخی از فلزات سنگین غبار شهر آبادان با غبار شهر تهران مقایسه شده است (شکل ۳). نتایج نشان‌دهنده بالا بودن میانگین غلظت نیکل در آبادان نسبت به شهر تهران است. منشأ نیکل می‌تواند ناشی از مصرف بالای گازوییل و سایر سوخت‌های فسیلی در منطقه باشد [۳۱]. سایر عناصر در تهران نسبت به آبادان غنی‌شدگی بیش‌تری نشان می‌دهند. علاوه بر این، غلظت فلزات سنگین در غبار خیابان آبادان با دیگر شهرهای جهان نیز مقایسه شد (جدول ۶). نتایج نشان می‌دهد که غلظت عنصر سرب در

جدول ۶. میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های غبار خیابان آبادان و شهرهای مختلف جهان

Site	Pb	Cu	Zn	Ni	Fe	Mn	Cd	
Abadan	۷۷/۹	۹۶/۳۵	۳۳۵/۸	۷۳/۱	۲۳۶۹۶/۹۵	۴۶۵/۶۵	۰/۲۳۲	Present work
Ma'an	۱۰۵	۲۶/۴۲	۲۶۰	۱۳۴	۶/۱۵	۱۰۵	۳/۲۱	Omar. (2013)
Kavala	۳۰۱	۱۲۴	۲۷۲	۵۸	-	-	۰/۲	Lu et al. (2009)
Luanda	۲۶۶	۳۸	۹۸	۱۰	-	۲۵۸	۱/۱	Baptista and De Miguel. (2005)
Bahrain	۶۹۷	-	۱۵۲	۱۲۶	-	-	۷۲	Akhter and Madany. (1993)
Amman	۲۳۶	۱۷۷	۳۵۸	۸۸	۷/۱۳	-	۱/۷	Al-khashman. (2007)
London	۱/۰۳	۱۵۵	۶۸۰	-	۲۶	-	۳/۵	Robertson et al. (2003)
Paris	۱/۴۵	۱/۰۷	۸۴۰	۲۵	-	-	۱/۷	Pagotto et al. (2001)
Ottawa	۳۹/۰۵	۶۵/۴۸	۱۱۲/۵	۱۵/۲	-	-	۰/۳۷	Rasmussen et al. (2001)
Ulaanbaatar	۶۳/۹	۳۵/۹	۱۵۸/۷	۱۸/۷	-	-	۰/۸	Batjargal et al. (2010)
Warsaw	۵۷	۳۱	۱۶۶	۱۲	-	-	۰/۷۳	Manta et al. (2002)
Damascus	۱۰	۳۰	۸۴	۳۵	-	-	-	Mo'ller et al. (2005)



شکل ۳. مقایسه غلظت فلزات سنگین در غبار خیابان آبادان با داده‌های تهران (Salman zadeh et al, 2012)

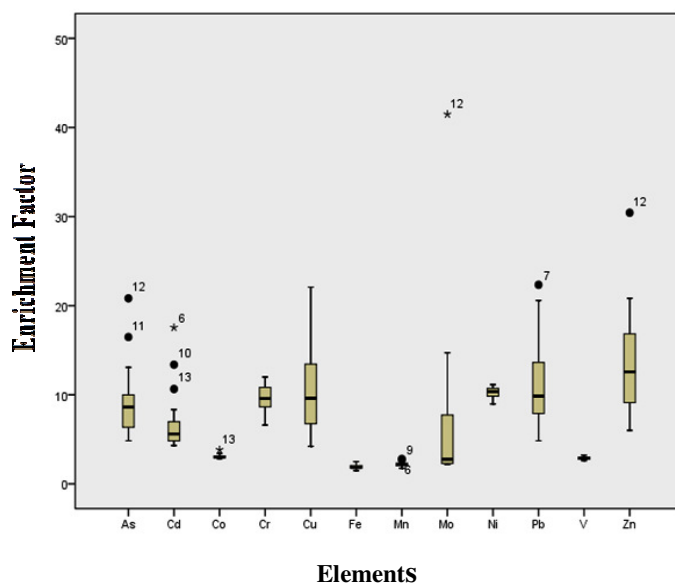
Ag> Zn> Pb> Cu> Ni> Cr> As> Cd> Mo> Co> V> Mn> Fe.

شکل ۴ گستره و میانگین ضریب غنی‌شدگی برای عناصر مورد نظر را نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌شود اغلب عناصر در بیش‌تر ایستگاه‌ها غنی‌شدگی قابل ملاحظه ($EF= 5-20$) را نشان می‌دهند. عناصر روی و آرسنیک، مس و سرب به ترتیب در ایستگاه‌های S12، S3 و S7 غنی‌شدگی بسیار بالایی ($EF= 20-40$) را آشکار ساختند. با توجه به این شکل، عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، مولیبدن، نیکل، سرب، و روی احتمالاً منشأ انسان‌زاد و عناصر کبالت، آهن، وانادیم و منگنز عمدتاً منشأ طبیعی دارند.

۳-۲- نتایج بررسی آلودگی فلزات در غبار خیابان

ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor) نشان‌دهنده مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به عبارت دیگر این ضریب بیانگر شدت تاثیر عامل خارجی (انسان‌زاد) می‌باشد البته هر نوع غنی‌شدگی را نمی‌توان به منشأ انسانی ارتباط داد بلکه عوامل طبیعی مانند نوع زمینه می‌تواند سبب غنی‌شدگی شود [۳۰].

نتایج ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین برای هر یک از نمونه‌های غبار خیابان در نمودار جعبه‌ای شکل ۴ ارائه شده است. روند کاهش میانگین مقدار ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه به قرار زیر است:



شکل ۴. نمودار جعبه‌ای ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در غبار خیابان آبادان

آلودگی متوسط است. نیکل در همه ایستگاه‌ها (به جز ایستگاه S7)، آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. نقره در ایستگاه S6 و S9، آلودگی بیشینه را نشان می‌دهد، و بیش‌ترین I_{geo} را دارد. شاخص زمین‌انباشت بیش‌تر عناصر در ایستگاه S12 بالاتر است، و نشانگر آلودگی بیش‌تر آن نسبت به سایر ایستگاه‌ها است.

نتایج شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی فلزات در غبار خیابان

در مطالعات زیست‌محیطی به ویژه زمانی که توزیع زمین شیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، باید روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های آلودگی ارزیابی شود. شاخص پتانسیل خطر

ضریب زمین‌انباشت (Geoaccumulation index)

نتایج ضریب زمین‌انباشت فلزات برای میانگین غلظت نمونه‌های غبار خیابان در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روند کاهش میانگین ضریب زمین‌انباشت عناصر مورد مطالعه به ترتیب زیر است:

Ag> Zn> Ni> Pb> Cu> Cr> As> Cd> Mo> Co> V> Mn> Fe.

شاخص زمین‌انباشت برای عناصر کبالت، منگنز، مولیبدن (به جز ایستگاه S3، S10، S11، S12) و وانادیم کمتر از صفر، و فاقد آلودگی است. این شاخص برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، سرب و روی در ایستگاه S2، بین صفر و یک، و نشانگر عدم آلودگی تا

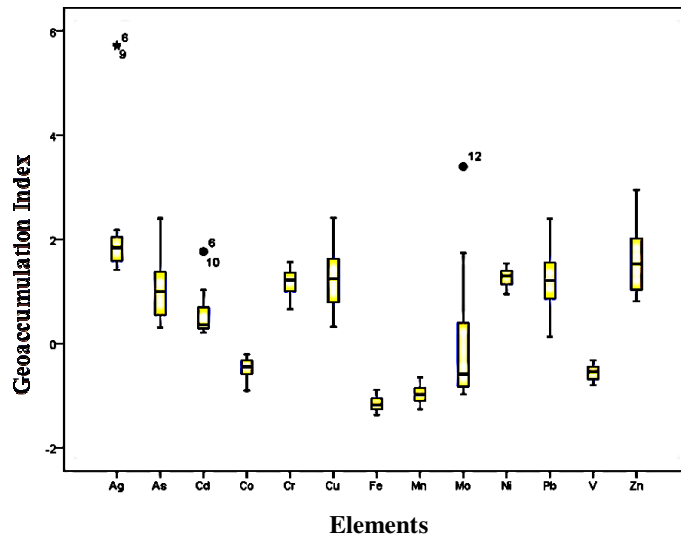
گستره RI در نمونه‌ها، بین ۱۲۳ و ۲۹۱، با میانگین ۱۷۲/۳۶ است. در ایستگاه‌های S3 (خیابان دبستان)، S4 (بازار ماهی فروشان)، S6 (چهارراه لین یک)، S9 (چهارراه امیری)، S10 (خیابان شاپور)، S11 (میدان انقلاب)، S12 (گیت ۱۳)، S13 (گیت ۱۸)، S15 (پل ایستگاه ۱۲)، S17 (دهکده بریم)، S19 (فلکه الفی) و S20 (فلکه ایستگاه ۷)، شاخص خطر بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ است، که با توجه به جدول رده‌بندی هاگانسون نشان‌دهنده خطر متوسط می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان فعالیت پالایشگاه و پتروشیمی، ترافیک و پر تردد بودن این خیابان‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها دانست. بنابراین، برنامه‌های پیشی ویژه‌ای برای کنترل آلودگی فلزات در مناطق ذکر شده، ضروری به نظر می‌رسد.

بوم‌شناختی (potential ecological risk index) از معیارهایی است که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمینه روند آلودگی را نشان می‌دهد [۲].

نتایج ارزیابی پتانسیل خطر بوم‌شناختی فلزات سمناک نمونه‌های غبار خیابان در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین غلظت ضریب خطر بالقوه بوم-شناختی (E_r^I) فلزات در منطقه از روند زیر پیروی می‌کند:

$$Cd > As > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn$$

با توجه به میانگین ضریب خطر، عنصر کادمیم در رده خطر متوسط و عناصر آرسنیک، سرب، مس، نیکل، کروم و روی در محدوده خطر پایین قرار دارند (شکل ۷). به منظور کمی کردن خطر کلی بوم‌شناختی فلزات در غبار خیابان با استفاده از مجموع ضرایب خطر بوم‌شناختی، RI برای تمام نمونه‌ها محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که



شکل ۵. نمودار جعبه‌ای ضریب زمین‌انباشت عناصر مورد مطالعه در غبار خیابان

۳-۳- نتایج ضریب همبستگی

ضریب همبستگی ارتباط بین توزیع عناصر مختلف را نشان می‌دهد، بطوری‌که اعداد مثبت نشان‌دهنده ارتباط مستقیم و اعداد منفی نشان‌دهنده ارتباط معکوس است. همچنین همبستگی بالا می‌تواند بیانگر انواع خاصی از آلودگی باشد [۲۴]. با توجه به چولگی اغلب عناصر در نمونه‌های غبار خیابان آبادان جای داشت که از یک روش آماری ناپارامتری استفاده شود. بنابراین از روش اسپیرمن برای محاسبه ضریب همبستگی استفاده شد. نتایج ضریب همبستگی عناصر برای ۲۰ نمونه غبار خیابان آبادان در جدول ۷ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده

همبستگی مثبت بسیار بالایی بین عناصر نیکل، آلومینیم، وانادیم، و اسکندیم ($r > 0.90, p < 0.01$)، و همبستگی مثبت بالایی بین عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی ($r > 0.74, p < 0.01$)، مشاهده شد. ضریب همبستگی بالای مثبت این عناصر می‌تواند در ارتباط با یکسان بودن منبع انتشار آن‌ها باشد. همبستگی مثبت متوسطی بین عناصر آرسنیک، کبالت، کروم و وانادیم ($r > 0.40$)، گوگرد و نقره ($r > 0.44, p < 0.05$) و هم‌چنین مس و کادمیم ($r > 0.40$) مشاهده شد. ضریب همبستگی متوسط این مجموعه عناصر می‌تواند نشان‌دهنده منشأ چندگانه آن‌ها باشد [۱].

جدول ۷. نتایج ضریب همبستگی بین عناصر در نمونه‌های غبار خیابان

	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	S	V	Zn	Sc	Al
Ag	۱															
As	۰/۱۹۸	۱														
Cd	۰/۳۵۴	۰/۲۹۸	۱													
Co	-۰/۰۳۴	۰/۴	۰	۱												
Cr	۰/۱۳۲	۰/۶۴۷**	۰/۲۰۳	۰/۵۲۰*	۱											
Cu	۰/۶۷۱**	۰/۳۶۵	۰/۴۰۹	۰/۰۷۳	۰/۳۶۴	۱										
Fe	۰/۲۵۱	۰/۳۶۷	۰/۲۶۱	۰/۸۸۶**	۰/۵۷۳**	۰/۵۸۴**	۱									
Mn	۰/۲۹۸	۰/۳۳۴	۰/۰۳۵	۰/۵۳۷*	۰/۳۸۲	۰/۱۹۵	۰/۵۵۶*	۱								
Mo	۰/۴۴۸*	۰/۴۴۶*	۰/۳۱۹	۰/۲۵۵	۰/۴۱۹	۰/۷۴۰**	۰/۵۳۵*	-۰/۱۴۷	۱							
Ni	-۰/۱۲۱	۰/۲۸۷	-۰/۰۸۱	۰/۸۸۷**	۰/۴۱۵	-۰/۰۹۱	۰/۶۲۴**	۰/۶۶۷**	-۰/۰۳۶	۱						
Pb	۰/۴۲۵	۰/۱	۰/۲۸۴	۰/۰۱۵	۰/۱۹۵	۰/۴۱۴**	۰/۵۴۲*	۰/۰۹۷	۰/۶۱۵**	-۰/۱۱۷	۱					
S	۰/۶۴۸*	-۰/۲۴۸	-۰/۲۸۴	-۰/۳۷۹	-۰/۴۶۷*	-۰/۰۰۷	-۰/۴۰۶	۰/۰۵۹	-۰/۱۸	-۰/۲۰۳	-۰/۲۰۸	۱				
V	۰/۰۰۸	۰/۴۰۹	-۰/۰۰۷	۰/۸۸۳**	۰/۵۹۷**	-۰/۰۰۲	۰/۶۴۱**	۰/۵۸۸**	۰/۱۵۸	۰/۹۳۸**	-۰/۰۴۷	-۰/۲۶۴	۱			
Zn	۰/۶۴۷**	۰/۳۸۵	۰/۲۵۴	۰/۳۲	۰/۳۹۱	۰/۸۶۹**	۰/۰۰۴**	۰/۳۴۱	۰/۷۲۵**	۰/۱۸۴	۰/۷۹۶**	-۰/۰۶۸	۰/۲۸	۱		
Sc	-۰/۱۹۳	۰/۲۳۹	-۰/۰۰۶	۰/۸۶۳**	۰/۴۱۴	-۰/۲۸۲	۰/۵۲۶*	۰/۵۹۰**	-۰/۱۵۳	۰/۹۳۵**	-۰/۲۲۱	-۰/۳۳۳	۰/۹۰۲**	۰/۰۲۱	۱	
Al	-۰/۰۵۹	۰/۳۲۲	۰/۰۴۱	۰/۸۶۲**	۰/۵۰۹*	-۰/۱۷	۰/۵۷۴**	۰/۶۳۶**	-۰/۰۵۳	۰/۹۱۸**	-۰/۱۴۵	-۰/۳۵۶	۰/۹۳۲**	۰/۱۲۷	۰/۹۷۵**	۱

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

شدگی و ضریب زمین‌انباشت نیز آن را تأیید می‌کند. عناصر موجود در این مولفه، فلزات اصلی مورد استفاده در وسایل نقلیه و ترکیبات گسیل شده از آگزوز اتومبیل‌ها، قطعات فلزی، لنت ترمز و چرخ اتومبیل‌ها است [۸، ۱۲]. در مولفه سوم عناصر نقره و گوگرد بیش‌ترین بار را داشته و ۱۳/۰۱ درصد از واریانس کل را تشکیل داده و تحت تاثیر منابع انسان‌زاد هستند. این عناصر احتمالاً منبع مستقلى نسبت به سایر عناصر دارند. منشا احتمالی گوگرد در منطقه مورد مطالعه فعالیت‌های صنعتی ناشی از فعالیت‌های نفتی (پالایشگاه) و وسایل نقلیه است. هم‌چنین باتری خودروها یکی از منابع آزادسازی نقره در مناطق شهری می‌باشد [۳۵].

۴- هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) در نمونه‌های غبار خیابان

هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH) طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی که از کربن و هیدروژن تشکیل شده است، را پوشش می‌دهد. کوچک‌ترین و ساده‌ترین هیدروکربن نفتی متان است و بزرگ‌ترین هیدروکربن نفتی به احتمال زیاد حاوی بیش از ۳۴ اتم کربن است.

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های غبار خیابان برای تعیین غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در جدول ۹ ارائه شده است. مقادیر میانگین و میانه TPH به ترتیب $4837/15 \mu\text{g/g}$ و $4376/5$ می‌باشد. بیشینه غلظت TPH در ایستگاه چهارراه لین یک ($S6=12381$) مشاهده شد. منشأ اصلی TPH‌ها در این منطقه می‌تواند ناشی از وسایل نقلیه و فعالیت پالایشگاه باشد. مقدار عددی کشیدگی ($1/10$) و چولگی ($1/15$) نشان می‌دهد که داده‌ها نرمال هستند و بهتر است از غلظت میانگین به عنوان غلظت

۳-۴- تحلیل مولفه اصلی (PCA)

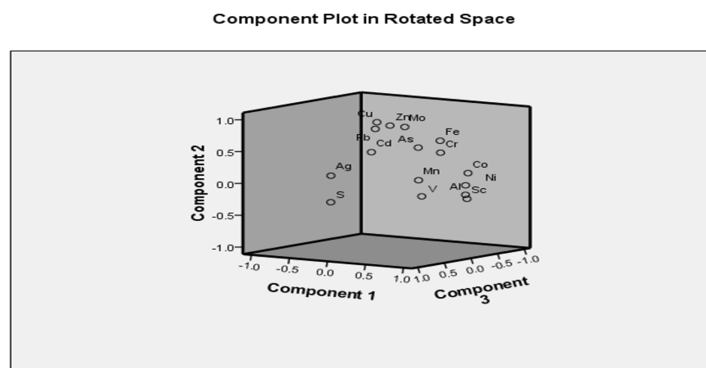
تحلیل مولفه اصلی (PCA) در کاهش داده‌ها، و استخراج فاکتورهای پنهان (مولفه‌های اصلی، PCs) در تحلیل روابط میان متغیرها، کاربرد گسترده‌ای دارد. رویکرد PCA هم‌چنین در تفکیک منابع مختلف آلودگی [۲۱]، و شناسایی متغیرهای کلیدی برای اهداف پایش زیست محیطی استفاده می‌شود [۳۲].

شکل ۶، نمودار ۳ بعدی بار عاملی مولفه‌های حاصل از تحلیل عاملی را نشان می‌دهد. عناصری که بیش‌ترین بار از هر یک مولفه را تشکیل داده‌اند، از نظر فضایی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، به طوری که به احتمال زیاد این فلزات از لحاظ منابع کنترل‌کننده نیز یکسان هستند. چنانچه که در شکل ۶ دیده می‌شود عناصر نقره و گوگرد ارتباطی کمی با سایر عناصر دارند که احتمالاً نشان‌دهنده منشا متفاوت آن‌ها است.

با توجه به نتایج حاصل از مولفه‌های اصلی در جدول ۸، سه مولفه بعد از چرخش وریمکس توانسته‌اند حدود ۷۳/۰۷ درصد از کل واریانس‌ها را توجیه کنند. در مولفه اول بیش‌ترین بار فلزات مربوط به عناصر نیکل، کبالت، آلومینیم، اسکاندیم، منگنز، آهن و کروم است که با توجیه حدود ۳۲/۲۶ درصد از کل واریانس، مهم‌ترین مولفه تغییر غلظت فلزات مورد بحث است. حضور آلومینیم و اسکاندیم در این گروه، به عنوان عناصر طبیعی، نشانگر رخداد زمین‌زاد بخشی یا همه این عناصر است. از سوی دیگر، در مولفه دوم بیش‌ترین بار فلزات مربوط به عناصر مس، روی، سرب و مولیبدن است که ۲۷/۷۹ کل واریانس را به خود اختصاص داده‌اند. این مجموعه عناصر عمدتاً منشا انسان‌زاد دارند که نتایج حاصل از محاسبه ضریب غنی

متوسط (TPH=۴۸۰۰-۹۶۰۰) و بالا (TPH>۹۶۰۰) تقسیم می‌شوند. بر این اساس ۶۰٪ نمونه‌ها در رده آلودگی پایین، ایستگاه‌های S1 و S2، S4، S7، S12، S15 در رده آلودگی متوسط (۳۰٪) و ایستگاه‌های S6 و S14 در رده آلودگی بالا (۱۰٪) قرار می‌گیرند.

زمینه استفاده شود. از این رو در این مطالعه با استفاده از جدول ۱۰ که نمونه‌های غبار را بر اساس کیفیت رده‌بندی نموده است، و شکل ۸ که توزیع مکانی TPH در غبار خیابان شهر آبادان را نشان می‌دهد، مقایسه و آلودگی موجود ارزیابی می‌شود. براساس این رده‌بندی نمونه‌های غبار به سه رده با TPH پایین (TPH<۴۸۰۰)،



شکل ۶. نمودار ۳ بعدی بار عاملی چرخش یافته

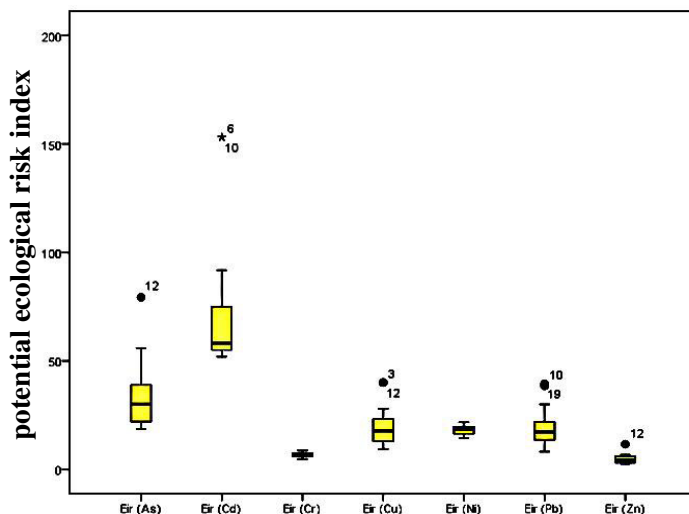
جدول ۸. نتایج آزمون تحلیل عاملی عناصر در نمونه‌های غبار خیابان

مولفه‌ها			عناصر
مولفه سوم	مولفه دوم	مولفه اول	
-۰/۱۲	۰/۰۰۲	۰/۹۵	نیکل
-۰/۱۳	-۰/۱۵	۰/۹۴	آلومینیم
-۰/۱۷	-۰/۲۲	۰/۹۳	اسکاندیم
-۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۹	کیالت
۰/۴۹	۰/۱۵	-۰/۷۷	منگنز
-۰/۱۷	۰/۴۹	۰/۵۸	کروم
۰/۱۶	۰/۹۳	-۰/۰۱	مس
۰/۱۸	۰/۹۰	۰/۱۷	روی
-۰/۱۶	۰/۸۲	۰/۱۲	مولیبدن
-۰/۰۴	۰/۷۸	-۰/۱۸	سرب
-۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۶۱	آهن
-۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۴	آرسنیک
۰/۰۸	۰/۴۴	-۰/۱۳	کادمیم
۰/۸۸	۰/۱۸	-۰/۱۱	نقره
۰/۸۳	-۰/۲۳	-۰/۱۵	گوگرد
-۰/۳۱	-۰/۲۷	۰/۲۴	وانادیم
۱۳/۰۱	۲۷/۷۹	۳۲/۲۶	واریانس نسبی توجیه شده (%)
۷۳/۰۷	۶۰/۰۶	۳۲/۲۶	واریانس تجمعی توجیه شده (%)

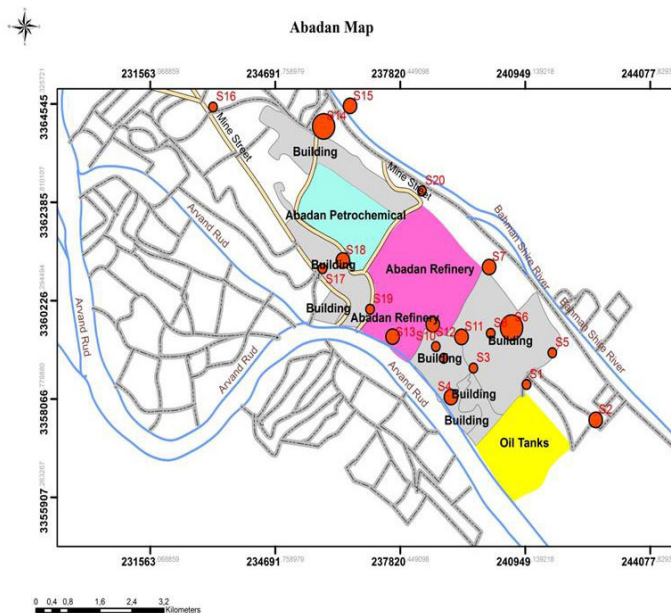
جدول ۹. نتایج آمار توصیفی TPH در نمونه‌های غبار خیابان

	Mean	Median	Mode	Max	Min	S.D	Variance	Skewness	Kurtosis	(CV)%
TPH	۴۸۲۷/۱۵	۴۳۷۶/۵	۱۱۱۶ ^a	۱۲۳۸۱	۱۱۱۶	۳۰۵۵/۶۴۴	۹۳۳۶۹۵۸	۱/۱۵۹	۱/۱۰۵	۰/۶۳۱۷۰۲

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown



شکل ۷. نمودار جعبه‌ای شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی عناصر در نمونه‌های غبار خیابان



Legend

- 1116.000000 - 4131.000000 ArvandRud
- 4131.000001 - 7512.000000 BahmanShirRiver
- 7512.000001 - 12381.000000 Main Street
- Sample Point
- Minor Street
- Abadan Petrochemical Complex
- Abadan Refinery
- Building
- Oil Tanks

شکل ۸. توزیع مکانی TPH در غبار خیابان شهر آبادان

جدول ۱۰. رده‌بندی بر مبنای میانگین غلظت TPH

Index method	Class	Unit	Description (pollution)	No of locations	%
TPH	۴۸۰۰ <	μg/g	Low	۱۲	۶۰%
	۹۶۰۰-۴۸۰۰		Medium	۶	۳۰%
	۹۶۰۰ >		High	۲	۱۰%

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که غبار خیابان شهر آبادان در بعضی ایستگاه‌ها به عناصر روی، آرسنیک، نیکل، کروم، مس و سرب، آلوده است. منابع احتمالی این عناصر، فعالیت صنعتی (پتروشیمی و پالایشگاه)، خوردگی و سایش قطعات خودروها و مواد گسیل شده از آگزوز اتومبیل‌ها است. هم‌چنین، افزایش غلظت عنصر سرب در ایستگاه خیابان شاپور و فلکه الفی، نشان دهنده نقش فعالیت پالایشگاه و سنگین تر بودن ترافیک و رفت و آمد اتومبیل‌ها است. حضور نیکل در این منطقه گرچه بیش‌تر نشان‌دهنده منشا طبیعی این عنصر است، اما می‌تواند منشا انسان‌زاد ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی هم داشته باشد. براساس نتایج حاصل از محاسبه ضرایب غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت، عناصر روی، مس، آرسنیک، سرب، نیکل، و کروم دارای آلودگی متوسط هستند. مقایسه غلظت این عناصر با غلظت آن‌ها در تهران و دیگر شهرهای جهان نشان‌دهنده بالاتر بودن غلظت میانگین عنصر نیکل در غبار خیابان آبادان نسبت به تهران است، در حالی‌که غلظت سایر عناصر در غبار خیابان تهران غنی‌شدگی بیش‌تری دارند. علاوه بر این غلظت عنصر سرب در غبار خیابان آبادان در مقایسه با شهرهای لندن، پاریس، اتاوا، اولانباتور، دمشق و ورشو بیش‌تر است. بیشینه غلظت TPH در ایستگاه چهارراه لین یک $S_6=12381$ منشأ اصلی TPH‌ها در این منطقه می‌تواند ناشی از وسایل نقلیه و فعالیت پالایشگاه باشد. مقایسه مجموع غلظت ترکیبات TPH با غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار شهر آبادان نشان می‌دهد که بیشینه غلظت فلزات سنگین و ترکیبات TPH در مناطق نزدیک به پالایشگاه با تراکم بالاتر اماکن مسکونی نسبت به سایر نقاط دیده می‌شود. بنابراین با توجه به رشد روز افزون این آلاینده‌ها در محیط زیست و تاثیر آن‌ها بر محیط، جای دارد تا از طریق همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی تلاش بیش‌تری در جلوگیری و کنترل آلودگی‌های ناشی از این عناصر و TPH‌ها در شهر آبادان انجام شود.

تشکر و قدرانی

بدین‌وسیله نویسنده مقاله مراتب تشکر و قدرانی خود را از سازمان حفاظت محیط زیست آبادان که زمینه لازم برای انجام این تحقیق را فراهم آوردند ابراز می‌دارد.

منابع

- [1] Abbasi, M. N., Tufail, M., Chaudhry, M.M (2013) Assessment of Heavy Elements in Suspended Dust Along the Murree Highway Near Capital City of Pakistan, World Applied Sciences Journal 21 (9): 1266-1275.
- [2] Addo, M. A., Darko, E.O., Gordon, C., Nyarko, B. J. B., Gbadago, J. K (2012) Heavy Metal Concentrations in Road Deposited Dust at Ketu-South District, Ghana, International Journal of Science and Technology.
- [3] Ahmadi, M., Teymouri, P., Dinarvand, F., Hoseinzadeh, M., Babaei, A.A., Jaafarzadeh, N (2014) Municipal Solid Waste Landfill Site Selection using Analytical Hierarchy Process Method and Geographic Information System in Abadan, Iran, Iranian journal of health sciences 2 (1): 37-50.
- [4] Akhter, M., Madany, IM (1993) Heavy metal in street and house dust in Bahrain Water Air Soil Pollut, Kluwer Academic Publishers 66:111-119.
- [5] Al-Khashman, O.A (2007b) The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba City, Jordan, Environ Geochem Health 29:197-207.
- [6] Al-Khashman, O.A (2013) Assessment of heavy metals contamination in deposited street dusts in different urbanized areas in the city of Ma'an, Jordan. Environ Earth Sci, pp 1-10.
- [7] Anju, M., Banerjee, D.K. (2011) Associations of cadmium, zinc, and lead in soils from a lead and zinc mining area as studied by single and sequential extractions, Environ Monit Assess 176:67-85.
- [8] Arditsoglou, A., Samara, C (2005) Levels of total suspended particulate matter and major trace elements in Kosovo: a source identification and apportionment study, Chemosphere, 669-678.
- [9] Baptista, LF., De Miguel, E (2005) Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola, Tropical urban Environ Atmos Environ 39:4501-4512.
- [10] Basha, S., Gaur, P.M., Thorat, R.B., Trivedi, R.H., Mukhopadhyay, S.K., Anand, N., Desai, S.H., Mody, K.H., Jha. B (2007) Heavy Metal Content of Suspended Particulate Matter at Worlds Largest Ship-Breaking Yard, Alang-Sosiya, India.:373-384.
- [11] Batjargal, T., Otgonjargal, E., Baek, K., Yang, JS (2010) Assessment of metals contamination of soils in Ulaanbaatar, Mongolia, J Hazard Mater 184:872-876.
- [12] Bhattacharya, T., Chakraborty, S., Fadadu, B., and Bhattacharya, Piyal (2011) Heavy Metal concentrations in Street and Leaf Deposited Dust in Anand City, India.

- the soils of the Damascus Ghouta, See discussions, stats, and author profiles for this publica
<http://www.researchgate.net/publication/223301208> 124:63–71.
- [27] Pagotto, C., Remy, N., Legret, M., Le Cloirec, P (2001) Heavy metal pollution of street dust and street side soil near a major rural highway. *Environ Technol* 22:307–319 Rasmussen PE, Subramanian KS, Jessiman B.
- [28] Rasmussen, PE., Subramanian, KS., Jessiman, BJ (2001) A multielement profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Sci Total Environ* 267:125–140.
- [29] Robertson, DJ., Taylor, KG., Hoon, SR (2003) Geochemical and mineral magnetic characterization of urban sediment particulate, Manchester, UK, *Appl Geochem* 18:269–282.
- [30] Sampson Atiemo, M., Francis Ofose., G., Kuranchie-Mensah, H., Osei, Tutu. A., Linda Palm, N.D.M., Arthur Blankson, S (2011) Contamination Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Selected Roads in Accra, Ghana, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(5): 473-480.
- [31] Selinus, O (2014) *Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*, Publish in Geosciences.
- [32] Shine, P.K.S., Lam, W.K.C (2001) Development of a marine sediment pollution index. *Environmental pollution*, Vol. 113, pp. 281-291.
- [33] Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, *Environmental Geology*. 39, 611-627.
- [34] Tabatabaie, T., Amiri, F., Abdul Rashid, b., Shariff, M (2012) GIS-based approach to evaluate heavy metals in urban street dusts of southwest Iran (Case study Bushehr), *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 3, Issue 8.
- [35] Taylor, S.R., and McLennan, S.M (1985) *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Carlton, 312 p.
- [36] Wang, J., Liu, W., Yang, R., Zhang, L., Ma, J (2013) Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine, *Disaster Advances* Vo 1 .6 (S3), pp 366-377.
- [37] Wei., B, and Yang, L (2010) A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban roads, urban road dust and agricultural soils from China” *Microchemical Journal*, 94, 99-107.
- [38] Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E.S (2006) Multivariate analysis
- [13] Binggan, Wei., Fengqing, Jiang., Xuemei, Li., Shuyong, Mu (2010) Contamination level assessment of potential toxic metals in road dust deposited in different types of urban environment, *Environment Earth Sci* 61:1187-1196.
- [14] Cheng, H., Li, M., Zhao, C., Li, K., Peng, M., Qin, A., Cheng, X (2014) Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China, *Journal of Geochemical Exploration* 139, 31–52.
- [15] Christoforidis, A., and N, Stamatis (2009) Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece, *Geoderma*, 151: 257-263.
- [16] Eby, G. N (2004) “Principle of environmental geochemistry”, Thompson, 515 pp. Ferguson, JE.,
- [17] Kim, N (1991) Trace elements in street and house dusts source and speciation, *Sci Total Environ* 100:125–150.
- [18] G, Muller (1969) Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, *Geol. J.* 2 108–118.
- [19] Hakanson, L (1980) Ecological risk index for aquatic pollution control, sedimentological approach, *Water Research*, 14, pp 975–1001.
- [20] Kabadayi, F., Cesur, H (2010) Determination of Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, and Mn in road dusts of Samsun City, *Environ Monit Assess* 168:241–253.
- [21] Kim, M., Kennicutt, M.C., Qian, Y (2006) Molecular and stable carbon isotopic characterization of PAH contaminants at McMurdo Station, Antarctica, *Marine pollution Bulletin*, Vol. 52, pp. 1585-1590.
- [22] Lee, H.Y., Chon, H.T., Sager, M., Laszlo, M (2012) Platinum pollution in road dusts, roadside soils and tree barks in Seoul, Korea, *Environ Geochem Health*. pp 5–12.
- [23] Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J., Zhai, Y (2009) Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China, *J Hazard Mater* 161:1058–1062.
- [24] Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., Sprovieri, M (2002) Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy, *Sci Total Environ* 300:229–243.
- [25] Meza-Figueroa, D., De la O-Villanueva, M., De la Parra, M. L (2007) Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, M´ exico, *Atmos. Environ.* 41 276–288.
- [26] Mo‘ller, A., Muller, HW., Abdullah, A., Abdelgawad, G., Utermann, J (2005) Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in

of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China, 176 – 186.

- [39] Zhang, J., Deng, H., Wang, D., Chen, Zh., Xu, Sh (2013) Toxic heavy metal contamination and risk assessment of street dust in small towns of Shanghai suburban area, China, pp 323–332.

Environmental geochemistry of heavy metals and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) compounds in street dust of Abadan city

A. Ghasemi

Faculty of Earth Science, Shiraz University, Shiraz

* azadehghasemi1456@yahoo.com

Received: 2014/12/15 Accepted: 2015/11/13

Abstract

The aim of this study was to assess heavy metals pollution and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in street dust of Abadan city in Khuzestan province. For this purpose, Enrichment Factor (EF), Geoaccumulation index (I_{geo}) and Potential ecological risk index was calculated. twenty street dust samples were collected and concentrations of heavy metals and some (TPH) were measured using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) and gas chromatography flame ionization, respectively. The results based on the mean concentration of metals show a decreasing trend: as $Fe > Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > V > Co > As > Mo > Ag > Cd$. Judging from calculated Enrichment Factors (EF), most elements display significant pollution in most stations. Station 12 indicated higher contamination compared with other stations according to I_{geo} . Principal Component Analysis (PCA) revealed that Ni, Co and Cr mainly originate from natural source, while other elements come from antropogenic sources. These results are confirmed by those obtained from calculating EF and I_{geo} . The maximum content of TPH occurs at Lane-yek cross. The major sources of TPH are probably vehicles and Abadan refinery.

Keywords: Heavy metals, Total Petroleum Hydrocarbons, Enrichment Factor, Geoaccumulation index, Potential ecological risk index, Statistical methods, Abadan.