

بررسی وضعیت آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه پتروشیمی و پالایشگاه مجاور پناهگاه حیات وحش قمیشلو

لیلا دواشی^{۱*}، حمیدرضا عظیمزاده^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی- پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۱۵)

چکیده

افزایش غلظت فلزات سنگین همچون سرب، کادمیوم، نیکل، کروم و روی زبان‌های قابل ملاحظه‌ای بر خاک و محیط زیست دارد. این عناصر برای انسان و حیات وحش نیز زیان‌بارند. منشأ برخی از این ترکیبات خطرناک کارخانه‌های پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه‌هاست که سبب افزایش ترکیبات سرطان‌زا و نژندزا به محیط زیست است. هدف از مطالعه حاضر بررسی آلودگی خاک به عناصر سنگین ناشی از پالایشگاه، نیروگاه و پتروشیمی اصفهان در مجاورت پناهگاه حیات وحش قمیشلو است. در این مطالعه، ۲۵ نمونه خاک از شعاع ۱/۵ کیلومتری اطراف صنایع برداشت شد. مقادیر زمینه با حفر پروفیل خاک و نمونه‌برداری از لایه‌های عمقی مواد مادری خاک تخمین زده شد. فلزات سنگین با روش ایزو ۱۱۴۶۶ استخراج و سپس با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل Analytic jena- 350 اندازه‌گیری شد. شاخص‌های I_{geo} و PI_i محاسبه و مقایسه شد. مقادیر شاخص‌ها از زیاد به کم ترتیب؛ کادمیوم، سرب، نیکل، روی و کروم به دست آمد. نتایج مقایسه شاخص‌ها نشان داد، در شرایط یکسان از نظر غلظت آلاینده، شاخص I_{geo} ، آلودگی را در کلاس‌های پایین‌تری نسبت به PI_i طبقه‌بندی می‌کند. علاوه بر آن نتایج نشان‌دهنده اختلاف دو شاخص mCd و IPI نیز در کلاس‌های کم آلودگی است. در سایر طبقات کلاس‌بندی آلودگی (متوسط و زیاد)، هر دو شاخص انطباق مناسبی دارد. مطابق نتایج پژوهش، حواشی صنایع پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه، شاخص IPI آلودگی در دامنه متوسط تا زیاد برآورد شد در حالی است که با توجه به شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی mCd کلاس کیفی آلودگی کم تا متوسط است.

کلیدواژه‌گان: پالایشگاه، عناصر سنگین، قمیشلو، mCd ، I_{geo} .

۱. مقدمه

مشتقات نفتی و فلزات سنگین. فلزات سنگین یا به عبارتی عناصر کمیاب در صنعت به‌طور ویژه‌ای به کار برده می‌شوند اما عناصری همانند کادمیوم، جیوه و سرب به‌طور خاصی نگران‌کننده هستند چون سلامت بشر را به خطر می‌اندازند و پژوهش‌های نشان می‌دهد بسیاری از مناطق نزدیک معادن و نقاط شهری (پرتراپیک) مقادیر بالاتری از این فلزات را دارند. (Fontanetti *et al.*, 2011).

Skrbic & Mladenovic (2011) آلودگی خاک مناطق شمال صربستان، منطقه نووی و بخشی از بوسنی و هرزگوین را بررسی کردند. در این مقاله اشاره شده است که آلودگی خاک به نیکل و کروم حاصل فعالیت‌های انسانی و کشاورزی است و همچنین نشان دادند کاهش معناداری از محتوای عناصر به‌ویژه در مورد عناصری همچون سرب، نیکل و کروم با افزایش فاصله از لبه جاده برحسب استانداردهای موجود نشان می‌دهد.

با استفاده از گیاهان بحث تخلیه فاضلاب‌ها به‌ویژه فاضلاب‌های صنعتی به‌دلیل ماهیت سمیشان به محیط زیست اهمیت این امر را دوچندان می‌کند. فلزات سنگین همچون کادمیوم، سرب و وانادیوم از آلاینده‌های مهم صنایع نفت و گاز هستند، آتشفشانی و همکاران در این مقاله با هدف بررسی کارایی کاهش فلزات سنگینی همچون سرب و کادمیوم از فاضلاب خروج پالایشگاه با استفاده از گیاه نی به این نتیجه رسیدند که روش تالابی می‌تواند در کاهش این فلزات مؤثر باشد (Atashgahi *et al.*, 2011).

فاضلاب پالایشگاه نفت حاوی مواد مختلفی همچون نفت، گریس، فنل، سولفید، آمونیاک، مواد جامد معلق، سیانیدها، نیتروژن و فلزات سنگینی همچون کروم، آهن، نیکل، مس، مولیبدن، سلنیوم، وانادیوم و روی است. به‌طور کلی، ترکیبات نفت شامل پنج نوع ترکیب اصلی همچون آلکان‌ها، پارافین، سیکلوآلکان، ترکیبات سولفور و همچنین فلزات سنگین است (Wake., 2004).

صنایع پتروشیمی و نفت به‌منزله منابع انتشاردهنده آلاینده‌های آلی و غیرآلی و عناصری نظیر وانادیوم، آرسنیک و کروم است که به‌راحتی می‌توانند در هوا انتشار یابند. این در حالی است که

عناصر سنگین به‌طور طبیعی در سنگ‌ها و خاک‌ها وجود دارند اما مقدار این عناصر در خاک‌ها بر اثر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی انسان در حال افزایش است. ارزیابی مقدار غلظت عناصر سنگین در سیستم خاک-آب-گیاه به‌دلیل تأثیر این مواد بر زنجیره غذایی و سلامت گیاهان و جانوران اهمیت زیادی دارد جعفرنژادی و همکاران با پژوهش خود ویژگی‌های مهم مؤثر خاک بر غلظت کل و قابل جذب کادمیوم و تجمع آن در بذر گندم در خاک‌های آهکی استان خوزستان را بررسی کردند و نتیجه مطالعاتشان مشخص کرد که فراهمی کادمیوم قابل جذب خاک برای گیاه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک و گونه گندم است (Jafar nejadi *et al.*, 2012).

سمی بودن بالای فلزات سنگین و افزایش غلظت آن‌ها در محیط زیست لزوم پایش زمانی و مکانی آن‌ها را ایجاد می‌کند خراسانی و همکاران در مقاله خود به مطالعه اثر آب آلوده به فلزات سنگینی همچون کادمیوم، کروم، نیکل، سرب روی عضله ماهی شوریده به این نتیجه رسیدند که غیر از کادمیوم و نیکل مابقی عناصر کمتر از حد استاندارد who هستند (Khorasani *et al.*, 2013).

افزایش غلظت فلزات سنگین منجر به اثرات منفی بر سلامتی همانند بیماری‌های سیستم عصبی، تغییر شکل سلول‌های خونی و کاهش بهره هوشی می‌شود، بعضی فلزات نظیر سرب، آرسنیک، جیوه و کادمیوم در غلظت‌های خیلی کم سمی هستند و آلودگی ایجاد می‌کنند به‌طوری‌که عامل ایجاد بیماری‌هایی مانند سرطان می‌شود و کودکان نسبت به نوجوانان و بزرگسالان بیشتر در معرض آسیب‌اند (khairy *et al.*, 2010).

آلودگی خاک از اواسط دهه ۱۹۸۰ تبدیل به یک مشکل جهانی گسترده شده است. گروهی از منابع آلاینده خاک مربوط به اکتشافات نفت، تولید، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، توزیع و دفع نهایی زایدات این ترکیبات است. این صنایع می‌تواند برای محیط زیست در صورتی که آلاینده باشند ایجاد خطر کند (yeung *et al.*, 1997).

دو عاملی که خاک را آلوده می‌کند عبارت است از

(PI_i)^۵ را به ترتیب برای عناصر کادمیوم؛ ۰/۷۲- و ۰/۹۲، سرب؛ ۰/۱ و ۱/۶۶، نیکل؛ ۱/۱۱ و ۰/۷۲ و همچنین روی؛ ۰/۳- و ۱/۲۸ به دست آوردند.

برای ارزیابی غلظت سرب، روی و نیکل در غبار خیابان شهر بائوچی چین Lu et al. (2008) شاخص‌های I_{geo} و PI_i را به ترتیب برای سرب؛ ۳/۱۹ و ۱۵/۷۲، روی؛ ۲/۵۸ و ۹/۶۴ و نیکل؛ ۰/۱۷ و ۱/۸۲ محاسبه کردند و دریافتند بیشترین سرب از نواحی صنعتی آهن و فولاد، کک و سیمان و کمترین این عنصر را در مناطق مسکونی می‌توان یافت و در کل منابعی که سرب از آن ناشی می‌شود در فعالیت‌های صنعتی و خودروها متمرکز است.

طی بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه شهری در چین Mei et al. (2011) شاخص انباشت زمین یا I_{geo} را برای عناصری همچون روی و سرب ۱/۶ و ۰/۴۴ به دست آوردند و دریافتند که فلزات سنگین خطرهای محیط زیستی ویژه‌ای را ایجاد می‌کند که ارزیابی اثرات آلودگی را الزامی می‌کند.

برای بررسی سطح آلودگی خاک شاخص‌های مختلفی از قبیل I_{geo}، PI_i، شاخص تجمعی آلودگی (IPI)^۶ و درجه آلودگی (mCd)^۷ محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه اطراف منطقه پالایشگاه، بر اثر رفت و آمد و حمل و نقل مواد نفتی پتانسیل آلودگی به فلزات سنگین را دارد لذا، مقاله حاضر سعی در بررسی آلودگی فلزات سنگین موجود در منطقه و اندازه‌گیری سه شاخص فوق‌الذکر کرده است. هدف از مقاله حاضر بررسی تغییرات عناصر سنگین نظیر سرب، کادمیوم، کروم، نیکل و روی در محدوده اطراف کارخانه پتروشیمی و پالایشگاه اصفهان در خاک اطراف است. در این پژوهش به شاخص‌های انباشت زمینی و تجمعی آلودگی نیز محاسبه و بحث شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مطالعه شده

در فاصله پنج کیلومتری ضلع شمال غربی شهر

مقدار معنادار آلاینده‌های آلی نظیر VOC's^۱، هیدروکربن‌های حلقوی (PAH's)^۲ PCB's^۳ و فلزات سنگین در مناطق نفتی می‌تواند محیط زیست را آلوده کند (Nadal et al., 2006).

انتشار گاز و پخش مواد زائد جامد از صنایع به محیط یکی از نگرانی‌های اصلی زیست‌محیطی است. احتراق سوخت‌های فسیلی و زغال‌سنگ برای تولید الکتریسته در نیروگاه‌های حرارتی و فرایندهای فراوری مواد نفتی ترکیبات پیچیده آلاینده را در محیط پراکنده می‌کند. در اتمسفر حتی زمانی که ابزارهای کنترل آلودگی به کار گرفته می‌شود در بین عناصر و آلاینده‌های تولیدی از صنایع نفت، آرسنیک، کروم، سرب، وانادیوم و روی وجود دارد. این عناصر در هوا انتشار می‌یابد و مدت‌های طولانی در خاک باقی می‌ماند (Alonso et al., 2011).

این مهم به خوبی شناخته شده است که تعداد زیادی از صنایع پتروشیمی و کارخانه‌های پالایش نفت مواد سمی از جمله عناصر سنگین را در محیط منتشر می‌کند. علاوه بر آن ترکیباتی همانند هیدروکربن‌ها، پلی‌آروماتیک‌ها، ترکیبات جهش‌زا و سرطان‌زا نیز به شکل گاز به اتمسفر راه می‌یابد. فاضلاب‌ها و پسماندهای پتروشیمی همچنین مواد آلاینده را به محیط می‌افزاید. این مواد علاوه بر اتمسفر خاک را هم آلوده می‌کند. عناصری نظیر کادمیوم، جیوه، سرب، نیکل، آرسنیک، وانادیوم و روی در این مواد وجود دارد، که این مواد در ایجاد بیماری‌هایی همچون سرطان ریه نقش بسزایی دارد. استنشاق دود حاصل از هر کدام از این فلزات برای سلامت حیوانات و انسان‌ها مضر است (Nadal et al., 2003).

Faiz و همکاران (۲۰۰۹) به این نتیجه رسیدند با وجودی که استفاده از سرب در فرآورده‌های نفتی از جمله بنزین از سال ۲۰۰۵ ممنوع شد، لیکن بالاترین غلظت سرب در مکان‌هایی با بار ترافیکی بالاست و به‌منظور تعیین آلودگی غبار جاده در پاکستان شاخص‌های انباشت زمینی (I_{geo})^۴ و آلودگی

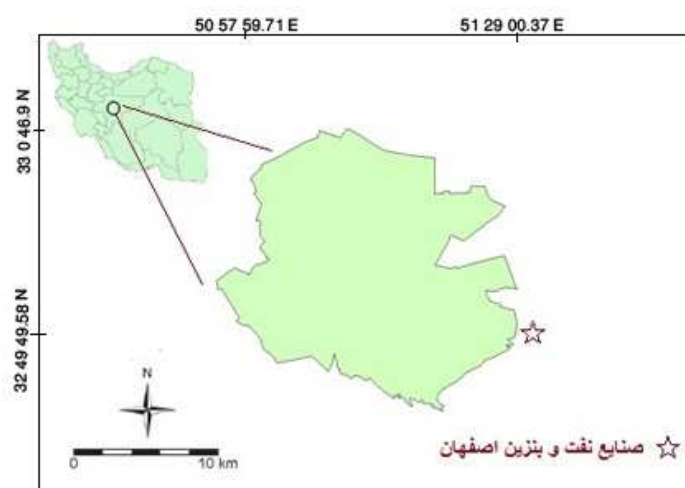
5. Pollution Index
6. Integrating Pollution Index
7. Degree of Contamination (C_d)

1. Volatile Organic Compounds
2. Polycyclic aromatic hydrocarbons
3. Polychlorinated Biphenyls
4. Geo-accumulation Index

اصفهان و در زمینی به وسعت بیش از چهار کیلومترمربع شرکت پالایش نفت اصفهان جایگاه ویژه‌ای را در میان صنایع منطقه به خود اختصاص داده است. در بهمن‌ماه سال ۱۳۵۸ پالایشگاه اصفهان با ظرفیت ۲۰۰ هزار بشکه در روز راه‌اندازی شد. نفت خام مورد نیاز شرکت پالایش نفت اصفهان از حوزه نفتی مارون، در فاصله ۷۰ کیلومتری اهواز، از طریق هفت ایستگاه تقویت فشار و با خط لوله‌ای به طول ۴۳۰ کیلومتر تأمین می‌شود. نیروگاه شهید منتظری در شمال اصفهان جنب پالایشگاه در زمینی به وسعت ۲/۲ کیلومترمربع

اصفهان و در زمینی به وسعت بیش از چهار کیلومترمربع شرکت پالایش نفت اصفهان جایگاه ویژه‌ای را در میان صنایع منطقه به خود اختصاص داده است. در بهمن‌ماه سال ۱۳۵۸ پالایشگاه اصفهان با ظرفیت ۲۰۰ هزار بشکه در روز راه‌اندازی شد. نفت خام مورد نیاز شرکت پالایش نفت اصفهان از حوزه نفتی مارون، در فاصله ۷۰ کیلومتری اهواز، از طریق هفت ایستگاه تقویت فشار و با خط لوله‌ای به طول ۴۳۰ کیلومتر تأمین می‌شود.

نیروگاه شهید منتظری در شمال اصفهان جنب پالایشگاه در زمینی به وسعت ۲/۲ کیلومترمربع



شکل ۱. موقعیت پالایشگاه و مجموعه صنایع نفتی در کنار پناهگاه حیات وحش قمیشلو

سرپوش‌دار حرارت داده شد. نمونه با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت فلزات سنگین نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل Analytic jena- 350 اندازه‌گیری شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS v.16 تجزیه و تحلیل شد. به‌منظور تعیین تعداد کافی نمونه، از فرمول کریز (۱۹۹۹) (معادله ۱) استفاده شد که در آن t_{α}^2 مقدار t (در سطح معناداری ۵ درصد، معادل ۱/۹۶ با در نظر گرفتن درجه آزادی بی‌نهایت)، CV ضریب تغییرات، d نسبت صحت مورد نیاز و N_{sample} تعداد نمونه مورد نیاز است (نقل از بی‌همتا و زارع‌چاهوکی، ۱۳۸۹).

۲.۲. روش کار

پس از بررسی نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا ۲۵ نمونه خاک از شعاع دو کیلومتری اطراف مجموعه صنعتی (پالایشگاه، نیروگاه و پتروشیمی) جمع‌آوری شد. بخش شرق این محدوده با اراضی پناهگاه حیات وحش قمیشلو هم‌جوار است. در مرحله نمونه‌برداری از خاک کلیه نکات کنترل کیفی نمونه‌برداری رعایت شد. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه براساس استاندارد ایزو ۱۱۴۶۶ آماده‌سازی شد. بدین صورت که ابتدا سه گرم نمونه خاک از الک ۲۵۰ میکرون عبور داده شد و در ۲۱ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک و بعد ۷ میلی‌لیتر اسیدنیتریک هضم شد. پس از ۱۶ ساعت نگهداری در دمای اتاق، به‌مدت دو ساعت ملایم در دستگاه هضم

تجمعی تغییرات آلودگی تمام آلاینده‌های اندازه‌گیری شده از دو شاخص IPI و mC_d (درجه آلودگی اصلاح شده) هم استفاده شد.

IPI در واقع میانگین هندسی شاخص PI_i است. محاسبه شاخص IPI با محاسبه میانگین هندسی PI_i پنج فلز سنگین در هر نقطه انجام شد. Hakanson (1980) شاخص دیگر آلودگی را با نام درجه آلودگی ارائه کرد که در سال ۲۰۰۵، Abraham آن را به صورت mC_d ارائه کرد.

$$C_d = \sum_{i=1}^n PI_i \quad (5)$$

$$mC_d = \sum_{i=1}^n PI_i / n \quad (6)$$

که در آن C_d حاصل جمع شاخص انواع آلاینده‌ها و mC_d میانگین حسابی شاخص آلودگی PI_i است. غلظت زمینه (B_i) هر یک از آلاینده‌ها با استفاده حفر پروفیل خاک و بررسی تغییرات غلظت هر عنصر تا عمق خاک انجام شد. در جدول ۱ محدوده کلاس‌های طبقه‌بندی کیفی آلودگی برای شاخص‌های بررسی شده ارائه شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی کیفی شاخص تجمع زمینی و شاخص آلودگی

کلاس آلودگی	طبقه کیفی آلودگی	شاخص آلودگی IPI	طبقه کیفی آلودگی	شاخص تجمع زمینی (I_{geo})	درجه آلودگی اصلاح شده (mC_d)	غیر آلوده تا کم
۱	کم	$IPI \leq 1$	غیر آلوده	کمتر از صفر	$mCd < 1/5$	کم
۲	متوسط	$1 < IPI \leq 2$	غیر آلوده تا متوسط	۰-۱	$1/5 \leq mCd < 2$	متوسط
۳	زیاد	$IPI \geq 2$	متوسط تا زیاد	۱-۲	$2 \leq mCd < 4$	زیاد
کلاس آلودگی	طبقه کیفی آلودگی	شاخص آلودگی (PI)	متوسط تا زیاد	۲-۳	$4 \leq mCd < 8$	خیلی زیاد
۱	کم	$PI \leq 1$	زیاد	۳-۴	$8 \leq mCd < 16$	شدید
۲	متوسط	$1 < PI \leq 3$	زیاد تا خیلی زیاد	۴-۵	$16 \leq mCd < 32$	بسیار شدید
۳	زیاد	$PI > 3$	خیلی زیاد	بیشتر از ۵	$mCd > 32$	

کادمیوم (۶۱/، ۳/۳۳)، کروم (۲۴/۱۴، ۹۳/۹۴)، نیکل (۳۷/۱۹، ۳۶/۳۷) و روی (۷/۳۹، ۱۳۳/۱۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم. غلظت عناصر در جدول ۲ مشخص شده است. آمار توصیفی عناصر که در جدول ۳ بیان شده است نتایج نشان می‌دهد، بیشترین دامنه تغییرات مربوط به روی و کمترین آن متعلق به کادمیوم است.

۳. نتایج

$$N_{\text{sample}} = \frac{t_a^2 CV^2}{d^2} \quad (1)$$

نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها به روش کلموگروف اسمیرنوف آزموده شد (بی‌همتا و زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). برای بررسی وضعیت آلودگی از شاخص انباشت زمینی (I_{geo})، شاخص آلودگی (PI_i) و شاخص تجمعی آلودگی (IPI) که توسط Muller در سال ۱۹۷۹ ارائه شد، استفاده شد.

$$I_{geo} = \log_r \left(\frac{C_i}{1.5B_i} \right) \quad (2)$$

$$PI_i = \frac{C_i}{B_i} \quad (3)$$

$$IPI = \left(\prod_{i=1}^n PI_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

که در آن؛ C_i ، غلظت آلاینده i -ام و B_i غلظت زمینه ناشی از ژنز سنگ مادری آلاینده، و در فرمول ۴ PI_i شاخص آلودگی مربوط به آلاینده i -ام و n تعداد آلاینده‌ها (در این پژوهش پنج عنصر سنگین سرب، کادمیوم، نیکل، کروم و روی) است. به‌منظور تعیین

غلظت عناصر نقاط اندازه‌گیری شده به شرح زیر است: غلظت فلزات سنگین در ۲۵ نمونه خاک اطراف پالایشگاه اندازه‌گیری شد. مقدار کمترین و بیشترین عناصر به ترتیب شرح زیر است: سرب (۴۳/۶۶، ۴۱/۹)،

روی و کادمیوم به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵، ۱۵ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

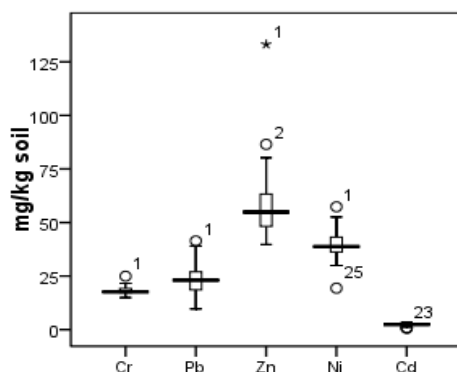
نتایج تغییرات هر یک از عناصر سنگین در نیمرخ خاک مقدار زمینه عنصر مورد نظر را در بستر و زمینه محدود مطالعه شده در شکل ۳ نشان داده شده است. بدین ترتیب مقدار زمینه برای کروم، سرب، روی، نیکل و کادمیوم به ترتیب ۱۷/۲۸، ۱۰/۵۰، ۳۹/۰۰، ۲۱/۰۰ و ۰/۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد.

در این میان پس از روی بیشترین محدوده تغییرات به ترتیب مربوط به نیکل، سرب و کروم است. آزمون نرمال بودن به روش کلموگرف- اسمیرنوف (جدول ۳) نشان داد، تمامی عناصر سطح معناداری بیش از ۵ درصد دارد لذا، توزیع داده‌ها نرمال است.

آزمون حد کفایت تعداد نمونه مطابق جدول ۳ انجام شد. نتایج نشان می‌دهد با در نظر گرفتن خطای ۵- ۱۵ درصد در نمونه برداری حد کفایت تعداد نمونه رعایت شده است. مقدار خطا برای کروم، نیکل، سرب،

جدول ۲. غلظت عناصر اندازه گیری شده در ۲۵ نقطه نمونه برداری (میلی گرم بر کیلوگرم)

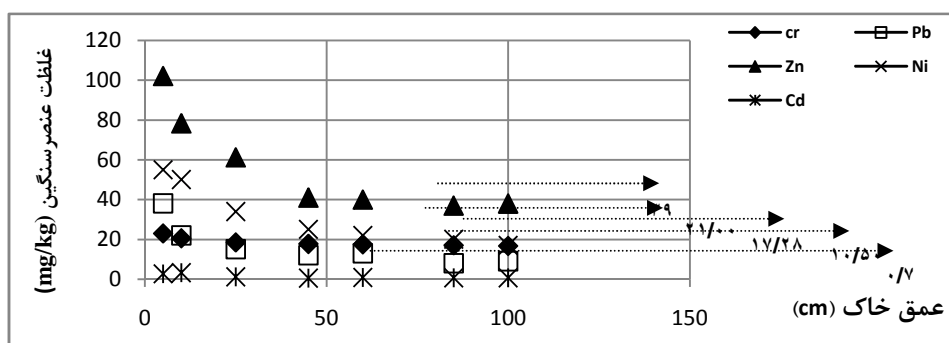
نقاط	Cd mg/kg	Ni mg/kg	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Cr mg/kg
۱	۰/۹۱	۳۸/۶۳	۴۹/۹۶	۱۸/۰۷	۱۸/۳۹
۲	۰/۶۱	۳۸/۷	۸۰/۲۳	۴۱/۴۳	۱۶/۷۶
۳	۰/۷۵	۵۷/۳۶	۸۶/۴۹	۱۸/۲۹	۲۴/۹۳
۴	۳/۳	۵۰/۰۹	۱۳۳/۱۵	۳۹/۰۳	۲۰/۶
۵	۳/۳۲	۳۴/۶	۷۸/۲۶	۳۲/۶۷	۱۷/۵۱
۶	۳/۳۳	۴۲/۸۳	۵۸/۵۳	۲۴/۷۶	۱۹/۲۳
۷	۳/۳۲	۴۳/۱۶	۴۸/۰۶	۱۸/۶۲	۲۰/۲۵
۸	۲/۱۱	۱۹/۳۷	۳۹/۷	۹/۶۶	۱۴/۹۴
۹	۲/۶۵	۳۸	۵۰/۶۳	۲۱/۷۳	۱۷/۸۱
۱۰	۲/۶۹	۵۱/۳۳	۶۵/۹۶	۲۲/۰۵	۲۱/۲۲
۱۱	۲/۷۷	۵۲/۵۶	۵۸/۲۶	۱۵/۶۶	۲۱/۶
۱۲	۳/۱۳	۲۹/۹۹	۴۴/۰۳	۲۸/۷۷	۱۷/۰۸
۱۳	۲/۰۳	۳۶/۲۶	۴۶/۴۶	۱۶/۳۵	۱۶/۷۳
۱۴	۲/۳۷	۴۴/۶۶	۵۶/۰۳	۲۴/۷	۱۶/۹۵
۱۵	۲/۰۳	۴۱/۸۶	۴۸/۳	۱۶/۶	۱۷/۳۹
۱۶	۲/۳۷	۳۸/۸	۴۵/۸۳	۱۸/۵۷	۱۷/۶۲
۱۷	۲/۵۹	۴۹/۸	۶۳/۲۹	۳۱/۹۸	۱۸/۵
۱۸	۲/۳۶	۴۲/۶	۷۵/۱۳	۲۸/۲۸	۱۷/۲۸
۱۹	۱/۲۷	۴۱/۰۳	۶۱/۱۹	۲۴/۹۳	۱۷/۳۴
۲۰	۲/۱۷	۳۷/۷۳	۴۸/۱۶	۲۳/۱۱	۱۷/۷۹
۲۱	۲/۲۱	۳۷/۶۳	۵۱/۳۳	۲۴/۷۸	۱۷/۵۷
۲۲	۲/۲۲	۳۴/۴	۴۵/۶۳	۲۱/۷۲	۱۷/۵
۲۳	۲/۳۵	۳۵/۴۳	۵۴/۸۳	۲۵/۶	۱۸/۱۶
۲۴	۲/۲۸	۲۹/۹۴	۵۰/۶۳	۲۳/۰۹	۱۶/۷۵
۲۵	۲/۴۸	۳۹/۳	۶۱/۰۹	۲۷	۱۹/۲۲



شکل ۲. مقایسه تغییرات غلظت فلزات سنگین خاک اطراف پالایشگاه

جدول ۳. آمار توصیفی مربوط به عناصر اندازه‌گیری شده در خاک محدوده پالایشگاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

عناصر	سرب (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	کروم (mg/kg)	نیکل (mg/kg)	روی (mg/kg)
تعداد نمونه	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
حداقل	۹/۶۶	۰/۶۱	۱۴/۹۴	۱۹/۳۷	۳۹/۷
حداکثر	۴۱/۴۳	۳/۳۳	۲۴/۹۳	۵۷/۳۶	۱۳۳/۱۵
$\mu \pm stdv$	۲۳/۹ ± ۷/۲۳	۲/۳ ± ۰/۷۶	۱۸/۳۶ ± ۲/۰۶	۴۰/۲۴ ± ۸/۱۱	۶۰/۰۵ ± ۱۱/۵۳
سطح معناداری آزمون K-S	۰/۸۱۵ (ns)	۰/۲۷۵ (ns)	۰/۲۳۸ (ns)	۰/۸۶۸ (ns)	۰/۲۸۸ (ns)
درصد خطای حد کفایت نمونه	۱۵	۱۵	۵	۱۰	۱۵
حد کفایت تعداد نمونه	۱۸	۲۱	۲۲	۱۸	۲۰
مقدار زمینه	۱۰/۵۰	۰/۷۰	۱۷/۲۸	۲۱/۰۰	۳۹/۰۰



شکل ۳. تغییرات غلظت کروم، سرب، روی، نیکل و کادمیوم در نیم‌رخ خاک همراه با غلظت زمینه عناصر

کلاس‌های پایین‌تری نسبت به (PI_i) طبقه‌بندی می‌کند. بدین لحاظ کلیه عناصر سنگین مطالعه‌شده از نظر شاخص آلودگی (PI_i) دارای یک کلاس بالاتر است. به‌طور مثال کروم از نظر شاخص (I_{geo}) در کلاس غیرآلوده قرار دارد در حالی که از نظر (PI_i) آلودگی این عنصر متوسط است.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص تجمع زمینی (I_{geo}) ، شاخص‌های آلودگی (PI_i) ، در جدول ۴ نشان داده شده است. در این جدول مقادیر کمترین و بیشترین به همراه محدوده کلاس کیفی شاخص‌های مختلف ارائه شده است. از مقایسه نتایج حاصل از جدول ۴ می‌توان نتیجه‌گیری کرد، شاخص تجمع زمینی، آلودگی را در

جدول ۴. شاخص تجمع زمینی و آلودگی پنج عنصر سنگین و کلاس کیفی آلودگی (میلی گرم بر کیلوگرم)

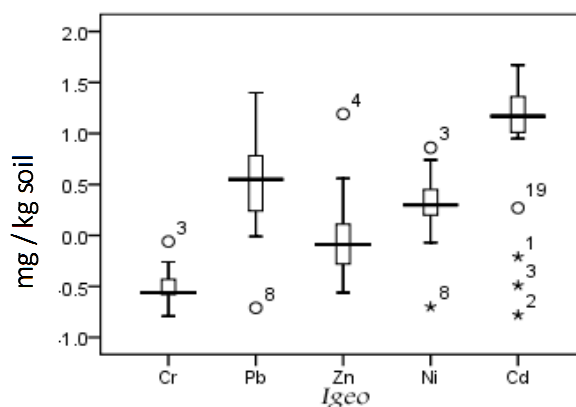
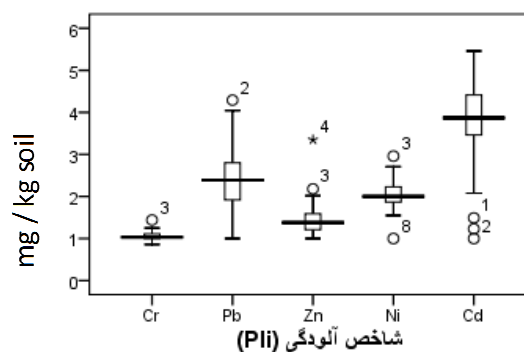
شاخص/عناصر	I_{geo}			PI_i		محدوده کلاس کیفی
	تعداد	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	
سرب	۲۵	-۰/۷۱	۱/۴۰	۱/۰۰	۴/۲۹	متوسط تا زیاد
کادمیوم	۲۵	-۰/۷۸	۱/۶۷	۱/۰۰	۵/۴۶	متوسط تا زیاد
کروم	۲۵	-۰/۷۹	۰/۰۶	۰/۸۶	۱/۴۴	متوسط
نیکل	۲۵	-۰/۷۰	۰/۸۶	۱/۰۰	۲/۹۶	متوسط
روی	۲۵	-۰/۵۶	۱/۱۹	۱/۱۱	۳/۳۵	متوسط تا زیاد

مقایسه مقادیر شاخص آلودگی شکل ۵ با حدود کلاس کیفی آلودگی (جدول ۱) نشان می‌دهد تنها کروم در محدوده آلودگی کم قرار دارد و سایر آلاینده‌ها کلاس‌های آلودگی متوسط تا زیاد دارد. در این میان کادمیوم و سرب عمدتاً در کلاس آلودگی زیاد قرار دارد.

مقایسه استقرار ۲۵ نقطه اندازه‌گیری شده در کلاس‌های کیفی دو شاخص تجمع زمینی و آلودگی پنج عنصر سنگین مطالعه شده در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که از جدول مشخص است اختلاف زیادی از نظر تقسیم‌بندی و توزیع نقاط بین دو روش وجود دارد. بیشتر نقاطی که از نظر شاخص I_{geo} در کلاس آلودگی غیرآلوده یا غیرآلوده-متوسط قرار گرفته است از نظر شاخص PI_i در کلاس‌های متوسط یا زیاد استقرار دارد. در صورت برآورد یکسان دو شاخص، ۲۵ نقطه مطالعه شده در خطوط وتری ماتریس جدول (بخش خاکستری) توزیع می‌شد. نتیجه مشخص از جدول ۵ بیان این نکته است که کلاس کیفی برآورد شاخص PI_i بیش از کلاس کیفی آلودگی I_{geo} است.

همواره بررسی تجمعی آلاینده‌های مختلف در محیط مورد توجه است و اهمیت دارد. بنابراین، با استفاده از دو شاخص تجمعی آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده وضعیت کلی محدوده مطالعه شده بررسی شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد شاخص IPI با تعداد کلاس کیفی کمتر (کم، متوسط و زیاد) آلودگی

با انطباق دامنه تغییرات شاخص تجمع زمینی در شکل ۴ و دامنه کلاس‌های کیفی این شاخص در جدول ۱ چنین نتیجه‌گیری می‌شود که کروم با شاخص انباشت منفی فاقد آلودگی در محدوده مطالعه شده است. درحالی‌که نمونه‌ها از نظر سرب و نیکل در کلاس غیرآلوده تا متوسط و روی در کلاس کیفی حد واسط غیرآلوده- غیرآلوده تا متوسط قرار دارد.

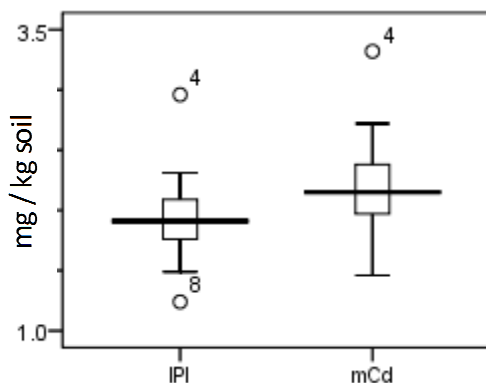
شکل ۴. مقایسه شاخص تجمع زمینی (I_{geo})شکل ۵. مقایسه شاخص آلودگی (PI_i)

محدوده مطالعه شده در دامنه ۱/۵ - ۴ قرار دارد که به مفهوم آلودگی کم تا متوسط است.

محدوده مطالعه شده را در دامنه متوسط تا زیاد برآورد می کند. این در حالی است که با توجه به شاخص اصلاح شده درجه آلودگی mCd کلاس کیفی آلودگی

جدول ۵. نحوه انطباق کلاس های کیفی آلودگی دو شاخص تجمع زمینی و آلودگی

عنصر	Igeo	↔	کم- غیرآلوده		متوسط		زیاد		
			غیرآلوده	غیرآلوده تا متوسط	متوسط	متوسط تا زیاد	زیاد	زیاد تا خیلی زیاد	خیلی شدید
	PI ↓								
کم			-		-				-
متوسط	سرب		۲۰		۱				-
زیاد			-		۴				-
کم			۱		-				-
متوسط	کادمیم		۳		-				-
زیاد			۲		۱۹				-
کم			۸		-				-
متوسط	کروم		۱۷		-				-
زیاد			-		-				-
کم			-		-				-
متوسط	نیکل		۲۴		-				-
زیاد			-		۱				-
کم			۲		-				-
متوسط	روی		۲۲		-				-
زیاد			-		۱				-



شکل ۶. مقایسه تغییرات دو شاخص تجمعی آلودگی و درجه آلودگی

در انتخاب مرز یک برای تفکیک کلاس های کم از متوسط در IPI بیان کرد. در صورتی که این مرز به دو ارتقا یابد این دو شاخص در تفکیک کلاس های آلودگی با هم اختلافی نخواهند داشت.

همان گونه که در جدول ۶ منعکس است اختلاف دو شاخص IPI و mCd در کلاس های کم آلودگی است. این دو شاخص در کلاس های متوسط و زیاد انطباق مناسبی دارند. دلیل اختلاف موجود را می توان

جدول ۶. انطباق دو شاخص تجمعی و درجه آلاینده‌گی در تفکیک کلاس‌های کیفی

mCd →	غیرآلوده- کم		متوسط	زیاد		
	کم	غیرآلوده		زیاد	خیلی زیاد	شدید
IPI ↓						
کم	-		۸			-
متوسط	-		۸			-
زیاد	-		-			۹

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در شرق پناهگاه حیات وحش قمیشلو صنایع نفت و بنزین اصفهان وجود دارد. این مجموعه نفتی شامل پالایشگاه، نیروگاه و پتروشیمی است. به منظور سنجش آلاینده‌های موجود در خاک از شعاع ۱/۵ کیلومتری اطراف این مجموعه نفتی، ۲۵ نمونه خاک برداشته شد و غلظت پنج فلز سنگین بعد از استخراج عصاره اندازه‌گیری شد. چهارمین نقطه نمونه برداری شده که نزدیک قسمت بارگیری این مجموعه نفتی است، آلوده‌ترین نقطه گزارش شد. در این مقاله، ابتدا آمار توصیفی و سپس شاخص‌های آلودگی محاسبه و قدرت تفکیک آن‌ها در بیان آلودگی مقایسه شده است.

بررسی شاخص‌های آلودگی نتایج متفاوتی را از لحاظ آلودگی در منطقه مطالعه‌شده نشان می‌دهد. از نظر شاخص (I_{geo}) کادمیوم دارای آلاینده‌گی متوسط، نیکل و سرب در محدوده غیرآلوده تا متوسط و روی در حد فاصل کلاس‌های غیرآلوده تا غیرآلوده- متوسط است. کروم از لحاظ این طبقه‌بندی فاقد آلاینده‌گی محسوب شده است. از نظر شاخص (PI_i) کادمیوم دارای آلودگی زیاد، عناصر نیکل، روی و سرب با آلاینده‌گی متوسط و کروم حد فاصل دو کلاس متوسط و کم است.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان این‌گونه بیان کرد که حمل و نقل مواد نفتی و مشتقات آن در اطراف پالایشگاه و مجموعه‌های صنعتی می‌تواند آلودگی فلزات سنگین را در بافت خاک بالا ببرد. babtunde (2012) در مقاله خود بیان کرده است که نشت نفت به بافت خاک می‌تواند اسیدیته و مقدار فلزات سنگین موجود در خاک را بالا ببرد.

در منطقه اطراف پالایشگاه عنصر کادمیوم (۲/۳)، سرب (۲۳/۹)، نیکل (۴۰/۲۴)، روی (۶۰/۰۵) و کروم (۱۸/۳۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. این نتایج با نتایج Nadal *et al.* (2006) مطابقت دارد. Nadal *et al.* (2006) در مقاله ارزیابی فلزات سنگین، PCB's و PAH's در خاک‌های مناطق صنعتی، مقدار عناصری همچون سرب و کروم و کادمیوم را در نواحی پتروشیمی (۳۷/۸، ۲۱/۵، ۰/۱۶) و شیمیایی (۲۲/۲، ۱۷/۵، ۰/۱۶) به دست آوردند.

با توجه به اینکه در مقاله حاضر از شعاع دو کیلومتری اطراف پالایشگاه نمونه برداری شده و وجود عناصری همانند کروم و کادمیوم در این فاصله تأیید شده است در مقاله Ahmadi *et al.* (2011) که از کف حوضچه تبخیر پالایشگاه نفت تهران نمونه برداری شده عناصری همچون کروم و کادمیوم به مقادیر زیاد مشاهده شده است.

در منطقه اطراف پالایشگاه مقدار شاخص I_{geo} و PI_i به ترتیب برای کادمیوم؛ ۳/۵ و ۰/۷۶، سرب؛ ۲/۳۷ و ۰/۴۹، نیکل؛ ۲/۰۳ و ۰/۴، روی؛ ۱/۴۶ و ۰/۳ و کروم؛ ۱/۲۲ و ۰/۲۵ محاسبه شد. با توجه به اینکه تنها بخشی از منطقه مورد نظر در کنار جاده اصلی است، مقدار شاخص‌ها در مقایسه با اسلام‌آباد پاکستان Faiz *et al.* (2009) بیشتر است. مقایسه نتایج شاخص آلودگی (I_{geo}) با نتایج Faiz *et al.* (2009) منطقه مطالعه‌شده به جز نیکل بقیه عناصر مطالعه‌شده نظیر کادمیوم، سرب و روی آلودگی بیشتری دارد. دلیل این موضوع را شاید بتوان نشست عناصر و فلزات سنگین را که ناشی از آلودگی هوای منطقه و تردد وسایل نقلیه در بزرگراه حاشیه دانست. همچنین در مقایسه با مقدار شاخص‌های به دست آمده در منطقه Baoji

زیاد انطباق مناسبی دارد لیکن در کلاس کم آلودگی طبقه بندی یکسانی ندارند. در پژوهش حاضر هشت نقطه مطالعه شده از نظر شاخص IPI آلودگی کمی دارد در حالی که همین هشت نقطه از نظر mC_d در کلاس آلودگی متوسط قرار می گیرد. به عبارتی این دو شاخص، در آلودگی کم برآورد یکسانی از طبقه کیفی آلودگی ندارند. با تغییر مختصر در مرزبندی شاخص IPI در محدوده کم و تغییر محدوده شاخص از یک به دو، این شاخص با mC_d تشابه زیادی در کلاس بندی آلودگی خواهند داشت. امید است تا با انجام مطالعات بیشتر در زمینه آلودگی و رفع آن تا حد امکان از نابودی بیشتر اکوسیستم ها و طبیعت ایران زمین جلوگیری شود.

تقدیر و تشکر

لازم است از زحمات آقای مهندس محسن صادقیان که در امور مربوط به تجزیه نمونه ها در آزمایشگاه پیشرفته سنجش آلودگی دانشگاه یزد در این پژوهش ما را یاری کردند، مراتب تشکر و سپاس خود را ابراز داریم.

چین Lu *et al* (2008) مقدار شاخص I_{geo} را به جز نیکل در مورد سرب و روی بیشتر از منطقه مطالعه شده گزارش کرده اند. May *et al* (2011) در مقاله «ارزیابی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه شهری در چین» شاخص زمین شیمیایی I_{geo} برای عناصری همچون روی (۱/۶) را بیشتر از منطقه مطالعه شده و سرب (۰/۴۴) را تقریباً یکسان با مشاهدات این پژوهش به دست آوردند.

از آنجا که شاخص های مختلفی در تبیین و تعیین مقدار آلودگی محیط زیست تعریف شده است، استفاده از آن ها باید با دقت صورت گیرد. این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که استفاده از شاخص های گمراه کننده، سرانجامی جز تصمیم گیری های نادرست و صرف هزینه و وقت بیهوده ندارد. همان گونه که از نتایج مقایسه دو شاخص I_{geo} و (PI) مشخص است شاخص آلودگی (PI) وضعیت آلودگی را در شرایط یکسان، حداقل یک کلاس بالاتر برآورد می کند. توجه به دامنه غلظت آلاینده ها و مقایسه آن با حدود مجاز مشخص می کند، کلاس آلودگی در منطقه بیشتر با شاخص I_{geo} هماهنگ است.

دو شاخص mC_d و IPI در کلاس های متوسط و

REFERENCE

1. Abraham, G., 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Dissertation, University of Auckland.
2. Ahmadi, S., Sedighian, S., Gitipor, S., 2012. Soil contamination with heavy metals like chromium and cadmium Tehran refinery and remove these metals from soil. The 2nd conference on environmental planning and management (EPM) (In persion).
3. Atashgahi, M., Hamidian. A., Khorasani, N., Aflaki, f., Mohamadnezhad, M., 2011. An investigation on the efficiency of heavy metal removal from wastewater of Bidboland gas refinery using common reed page journal of natural environment, Volume 64, Issue 4, 337-346 (In persion).
4. AlonsoHernández, C., BernalCastillo, J., BolanosAlvarez, Y., GómezBatista, M., and DiazAsencio, M., 2011. Heavy metal content of bottom ashes from fuel oil powerplant and oil refinery in cuba, journal of fuel 90, 2820–2823.
5. Babatunde, b & tosin, o. Characteristics of soils and heavy metal content of vegetation in oil spill impacted land in Nigeria Proceedings of the Annual International Conference on Soils, sediments, water and energy, 2012.
6. Bihamta, M., Zarechahoki, M., 2010. Statistical principles in the natural sciences. Tehran University Press. 322 p (In persion).
7. Faiz, y., Tufail, m., Tayyeb. javed., Chadhurry, m., Siddigu, n., 2009. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway Pakistan, Microchemical Journal 92, 186–192.
8. Fontanetti, C., Nogarol, L., de Souza, R., Perez, D., Maziviero, G., 2011. Bioindicators and Biomarkers in the Assessment of Soil Toxicity. In soil Contamination (chapter 8), MSc Simone Pascucci (Ed.), ISBN: 978-953-307-647-8, InTech.

9. Hakanson, L., 1980. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14 975-1001.
- Jafarnejadi, A., Homaei, M., Sayyad, Gh., Bybordi, M., 2012. Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. *J of Water and Soil Conservation*. Volume 19, issue 2. (In persion).
10. Khairy, M., Barakat, A., Mostafa, A., Wade, T., 2011. Multielement determination by flame atomic absorption of road dust samples in delta region Egypt, *Microchemical Journal* 97, 234-242.
11. Khorasani, N., Hoseini, M., Porbagher, H., Hoseini, V., Aflaki, F., 2013. Determination of Heavy Metal Content in the Tiger-Toothed Croaker (*Otolithes ruber*): A Case Study in Bandar-e Mahshahr Page 181-190 *Journal of Natural Environment*, Volume 66, Issue 2, 181-190 (In persion).
12. Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huan, G.J., Zhai, Y., 2008. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China, *Journal of Hazardous Materials* 161, 1058-1062.
13. Mei, J., Li, Zh., Sun, L., Gu, H., 2011. Assessment of heavy metals in the urban river sediments in Suzhou city, northern Anhui province, China. *Procedia Environmental Sciences* 10, 2547 - 2553.
14. Muller, G., 1979. Heavy metal anomalies in Lagoon sediments related to intensive agriculture in Altata-Ensenada del Pabellón coastal system (SE Gulf of California), *Environment International* 26 265-273.
15. Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, L., 2003. Metal pollution of soils and vegetation in an area with an area with petrochemical industry, *Science of the Total Environment* 321 59-69.
16. Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, L., 2006. Levels of metals, PCBs, PCNs and PAHs in soils of a highly industrialized chemical/petrochemical area: Temporal trend, *Chemosphere* 66, 267-276.
17. Skrbic, B., Mladenovic, N., 2010. Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide, *Chemosphere* 80, 1360-1369.
18. Wake, H., 2005. Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62, 131-140.
19. Yeung, P., Johnson, R., Xu, J.G., 1997. Biodegradation of petroleum hydrocarbons in soil affected by heating and forced aeration. *Environmental Quality* 26, 1511-1516.