

بررسی سطح آلودگی و الگوی توزیع فضایی غلظت فلزات سنگین (کروم،

نیکل، مس، سرب و روی) در شهر صنعتی ماهشهر

فاطمه محمد علیزاده^۱؛ ابراهیم پناه پور^{۲*} و احدنظر پور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد

اسلامی، اهواز، ایران

۲- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- استادیار گروه زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت ۹۵/۱۰/۱۲ - تاریخ پذیرش ۹۷/۰۱/۱۹)

چکیده:

فلزات سنگین به دلیل سمیت و پایداری در محیط زیست یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک محسوب می‌شوند. بنابراین بررسی توزیع غلظت فلزات سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است. این تحقیق با هدف ارزیابی سطح آلودگی و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین کروم، نیکل، مس، سرب و روی در خاک سطحی شهر صنعتی ماهشهر در سال ۱۳۹۵ انجام شد. بدین منظور با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تعداد ۵۱ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ cm) جمع‌آوری و غلظت این فلزات به روش XRF اندازه‌گیری شد. همچنین خصوصیات خاک شامل EC، pH، آهک و بافت خاک مشخص شد. شاخص آلودگی (PI) و شاخص جامع فاکتور آلودگی نمره (NIPI) جهت تعیین وضعیت آلودگی خاک این منطقه استفاده شد. نقشه‌های توزیع غلظت فلزات سنگین نیز با استفاده از روش درون‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به منظور بررسی روابط بین فلزات انجام شد. نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر شاخص آلودگی مربوط به کروم و نیکل است که در سطح آلودگی شدید قرار دارند. بسیاری از خاک‌های شهری در بندر ماهشهر با سطوح کم یا متوسط از سرب، روی و مس آلوده شده‌اند. شاخص آلودگی نمره نشان داد که همه نقاط در سطح آلودگی بالا قرار دارند. همچنین نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان داد که فلزات سرب، روی و مس در یک مؤلفه قرار گرفته و نشان‌دهنده منشأ انسان‌ساخت و مشترک این فلزات می‌باشد. فلزات کروم و نیکل هر کدام در مؤلفه‌ای جداگانه قرار گرفته و مقدار شاخص آلودگی بالای این فلزات، همچنین ضریب تغییرات بالا حاکی از منشأ انسان‌ساخت این فلزات تعیین گردید.

کلید واژگان: توزیع فضایی، فلزات سنگین، شاخص آلودگی، شاخص نمره، ماهشهر

۱. مقدمه

واکنش‌های بیولوژیکی، آسیب به اندام‌ها و یا حتی مرگ شوند (Kasassi *et al.*, 2008).

با در نظر گرفتن معایب ارائه شده مطالعات زمین‌آماری و ارزیابی شدت آلودگی خاک ابزارهای مفیدی برای شناسایی و سنجش مناطق آلوده، منابع بالقوه وجود فلزات سنگین و ارزیابی کیفیت خاک در محیط زیست هستند (Zhang, 2006; Li and Fang, 2012). مطالعه‌ای در کشور صربستان توسط Mihailovic و همکاران (۲۰۱۵) برای بررسی غلظت فلزات سنگین و منابع آلودگی در خاک‌های شهر نووی ساد صورت گرفت. نتایج نشان داد آرسنیک، کبالت، کروم، منگنز و نیکل منشأ طبیعی و مس، سرب و روی منشأ انسانی دارند. الگوهای توزیع حاصل از نقشه‌های (GIS)^۱ نشان داد که ترافیک مهمترین منبع آلودگی بود (Mihailovic, 2015).

Qing و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از دو شاخص زمین انباشتگی و بار آلودگی به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های شهری ناحیه صنعت فولاد در شهر انشان چین پرداختند. مقادیر بالاتر شاخص زمین انباشتگی برای کادمیوم نسبت به سایر عناصر نشان داد سطح آلودگی کادمیوم متوسط بود و شاخص آلودگی (PI) سطح آلودگی خاک به کادمیوم، روی، سرب و مس را متوسط تا بسیار آلوده نشان داد سپس نقشه‌های توزیع فضایی فلزات نشان داد که منطقه‌ی صنعت فولاد نقاط داغ آلودگی بودند.

در ایران Mossavi و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی توزیع غلظت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان پرداختند. نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت فلزات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. تجزیه و تحلیل نقشه‌ها نشان

خاک یک محیط ناهمگن پیچیده متشکل از ترکیبات معدنی، مواد آلی، موجودات زنده و ترکیبات آبی و گازی است. خاک عنصر مهم اکوسیستم‌های شهری است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم به کیفیت کلی ساکنان شهری مربوط می‌شود. با افزایش جمعیت شهری، کیفیت محیط زیستی خاک شهری ارتباط نزدیکی با سلامت و رفاه انسان پیدا می‌کند (Mihailovic, 2015).

در سال‌های اخیر آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها به دلیل سمیت بالقوه‌ی آن‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Islam *et al.*, 2015; Cheng *et al.*, 2014; Esmaeili *et al.*, 2014; Kelepertzis, 2014; Yuan *et al.*, 2013; Maas *et al.*, 2010). فعالیت‌های انسانی مربوط به شهرنشینی و صنعتی از منابع مهم فلزات سنگین و آلاینده‌های خاک هستند. فلزات سنگین می‌توانند مسافت‌های طولانی از طریق ذرات اتمسفری حمل شوند، بخشی از این فلزات ممکن است به وسیله‌ی رسوب اتمسفر به خاک‌ها منتقل شوند بنابراین خاک‌ها بویژه خاک‌هایی که در مجاورت مناطق صنعتی هستند چاهک‌های مهمی برای فلزات سنگین هستند (Wu *et al.*, 2015).

فلزات سنگین به عنوان خطرناک‌ترین آلاینده‌های محیط زیست در نظر گرفته می‌شوند، چرا که با فرآیندهای فیزیکی تجزیه نمی‌شوند و در نتیجه برای مدت طولانی باقی می‌مانند. چرخه‌های بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در موجودات زنده تجمع می‌یابند، در نهایت از طریق زنجیره‌ی غذایی وارد بدن انسان می‌شوند و می‌توانند سبب اختلال در

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مشخصات منطقه مورد مطالعه

بندرماهشهر شهری است در استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه. ارتفاع آن از سطح دریا ۳ متر می‌باشد. بندرماهشهر دارای مساحت ۲۷۱۳ هکتار می‌باشد که بعد از اهواز وسیع‌ترین شهر خوزستان است. مهم‌ترین صنعت ماهشهر پتروشیمی و کشتیرانی می‌باشد که این بندر را به قطب پتروشیمی در ایران تبدیل کرده است. بندر ماهشهر همچنین بزرگ‌ترین بندر جنوب غرب کشور است که بخش عظیمی از صادرات ایران از این بندر صورت می‌گیرد. میزان بارندگی در این منطقه محدود بوده و اکثر بارندگی در ماه‌های آذر و دی می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه منطقه برابر با ۱۸۱ میلی‌متر و حداکثر بارندگی ماهانه نیز در ماه دی به میزان ۷۵ میلی‌متر بوده است. بندر ماهشهر دارای اقلیم گرم و خشک بوده و به همین دلیل اغلب دارای هوایی خشک است اما در صورت وزیدن بادهای شرعی که معمولاً همراه با رطوبت دریا می‌باشد، رطوبت منطقه را به شدت بالا برده و میزان آن را به بالاتر از ۹۰ درصد می‌رساند. دمای آن بین ۵۰ درجه در تابستان تا صفر درجه در زمستان تغییر می‌کند (www.irimo.ir).

۲.۲. نمونه برداری خاک

روش نمونه برداری بدین صورت بود که ابتدا با استفاده از توزیع نمونه برداری سیستماتیک (۵۰۰) * (۵۰۰ متر) در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محل‌های پیشنهادی (تعداد ۵۱ نمونه) در منطقه مورد مطالعه تعیین شدند. توزیع نمونه برداری به صفحه ۴۰۱

داد عناصر آرسنیک، آنتیموان، مس و کروم عمدتاً منشأ زمین‌شناسی داشتند. در مطالعه‌ای دیگر Esmaili در سال ۲۰۱۴ تغییرات مکانی فلزات سنگین را در خاک‌های اطراف مجتمع فولاد مبارکه اصفهان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق مشخص شد بیشترین مقدار آلودگی فلزات سنگین در مناطق نزدیک به کارخانه، جنوب شرقی و جنوب بوده که این گسترش آلودگی تابع جهت و سرعت باد غالب بوده است. شهر ماهشهر کانون تمرکز صنایع پتروشیمی و مرکز ارتباطات تجاری منطقه است. این شهر همانند سایر شهرهای صنعتی، در حال تبدیل شدن به یک کلان شهر بوده و در حال حاضر همه معایب یک شهر صنعتی در جنوب غرب ایران را دارا می‌باشد. گسترش غیر قابل کنترل شهر، افزایش چشمگیر تعداد وسایل نقلیه، محدودیت شبکه معابر جاده‌ای و استقرار تعداد قابل توجهی از مهم‌ترین و بزرگترین صنایع کشور و همچنین استقرار یکی از بنادر مراسلاتی، بدون در نظر داشتن برنامه‌ها و روش‌های کنترل در راستای توسعه پایدار، نه تنها در حال حاضر بلکه در آینده‌ای نه چندان دور، حجم عظیم آلاینده‌ها را در محیط‌های شهری این شهر انتشار داده و باعث آلودگی می‌گردد (Maroufnejad and Ghanavati, 2014).

بنابراین هدف از این مطالعه ۱- تعیین غلظت و توزیع فلزات سنگین (کروم، نیکل، مس، سرب و روی) در خاک‌های سطحی شهر ماهشهر، ۲- تعیین منشأ بالقوه‌ی فلزات سنگین به وسیله‌ی آنالیزهای چند متغییره، ۳- ارزیابی سطح آلودگی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی زیست محیطی، ۴- تهیه نقشه‌های توزیع فلزات با استفاده از فناوری GIS بود.

پراکنش فلزات به روش عکس فاصله (IDW) نیز توسط نرم افزار ArcGIS انجام شد.

۵.۲. ارزیابی آلودگی خاک

در این مطالعه جهت بررسی کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی در خاک‌های سطحی از شاخص آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی نمره استفاده شد.

شاخص آلودگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PI = C_i / C_R \quad (1)$$

در این رابطه: C_i غلظت فلز (i) در نمونه خاک برحسب mg/kg و C_R مقدار زمینه مربوط به همان فلز است (Chen et al., 2015). طبقه‌بندی این شاخص بدین صورت است که: ($PI \leq 1$) بدون آلودگی، ($1 < PI \leq 3$) آلودگی کم، ($3 < PI \leq 5$) آلودگی متوسط ($PI < 5$) و آلودگی شدید تعیین می‌گردد (Wu et al., 2015).

شاخص جامع فاکتور آلودگی نمره (NIPI) ^۲ شاخص جامع فاکتور آلودگی پنج فلز مورد نظر در هر نقطه نمونه‌برداری به صورت رابطه (۲) محاسبه شد:

$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{imax}^2 + PI_{iave}^2}{2}} \quad (2)$$

در این معادله PI_{imax} حداکثر مقدار PI برای هر فلز سنگین است و PI_{iave} میانگین PI برای هر فلز سنگین است. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی به همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد در منطقه مشخص می‌شود. بر اساس این شاخص کیفیت خاک در پنج سطح طبقه‌بندی می‌شود: فاقد آلودگی ($NIPI \leq 0.7$)، در معرض آلودگی ($0.7 < NIPI < 1$)، سطح کم آلودگی ($NIPI \leq 2$)

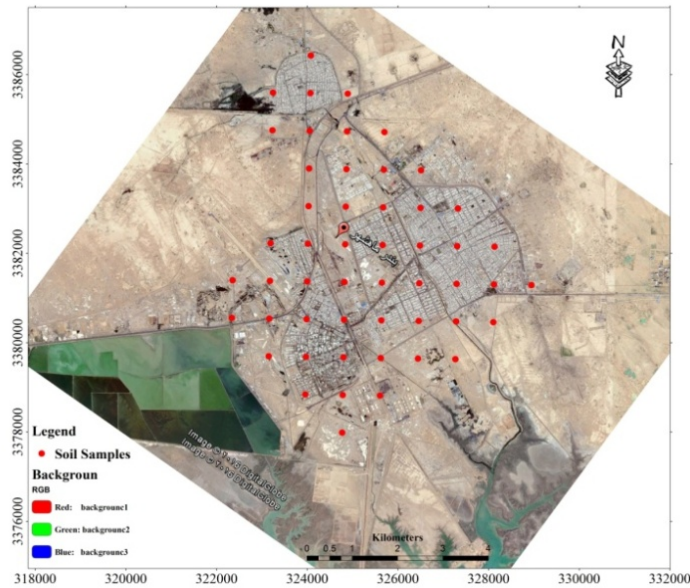
صورتی بود که کل منطقه مورد مطالعه را با توزیع یکسان و مناسبی پوشش داد. سپس با اصلاح موقعیت هر کدام از محل‌های نمونه‌برداری، موقعیت جغرافیایی (UTM) هر کدام از نقاط به دستگاه سیستم موقعیت جغرافیایی (GPS) ^۱ جهت دستیابی سریع به محل نمونه‌برداری استفاده شد. در هر مقطع تعداد ۴ نمونه برداشت شد که پس از اختلاط نمونه‌ها، نمونه واحد جهت اندازه‌گیری و انجام آزمایشات لازم آماده شد. خاک سطحی (۰-۲۰ cm) با استفاده از بیلچه پلی اتیلنی جدا و در کیسه‌های پلی اتیلنی تا زمان آنالیز نمونه‌ها نگهداری شدند. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل (۱) نشان داده شده است.

۳.۲. آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌های خاک پس از جمع‌آوری هوا خشک گردید و سپس توسط چکش لاستیکی کوبیده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند.

۴.۲. تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی خاک

ویژگی‌های خاک شامل pH (با نسبت ۱:۵ خاک به آب)، هدایت الکتریکی (با نسبت ۱:۵ خاک به آب)، درصد آهک (روش تیتراسیون اسید و باز) و بافت خاک (روش هیدرومتری) در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید (Chapman et al., 1961). غلظت فلزات سنگین در آزمایشگاه به روش XRF اندازه‌گیری شد که خاک استاندارد SRM 2710 Montana II برای کنترل کیفیت و بررسی صحت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین کل در نمونه‌ها استفاده شد. آنالیز آماری داده‌ها و محاسبات شاخص‌ها با استفاده از نرم افزارهای Excel و Spss16 و تهیه نقشه‌های



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری

محسوب می‌شوند که در مطالعات آلودگی فلزات سنگین در سطح دنیا بسیار استفاده شده است (KarimiNezhad *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2010; Xiao-wen *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2009). مهم‌ترین هدف PCA، کاهش اندازه زیاد فضای نمونه/متغیر است که از طریق نشان دادن داده‌ها در مجموعه فرعی کوچکتری از متغیرهای جدید ناپیوسته به نام اجزای اصلی صورت می‌گیرد (Mihailovic *et al.*, 2015).

۳. نتایج

۱.۳. ویژگی‌های خاک

برخی از ویژگی‌های خاک (EC، pH، درصد آهک، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس) در جدول (۱) آورده شده است.

سطح متوسط آلودگی ($2 < NIPI \leq 3$) و سطح بالای آلودگی ($NIPI > 3$) (Yang *et al.*, 2015).

۶.۲. نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین

تهیه نقش‌های پراکنش فلزات به روش درون‌یابی عکس فاصله (IDW) توسط نرم افزار Arc GIS انجام شد.

۷.۲. تحلیل چند متغیره

تحلیل آماری از جمله همبستگی بین فلزات و تحلیل‌های چند متغیره مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) از جمله ابزارهای مناسب سنجش رابطه‌ی بین مجموعه اطلاعات و تفسیر هرچه بهتر داده‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه به شمار می‌روند و از پرکاربردترین و موثرترین تحلیل‌های آماری برای کاهش ابعاد متغیرها در مجموعه داده‌ها

جدول ۱- خلاصه آماری ویژگی‌های نمونه‌های خاک (N= ۵۱)

پارامترهای خاک	حداکثر	حداقل	میانگین	میانه	چولگی
pH	۹/۳	۷/۳	۸/۱۴	۸/۱۵	۰/۲۸۸
EC	۳۴/۶	۱/۱	۱۵/۲۵	۱۴/۲۲	۰/۳۳۶
درصد آهک	۹۰	۴۵	۶۵/۱۲	۶۴	۰/۳۴۹
درصد شن	۹۷	۴۸	۶۶/۹۵	۶۶/۷	۰/۵۴۷
درصد سیلت	۳۸/۳	۱/۷	۲۴/۴۳	۲۵	-۰/۵۵۹
درصد رس	۲۳/۳	۰/۱	۸/۶۲	۶/۶	۰/۶۹۹

۲.۳. غلظت فلزات سنگین

خلاصه وضعیت آماری غلظت فلزات سنگین تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. برای بررسی توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده گردید. نتایج آزمون (جدول ۲) نشان داد همه فلزات به استثنای روی و مس از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. به منظور نرمال سازی داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. در این مطالعه مقادیر استانداردهای کیفیت خاک کانادا در مناطق صنعتی (CCME, 2007) به عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته شد. این مقدار برای فلز کروم ۸۷، نیکل ۵۰، مس ۹۱، سرب ۶۰۰ و روی ۳۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. غلظت سرب در نمونه‌ها در محدوده ۱۴۱ تا ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده و مقدار میانگین آن ۵۱۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در ۲۵/۵ درصد از نمونه‌ها، غلظت سرب بیشتر از غلظت زمینه با مقدار ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر اساس مقدار استاندارد کیفیت خاک کانادا می‌باشد. مقدار غلظت فلز روی در محدوده ۱۸۸ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده و دارای میانگین ۴۰۲/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در ۲۹/۵ درصد از نمونه‌ها غلظت روی بالاتر از غلظت زمینه با مقدار ۳۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

می‌باشد. همانطور که در جدول ۲ آمده است میانگین غلظت فلزات کروم، نیکل و مس در نمونه‌ها به ترتیب ۵۹۷/۶۲، ۲۹۹/۳۶ و ۱۹۰/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. غلظت این عناصر در همه‌ی نمونه‌های مورد مطالعه به طور قابل توجهی بالاتر از غلظت زمینه می‌باشد. به منظور تسهیل ارزیابی و مقایسه، میانگین غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه و استاندارد کیفیت خاک ایران همچنین غلظت این فلزات در برخی نقاط جهان در جدول (۳) آورده شده است. مقایسه غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه با استاندارد کیفیت خاک ایران نشان داد که غلظت کروم، نیکل و سرب در همه نمونه‌ها بالاتر از استاندارد بود. غلظت مس در ۳/۹۲ درصد از نمونه‌ها و غلظت روی در ۱۷/۶۵ درصد از نمونه‌ها بیشتر از حد استاندارد خاک ایران بدست آمد.

مقایسه مقدار میانگین فلزات مورد مطالعه با دیگر شهرها مانند مناطق صنعتی در شهر اهواز (کریمی و سروش نیا، ۱۳۹۲)، شهرنوی ساد^۳ در کشور صربستان (Mihailovic et al., 2015)، زاگرب^۴ در کرواسی (Solliteo et al., 2010)، تورینو^۵ در ایتالیا

3-Novi sad

4 - Zagreb

5- Torino

اسپانیا (De Miguel *et al.*, 1998)، مکزیکو سیتی در مکزیک (Morton-Bermea *et al.*, 2009) و چانگچون در چین (Yang *et al.*, 2011) نشان می‌دهد که غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه به طور قابل توجهی بیشتر از سایر نقاط دنیا می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر آماره‌های غلظت (mg/kg) فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

ک-s	چولگی	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	عنصر
۰/۶۷۹	۰/۶۰۶	۱۰۳/۵۶	۵۹۷/۶۲	۹۰۹	۴۳۲	کروم
۰/۸۰۶	۱/۱۹۸	۶۰/۸	۲۹۹/۳۶	۴۷۸	۱۹۸	نیکل
۱/۶۳۴	۳/۶۸	۱۰۴/۳۸	۱۹۰/۳۹	۷۱۸	۱۱۱	مس
۰/۸۷۷	۱/۹۰۹	۳۰۱/۶۷	۵۱۰/۳۱	۱۷۰۰	۱۴۱	سرب
۲/۰۳۲	۲/۴۹	۲۷۳/۰۲	۴۰۲/۶۴	۱۶۰۰	۱۸۸	روی

جدول ۳- میانگین غلظت (mg/kg) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه و مقادیر استاندارد کیفیت خاک ایران و برخی نقاط جهان (mg/kg)

منبع	روی	سرب	مس	نیکل	کروم	شهر
(CCME, 2007)	۳۶۰	۶۰۰	۹۱	۵۰	۸۷	استاندارد کیفیت خاک کانادا
(DOE, 2014)	۵۰۰	۸۰	۴۰۰	۱۵۵	۱۶۵	استاندارد کیفیت خاک ایران
(Mihailovic <i>et al.</i> , 2015)	۱۰۰/۳	۸۲/۳	۳۸/۸	۲۸/۷	۲۸	منطقه شهری نووی ساد
(Solliteo <i>et al.</i> , 2010)	۷۷/۹	۲۳/۲	۵۶/۱	۳۵/۲	۵۴/۶	زاگرب (کرواسی)
(Biasioli <i>et al.</i> , 2007)	۱۸۲	۱۶۹	۵۵	۱۸۵	۱۷۱	تورینو (ایتالیا)
(De Miguel <i>et al.</i> , 1998)	۲۱۰	۱۶۱	۷۱/۷	*	۷۴/۷	مادرید
Morton-Bermea <i>et al.</i> ,) (2009)	۳۰۶/۷	۱۴۰/۵	۱۰۰	*	۱۱۷	مکزیکوسیتی
(Yang <i>et al.</i> , 2011)	۹۰	۳۵/۴	۲۹/۴	*	۶۶	چانگچون
این مطالعه	۴۰۲/۶۴	۵۱۰/۳۱	۱۹۰/۳۹	۲۹۹/۳۶	۵۹۷/۶۲	ماهشهر

۳.۳. پراکنش مکانی غلظت فلزات سنگین مورد

مطالعه

نقشه‌های پراکنش غلظت فلزات سنگین در شکل (۲) نمایش داده شده است. نقشه توزیع غلظت عنصر نیکل و انطباق آن با منطقه‌بندی شهری نشان می‌دهد غلظت این عنصر در برخی از نقاط واقع در ماهشهر قدیم که سابقه شهرنشینی طولانی‌تری داشته و فاصله کمتری نسبت به صنایع پتروشیمی واقع در بندر امام دارد، همچنین برخی نقاط در شهرکی واقع در شمال شهر بالا است. همچنین در مناطقی از شهر که دارای ترافیک بالا، مجاورت پمپ بنزین و پارکینگ قرار داشت و یک نقطه در نزدیکی محل انباشت نخاله‌های ساختمانی غلظت عنصر نیکل بالا است. غلظت‌های کم مربوط به مناطق مسکونی و زمین‌های بایر اطراف شهر می‌باشد.

نقشه توزیع غلظت مس، نقاط داغ آلودگی را کنار جاده‌ها و به ویژه در ماهشهر قدیم نشان داد و غلظت‌های کم مربوط به مناطق مسکونی بود. نقشه‌های پراکنش غلظت عناصر سرب و روی شباهت زیادی با هم دارند. هر دو نقشه، نقاط داغ آلودگی را در ماهشهر قدیم و همچنین در مجاورت جاده‌ها نشان می‌دهند. غلظت‌های کم نیز در مناطق مسکونی مشاهده گردید. نقشه توزیع غلظت کروم نقاط داغ آلودگی را در نقاط پرتراکم شهر نشان می‌دهد.

۴.۳. ارزیابی میزان آلودگی خاک

۱.۴.۳ شاخص آلودگی (PI)

خلاصه‌ای از وضعیت آماری شاخص آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه به همراه فراوانی نمونه‌ها از

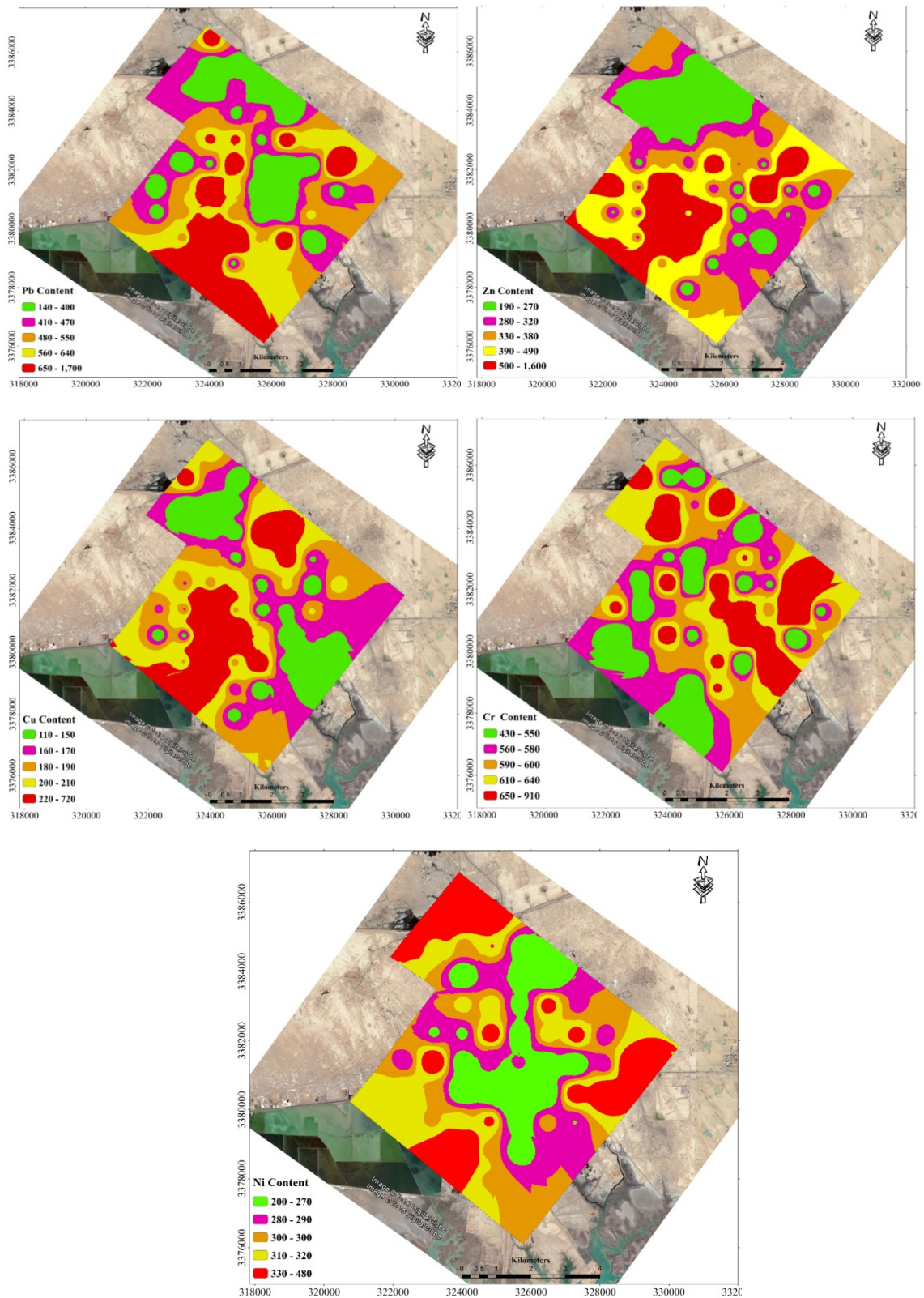
لحاظ کلاس‌های ارزیابی آلودگی به فلزات سنگین در جدول (۴) ارائه شده است. مقادیر شاخص آلودگی در بین فلزات مورد مطالعه متفاوت بود که به مقدار درصد هر طبقه در شکل (۳) ارائه شده است. نتایج شاخص آلودگی نشان داد که بالاترین مقادیر شاخص آلودگی مربوط به کروم و نیکل است که به ترتیب ۹۸ و ۸۰/۴ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی شدید می‌باشند. میانگین شاخص آلودگی برای سرب نشان می‌دهد که بسیاری از نمونه‌ها (۷۴/۵ درصد) بدون آلودگی و ۲۵/۵ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی کم هستند. در مورد فلز روی نیز بیشتر نمونه‌ها (۷۰/۵ درصد) بدون آلودگی، ۲۱/۵ درصد دارای آلودگی کم و ۸ درصد نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط بودند. شاخص آلودگی برای فلز مس نیز نشان داد ۹۲ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی کم، ۴ درصد دارای آلودگی متوسط و ۴ درصد دارای آلودگی شدید هستند.

۲.۴.۳ شاخص جامع فاکتور آلودگی (NIPI)

شاخص جامع فاکتور آلودگی از ۴/۲۷ تا ۷/۸۵ با میانگین ۵/۷ متغییر بود (جدول ۵). ارزیابی داده‌ها نشان داد که همه‌ی نمونه‌ها در سطح آلودگی بالا قرار دارند. این شاخص که در واقع میزان نسبت آلودگی فلزات سنگین در هر مکان نمونه برداری را به صورت تجمعی از فلزات سمی در نظر می‌گیرد نشان دهنده آلودگی بسیار بالای نمونه‌های خاک سطحی در بندر ماهشهر می‌باشد.

۳.۴.۳ تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در جدول (۶) نشان داده شده است. مؤلفه‌های اصلی بزرگتر از ۰/۵ به عنوان فاکتوری متأثر از هر مؤلفه در نظر گرفته شده و مشخص گردیدند. همانطور که

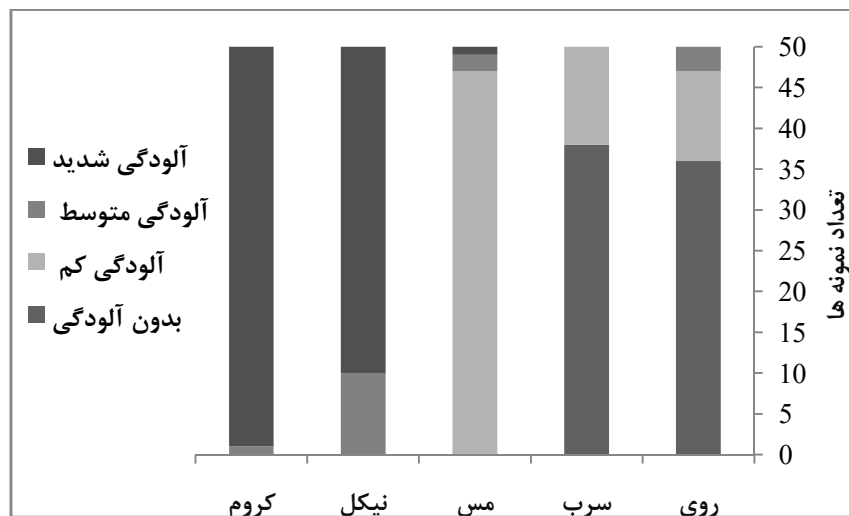


شکل ۲ - نقشه‌های پراکنش غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه، (mg/kg).

مشاهده می‌شود سه مؤلفه اصلی از این آنالیز بدست آمده است. مؤلفه اول بیشترین تاثیر را روی عناصر مس، روی و سرب دارد در نتیجه با در نظر گرفتن مقدار شاخص آلودگی و همچنین ضریب تغییرات، این فلزات دارای منشأ انسان‌ساخت و یکسان می‌باشند. عنصر نیکل در مؤلفه دوم و عنصر کروم در مؤلفه سوم رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند که نشان دهنده منشأ متفاوت آن‌هاست.

جدول ۴- خلاصه‌ای از وضعیت آماری کلاس شاخص آلودگی فلزات مورد بررسی

کلاس‌های شاخص آلودگی (تعداد نمونه‌ها)							
عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین	بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی شدید
کروم	۴/۹۶	۱۰/۴۴	۶/۸۶	-	-	(۱)	(۵۰)
نیکل	۳/۹۵	۹/۵۵	۵/۹۸	-	-	(۱۰)	(۴۱)
مس	۱/۲۳	۷/۸۹	۲/۰۹	-	(۴۷)	(۲)	(۲)
سرب	۰/۲۳	۲/۸۳	۰/۸۵	(۳۸)	(۱۳)	-	-
روی	۰/۵۲	۴/۴۴	۱/۱۱	(۳۶)	(۱۱)	(۴)	-



شکل ۳- کلاس‌های شاخص آلودگی فلزات سنگین.

جدول ۵- خلاصه‌ای از وضعیت آماری شاخص جامع و کلاس آلودگی فلزات مورد بررسی

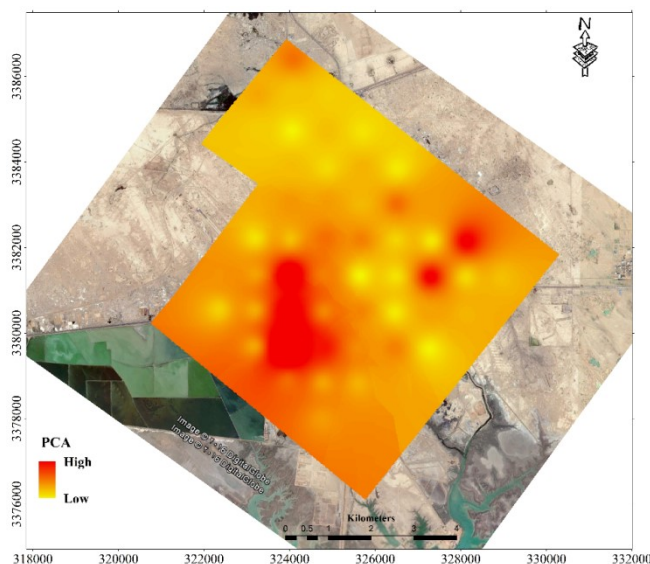
حداقل	حداکثر	میانگین	تعداد نمونه‌ها
۴/۲۷	۷/۸۵	۵/۷۰	۵۱

همانطور که پیداست بیشترین تمرکز بار هر کدام از مؤلفه‌ها در مرکز شهر و در مناطقی با قدمت شهرنشینی بالا که فاصله کمتری با مناطق صنعتی دارند (نقاط داغ آلودگی) قابل مشاهده است. در واقع این موضوع تأیید کننده مراکز آلودگی (نقاط داغ) در سطح شهر ماهشهر می‌باشد.

همچنین با در نظر گرفتن سایر شاخص‌های آلودگی این فلزات نیز دارای منشأ انسان‌ساخت می‌باشند. نقشه توزیع فضایی مؤلفه‌های اصلی در محیط GIS تهیه و در شکل (۵) ارائه شده است. این نقشه در واقع بیان کننده توزیع آلودگی‌های چند متغیره (چند فلز سنگین) در سطح شهر ماهشهر می‌باشد.

جدول ۶- تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمونه‌های برداشت شده

مؤلفه‌ها			
۳	۲	۱	
۰/۶۸۰	-۰/۷۲۵	-۰/۵۵	کروم
۰/۴۳۰	۰/۸۳۸	-۰/۱۵	نیکل
-۰/۱۴۱	-۰/۰۷۱	۰/۸۲۷	مس
-۰/۰۴۲	-۰/۳۲۲	۰/۸۳۰	روی
۰/۲۷۰	۰/۴۰۶	۰/۷۴۵	سرب



شکل ۵- نقشه توزیع فضایی تحلیل مؤلفه‌های اصلی

خاک‌های شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که فلزات سنگین شاخص‌های مفید از آلودگی محیط زیستی هستند، تعیین سطح فلزات

۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به این‌که در حال حاضر اکثر افراد در محیط شهری زندگی می‌کنند کیفیت زیست محیطی

سنگین و پراکنش مکانی آن‌ها برای درک بهتر منابع آلودگی و خطرات احتمالی برای محیط زیست و سلامت انسان ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش خصوصیات خاک شامل EC, pH, آهک و بافت خاک و همچنین غلظت فلزات کروم، نیکل، مس، سرب و روی در ۵۱ نمونه خاک سطحی در شهر صنعتی ماهشهر اندازه‌گیری شد و برای تعیین سطح آلودگی خاک به این عناصر از شاخص آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی نمره استفاده شد. پراکنش مکانی این عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مشخص گردید. همچنین آنالیز مؤلفه‌های اصلی به منظور تعیین منشاء فلزات در خاک استفاده شد.

مقادیر pH در محدوده (۷/۳-۹/۳) برای تمام نمونه‌های خاک مشخص شد که شرایط قلیایی را نشان می‌دهد. مقادیر شوری و درصد آهک خاک سطح بالایی را نشان می‌دهد. بافت خاک ۶۸/۶۳ درصد نمونه‌ها شنی لومی، ۲۱/۵۷ درصد دارای بافت لومی شنی، ۷/۸۴ درصد بافت لومی و ۱/۹۶ درصد دارای بافت شنی بودند.

یافته‌های پژوهش در واقع نشان دهنده تاثیر فعالیت‌های شهرنشینی و صنعتی در سطح شهر ماهشهر می‌باشد که منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر نسبت به دیگر شهر-های دنیا با وجود جمعیت بیشتر شده است. نتایج توزیع فضایی فلزات نشان داد که بیشترین غلظت فلزات در مکان‌های با قدمت شهرنشینی بالا که فاصله کمتری با صنایع دارند و همچنین مناطقی با حجم ترافیک بالاتر می‌باشد.

مقایسه میانگین غلظت فلزات نیکل و مس با نتایج Karimi و Soroush Nia در سال ۲۰۱۳ در مناطق صنعتی اهواز نشان داد غلظت فلزات نیکل و مس در ماهشهر به مراتب بیشتر از مناطق صنعتی در اهواز است.

بالاترین مقادیر شاخص آلودگی (PI) مربوط به کروم و نیکل بود. ۹۸ درصد از نمونه‌ها برای فلز کروم و ۸۰/۴ درصد از نمونه‌ها برای نیکل دارای آلودگی شدید بودند. بیش از ۷۰ درصد نمونه‌ها از نظر فلزات روی و سرب در کلاس بدون آلودگی طبقه‌بندی شدند. برای فلز مس نیز ۹۲ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی کم بودند. بنابراین نمونه‌های برداشت شده از خاک‌های شهری در بندر ماهشهر بیانگر سطوح کم یا متوسط از آلودگی سرب و روی آلوده شده‌اند. نتایج شاخص جامع فاکتور آلودگی نمره (NIP) نشان داد که همه نمونه‌ها در سطح آلودگی بالا قرار دارند. با در نظر گرفتن شاخص آلودگی به عنوان پایه محاسبات این شاخص، میتوان بیان کرد که عدم وجود آلودگی خاک سطحی بندر ماهشهر نسبت به مس، سرب و روی، نشان دهنده و تاکید بر آلودگی بسیار بالای فلزات کروم و نیکل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز نشان داد که عناصر سرب، روی و مس تحت تاثیر یک مؤلفه و دارای منشاء یکسان می‌باشند. کروم و نیکل هر کدام تحت تاثیر مؤلفه‌ای جداگانه قرار دارند و دارای منشا متفاوتی می‌باشند. مقادیر بالای شاخص‌ها نشان می‌دهد منشا همه فلزات انسان‌ساخت می‌باشد.

References:

- Biasioli, M., Grčman, H., Kralj, T., Madrid, F., Díaz-Barrientos, E., & Ajmone-Marsan, F. 2007. Potentially Toxic Elements Contamination in Urban Soils. *Journal of Environmental Quality*, 36(1), 70-79.
- CCME. 2007. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: summary tables.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. 1961. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. Priced Publication 4034. Division of Agriculture Sciences. University of California, Berkeley.
- 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, 143-153.
- 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.
- De Miguel, E., De Grado, M. J., Llamas, J. F., Martín-Dorado, A., & Mazadiego, L. F. 1998. The overlooked contribution of compost application to the trace element load in the urban soil of Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 215(1), 113-122.
- Esmacili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., & Kermani, M. 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *Catena*, 121, 88-98.
- Esmacili, D., 2014. Spatial variability analysis of heavy metals zinc, lead and manganese in the soil around the Mobarakeh Steel Complex using GIS, 7th National Conference and Exhibition of Environmental Engineering. (In Persian)
- Islam, S., Ahmed, K., & Al-Mamun, H. 2015. Distribution of trace elements in different soils and risk assessment: a case study for the urbanized area in Bangladesh. *Journal of Geochemical Exploration*, 158, 212-222.
- Karimi, h., 2013. Determination of heavy metal pollution including Cu, Fe, V, Ni, Mn, Mg, Sn and Cd Using sediment geochemical indicators in the number of 2 industrial complex of Ahwaz. Master of Science thesis, Khuzestan Science and research branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. (In Persian)
- Karimi Nezhad, M. T. K., Tabatabaai, S. M., & Gholami, A. 2015. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 152, 91-109.
- Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A., & Tzafepoulou, K. 2008. Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill. *Bioresource Technology*, 99(18), 8578-8584.
- Kelepertzis, E. 2014. Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*, 221, 82-90.
- Li, X., & Feng, L. 2012. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*, 47, 58-65.
- Maas, S., Scheifler, R., Benslama, M., Crini, N., Lucot, E., Brahmia, Z., ...& Giraudoux, P. 2010. Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. *Environmental pollution*, 158(6), 2294-2301.
- Maroufnejad, A. and Reis Ghanavati, K., 2014. The Effect of Urban Management on Reducing Industrial Pollutants in the City of Mahshahr, *Journal of Urban Economics and Management*, 2(6). (In Persian)
- Mihailović, A., Budinski-Petković, L., Popov, S., Ninkov, J., Vasin, J., Ralević, N. M., & Vasić, M. V. 2015. Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach. *Journal of Geochemical Exploration*, 150, 104-114.
- Morton-Bermea, O., Hernández-Álvarez, E., González-Hernández, G., Romero, F., Lozano, R., & Beramendi-Orosco, L. E. 2009. Assessment of

- heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration*, 101(3), 218-224.
- Mousavi, E., Soffianian, A. R., Mirghaffari, N., and Khodakarami, L. 2011. Investigation of Spatial Distribution of Heavy Metals in Surface Soil of Hamadan Province, Iranian *Journal of Soil Research*, 4(25), 326-336. (In Persian)
- Qing, X., Yutong, Z., & Shenggao, L. 2015. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 120, 377-385.
- Quality standards for Soil Resources and its guides, 2014. Department of Environment, Deputy Human Environment, Soil and Water Office. (In Persian).
- Sollitto, D., Romic, M., Castrignanò, A., Romic, D., & Bakic, H. 2010. Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics. *Catena*, 80(3), 182-194.
- Sorushnia, R., 2013. Determination of heavy metal pollution including Cu, Fe, V, Ni, Mn, Mg, Sn and Cd Using sediment geochemical indicators in the number of 4 industrial complex of Ahwaz. Master of Science thesis, Khuzestan Science and research branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran. (In Persian)
- Sun, Y., Zhou, Q., Xie, X., & Liu, R. 2010. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1), 455-462.
- Wu, S., Peng, S., Zhang, X., Wu, D., Luo, W., Zhang, T., ...& Wu, L. 2015. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 148, 71-78.
- Xiao-Wen, F. U., Deng-Ge, W. A. N. G., Xiao-Hua, R. E. N., & Zhao-Jie, C. U. I. 2014. Spatial distribution patterns and potential sources of heavy metals in soils of a crude oil-polluted region in China. *Pedosphere*, 24(4), 508-515.
- Yang, Z., Ge, H., Lu, W., & Long, Y. 2015. Assessment of heavy metals contamination in near-surface dust. *Pol. J. Environ. Stud*, 24, 1817-1829.
- Yang, Z., Lu, W., Long, Y., Bao, X. and Yang, Q., 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 108(1), pp.27-38.
- Yang, Z., Lu, W., Long, Y., Bao, X. and Yang, Q., 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 108(1), pp.27-38.
- Yuan, G. L., Sun, T. H., Han, P., & Li, J. 2013. Environmental geochemical mapping and multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils of a closed steel smelter: Capital Iron & Steel Factory, Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 130, 15-21.
- Zhang, C. 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. *Environmental pollution*, 142(3), 501-511.