نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۴/۲ صفحه‌های ۴۱ تا ۵۲ / سال ۱۳۹۴

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی در خاک اراضی با کاربری‌های مختلف در بخش مرکزی استان زنجان

علی افشاری*[۱]، حسین خادمی[۲] و محمدامیر دلاور[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۴

[۱]- دانش‌آموخته دوره کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۲]- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۳]- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.afshari66@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه آلودگی برخی از فلزات سنگین در منطقه‌ای به وسعت ۲۰۰۰ کیلومترمربع که از اهمیت کشاورزی و صنعتی و سکونتی زیادی برخوردار است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی تعداد ۲۴۱ نمونه خاک سطحی بر اساس روش نظام‌مند آشیانه‌ای از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری کاربری‌های کشاورزی، مرتع و شهری برداشت شد. غلظت کل فلزات سنگین با اسید نیتریک پنج نرمال، توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. نتایج نشان داد که مقدار کل سرب، روی، کادمیم و مس در خاک نمونه‌ها به‌ترتیب ۱/۶، ۲/۰، ۴/۰ و ۱/۵ برابر آن در خاک زمینه است، و غلظت کل آهن، منگنز، کروم، کبالت و نیکل از غلظت زمینه این فلزات کمتر است. با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، آهن، منگنز، کروم، کبالت، نیکل و مس در کلاس آلودگی متوسط و پایین قرار گرفته و فاکتور آلودگی سرب و روی در ۱۰ درصد نمونه‌ها کلاس آلودگی زیاد و خیلی زیاد قرار داشت و این مقدار برای عنصر کادمیم ۴۰ درصد برآورد گردید. مقادیر بالای فاکتور آلودگی سرب، روی، کادمیم و مس (گروه اول) در کاربری شهری و فاکتور آلودگی آهن، منگنز، کروم، کبالت و نیکل (گروه دوم) در کاربری کشاورزی و مراتع مشاهده شد. روی هم‌اندازی نقشه‌های فاکتور آلودگی هر یک از فلزات با نقشه کاربری اراضی نتایج نشان داد که فلزات گروه اول بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و فلزات گروه دوم متأثر از مواد مادری در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: زنجان، کلاس آلودگی، غلظت زمینه، کادمیم، کاربری شهری

Heavy Metals Contamination Assessment in Soils of Different Land Uses in Central District of Zanjan Province Using Contamination Factor

A Afshari*[1], H Khademi[2], MA Delavar[3]

Received: 13 January 2014 Accepted: 4 May 2015
[1]-Former M.Sc. Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Isfahan Univ. of Technology, Iran
[2]-Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Isfahan Univ. of Technology, Iran
[3]-Assist. Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Zanjan, Iran
* Corresponding Author, Email: a.afshari66@yahoo.com

Abstract

The study area is about 2000 km^2 which is important in terms of agriculture, industry and residential complexes. For the purpose of evaluation, 241 samples of surface soil were taken based on systematic nested method from the land soils in the depth of 0 to 10 cm that were under agriculture, pasture and urban uses. The total concentrations of heavy metals of the samples were determined by an atomic absorption spectrometer following the extraction with 5N nitric acid. The results showed that the total amounts of lead, zinc, cadmium and copper in the soil of the studied area were 1.6, 2.0, 4.0, and 1.5 times higher than those in the soil of the natural background respectively. The total concentrations of iron, manganese, chromium, cobalt and nickel in samples were less than those in the background soil. Based on the contamination factor, in the most of samples, concentration of the iron, manganese, chromium, cobalt, nickel and copper were in low to moderate and Pb concentration in 10% of the samples was in high contaminated classes. More than 40 percent of the area was highly polluted with Cd. High levels of contamination factor for lead, zinc, cadmium and copper (Group I) were found in urban land area and contaminated soils with iron, manganese, chromium, cobalt, and nickel (Group II) were observed in agricultural and pasture lands. Overlaying the maps of contamination factors with those of land uses showed that the first group of heavy metals were mostly affected by human activities and the second group by parent materials.

Keywords: Background concentration, Cadmium, Contaminated classes, Urban uses, Zanjan

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائلی که سلامت منابع طبیعی و در نتیجه امنیت غذایی جوامع را تهدید می‌کند، آلودگی محیط‌زیست است. تخریب و آلودگی محیط‌زیست از نشانه‌های ملموس فعالیت‌های ناپایدار جوامع امروزی و یکی از ره‌آوردهای صنعتی شدن جامعه بشری است (کبتاپندیاس و پندیاس ۲۰۰۱). هنگامی‌که خاک‌آلوده شود، این آلودگی می‌تواند به سایر اجزای محیط‌زیست منتقل شده و به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم سلامت انسان را به خطر بیندازد (ژانگ و همکاران ۲۰۰۷).

اراضی وسیع کشاورزی تحت مصرف کودهای شیمیایی، مناطق اطراف شهرهای بزرگ و صنعتی، کارخانه‌ها، معادن و جاده‌های اصلی از جمله مهم‌ترین مناطقی هستند که غلظت فلزات سنگین در آن‌ها در حد بالا و در اکثر مواقع در حد سمی است (دمیوس و همکاران ۲۰۰۲). حفظ محیط‌زیست و دستیابی به توسعه پایدار یکی از مباحث اصلی است که با اجرای طرح‌های جامع اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، جزو برنامه‌های اصلی برنامه‌ریزان کشورهای مختلف جهان و از جمله ایران قرار گرفته است.

یکی از موارد مهم که در مطالعات این نوع آلودگی‌ها می‌باید مدنظر قرار گیرد منشأ فلزات سنگین و عوامل دخیل در پراکنش جغرافیایی آن‌ها است. محققان زیادی با توجه به خطر فلزات سنگین در محیط، به مطالعه و بررسی مقادیر، منشأ و پراکنش آن‌ها در خاک‌های مناطق مختلف جهان اقدام کرده‌اند. نتایج تحقیقات اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰) در اراضی آبی شهرستان زنجان نشان داد که ۷۰ درصد این مناطق با سمیت روی و ۱۰۰ درصد آن‌ها با سمیت مس مواجه هستند. آنان بیشترین مقدار روی کل را در اراضی اطراف کارخانه‌ها، معادن سرب و روی و واحدهای فرآوری و ذوب فلزات و سمیت مس کل را علاوه بر مناطق فوق در اراضی شالیزاری حاشیه رودخانه قزل-اوزن گزارش کردند. خامسی و اسدی (۱۳۸۷) گزارش کردند که در استان زنجان سالانه میزان ۲۵۹ هزار تن فیلتر کیک لیچ، ۱۳ هزار تن فیلتر کیک گرم و ۶۵۰۰ تن فیلتر کیک سرد توسط ۲۲ واحد روی و ۱۳۰۰۰ تن سرباره توسط دو واحد سرب تولید می‌شوند. این پس-ماندها به‌طور عمده شامل ۲۷ هزار تن فلز روی، ۹ هزار تن سرب و ۵۵۶ تن کادمیم است که در مناطق و حاشیه مسیل‌ها و دره‌های مجاور رودخانه‌های استان و یا بر روی سفره‌های آب زیرزمینی منطقه انباشته می‌شوند. در اثر وزش باد مقادیر زیادی از ریزگردهای حاوی این فلزات به محیط اطراف پخش و یا توسط بارش‌های جوی به آب‌های سطحی و زیرزمینی نشت می‌نماید. نصیری (۱۳۸۷) گزارش کرد که اکثر واحدهای صنعتی موجود در استان زنجان بر روی سفره‌های آب زیرزمینی قرار گرفته‌اند که با تولید بیش از ۸۰۴۴ متر-مکعب پساب صنعتی و با توجه به ویژگی نفوذپذیری خاک و سرعت نفوذ، حجم زیادی از این پساب‌های بدون تصفیه وارد محیط‌زیست شده و باعث آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شود. نتایج تحقیقات گلچین و همکاران (۱۳۸۴) نشان داد که غلظت فلزات سرب، روی و کادمیم در خاک‌های اطراف کارخانه‌های صنعتی در زنجان به‌شدت افزایش یافته اما غلظت آلاینده‌ها با توجه به نوع کارخانه‌ها و فعالیت‌های آن بسیار متفاوت است. با توجه به اهمیت استان زنجان از نظر تمرکز فعالیت-های صنعتی، سطح تولیدات کشاورزی در کشور و نیز تراکم بالای جمعیتی، مطالعه وضعیت آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین در این منطقه حائز اهمیت است. لذا هدف از انجام این پژوهش شناسایی منشأ و نحوه پراکنش برخی از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخش مرکزی استان زنجان با استفاده از فاکتور آلودگی[1] (CF) در کاربری‌های مختلف اراضی است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه، نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

منطقه موردمطالعه با مساحتی بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومترمربع بخشی از اراضی مرکزی استان زنجان است که بین مدارهای ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین ارتفاع از سطح دریا بیش از ۱۵۰۰ متر و متوسط بارندگی سالانه ۲۹۸ میلی‌متر است. تعداد روزهای یخبندان در طول سال ۱۱۵ روز هست. ماه‌های تیر و مرداد با معدل دمای حدود ۲۳ درجه سلسیوس گرم‌ترین و ماه دی با معدل ۲/۵- درجه سلسیوس سردترین ماه سال است. نمونه‌برداری بر اساس شبکه-بندی آشیانه‌ای، از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. برای این منظور شبکه‌هایی با ابعاد ۳×۳ کیلومتری ایجاد و محل تلاقی خطوط به‌عنوان محل نمونه‌برداری انتخاب گردید. در اراضی شهری برای بررسی ابعاد

[1] Contamination factor

مختلف آلودگی، شبکه‌های ایجاد شده به ابعاد ۱/۵×۱/۵ کیلومتری تقلیل یافت. بر این اساس تعداد ۲۴۱ نمونه خاک سطحی از کل منطقه برداشت شد که ۱۳۷ نقطه در کاربری اراضی کشاورزی، ۷۷ نقطه در کاربری مرتع و ۲۷ نمونه در اراضی شهری واقع شده است (شکل ۱). نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های موجود، از روش اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) استفاده گردید. بدین ترتیب از نمونه-های خاک مقدار ۰/۲ گرم با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و در ارلن ۱۲۵ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس مقدار ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۵ نرمال به نمونه‌ها اضافه گردید. همچنین برای جلوگیری از تبخیر محتویات ارلن‌ها، بر روی درب آن‌ها فویل آلومینیومی قرار داده شد و بعد به‌مدت ۳۰ ساعت به حال خود رها شده (دمای ۲۵ °C)، سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه بر روی گرمکن حرارت داده شدند. پس از سرد شدن ارلن‌ها، نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و به داخل ارلن ۲۵ میلی‌لیتری صاف شدند و با آب مقطر به حجم رسانده شدند. در نهایت غلظت کل فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer: AA 200 و غلظت کل کادمیم به‌دلیل آنکه خارج از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل Rayleigh: WF-1E اندازه‌گیری شد.

محاسبه فاکتور آلودگی (CF)

جهت تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی استفاده گردید (معادله ۱). بر اساس این فاکتور می‌توان غلظت فلزات را نسبت به غلظت زمینه خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. فاکتور آلودگی بر اساس رابطه (۱) برای تمام فلزات موردبررسی محاسبه شد (هاکانسون ۱۹۸۰):

$$CF = C_{metal}/C_{background} \quad [۱]$$

در این معادله CF نسبت غلظت هر فلز (C_{metal}) به غلظت زمینه آن فلز ($C_{background}$) است که مقادیر آن در جدول ۱ ارائه شده است.

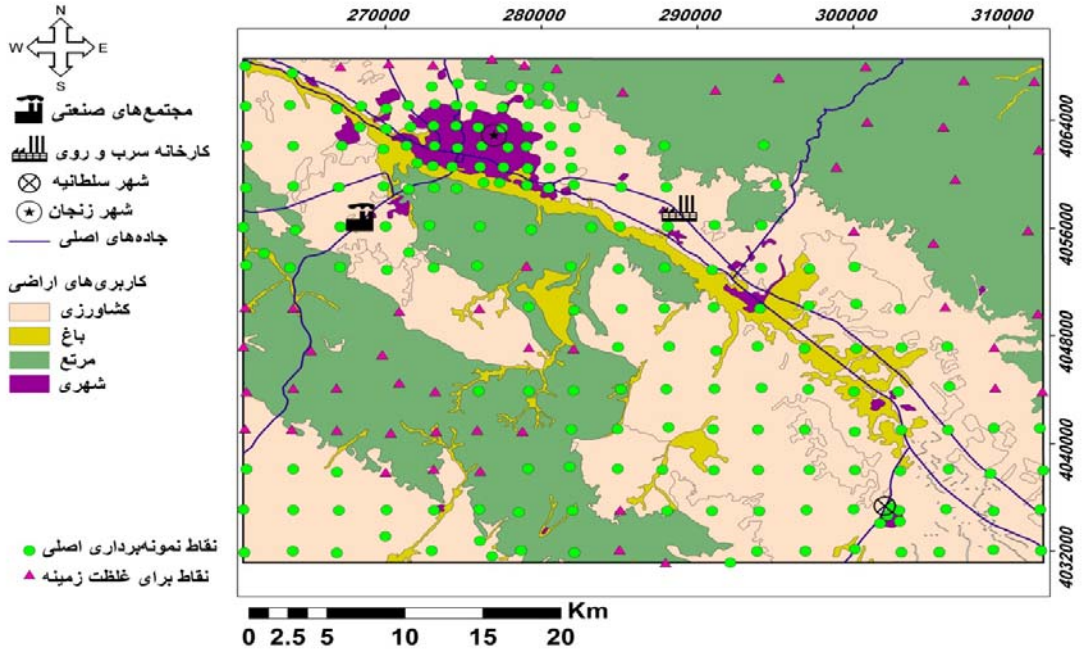
جدول ۱- کلاس‌بندی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی (هاکانسون ۱۹۸۰).

دامنه تغییرات فاکتور آلودگی (CF)	شدت آلودگی
$CF < ۱$	آلودگی کم
$۱ \leq CF < ۳$	آلودگی متوسط
$۳ \leq CF < ۶$	آلودگی زیاد
$۶ \leq CF$	آلودگی خیلی زیاد

برای تعیین غلظت زمینه‌ای طبیعی در منطقه مطالعاتی، از مناطق بکر و طبیعی (مناطقی که دور از فعالیت‌های انسانی قرار داشتند) تعداد ۵۳ نمونه خاک جمع‌آوری (شکل ۱) و غلظت فلزات سنگین در آن‌ها اندازه‌گیری شد و به‌عنوان غلظت زمینه در منطقه موردمطالعه مورد بهره‌برداری قرار گرفت. ازآنجاکه میانگین هندسی[1] بازتاب مفید و مناسبی از میانگین غلظت فلزات را در خاک‌ها نشان می‌دهد (چن و همکاران ۲۰۰۱ و وو و همکاران ۲۰۱۰)، میانگین هندسی غلظت فلزات در این نمونه‌ها (N=۵۳) به‌عنوان غلظت زمینه‌ای در منطقه موردمطالعه استفاده شد.

به‌منظور شناسایی هر چه‌بهتر مناطق آلوده و یا در معرض آلودگی به فلزات سنگین، به تهیه نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی پرداخته شد. برای این منظور ابتدا با بسط مدل‌های تئوری تغییر نمای مناسب برای هر یک از شاخص‌های محاسبه‌شده و از روش میان-یابی کریجینگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۹/۳ استفاده شد. محاسبات آماری با کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام شد.

[1] Geometric mean



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری و کاربری اراضی و نقاط مربوط به تهیه غلظت زمینه فلزات سنگین.

نتایج و بحث

تغییرات غلظت کل فلزات سنگین با توجه به مقدار زمینه‌ای منطقه‌ای

تعیین غلظت فلزات سنگین به‌تنهایی نمی‌تواند برآورد درستی از میزان آلودگی آن‌ها باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین برای تعیین میزان آلایندگی فلزات سنگین در محیط باید غلظت به‌دست‌آمده با یک استاندارد مشخص سنجیده شود. در مطالعات مختلف این حالت مقایسه‌ای اصولاً با استانداردهای جهانی از قبیل متوسط شیل جهانی (بلاسر و همکاران ۲۰۰۰) و متوسط مقادیر موجود در پوسته قاره‌ای (سان و همکاران ۲۰۱۰) و یا استانداردهای منطقه‌ای (وو و همکاران ۲۰۱۰) و یا شاخص‌های کشوری (لی و فنگ ۲۰۱۲) انجام می‌گیرد. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است زیرا شرایط اقلیمی و زمین‌شناختی در نقاط مختلف، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد خواهد کرد (بلاسر و همکاران ۲۰۰۰). در ایران چون استانداردهای خاصی برای تعیین درجه آلودگی فلزات در خاک وجود ندارد بنابراین از استانداردهای موجود در دیگر کشورها یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. تخمین غلظت زمینه در مناطقی نظیر منطقه موردمطالعه می‌تواند در مطالعه و بررسی آلودگی‌های زیست‌محیطی قابل‌استفاده باشد. کابررا و همکاران (۱۹۹۹) و بویان و همکاران (۲۰۱۰) برای این منظور نمونه‌برداری از مناطق بکر و طبیعی را که دور از مناطق صنعتی است را توصیه می‌کنند. در مطالعه حاضر، غلظت‌های زمینه برای آهن ۱۶۵۰۹، منگنز ۶۲۸/۴، کبالت ۲۴/۱۸، کروم ۱۹/۹۹، نیکل ۴۰/۷۴، مس ۲۶/۹۹، روی ۹۱/۸۱، سرب ۵۷/۷۹ و کادمیم ۰/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برآورد شدند (جدول ۲).

برخی مشخصه‌های آماری غلظت کل فلزات سنگین موردبررسی در جدول ۳ نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که غلظت کادمیم، روی، سرب و مس به‌ترتیب ۴، ۲، ۱/۶ و ۱/۵ برابر غلظت زمینه این فلزات است. میانگین‌های بالاتر از غلظت زمینه اشاره به منابع ورودی خارجی فلزات سنگین در منطقه دارد (اقبال و شاه ۲۰۱۱ و شی و همکاران ۲۰۱۰).

جدول۲- مشخصه‌های آماری ($mg\ kg^{-1}$) مربوط به مناطق زمینه (N=۵۳).

	آهن	نیکل	کروم	کبالت	منگنز	مس	سرب	روی	کادمیم
حداقل	۸۴۳۸/۰	۲۱/۸	۷/۰	۱۷/۰	۳۷۲/۵	۱۱/۳	۴۰/۰	۸۶/۳	۰/۲۴
حداکثر	۲۷۵۰۰/۰	۶۰/۵	۳۹/۵	۳۲/۰	۹۳۷/۵	۴۰/۰	۸۲/۵	۱۲۷/۵	۰/۴۲
میانگین حسابی	۱۷۱۵۸/۰	۴۲/۰	۲۱/۳	۲۴/۴	۶۴۳/۷	۲۸/۲	۵۹/۶	۹۳/۵	۰/۲۷
میانگین هندسی	۱۶۵۰۹/۴	۴۰/۷	۲۰/۰	۲۴/۲	۶۲۸/۴	۲۷/۰	۵۷/۸	۹۱/۸	۰/۲۵
چولگی	۰/۸۱	-۰/۱۱	۰/۵۷	-۰/۱۳	۰/۱۹	-۰/۴۰	-۰/۱۹	۰/۰۷	-۰/۴۰
کشیدگی	۲/۰۲	-۰/۶۱	۰/۳۴	۰/۱۱	-۰/۵۴	-۰/۵۱	-۰/۴۱	-۰/۷۸	-۰/۹۶
ضریب تغییرات (٪)	۲۸/۱	۲۳/۶	۳۴/۶	۱۳/۰	۲۱/۸	۲۷/۵	۲۰/۰	۱۷/۶	۳۶/۴

جدول ۳- مشخصه‌های آماری غلظت کل فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در منطقه مطالعاتی (N=۲۴۱).

	مس	کادمیم	روی	سرب	نیکل	کروم	کبالت	منگنز	آهن
حداقل	۱۱/۳	۰/۲۴	۸۶/۳	۴۰/۰	۱۲/۸	۷/۰	۱۷/۰	۳۳۸/۷	۸۴۳۸
حداکثر	۳۵۲/۵	۴/۱۱	۱۳۵۳/۸	۱۳۵۷/۵	۸۶/۸	۶۷/۷	۳۵/۷	۱۷۶۱/۲	۲۷۵۰۰
میانگین حسابی	۴۰/۳	۰/۹۷	۱۸۷/۰	۸۹/۶	۴۸/۳	۲۳/۶	۲۴/۶	۶۳۷/۷	۱۶۷۴۵
میانگین هندسی	۳۴/۶	۰/۷۵	۱۵۹/۳	۷۵/۲	۴۶/۱	۲۲/۱	۲۴/۴	۶۱۷/۷	۱۶۳۰۰
چولگی	۵/۴	۱/۸۳	۴/۳	۹/۳	۰/۳	۱/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۲
کشیدگی	۴۴/۹	۲/۸۷	۲۳/۰	۱۱۱/۱	-۰/۴	۳/۲	۰/۲	۰/۰	-۰/۱
ضریب تغییرات (٪)	۷۷	۸۴	۸۴	۱۱۱	۳۰	۳۹	۱۴	۲۴	۲۲

فاکتور آلودگی فلزات سنگین در کاربری‌های اراضی مختلف

جدول ۴ توصیف آماری فاکتور آلودگی هر یک از فلزات سنگین را در کاربری‌های اراضی مختلف در منطقه نشان می‌دهد. مقدار میانگین فاکتور آلودگی فلزات در کاربری کشاورزی به‌ترتیب کاهشی برای کادمیم > روی > مس > کروم > نیکل > سرب > آهن > کبالت > منگنز است و در کاربری مرتع به‌ترتیب کادمیم (۳/۳۳)، روی (۱/۶۰)، مس (۱/۲۱)، کروم (۱/۰۸)، نیکل (۱/۰۹)، سرب (۱/۳۹)، آهن (۱/۰۴)، کبالت (۱/۰۴) و منگنز (۱/۱۱) محاسبه شد. در کاربری شهری مقادیر فاکتور آلودگی برای فلزات فوق به‌ترتیب کاهشی برای فلزات کادمیم (۹/۸۶)، روی (۴/۳۵)، سرب (۳/۸۱)، مس (۲/۸۱)، نیکل (۰/۹۱)، کبالت (۰/۸۸)، کروم (۰/۸۵)، آهن (۰/۸۵) و منگنز (۰/۸۱) به‌دست آمد. با توجه به کلاس-بندی فاکتور آلودگی (جدول ۱) نتایج نشان می‌دهد که فاکتور آلودگی آهن، منگنز، کبالت، کروم و نیکل و تا حدودی برای مس در کلاس آلودگی متوسط و پایین‌تر قرار دارند. این در حالی است که در حدود ۱۰ درصد نمونه‌ها در فاکتور آلودگی سرب و روی در کلاس آلودگی زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته و این مقدار برای کادمیم در حدود ۴۰ درصد است (جدول ۵). فاکتور آلودگی بالا در کاربری شهری مشاهده‌شده و در این کاربری فاکتور آلودگی کادمیم، روی و سرب به‌ترتیب ۸۰، ۲۶ و ۲۳ درصد در کلاس آلودگی بسیار زیاد (CF>۶) قرار گرفتند.

شکل ۲ پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات سنگین موردبررسی در منطقه مطالعاتی را نشان می-دهد. بر این اساس فاکتور آلودگی فلزاتی مانند سرب، روی، کادمیم و مس بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه هستند. بالاترین میزان فاکتور آلودگی این فلزات در مناطق شهری و اطراف مراکز صنعتی مشاهده می‌شود. از طرف دیگر پراکنش فاکتور آلودگی آهن، منگنز، کبالت، کروم و نیکل متفاوت است. الگوی توزیع مکانی فاکتور آلودگی این فلزات عکس فلزات قبلی است و در مناطق شهری و اطراف مراکز صنعتی میزان

فاکتور آلودگی آن‌ها پایین بوده و مقادیر بالاتر فاکتور آلودگی این فلزات، بیشتر بر روی مواد مادری مختلف در منطقه قرار گرفته است. فاکتور آلودگی نیکل بر روی مواد مادری شیل (خطوط قرمز رنگ در نقشه فاکتور آلودگی نیکل) غلظت‌های نسبی بالاتری را نسبت به مناطق دیگر نشان می‌دهد (شکل ۲).

ارتباط بین فاکتور آلودگی فلزات سنگین موردبررسی در منطقه مطالعاتی

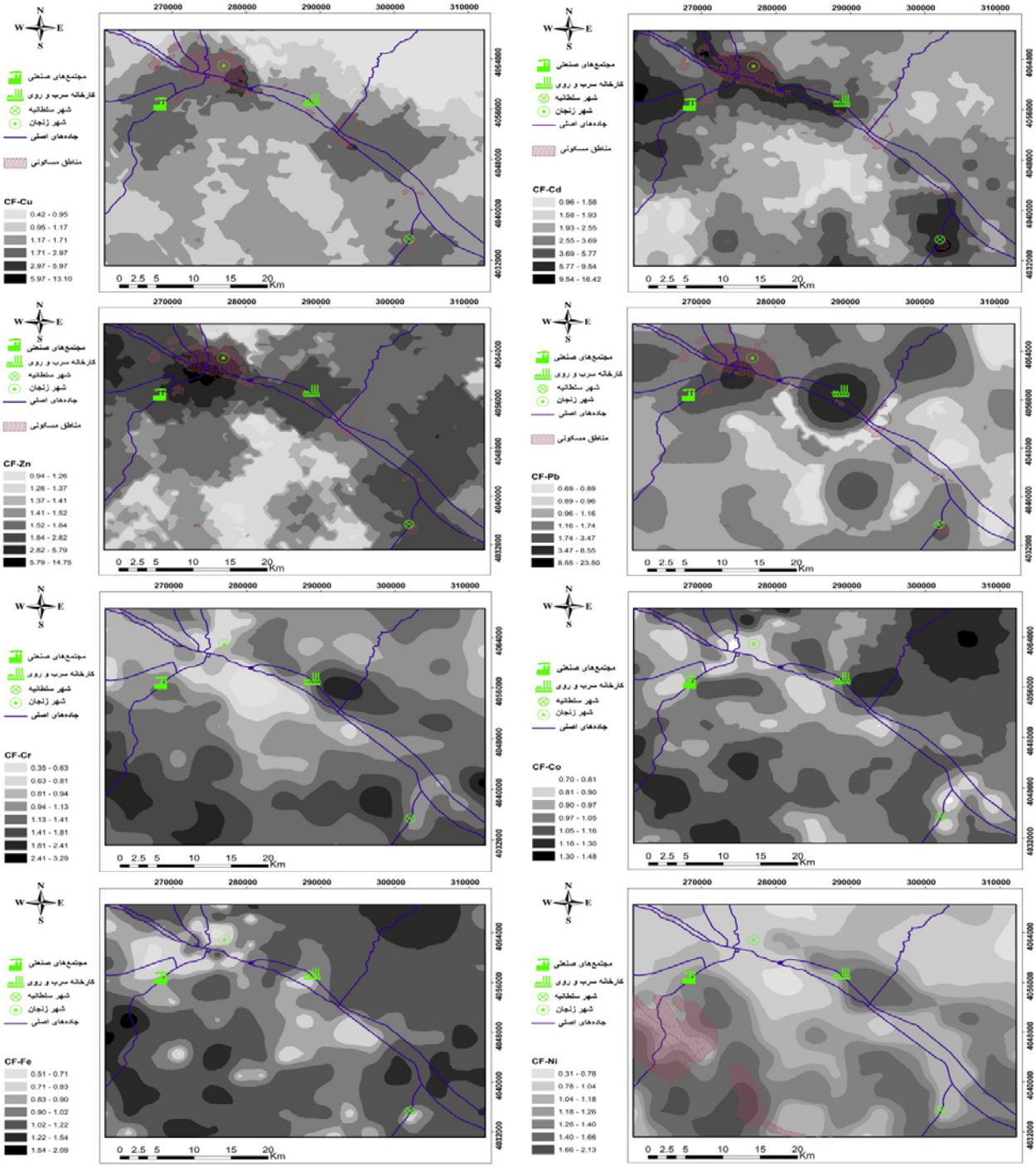
جدول ۶ همبستگی بین فاکتور آلودگی فلزات مختلف در کل منطقه مطالعاتی در جدول ۶ نشان داده شده است. رابطه همبستگی بین فاکتور آلودگی مس، کادمیم، روی و سرب با هم و فلزات نیکل، کروم، کبالت، منگنز و آهن با یکدیگر در سطح یک درصد رابطه مثبت و معنی‌دار است. همچنین، همبستگی فاکتور آلودگی فلزات سرب، روی، مس و کادمیم با فاکتور آلودگی فلزات نیکل، کبالت، منگنز، کروم و آهن ارتباط منفی و معنی‌دار هست. بالاترین ضریب همبستگی مربوط به فاکتور آلودگی گروه دوم بوده و ارتباط بین کروم و نیکل ۰/۷۳ و کبالت و آهن ۰/۶۴ به‌دست آمد. ضریب همبستگی بالا بین فلزات بیان‌کننده منشأ آلودگی یکسان و عامل کنترل‌کننده مشترک این فلزات است (بویان و همکاران ۲۰۱۰ و لی و فنگ ۲۰۱۲).

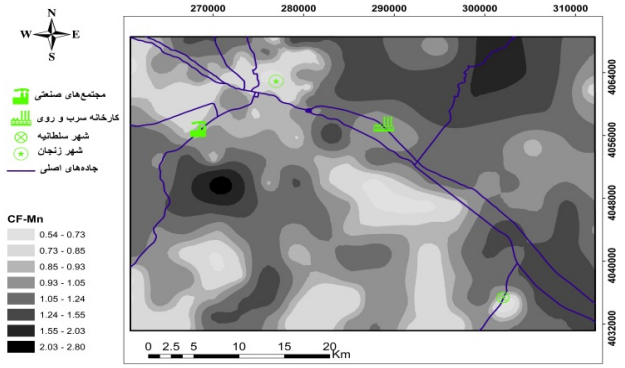
جدول ۴- مشخصه‌های آماری فاکتور آلودگی (CF) فلزات سنگین موردبررسی در کاربری‌های اراضی مختلف.

		CF-Cu	CF-Cd	CF-Zn	CF-Pb	CF-Ni	CF-Cr	CF-Co	CF-Mn	CF-Fe
کشاورزی										
	حداقل	۰/۶۵	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۶۹	۰/۳۶	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۱
	حداکثر	۶/۸۷	۱۱/۵۵	۱۴/۷۵	۵/۸۸	۱/۹۸	۳/۲۹	۱/۳۸	۱/۵۰	۱/۶۴
	میانگین	۱/۳۹	۳/۰۱	۱/۸۳	۱/۱۹	۱/۲۹	۱/۳۱	۱/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۴
	C.V	۵۳	۷۷	۷۵	۵۰	۲۶	۳۷	۱۳	۲۱	۲۰
مرتع										
	حداقل	۰/۴۲	۱/۶۰	۰/۹۴	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۳۵	۰/۷۰	۰/۵۹	۰/۵۱
	حداکثر	۵/۵۲	۱۶/۴۳	۶/۱۸	۵/۰۰	۲/۱۳	۲/۲۳	۱/۴۸	۲/۸۰	۲/۰۹
	میانگین	۱/۲۱	۳/۳۳	۱/۶۰	۱/۳۹	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۱۱	۱/۰۴
	C.V	۷۳	۷۰	۵۵	۴۸	۳۰	۳۶	۱۵	۳۰	۲۷
شهری										
	حداقل	۱/۶۲	۵/۳۹	۱/۹۷	۱/۵۶	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۶۱
	حداکثر	۱۳/۰۶	۱۶/۰۴	۱۳/۳۳	۲۳/۴۹	۱/۳۶	۱/۳۱	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۲۴
	میانگین	۲/۸۱	۹/۸۶	۴/۳۵	۳/۸۱	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۵
	C.V	۸۰	۳۵	۶۷	۱۱۲	۲۵	۲۳	۹	۱۷	۱۸

جدول ۵- کلاس آلودگی فلزات سنگین موردبررسی بر حسب درصد در کل نمونه‌های خاک.

		CF-Cu	CF-Cd	CF-Zn	CF-Pb	CF-Ni	CF-Cr	CF-Co	CF-Mn	CF-Fe
کلاس‌های	کم	۳۱	۲	۴	۳۳	۳۳	۴۱	۴۳	۵۱	۴۴
آلودگی(٪)	متوسط	۶۴	۶۱	۸۵	۶۰	۶۷	۵۸	۵۷	۴۹	۵۶
	زیاد	۵	۱۷	۷	۵	–	۱	–	–	–
	خیلی زیاد	–	۲۰	۴	۲	–	–	–	–	–


CF-Cu
CF-Cd
CF-Zn
CF-Pb
CF-Cr
CF-Co
CF-Fe
CF-Ni
مجتمع‌های صنعتی
کارخانه سرب و روی
شهر سلطانیه
شهر زنجان
جاده‌های اصلی
مناطق مسکونی
0 2.5 5 10 15 20 Km



شکل ۲- پراکنش مکانی فاکتور آلودگی هر یک از فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه مطالعاتی.

جدول ۶- ضرایب همبستگی (اسپیرمن) بین فاکتور آلودگی هر یک از فلزات سنگین در کل نمونه‌های خاک (N=۲۴۱).

	CF-Cu	CF-Cd	CF-Zn	CF-Pb	CF-Ni	CF-Cr	CF-Co	CF-Mn	CF-Fe
CF-Cu	۱								
CF-Cd	۰/۵۰۹**	۱							
CF-Zn	۰/۳۳۹**	۰/۴۷۰**	۱						
CF-Pb	۰/۲۶۱**	۰/۴۲۰**	۰/۴۲۴**	۱					
CF-Ni	-۰/۱۲۵	-۰/۲۵۷**	-۰/۰۷۵	-۰/۲۳۵**	۱				
CF-Cr	-۰/۱۵۹*	-۰/۲۶۹**	-۰/۰۹۱	-۰/۲۲۱**	۰/۷۳۷**	۱			
CF-Co	-۰/۳۵۱**	-۰/۳۳۸**	-۰/۱۶۴*	-۰/۱۷۴**	۰/۴۸۵**	۰/۵۸۵**	۱		
CF-Mn	-۰/۲۰۴**	-۰/۰۲	۰/۰۹۵	-۰/۱۴۳*	۰/۲۴۰**	۰/۲۸۱**	۰/۳۶۳**	۱	
CF-Fe	-۰/۳۲۹**	-۰/۲۰۷**	-۰/۰۴	-۰/۲۵۳**	۰/۴۵۰**	۰/۵۹۹**	۰/۶۴۲**	۰/۵۹۵**	۱

* معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

نتیجه‌گیری کلی

ارتباط بین فلزات سنگین در خاک پیچیده و مبهم هست. فاکتورهای زیاد و برجسته‌ای از قبیل غلظت فلزات سنگین در سنگ‌ها و مواد مادری، فرآیندهای مختلف تشکیل خاک و فاکتورهای انسانی تعیین‌کننده فراوانی نسبی غلظت آن‌ها در خاک‌ها هستند (سان و همکاران ۲۰۱۰). مطالعه میزان آلودگی فلزات سنگین با کمک فاکتور آلودگی می‌تواند تأثیر عوامل مختلف در توزیع نسبی غلظت هر یک از فلزات سنگین در خاک را به‌خوبی نشان دهد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که فاکتور آلودگی هر یک از فلزات در کاربری‌های مختلف متفاوت است. تأثیر کاربری اراضی شهری بر افزایش نسبی غلظت فلزات سرب، روی، کادمیم و مس بارزتر است، این در حالی است که میانگین فاکتور آلودگی فلزات کبالت، کروم، نیکل، منگنز و آهن در کاربری شهری پایین‌تر از کاربری‌های اراضی کشاورزی و مرتع بوده و مقدار آن کمتر از یک است که در کلاس آلودگی کم قرار دارند. ضرایب همبستگی (اسپیرمن) بین فاکتور آلودگی، دو گروه مهم از فلزات سنگین که دارای ارتباط مثبت و معنی‌دار نسبت به هم داشتند را در منطقه مشخص کرد. ارتباط بین فلزات می‌تواند اطلاعات قابل‌توجهی از منابع ورودی و گذرگاه‌های آن‌ها را نشان دهد (وو و همکاران ۲۰۱۰ و اقبال و شاه ۲۰۱۱). گروه اول فلزات (سرب، روی، کادمیم و مس) به‌دلیل غلظت بالا در سطح خاک، مقدار بالاتر نسبت به غلظت زمینه طبیعی، ضریب تغییرات خیلی بالا (لی و همکاران ۲۰۰۹ و لی و فنگ ۲۰۱۲) و میانگین فاکتور آلودگی بسیار بالا می‌تواند متأثر از مؤلفه انسانی در منطقه معرفی شود. فلزات گروه دوم (نیکل، کروم، کبالت، آهن و منگنز) را می‌توان به‌دلیل ضریب تغییرات پایین‌تر، غلظت‌های کمتر از مقدار زمینه و فاکتور آلودگی پایین‌تر نسبت به فلزات

گروه اول، حاصل فرآیندهای خاک‌سازی و مواد مادری در منطقه دانست. همچنین مقدار فاکتور آلودگی این گروه از فلزات (گروه دوم) در کاربری شهری که بیشتر متأثر از فعالیت‌های انسانی است، نسبت به کاربری کشاورزی و مرتع پایین‌تر هست. نتایج مطالعات لی و همکاران (۲۰۰۹) و لی و فنگ (۲۰۱۲) با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. میکو و همکاران (۲۰۰۶) با توجه به ارتباط مثبت و معنی‌دار بین گروه اول شامل سرب، روی، کادمیم و مس و گروه دوم شامل آهن و منگنز و از طرف دیگر ارتباط منفی و معنی‌دار بین این دو گروه، گروه اول را متأثر از ورودی‌های خارجی (فعالیت‌های انسانی) و گروه دوم را منشأ یافته از منابع داخلی (مواد مادری) گزارش کردند. قشلاقی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خاک‌های زراعی و مراتع در منطقه انگوران زنجان فلزات نیکل، کروم، آهن، منگنز و مقدار رس را در یک مؤلفه نشان داده و آن‌ها را دارای منشأ زمین‌شناسی معرفی کردند. این محققان مس، کادمیم، آرسنیک، ماده آلی، فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل را از فعالیت‌های کشاورزی در منطقه معرفی کردند.

از مهم‌ترین منابع انتشار فلزات سنگین (به‌خصوص روی، سرب، مس و کادمیم) در اتمسفر و خاک‌های شهری می‌توان به سوخت‌های فسیلی، سوخت زغال‌سنگ، ترافیک وسایل نقلیه، مواد پوششی لنت ترمز و فرآیندهای مختلف صنعتی (لی و فنگ ۲۰۱۲) اشاره کرد که این فعالیت‌ها در کل منطقه مطالعاتی انجام می‌گیرد. آلودگی بالای کادمیم در منطقه مطالعاتی می‌تواند تحت تأثیر فعالیت کارخانه‌های صنعتی به‌خصوص کارخانه سرب و روی باشد. گلچین و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در اطراف مراکز صنعتی زنجان، بالاترین مقادیر روی، سرب و کادمیم قابل‌جذب را در اطراف کارخانه سرب و روی گزارش کرد و فعالیت کارخانه و پساب خروجی را عامل مهمی در افزایش غلظت این فلزات در منطقه دانست. همچنین استفاده لجن فاضلاب و کودهای حیوانی و شیمیایی در افزایش غلظت کادمیم نقش مهمی دارد (سان و همکاران، ۲۰۱۰) که در زمان نمونه‌برداری کودهای حیوانی استفاده‌شده در فضای سبز شهری و پارک‌ها به‌وضوح به چشم می‌خورد. لی و همکاران (۲۰۰۹) غلظت بالای کادمیم را در خاک‌های ساحلی با مواد مادری آبرفتی در منطقه شانگ‌های (چین) به‌علت ضایعات انسانی شامل لجن فاضلاب، آب فاضلاب و یا کودها و آفت‌کش‌ها معرفی کردند. تایلور (۱۹۹۷) گزارش کرد که استفاده از کودهای شیمیایی به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش غلظت کادمیم در خاک سطحی می‌شود. نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی این فلزات (روی، سرب، مس و کادمیم) در مناطقی کلاس‌های بالای فاکتور آلودگی را نشان می‌دهد که دارای فعالیت‌های صنعتی یا مناطق شهری می‌باشند (شکل ۲). که این نتایج با مطالعات انجام‌گرفته در منطقه هم‌خوانی داشت (گلچین و همکاران، ۱۳۸۴، خامسی و اسدی، ۱۳۸۷، فرهمندکیا و همکاران، ۱۳۸۸ و اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). شی و همکاران (۲۰۱۰) سرب و روی را دو فلز شاخص آلودگی ترافیکی گزارش کردند.

یکی دیگر از منابع آلودگی انسانی فلزات سنگین فرونشست‌های اتمسفری است. با توجه به گستردگی مراکز صنعتی و جاده‌های پرتردد در منطقه (شکل ۱) و قرار گرفتن آن‌ها در بین کاربری‌های اراضی کشاورزی و مراتع فرونشست‌های اتمسفری حاصل از فعالیت‌های آن‌ها می‌تواند عاملی دیگری برای افزایش آلودگی فلزات سنگین به‌خصوص سرب، روی و کادمیم در منطقه باشد. غلظت فلزات سنگین در اثر فعالیت‌های انسانی از قبیل فرآیندهای تولید انرژی، ذوب فلزات و تخلیص، فرآیندهای ساخت‌وساز، ترافیک و سوزاندن ضایعات و معدنکاری در اتمسفر زیاد گزارش‌شده است (لی و همکاران ۲۰۰۹) که علاوه بر مناطق اطراف می‌تواند کیلومترها دورتر را تحت تأثیر قرار دهد (شی و همکاران ۲۰۱۰). میکو و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی منابع آلودگی فلزات سنگین با استفاده از آنالیز چند متغیره در خاک‌های کشاورزی اروپا (منطقه مدیترانه)، فلزات سرب، روی، مس و کادمیم را در یک گروه قرار دادند و آن‌ها را متأثر از ذرات گردوغبار آزادشده توسط ترافیک و فعالیت‌های صنعتی در منطقه گزارش کردند. همچنین فرهمندکیا و همکاران (۱۳۸۸) میزان فلزات سنگین در ریزش‌های جوی از ذرات راسب‌شونده

از هـوای شـهر زنجـان را بـرای سـرب ۰/۰۸۲، روی ۰/۲۸۶، کـادمیم ۰/۰۱۸ و کـروم ۰/۰۰۹ میلـی‌گـرم بـر مترمربع در روز گزارش کردند. نتـایج آن‌هـا نشـان داد کـه منـابع صـنعتی منتشـرکننده فلـزات سـنگین نقـش مستقیمی در ترسیب فلـزات سـنگین ریـزش‌هـای جـوی خشک و تر دارد. این محققان منشأ اصلی ورودی سرب و روی را در منطقـه بـه فعالیـت‌هـای صـنعتی کارخانـه سرب و روی زنجان مرتبط دانستند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که غلظت برخی از فلزات سنگین مانند سـرب، روی، کـادمیم و تـا حـدودی مس در منطقه مطالعاتی نسـبتاً بـالا اسـت کـه شـاخص فاکتور آلودگی نیز مؤید این نتیجه است. کـلاس‌هـای بـا آلودگی زیاد و خیلی زیاد ($CF \geq 3$) مربـوط بـه فـاکتور آلودگی سرب، روی، کادمیم و مس است. نتـایج حاصـل از مقایسـه فـاکتور آلـودگی در کـاربری‌هـای اراضـی مختلف نشان داد که درصد قابل‌توجهی از چهار عنصـر فوق در کاربری شـهری در دامنـه آلـودگی شـدید قـرار دارند. از طرف دیگر فاکتور آلودگی فلزات آهـن، منگنـز، کبالت، کروم و نیکـل در کـلاس‌هـای آلـودگی کـم قـرار گرفتند و دامنه تغییرات فاکتور آلودگی آن‌ها در کاربری شهری بسیار پایین‌تر از کاربری‌های کشاورزی و مرتع بود.

منابع مورد استفاده

اسماعیلی م، طاهری م، جعفری ح، تکاسی م، تابنده ل و خوش‌زمان ت، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی وضعیت آلودگی روی و مس در خاک‌های اراضی زراعی آبی شهرستان زنجان. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۱۲ تا ۱۴ شهریور، تبریز.

خامسی س.ج و اسدی ع، ۱۳۸۵. بررسی پسماندهای سمی و خطرناک ناشی از فعالیت صنایع سرب و روی در سطح استان زنجان. مجله علمی محیط زیست، شماره ۴۶، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۰.

فرهمندکیا ز، مهراسبی م.ر، سخاوت‌جو م.ص، حسنعلی‌زاده مظهر ا.ش و رمضان‌زاده ز، ۱۳۸۸. بررسی فلزات سنگین در ذرات راسب‌شونده از هوای شهر زنجان. مجله سلامت و محیط، دوره ۲، شماره ۴، صفحه‌های ۲۴۰ تا ۲۴۹.

گلچین ا، اسماعیلی م و تکاسی م، ۱۳۸۴. گزارش طرح بررسی منابع آلاینده خاک‌ها و محصولات زراعی و باغی استان زنجان به فلزات سنگین. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان زنجان.

نصیری ا، ۱۳۸۷. تبیین آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از استقرار نامناسب صنایع با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی استان زنجان). فصل‌نامه چشم‌انداز جغرافیایی، سال ۳، شماره ۷، صفحه‌های ۱۷۷ تا ۱۹۳.

Bhuiyan MAH, Parvez L, Islam MA, Dampare SB and Suzuki S, 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. J Hazard Mater 173: 384-392.

Blaser P, Zimmermann S, Luster J and Shotyk W, 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soils. Sci Total Environ 249: 257-280.

Cabrera F, Clemente L, Barrientos ED, Lopez R and Murillo JN, 1999. Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiana toxic flood. Sci Total Environ 242: 117-129.

Chen M, Ma LQ, Hoogeweg CG, Harris WG, 2001. Arsenic background concentrations in Florida, USA surface soils: determination and interpretation. Environ Forensics 2: 117-126.

De Meeus C, Eduljee GH and Hutton M, 2002. Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilizers. Sci Total Environ 291: 167-187.

Hakanson L, 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. Water Res 14:975-1001.

Iqbal J and Shah MH, 2011. Distribution, correlation and risk assessment of selected metals in urban soils from IslamAbad, Pakistan. J Hazard Mater 192: 887-898.

Kabata-Pendias A, and Pendias H, 2001. Trace Elements in Soils and Plants. Third Ed. CRC Press, Boca Raton, London.

Li X and Feng L, 2012. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial area, Northwest of China. Atmos. Environ 47: 58-65.

Li J, He M and Gu Y, 2009. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. J Hazard Mater 164: 976-981.

Mico C, Recatala L, Peris M, Sanchez J, 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of a European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere 65: 863-872.

Qishlaqi A, Moore F and Forghani G, 2009. Characterization of metal pollution in soils under two land use patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. J Hazard Mater 172: 374-384.

Shi G, Chen Z, Bi C, Li Y, Teng J, Wang L and Xu S, 2010. Comprehensive assessment of toxic metals in urban and suburban street deposited sediments (SDSs) in the bioggest metrolitan area of China Environ Pollut 158: 694-703.

Sposito G, Lund LJ and Chang AC, 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Sci Soc Am J 46: 260-264.

Sun Y, Zhou Q, Xie X and Liu R, 2010. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China J Hazard Mater 174: 455-462.

Taylor MD, 1997. Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soils. Sci Total Environ 208: 123-126.

Wu S, Xia X, Lin C, Chen X and Zhou C, 2010. Levels of arsenic and heavy metals in the rural soils of Beijing and their changes over the last two decades (1985-2008). J Hazard Mater 179: 860-868.

Zhang Q, Shi XZ, Huang B, Yu DS, Wang HJ and Sinclair FL, 2007. Surface water quality of factory based and vegetable based peri-urban areas in the Yangtze River Delta region, China Catena 69: 57-64.

Zhang W, Feng H, Chang J, Qu J, Xie H and Yu L, 2009. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes. Environ Pollut 157: 1533-1543.