ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک شهری کرج

عباس فلاح[۱*]، سروش مدبری[۲]، علیرضا سیاره[۳] و امیرعلی طباخ شعبانی[۴]

[۱]کارشناسی ارشد، دفتر آموزش و ترویج استاندارد، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران، ایران

[۲]دانشیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۳]کارشناسی ارشد، گروه زیست‌محیطی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

[۴]استادیار، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۳/ ۰۹/ ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۱/ ۰۶/ ۱۳۹۷

چکیده

گسترش شهرنشینی و شهری شدن، جامعه بشری را با عوارض و مسائل زیست‌محیطی گوناگونی مواجه ساخته است. از این مسائل، مشکلات مرتبط با خاک اهمیت ویژه‌ای دارد. خاک به صورت محل انباشت برای آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم عمل می‌کند. از این رو خاک، شاخص مهمی برای در معرض قرارگیری انسان به فلزات کمیاب در محیط‌های شهری است. کیفیت خاک شهری متأثر از فعالیت‌های انسان‌زاد است. شهر کرج به دلیل مهاجرپذیر بودن و رشد سریع جمعیت آن در سال‌های اخیر و نیز قرار گرفتن زمین‌های با کاربری‌های مختلف از جمله زمین‌های کشاورزی، باغات، پارک‌ها، مراکز صنعتی و زمین‌های بازی کودکان در محدوده شهری، گزینه مناسبی برای مطالعه توزیع فلزات سنگین، و تأثیر آلاینده‌های انسان زاد بر میزان آلودگی آنهاست. به منظور بررسی أثرات ترافیک و آلودگی شهری بر غلظت فلزات سنگین، ۴۰ نمونه خاک از فضاهای سبز کرج با کاربری‌های مختلف و ۵ نمونه از مناطق غیرآلوده به عنوان شاهد و زمینه ژئوشیمیایی برداشت شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی با استفاده از دستگاه OES -ICP تجزیه شیمیایی شدند. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. شاخص‌های آلودگی برای عناصر مورد توجه در شهر کرج تعیین و ارتباط آنها با عناصر دیگر تعیین شد. بررسی‌های آماری نشان داد که توزیع فلزاتی مانند کادمیم، کروم، مس، نیکل و روی در خاک‌های شهر کرج شبیه به هم بوده و اغلب در مرکز شهر کرج (محدوده باغ‌های جهان‌شهر و پارک خانواده) نسبت به سایر مناطق شهر بیشتر است. خاک زمین‌های کشاورزی دارای فلزات سنگین کمتری نسبت به سایر زمین‌ها (پارک‌ها و باغ‌ها) است. این یافته‌ها مطابق با نتایجی بوده که توسط سایر محققان در مناطق دیگر جهان گزارش شده است. آرسنیک، گوگرد و سرب توزیع متفاوتی نسبت به سایر فلزات سنگین ذکر شده دارند. مقدار میانگین عناصر روی، فسفر، نیکل، مس، کروم و کادمیم در مرکز شهر بیشتر از سایر محدوده‌های شهری است. این می‌تواند متأثر از دو عامل باشد، یکی عوامل زمین‌زاد و دیگری انسان‌زاد از جمله تردد خودروها و خروجی دودکش آنها که تمرکز بالای عناصر در این محدوده به دلیل وجود درختان بلند و به تله افتادن ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در هوا در برخورد با درختان است. سرب در نمونه‌های سطحی خاک کرج بیشتر از دیگر عناصر تمرکز دارد. آرسنیک در مرکز و جنوب شهر کرج دارای بیشترین مقدار است. غلظت زیاد سرب و گوگرد در نمونه‌های سطحی برداشت شده از این محدوده موید این مطلب است که این عناصر به صورت هوابرد تغلیظ یافته‌اند و احتمالاً منشأ انسان‌زاد (ناشی از فرایندهای سوختن) دارند. سوخت‌های فسیلی منشأ اصلی آرسنیک هستند. چرا که آرسنیک در زمینه خارج از محدوده شهر چندین برابر کمتر از محیط شهری است. شاخص آلودگی فلزات سنگین در خاک کرج برای عناصر مختلف به ترتیب As>S>P>Zn>Pb>Cu>Ni, Cr>Cd است. شاخص آلودگی فلزات سنگین برای خاک کرج ۱/۷۵ است که در ردیف خاک‌های با آلودگی متوسط قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، خاک شهری، ژئوشیمی شهری، شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی، کرج.

***نویسنده مسئول:** عباس فلاح E-mail:fallah.abbas1980@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

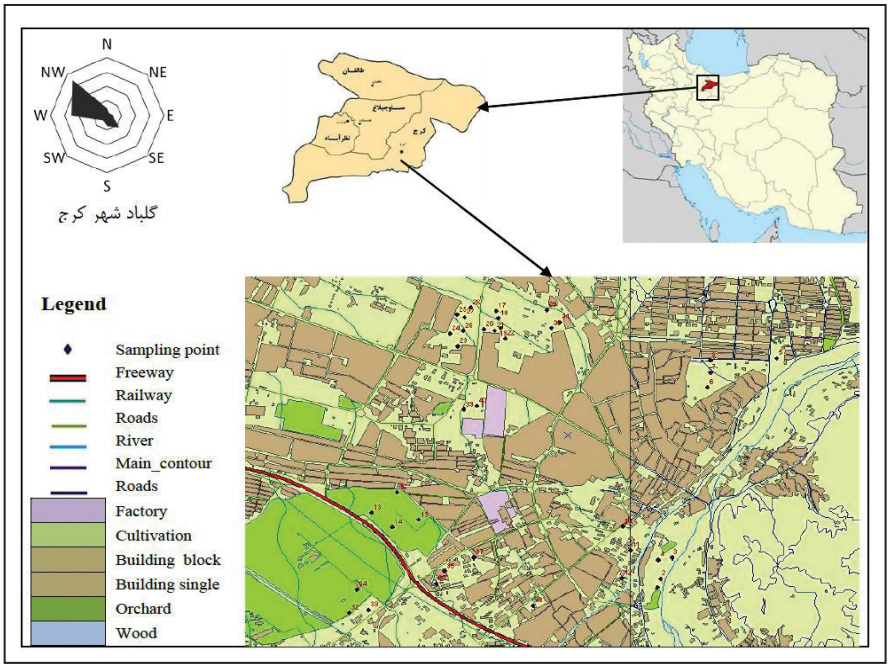
در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان در محیط‌های شهری زندگی می‌کنند که فقط یک درصد مساحت زمین را شامل می‌شود. در این وضعیت است که برهم‌کنش انسان و محیط زمین‌شناسی، بیشترین شدت را دارد و زمین‌شناسی محیط شهری به‌صورت عملی بیشترین کاربرد را پیدا می‌کند (Norra and Stüben, 2003). خاک‌های شهری متأثر از فعالیت‌های انسان‌زاد هم از نظر ذخیره‌سازی آلودگی ها و هم ارتباط با سایر محیط‌ها و تأثیرگذاری بر اکوسیستم شهری اهمیت بالایی دارند (Perry and Taylor, 2006). خاک‌های شهری در برگیرنده قراضه فلزات، خاکسترها، زباله، ناخاله ساختمانی، قیر، لجن، ... و مخلوطی از این مواد هستند. علاوه براین، مواد مصنوعی می‌تواند با مواد طبیعی مخلوط شوند و در نتیجه آبشناسی، درجه تراکم و چسبندگی آن میتواند به شدت متفاوت از خاک‌های طبیعی باشد (Norra and Stüben, 2003).

در حقیقت خاک‌های محیط شهری به علت فعالیت شدید انسانی در محدوده شهری و حتی احتمال انتقال از محلی دیگر، گرایش زیاد به دست‌خوردگی و تغییر نسبت به خاک‌های طبیعی حاصل از سنگ مادر دارند (Wong et al., 2006). خاک به‌صورت محل انباشت برای آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم عمل می‌کند. از این رو خاک، شاخص مهمی برای قرارگیری انسان در معرض فلزات کمیاب در محیط‌های شهری است (Wong et al., 2006). تعدادی از فلزات شامل سرب، کادمیم، روی و کرومیم که بیشتر فلزات شهری نامیده می‌شوند در اغلب محیط‌های شهری پیشرفته تهدید مستقیم آلودگی احتمالی اکوسیستم هستند (Rose and Shea, 2007). منابع زمین‌زاد کادمیم عمدتاً شامل سینیت و همچنین کانی‌های سولفیدی (Tijhuis et al., 2002) و منابع انسان‌زاد آن نیز باتری‌های نیکل- کادمیمی (Rose and Shea, 2007) است. کادمیم در تولید رادیاتور اتومبیل، ساخت قطعات الکترونیکی و در رنگدانه‌ها و پلاستیک‌ها و عکاسی استفاده می‌شود. همچنین جزء سازنده‌ای از لاستیک، بنزین، سوخت دیزل و روغن موتور است (Ajmon- Marsan and Biasioli, 2010). منشأ عمده روی در مناطق شهری فرسودگی لاستیک خودروهاست منابع دیگر آلودگی این فلز در محیط شهری شامل سطوح جاده‌ها، سقف‌ها، رنگ، سوزاندن زباله و فاضلاب است (Rose and Shea, 2007). منابع انسان‌زاد سرب عبارتند از جوشکاری، لحیم‌کاری، رنگ‌آمیزی سطوح، سرب باتری‌ها و سرب موجود در سوخت خودروهاست. منشأ اصلی کرومیم در محیط شهری اغلب از روکش‌دهی فلزات و صنایع فولاد است. این فلز همچنین در ترکیب رنگ‌ها وجود دارد. خروجی دودکش وسایل نقلیه موتوری و سوزاندن زباله می‌تواند منشأ کرومیم در محیط شهری باشد (Ajmon- Marsan and Biasioli, 2010). ترکیبات معدنی آرسنیک اغلب به عنوان حشره‌کش، آفت‌کش، جلبک‌کش و مواد محافظ پشم استفاده شده است (Ajmon- Marsan and Biasioli, 2010). با توجه به منابع آلاینده فراوان در شهر کرج (رفت‌وآمد خودروها، صنایع موجود در شهرک‌های صنعتی حاشیه شهر،

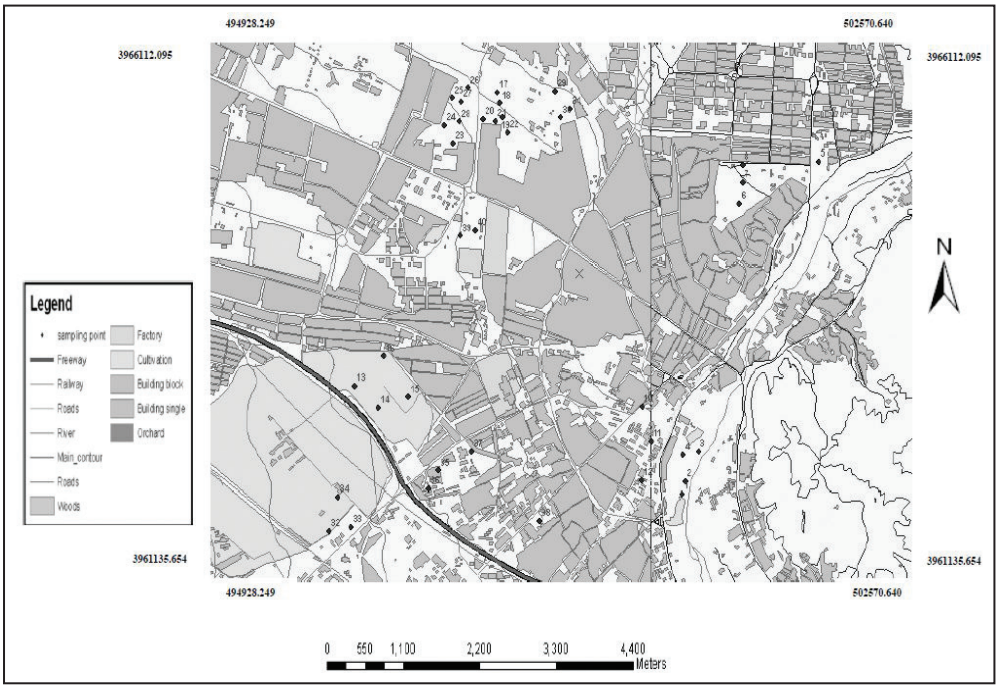
نیروگاه فردیس، انبار نفت و منابع متفرقه دیگر) خاک شهری در فضاهای سبز شهر کرج، مورد مطالعه قرار گرفت تا ضمن شناسایی آلودگی‌های محلی ناشی از آلاینده‌های انسان‌زاد، شناسایی نواحی بی‌هنجاری ژئوشیمیایی برای انجام مطالعات تفصیلی نیز صورت گیرد و منابع احتمالی انتشار آلودگی شناسایی شود.

۲- روش مطالعه

شهر کرج -مرکز استان البرز- بر اساس آمار سال ۱۳۹۵، ۱۹۷۳۴۷۰ نفر جمعیت و ۱۶۲ کیلومتر مربع مساحت دارد و در ۳۵ کیلومتری غرب تهران قرار گرفته است (شکل ۱). ۴۰ نمونه از محدوده شهر کرج با کاربری‌های مختلف (شکل ۲) و ۵ نمونه از حاشیه و مناطق غیرآلوده خارج شهر برداشت شد. بر اساس استانداردهای جهانی در مناطقی با بافت متراکم از عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری، در مناطق باغی و کشاورزی صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری و در زمین بازی کودکان از صفر تا ۲سانتی‌متری برداشت انجام شد. با توجه به پراکندگی فضاهای سبز در محدوده شهر کرج، مطابق با استانداردهای ISO10381- 5 (2005) و ISO10381-1 (2002) الگوی نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی انتخاب شد. تمام نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی ۲ لایه برچسب‌دار قرار داده شدند و نمونه‌های برداشتی روزانه به آزمایشگاه منتقل شد. تمام مراحل نمونه‌برداری (عمق نمونه‌برداری، نوع و مقدار نمونه، ظروف نمونه و برچسب‌گذاری و حمل و نقل) با الگوگیری از روش‌های استاندارد (ISO10381- 5, 2005 و ISO10381- 1, 2002) و مطالعات محققان دیگر (Peltola and Astrom, 2003; Ljung et al., 2006; Biasioli et al., 2006; Albanese et al., 2007; Micó et al., 2007; Hartley et al., 2008; Ikem et al., 2008; Ajmone- Marsan et al., 2008; Odewande and Abimbola, 2007) تعیین‌شد.



شکل ۱- موقعیت شهر کرج و گلباد شهر کرج.



شکل ۲- نقشه GIS شهر کرج با نقاط نمونه‌برداری خاک.

نمونه‌ها در دمای اتاق خشک و بعد از جدا کردن مواد آلی آنها به آرامی خرد و با الک ۲ میلی‌متری غربال شدند. (طبق استاندارد ISO11464, 2006) نمونه‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر (ترجیحاً ۰/۱۵ میلی‌متر) در محلول $HCl- HNO_3$ به نسبت ۱ به ۳ (حجم- حجم) برای هضم نمونه‌ها (استاندارد ISO11464, 2006) قرار داده شدند. تجزیه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES انجام شد. تمام مراحل آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (آزمایشگاه ICP) انجام شد. با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 21 داده‌های آماری مربوط به تمام عناصر بررسی شد و نتایج تجزیه ژئوشیمیایی فلزات سنگین به طور ویژه مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های آلودگی برای عناصر مورد توجه در شهر کرج تعیین و ارتباط آنها با عناصر دیگر و ویژگی‌های شیمیایی خاک از قبیل: OC، pH (به روش والکلی- بلاک) و CEC (به روش سدیم استات) نیز تعیین شد.

۲- ۱. ویژگی خاک کرج

ویژگی شیمیایی خاک بر تمرکز و تحرک فلزات سنگین تأثیر می‌گذارد. در شهرکرج مقدار فلزات سنگین نمونه‌ها بسته به نوع کاربری زمین، عمق نمونه‌برداری، دانه‌بندی خاک و مقدار مواد آلی همراه متفاوت است. ترکیب کانی‌شناسی خاک‌های مختلف شهر کرج شبیه هم و متأثر از سنگ بستر آن بوده و اغلب شامل کوارتز، فلدسپار، کلسیت وکانی‌های رسی است. ۹۰ % نمونه‌های خاک کرج دارای pH در محدوده ۸/۵ تا ۷/۶ هستند که بر اساس تقسیم‌بندی Ikem and Campbell (2008) در محدوده خاک‌های کم‌قلیایی قرار گرفته است. ۱۰ % باقیمانده pH خنثی دارند. همچنین مقدار میانگین کربن آلی در خاک فضاهای سبز کرج ۳/۸ درصد است. باغ‌های جهان‌شهر نسبت به سایر خاک‌های شهر کرج کربن آلی فراوانی دارند. مقدار میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک کرج برابر با ۱۵/۶ ($meq^2/100gr\ solid$) است. مقادیر فاکتورهای خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر فاکتورهای خاک (OC، pH و CEC).

نمونه	CEC ($meq^2/100gr\ solid$)	OC (%)	pH %1	نمونه	CEC ($meq^2/100gr\ solid$)	OC (%)	pH %1
1	16.6	3.12	8.4	24	17.5	6.24	8.0
2	19.1	6.57	8.3	25	24.3	2.55	7.3
3	10.8	1.23	7.8	26	18.4	3.29	7.9
4	15.0	5.26	7.9	27	14.4	1.34	7.8
5	16.6	3.12	8.3	28	17.8	5.59	8.2
6	18.3	5.71	7.5	29	18.1	2.92	8.3
7	19.1	2.82	8.1	30	19.4	89.	8.0
8	13.2	3.02	8.0	31	11.9	6.57	8.1
9	13.5	3.51	8.1	32	12.0	8.13	7.9
10	15.4	1.85	8.2	33	12.1	3.21	8.2
11	20.8	1.87	7.8	34	13.7	3.06	7.9
12	18.3	6.24	7.9	35	12.4	2.43	7.6
13	13.6	3.19	8.3	36	13.9	2.34	7.7
14	11.8	3.39	8.2	37	15.1	3.19	7.8
15	10.8	3.35	8.2	38	8.1	1.62	7.5
16	12.2	3.37	8.1	39	20.9	3.31	7.4
17	12.5	2.53	8.1	40	13.6	2.57	7.6
18	20.2	6.28	7.9	41	13.1	3.51	7.3
19	17.6	5.20	7.8	42	17.1	4.88	7.7
20	14.7	2.86	7.9	43	13	3.27	7.6
21	16.2	6.18	8.3	44	18.3	3.60	7.5
22	18.5	4.32	8.4	45	12.5	8.97	7.6
23	22.1	4.88	8.1				

۳- فلزات سنگین در خاک شهری کرج

علاوه بر عناصر مورد توجه در مطالعات خاک شهری (فلزات شهری)، آرسنیک و گوگرد نیز به دلیل مقادیر بالای آنها در نمونه‌های خاک کرج مورد تحلیل قرار گرفتند.

توزیع آرسنیک در خاک‌های شهر کرج غیرنرمال است. مقدار آن در جنوب شرقی (پارک چمران) و باغ‌های جهان‌شهر نسبت به سایر نقاط از جمله زمین‌های کشاورزی و پارک جنگلی، بیشتر است. آرسنیک ضریب همبستگی نزدیک به صفر با OC، pH و CEC دارد. در جنوب کرج (مؤسسه اصلاح بذر و نبات و زمین‌های کشاورزی) مقدار آرسنیک به طور متوسط ۱۸/۷ mg/kg و در مرکز شهر (باغ‌های جهان‌شهر) mg/kg ۱۸/۲ است. اختلاف اندک در مقادیر میانگین، میانه و نما دلیلی بر توزیع نسبتاً عادی کادمیم (Cd) در خاک شهر کرج است (جدول ۲).

کادمیم نیز مانند آرسنیک ارتباط معنی داری با pH و OC خاک نشان نمی‌دهد (جدول ۳). اما همبستگی مثبت ضعیفی با CEC و همبستگی بالا با آهن (۰/۷) و کبالت (۰/۶) نشان می‌دهد و همبستگی آن با کروم، مس و منگنز ۰/۴ است. همبستگی بالا با آهن و کبالت میتواند نشانگر دخالت هیدروکسیدهای آهن در نقل و انتقال کادمیم یا همراهی منشأ این عناصر با یکدیگر باشد. مقدار کادمیم در خاک‌های شهر کرج در مقایسه با میانگین جهانی (جدول ۴) چندین برابر است. مقادیر کادمیم

در نمونه‌های برداشت شده از باغ‌های جهان‌شهر بیشتر از نمونه‌های برداشت شده از مناطق دیگر شهرکرج است (۲/۲ mg/kg)، اما در مقایسه با نمونه‌های برداشتی از مناطق غیرآلوده شهرکرج (۳/۳ mg/kg) کمتر است. مقدار کادمیم در زمین‌هایی که فعالیت‌های کشاورزی انجام می‌شود، تهی‌شدگی نشان می‌دهد (۱/ ۹ mg/kg). مقادیر آماری کروم در جدول ۲ ارائه شده است. این عنصر رابطه مشخصی با فاکتور pH خاک نشان نمی‌دهد و نسبت به این فاکتور متغیر مستقل است. همچنین این عنصر همبستگی قابل ملاحظه‌ای با عناصر دیگر، OC و CEC نشان می‌دهد. غلظت کروم در خاک‌های مرکز شهرکرج (باغ‌های جهان‌شهر) نسبت به سایر نقاط بیشترین مقدار است (۶۰/۷ mg/kg) و در زمین‌های کشاورزی جنوب شهر کمترین مقدار را دارد (۵۲/۴ mg/kg). این عنصر در خاک‌های شهر کرج نسبت به زمینه محلی (۹۲/۲ mg/kg) تهی‌شدگی نشان می‌دهد. این تهی‌شدگی در زمین‌های کشاورزی جنوب شهر که تحت تأثیر فعالیت‌های زراعی قرار گرفته‌اند، ملموس‌تر است.

توزیع مس در شهر کرج بسیار شبیه به کروم است. مس همبستگی قابل توجهی با OC، pH و CEC خاک نشان نمی‌دهد (جدول ۳). ولی دارای همبستگی مثبت (بیش از ۰/۶) با کبالت، روی و آهن است. مس در خاک‌های شهر کرج نسبت به زمینه محلی مانند بیشتر فلزات سنگین مورد مطالعه (کادمیم، سرب، نیکل، کروم و روی) تهی‌شدگی نشان می‌دهد. همچنین مقدار این عنصر در بخش‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه به خصوص در زمین‌های کشاورزی جنوب و غرب ترمینال کرج دارای کمترین مقدار مس است (۳۳/۸ mg/kg). اگر چه به نظر می‌رسد که منابع اصلی مس در محیط شهری عمدتاً غیرآلی و صنعتی باشد، ولی تمایل آن به تجمع در بخش آلی خاک است. شاید بتوان مقادیر بالای مس (تا ۵۴ mg/kg) در غرب میدان جمهوری را با تمرکز مس در بخش آلی خاک توجیه کرد.

توزیع نیکل در خاک‌های شهر کرج یکنواخت است (جدول ۲). نیکل ارتباط ضعیفی با pH خاک دارد. به‌طوری که نمی‌تواند به ارتباط خطی قوی دلالت کند. اما مقادیر ضریب همبستگی نیکل با OC و CEC مثبت و متوسط است (۰/۴) و در بین فلزات سنگین بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد (جدول ۳). نیکل همچنین با کروم همبستگی مثبت و متوسط (۰/۵) دارد و اغلب با کروم از الگوی مشابه تجمع در بخش‌های فیزیکی و شیمیایی پیروی می‌کند. مقدار نیکل در نمونه‌های برداشت شده از باغ‌های جهان‌شهر (۳۲/۹ mg/kg) در مقایسه با سایر مناطق شهری بیشتر و مقدار آن در نمونه‌های سطحی (نمونه‌های برداشتی از زمین بازی کودکان) کمتر است (۱۵ mg/kg). با توجه به همبستگی نیکل با OC خاک و مقدار بالای OC در خاک‌های جهان‌شهر، تمرکز نیکل در مواد آلی خاک قابل توجیه است. این عنصر در خاک‌های شهر کرج نسبت به زمینه محلی تهی‌شدگی نشان می‌دهد. کمترین مقدار نیکل در زمین‌های کشاورزی جنوب محدوده مطالعاتی است (۲۷/۷ mg/kg). تفاوت در مقادیر میانگین، میانه و نما برای عنصر سرب بیانگر توزیع نسبتاً غیریکنواخت سرب در خاک‌های شهر کرج است. سرب ضریب همبستگی قابل توجهی با pH و OC و CEC خاک ندارد (جدول ۳). اما با کروم ضریب همبستگی مثبت (۰/۵) دارد. بیشترین فراوانی این عنصر در نمونه‌هایی است که از عمق کم برداشت شده (نمونه‌های سطحی با مقدار سرب ۱۷۰ mg/kg) و عمدتاً دارای دانه‌بندی ریز و در حد رس است. سرب در نمونه‌های سطحی (عمق صفر تا ۲ سانتی‌متری) نسبت به نمونه‌های برداشت شده از عمق‌های زیاد همان محدوده، نزدیک به ۲ برابر مقدار سرب بیشتری دارند. برای نمونه، در پارک چمران، مقدار سرب در نمونه‌های سطحی ۱۴۵/۷ mg/kg و در نمونه‌های برداشتی از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری و عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری مقدار سرب به‌ترتیب ۷۲/۸۵ mg/kg و ۷۱/۴ mg/kg است.

جدول ۲- مقادیر و شاخص‌های آماری عناصر مختلف در نمونه‌های خاک شهر کرج.

element statistics	As ppm	Cd ppm	Cr ppm	Cu ppm	S ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
Mean	17.43	2.02	58.80	38.10	213.98	29.78	76.95	56.63
Minimum	2	1	41	26	17	14	56	7
Maximum	41	3	82	54	643	50	170	148
Median	16.85	2.00	54.55	36.60	199.10	29.70	72.25	55.75
Std. Deviation	9.878	.343	11.404	7.195	142.136	7.040	22.434	28.124
Variance	97.579	.118	130.061	51.772	20202.518	49.557	503.266	790.932
Skewness	.377	.882	.617	.605	1.232	.114	2.650	.952
Kurtosis	-.556	1.704	-.701	-.250	1.633	1.401	8.473	1.841

جدول ۳ - ضریب همبستگی بین عناصر مورد مطالعه و فاکتورهای خاک (OC، pH و CEC).

As	Cr	Cu	Ni	Pb	S	Zn	pH	OC	CEC	
	.25	.01	.10	-.45	.04	.21	.02	.05	.06	**As**
		.35	.54	.53	.03	.38	0	.17	.15	**Cr**
			.20	.12	-.02	.66	0	0	.35	**Cu**
				.19	-.18	.17	.26	.49	.45	**Ni**
					.30	.10	-.21	-.19	-.25	**Pb**
						.03	.01	-.26	-.11	**S**
							.07	.06	.28	**Zn**
								.19	-.09	**pH**
									.10	**OC**
										CEC

جدول ۴- میانگین فراوانی فلزات سنگین در خاک شهر کرج در مقایسه با زمینه محلی و میانگین پوسته زمین.

(mg/kg)	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	S	Zn
میانگین غلظت عنصر در پوسته زمین و خاک‌های سطحی *	۱٫۸	۰٫۲	۱۰۰	۵۵	۷۵	۱۳	۲۶۰	۷۰
زمینه محلی در کرج	۳٫۰۶	۳٫۲۴	۹۲٫۲۲	۵۴٫۷۹	۴۶٫۹۵	۹۴٫۵۸	۳۷٫۱۵	۵۲٫۲۷
میانگین در خاک شهر کرج (بیشینه- کمینه)	۱۷/۴۳ (۲/۴ تا ۴۱)	۲/۰۲ (۱/۳۹ تا ۳/۱)	۵۸/۸۰ (۴۱ تا ۸۲)	۳۸/۱۰ (۲۶ تا ۵۴)	۲۹/۷۸ (۱۴تا ۵۰)	۷۶/۹۶ (۵۶ تا ۱۷۰)	۲۱۳/۹ (۱۷ تا ۶۴۳)	۵۶/۶۳ (۷ تا ۱۴۸)
*داده‌ها از Kabata-Pendias and Mukherjee (2007)								

توزیع فراوانی گوگرد غیریکنواخت است. گوگرد رابطه مشخصی با OC، pH و CEC خاک نشان نمی‌دهد اما با Pb همبستگی مثبت ضعیفی دارد. نمونه‌های برداشت شده از سطح (عمق صفر تا ۲ سانتی‌متری) دارای بیشترین مقدار گوگرد (mg/kg ۴۳۷) هستند. غلظت این عنصر در خاک‌های شهر کرج به شدت غیر عادی است و نسبت به زمینه محلی غنی‌شدگی زیادی نشان می‌دهد. این مقدار غنی‌شدگی نزدیک به ۶ برابر مقدار زمینه محلی (mg/kg ۳۷/۱۵) است. این غنی‌شدگی در نمونه‌برداری‌های انجام شده از باغ‌ها و پارک‌ها هم زیاد است.

توزیع روی در خاک‌های شهر کرج تقریباً یکنواخت است و نسبت به مقدار زمینه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد. روی ضریب همبستگی مثبتی با مس نشان می‌دهد (۰/۶). اما رابطه قابل توجهی با OC، pH و CEC خاک نشان نمی‌دهد (جدول ۳). مقدار روی در زمین‌های کشاورزی (mg/kg ۳۷/۸) کمتر از مقدار روی در نمونه‌های پارک‌ها و باغ‌های جهان‌شهر است (mg/kg ۶۲/۵) و روی در باغ‌های جهان‌شهر به خصوص بخش‌های شخم نخورده دارای بیشترین مقدار در شهر کرج هستند (گستره‌ای از مقدار mg/kg ۶۶/۷۶ تا mg/kg ۱۴۸/۱).

۴- نتایج و بحث

توزیع فلزات سنگین مانندکادمیم، کروم، مس و نیکل (به جز آرسنیک، گوگرد و سرب) در مرکز شهر و در محدوده باغ‌های جهان‌شهر و پارک خانواده نسبت به سایر مناطق شهر بیشتر است. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج حاصل از دیگر مطالعات که غلظت فلزات سنگین در خاک شهری را نسبت به خاک‌های کشاورزی اطراف و خاک‌های طبیعی بیشتر نشان میدهند (Ajmon marsan and Biasioli, 2010) انطباق دارد. همچنین خاک باغ‌های جهان‌شهر که به طور میانگین از نظر فلزات شهری غلظت بالاتری نسبت به خاک‌های کشاورزی نشان می‌دهد؛ مطابق با نتایج ارائه شده توسط سایر محققان (Schwartz et al., 1995) بوده که غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک باغ‌ها ۲ برابر خاک‌های کشاورزی متناظر است. تمرکز بیشتر این فلزات سنگین در مرکز شهر نسبت به سایر محدوده‌های شهری می‌تواند متأثر از دو عامل زمین‌زاد و انسان‌زاد (رفت‌وآمد خودروها و خروجی دودکش آنها) باشد که تمرکز بالای این محدوده به دلیل داشتن درختان بلند، باعث به تله افتادن ذرات معلق فلزات سنگین در هوا در برخورد با درختان می‌شود (Wong et al., 2006). البته نباید مقدار بالای OC موجود در این محدوده را در انباشت فلزات سنگین در این محدوده بی تأثیر انگاشت. غلظت بیشتر عناصر سرب و گوگرد در نمونه‌های سطحی (عمق صفر تا ۲ سانتی‌متری) و عمق‌های کم میتواند متأثر از تردد خودروها از اتوبان تهران- قزوین به عنوان یک منبع آلاینده خطی باشد، که کل نوار جنوبی شهر را تحت تأثیر خود قرار داده است. غلظت بالای سرب نمونه‌های سطحی می‌تواند به تمایل این عنصر به تجمع در ذرات ریزتر خاک (رس و سیلت) مربوط باشد که توسط محققان دیگر Ajmone-Marsan et al. (2008) نیز بیان شده است. به این صورت که این عناصر به‌صورت هوابرد تغلیظ یافته‌اند و با حجم ترافیک ارتباط مستقیم دارند و ناشی از فرایند سوختن در موتور خودروهاست. دست‌گشاده و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که مقدار روی حاصل از تغلیظ هوا بر غبار اطراف اتوبان تهران- قزوین (محدوده پل فردیس تا پل حصارک) به‌طور میانگین mg/kg ۷۵۲ است. محدوده جنوب شهر کرج که اغلب نمونه‌های خاک‌های کشاورزی را در برگرفته علیرغم قرار داشتن در مجاورت اتوبان تهران- قزوین (منبع آلودگی خطی) از نظر آلودگی به فلزات سنگین در مقایسه با محیط‌های متناظر شهر کرج دارای کمترین مقدار است که به نظر می‌رسد برای آبیاری از آب چاه استفاده شده است. هر چند نباید تأثیر باد غالب، نبود درختان بلند برای به تله‌اندازی ذرات معلق ناشی از خروجی خودروها در هوا و از همه مهمتر شست وشو و حذف از خاک توسط فرایندهای مختلفی از قبیل آبیاری، شخم زدن و جذب توسط گیاهان کاشته شده را نادیده گرفت.

با مقایسه این مقادیر مشخص می‌شود که مقدار زمینه عناصری مثل آرسنیک، کادمیم و سرب نسبت به میانگین پوسته به‌طور چشمگیری غنی‌شدگی نشان می‌دهد (جدول ۴). از این عناصر، آرسنیک در محیط شهر کرج چندین برابر مقدار زمینه و میانگین پوسته غنی‌شدگی دارد و میانگین برخی عناصر در محیط شهری تنها نسبت به مقدار زمینه افزایش نشان می‌دهد. عناصری مثل فسفر، گوگرد و به مقدار کمتر روی، از این دسته هستند.

در حالت کلی میانگین برخی از عناصر از قبیل P، Zn، As نسبت به زمینه محلی بالاست. برخی عناصر در محیط شهر کرج مقدار میانگین نزدیک به مقدار زمینه دارند و برخی دیگر کمتر از مقدار زمینه هستند و تهی‌شدگی نشان می‌دهند. عنصر گوگرد در خاک‌های شهر کرج نسبت به زمینه محلی غنی‌شدگی زیادی نشان می‌دهد. درحالی که نسبت به مقدار میانگین در پوسته زمین کمتر است.

در جدول ۵ میزان فلزات سنگین در خاک شهر کرج در مقایسه با شهرهای مختلف جهان نشان داده شده است. این جدول بیان می‌کند که خاک شهر کرج مقدار کروم بیشتری نسبت به شهر سویلا (اسپانیا) و برلین (آلمان) دارد. همچنین مقدار نیکل آن بیشتر از برلین است. در حالی که عناصر دیگری مثل سرب، روی و مس مقدار کمتری در شهر کرج نشان می‌دهند. نکته قابل توجه مقدار کادمیم در شهر کرج است که در مقایسه با تمام شهرهای ارائه شده در جدول ۵، حتی نسبت به شهر شانگهای چین با جمعیتی معادل ۱۷ میلیون (حدود ۹ برابر جمعیت شهر کرج) کادمیم بیشتری دارد. این مقایسه بیانگر زمین‌زاد بودن منشأ کادمیم در خاک شهر کرج است.

جدول ۵- میانگین فراوانی فلزات سنگین در خاک شهر کرج در مقایسه با سایر شهرهای جهان.

(mg/kg)	جمعیت	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	مرجع
تورینو (ایتالیا)	۹۰۰۰۰۰	–	–	۳۰۳	۱۰۷	۲۷۷	۲۷۷	۲۳۵	Biasioli et al. (2006)
سویلا (اسپانیا)	۷۰۰۰۰۰	–	–	۳۲	۵۵	۳۱	۲۲۳	۱۵۷	Biasioli et al. (2006)
پالرمو (ایتالیا)	۶۸۶۷۰۰	–	۰/۹۳	–	۸۲/۲۷	۲۲/۱۵	۳۰۶/۳	۱۶۴/۳	Manta et al. (2002)
بالتیمور (امریکا)	۶۴۱۰۰۰	–	۱/۰۶	–	۴۵	۲۷	۲۳۱	۱۴۱	Pouyat et al. (2007)
برلین (آلمان)	۳۴۰۵۰۰۰	۴/۴	۰/۶۵	۲۸/۷	۵۳/۷	۸/۱	۸۵/۸	۱۶۶	Birke and Rauch (1994)
شانگهای (چین)	۱۷۰۰۰۰۰۰	–	۰/۵۲	۱۰۷/۹	۵۹/۲۵	۳۱/۱۴	۷۰/۶۹	۳۰۱/۴	Shi et al. (2008)
کرج (ایران)	۱۹۶۷۰۰۵	۱۷/۴	۲/۰	۵۸/۸	۳۸/۱	۲۹/۷	۷۶/۹	۵۶/۶	این مطالعه

۴- ۱. روش ارزیابی آلودگی خاک کرج

– ضریب غنی‌شدگی: یکی از پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی آلودگی خاک، ضریب غنی‌شدگی (EF) است که محققان مختلف از آن استفاده کرده‌اند (Massas et al., 2008; Ali and Malik, 2011; Rizo et al., 2011; Al-Khashman 2004; Karim et al., 2015).

EF با رابطه زیرمحاسبه می‌شود:

۱) EF = (Cx/CAl) نمونه / (Cx/CAl) مرجع

که در آن (Cx/CAl) نمونه نسبت غنی‌شدگی عنصر مورد آزمون به مقدار عنصر Al نمونه و (Cx/CAl) مرجع نسبت غنی‌شدگی عنصر مورد انتظار نسبت به عنصر مرجع (Al) است. عناصر متعددی از جمله آهن، آلومینیم، منگنز، تیتانیم، اسکاندیم و غیره به عنوان عنصر مرجع مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Iqbal et al., 2012; Dung et al., 2013). در این مطالعه از عنصر آلومینیم به عنوان عنصر مرجع استفاده شد.

نتایج غنی‌شدگی عناصر مختلف در جدول ۶ دیده می شود. غنی‌شدگی گوگرد و آرسنیک قابل توجه است و سرب و روی در زمین بازی کودکان، کمترین غنی‌شدگی را نشان می‌دهد. همچنین مقدار آرسنیک وگوگرد نه تنها در زمین بازی کودکان بلکه در سایر مناطق (پارک، باغ، زمین کشاورزی) نیز غنی‌شدگی قابل توجهی دارد. سایر فلزات سنگین از قبیل کادمیم، نیکل،کبالت، مس و کروم حداقل غنی‌شدگی را نسبت به زمینه محلی نشان می‌دهند. در واقع با توجه به ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۱ این عناصر، تهی‌شدگی نسبت به زمینه محلی واقع‌بینانه‌تر است.

جدول ۵- میانگین فراوانی فلزات سنگین در خاک شهر کرج در مقایسه با سایر شهرهای جهان.

EFM در خاک شهر کرج	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	S	Zn	طبقه‌بندی* MEF: مقدار ضریب	طبقه‌بندی* MEF: مقدار غنی‌شدگی
زمین بازی کودکان	۷/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۰/۴	۱/۶	۱۱/۹	۱/۴	MEF <2	حداقل غنی‌شدگی
پارک	۵/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۹۴	۶/۵۴	۱/۳۷	2-5	غنی‌شدگی ملایم
باغ	۶/۹۹	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۹۰	۶/۳۰	۱/۳۴	5-20	غنی‌شدگی قابل توجه
زمین کشاورزی	۶/۵۰	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۷۰	۳/۸۷	۰/۷۶	20-40	غنی‌شدگی بسیار بالا
* بر اساس Sutherland (2000) و Ali and Malik (2011)									MEF>40	غنی‌شدگی به شدت بالا

- **شاخص زمین‌انباشت:** شاخص دیگری که برای ارزیابی آلودگی خاک استفاده می‌شود، شاخص زمین‌انباشت (Igeo) است که توسط Muller (1969) Salomons and Frostner (1984) و محققان دیگر به کار گرفته شده است (Karim et al., 2015; Gowd et al., 2010; Lee et al., 1998; Odewande and Abimbola 2007; Malik et al., 2011). با استفاده از شاخص زمین‌انباشت Igeo = log2 Cn /1.5Bn که در آن Cn غلظت عنصر مورد نظر در

خاک مورد آزمون، Bn غلظت عنصر مورد نظر در پوسته زمین و ضریب ثابت ۱/۵ به دلیل تغییرات احتمالی در داده‌های منتسب به تأثیرات سنگ‌شناسی است. طبقه‌بندی Salomons and Frostner (1984) برای این شاخص در جدول ۷ ارائه شده است.

بر اساس این نتایج، زمین بازی کودکان آلودگی زیادی نسبت به آرسنیک و گوگرد نشان می‌دهد. باغ‌ها نیز از نظر آلودگی در مرحله بعدی قرار دارند. زمین‌های کشاورزی و پارک‌ها نیز آلودگی کمی دارند.

جدول ۷- شاخص زمین انباشت (Igeo) برخی عناصر در خاک‌های با کاربری‌های مختلف در شهر کرج.

عنصر (mg/kg)	I_{geo}				کیفیت خاک شهر کرج	شاخص زمین‌انباشت (بر اساس Salomons and Frostner (1984))	
	زمین بازی کودکان	پارک	باغ	زمین کشاورزی		مقدار I_{geo}	
As	۲/۱	۱/۷	۲/۰۳	۲/۰۲	آلودگی کم - آلودگی کم تا زیاد		کیفیت خاک
Cd	-۱/۳	-۱/۲	-۱/۲	-۱/۳	غیرآلوده	کمتر از ۰	غیر آلوده
Cr	-۱/۱	-۱/۱	-۱/۱	-۱/۴	غیرآلوده	۱- ۰	غیر آلوده تا آلودگی کم
Cu	-۰/۹	-۱/۰۸	-۱/۰۸	-۱/۲	غیرآلوده	۲- ۱	آلودگی کم
Ni	-۲/۲	-۱/۱	-۱/۰۹	-۱/۳	غیرآلوده	۳- ۲	آلودگی کم تا زیاد
Pb	-۰/۱	-۰/۸	-۰/۹	-۱/۱	غیرآلوده	۴- ۳	آلودگی شدید
P	-۰/۷	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۵	غیرآلوده	۵- ۴	آلودگی شدید تا خیلی شدید
S	۲/۹	۱/۹	۱/۸	۱/۲	آلودگی کم - آلودگی کم تا زیاد	۶- ۵	آلودگی خیلی شدید
Zn	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۱/۰۶	غیر آلوده		

– تحلیل مؤلفه اصلی (PCA): تحلیل مؤلفه اصلی یکی از انواع آنالیزهای چندمتغیره است که به طور وسیعی در بررسی‌های آلودگی خاک استفاده شده است. رایج‌ترین نوع PCA برای تفسیر نتایج و مؤلفه‌های آلودگی، روش چرخشی وریماکس است که مقادیر عامل‌های با فاکتور وزنی بیشتر از ۷۱ % قابل توجه و مقادیر کمتر از ۳۱ % ضعیف در نظر گرفته می‌شود. همچنین در این روش مقادیر واریانس تجمعی بیشتر از ۸۰% در تفسیر داده‌ها قابل اعتمادترند (داوطلب نظام و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج مؤلفه اصلی برای عناصر انتخابی در جدول ۸ ارائه شده و بدین شرح است:

جدول ۸- تحلیل مؤلفه اصلی برای عناصر انتخابی نمونه‌های خاک.

Component	Rotated Component matrix			
	PC1	PC 2	PC 3	PC 4
Fe	**.920**	-.213	-.158	-.042
Co	**.881**	-.082	-.232	-.055
Cd	**.776**	-.141	-.023	.263
Cu	**.771**	.435	-.219	-.171
Al	**.743**	-.192	-.445	.050
Pb	-.154	**.847**	-.073	-.144
S	-.174	**.671**	-.212	-.011
Zn	.442	**.637**	.066	-.066
Ni	.434	-.084	**.778**	-.184
OC	.271	-.258	**.604**	-.354
Cr	.446	**.527**	**.548**	.087
As	.140	.148	.322	**.848**
of Variance %	33.48	17.42	14.30	7.97
% Cumulative	33.48	50.90	65.21	73.18

مؤلفه اول با ۳۳/۴۸ درصد از واریانس کل دارای عامل وزنی مثبت بالای عناصر آهن، آلومینیم، کبالت، کادمیم و مس بوده که نشانگر منشأ مشترک و زمین‌زاد بودن این عناصر است. مؤلفه دوم با ۱۷/۴۲ درصد از واریانس کل دارای عامل وزنی مثبت بالای عناصر سرب، گوگرد و روی و به مقدار کمتر کروم بوده که نشانگر نقش بیشتر فعالیت‌های انسان‌زاد در منشأ این عناصر است. مؤلفه سوم با ۱۴/۳۰ درصد از واریانس کل دارای عامل وزنی مثبت بالای عناصر نیکل و کربن آلی و به مقدار کمتر کروم بوده که نشانگر نقش کربن آلی در کنترل غلظت نیکل و کروم با منشأ انسان‌زاد است. مؤلفه چهارم با ۷/۸۷ درصد از واریانس کل دارای عامل وزنی مثبت بالای عنصر آرسنیک بوده که نشانگر منشأ انسان‌زاد این عنصر است.

– میانگین شاخص آلودگی: به منظور ارزیابی درجه آلودگی خاک و برآورد تأثیر آن بر سلامت انسان، میانگین شاخص آلودگی (Chen et al., 2005; Sun et al., 2010; IPI)) (Rizo et al., 2011 برای خاک شهری کرج محاسبه شده است:

$$IPI = \frac{1}{n}\Sigma P \qquad (۲$$

که درآن IPI مقادیر میانگین تمام شاخص‌های آلودگی برای فلزات مورد مطالعه، n تعداد فلزات مورد مطالعه و PI نسبت غلظت فلزات سنگین به میانگین هندسی تعریف شده است که از معادله PI= Ci/Si حاصل شده و در آن Ci غلظت فلز مورد بررسی در خاک و Si غلظت زمینه ژئوشیمیایی فلزات در خاک است. مقادیر زمینه برای غلظت‌های متوسط تعیین شده در ۵ نقطه غیرشهری مطالعه و استفاده شده است.

شاخص آلودگی خاک بر اساس IPI طبقه‌بندی Rizo et al. (2011) به سه سطح کم آلوده شده (IPI ≤ 1.0)، با آلودگی متوسط (1.0<IPI ≤ 2.0) و زیاد آلوده شده (IPI>2.0) تقسیم میشود. طبقه‌بندی محققان دیگر از جمله Wei and Yang (2010) به چهار سطح کم‌آلوده شده (IPI ≤ 1)، با آلودگی متوسط (1<IPI ≤ 2)، زیاد آلوده شده (۲<IPI ≤ ۵) و خیلی زیاد آلوده شده (IPI> ۵) تقسیم میشود مقادیر PI برای خاک شهر کرج با استفاده از معادله ۲ محاسبه شده و در جدول ۹ ارائه شده است.

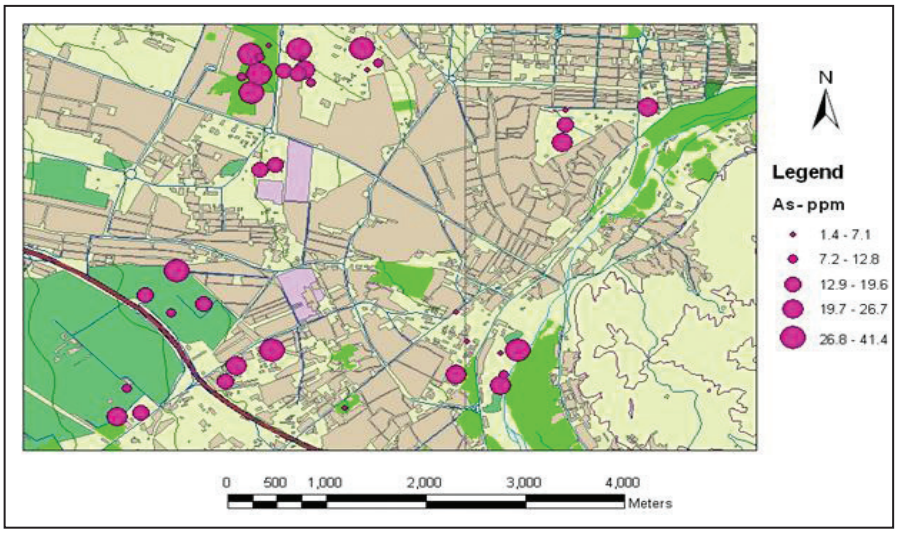
شاخص آلودگی خاک کرج به ترتیب از بیشتر به کمتر به‌صورت زیر است:

IP: As >S > Z >Pb >Cu >Ni, Cr >Cd

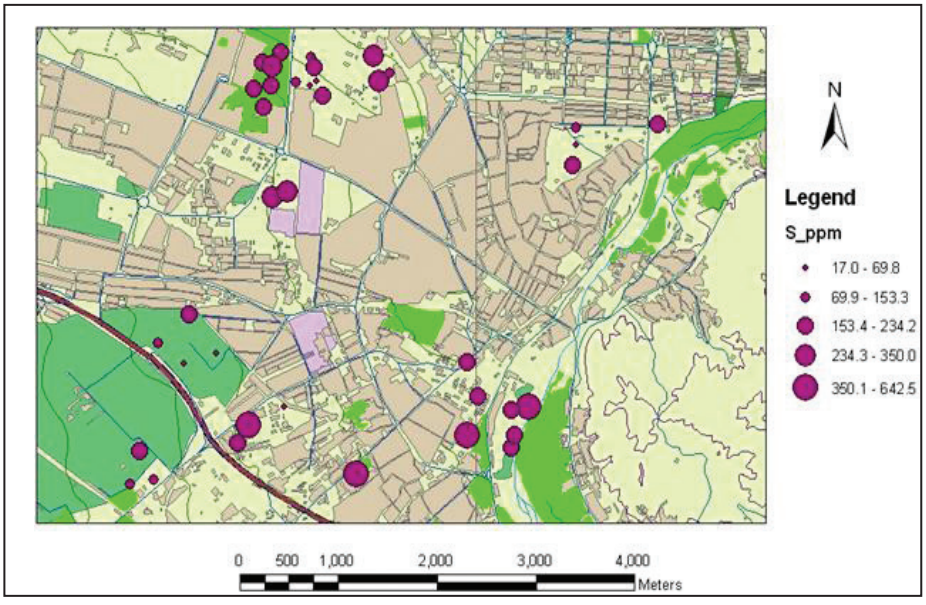
شاخص آلودگی فلزات سنگین برای خاک کرج ۱/۷۵ است که با توجه به رده‌بندی فوق در ردیف خاک‌های با آلودگی متوسط قرار دارد. نقشه آلودگی دو عنصر As و S در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۹- مقادیر PI خاک شهری کرج.

(mg/ kg)	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	S	Zn
میانگین در خاک کرج	۱۷٫۴	۲٫۰۲	۵۸٫۸	۳۸٫۱	۲۹٫۷	۷۶٫۹	۲۱۳٫۹	۵۶٫۶
زمینه محلی کرج	۳٫۱	۳٫۳	۹۲٫۲	۵۴٫۸	۴۷	۹۴٫۶	۳۷٫۲	۵۲٫۷
شاخص آلودگی خاک کرج	۵٫۶۲	۰٫۶۱	۰٫۶۳	۰٫۶۹	۰٫۶۳	۰٫۸۱	۵٫۷۳	۱٫۰۷
IPI طبق طبقه بندی ریزو Rizo et al.,(2011)	کم آلوده شده: IPI ≤ ۱/۰		متوسط آلوده شده: ۱/۰ < IPI ≤ ۲/۰			زیاد آلوده شده: IPI > ۲/۰		
IPI براساس رده‌بندی وی (Wei et al., 2010)	کم آلوده شده: IPI ≤ ۱	متوسط آلوده شده: ۱ < IPI ≤ ۲	زیاد آلوده شده: ۲ < IPI ≤ ۵	خیلی زیاد آلوده شده: IPI > ۵				



شکل ۳- نقشه مقادیر برای عنصر آلوده‌تر As.



شکل ۴- نقشه مقادیر برای عنصر آلوده‌تر S.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به کاربری های مختلف در شهر کرج از جمله باغ، پارک، زمین کشاورزی و زمین بازی کودکان، مقادیر کادمیم، کرومیم، مس، نیکل و سرب در باغ‌ها، پارک‌ها و زمین‌های کشاورزی نسبت به زمینه محلی تهی‌شدگی نشان می‌دهد. در باغ‌ها به دلیل دست‌خوردگی کمتر و واقع شدن در مرکز شهر و تراکم درختان بلند در این ناحیه (عامل جذب ذرات معلق حاوی فلزات سنگین) و همچنین مقدار بالای مواد آلی، نسبت به پارک‌ها و زمین‌های کشاورزی مقادیر این عناصر بیشتر است. مقدار کادمیم، کرومیم، مس، نیکل و سرب در باغ‌ها دو برابر زمین‌های کشاورزی است.

بیشترین مقدار تهی‌شدگی کادمیم، کرومیم، مس، نیکل و سرب در زمین‌های کشاورزی بوده که کاهش آنها از طریق شست وشو و حذف از خاک به دلیل آبیاری، فرایند شخم زدن و جذب توسط گیاهان است. بالا بودن روی در باغ‌ها و پارک‌ها نسبت به زمینه محلی نشان می‌دهد که علاوه بر منشأ زمین‌زاد، فعالیت‌های انسان‌زاد نیز در تمرکز روی در این ناحیه مؤثر بوده‌اند. فعالیت‌های کشاورزی در خاک باعث تحرک سرب و روی شده و مقدار آنها را در خاک زمین‌های کشاورزی علیرغم قرار گرفتن در مجاورت اتوبان تهران- قزوین کاهش داده است و نسبت به زمینه محلی تهی‌شدگی نشان می‌دهد. مقادیر سرب و روی در باغ‌ها و پارک‌ها نزدیک به هم است.

زمین بازی کودکان به دلیل عمق برداشت نمونه‌ها (صفر تا ۲ سانتی‌متری) دارای آرسنیک، سرب، گوگرد و روی بیشتری نسبت به زمینه محلی و نیز در مقایسه با سایر کاربری‌ها بوده که بیانگر نقش منابع انسان‌زاد در افزایش غلظت سرب در نمونه‌های سطحی است و احتمالاً در أثر سوختن سوخت‌های فسیلی ناشی از تردد خودروها حاصل شده و به‌صورت هوابرد تغلیظ یافته است و زمین‌های کشاورزی کمترین مقدار این عنصر را به دلیل فعالیت‌های کشاورزی در خود دارند. احتمالاً منشأ گوگرد ناشی از فرایندهای سوختن سوخت‌های فسیلی است. چرا که میزان گوگرد کل در نفت سنگین ایران ۲/۲۸ درصد و در نفت سبک ۱/۵۸ درصد بوده که به تبع آن در سوخت مصرفی وسایل نقلیه جاده‌ای زیاد است.

با توجه به شاخص آلودگی فلزات سنگین، خاک کرج در ردیف خاک‌های با آلودگی متوسط قرار دارد.

آرسنیک، گوگرد و روی در خاک کرج نسبت به زمینه محلی غنی‌شدگی نشان می‌دهد که بیانگر تأثیر منابع انسان‌زاد در تمرکز این عناصر در خاک کرج دارد. همچنین غلظت بالای آرسنیک، سرب و گوگرد در نمونه‌های سطحی بیانگر تغلیظ هوابرد این عناصر از منابع انسان‌زاد است.

خاک شهر کرج در مقایسه با خاک سایر شهرهای جهان به‌طور کلی تمرکز کمتری از فلزات سنگین دارد. به جز کادمیم که در مقایسه با شهر شانگهای چین (با جمعیتی که حدود ۹ برابر جمعیت شهر کرج) کادمیم بیشتری دارد و بیانگر زمین‌زاد بودن منشأ کادمیم در خاک شهر کرج است.

سپاسگزاری

از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای تأمین هزینه‌های این طرح، از همکاری مدیران و کارکنان سازمان زمین‌شناسی به خصوص کارشناسان گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی (سرکار خانم کریم‌نژاد و آقای پورفرضی) و امور آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور سپاسگزاری می‌شود.

کتابنگاری

داوطلب نظام، س.، شاکری، ع. و رضایی، م.، ۱۳۹۵- آلودگی، منشأ و ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهر و پارک لاله شهر تهران، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، جلد۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۵- ص. ۲۰۹ تا ۲۲۶.

دست‌گشاده، ف.، تونی، ا. ر.، مقدم‌شیخ‌جان، س.، تقی‌نژاد، گ.، همتیان، ن. و حاتمی، ر.، ۱۳۹۳- ارزیابی میزان فلزات سنگین در غبار برخی جاده‌های کرج، محیط‌شناسی، دوره ۴۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۳۳۴ تا ۳۳۱.

References

Ajmone-Marsan, F. and Biasioli, M ., 2010- Trace Elements in Soils of Urban Areas. Water, Air, and Soil Pollution. 213:121- 143.

Ajmone-Marsan, F., Biasioli, M., Kralj, T., Grčman, H., Davidson, C. M., Hursthouse, A. S., Madrid, L. and Rodrigues, S., 2008- Metals in particle-sizefractions of the soils of five European cities. Environmental Pollution, 152,73- 81.

Albanese, S., DeVivo, B., Lima, A. and Cicchella, D., 2007- Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). Journal of Geochemical Exploration 93:21- 34.

Ali, S. M. and Malik, R. N., 2011- Spatial distribution of metals in top soils of Islamabad City, Pakistan. Environment Monitoring Assessment. 172:1- 16.

Al-Khashman, O. A., 2004- The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba City, Jordan. Environmental, Geochemical and Health, 29, 197- 207.

Biasioli, R., Barberis, R. and Marson, F. A., 2006- The influence of a large city on some soil properties and metal content. The Science of the Total Environment, 356:154- 164. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.04.033.

Birke, M. and Rauch, U., 1994- Geochemical investigations in the urban areas of Berlin, Mineral Magazine 58A, 95- 96, London Mineralogical Society).

Chen, T. B., Zheng, Y. M., Lei, M., Huang Z. C., Wu, H. T., Chen, H., Fan, K. K., Yu, K., Wu, X. and Tian Q. Z., 2005- Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere 60:542- 551.

Dung, T. T. T., Cappyuns, V., Swennen, R. and Phung, N. K., 2013- From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils. Reviews in Environmental Science and Biotechnology. 12:335–353 DOI 10.1007/s11157-013-9315-1.

Gowd, S. S., Reddy, M. R. and Govil, P. K., 2010- Assessment of heavy metal contamination in soils at Jajmau (Kanpur) and Unnao industrial areas of the Ganga Plain, Uttar Pradesh, India. Journal of Hazardous Materials. 174, 113- 121.

Hartley, W., Uffindella, L., Plumba, A., Rawlinsonb, H. A., Putwainc, Pz. and Dickinson, N. M., 2008- Assessing biological indicators for remediated anthropogenic urban soils. Science of the Total Environment. 405:358- 369.

Ikem, A., Campbell, M., Nyirakabibi, I. and Garth, J., 2008- Baseline concentrations of trace elements in residential soils from Southeastern .Missouri. Environmental Monitoring and Assessment. 140:69- 81.

Iqbal, S., Wasim, M., Tufail, M., Arif, M. and Chaudhry, M. M., 2012- Elemental contamination in urban parks of Rawalpindi/ Islamabad—a source identification and pollution level assessment study. Environmental Monitoring and Assessment184:5497–5510 DOI 10.1007/ s10661-011-2356-4.

ISO10381-1, 2002- Soil quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes. Switzerland: International Standard Organization (ISO).

ISO 10381-5, 2005- Soil quality — Sampling — Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination Switzerland: International Standard Organization (ISO).

ISO11464, 2006- Soil quality — Pretreatment of samples for physico-chemical analysis . Switzerland: International Standard Organization (ISO).

Kabata- Pendias, A. B. and Mukherjee, A., 2007- Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Karim, K., Qureshi, B. A. and Mumtaz, M., 2015- Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan, Ecological Indicators 48:358- 364.

Lee, J. S., Chon, H. T. and Kim, K. W., 1998- Migration and dispersion of trace elements in the rock–soil–plant system in areas underlain by black shales and slates of the Okchon Zone, Korea. Journal of Geochemical Exploration 65:61- 78.

Ljung, K., Selinus, O. and Otabbong, E., 2006- Metals in soils of children's urban environments in the small northern European city of Uppsala. Science of the Total Environment 366:749- 759.

Manta, D. S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R. and Sprovieria, M., 2002- Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. Science of the Total Environment 300, 229- 243.

Malik, R. N., Jadoon, W. A. and Husain, S. Z., 2011- Metal contamination of surface soils of industrial city Sialkot, Pakistan: a multivariate and GIS approach. Environmental. Geochem. Health 32:179- 191.

Massas, I., Ehaliotis, S., Gerontidis, S. and Sarris, E., 2008- Elevated heavy metal concentrations in top soils of an Aegean island town (Greece): Total and available forms, origin and distribution. Environmental Monitoring and Assessment. 151(1-4):105-116. doi:10.1007/ s10661-008-0253-2.

Micó, C., Peris, M., Recatalá, L. and Sánchez, J., 2007- Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region .Science of the Total Environment 378:13- 17.

Muller, G., 1969- Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River, Geojournal 2:108- 118.

Norra, S. and Stüben, D., 2003- Urban Soils. JSS – Journal of Soils and Sediments 3(4)230- 233.

Odewande, A. A. and Abimbola, A. F., 2007- Contamination indices and heavy metal concentrations in urban soil of Ibadan metropolis, southwestern Nigeria. Environmental Geochemistry and Health 30(3):243- 254.

Peltola, P. and Åstrom, M., 2003- Urban geochemistry: A multimedia and multi element survey of a small town in northern Europe. Environmental Geochemistry and Health 25: 397–419, 2003.

Perry, C. and Taylor, K., 2006- Environmental Sedimentology, 1st Edition.

Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D., Russell-Anelli, J. and Neerchal, N. K., 2007- Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover type. Soil Science Society of America Journal, 71:1010- 1019.

Rizo, O. D., Echeverrıa Castillo, F., Arado Lopez, J. O. and Hernandez Merlo, M., 2011- Assessment of Heavy Metal Pollution in Urban Soils of Havana City, Cuba, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 87:414- 419.

Rose, S. and Shea, J. A., 2007- Environmental geochemistry of trace metal pollution in urban water sheds. Developments in Environmental Science,Volume 5.

Salomons, W. and Frostner, U., 1984- Metals in the hydrocycle. New York: Springer.

Schwartz, C., Fetzer, K. D. and Morel, J. L., 1995- Factors of contamination of garden soils by heavy metals. In R. Prost (Ed.), CD-Rom, Contaminated Soils, Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Paris.

Shi, S., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C. and Teng, J., 2008- Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. Environmental Pollution 156 (2008) 251- 260.

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. Journal of Hazardous Materials 174:455462.

Sutherland, R. A., 2000- Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oaho, Hawaii. Environmental Geology, 39:611–627.

Tijhuisi, L., Brattli, B. and Ther, O. M., 2002- A geochemical survey of topsoil in the city of Oslo Norway. Environmental Geochemistry and Health 24:67–94.

Wei, B. and Yang, L., 2010- A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Microchemical Journal 94:99- 107.

Wong, C. S. C., Li, X. and Thornton, I., 2006- Urban environmental geochemistry of trace metals. Environmental Pollution 142:1- 16.

Assessment of heavy metal pollution in urban soil in Karaj

A. Fallah[1*], S. Modabberi[2], A. R. Sayyareh[3] and A. A.Tabakh Shabani[4]

[1]M.Sc., Bureau of Standard Training and promotion, INSO, Tehran, Iran

[2]Associate Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

[3]M.Sc., Department of Geochemistry, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[4]Assistant Professor, Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 2017 November 24 Accepted: 2018 September 12

Abstract

Urbanization and urban development of human society is facing the effects of various environmental issues. From these issues, soil- related problems are of particular importance. The urban soil as a site for the accumulation of heavy metal pollution in the ecosystem serves as an important indicator of human exposure to trace metals in urban environments. Soil quality in urban areas is affected by anthropogenic activities. The city of Karaj, due to migration and rapid growth in its population in recent years, as well as the different application of land with various uses, including agricultural land, gardens, parks, industrial centers and children's playgrounds in urban areas, is a good case for study of heavy metals Distribution and the influence of anthropogenic activities on their contamination. For study the effects of traffic and urban pollution on heavy metals concentration, 40 soil samples were collected in green areas of Karaj city with different uses and 5 samples as geochemical background were collected from unpolluted areas and margins of the city. The samples after preparation were analyzed by ICP- OES method. Statistical data were analyzed by SPSS (version 21) software. Relation of elements and pollution indexes determined for noticeable elements in karaj city. The Statistical analysis indicate that the distribution of metal such as: Cd,Cr,Cu,Ni and Zn in soil of Karaj city are similar to each other and often in the central part of Karaj city(Jahanshaher garden , Family park) Compared to other regions is more. Heavy metals in farmland soil are lower than other lands (garden, park). These findings are matching with the results reported by other researchers (from other regions of world). As, S and Zn have different distribution than other listed heavy metals. The Mean value of Zn, P, Ni, Cu, Cr, Co and Cd in the central part of Karaj city is more than other regions. This can be affected by two factors, one of the factors is geogenic and other due to the metals deposited in adhesive surfaces (green belt and tall tree) thus particles remain transient in ambient air (anthropogenic sources) until they are trapped in this area, Metals deposited in adhesive surfaces. The elements such as, Pb are clearly enriched in soil surface samples of Karaj city. Arsenic is the most available elements in the center and south of the Karaj city. High concentration of Pb and S in the surface collected samples indicates that these elements concentrated with airborne transport and the relationship between these two elements probably have anthropogenic source. Fossil fuels are a major source of arsenic; because arsenic values in non-urban soils is several times lower than in the urban area. PI value in the Karaj city soil for various heavy metals are respectively as: As> S> P> Zn> Pb> Cu> Ni, Cr> Cd. The heavy metals pollution index for Karaj is 1.75, which is one of the moderate pollution soils.

Kaywords: Pollution, Urban soil, Urban geochemistry, Factor of land accumulation, Enrichment index, Karaj.

For Persian Version see pages 231 to 240

*Corresponding author: A. Fallah; E-mail: fallah.abbas1980@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional