

# ژئوشیمی زیست محیطی عناصر ضروری و سمی در نمونه‌های خاک در محدوده برگه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان

حبیبه عطاپور<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۴

## چکیده

برای بررسی اثرات زیست محیطی عناصر ضروری و سمی در محدوده ورقه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان، ۲۲۰ نمونه خاک برگا و نابرجا با روش تصادفی منظم برداشت شد. بر اساس داده‌های شیمیایی افزایش مقدار کلسیم (۲۳/۶ درصد وزنی)، سدیم (۳/۸۶ درصد وزنی)، پتاسیم (۲/۳۶ درصد وزنی)، لیتیم (۴۹/۱۸ گرم در تن) و بور (۶۵/۸ گرم در تن) و کمبود سلنیم (۰/۱۲ گرم در تن) در خاک برگا در مقایسه با متوسط خاک‌های دنیا نشانگر سنگ بستر آهکی و تبخیری (پلاپای) کرمان و خاک منطقه است. خاک‌های اطراف جایگاه‌های عرضه سوخت (پمپ بنزین‌ها) از سرب (۸۴ گرم در تن)، روی (۲۵۰ گرم در تن)، روبیدیم (۹۸۳ گرم در تن) و بور (۱۵۸ گرم در تن) غنی شده‌اند. مقادیر بالای مس (۷۱۵ گرم در تن)، مولیبدن (۴/۲۶ گرم در تن)، سرب (۱۰۱۲۵ گرم در تن)، روی (۲۷۵ گرم در تن)، قلع (۱۰۰ گرم در تن)، تنگستن (۴/۳۶ گرم در تن)، آرسنیک (۱۹/۶ گرم در تن) و لیتیم (۷۰/۴ گرم در تن) در نمونه‌های خاک‌های مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی گزارش شده است. نمونه‌های خاک اطراف کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودروها دارای ۰/۳۸ درصد وزنی گوگرد، ۲۰۵ گرم در تن مس، ۲/۶۹ گرم در تن مولیبدن، ۳۱۸ گرم در تن سرب، ۳۱۰ گرم در تن روی، ۱۹/۳ گرم در تن قلع، ۳/۲۵ گرم در تن تنگستن، ۲۰/۳ گرم در تن آرسنیک، ۴/۶۵ گرم در تن آنتیموان، ۸۰ گرم در تن لیتیم و ۱۱۵/۴ گرم در تن بور است. جالب توجه است که حداکثر روی (۱۹۰۳ گرم در تن) در خاک‌های کشاورزی (باغ‌های پسته) وجود دارد. همچنین، نمونه‌های ضایعات ساختمانی دارای ۷/۵۸ درصد وزنی گوگرد، ۳۹۲ گرم در تن سرب، ۲۷۵ گرم در تن روی، ۲۶/۷ گرم در تن آرسنیک، ۵/۳۲ گرم در تن آنتیموان، ۸۰۷ گرم در تن روبیدیم و ۶۵۱ گرم در تن استرانسیم است. شدت غنی‌شدگی عناصر سرب (۱۳۵۸)، مس (۷۲)، مولیبدن (۸/۹۴)، قلع (۲۴۲) در خاک‌های آلوده مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی، آرسنیک (۵/۷) در خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت، روی (۲۰/۸) در خاک‌های کشاورزی و آنتیموان (۱۰/۲۴) در خاک مجاور ریل راه آهن گویای خاک‌های آلوده می‌باشد. شاخص زمین‌انباشتی برای مس (۳/۹۶)، سرب (۸/۱۸)، قلع (۴/۴۸) و تنگستن (۲/۰۹) در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی و روی (۰/۸۳) در خاک‌های برداشت شده از باغ‌های پسته نشان‌دهنده آلوده‌ترین خاک‌های منطقه است.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی زیست محیطی، عناصر ضروری، عناصر سمی، خاک‌های برگا، خاک‌های آلوده.

E-mail: hatapour@yahoo.com

\*نویسنده مسئول: حبیبه عطاپور

## ۱- پیش‌نوشتار

ژئوشیمی زیست محیطی خاک در مناطق شهری افزون بر اینکه اطلاعات جالب توجهی از ترکیب خاک برگا و نابرجا ارائه می‌دهد، تغییرات مقدار عناصر سمی حاصل از آلودگی را نیز روشن می‌نماید (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011). به این ترتیب، می‌توان نواحی آلوده شهری را از مناطق غیرآلوده جدا کرده و از لحاظ زیست محیطی مدیریت کرد. این مقاله به بررسی ژئوشیمی نمونه‌های خاک در محدوده برگه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان پرداخته است و نقشه‌های ژئوشیمیایی زیست محیطی را ارائه می‌دهد. نقشه‌های ژئوشیمیایی برای مقاصد زیست محیطی و سلامتی (Johnson & Ander, 2008) توسط Thornton & Webb, (1979) و Plant & Moore (1979) به کار گرفته شد و پس از آن در بسیاری از مناطق دنیا نقشه‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای زیست محیطی در مقیاس کشورها تهیه شد (Johnson et al., 2005; Muchsin et al., 1997; Sewell, 1999; Reiman et al., 1998). نقشه‌های ژئوشیمیایی زیست محیطی در مقیاس قاره‌ها نیز در اروپا (Salminen et al., 2005)، تهیه شده است. اولین مطالعات ژئوشیمی زیست محیطی مناطق شهری در سال ۱۹۹۶ توسط Purves (1966) صورت گرفت و پس از آن در اروپا و آسیا گسترش چشمگیری یافت. بررسی‌های ژئوشیمی زیست محیطی در کشور ما در سالیان اخیر آغاز شده و نخستین مطالعه زیست محیطی با رویکرد زمین‌شناسی پزشکی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شده است. اولین بررسی مقدماتی درباره خاک محدوده شهری کرمان نیز توسط حمزه (۱۳۸۵) انجام شده، سپس نمونه‌برداری زیست محیطی از خاک‌های برگا و نابرجا در محدوده شهری و تهیه نقشه ژئوشیمی خاک در محدوده شهری کرمان (عطاپور و همکاران، ۱۳۸۹) صورت گرفت.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه به وسعت ۶۰۰ کیلومتر مربع و به طول جغرافیایی  $30^{\circ} 52' 30''$  تا  $30^{\circ} 57' 30''$  و عرض  $57^{\circ} 30' 30''$  خاوری و عرض  $30^{\circ} 22' 30''$  تا  $30^{\circ} 07' 30''$  شمالی قرار گرفته و مهم‌ترین بخش آن شهر کرمان است. شهر کرمان در دامنه کوه‌های صاحب الزمان (عج) در امتداد خاور - باختر و بر روی آبرفت‌های حاصل از سنگ‌های آهکی گسترش یافته است (شکل ۱). واحدهای زمین‌شناسی در محدوده ورقه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان به ترتیب سنی عبارتند از واحدهای سنگی سیلورین - دونین که به صورت نا همشپ بر روی واحدهای اینفراکامبرین (پروتروزویک فوقانی) قرار گرفته و بیشتر شامل کنگلومرا، ماسه سنگ، دولومیت، سنگ آهک و شیل است (Djokovic & Dimitrijevic, 1972). سنگ‌های آهکی ریفی هیپوریت‌دار کرتاسه فوقانی (سنونین) به رنگ خاکستری تا روشن رنگ (Huckriede et al., 1962)، بیشترین رخنمون را در منطقه نشان می‌دهد. کنگلومرای پالئوسن (کرمان) دارای دو بخش مجزای ریزدانه سیلتی (Rahimzadeh, 1983) و ماسه‌سنگی ریزدانه است (Huckriede et al., 1962) که دارای میان لایه‌هایی از گریوک و ماسه‌سنگ (Dimitrijevic, 1973) است. سن نسبی کنگلومرای کرمان توسط سید امامی (۱۳۵۱) Reyer & Mohafez (1972); Ruttner et al. (1968); Stocklin et al. (1965); پالئوسن در نظر گرفته شده (درویش‌زاده، ۱۳۸۰)، اما Huckriede et al. (1962) سن قسمتی از آن را کرتاسه در نظر گرفته، (Dimitrijevic (1973) نیز بخش پایینی و ریزدانه را کرتاسه پسین می‌داند و آقابیانی (۱۳۸۵) این زمان را برای واحد کنگلومرای کرمان قابل قبول‌تر دانسته است. واحدهای کوچک‌تر شامل پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی (شن، ماسه، سیلت) و پهنه‌های سیلتی - رسی و دشت‌های بادی است (عطاپور و همکاران، ۱۳۸۹).

### ۳- روش مطالعه و نمونه‌برداری

برای بررسی ژئوشیمی زیست محیطی عناصر ضروری و سمی در خاک‌های منطقه، ۲۲۰ نمونه از ۱۴ گروه خاک برجا و خاک‌های محدوده پلایایی، پهنه سیلی - رسی و اطراف سازه‌های خاص شهری مانند باند فرودگاه، مجاور خط آهن، مجاور جاده‌های ترانزیتی و خاک‌های مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی، باتری‌سازی‌ها، جایگاه‌های عرضه سوخت (پمپ بنزین‌ها)، قبرستان، زمین‌های کشاورزی، خاک اطراف ساختمان‌های قدیمی نمونه‌برداری شد. همچنین از ضایعات ساختمانی به عنوان یکی از آلوده‌کننده‌های مهم خاک، در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌برداری با استفاده از روش پیشنهادی آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای (IAEA, 2004) برای نمونه‌برداری‌های زیست محیطی از خاک و به روش تصادفی منظم (systematic random sampling) صورت گرفته است. برداشت نمونه از ژرفای صفر تا ۵ سانتی‌متری و در دایره‌ای به قطر ۱ متر انجام شده و پس از خشک شدن در معرض آفتاب در حد زیر الک ۲۰۰ آسیاب شده و توسط دستگاه ICP-OES در مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (کرج) برای ۵۰ عنصر تجزیه شده‌اند. به منظور دقت و صحت داده‌ها، تعدادی از نمونه‌ها به آزمایشگاه ALS Cheme کانادا ارسال شد. دقت داده‌ها نیز از طریق بررسی داده‌های نمونه‌های تکراری محاسبه شده است (جدول ۲).

### ۴- ژئوشیمی

بررسی میانگین و شدت غنی‌شدگی عناصر ضروری و سمی در ۱۵ گروه نمونه‌برداری شده (جدول ۲) نشان می‌دهد که مقادیر عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، فسفر و گوگرد نسبت به متوسط خاک‌های دنیا تغییرات قابل توجهی دارد. همچنین مقادیر Cu, Mo, Pb, Zn, Sn, W, Ba, Rb, Li, Se, As, Sb در نمونه خاک‌های مختلف، دارای تغییرات قابل توجهی بوده و در ذیل به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱. عناصر ضروری

**پتاسیم:** تغییرات میانگین پتاسیم بین ۱/۱ (خاک مجاور باتری‌سازی) تا ۲/۲۲ درصد وزنی (نمونه‌های خاک مجاور باند فرودگاه و منطقه پلایایی) و ۱/۲۲ درصد وزنی در خاک برجا، نزدیک به میانگین جهانی (جدول ۲، Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005) است. فراوانی پتاسیم در خاک‌های پلایایی (۲/۱۵ درصد وزنی) و باند فرودگاه کرمان (۲/۳۶ درصد وزنی) (شکل ۲- الف) گویای فراوانی کانی‌های رسی (ایلیت) یا املاح تبخیری است.

**سدیم:** تغییرات میانگین سدیم بین ۰/۷۴ درصد وزنی (خاک برجا) تا ۲/۰۸ درصد وزنی (نمونه‌های ماسه بادی) بوده و بیشترین مقدار آن در مناطق تبخیری (۳/۸۶ درصد وزنی) اندازه‌گیری شده است (جدول ۲). کاهش چشمگیر مقدار سدیم در خاک برجا در مقایسه با نمونه‌های دیگر و متوسط جهانی خاک‌های دنیا (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005) نشان‌دهنده پایین بودن مقدار آن در سنگ منشأ خاک برجا است (شکل ۲- ب).

**کلسیم:** میانگین کلسیم در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه بین ۵/۹۸ درصد وزنی (خاک منطقه پلایایی) تا ۱۳/۳ درصد وزنی (خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی) متغیر است (جدول ۲). مقایسه مقادیر فوق در شکل ۲- ج، نشان می‌دهد که مقدار کلسیم در خاک برجا و سنگ‌های کربناتی منشأ آن قابل توجه است. مقایسه مقادیر کلسیم منطقه با خاک‌های دنیا نشان می‌دهد که مقدار این عنصر در خاک‌های نمونه‌برداری شده از متوسط جهانی بالاتر است (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005).

**فسفر:** میانگین این عنصر بین ۰/۰۴ (خاک برجا) تا ۰/۰۹ درصد وزنی (خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی خودرو) متغیر (جدول ۲) است. نمودار توزیع فسفر در خاک‌های نمونه‌برداری شده (شکل ۲- د) نشان‌دهنده کمبود فسفر در خاک برجا،

پایین بودن آن در سنگ همبر منطقه و مقادیر زیاد آن در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی است که احتمالاً به دلیل آلاینده‌های شیمیایی مربوط به باتری خودروها است.

#### ۴-۲. عناصر سمی

**گوگرد:** بررسی میانگین گوگرد در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه (جدول ۲) نشان می‌دهد که میانگین این عنصر بین ۰/۱۲ درصد وزنی در خاک کشاورزی تا ۷/۵۸ درصد وزنی، در ضایعات ساختمانی متغیر است. بررسی نمودار توزیع گوگرد (شکل ۳- الف) نیز گویای افزایش آن در غالب نمونه‌ها نسبت به متوسط جهانی (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005) است. مقدار گوگرد در نمونه‌های برداشت شده از ضایعات ساختمانی (۷/۵۸ درصد وزنی) و باتری‌سازی (۰/۷۵ درصد وزنی) و خاک‌های قدیمی (۰/۵۵ درصد وزنی) نیز به دلیل فراوانی گچ در خاک‌ها است. نمودارهای فراوانی و درصد تجمعی گوگرد (شکل‌های ۳- ب و ج) نشان‌دهنده توزیع غیرعادی با تمایل مثبت و دو جمعیتی بودن این عنصر است.

**مس:** میانگین مقدار مس بین ۲۰/۱ گرم در تن (خاک برجا) تا ۷۱۵ گرم در تن (خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی خودرو) (جدول ۲) متغیر است. نمودار توزیع مس گویای انطباق مقادیر این عنصر با متوسط جهانی (شکل ۴- الف) است (Lindsay, 1979; Salminen, 2005). آلودگی شدید از مس در خاک‌های مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۷۱۵ گرم در تن) صافکاری و نقاشی (۲۰۵ گرم در تن) و جایگاه‌های عرضه سوخت (۵۱/۴ گرم در تن) قابل توجه است. این عنصر در خاک‌ها بیشتر به صورت  $Cu(H_2O)_6^{+2}$  جذب کانی‌های رسی می‌شود. نمودارهای فراوانی و درصد تجمعی مس (شکل‌های ۴- ب و ج) نشان‌دهنده توزیع غیرعادی با تمایل مثبت و دو جمعیتی بودن این عنصر است. مقادیر زیاد مربوط به مناطقی است که آلودگی‌های انسان‌زاد وجود دارد، به طوری که مقدار مس در زباله‌های شهری تا ۲۵۰ گرم در تن نیز گزارش شده است (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**مولیبدن:** بررسی مقدار مولیبدن نشان می‌دهد که میانگین این عنصر بین ۰/۷۱ گرم در تن (خاک برجا) تا ۴/۲۶ گرم در تن (خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی خودرو) اندازه‌گیری شده است (جدول ۲). مقدار مولیبدن در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۴/۲۶ گرم در تن)، صافکاری و نقاشی (۲/۶۹ گرم در تن) در مقایسه با متوسط خاک‌های دنیا (شکل ۵- الف) بالاتر بوده اما در حد غیرمجاز است. توزیع عادی مولیبدن و حضور یک جمعیت در نمودار درصد تجمعی (شکل‌های ۵- ب و ج) نشان‌دهنده تمرکز عادی مولیبدن می‌باشد. رفتار مولیبدن در خاک با بسیاری از عناصر دیگر متفاوت است. این عنصر در خاک‌های قلیایی ( $pH > 6/5$ ) بسیار متحرک بوده و در خاک‌های اسیدی ( $pH < 5$ ) تحرک کمتری داشته و به راحتی توسط مواد آلی، کربنات کلسیم و هیدرواکسیدهای آهن و منگنز رسوب می‌نماید (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**سرب:** میانگین سرب در نمونه‌های خاک بین ۱۸ گرم در تن (خاک قبرستان) تا ۱۰۱۲۵ گرم در تن (خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی خودرو) متغیر (جدول ۲) است. نمودار توزیع این عنصر در خاک مناطق مختلف مورد مطالعه (شکل ۶- الف) نیز مبین بالاتر بودن مقادیر آن نسبت به میانگین جهانی است (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005)، که احتمالاً به دلیل برداشت نمونه در منطقه شهری و اطراف آن می‌باشد. آلودگی شدید در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۱۰۱۲۵ گرم در تن)، صافکاری و نقاشی (۳۱۸ گرم در تن) و جایگاه‌های عرضه سوخت (۸۴/۳ گرم در تن) (جدول ۲ و شکل ۶- الف) نشان‌دهنده انتقال این عنصر بسیار سمی از گازوئیل، صفحات سربی باتری‌ها و سرب و مواد شیمیایی موجود در رنگ و لوازم صافکاری خودروها می‌باشد. آلودگی‌های انسان‌زاد ناشی از افزایش این عنصر در نمودارهای فراوانی (شکل ۶- ب) و توزیع

گرم در تن)، خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت (۳/۰۳ گرم در تن) و ضایعات ساختمانی (۵/۳ گرم در تن) است. توزیع غیرعادی با تمایل مثبت و سه جمعیتی بودن در نمودار آنتیموان (شکل‌های ۱۰ - ب و ج) مبین افزایش این عنصر در خاک‌های آلوده منطقه می‌باشد.

**سلیمنیم:** میانگین سلیمنیم در نمونه‌های خاک بین ۰/۱۲ گرم در تن در نمونه‌های خاک بر جا تا ۲/۱۴ گرم در تن در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی خودرو متغیر است (جدول ۲). میانگین این عنصر در خاک برجا در مقایسه با متوسط خاک‌های دنیا (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005)، کمتر و در بقیه مناطق بیشتر از مقادیر جهانی است. بر اساس شکل ۱۱- الف، حداکثر مقدار سلیمنیم در نمونه‌های خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو، ۳ گرم در تن، باتری‌سازی‌ها، ۱۱/۷ گرم در تن و خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت، ۲/۲ گرم در تن می‌باشد. نمودار فراوانی و درصد تجمعی سلیمنیم وجود یک جمعیت را نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۱- ب و ج).

**لیتیمیم:** تغییرات میانگین لیتیمیم بین ۲۴ گرم در تن در نمونه‌های خاک بر جا تا ۸۰ گرم در تن در خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو (جدول ۲) اندازه‌گیری شده است. نمودار توزیع این عنصر در انواع نمونه‌های خاک (شکل ۱۲- الف) در مقایسه با متوسط خاک‌های دنیا (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005)، نشانگر افزایش مقدار این عنصر در خاک منطقه نسبت به خاک‌های جهانی است. همچنین نمودار توزیع عادی و دو جمعیتی لیتیمیم (شکل‌های ۱۲- ب و ج) نشان‌دهنده تمرکز این عنصر در رسوبات تجزیه پلاستیکی می‌باشد. لیتیمیم در مراحل اولیه تشکیل خاک بسیار محلول است و پس از آن جذب کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی می‌شود. این عنصر در مناطق خشک همراه با سولفات‌ها و بورات‌ها یافت می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**باریمیم:** تغییرات میانگین باریمیم در نمونه‌های خاک بین ۲۵۱ گرم در تن (خاک برجا) تا ۲۰۸۶ گرم در تن (خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو) گزارش شده است (جدول ۲). نمودار توزیع این عنصر در خاک مناطق مختلف (شکل ۱۳- الف) گویای کاهش آن در خاک برجا و افزایش آن در نمونه‌های خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۷۰۱ گرم در تن) نسبت به متوسط خاک‌های دنیا است. همچنین توزیع غیرعادی با تمایل مثبت و دو جمعیتی بودن نمودارهای ژئوشیمیایی (شکل‌های ۱۳- ب و ج) گویای آلودگی انسان‌زاد خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. مقدار باریمیم در خاک‌ها بستگی به نوع سنگ مادر داشته و در خاک‌های رسی حاوی مواد آلی بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**رویدیمیم:** تغییرات میانگین رویدیمیم بین ۵۴ گرم در تن در نمونه‌های خاک برجا و ۱۲۱۸ گرم در تن در خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو است. نمودار توزیع رویدیمیم (شکل ۱۴- الف) نشان دهنده افزایش آن در خاک‌های قدیمی (۳۶۶ گرم در تن)، خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی و باتری‌سازی‌ها (۱۰۶۰ گرم در تن)، خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت (۹۸۳ گرم در تن) و در ضایعات ساختمانی (۸۰۷/۷ گرم در تن) است. توزیع غیرعادی با تمایل مثبت در نمودار فراوانی (شکل ۱۴- ب) و وجود سه جمعیت در نمودار درصد تجمعی (شکل ۱۴- ج) گویای ناهنجاری این عنصر و آلودگی انسان‌زاد در بعضی از نمونه‌ها است. حضور رویدیمیم در خاک‌ها به دلیل جذب آن توسط کانی‌های رسی می‌باشد. رویدیمیم در کودهای شیمیایی فسفاتی حدود ۵ گرم در تن و در زباله‌های شهری تا ۱۰۰ گرم در تن یافت می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**استروانسیمیم:** میانگین این عنصر بین ۳۱۱ گرم در تن در نمونه‌های خاک بر جا تا ۶۵۱ گرم در تن در ضایعات ساختمانی (جدول ۲) متغیر است. نمودار توزیع این

غیرعادی آن در نمودار درصد تجمعی (شکل ۶- ج)، است. سرب آزاد شده از سوخت‌های فسفیلی (بنزین و گازوئیل) به شکل  $PbBr$ ,  $PbBrCl$ ,  $Pb(OH)Br$ ,  $(PbO)_2PbBr_2$  است. نیمه عمر سرب موجود در هوا کمتر از ۱۲ ساعت است که در شهرهای بزرگ آلاینده زیست محیطی بسیار مهم و مخاطره آمیز محسوب می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). آلودگی خاک‌های اطراف جاده به سرب نیز در ارتباط با سرب آزاد شده از سوخت‌های فسفیلی و شامل ترا اتیل و تترامیتیل سرب و محلول در آب است. اما مطالعات آزمایشگاهی در سال‌های اخیر نشان داده است که این ترکیبات در خاک باقی‌مانده و به راحتی شسته نمی‌شوند و مدت زمان زیادی در خاک مناطق آلوده باقی می‌ماند (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011).

**روی:** بررسی میانگین روی در نمونه‌های خاک برداشت شده (جدول ۲) گویای تغییرات این عنصر بین ۷۱/۱ گرم در تن (خاک برجا) تا ۳۱۰ گرم در تن (خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو) است. نمودار توزیع این عنصر در خاک مناطق مختلف مورد مطالعه (شکل ۷- الف) در مقایسه با متوسط خاک‌های دنیا نشان می‌دهد که مقدار روی در ضایعات ساختمانی (۲۷۵ گرم در تن) به دلیل حضور رنگ و انواع سرامیک‌ها و در خاک کشاورزی (۲۰۱/۳ گرم در تن) به دلیل سوزاندن لاستیک در باغ‌های پسته بالاتر از مقادیر جهانی است. بیشترین مقدار روی به میزان ۱۹۰۳ گرم در تن در نمونه‌ای از خاک‌های کشاورزی (باغ پسته کاری شده) اندازه‌گیری شده است. توزیع غیرعادی با تمایل مثبت روی در نمودار فراوانی و حضور دو جمعیت در نمودار درصد تجمعی (شکل‌های ۷- ب و ج) نشان‌دهنده آلودگی خاک منطقه به این عنصر می‌باشد. بر اساس مطالعات (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007)، خاک‌های آهکی و آلی دارای بیشترین مقدار روی هستند، زیرا برای تولید لاستیک از مقداری روی استفاده می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**قلع:** میانگین قلع در نمونه‌های خاک بین ۱/۴۵ گرم در تن (خاک قبرستان) تا ۱۰۰ گرم در تن (خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی خودرو) متغیر است (جدول ۲) و نسبت به میانگین خاک‌های جهانی (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005)، قابل توجه می‌باشد. نمودار توزیع این عنصر (شکل ۸- الف) نیز نشان از افزایش مقادیر این عنصر در کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو (۱۹/۳ گرم در تن) و باتری‌سازی‌ها و خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت (۹/۷۶ گرم در تن) دارد. نمودار فراوانی و درصد تجمعی قلع در نمونه‌های خاک (شکل‌های ۸- ب و ج) گویای توزیع غیرعادی با تمایل مثبت است که حاصل آلودگی‌های انسان‌زاد در اطراف کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو است.

**آرسنیک:** میانگین آرسنیک در نمونه‌های خاک بین ۱۳/۱ گرم در تن (خاک برجا) و ۳۲/۹ گرم در تن (خاک منطقه پلاستیکی) گزارش شده است (جدول ۲). نمودار توزیع آرسنیک (شکل ۹- الف)، نشان می‌دهد که مقدار این عنصر در بسیاری از نمونه‌ها مانند خاک منطقه پلاستیکی و مجاور جاده بالاتر از مقادیر جهانی است. همچنین، میانگین این عنصر در خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (۲۰/۳ گرم در تن)، باتری‌سازی‌ها (۱۹/۶ گرم در تن)، خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت (۱۷/۱۲ گرم در تن) و ضایعات ساختمانی (۲۶/۷ گرم در تن) قابل توجه است. توزیع غیرعادی با تمایل مثبت در نمودار فراوانی (شکل ۹- ب) و حضور دو جمعیت در نمودار درصد تجمعی (شکل ۹- ج) نشان‌دهنده آلودگی انسان‌زاد این عنصر می‌باشد.

**آنتیموان:** تغییرات مقادیر آنتیموان در نمونه‌های خاک بین ۰/۶۳ گرم در تن (خاک برجا) و ۵/۳ گرم در تن (ضایعات ساختمانی) (جدول ۲) است. نمودار توزیع این عنصر در خاک‌های منطقه (شکل ۱۰- الف) نشان‌دهنده فراوانی این عنصر در خاک‌های قدیمی (۲/۲۲ گرم در تن)، خاک مجاور راه آهن (۲/۱۹ گرم در تن)، خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (۴/۶۵ گرم در تن)، باتری‌سازی‌ها (۳/۶

(جدول ۳) بوده و مبین آلودگی شدید خاک مجاور آنها است. آلودگی خاک مناطق آلوده شهر از عنصر روی نیز تا حدی قابل توجه بوده و شدت غنی‌شدگی آن در خاک مجاور باتری‌سازی‌ها، جایگاه‌های عرضه سوخت و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی و خاک کشاورزی به ترتیب ۳/۵۸، ۸/۳۹ و ۵/۸۳ و ۲۰/۸ است. آلودگی خاک‌ها از قلع و غنی‌شدگی آنها (جدول ۳) در محدوده شهری (۶/۱۷)، خاک کشاورزی (۶/۱۳)، جایگاه‌های عرضه سوخت (۴/۵) و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (۲۴۲) مبین بالا بودن مقادیر این عنصر در خاک‌های آلوده است. مقدار بالای این عنصر در خاک محدوده شهری می‌تواند به دلیل فراوانی ضایعات ساختمانی و در خاک کشاورزی، با استفاده از کودهای شیمیایی باشد. خاک‌های آلوده مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو، شدت غنی‌شدگی نسبتاً بالایی از تنگستن (۱۰/۵)، باریم (۱۷/۲۷)، روییدیم (۵۲/۸) را نشان می‌دهد (جدول ۳). مقدار سلنیم در خاک برجای منطقه مورد مطالعه کمتر از متوسط جهانی است (جدول ۳). سلنیم در خاک‌های مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۹۰) و صافکاری و نقاشی (۲۳) بسیار بالا می‌باشد که به دلیل افزایش سلنیم در اثر آلودگی انسان‌زاد و کمبود آن در خاک برجا است.

سنجش شاخص آلودگی Muller (1969) یا شاخص زمین‌انباشتگی ( $\log_{10} C_n / 1.5B_n$ ) می‌تواند میزان آلودگی انسان‌زاد در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده را نشان دهد. لازم به توضیح است که در این رابطه  $C_n$  غلظت عنصر در نمونه و  $B_n$  غلظت زمینه منطقه (خاک برجا) می‌باشد. بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی، خاک‌ها به انواع کمی غیرآلوده ( $< 0$ )، غیر آلوده تا کمی آلوده ( $0-1$ )، کمی آلوده ( $1-2$ )، کمی آلوده تا خیلی آلوده ( $2-3$ )، خیلی آلوده ( $3-4$ )، خیلی آلوده تا به شدت آلوده ( $4-5$ ) و به شدت آلوده ( $5-7$ ) تقسیم‌بندی می‌شوند (Muller, 1969). شاخص زمین‌انباشتگی محاسبه شده برای انواع نمونه‌های خاک (جدول ۴) می‌تواند خاک‌های آلوده و غیر آلوده را مشخص نماید. بر این اساس، مقدار شاخص زمین‌انباشتگی در خاک‌های منطقه پلایایی، خاک پهنه سیلتی-رسی، خاک قدیمی، خاک مجاور جاده، خاک مجاور باند فرودگاه، خاک مجاور ریل راه آهن و خاک کشاورزی کمتر از یک بوده و در محدوده خاک‌های غیر آلوده تا کمی آلوده رده‌بندی می‌شوند. در حالی که شاخص‌های زمین‌انباشتگی عناصر مس (۳/۹۶)، سرب (۸/۱۸)، قلع (۴/۴۸) و آنتیموان (۱/۲۷)، در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی گویای آلودگی شدید این خاک از عناصر سمی است. همچنین خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو با شاخص زمین‌انباشتگی بالای مس (۱/۴) و سرب (۱/۳۳) گویای آلودگی انسان‌زاد در این خاک‌ها است (جدول ۴).

یکی از عوامل آلوده‌کننده خاک در اطراف شهر کرمان، انباشت ضایعات ساختمانی در محدوده جاده‌های خروجی از شهر می‌باشد. بررسی شاخص زمین‌انباشتگی عناصر مختلف (جدول ۴) نشان دهنده آلودگی آنها از سرب (۴/۷۱)، روی (۱/۸۷)، آرسنیک (۱/۸۳) و آنتیموان (۲/۸۳) است که می‌تواند نقش مهمی در آلودگی خاک‌ها و آب زیرزمینی در منطقه ایفا نماید. تخلیه ضایعات ساختمانی شامل رنگ‌های به کار رفته در ساختمان‌ها و مصنوعات فلزی، عناصری مانند کادمیم، سرب، روی، قیر و آسفالت بیشتر آرسنیک، مس، کادمیم، مواد آلی مانند فتل و سرامیک و شیشه‌های خرد شده مقادیر قابل توجهی فلزات به محیط زیست منتقل می‌کنند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶ و Johnson & Ander, 2008). این افزایش در عناصر سنگین می‌تواند باعث افزایش مخاطره آمیز مقادیر طبیعی شود. بسیاری از زباله‌های دیگر که همراه با این ضایعات ساختمانی در محیط‌های روباز در اطراف شهر دور ریخته و رها شده‌اند از جمله لاستیک وسایل نقلیه، باتری‌ها و ... مقادیر قابل توجهی روی، کادمیم، سرب و جیوه دارد که به سرعت به شکل ترکیبات قابل حل در آب درآمده و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند (Johnson & Ander, 2008).

عنصر در خاک مناطق مختلف مورد مطالعه (شکل ۱۵- الف) نشان می‌دهد که مقدار این عنصر در بسیاری از مناطق بالاتر از مقادیر جهانی است. مقدار استرانسیم در خاک‌های ناشی از سنگ‌های کربناتی تا ۱۰۰۰ گرم در تن گزارش شده است (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). استرانسیم در خاک‌ها بیشتر به صورت  $Sr^{+2}$  جذب کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز خاک می‌شود. این عنصر در خاک‌های کربناتی به صورت استرونیسیانیت ( $SrCO_3$ ) حضور داشته و تحرک کمتری را نشان می‌دهد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). توزیع غیر عادی و تمایل مثبت در نمودار فراوانی (شکل‌های ۱۵- ب و ج) و وجود سه جمعیت در نمودار درصد تجمعی مبین ناهنجاری این عنصر و آلودگی انسان‌زاد در بعضی از نمونه‌ها است.

## ۵- بحث

آلودگی‌های طبیعی بیشتر حاصل فرایندهای ژئوشیمیایی بر روی سنگ‌های بستر است که در منطقه مورد مطالعه به دلیل بالا بودن مقدار کلسیم و فراوانی کلسیت و ژپس (فراوانی سنگ‌های آهکی و رسوبات تبخیری) توجیه می‌شود. همچنین بخش وسیعی از محدوده ورقه ۱:۵۰۰۰ کرمان را حوضچه‌های پلایایی و تبخیری می‌پوشاند که موجب افزایش مقدار سدیم و پتاسیم می‌شود.

آلودگی‌های انسان‌زاد در نمونه‌های خاک مجاورسازه‌هایی مانند جاده، خیابان، خط آهن و باند فرودگاه، عموماً ناشی از آزاد شدن عناصر سمی و سنگین از لاستیک خودرو و هواپیماها و یا هوازگی ریل راه آهن می‌باشد. آلودگی خاک‌های کشاورزی بیشتر ناشی از سموم دفع آفات نباتی، انواع کودهای شیمیایی و سوزاندن لاستیک خودروها در فصل زمستان است. آلودگی خاک اطراف شهر که در بسیاری از موارد چراگاه گوسفندان نیز هستند توسط عناصر سنگین ناشی از آلودگی کارگاه‌های صافکاری و نقاشی و باتری‌سازی خودروها، جایگاه‌های عرضه سوخت و دفن زباله و ضایعات ساختمانی اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت محیط شهری خواهد داشت (Kabata-Pendias, 2011). انتقال این عناصر به خاک و جذب آنها توسط گیاهان و دام و طیور، افزون بر ایجاد بیماری در آنها موجب انتقال این عناصر سمی از طریق چرخه زیستی به انسان می‌شود.

تغییرات شدت غنی‌شدگی (بیشترین عیار بر میانگین خاک برجا یا زمینه) مس در کارگاه‌های باتری‌سازی (۷۲)، جایگاه‌های عرضه سوخت (۶/۵) و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو (۳۰/۸) قابل توجه است (جدول ۳) و مبین آلودگی انسان‌زاد مس در این مناطق است. بالاترین شدت غنی‌شدگی مولیبدن در خاک کشاورزی (۴/۶۶)، کارگاه‌های باتری‌سازی (۸/۹۴) و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (۵/۵۴) گزارش شده است (جدول ۳). شدت غنی‌شدگی بالای این عنصر می‌تواند به دلیل حضور مولیبدن در خاک برجا و مارنی بودن سنگ‌های آهکی منشأ خاک باشد زیرا این عنصر در محیط‌های رسوبی جذب کانی‌های رسی می‌شود (Kabata-Pendias, 2011). افزایش شدت غنی‌شدگی آرسنیک در خاک‌های برداشت شده از پهنه سیلتی رسی (۳/۹)، خاک مجاور ریل راه آهن (۳/۶)، خاک کشاورزی (۳/۰۹)، خاک مجاور جایگاه‌های عرضه سوخت (۵/۷) و خاک مجاور ضایعات ساختمانی (۵/۴۲) نشان‌دهنده آلودگی‌های انسان‌زاد است. غنی‌شدگی در محدوده سیلتی رسی را می‌توان به جذب کلونیدی این عنصر توسط کانی‌های رسی نسبت داد. استفاده از آفت‌کش‌های آرسنیک‌دار در خاک‌های کشاورزی باعث افزایش غنی‌شدگی این عنصر (۲/۶) شده است. بر اساس مطالعات Kabata-Pendias & Mukherjee (2007) فعالیت‌های کشاورزی یکی از مهم‌ترین منابع آزادکننده‌های آرسنیک در خاک می‌باشد. شدت غنی‌شدگی از سرب در نمونه‌های برداشت‌شده از باتری‌سازی‌ها، جایگاه‌های عرضه سوخت، کارگاه‌های صافکاری و نقاشی و ضایعات ساختمانی به ترتیب ۱۳۵۸، ۳۶، ۲۹/۸ و ۱۲/۵

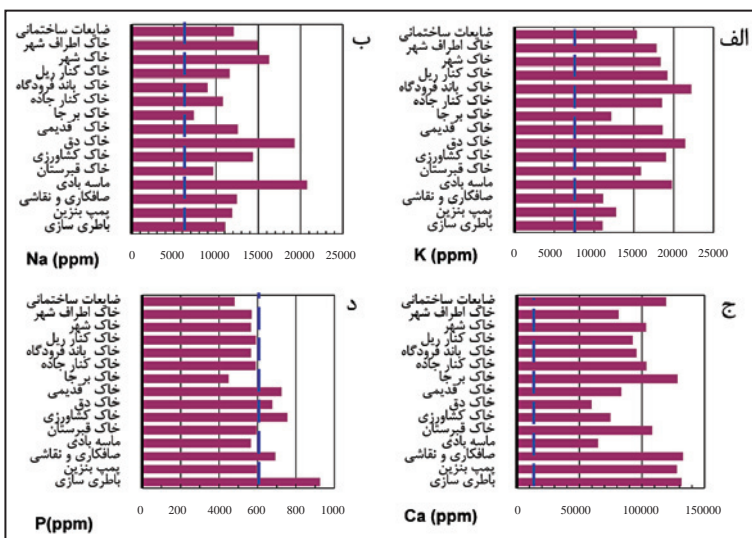
غیر آلوده منطقه پلایایی را می‌توان به حضور کانی‌های تبخیری نسبت داد. مقدار سلنیم در خاک‌های برجا (۰/۱۲ گرم در تن) نسبت به متوسط جهانی خاک‌ها (۰/۳ گرم در تن) کمتر بوده و بیشترین مقدار آن را در متوسط خاک‌های مجاور باتری‌سازی به میزان ۸۰ گرم در تن است.

شدت غنی‌شدگی عناصر مس (۷۲)، مولیبدن (۸/۲)، سرب (۱۳۵۸)، روی (۳/۵۸)، قلع (۲۴۲)، باریم (۳)، روییدیم (۲۵)، سلنیم (۹۰) و آنتیموان (۶) در خاک‌های نزدیک کارگاه‌های باتری‌سازی و عناصر مس (۳۰/۸)، مولیبدن (۵/۵)، سرب (۲۹/۸)، روی (۵/۸)، قلع (۲۴)، تنگستن (۱۰/۵)، باریم (۱۷)، روییدیم (۵۲/۸)، سلنیم (۲۳) و آنتیموان (۹) در خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودروها و جایگاه‌های عرضه سوخت و ضایعات ساختمانی گویای مناطق به شدت آلوده است. شاخص زمین‌انباشتگی عناصر مس (۳/۹۶)، سرب (۸/۱۸)، قلع (۴/۴۸) و آنتیموان (۱/۲۷) در خاک‌های مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی و عناصر مس (۱/۴) و سرب (۱/۳۳) در خاک مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودروها گویای آلودگی خاک‌ها است. کارگاه‌های باتری‌سازی، صافکاری و نقاشی خودرو عناصر سمی Cu, Mo, Pb, Zn, Sn, W, Ba, Rb, Se, Sr, As, Sb را به خاک منطقه منتقل می‌کنند. خاک اطراف جایگاه‌های عرضه سوخت از عناصر Pb, Zn, Ba, Rb, Sr, As, Sb غنی شده‌اند. ضایعات ساختمانی نیز عناصر سمی مانند Pb, Zn, Ba, Rb, Sr, As, Sb را به خاک منتقل می‌نمایند. البته زباله‌های شهری، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی نیز در بسیاری از مناطق آلودگی‌هایی از عناصر Mo, Zn, Sn, W, Rb, Sr, Se, As, Sb را ایجاد می‌نمایند.

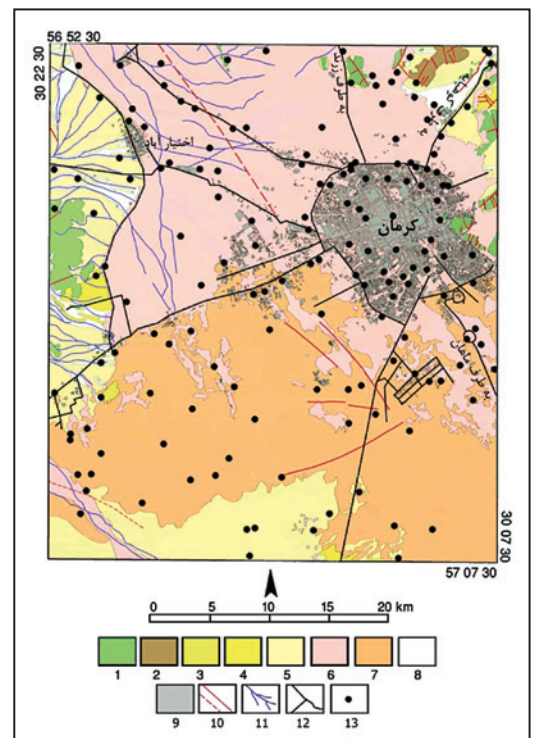
بررسی نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان در خاک‌های محدوده برگه ۱۵:۵۰۰۰۰ کرمان (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که آلودگی شدیدی از عناصر مس، مولیبدن، روی و آنتیموان در محدوده شهری کرمان وجود دارد که بیشتر مربوط به خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی و صافکاری و نقاشی خودروها است. همچنین بالا بودن مقادیر آرسنیک در خارج از محدوده شهری را می‌توان به فراوانی در مزارع آن منطقه نسبت داد. لازم به ذکر است بالاترین مقدار سرب در نمونه‌های خاک نیز مربوط به کارگاه‌های باتری‌سازی خارج از محدوده شهری است.

### ۶- نتیجه‌گیری

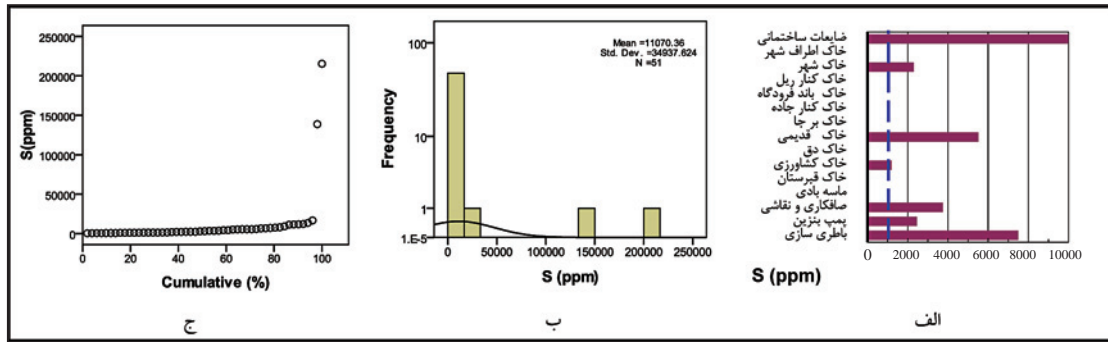
مقادیر پتاسیم، سدیم و فسفر در خاک برجا از متوسط جهانی کمتر و مقدار کلسیم در این نمونه‌ها بیشتر از میانگین جهانی است که به دلیل آهکی بودن سنگ منشأ آنها است. بررسی ژئوشیمی نمونه‌های مختلف خاک نشان می‌دهد که بیشترین مقدار گوگرد (۰/۵۵ درصد وزنی در نمونه‌های خاک قدیمی) به واسطه فراوانی سولفات‌ها (ژپس و انیدریت) در خاک و در ضایعات ساختمانی (۷/۵۸ درصد وزنی) به دلیل فراوانی گچ در آنها است. میانگین لیتیم در خاک‌های غیرآلوده پلایایی، ۴۹ گرم در تن و در خاک‌های آلوده مجاور کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودروها، ۸۰ گرم در تن می‌باشد. با توجه به اینکه میانگین لیتیم در متوسط خاک‌های جهانی، ۲۰ گرم در تن (Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005) است، افزایش مقدار آن در خاک‌های



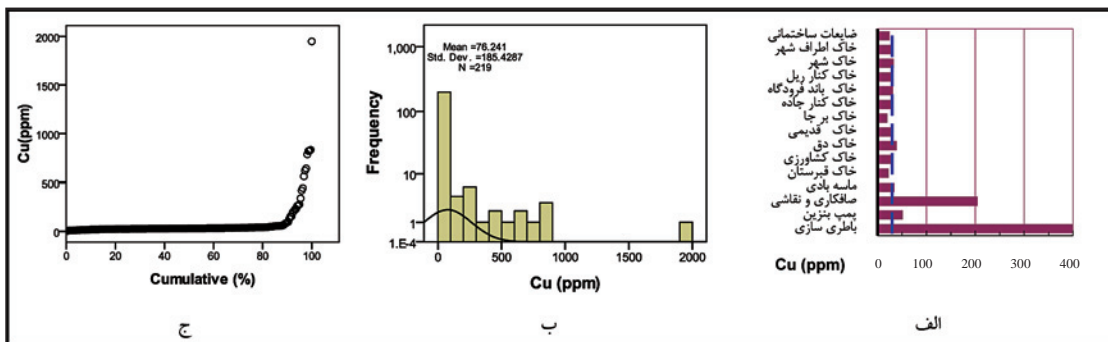
شکل ۲- نمودار فراوانی عناصر ضروری پتاسیم، سدیم، کلسیم و فسفر در نمونه‌های خاک (خط چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).



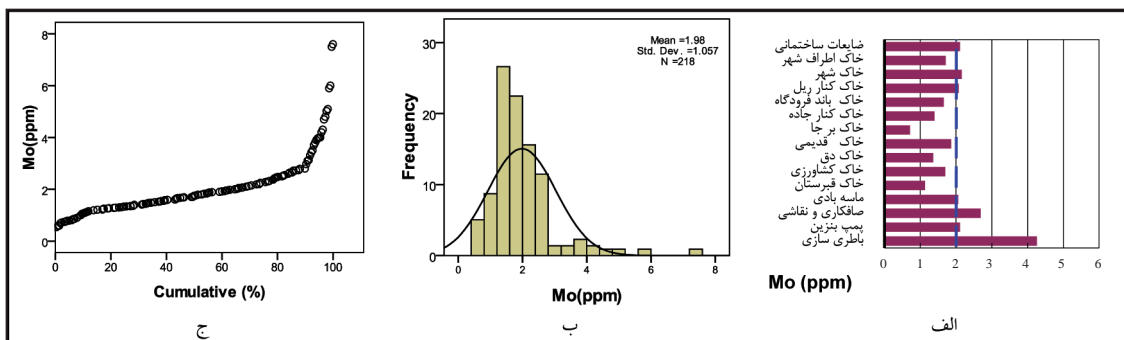
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی کرمان در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (نقل با تغییرات از Atapour & Aftabi, 2002; Djokovic & Dimitrijevic, 1972). سازمان نقشه‌برداری، ۱۳۷۹؛ عزیزان و همکاران، ۱۳۷۷؛ ناظم‌زاده شعاعی و عزیزان، ۱۳۷۰. راهنما: (۱- سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی، ۲- کنگلومرای قاعده‌ای پالتوسن، ۳- کنگلومرای نوژن، ۴- پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی، ۵- آبرفت‌های جوان، ۶- پهنه‌های سیلتی -رسی، ۷- تپه‌های ماسه‌ای، ۸- آبرفت‌های عهد حاضر، ۹- مناطق مسکونی، ۱۰- گسل، ۱۱- آبراهه، ۱۲- خیابان و جاده، ۱۳- محل نمونه‌برداری.



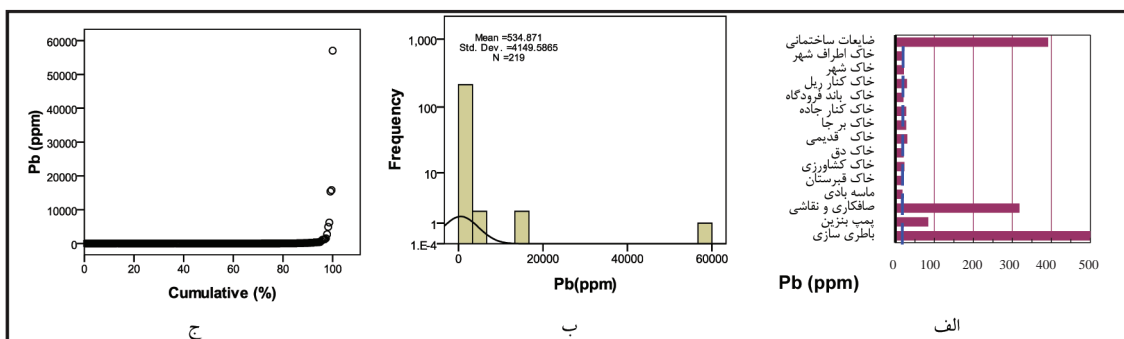
شکل ۳- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی گوگرد؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005).



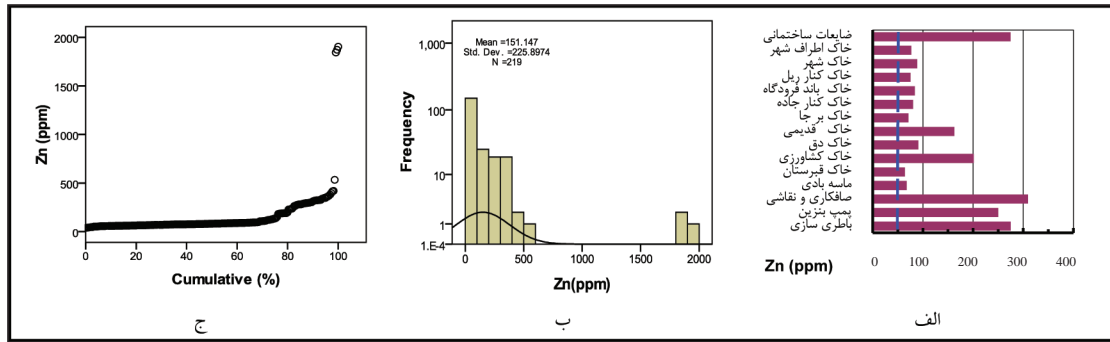
شکل ۴- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی مس؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005).



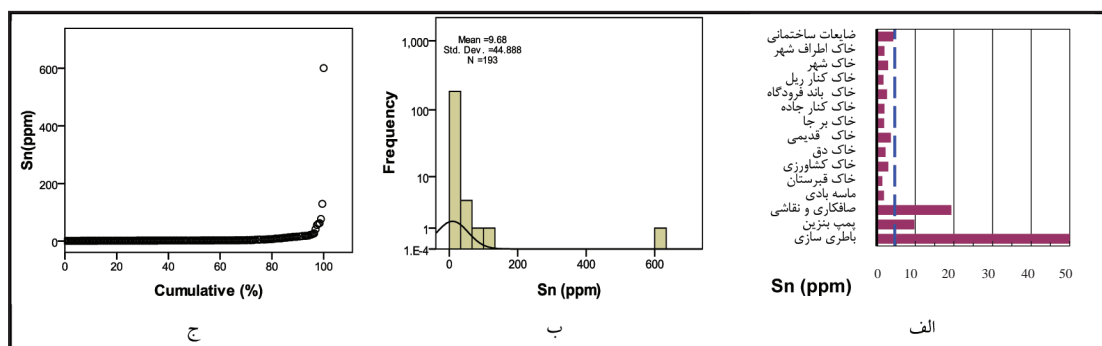
شکل ۵- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی مولیبدن؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005).



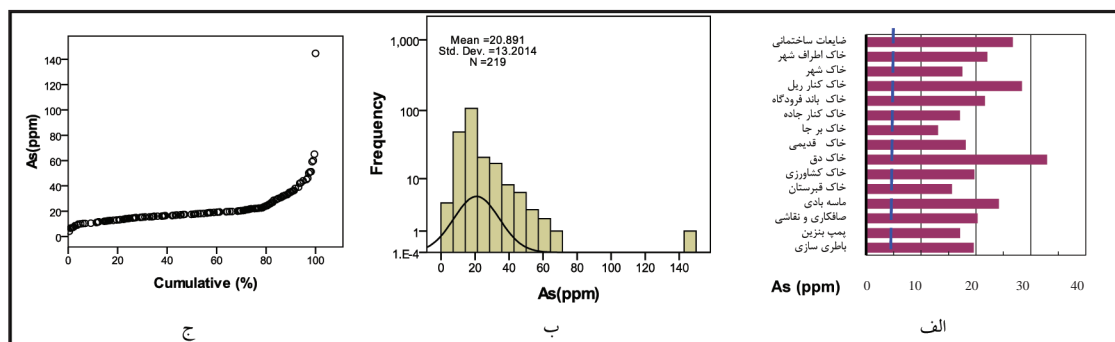
شکل ۶- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی سرب؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005).



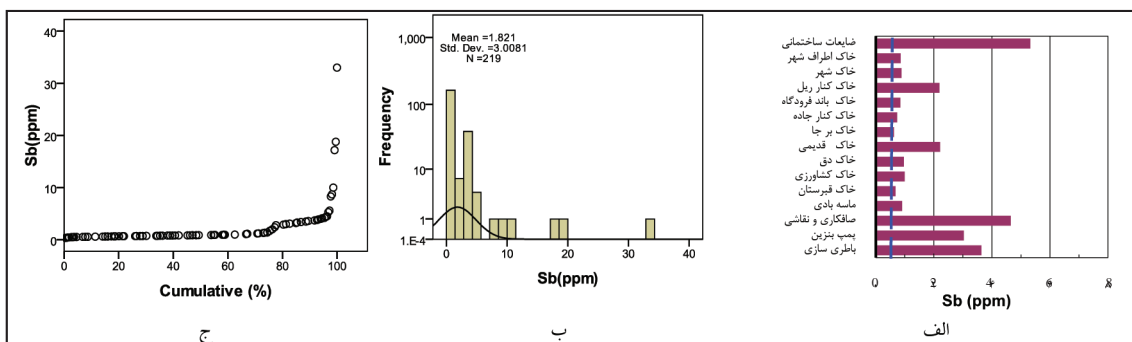
شکل ۷- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی روی؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).



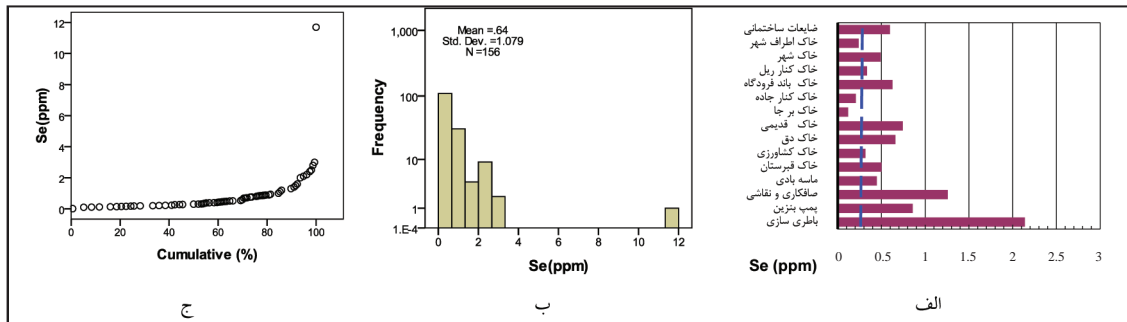
شکل ۸- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی قلع؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).



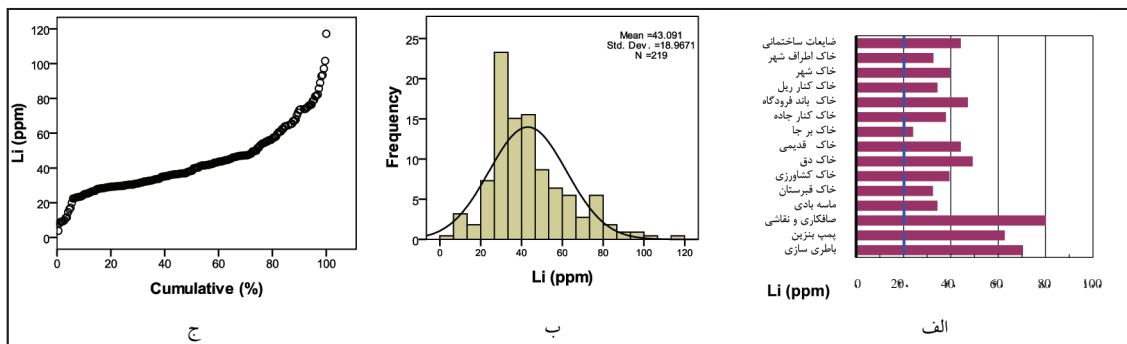
شکل ۹- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی آرسنیک؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).



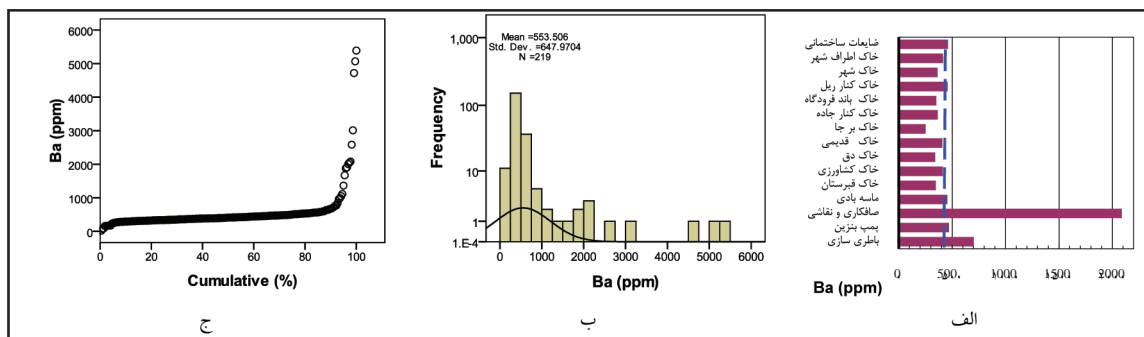
شکل ۱۰- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی آنتیموان؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).



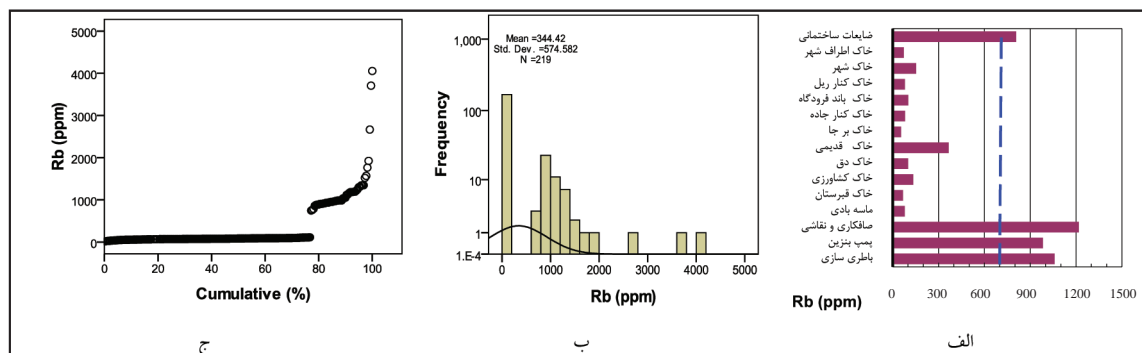
شکل ۱۱- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی سلنیم؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).



شکل ۱۲- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی لیتیم؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).

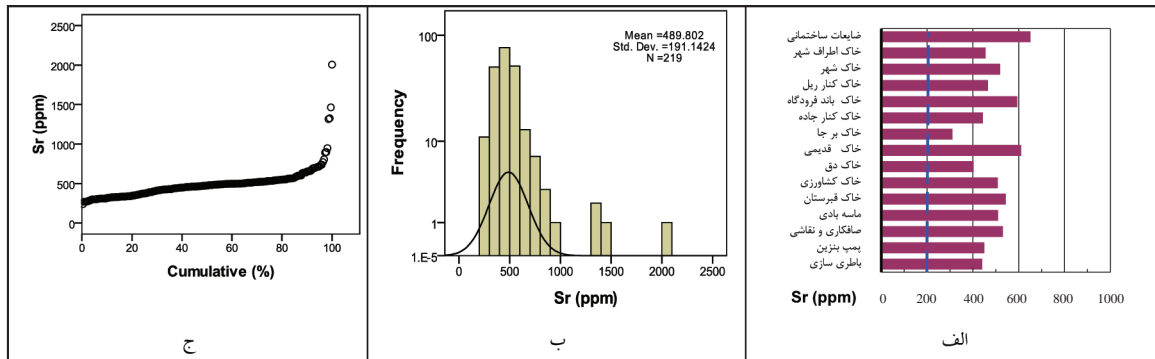


شکل ۱۳- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی باریم؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).

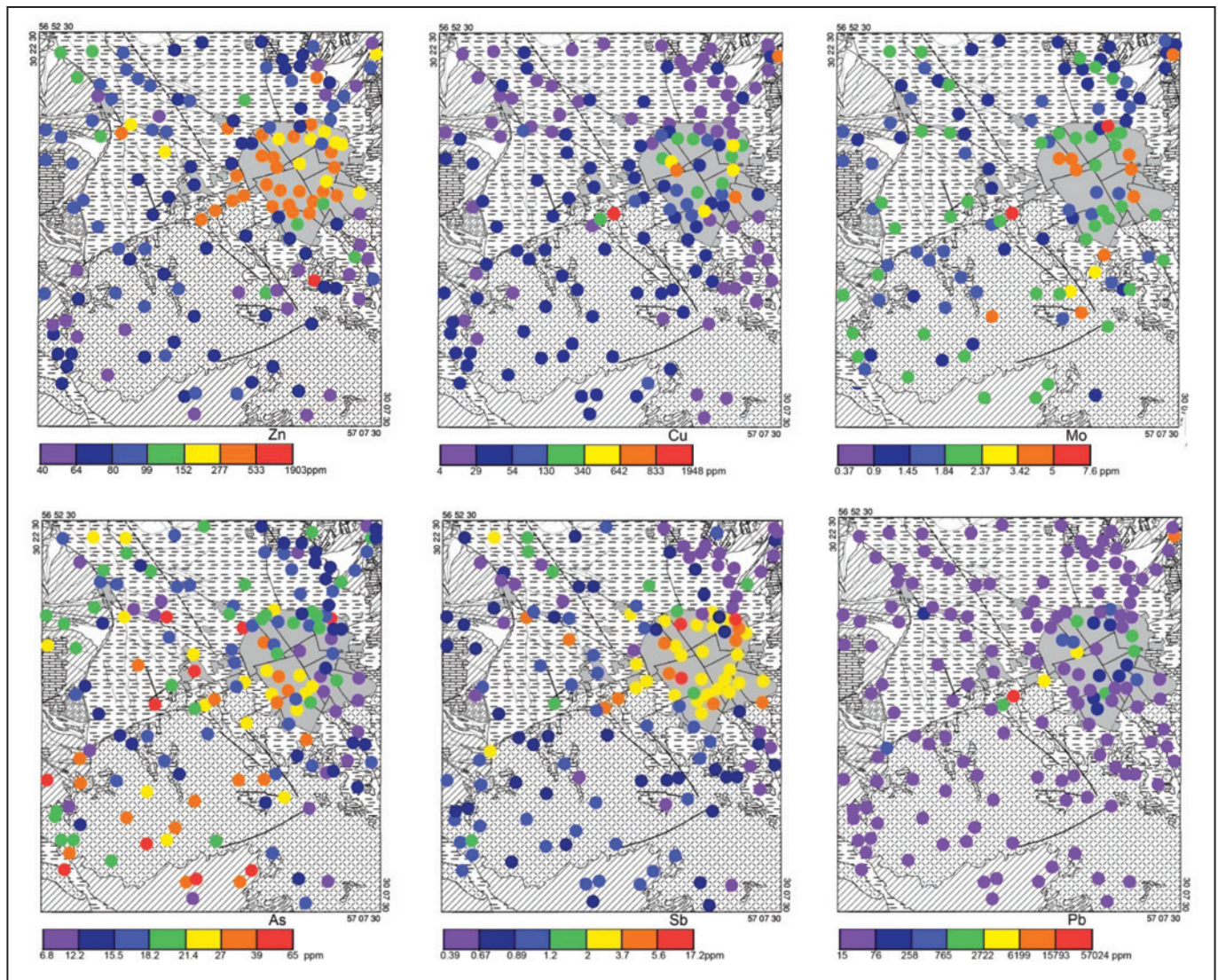


شکل ۱۴- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی روبیدیم؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005 است).





شکل ۱۵- نمودار توزیع؛ الف) فراوانی؛ ب) درصد تجمعی استرانسیم؛ ج) در انواع خاک‌های نمونه‌برداری شده (خط‌چین میانگین جهانی عنصر بر اساس مطالعات Lindsay, 1979; Salminen et al., 2005).



شکل ۱۶- نقشه ژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان در خاک‌های محدوده برگه ۱:۵۰۰۰ کرمان.

جدول ۱- مقادیر صحت و دقت محاسبه شده برای عناصر مختلف در نمونه‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور و آزمایشگاه ALS Cheme کانادا.

شماره نمونه	کاتیون	ایران	کانادا	میانگین	مقدار (ایران) - میانگین میانگین	مقدار (کانادا) - میانگین میانگین	صحت به درصد	تغییرات صحت	
S-310	K (%)	1.47	1.45	1.46	0.0068	-0.0068	0.68	2.14	0.78
	As(ppm)	22.6	20.0	21.3	0.0610	-0.0610	6.10	27.40	15.20
	Pb(ppm)	31.7	33.3	32.5	-0.0246	0.0246	-2.46	30.04	35.0
S-319	K (%)	1.01	1.16	1.09	-0.0691	0.0691	6.91	8.0	5.8
	As(ppm)	16.70	17.00	16.9	-0.0089	0.0089	0.89	17.7	16.0
	Pb(ppm)	1121	1230	1175	-0.0465	0.0465	4.65	1180	1170
S-323	K (%)	1.39	1.22	1.31	0.0651	-0.0651	6.5	7.8	5.2
	As(ppm)	25.4	24.3	24.9	0.0221	-0.0221	2.2	27.1	22.6
	Pb(ppm)	40.5	49.8	45.2	-0.1030	0.1030	10.3	55.4	34.9
شماره نمونه	کاتیون	نمونه ۱	نمونه ۲	میانگین	میانگین - نمونه ۱ میانگین	میانگین - نمونه ۲ میانگین	دقت به درصد	تغییرات دقت نمونه‌ها	
S-300	K (%)	0.86	0.78	0.82	0.0488	-0.0488	4.88	5.70	4.06
	As(ppm)	15.0	15.4	15.2	-0.0132	0.0132	1.32	16.52	13.88
	Pb(ppm)	15793	15386	15589.5	0.0131	-0.0131	1.31	15591	15588
S-307	K (%)	1.32	1.25	1.29	0.0272	-0.0272	2.72	4.01	1.44
	As(ppm)	20.3	18.0	19.2	0.0601	-0.0601	6.01	25.16	13.14
	Pb(ppm)	65	137.9	101.5	-0.3593	0.3593	35.93	137.38	65.5
S-311	K (%)	1.79	1.69	1.74	0.0287	-0.0287	2.87	4.61	1.13
	As(ppm)	26.8	24.0	25.4	0.0551	-0.0551	5.51	30.91	19.89
	Pb(ppm)	19.7	30.7	25.2	-0.2183	0.2183	21.83	47.03	3.4

جدول ۲- مقادیر صحت و دقت محاسبه شده برای عناصر مختلف در نمونه‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور و آزمایشگاه ALS Chemie کانادا.

محل (تعداد نمونه)	Al %	K %	Na %	Ca %	P %	S %	Cu	Mo <sup>a</sup>	Pb	Zn	Sn	W <sup>a</sup>	Ba	Rb	Sr	Li	B	Se <sup>a</sup>	As <sup>a</sup>	Sb <sup>a</sup>
متوسط خاک‌های دنیا (Lindsay, 1979) (Sahtinen et al., 2005)	7.1	0.83	0.63	1.3	0.06	0.07	30	2	10	50	4	1.5	430	700	200	20	10	0.3	5	0.5
خاک برجا (۵)	4.43	1.22	0.74	12.86	0.04	-	20.1	0.71	27.7	71.1	1.93	0.52	251	54	311	24	-	0.12	13.10	0.63
خاک منطقه پلایایی (۷)	7.33	2.15	1.93	5.98	0.07	-	39.1	1.37	21.1	90.9	2.29	0.65	341	100.5	403	49.2	-	0.66	32.93	0.97
خاک بهبه سستلی - رسی (۲۱)	6.29	1.78	1.50	8.13	0.06	-	29.7	1.71	19.3	76.9	1.99	0.61	414	73	455	32.6	-	0.24	22.05	0.86
خاک محدوده شهری (۱۵)	5.94	1.83	1.63	10.33	0.06	0.23	32.9	2.16	21.7	88.9	2.94	0.75	363	153	519	39.67	65.8	0.49	17.53	0.88
خاک قدیمی (۳)	5.98	1.86	1.26	8.33	0.07	0.55	30.8	1.86	30.6	162	3.67	0.57	408.4	366	611	44.2	177	0.74	18.13	2.22
خاک کار چاده (۱۲)	5.90	1.85	1.08	10.35	0.06	-	31	1.40	27.6	80.6	2.02	0.69	364	81.4	443.4	37.9	-	0.21	17.09	0.74
خاک مجاور بند فرودگاه (۳)	6.95	2.22	0.90	9.56	0.06	-	31.5	1.66	20.5	84	2.66	0.65	351	101	594	47.1	-	0.63	21.63	0.85
خاک مجاور خط آهن (۷)	6.18	1.92	1.16	9.3	0.06	-	28.7	2.07	29.8	75.5	1.74	0.62	457.6	79.9	466	34.32	-	0.34	28.37	2.19
خاک کشاورزی (۳۴)	6.51	1.90	1.44	7.5	0.08	0.12	30.6	1.70	23.2	201	2.98	0.68	413	134	508	39.4	207.8	0.32	19.70	1.00
خاک مجاور کارگاه‌های باتری سازی (۱۰)	4.12	1.11	1.11	13.2	0.09	0.75	71.5	4.26	10125	275	100.3	4.36	701	1060	441	70.4	130.1	2.14	19.58	3.64
خاک مجاور جایگاه عرضه سوخت (۱۷)	4.71	1.28	1.19	12.8	0.06	0.25	51.4	2.11	84	250	9.76	2.34	469.4	983	449	62.7	158.3	0.86	17.12	3.03
کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو (۱۷)	4.13	1.11	1.25	13.3	0.07	0.38	205	2.69	318	310	19.32	3.25	2086	1218	531	80	115.4	1.26	20.30	4.65
خاک قبرستان (۴)	5.34	1.59	0.97	10.8	0.06	-	22.8	1.14	18	64.2	1.45	0.53	346	67.1	543	32.4	-	0.50	15.63	0.68
ماسه بادی (۲۵)	6.99	1.98	2.08	6.49	0.06	-	34.1	2.06	18.4	67.8	1.86	0.57	454.4	79	510	34.3	-	0.45	24.16	0.91
زمایعات ساختمانی (۱۴)	5.55	1.54	1.21	11.93	0.05	7.58	24.8	2.11	392	275	4.29	2.28	460	807.8	651	44.2	139.5	0.60	26.69	5.32

جدول ۳- شدت غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه

محل (تعداد نمونه)	K	Na	Ca	P	Cu	Mo	Pb	Zn	Sn	W	Ba	Rb	Sr	Li	Se	As	Sb
خاک بر جا (۵)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
خاک منطقه پلاستی (۷)	1.47	2.63	0.30	1.33	1.78	1.87	0.55	1.03	0.97	1.32	1.33	1.60	1.35	1.80	7.23	2.79	1.41
خاک پهنه سیتی - رسی (۴۲)	1.48	4.15	0.94	1.33	1.68	3.12	0.83	3.24	2.17	1.46	2.06	1.41	2.59	1.78	7.69	3.94	1.65
خاک محدوده شهری (۱۵)	1.56	3.61	0.67	1.17	2.21	5.91	1.12	3.07	6.17	4.11	1.85	16.93	2.11	2.16	10.00	2.36	3.53
خاک قدیمی (۳)	1.31	1.96	0.37	1.33	1.19	2.59	0.83	3.56	2.86	1.29	1.48	13.32	1.97	1.73	10.00	1.21	4.82
خاک کنار جاده (۱۲)	1.52	1.82	0.59	1.33	1.81	2.53	1.13	1.03	1.33	1.39	1.73	1.57	1.42	1.76	2.92	1.47	1.12
خاک مجاور باند فرودگاه (۳)	1.48	1.04	0.43	1.00	1.23	2.38	0.52	0.95	1.16	1.25	1.23	1.56	1.78	1.61	6.85	1.58	1.04
خاک مجاور خط آهن (۷)	1.64	2.09	0.97	1.17	1.39	4.02	1.54	1.04	0.97	1.38	2.15	1.53	1.89	1.60	3.62	3.64	10.2
خاک کشاورزی (۳۴)	1.46	3.29	0.52	2.00	1.65	4.66	1.73	20.8	6.13	3.04	2.13	14.07	4.00	1.88	6.62	3.09	4.12
خاک مجاور کارگاه‌های باتری سازی (۱۰)	0.83	1.47	0.83	3.33	72.0	8.94	1358	3.58	242.3	14.1	3.09	25.16	1.75	2.54	90.0	2.06	6.24
خاک مجاور جایگاه عرضه سوخت (۱۷)	2.16	3.79	16.39	1.33	6.53	1.65	36.1	8.39	4.53	2.87	1.80	157	3.29	4.08	7.33	5.72	9.00
کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو (۱۷)	0.94	2.04	0.82	1.67	30.8	5.53	29.8	5.83	24.23	10.5	17.27	52.82	3.63	3.79	23.08	2.16	20
خاک قبرستان (۴)	1.16	1.16	0.60	1.33	0.99	1.95	0.56	0.84	0.74	0.98	1.37	1.13	2.02	1.44	10.00	1.09	1.14
مامه بادی (۲۵)	1.15	1.94	2.49	1.25	1.8	1.52	1.25	1.56	1.89	1.31	1.31	1.21	1.29	1.44	1.84	2.07	1.33
ضایعات ساختمانی (۱۴)	1.37	1.42	1.81	1.34	1.42	2.84	12.51	6.7	1.57	3.43	6.54	5.02	3.08	1.48	2.51	5.42	6.20

جدول ۴- میانگین شاخص آلودگی (زمین انباشتگی) عناصر سمی در نمونه‌های خاک مناطق مختلف در محدوده ورقه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان.

محل	Cu	Mo	Pb	Zn	Sn	As	Sb	Li	Se
خاک منطقه پلایایی	0.373	0.363	-0.979	-0.23	-0.338	0.745	0.038	0.974	1.874
خاک پهنه سیلنتی - رسی	-0.984	-0.265	-0.716	-0.83	-0.788	-1.164	-0.759	-1.252	-2.044
خاک محدوده شهری	-0.437	-0.248	-0.414	-0.377	-0.022	-0.916	-0.552	-0.113	0.445
خاک قدیمی	-0.677	-0.801	-0.089	0.287	-0.265	-0.536	<b>0.750</b>	-0.570	0.010
خاک مجاور جاده	-0.576	-0.995	-0.736	-1.598	-1.446	-0.670	-2.170	-0.865	-2.402
خاک مجاور باند فرودگاه	-0.563	-0.339	-1.011	-0.525	-0.188	-0.245	-0.385	-0.227	1.000
خاک مجاور خط آهن	-0.722	-0.267	-0.048	-0.739	-1.197	-0.194	<b>0.780</b>	-1.224	-1.475
خاک کشاورزی	-0.493	-0.869	-0.946	<b>0.830</b>	0.191	-1.111	-1.716	-0.187	-0.672
خاک مجاور کارگاه باتری سازی	<b>3.964</b>	<b>0.740</b>	<b>8.184</b>	-0.134	<b>4.488</b>	-0.594	<b>1.279</b>	0.143	2.157
خاک مجاور جایگاه عرضه سوخت	4.384 -	-1.599	-7.492	-0.722	-3.947	-0.779	-0.850	-0.938	-1.900
مجاور کارگاه صافکاری و نقاشی خودرو	<b>1.409</b>	-0.235	<b>1.330</b>	-0.278	0.400	-0.339	0.033	0.125	-0.034
خاک قبرستان	-3.753	-1.824	-4.728	-2.855	-4.321	-0.962	-3.359	-1.909	-1.918
ضایعات ساختمانی	-0.86	-0.51	<b>4.71</b>	<b>1.87</b>	-0.48	<b>1.83</b>	<b>2.83</b>	0.56	0.42

### کتابنگاری

- آفانیاتی، ع.، ۱۳۸۵ - زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- حمزه، م. ع.، ۱۳۸۵ - نشانگرهای ژئوشیمیایی و زیست محیطی در محدوده شهری کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۷۱ صفحه.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۸۰ - زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۸۶۵ صفحه.
- سازمان نقشه‌برداری، ۱۳۷۹ - نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، کرمان I، کرمان II و کرمان III و سعادت آباد.
- سیدامامی، ک.، ۱۳۵۱ - کرتاسه بالایی در ایران، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره دوم، شماره ۲۲، صفحه ۷-۳۴.
- عزیزان، ح.، شهرکی، ع. و سیفوری، س.، ۱۳۷۷ - نقشه زمین‌شناسی کرمان به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (شماره ۷۴۴۹)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عطاپور، ح.، طاهری، م. و رحمانی، ف.، ۱۳۸۹ - ژئوشیمی زیست محیطی سنگ، خاک، آب و گیاه در محدوده ورقه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت کرمان، ۴۹۶ صفحه.
- کرباسی، ع. و بیاتی، الف.، ۱۳۸۶ - ژئوشیمی زیست محیطی، انتشارات کاوش قلم، ۲۵۸ صفحه.
- ناظم زاده شعاعی، م. و عزیزان، ح.، ۱۳۷۰ - نقشه زمین‌شناسی و منابع معدنی حوضه کواترنری کرمان، ورقه‌های کرمان، اختیارآباد، باغین و جوپار به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مدیریت زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب خاوری.

### References

- Atapour, H. & Aftabi, A., 2002- Geomorphological, geochemical and geo-environmental aspects of karstification in the urban areas of Kerman city. southeastern Iran. Environmental Geology, 42 (7) :783-792.
- Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region. Geological Survey of Iran, 334p .
- Djokovic, I. D. & Dimitrijevic, M. N., 1972- Geological map of Iran, 1:100000 series, sheet 7350-Baghin, Geological Survey of Iran.
- Huckriede, R. M., Kursten, M. & Venzalff, H., 1962- Zur geologie des Gebietes Zwischen Kerman and Sagand, (Iran): Bei. Geol. Jahrb., 15, 197p.
- IAEA, 2004- Soil sampling for environmental contaminants. International Atomic Energy Agency, Austria, 81p.

- Johnson, C. C. & Ander, E. L., 2008- Urban geochemical mapping studies: how and why we do them. *Environmental Geochemistry and Health* V.30, p.511–530.
- Johnson, C. C., Breward, N., Ander, E. L. & Ault, L., 2005- G-BASE: Baseline geochemical mapping of Great Britain and Northern Ireland. *Geochemistry: Exploration-Environment- Analysis*, 5(4), p.347–357.
- Kabata-Pendias, A. & Mukherjee, A. B., 2007- Trace elements from soil to human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 550p.
- Kabata-Pendias, A., 2011- Trace elements in soils and plants. fourth edition, CRC Press, 505p.
- Lindsay, W.L., 1979- Chemical equilibria in soils, In: *Principles and applications of geochemistry : a comprehensive textbook*, John Wiley & Sons, 373-383.
- Muchsin, M., Johnson, C. C., Crow, M. J., Djumsari, A. & Sumartono, 1997- Atlas geokimia daerah Sumatera Bagian Selatan/Geochemical atlas of southern Sumatra. regional geochemical atlas series of Indonesia. No. 2. (Directorate of Mineral Resources, Bandung, Indonesia and British Geological Survey, Keyworth, UK).
- Muller, G., 1969- Index of accumulation in sediments of Rhine River. *Geological journal*, 2:109-118.
- Plant, J. A. & Moore, P. J., 1979- Geochemical mapping and interpretation in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B288, p. 95–112.
- Purves, D., 1966- Contamination of urban garden soils with copper and boron. *Nature*, 210 :1077–1078.
- Rahimzadeh, F., 1983- Contribution a la geologie de la formation de Kerman (Paleocene) Iran Central, etude sedimentologique et paleogeographique. Thesis de doctorat de specialite, univ.Grenoble, 149p.
- Reimann, C., Ayas, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., de Cariat, P., Dutter, R., Finne, T. E., Halleraker, J. H. J., Klaver, G., Klien, H., Larson, J. O., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J. A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J., De Vivo, B. & Williams, L., 1998- FOREGS geochemical mapping field manual. Geological Survey of Finland, Guide 47.
- Reyer, D. & Mohafez, S., 1972- A first contribution of the NIOC–ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology. Edition techni, Paris, 58p.
- Ruttner, A.W., Nabavi, M. H. & Hajian, J., 1968- Geology of the Shirgesht area (Tabas area, east Iran). Geological Survey of Iran, Reports 4: 1–133.
- Salminen, R., Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Regorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazrek, U. A., 'Connor, P. J., Olsson, S. A., Ottesen, R. T., Petersell, V., Plant, J. A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandstrom, H., Siewers, U., Steenfelt, A. & Tarvainen, T., 2005- Geochemical Atlas of Europe, part 1—background information, methodology and maps. *Geochemical atlas of Europe*, Geological Survey of Finland.
- Sewell, R. J., 1999- Geochemical atlas of Hong Kong. Geotechnical Office, Civil Engineering Department, Hong Kong.
- Stocklin, J., Eftekharneshad, J. & Hushshmandzadeh, A., 1965- Geology of Shotori range (Tabas area, East Iran). Geological survey of Iran, 3, 69p.
- Thornton, I. & Webb, J. S., 1979- Geochemistry and health in the United Kingdom. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B288, :151–168.

# Environmental Geochemistry of Essential and Toxic Elements in Soil Samples on the 1:50000 Scale Map of Kerman City

H. Atapour<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2011 February 01

Accepted: 2014 February 23

## Abstract

To assess the environmental impacts of essential and toxic elements on the 1:50000 scale map of the urban areas of Kerman city, 220 samples of residual and nonresidual soils were collected by systematic random sampling method. Based on analytical data, high values of Ca (23.6 %wt), Na (3.86 %wt), K (2.36 %wt), Li (49.18 ppm), B (65.8 ppm), and low values of Se (0.12 ppm) in residual soils indicate calcareous and silty – clayey (playa) nature of the soils around the Kerman city. Anthropogenic polluted soil samples around the gasoline stations are enriched in Pb (84 ppm), Zn (250 ppm), Rb (983 ppm), B (158 ppm). The high values of Cu (715 ppm), Mo (4.26 ppm), Pb (10125 ppm), Zn (275 ppm), Sn (100.3 ppm), W (4.36 ppm), As (19.6 ppm) and Li (70.4 ppm) from the machinery battery and manufacture stations are noteworthy. The soil samples close to the machinery paint worksites contain 0.38 wt% S, 205 ppm Cu, 2.69 ppm Mo, 318 ppm Pb, 310 ppm Zn, 19.3 ppm Sn, 3.25 ppm W, 20.3 ppm As, 4.65 ppm Sb, 80 ppm Li and 115.4 ppm B. The high values of Zn (1903 ppm) are indicative of agricultural soils in the pistachio gardens. The soils developed on the disposal wastes include 7.58 wt% S, 392 ppm Pb, 275 ppm Zn, 26.7 ppm As, 5.32 ppm Sb, 807 ppm Rb and 651 ppm Sr, respectively. The enrichment factors follow: Pb (1358), Cu (72), Mo (8.94) and Sn (242) in soils around the machinery battery and manufacture stations, As (5.7) in soils close to gasoline stations, Zn (20.8) in agricultural soils and Sb (10.24) in rail road soils indicate the highly polluted soils. The geoaccumulation indexes for soils around the machinery battery and manufacture stations include Cu (3.96), Pb (8.18), Sn (4.48), W (2.09) and Zn (0.83) in pistachio gardens reflect the highly polluted nature of the soils.

**Keywords:** Environmental Geochemistry, Essential elements, Toxic elements, Anomalous values, Residual soils, Polluted soils.

For Persian Version see pages 219 to 232

\*Corresponding author: H. Atapour; E-mail: [hatapour@yahoo.com](mailto:hatapour@yahoo.com)