

# بررسی‌های زیست محیطی و زمین‌شناسی پزشکی در شهر کرمان

حبیبه عطاپور<sup>۱\*</sup>، مژگان طاهری<sup>۱</sup> و فرح رحمانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>مدیریت زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب خاوری

<sup>۲</sup>مدیریت پژوهش‌های زمین‌شناسی پزشکی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

## چکیده

ژئوشیمی شهری و زمین‌شناسی پزشکی، نقش مهمی در چرخه عناصر سنگین سنگ، خاک، آب و گیاه در مناطق شهری دارد. داده‌های ژئوشیمیایی خاک در اطراف شهر کرمان نشان می‌دهد که شدت غنی‌شدگی نسبت به خاک‌های جهانی برای آرسنیک (۵/۴)، سرب (۱۳۵۸)، روی (۲۰/۸)، مس (۷۲)، مولیبدن (۸/۹۴)، قلع (۲۴۲) و آنتیموان (۱۰/۲۴) می‌باشد. منابع آلاینده خاک شامل جایگاه‌های عرضه سوخت، کارگاه‌های صافکاری و نقاشی، کارگاه‌های باطری‌سازی خودرو و ضایعات ساختمانی است. مقادیر عناصر در آب‌های زیرزمینی به ترتیب ۱۸/۲۵ میکروگرم در لیتر سرب، ۱۹۳ میکروگرم در لیتر روی، ۱۴/۷ میکروگرم در لیتر کروم، ۳/۹۷ میکروگرم در لیتر کبالت، ۲۴/۹ میکروگرم در لیتر نیکل و ۸/۱۵ میکروگرم در لیتر مولیبدن و بیش‌تر از میانگین آب‌های زیرزمینی جهانی می‌باشد. در نمونه‌های گیاهی میانگین مس در برگ درخت انار، ۱۳۶/۸ گرم در تن، در برگ بوته سبزی خوراکی، ۱/۷ گرم بر تن و بوته یونجه ۱۰۹ گرم بر تن است. حداکثر میانگین مولیبدن در برگ بوته یونجه، ۱۸/۶ گرم در تن و برگ بوته گندم، ۹/۸۳ گرم در تن گزارش شده است. بالاترین مقدار سرب در برگ بوته شیرین بیان، ۱۹ گرم بر تن، بوته سبزی، ۹/۴۴ گرم بر تن، برگ درخت گز، ۸/۲۶ گرم بر تن و بالاترین مقدار روی در برگ بوته شیرین بیان، ۲۹۵/۸ گرم بر تن، بوته یونجه، ۲۸۳/۸ گرم بر تن و برگ درخت سنجد ۲۷۸ گرم بر تن می‌باشد. علیرغم بالا بودن مقادیر بعضی از عناصر سنگین در خاک، آب‌های زیرزمینی و گیاهان، شواهدی از خطرات عناصر سنگین تاکنون در منطقه گزارش نشده است.

**کلید واژه‌ها:** ژئوشیمی زیست محیطی، زمین‌شناسی پزشکی، عناصر سنگین موجود در خاک، آب و گیاه، کرمان ژئوشیمی زیست محیطی، زمین‌شناسی پزشکی، عناصر سنگین موجود در خاک، آب و گیاه، کرمان

hatapour@yahoo.com

\*نویسنده مسئول: حبیبه عطاپور

## ۱- مقدمه

زمین‌شناسی پزشکی در کرمان (این مطالعه) به بررسی تغییرات مقدار عناصر سنگین در منطقه پرداخته است.

زمین‌شناسی زیست محیطی و زمین‌شناسی پزشکی ارتباط پدیده‌های طبیعی زمین و واکنش‌های بیوشیمیایی و ژئوشیمیایی حاصل از فعالیت‌های زیستی انسان بر محیط را بررسی می‌نماید (Jackson, 1997). یکی از اهداف مهم این علوم شناخت آلودگی‌های هوا، آب و خاک است که بر سلامت انسان‌ها و بهداشت عمومی جامعه تأثیر مستقیم دارد. جهت شناخت عناصر آلاینده محیط طبیعی زمین باید به شناخت عناصر طبیعی و مقایسه محیط‌های آلوده پرداخت (Johnson & Ander, 2008). محدوده مورد مطالعه در ورقه ۱:۵۰۰۰۰ کرمان، عواملی را که ممکن است به طور طبیعی یا انسان‌زاد بر روی خاک یا زیستگاه‌های شهر و حومه آن تأثیر گذاشته باشد را پوشش می‌دهد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر عناصر سنگین در چرخه‌های سنگی، خاک، آب و گیاه و ارتباط آن‌ها با سلامتی محیط زیست می‌باشد. بررسی‌های ژئوشیمی زیست محیطی در سالیان اخیر جایگاه ویژه‌ای را در سلامت انسان‌ها به خود اختصاص داده است (Kabata-Pendias, 2011)، به طوری که دانش زمین‌شناسی پزشکی با بهره‌گیری از روش‌های ژئوشیمیایی زیست محیطی می‌تواند با تعیین آلودگی‌های طبیعی و انسان‌زاد و مخاطرات ناشی از آن‌ها در سلامت جامعه بشری نقش موثری در پیش‌گیری از بروز بیماری‌های محیطی ایفا نماید. مطالعات زمین‌شناسی پزشکی در ایران در سال‌های اخیر آغاز شده و اولین نقشه زمین‌شناسی پزشکی (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران) توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده است. پس از آن بررسی‌های ژئوشیمی زیست محیطی و

## ۲- زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه با مختصات "۵۲'۳۰"، "۵۶° تا "۰۷'۳۰"، "۵۶° شرقی و "۰۷'۳۰"، "۳۰° تا "۲۲'۳۰"، "۳۰° شمالی محدوده شهر کرمان و حومه را در بر گرفته است. چینه‌شناسی منطقه شامل کنگلومرا، ماسه سنگ، دولومیت، سنگ آهک و شیل‌های سیلورین-دوین است که به صورت ناهم‌شیب بر روی واحدهای اینفرا کامبرین (پروتروزوییک فوقانی) قرار گرفته است (Djokovic & Dimitrijevic, 1972). کرتاسه فوقانی (سنونین) شامل سنگ آهک‌های خاکستری تا روشن رنگ ریفی هیپوریت‌دار بوده (Huckriede et al., 1962) و کنگلومرای آهکی - ماسه‌سنگی (Dimitrijevic, 1973, Rahimzadeh, 1983) متعلق به پالئوسن (Reyer and Mohafez, 1972 و Stocklin, et al., 1965) سید امامی، ۱۳۵۱ و درویش زاده، ۱۳۸۰) می‌باشد. بیش‌تر واحدهای پلیوسن کنگلومرای و ماسه‌سنگی بوده و دشت‌های قدیمی، شن، ماسه، سیلت در دشت‌های جوان و ماسه‌های مدور تا زاویه‌دار در دشت‌های سیلتی-رسی و بادی متعلق به دوره چهارم می‌باشد.

## ۳- روش نمونه‌برداری و اندازه‌گیری

نمونه‌برداری از خاک، به روش تصادفی منظم (systematic random sampling) (IAEA, 2004) از عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری و در دایره‌ای به قطر ۱ متر انجام شد.

نشان‌دهنده افزایش قابل توجه این عنصر نسبت به میانگین جهانی خاک‌ها (Chen et al., 1998, Salminen et al., 2005) و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد. شاخص آلودگی این عنصر در مناطق کشاورزی کمتر از ۱ بوده و شدت غنی‌شدگی آن ۲/۸ می‌باشد که به واسطه فراوانی روی در لاستیک خودروها (Kabata-Pendias, 2011) و سوزاندن آن برای گرم نگه داشتن هوای باغ‌ها در فصل زمستان می‌باشد.

قلع دارای توزیع غیرعادی و غنی‌شدگی آن نسبت به خاک برجا در محدوده شهری (۶/۱۷)، خاک کشاورزی (۶/۱۳)، پمپ‌بنزین‌ها (۴/۵) و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (۲۴/۲) مبین بالا بودن مقادیر این عنصر در خاک‌های آلوده است. خاک‌های آلوده مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی، صافکاری و پمپ‌بنزین‌ها و ضایعات ساختمانی، شدت غنی‌شدگی نسبتاً بالایی از تنگستن (۱۰/۵)، باریم (۱۷/۲۷) و روییدیم (۵۲/۸) نسبت به خاک برجا نشان می‌دهند. آرسنیک دارای توزیع غیر عادی با تمایل مثبت است و شدت غنی‌شدگی آن در خاک پهنه سیلتی‌رسی (۳/۹)، خاک مجاور خط آهن که در محدوده سیلتی رسی قرار دارد (۳/۶)، خاک کشاورزی (۳/۰۹)، خاک مجاور پمپ‌بنزین‌ها (۵/۷) و خاک مجاور ضایعات ساختمانی (۵/۴۲) بیانگر آلودگی خاک‌ها از آرسنیک می‌باشد.

مقدار سلنیم در خاک بر جای منطقه مورد مطالعه کمتر از متوسط جهانی (Chen et al., 1998, Salminen et al., 2005) است و شدت غنی‌شدگی آن در خاک‌های مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۹۰) و صافکاری و نقاشی (۲۳) قابل توجه است. افزایش سلنیم در اثر آلودگی انسان‌زاد و کمبود آن به دلیل فقر این عنصر در سنگ‌های منشأ در خاک برجا می‌باشد.

#### ۴-۲- آب‌های زیرزمینی

داده‌های آهن (جدول ۲) در نمونه‌های آب زیرزمینی شهر کرمان و سفره آب خارج از شهر، دارای توزیع غیر عادی با تمایل مثبت و چندجمعیتی است. شدت غنی‌شدگی آهن در سفره آب زیرزمینی خارج از شهر و سفره زیر سطح شهر نسبت به میانگین آب‌های زیرزمینی جهانی (جدول ۲) به ترتیب ۳/۰۳ و ۵/۱۵ می‌باشد. مس در نمونه‌های آب زیرزمینی کرمان توزیع عادی دارد و شدت غنی‌شدگی آن نسبت به میانگین آب‌های زیرزمینی (Rose et al., 1979) در سفره‌های داخل و خارج شهر به ترتیب ۱/۴ و ۱/۵۴ می‌باشد. نمودار فراوانی مولیبدن، سرب، روی و کروم دارای توزیع غیر عادی و تمایل مثبت می‌باشد. شدت غنی‌شدگی عناصر فوق در سفره آب زیرزمینی خارج از شهر به ترتیب ۳/۰۴، ۳/۴۶، ۶/۰۴، ۳/۶ و ۲/۰۵ و سفره آب زیرزمینی زیر سطح شهر به ترتیب ۲/۷، ۲/۱، ۵/۴۸، ۳/۳ و ۲/۹ می‌باشد. نمودار تغییرات مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) در مقابل مس، مولیبدن، سرب و روی نیز مبین منشأ فلزات فوق از آلودگی‌های انسان‌زاد و کمبود این عناصر در سنگ بستر آبخوان و انتقال آن‌ها از فاضلاب شهری به سفره آب زیرزمینی شهر باشد.

#### ۴-۳- گیاهان (برگ درختان و بوته‌ها)

داده‌های ژئوشیمیایی برگ درختان، بوته‌ها و ریشه و دانه‌های گیاهی (جدول ۳) اطلاعات جالب توجهی از مقدار عناصر سنگین در آن‌ها را ارائه می‌دهد که تاکنون در کشور گزارش نشده است. میانگین مس در برگ درخت انار (۱۳۶) گرم در تن، در سبزی تره (۱۱۷) گرم در تن، برگ یونجه (۱۰۹) گرم در تن و ریشه و

تعداد ۲۲۰ نمونه از ۱۶ گروه خاک برجا و رسوبات آبراهایی، رسوبات تبخیری پلايایی، پهنه سیلتی-رسی و ماسه‌های بادی (محیط طبیعی) و اطراف سازه‌های شهری آلایندة مانند باند فرودگاه کرمان، خط آهن، جاده‌های ترانزیتی و قبرستان، باغ‌ها و مزارع، ساختمان‌های قدیمی، کارگاه‌های صافکاری و نقاشی خودرو، باتری‌سازی‌ها، جایگاه‌های عرضه سوخت (پمپ بنزین‌ها) و ضایعات ساختمانی برداشت گردید. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی با روش ICP-OES جهت ۵۰ عنصر تجزیه شده است. جهت بررسی صحت داده‌ها، تعدادی از نمونه‌ها به آزمایشگاه ALS Cheme کانادا ارسال گردیده و دقت نیز از طریق بررسی نتایج نمونه‌های تکراری محاسبه گردیده است.

نمونه‌های آب زیرزمینی (۵۰ عدد) از سه گروه سفره آب زیرزمینی خارج شهر، سفره آب زیرزمینی زیرسطحی شهر و آب شرب برداشت و Eh، pH، هدایت جریان، شوری و غلظت مواد محلول جامد (TDS) و دمای آب توسط دستگاه pH متر پرتابل اندازه‌گیری گردید. آنیون‌ها و کاتیون‌های عناصر اصلی با روش کروماتوگرافی یونی (IC) و عناصر سنگین با روش جذب اتمی و ICP-OES مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

نمونه‌برداری از گیاهان بیش‌تر از برگ درختان پسته، گز، سرو، سنجد، زردآلو، انار، زبان گنجشک، نارون و بوته‌های شیرین بیان، یونجه، جو، گندم و انواع سبزی (۵۰ نمونه) صورت گرفت. نمونه‌های گیاهی پس از شسته‌شدن با آب مقطر و خشک‌شدن با روش ICP-OES در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی کشور (تهران) و تعدادی نیز جهت تعیین صحت با روش جذب اتمی (در مدیریت زمین‌شناسی منطقه جنوب خاوری) تجزیه گردید. همچنین، ۵ نمونه از خاک جهت صحت داده‌ها به آزمایشگاه معتبری در کانادا ارسال شد.

#### ۴- ژئوشیمی عناصر سنگین

بررسی ژئوشیمی نمونه‌های محیط‌های مختلف به شرح ذیل تفسیر می‌شود:

##### ۴-۱- خاک‌ها

مقدار مس در خاک‌های مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی، صافکاری و نقاشی و پمپ‌بنزین‌ها به ترتیب ۷۱۵، ۲۰۵، ۵۱/۴ گرم در تن و بالاتر از میانگین جهانی خاک‌ها (جدول ۱) می‌باشد (Chen et al., 1998, Salminen et al., 2005). شدت غنی‌شدگی این عنصر نسبت به خاک برجا (زمینه) در مناطق آلوده فوق به ترتیب ۷۲، ۶/۵ و ۳ و مبین آلودگی از مس است. شدت غنی‌شدگی مولیبدن در خاک کشاورزی (۴/۶۶)، کارگاه‌های باتری‌سازی (۱۸/۹۴)، پمپ‌بنزین‌ها (۶/۵) و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (۵/۵۴) بالا می‌باشد. توزیع غیر عادی و تمایل مثبت نمودارهای فراوانی مولیبدن نیز مبین آلودگی انسان‌زاد می‌باشد.

مقدار سرب در خاک مجاور کارگاه‌های باتری‌سازی (۱۰۱۲۵) گرم در تن، صافکاری و نقاشی (۳۱۸) گرم در تن و پمپ بنزین‌ها (۸۴/۳) گرم در تن مؤید انتقال آن‌ها از بنزین، گازوئیل، صفحات سربی باتری‌ها، رنگ و حشره‌کش‌های آرسنیک‌دار می‌باشد. شدت غنی‌شدگی سرب در مناطق آلوده شامل باتری‌سازی‌ها، پمپ‌بنزین‌ها، کارگاه‌های صافکاری و نقاشی و ضایعات ساختمانی به ترتیب ۱۳۵۰، ۳۶، ۲۹/۸ و ۱۲/۵ است. توزیع غیر عادی با تمایل مثبت نمودارهای فراوانی نیز آلودگی انسان‌زاد در مناطق آلوده را تأیید می‌نماید.

فراوانی روی و شدت غنی‌شدگی آن در خاک مجاور باتری‌سازی‌ها، پمپ‌بنزین‌ها و کارگاه‌های صافکاری و نقاشی (به ترتیب ۳/۵۸، ۸/۳۹ و ۵/۸۳)

سفره آب زیرزمینی شهر است. ضریب همبستگی پایین TDS با مس، مولیدن، سرب، روی می‌تواند به دلیل کمبود این عناصر در سنگ بستر آبخوان و انتقال آن‌ها از فاضلاب به سفره آب زیرزمینی شهر باشد.

مقدار مس به ترتیب در برگ درختان انار، گز، سنجد و پسته قابل توجه بوده اما در برگ پسته‌ها اختلاف زیادی ندارد. ضریب تمرکز زیستی (bioaccumulation index) یا نسبت عیار عنصر در خاکستر گیاه به همان عنصر در خاک مجاور گیاه (Smith and Huyck, 1999) در گیاهان نمونه‌برداری شده نشان می‌دهد که عناصر مس، روی و استرانسیم بیش‌ترین تمایل را به انتقال از خاک به گیاه داشته و عناصر دیگر تمایل ضعیفی نشان می‌دهند. مقادیر مولیدن نیز در غالب موارد کمتر از ۱ یا نزدیک به آن است که بسته به گونه گیاهی متفاوت می‌باشد. مثلاً مقدار مولیدن در برگ یونجه بسیار بالاست که به تمرکز در این گونه ارتباط دارد. ضریب تمرکز روی در اکثر نمونه‌ها بالاتر از ۱ است که می‌تواند به دلیل ضروری بودن روی برای گیاهان می‌باشد. ضریب تمرکز استرانسیم می‌تواند به دلیل بالا بودن مقدار آن در خاک‌های کربناتی باشد.

ارتباط دقیق کمبود یا افزایش یک عنصر در محیط با بیماری‌هایی که در یک منطقه وجود دارد مستلزم اندازه‌گیری عناصر مذکور در خون، مو و ناخن ساکنین منطقه و مقایسه عیار آن‌ها با مقادیر موجود در سنگ، خاک، آب و گیاه می‌باشد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های فوق در این طرح ممکن نبود. لذا پیشنهاد می‌شود در مناطق دارای آلودگی از عناصر سنگین که بیماری خاصی گزارش گردیده، آزمایشات پزشکی بیش‌تری صورت گرفته و با داده‌های سنگ، خاک، آب و گیاه مقایسه و هماهنگ گردد.

## ۶- نتایج

آلودگی خاک به عناصر سمی و سنگین ناشی از وجود کارگاه‌های صافکاری و نقاشی و باتری‌سازی خودروها، جایگاه‌های عرضه سوخت و دفن زباله و ضایعات ساختمانی است که می‌تواند برای سلامت جامعه خطرآفرین باشد (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). انتقال این عناصر به خاک و جذب آن‌ها توسط گیاهان و دام و طیور علاوه بر ایجاد بیماری در آن‌ها موجب انتقال این عناصر سمی از طریق چرخه زیستی به انسان می‌گردد.

ضریب همبستگی قوی سدیم، منیزیم و استرانسیم با مقدار کل مواد محلول جامد (TDS) به دلیل فراوانی آن‌ها در سنگ منشأ و پلایبایی بودن بستر آبخوان (سدیم و منیزیم) و جانشینی استرانسیم به جای کلسیم در سنگ‌های آهکی می‌باشد. ضریب همبستگی TDS با مس، مولیدن، سرب، روی کم بوده و می‌تواند به دلیل کمبود این عناصر در سنگ بستر آبخوان و انتقال آن‌ها از فاضلاب به سفره آب زیرزمینی شهر باشد.

برگ سبزی‌های خوراکی دارای بالاترین مقادیر مس و استرانسیم و روی می‌باشد. برگ بوته شیرین بیان، دارای تمرکز عادی (مجاز) از Ni, Pb, Ti, Mn, Sr, Cr و یونجه بیش‌ترین مقدار مولیدن را نشان می‌دهد.

تغییرات مقادیر عناصر در نمونه‌های سنگ، خاک، آب و گیاه نشان می‌دهد که آلودگی‌های شاخص طبیعی در منطقه مورد مطالعه وجود نداشته و هیچ گونه بیماری خاصی در منطقه گزارش نشده است. بنابر این پیشنهاد می‌گردد از خون، مو و ناخن جمعیت انسانی در منطقه شهری کرمان و حومه نمونه‌گیری به عمل آمده و عناصر مختلف مانند سلنیم و بُر مورد بررسی مجدد قرار گیرند.

برگ شیرین بیان (۱۰۰ گرم در تن) کمتر از متوسط جهانی است (Brooks, 1972), درخت زردآلو (۵/۸۹ گرم در تن) و در برگ بوته یونجه (۱۸/۶) قابل توجه بوده و بیش‌تر از متوسط جهانی (جدول ۴) می‌باشد.

میانگین مقدار سرب در برگ درخت گز ۸/۲۶ گرم در تن و کمتر از متوسط جهانی (جدول ۴) و حداکثر آن در برگ درخت پسته مجاور جاده زنگی آباد و به مقدار ۱۸/۹۲ گرم در تن، می‌باشد. درختان گز نزدیک به دکل‌های فشار قوی در دشت‌های جنوبی نیز سرب نسبتاً بالایی (۹۱ گرم در تن) را نشان می‌دهند.

بالاترین مقدار روی در نمونه برگ درخت سنجد (۲۷۸/۳۶ گرم در تن) و برگ درخت گز (۴۲۴/۳۸ گرم بر تن) گزارش شده است. نمودار فراوانی روی دارای توزیع متقارن و زنگی شکل است. تغییرات مقدار روی نیز به ترتیب در سبزی (۳۰۶ گرم در تن)، برگ شیرین بیان (۲۹۵ گرم در تن)، برگ یونجه (۲۸۳ گرم در تن) می‌باشد که از متوسط جهانی (Brooks, 1972, Levinson, 1980, Smith and Huyck, 1999) کمتر می‌باشد.

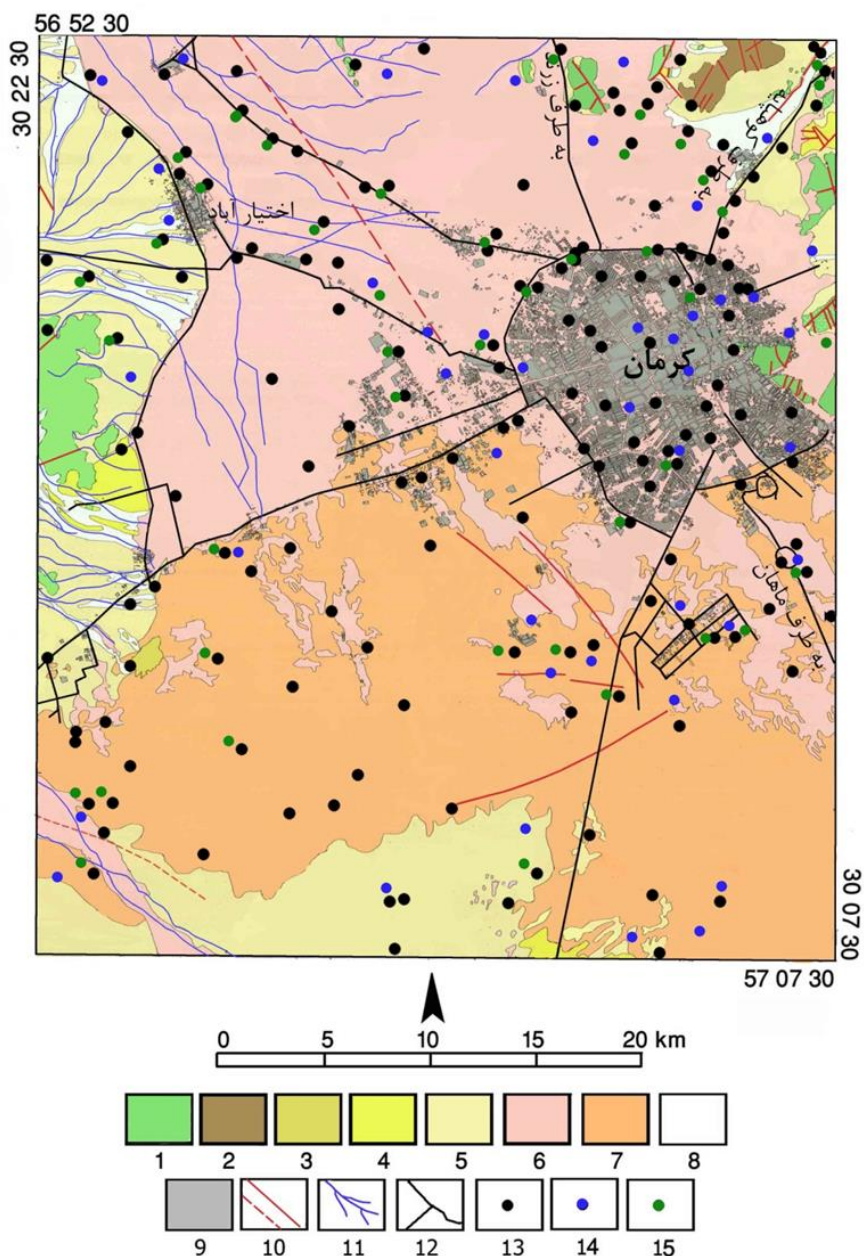
میانگین کروم در برگ درخت نارون، ۱۰/۳۶ گرم در تن گزارش شده که در مقایسه با مقادیر متوسط جهانی خاکستر گیاهان (جدول ۴) عادی می‌باشد. بررسی میانگین مقدار کروم مؤید تغییرات این عنصر از ۳/۷۹ گرم در تن (بوته یونجه) تا ۴۳/۸۹ گرم در تن (شیرین بیان) می‌باشد. ریشه و بوته گیاه شیرین بیان (۴۳) بالاترین مقدار کروم را نشان می‌دهد که بیش از سه برابر متوسط جهانی (جدول ۴) می‌باشد.

میانگین مقدار استرانسیم بین ۳۲۵/۹۰ گرم در تن در برگ درخت زبان گنجشک تا ۱۹۲۲ گرم در تن در برگ درخت سرو متغیر و بیش‌تر از متوسط جهانی است (جدول ۴). این افزایش به دلیل فراوانی این عنصر در خاک کربناتی منطقه و جانشینی استرانسیم به جای کلسیم در ساختمان کلسیت است. حداقل مقدار استرانسیم از ۲۷۰/۹۷ گرم در تن (برگ درخت پسته) تا ۶۰۳/۹۷ گرم در تن (برگ درخت سنجد) و حداکثر مقدار آن از ۱۱۴۷/۵ گرم در تن (برگ درخت سنجد) تا ۳۴۱۷/۷۳ گرم در تن (برگ درخت گز) است. مقدار استرانسیم در برگ جو، ۲۷۱ گرم در تن و برگ یونجه ۲۴۳۸ گرم در تن می‌باشد.

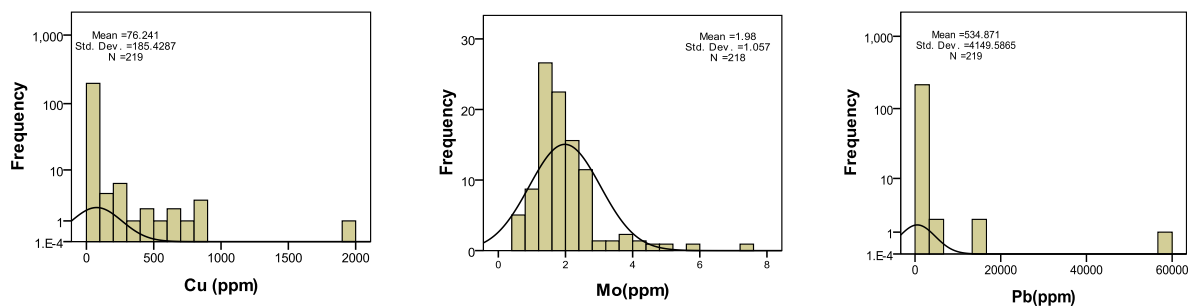
## ۵- بحث

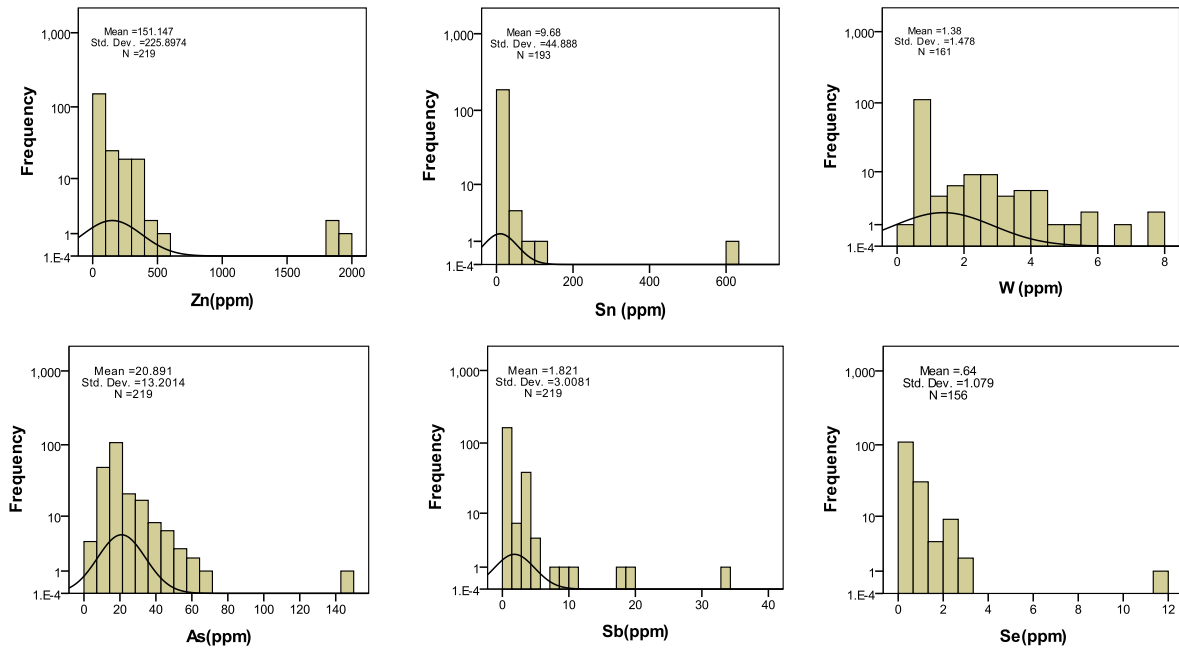
بررسی شدت غنی‌شدگی و نمودارهای فراوانی عناصر سنگین بیانگر افزایش قابل توجه عناصر مس، مولیدن، سرب، روی، قلع، تنگستن و آرسنیک در خاک‌های آلوده (خاک مجاور پمپ‌بنزین‌ها، خاک مجاور باتری‌سازی‌ها و صافکاری و نقاشی خودرو و خاک مجاور ضایعات ساختمانی) است. استفاده از آفت‌کش‌های آرسنیک دار مقدار سرب و آرسنیک و سوختن لاستیک خودروها باعث افزایش روی در خاک‌های کشاورزی می‌گردد (Kabata-pendias, 2011).

کمبود فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی خارج از شهر می‌تواند ناشی از pH اشباع‌شدگی آن‌ها توسط رسوبات یا سنگ‌های آبخوان باشد که سبب رسوب-گذاری عناصر در رسوبات آبخوان می‌شود. فراوانی مس (۲۴ میکروگرم در لیتر)، مولیدن (۸/۱۵ میکروگرم در لیتر)، سرب (۱۸/۲۵ میکروگرم در لیتر)، روی (۱۹۳ میکروگرم در لیتر)، کروم (۱۴/۷ میکروگرم در لیتر)، کبالت (۴ میکروگرم در لیتر)، نیکل (۲۵ میکروگرم در لیتر) و استرانسیم (۵۲۹۵ میکروگرم در لیتر) در آب زیرزمینی شهر مبین انتقال مواد کربناتی آبخوان و تا اندازه‌ای از فاضلاب شهری به



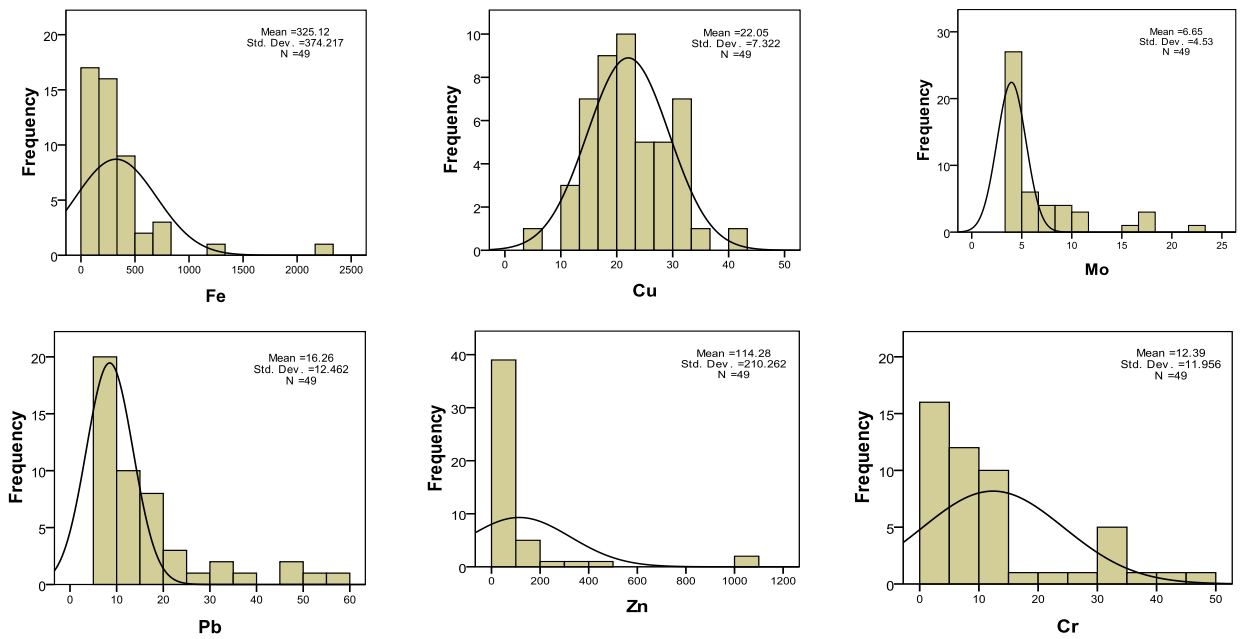
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی کرمان در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (۱- سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی، ۲- کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن، ۳- کنگلومرای نوژن، ۴- پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی، ۵- آبرفت‌های جوان، ۶- پهنه‌های سیلتی-رسی، ۷- تپه‌های ماسه‌ای، ۸- آبرفت‌های عهد حاضر، ۹- مناطق مسکونی، ۱۰- گسل، ۱۱- آبراهه، ۱۲- خیابان و جاده، ۱۳- محل نمونه‌برداری از خاک، ۱۴- محل نمونه‌برداری از آب، ۱۵- محل نمونه‌برداری از گیاه، نقل با تغییرات از: سازمان نقشه‌برداری، ۱۳۷۹، عزیزان و همکاران، ۱۳۷۷، ناظم زاده شعاعی و عزیزان، ۱۳۷۰ و Atapour & (Aftabi., 2002, Djokovic & Dimitrijevic, 1972)



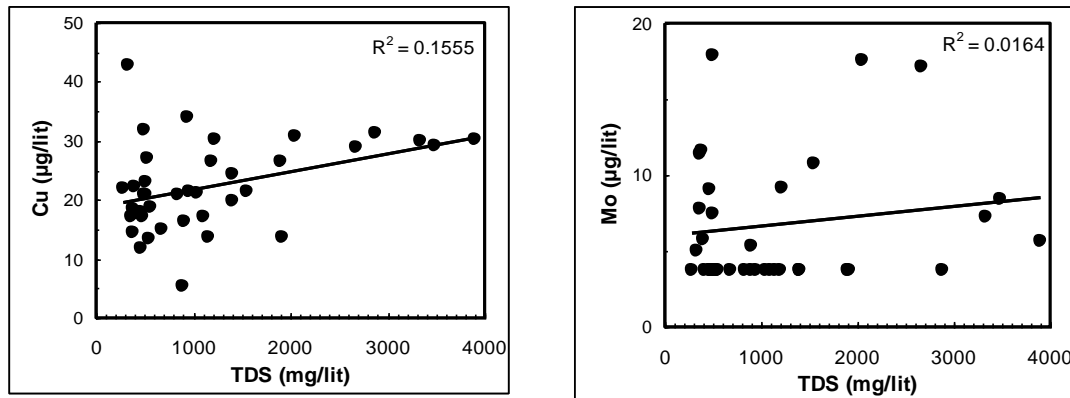


شکل ۲- نمودار فراوانی عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، قلع، تنگستن، آرسنیک، آنتیموان و سلنیم در نمونه‌های برداشت شده از خاک

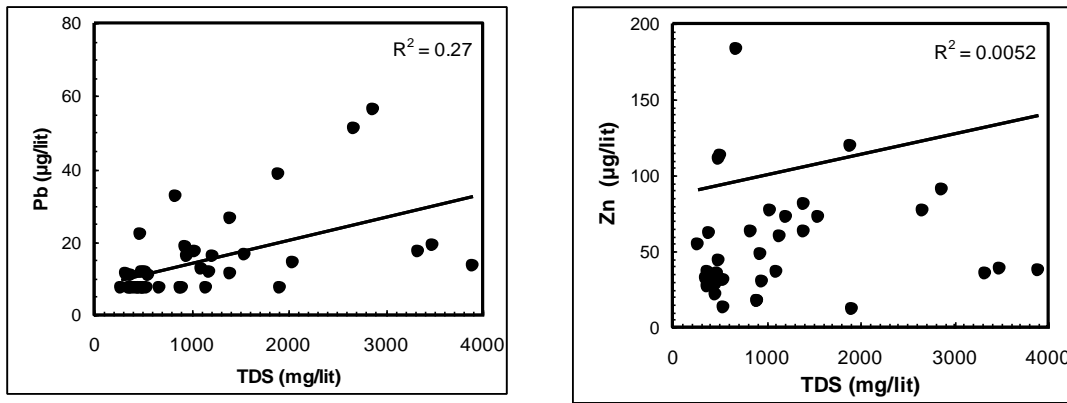
منطقه



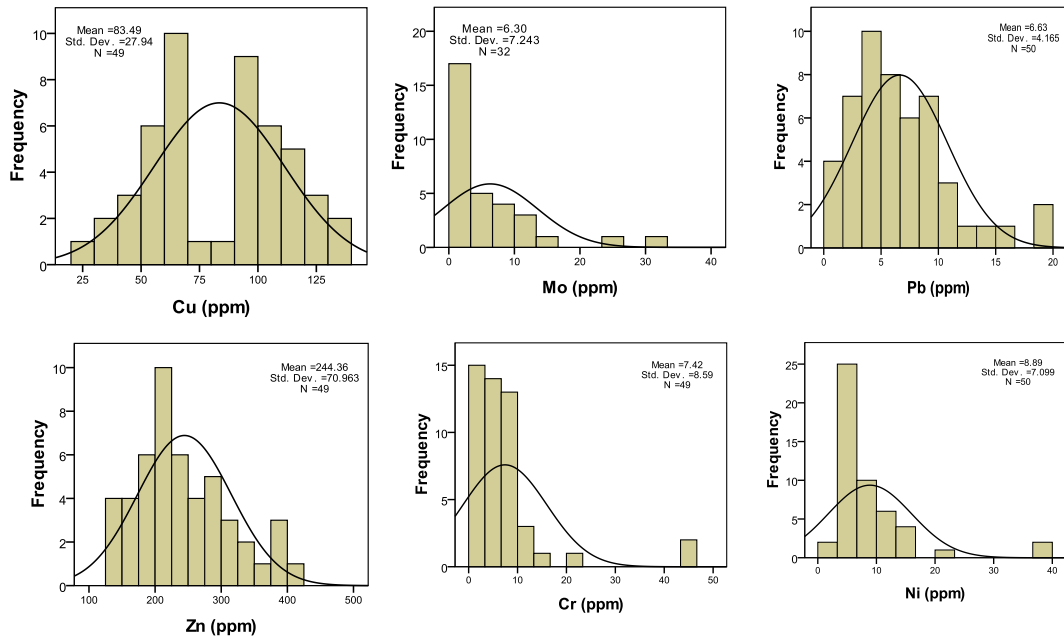
شکل ۳- نمودار فراوانی عناصر آهن، مس، مولیبدن، سرب، روی و کروم در نمونه‌های آب زیرزمینی





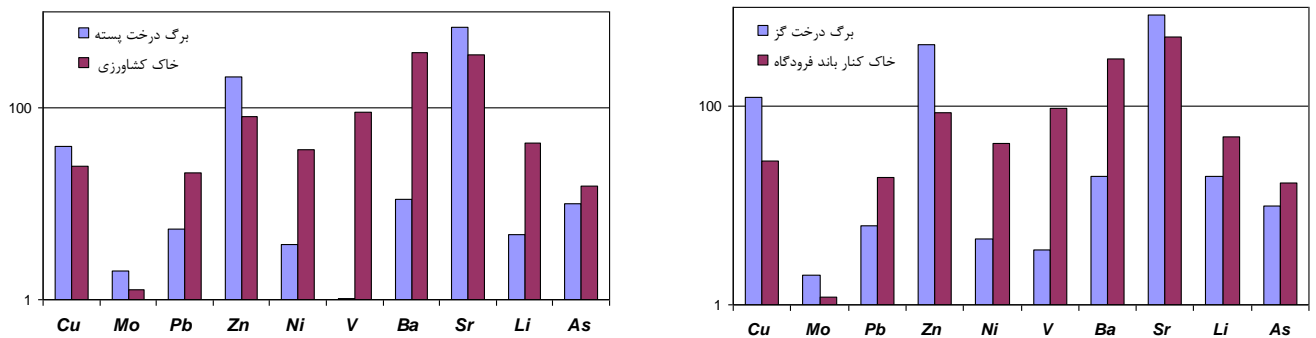


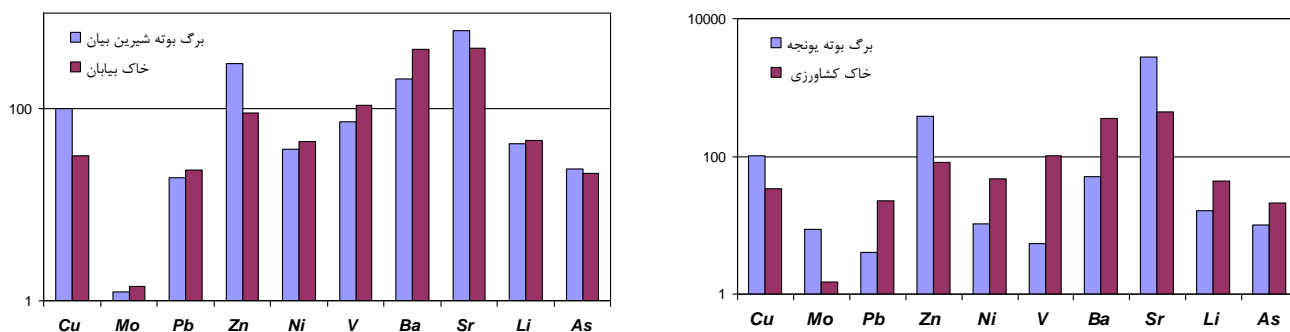
شکل ۴- نمودار تغییرات TDS در مقابل عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی در آب‌های زیرزمینی



شکل ۵- نمودار فراوانی عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، کروم و استرانسیم در نمونه گیاهان برداشت شده در محدوده

شهری کرمان





شکل ۶- نمودار فراوانی عناصر مختلف در برگ درختان پسته و گز و بوته‌های شیرین بیان و یونجه خاک مجاور آن‌ها

جدول ۱- میانگین و شدت غنی‌شدگی نمونه‌های خاک با روش ICP-OES (گرم در تن)

محل (تعداد نمونه)		Cu	Mo <sup>a</sup>	Pb	Zn	Sn	W <sup>a</sup>	Se <sup>a</sup>	As <sup>a</sup>	Sb <sup>a</sup>
متوسط خاکهای دنیا (Salminen, 2005, Lindsay, 1979)		30	2	10	50	4	1.5	0.3	5	0.5
رسوبات آبراهه (۵)	میانگین	11.7	0.99	30.7	108	—	—	0.12	15.04	1.28
	شدت غنی‌شدگی	1.48	1.94	1.26	1.25	—	—	1.00	1.50	2.90
خاک بر جا (۵)	میانگین	20.1	0.71	27.7	71.1	1.93	0.52	0.12	13.10	0.63
	شدت غنی‌شدگی	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
منطقه پلايایی (۷)	میانگین	39.1	1.37	21.1	90.9	2.29	0.65	0.66	32.93	0.97
	شدت غنی‌شدگی	1.78	1.87	0.55	1.03	0.97	1.32	<b>7.23</b>	2.79	1.41
خاک بهنه سیلتی - رسی (۴۲)	میانگین	29.7	1.71	19.3	76.9	1.99	0.61	0.24	22.05	0.86
	شدت غنی‌شدگی	1.68	<b>3.12</b>	0.83	3.24	2.17	1.46	<b>7.69</b>	<b>3.94</b>	1.65
محدوده شهری (۱۵)	میانگین	32.9	2.16	21.7	88.9	2.94	0.75	0.49	17.53	0.88
	شدت غنی‌شدگی	2.21	<b>5.91</b>	1.12	3.07	<b>6.17</b>	<b>4.11</b>	<b>10</b>	2.36	<b>3.53</b>
خاک قدیمی (۳)	میانگین	30.84	1.86	30.6	162	3.67	0.57	0.74	18.13	2.22
	شدت غنی‌شدگی	1.19	2.59	0.83	3.56	2.86	1.29	<b>10</b>	1.21	<b>4.82</b>
کنار جاده (۱۲)	میانگین	31	1.40	27.6	80.6	2.02	0.69	0.21	17.09	0.74
	شدت غنی‌شدگی	1.81	2.53	1.13	1.03	1.33	1.39	2.92	1.47	1.12
باند فرودگاه (۳)	میانگین	31.5	1.66	20.5	84	2.66	0.65	0.63	21.63	0.85
	شدت غنی‌شدگی	1.23	2.38	0.52	0.95	1.16	1.25	<b>6.85</b>	1.58	1.04
کنار خط آهن (۷)	میانگین	28.7	2.07	29.8	75.5	1.74	0.62	0.34	28.37	2.19
	شدت غنی‌شدگی	1.39	4.02	1.54	1.04	0.97	1.38	<b>3.62</b>	<b>3.64</b>	<b>10</b>
خاک کشاورزی (۳۴)	میانگین	30.6	1.70	23.2	201	2.98	0.68	0.32	19.70	1.00
	شدت غنی‌شدگی	1.65	<b>4.66</b>	1.73	<b>20.81</b>	<b>6.13</b>	<b>3.04</b>	<b>6.62</b>	<b>3.09</b>	<b>4.12</b>
باتری سازی (۱۰)	میانگین	715.7	4.26	10125	275	100.34	4.36	2.14	19.58	3.64
	شدت غنی‌شدگی	<b>72.00</b>	<b>8.94</b>	<b>1358</b>	<b>3.58</b>	<b>242</b>	<b>14</b>	<b>90.0</b>	2.06	<b>6.24</b>
پمپ بنزین (۱۷)	میانگین	51.4	2.11	84	250	9.76	2.34	0.86	17.12	3.03
	شدت غنی‌شدگی	<b>6.53</b>	1.65	<b>36.1</b>	<b>8.39</b>	<b>4.53</b>	2.87	<b>7.33</b>	<b>5.72</b>	<b>9.00</b>
صافکاری و نقاشی (۱۷)	میانگین	205	2.69	318	310	19.32	3.25	1.26	20.30	4.65
	شدت غنی‌شدگی	<b>30.8</b>	<b>5.53</b>	<b>29.8</b>	<b>5.83</b>	<b>24</b>	<b>10.5</b>	<b>23.08</b>	2.16	<b>20</b>
قبرستان (۴)	میانگین	22.8	1.14	18	64.2	1.45	0.53	0.50	15.63	0.68

	شدت غنی شدگی	0.99	1.95	0.56	0.84	0.74	0.98	<b>10</b>	1.09	1.14
ماسه بادی (۲۵)	میانگین	34.1	2.06	18.4	67.8	1.86	0.57	0.45	24.16	0.91
	شدت غنی شدگی	1.8	1.52	1.25	1.56	1.89	1.31	1.84	2.07	1.33
ضایعات ساختمانی (۱۴)	میانگین	24.8	2.11	392	275	4.29	2.28	0.60	26.69	5.32
	شدت غنی شدگی	1.42	2.84	<b>12.51</b>	<b>6.7</b>	1.57	<b>3.43</b>	2.51	<b>5.42</b>	<b>6.20</b>

(<sup>a</sup> تجزیه با روش جذب اتمی)

جدول ۲- میانگین و شدت غنی شدگی عناصر اندازه گیری شده در آب‌های زیرزمینی و شرب منطقه شهری کرمان ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) و مقایسه آن‌ها با آب‌های زیرزمینی (Rose et al., 1979 و Fergusson, 1985 و Langmuir, 1997 و WHO, 2008)

	تغییرات آماری	Cu	Mo	Pb	Zn	Cr	Co	Ni	V	
آب زیرزمینی اطراف شهر	میانگین	20.57	5.88	16.24	70.17	11.66	1.99	14.29	8.03	
	شدت غنی شدگی	1.54	3.04	3.46	6.04	3.60	3.02	3.05	1.56	
	میانگین جهانی	3	1.5	3	20	1	0.1	1.5	2	
	غنی شدگی نسبت به میانگین جهانی		12	19	21	42	60	29	6	
		11								
آب شهر	میانگین	24.08	8.15	18.25	192.8	14.68	3.97	24.94	7.50	
	شدت غنی شدگی	1.41	2.70	2.10	5.48	3.33	2.16	2.90	1.00	
	میانگین جهانی	3	1.5	3	20	1	0.1	1.5	2	
	غنی شدگی نسبت به میانگین جهانی		15	13	53	49	86	48	4	
		11								
آب زیرزمینی شهر	میانگین	27.23	6.72	8.75	151.7	10.27	0.75	18.49	9.16	
	شدت غنی شدگی	2.49	3.03	1.29	2.44	2.04	1.00	1.41	1.36	
	میانگین جهانی	200	70	10	300	50	---	70	---	
	غنی شدگی نسبت به میانگین جهانی		0.21	162	1126	1232	418	---	373	---

جدول ۳- میانگین عیار عناصر در برگ، ریشه و دانه گیاهان نمونه برداری شده (گرم در تن)

نوع	Cu	Mo	Pb	Zn	Ni	Cr	V	Li
برگ درخت سرو	37.89	3.65	6.81	157.19	5.8	8.41	6.05	33.84
برگ درخت گز	100.84	2.46	8.26	272.01	7.1	5.87	4.95	28.11
برگ درخت سنجد	76.13	3.29	1.56	278.36	17.3	5.12	2.84	15.68
برگ درخت زرد آلو	95.75	5.89	7.81	261.32	5.8	2.82	2.42	1.39
برگ درخت انار	136.84	2.92	3.20	219.21	3.8	2.79	2.41	7.40
برگ درخت پسته	58.33	5.74	6.14	245.17	6.2	3.82	1.87	9.20
برگ بوته گندم	92.58	9.83	3.62	157.74	5.3	7.58	3.11	6.10
برگ بوته جو	67.51	9.06	7.13	194.39	7.4	11.72	1.58	4.57
برگ بوته یونجه	109.28	18.63	7.12	283.85	9.3	3.79	3.59	18.37
برگ بوته سبزی	117.30	2.95	9.44	306	8.8	9.36	9.78	44.02
برگ درخت نارون	68.36	1.21	4.61	238.41	11.6	10.36	4.91	7.00
برگ درخت زبان گنجشک	104.94	2	1.59	268.27	15.1	1.49	1.48	1.71
بوته شیرین بیان	100.42	1.22	19.06	295.80	37.8	43.89	73.21	43.37



ریشه گیاه شیرین بیان	100.84	9.03	8.24	200.63	38.3	43.62	31.84	18.86
اسفند	57.65	1.42	9.52	221.81	8.7	5.62	5.85	21.20
گیاه پا کوتاه	54.04	2	7.08	255.37	6.1	9.10	2.33	13.27
نمونه دانه گندم	67.60	6.34	1.92	202.09	13.3	23.08	5.30	9.59

جدول ۴- محدوده تغییرات عناصر سمی در بخش خشک شده گیاهان (بر حسب گرم در تن)

عنصر	عیار عادی	محدوده تغییرات عیار عادی	کمبود	محدوده تغییرات عناصر سمی
	Brooks, 1972, Levinson, 1980			Smith and Huyck, 1999
Cu	9	5-30	2-5	20-100
Mo	0.65	0.2-1	0.1-0.3	10-50
Pb	---	5-10	---	30-300
Zn	70	27-150	10-20	100-400
Ni	3	0.1-5	---	10-100
Cr	0.4	0.1-0.5	---	5-30
Li	0.1	3	---	50-50
V	1	0.2-1.5	---	5-10

## کتابکاری

- آقاباتی، ع، ۱۳۸۵- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- درویش زاده، ع، ۱۳۸۰- زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۸۶۵ صفحه.
- سازمان نقشه برداری، ۱۳۷۹- نقشه های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، کرمان I، کرمان II و کرمان III و سعادت آباد . سید امامی، ۱۳۵۱- کرتاسه بالایی در ایران، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره دوم، شماره ۲۲، صفحه ۷-۳۴
- عزیزان، ح، شهرکی، ع، سیفوری، س، ۱۳۷۷- نقشه زمین شناسی کرمان به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (شماره ۷۴۴۹)، سازمان زمین شناسی کشور.
- ناظم زاده شعاعی، م. و عزیزان، ح، ۱۳۷۰- نقشه زمین شناسی و منابع معدنی حوضه کواترنری کرمان، ورقه های کرمان، اختیار آباد، باغین و جوپار به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مدیریت زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب خاوری.

## References

- IAEA, 2004, Soil sampling for environmental contaminants, International Atomic Energy Agency, Austria, 81p.
- 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, p.783-792.
- Brooks, R.R., 1972, Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration, Harper & Row, Publishers, 290p.
- Chen, D. M., and Lena Q. Ma, and Harris, W. 1998, Background Concentrations of Trace Metals in Florida Surface Soils: Comparison of Four EPA Digestion Methods and Baseline Concentration of 15 Metals, annual progress report, Soil and Water Science Department University of Florida, Gainesville, FL 32611, 81 p.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979, The interpretation of igneous rocks, George Allen and UNWEN, 450p.
- Dimitrijevic, M.D., 1973, Geology of Kerman region, *Geol. Surv. Iran*, 334p.
- Djokovic, I.D. and Dimitrijevic, M.N., 1972, Geological map of Iran, 1:100000 series, sheet 7350-Baghin, *Geol. Surv. Iran*.
- Huckriede, R.M., Kursten, M. and Venzalff, H., 1962, Zur geologie des Gebietes Zwischen Kerman and Sagand, (Iran): *Bei. Geol. Jahrb.*, 15, 197p.
- Jackson, J.A., 1997, Glossary of geology, American geological Institute, Virginia, 769p.
- Johnson, C. C., Ander, E. L., 2008, Urban geochemical mapping studies: how and why we do them. *Environ Geochem Health* v.30, p.511-530
- Kabata-Pendias, A., 2011, Trace Elements in Soils and Plants, fourth edition, CRC Press, 505p.
- Kabata-Pendias, A., and Mukherjee, A. B., 2007, Trace Elements from Soil to Human, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 550p.
- Levinson, A.A., 1980, Introduction to exploration geochemistry, Applied publishing Ltd, Wilmette, Illinois, USA, 924p.
- Rahimzadeh, F., 1983, Contribution a la geologie de la formation de Kerman (Paleocene) Iran Central, etude sedimentologique et paleogeographique, These de doctorat de specialite, univ. Grenoble, 149p.
- Reyer, D. and Mohafez, S., 1972, A first contribution of the NIOC - ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology. Edition Technips Paris, 58p.
- Rose, W.R., Hawkes, H.E., and Webb, J.S., 1979, Geochemistry in mineral exploration, Academic press, 657p.
- 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.)
- Smith, K.S. Huyck, H.L.O., 1999, An overview of abundance, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals, In *Review in economic geology*, V.6a, the environmental geochemistry of mineral deposits, p:29-70.
- Stocklin, J., Eftekhamezhad, J., Hushmandzadeh, A., 1965, Geology of Shotori range (Tabas area, East Iran), *Geological survey of Iran*, No.3, 69p.
- Winspear, N.R. and Pye, K. 1996, Textural, geochemical and mineralogical evidence for the sources of aeolian sand in central and southwestern Nebraska, U.S.A., *Sedimentary Geology*, V.101, p: 85-98.