

# تعیین عوامل گسترش فلزات سنگین در مجاورت مجتمع معدنی ایرانکوه - مطالعه موردی در استان اصفهان

احمد رضا مختاری<sup>۱\*</sup>، محسن سلیمانی<sup>۲</sup>، عادل امامی<sup>۳</sup>، فرح رحمانی<sup>۴</sup>، علی اکبر دهقانزاده بافقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup>دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup>سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۴</sup>گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق، بافق، یزد، ایران

## چکیده

غلظت‌های بالای عناصر بالقوه سمی در ذخایر کنساری و گسترش این فلزات در اثر فعالیت‌های معدنی، مشکلات زیست‌محیطی را به دنبال دارد که تهدیدی جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شود. در این پژوهش مطالعات ژئوشیمیایی به منظور تعیین نحوه گسترش و علل پراکندگی عناصر سنگین در خاک‌های جنوب رشته کوه ایرانکوه، که زمین‌های کشاورزی را نیز شامل می‌شود، انجام شده است. رشته کوه ایرانکوه در ۲۵ کیلومتری جنوب غرب شهر اصفهان واقع شده و در آن فعالیت‌های معدنی برای چندین دهه همراه با استخراج و فرآوری مواد معدنی در حال انجام بوده است. تعداد ۱۳۷ نمونه خاک سطحی از منطقه برداشت گردید و نمونه‌ها بعد از محلول‌سازی به روش هضم با چهار اسید، مورد عیارسنجی توسط دستگاه ICP-OES قرار گرفتند. به منظور تعیین بیشینه حدود مجاز عناصر در زمین‌های کشاورزی، از استانداردهای کشور کانادا استفاده شد که براساس این استاندارد پنج عنصر آرسنیک، سرب، روی، نیکل و کرم (با ماکزیمم مقادیر به ترتیب ۴۷، ۳۹۲، ۲۴۳۵، ۷۱ و ۱۱۷ ppm) دارای مقادیر بیش از حد مجاز در برخی از نمونه‌ها بودند. تجزیه و تحلیل‌های آماری چند متغیره داده‌ها و تطابق گسترش فضایی در غلظت نمونه‌های دارای غلظت بالا با جهت غالب بادهای منطقه نشان داد که غلظت‌های بالای سرب و روی در اثر عوامل انسان‌زاد و زمین‌زاد بوده و باد فاکتور اصلی پراکندگی فلزات با غلظت بالا در خاک‌های منطقه بوده است.

**کلید واژه‌ها:** عناصر سنگین، آلودگی خاک، رشته کوه ایرانکوه، تغییرات مکانی

ar.mokhtari@cc.iut.ac.it

\*نویسنده مسئول: احمد رضا مختاری

## ۱- مقدمه

(Lim et al., 2007). بنابراین درک صحیح از نوع، غلظت و گسترش آلوده کننده-های محیطی به همراه نحوه توزیع فضایی آن‌ها در مجاورت فعالیت‌های معدنی نه تنها می‌تواند موجب شناسایی خطر موجود برای سلامتی انسان و دیگر موجودات باشد، بلکه در انتخاب گزینه مناسب برای جلوگیری از گسترش آلودگی و درمان آن بسیار اساسی است (Morton-Bermea et al., 2009). از مناطق مضمون به آلودگی، اراضی کشاورزی جنوب رشته کوه ایرانکوه می‌باشد، جایی که در نزدیکی آن معادن فعال سرب و روی در حال بهره‌برداری هستند. این منطقه توجه بسیاری از محققین را به منظورهای مختلف به ویژه مسایل محیط زیستی جلب کرده است (صفری سنجانی و شنبه دستجردی، ۱۳۸۴، دیانی و همکاران ۱۳۸۸، Ghaderian et al. 2007). این رشته کوه دارای گسترش غربی-شمال غربی است و ذخایر سرب و روی در این رشته کوه جای گرفته‌اند که فعالیت-های معدنی همراه با فعالیت‌های فرآوری در قسمت‌های مختلف آن متمرکز شده‌اند. منطقه در بین طول‌های جغرافیایی ۵۱° ۵۰' و ۵۱° ۶۰' درجه شرقی و ۴۷° ۳۲' و ۳۲° ۵۴' درجه شمالی واقع شده است و بیش‌ترین ارتفاع آن ۲۳۹۰ متر از سطح دریا قرار دارد. منطقه دارای شرایط نیمه‌خشک است و متوسط بارش ۱۳۰ میلی‌متر در سال است. لذا به منظور آزمون فرض وجود یا عدم وجود مقادیر قابل توجه و آلوده کننده عناصر بالقوه سمی در این منطقه، پژوهش حاضر در جنوب رشته کوه ایرانکوه صورت پذیرفته است. ذخایر معدنی در شمال و جنوب رشته کوه

آلودگی ناشی از وجود ذخایر معدنی و شدت یافتن این آلودگی‌ها در اثر فعالیت-های بشر مانند استخراج این ذخایر، از معضلات زیست‌محیطی محسوب می‌شود. معدن کاری که به صورت مستقیم ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع از سطح زمین را دستخوش تغییر و به هم‌زدگی قرار داده است (Dollhopf, 2006) می‌تواند منتج به مشکلات محیط زیستی مانند فرسایش خاک (به عنوان عامل ثانویه در ایجاد آلودگی)، از بین رفتن تنوع زیستی و همچنین مستقیماً باعث آلودگی خاک، آب‌های زیرزمینی و سطحی گردد (Cappuyns et al., 2006; Navarro et al., 2008; Meza-Figueroa et al., 2011; Geras'kin et al., 2009). فعالیت‌های معدنی به عنوان منبع اصلی و بالقوه آلودگی خاک ناشی از عناصر سنگین به ویژه روی، سرب و کادمیم شناخته شده‌اند که فلزات مذکور نسبت به سایر فلزات بیش‌ترین مقدار زیست دسترس-پذیری (Bioavailability) را دارا هستند (Navarro et al., 2008; Prieto, 1998). مطالعات گوناگون در نقاط مختلف دنیا در زمینه آلودگی خاک به ویژه در مناطق نزدیک به معادن متروک یا در حال کار صورت گرفته است. این مسئله در مورد مناطق کشاورزی که به طور مستقیم با سلامت انسان‌ها در ارتباط است، اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند. آلودگی‌های محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی می‌تواند سلامت موجودات زنده از جمله انسان‌ها و حیوانات را تهدید کرده (Cappuyns et al., 2006; Geras'kin et al., 2011). و در برخی مواقع منجر به بیماری سرطان گردد

al., 2008). نمونه‌ها به پاکت‌های کاغذی منتقل شدند و برای مدت دو روز در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن، خشک شدند. در مجموع ۱۵۴ نمونه شامل ۱۳۷ نمونه اصلی از خاک، دو نمونه از دمپ باطله و ۱۵ نمونه تکراری صحرایی برداشت گردید. در ادامه نمونه‌ها توسط گوی‌هایی از جنس پلی‌آمید، که درون کاسه ای از همین جنس قرارداشتند، توسط دستگاه همزن به اجزای ریز تبدیل شدند. هدف از این کار جداسازی ذرات خاک از یکدیگر به منظور همگن کردن آن بود. استفاده از گوی‌ها و ظروف پلی‌آمیدی به جای وسایل فلزی به منظور جلوگیری از آلوده کردن نمونه‌ها به فلزات مختلف در اثر تماس بود. اشکال ۳ و ۴ به ترتیب محدوده نمونه‌برداری شده و طرح نمونه‌برداری در هر یک از موقعیت‌ها را نشان می‌دهد.

#### ۴- آزمایش‌های دانه‌بندی

به منظور انتخاب بخش مناسب از نمونه‌های خاک برگرفته برای آنالیز نهایی، دانه‌بندی تعدادی نمونه که از مکان‌های مختلف منطقه برای این هدف جمع‌آوری شده بود به روش آنالیز سرندهی انجام گردید. پنج نمونه از مکان‌های مختلف منطقه مورد مطالعه برداشت شد و برای انجام آنالیز سرندهی‌تر ابتدا ۳۰۰ گرم از هر نمونه به مدت ۲ روز در ۱ لیتر محلول سدیم پیروفسفات ۵٪ قرار داده شد تا جدایش بین ذرات خاک حاصل شود. لازم به ذکر است که نمونه‌ها در این مدت به تناوب هم زده شدند. سپس نمونه‌ها از الک‌ها با دهانه چشمه‌های ۲۰۰، ۱۰۱۸، ۰۸۵، ۰۶۹، ۰۴۲ و ۰۲۵ میلی‌متری عبور و با آب مقطر شستشو داده شدند.

نتایج حاصل از این آنالیز به صورت درصد فراوانی تجمعی عبوری از هر سرنده در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که بیش از ۹۰٪ هر نمونه از الک ۰۲۵ میلی‌متر عبور کرده است که گویای ریزدانه بودن خاک منطقه است. برپایه این مطالعه ۳٪ یا کمتر از این مقدار در جزء بیش از ۲ میلی‌متر سهم دارند. با این وجود باید به این نکته توجه داشت که با نزدیک شدن به ارتفاعات سهم ذرات دانه درشت در خاک افزایش می‌یابد. از آنجایی که هدف این پژوهش مطالعه عناصر بالقوه سمی در کل خاک می‌باشد بنابراین انتخاب بخشی از نمونه می‌تواند ارزیابی در نتایج بوجود آورد، ولی مطالعه فوق نشان داد که سرنده کردن نمونه و انتخاب بخش دانه ریز با توجه به ناچیز بودن بخش دانه درشت قابل توجیه می‌باشد. این کار موجب بالا رفتن تعداد ذرات در واحد وزن شده و نمونه مورد آنالیز را شاخص‌تر می‌نماید. بنابراین جزء ۶۰ میلی‌متر (بخش عبوری از الک ۰۶۰ میلی‌متر) به عنوان نمونه نهایی انتخاب گردید. با این انتخاب نزدیک به ۹۵٪ از نمونه‌ها در بخش مورد آنالیز وارد می‌شوند. در نتیجه نمونه‌ها توسط آسیای ساخته شده از کاسه و گوی‌های پلی‌آمیدی خرد شدند و سپس توسط الک‌های نایلونی با دهانه ۰۶۰ میلی‌متر سرنده و جزء دانه ریز جهت آنالیز به آزمایشگاه ارسال شد.

#### ۵- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

نمونه‌ها جهت آنالیز به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شده و به روش هضم با چهار اسید حل گردیدند. ابتدا ۲ گرم از نمونه خشک توزین و سپس اسیدنیتریک، اسید پرکلریک و اسید فلوریدریک به ترتیب به مقدار ۴، ۳، و ۱۰ میلی‌لیتر افزوده و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بر روی گرم‌کن قرار داده تا نمونه‌ها حالت ژله‌ای به خود پیدا کنند. سپس ۷ میلی‌لیتر اسید کلریدریک و ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک به نمونه اضافه و دوباره به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد تا

و در دامنه آن واقع شده‌اند، درحالی که کارخانه فرآوری در جنوب قرار دارد. مناطق مسکونی در شمال با فاصله از این مجتمع قرار گرفته‌اند ولی زمین‌های کشاورزی در جنوب از کنار مجتمع معدنی شروع می‌شوند. برخی از پژوهش‌گران نشان داده‌اند که گونه‌های مختلف گیاهی در این منطقه مقادیر بالایی از سرب و روی را در خود ذخیره می‌کنند (صلحی ۱۳۸۴). اگرچه گونه‌های گیاهی مذکور می‌توانند برای فرآیند گیاه پالایی (Phytoremediation) به منظور اصلاح خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرد، ولی در شرایط طبیعی و در صورت عدم مدیریت صحیح می‌توانند تهدیدی برای انسان و حیوانات باشد. به منظور داشتن درکی صحیح از میزان و گسترش آلودگی (در صورت وجود)، جهت تعیین غلظت فلزات سنگین، منشأ و عوامل گسترش آن‌ها، منطقه واقع در جنوب ایرانکوه مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری جنوب غرب استان اصفهان واقع شده است (شکل ۱). زمین‌های منطقه عمدتاً کاربری کشاورزی دارند و محصولات گلخانه‌ای به طور عمده در آن‌ها تولید می‌شود. از دیدگاه زمین‌شناسی در پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی واقع شده و بخش کوچکی از پهنه ایران مرکزی را شکل می‌دهد. این محدوده در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اصفهان واقع شده است (شکل ۲).

قدیمی‌ترین واحد منطقه متعلق به ژوراسیک بوده و شیل‌های سیاه شامل سیلت‌استون و ماسه‌سنگ را شامل می‌شود. بر روی واحد فوق دولومیت‌های قهوه‌ای و آهک دولومیتی واقع شده که دارای لای بندگی واضح بوده و دارای ضخامت ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. واحدهای فوق توسط آهک اوربیتولین‌دار، که به شکل توده‌ای و لایه‌ای است، پوشانده شده‌اند (قاسمی تودشکجویی ۱۳۷۴، علامه ۱۳۶۹). واحدهای فوق دارای رخنمون بوده و با حرکت از دامنه به بالا مشاهده می‌شود. محدوده نمونه‌برداری شده از دامنه کوه آغاز شده و به طرف جنوب با گسترش ۳ کیلومتر ادامه دارد. مشاهدات صحرایی نشان دهنده آن است که خاک دارای قطعات لیتیک بوده ولی ذرات با ابعاد رس و سیلت دارای بیش‌ترین فراوانی هستند. علاوه بر این ذرات و ندول‌های کربنات مشاهده می‌شوند که در اثر فرآیند خاک-زایی شکل گرفته‌اند.

#### ۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی

برای نمونه‌برداری و پوشش منطقه براساس گسترش محدوده فعالیت‌های معدنی، منطقه‌ای به وسعت سیصد (۳۰×۱۰) کیلومتر مربع تعیین و شبکه نمونه‌برداری منظم با ابعاد ۵۰×۵۰ متر طراحی گردید. شبکه اولیه در هنگام نمونه‌برداری با توجه به شرایط موجود در محل نمونه‌برداری با تغییراتی در موقعیت نمونه‌ها همراه بوده است. روش‌های مختلفی برای نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های ژئوشیمیایی پیشنهاد شده است. در این پژوهش نمونه‌های خاک از ۳۰ سانتی‌متری بالای خاک گرفته شده‌اند، جایی که بیش‌ترین تماس انسان با خاک حاصل می‌شود و جایی که گیاهان بیش‌ترین تغذیه را از آن دارند. به منظور کاهش خطاهای نمونه‌برداری و همچنین به منظور جلوگیری از آلودگی‌های ناشی از ناهمگنی‌های محلی، در هر موقعیت نمونه‌برداری ۵ نمونه، که یکی در مرکز و دیگری در چهار طرف آن و به فاصله ۵ متری از نمونه مرکزی قرار داشتند، برداشته شد (De Vivo et

شیمیایی بر مؤلفه است. عناصر اصلی آلومینیوم، پتاسیم و آهن بار بالایی بر روی مؤلفه اول دارند که بیانگر غالب بودن خصوصیات لیتولوژیکی- ژئوژنیکی در توزیع عناصر همراه با این فاکتور است. عنصر کلسیم با عناصر مذکور همبستگی منفی دارد که یک دلیل احتمالی آن وجود کربنات‌های پدوژنیک در خاک است که می‌تواند منجر به تثبیت و رسوب فلزات سنگین در خاک گردد ( Navarro et al., 2008). تعدادی از فلزات سنگین اندازه‌گیری شده با عناصر آلومینیوم، آهن و پتاسیم همراه شده‌اند که علت آن را می‌توان به وجود این عناصر در ساختار فلدسپارها در خاک ارتباط داد.

همان گونه که از شکل ۹ پیدا است، مؤلفه دوم با توجه به هدف این تحقیق مهم‌ترین مؤلفه می‌باشد. در این مؤلفه فلزات سنگین اشاره شده در بالا همراه با تعدادی دیگری از عناصر به صورت خوشه خود را نمایش داده‌اند. عناصر پارازنتیک کانسار سرب و روی مانند باریم، منگنز، کادمیم و نقره به همراه عناصر اصلی موجود در ذخیره (سرب و روی) بار بالایی در فاکتور دوم از خود نشان می‌دهند که بیانگر تأثیر فرآیندهای ژئوژنیک (طبیعی) و آن‌تروپوژنیک (مصنوعی) در گسترش این عناصر کانساری در نمونه‌های خاک است.

به منظور تعیین عامل (یا عوامل) گسترش آلودگی در منطقه، بازدید مجدد از محدوده‌ای که حاوی نمونه‌های با غلظت بالای عناصر بود، صورت گرفت. مشاهدات صحرایی نشان داد که مواد تیره رنگ در حد سیلت و ماسه در محدوده آلوده گسترش دارند. این مواد به طور عمده در نزدیکی سد پل مصلح معدن تجمع داشته و گویای آن می‌باشند که پراکندگی آن‌ها توسط باد صورت گرفته است. لذا جهت بررسی بیشتر تر این موضوع اطلاعات هواشناسی ایستگاه نزدیک به منطقه (ایستگاه هواشناسی کبوتر آباد) جمع‌آوری گردیده و نمودار گلباد آن تهیه شده است (شکل ۱۰). این نمودار اطلاعات مربوط به جهت وزش باد و سرعت آن را برای منطقه به تصویر کشیده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود غالب بادهای منطقه دارای جهت شرقی- غربی می‌باشد که با امتداد ایرانکوه و روند گسترش عیارهای بالای As, Pb و Zn (شکل ۷) هم‌خوانی دارد.

#### ۷- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق که به بررسی وضعیت آلودگی فلزات در منطقه‌ای وسیع در جنوب رشته کوه ایرانکوه پرداخته است بیانگر غلظت‌های بالا در خاک‌های منطقه به برخی فلزات با توجه به استاندارد کیفیت خاک کشور کانادا است. دسته اول از عناصر آلوده‌کننده شامل فلزات آرسنیک، سرب و روی می‌باشند که عمدتاً در دامنه رشته کوه ایرانکوه و نزدیک به فعالیت مجتمع معدنی قرار دارند. این عناصر بیش-ترین غلظت را در نزدیکی مجتمع از خود نمایش می‌دهند و با فاصله گرفتن از دامنه به پایین دست غلظت کاهش پیدا می‌کند. نمودارهای احتمال رسم شده به وضوح دخالت فرآیند ثانویه در توزیع عیارهای بالای این عناصر را نشان می‌دهند.

دسته دوم فلزات با غلظت بالا در برگیرنده عناصر کروم و نیکل است. این عناصر دارای توزیع نزدیک به نرمال بوده و ظاهراً منشأ اولیه خاک به طور طبیعی باعث تغییرات غلظت و مقادیر این دو عنصر در منطقه شده است، با این وجود تغییرات محلی این دو عنصر را می‌توان به صورت جداگانه مورد بررسی بیش‌تر قرار داد. تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان داد که فاکتورهای طبیعی (ژئوژنیک، کانی‌زایی) و مصنوعی (فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاری) بر شکل و توزیع عناصر آرسنیک، سرب و روی در خاک تأثیر گذارند. این آنالیز آماری به خوبی ارتباط این عناصر با

کاملاً حل شود. بعد از سرد شدن نمونه، محلول با آب مقطر دیونیزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده و در نهایت غلظت ۴۵ عنصر در محلول به دست آمده توسط دستگاه ICP-OES تعیین شد.

#### ۶- بحث

غلظت ۴۵ عنصر اندازه‌گیری شده (به جز نقره) در همه نمونه‌ها بالاتر از حد ثبت دستگاه بود. خلاصه اطلاعات آماری عناصر در جدول ۱ آمده است. ارزیابی آلودگی فلزات بررسی شده در این تحقیق در منطقه مورد مطالعه با توجه به استانداردهای کیفیت خاک کشور کانادا صورت گرفته است. نتایج بیانگر بالاتر بودن غلظت فلزات آرسنیک، سرب، روی، نیکل و کروم نسبت به این استاندارد برای مناطق کشاورزی می‌باشد. براساس این استاندارد حداکثر مقدار مجاز برای فلزات مذکور به ترتیب ۱۲، ۷۰، ۲۰۰، ۵۰ و ۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. غلظت کروم تقریباً در همه نمونه‌ها بیش‌تر از حد تعیین شده استاندارد برای این فلز بود، در حالی که تنها ۵۰٪ نمونه‌های نیکل بالاتر از حد بحرانی تعریف شده برای این عنصر قرار داشتند.

به منظور بررسی دقت عملیات صحرایی و آزمایشگاهی نمونه‌های تکراری صحرایی و آزمایشگاهی اخذ شدند و جهت آنالیز به آزمایشگاه ارسال گردیدند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های تکراری در شکل ۶ به نمایش گذاشته شده‌اند. این نمودارها که به نمودارهای (Thompson and Howarth, Thompson and Howarth, 1978; Thompson and Howarth, 1976) معروف هستند برای دقت ۱۰٪ رسم گردیده‌اند. همان گونه که ملاحظه می‌شود دقت هر دو عملیات آزمایشگاهی و صحرایی مناسب بوده ولی واریانس As در نمونه‌های صحرایی بالا می‌باشد. نقشه توزیع غلظت عناصر آرسنیک، سرب، روی و نیکل در شکل ۷ نشان داده شده است. این شکل به وضوح ارتباط فعالیت‌های مجتمع معدنی و غلظت سه عنصر Zn, As, Pb را نشان می‌دهد. با نزدیک شدن به محدوده مجتمع معدنی، غلظت این سه عنصر روند افزایشی داشته و همبستگی فضایی بالایی بین غلظت و موقعیت مجموعه معدنی آشکار است.

به منظور بررسی رفتار عناصر و نحوه توزیع آماری آن‌ها، نمودار درصد احتمال برای عناصر ذکر شده در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها مشخص می‌گردد که سه عنصر آرسنیک، سرب و روی دارای جامعه غیر نرمال بوده و وجود برخی پدیده‌ها موجب انحراف از نرمال جوامع این سه عنصر گشته یا به عبارت دیگر بیش از یک فرآیند در شکل‌گیری جمعیت‌های آماری آرسنیک، سرب و روی دخالت داشته‌اند، در حالی که برای عناصر نیکل و کروم می‌توان به طور عمده یک فرآیند را دخیل دانست.

برای ارزیابی بهتر و تعیین منشأ آلودگی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام گرفت. استفاده از این روش برای تخمین منشأ آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی آبخیز Rybnik واقع در کشور لهستان موفقیت‌آمیز بوده است ( Loska and Wiechula, 2003). معمولاً متغیرها در مطالعات ژئوشیمی همبستگی درونی دارند که به سادگی قابل درک نیست. به منظور کاهش ابعاد داده‌ها و نیز تعیین اجزای همبسته، آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی تمامی عناصر آنالیز شده اجرا گردیده است.

نمودار پراکندگی PCA که تقابل فاکتورهای اول و دوم را بازگو می‌کنند در شکل ۹ نمایش داده شده است. مقادیر عددی بالاتر معرف تأثیر بیش‌تر متغیر

عناصر پارژنتیک کانی‌سازی سرب و روی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این پژوهش عامل باد از جمله عوامل اصلی در گسترش فلزات سنگین با مقادیر بیش از حد مجاز در منطقه است. به منظور شناخت بهتر توزیع فلزات در بخش‌های مختلف خاک (به ویژه فلزات دارای غلظت بیش‌تر از حد استاندارد) کاربرد روش‌های هضم مرحله‌ای و جزء به جزء می‌تواند سودمند باشد. استفاده از روش‌های مذکور در تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت بهتر خاک‌های مناطق آلوده و اصلاح آن‌ها کاربردی است.

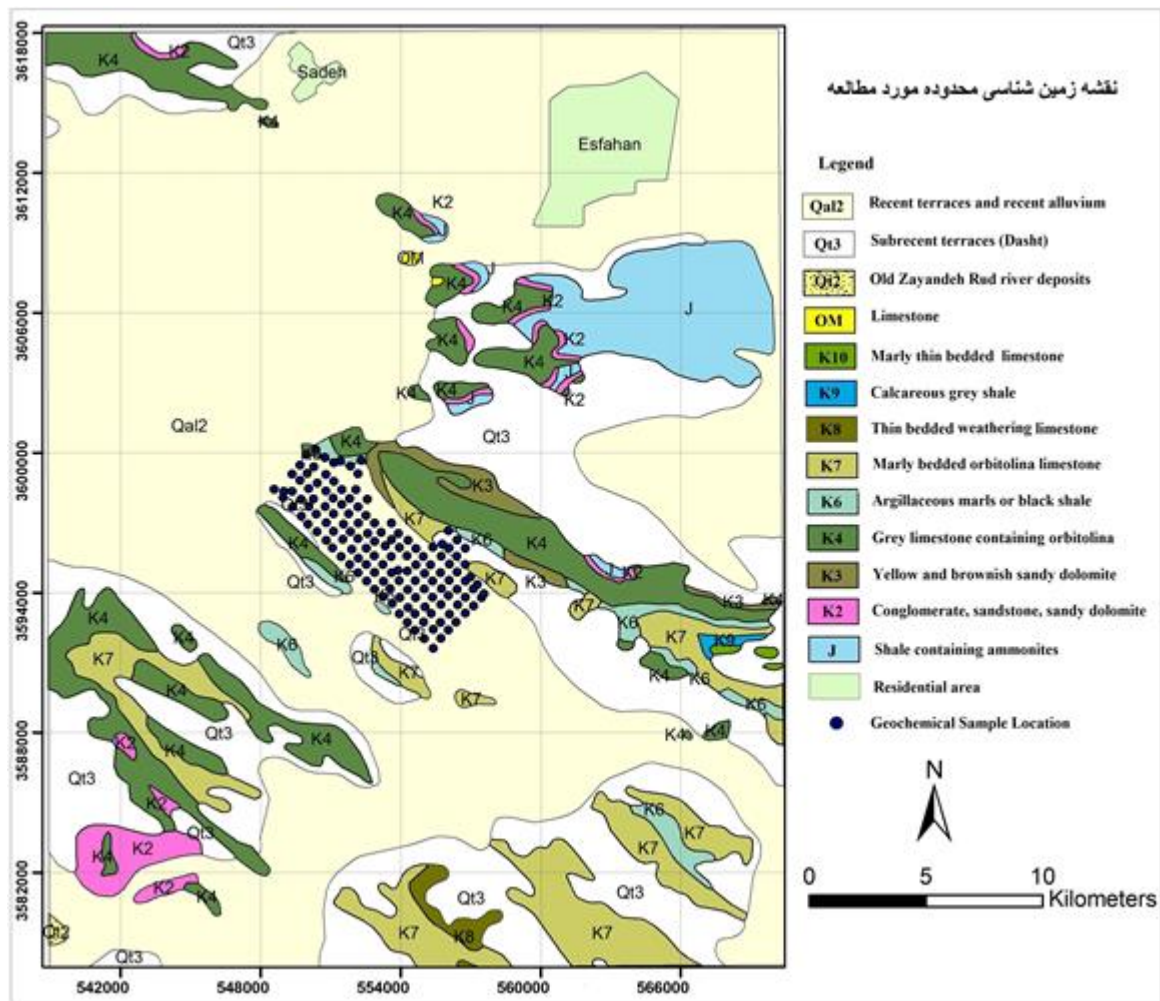
### سیاس‌گذاری

از حمایت‌های دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی اصفهان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و دانشگاه آزاد اسلامی (واحد بافق) که در راستای انجام این پژوهش صورت گرفته سیاس‌گذاری می‌شود. از شرکت ioGlobal به خاطر تهیه نرم افزار تقدیر می‌گردد.

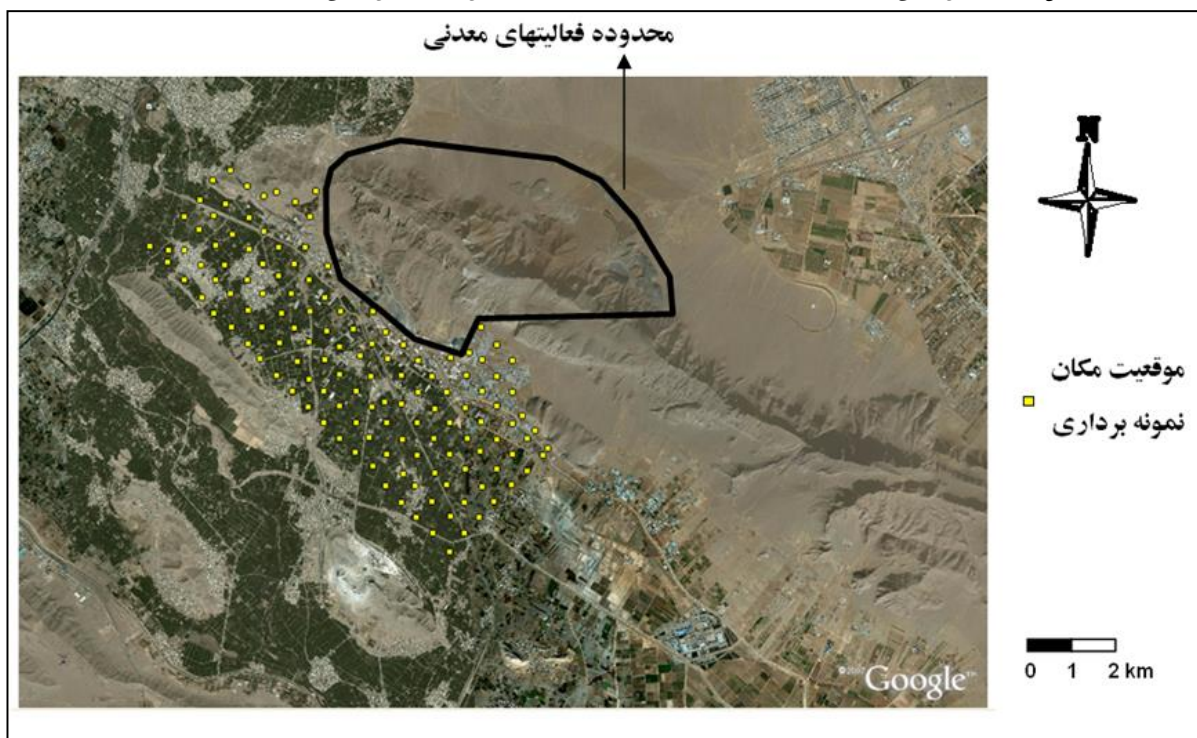


شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان اصفهان

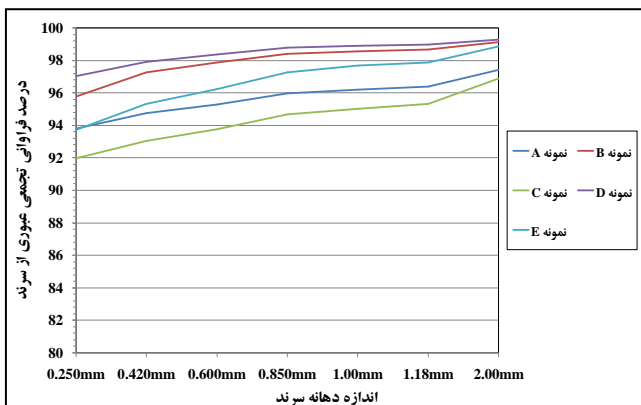




شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های گرفته شده (اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، زاهدی، ۱۳۵۷)

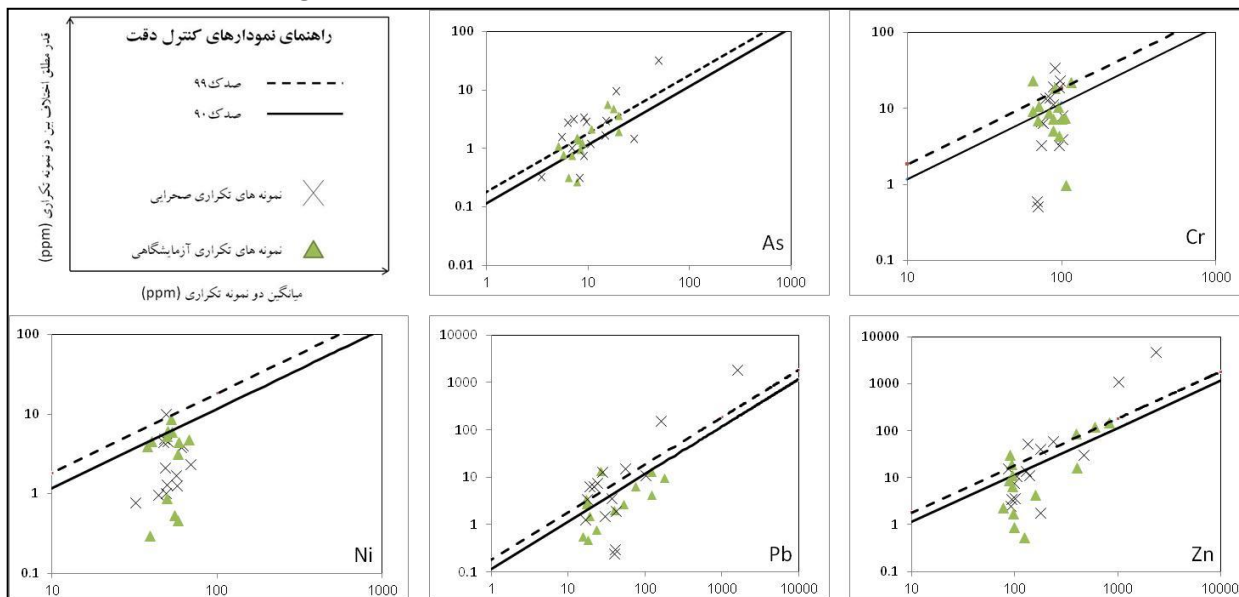


شکل ۳- موقعیت محدوده معدنی و نقاط نمونه‌برداری شده که با نقطه‌های زرد رنگ مشخص شده‌اند

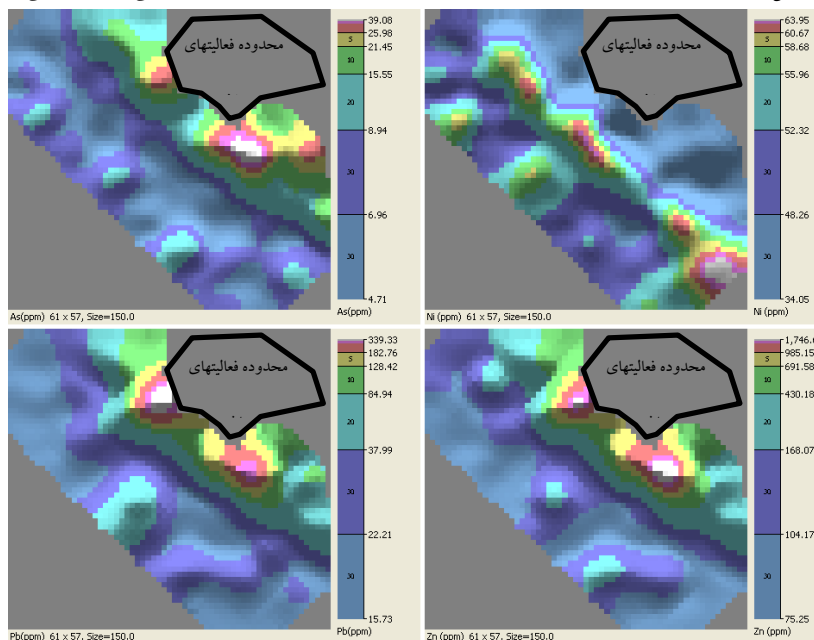


شکل ۴- A- طرح نمونه برداری خاک در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه B- نمونه تکراری برداشت شده در موقعیت BEP-002

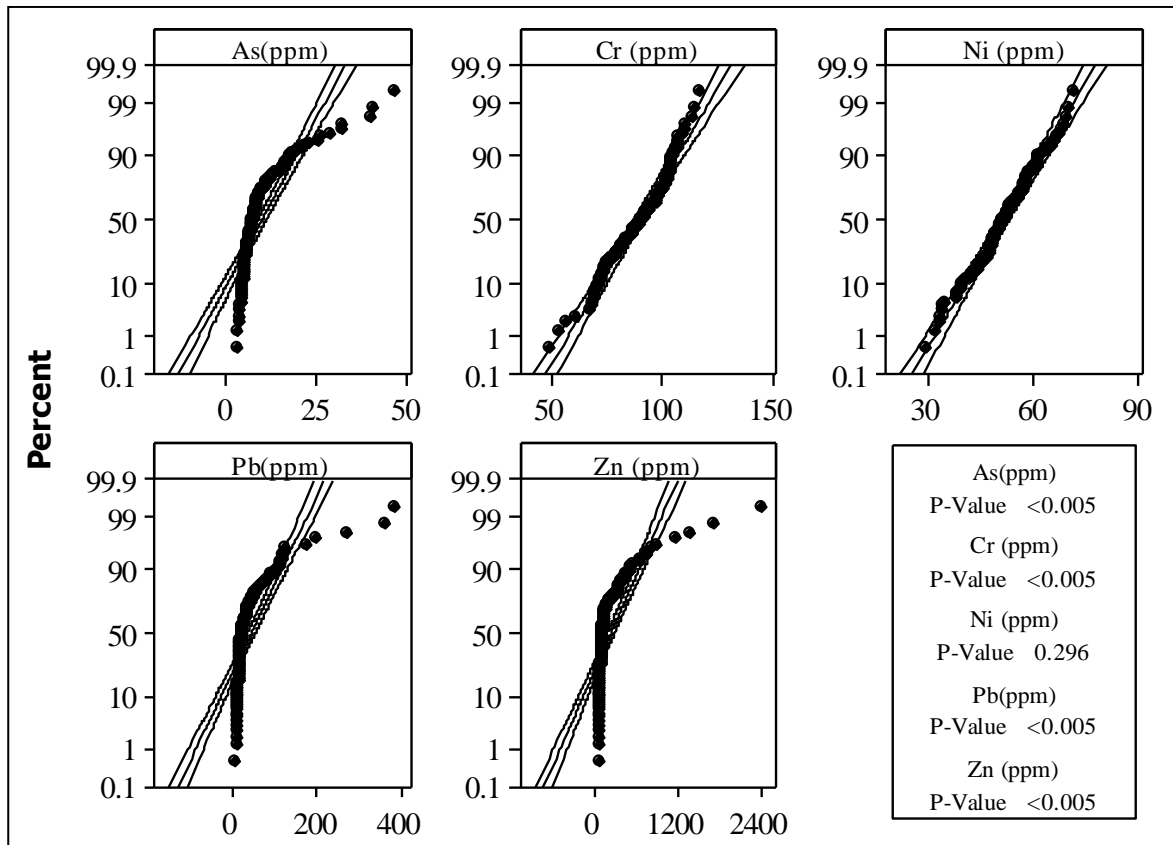
شکل ۵- نمودار فراوانی تجمعی توزیع اندازه ذرات خاک به وسیله آنالیز سرنده‌تری



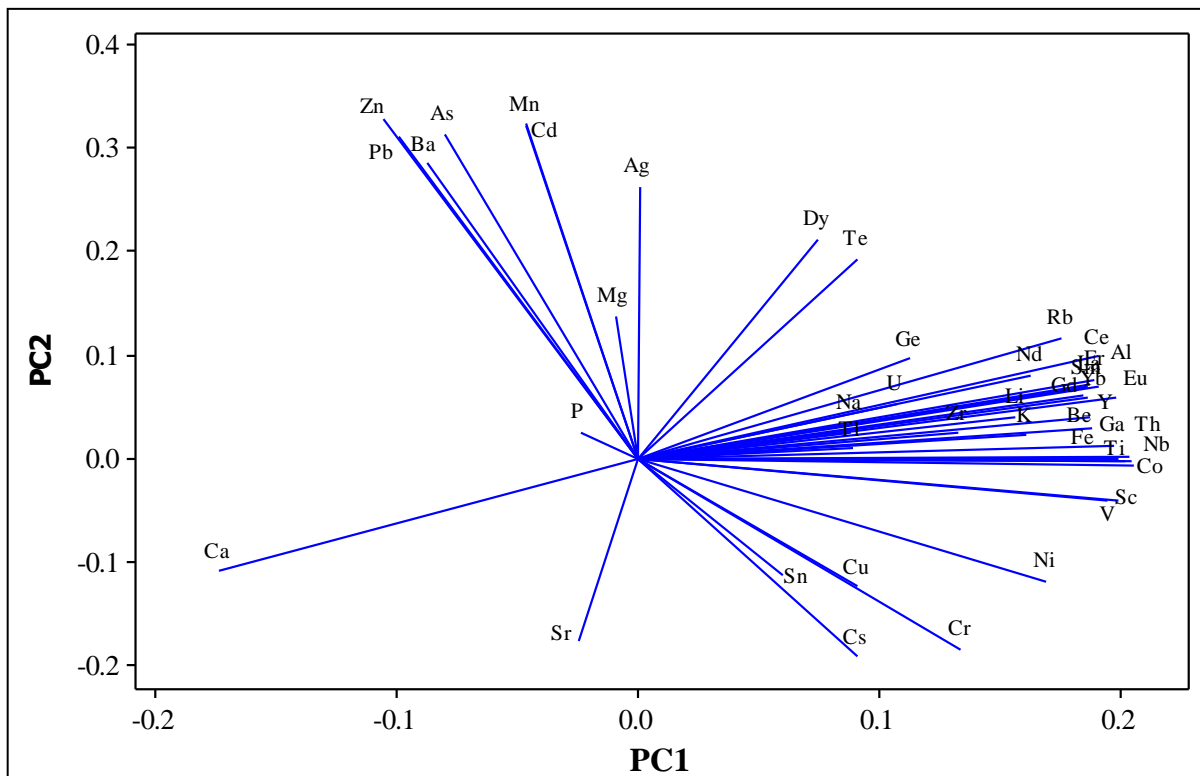
شکل ۶- نمودارهای Thompson-Howarth برای دقت ۱۰٪ برای نمونه‌های تکراری صحرائی و آزمایشگاهی



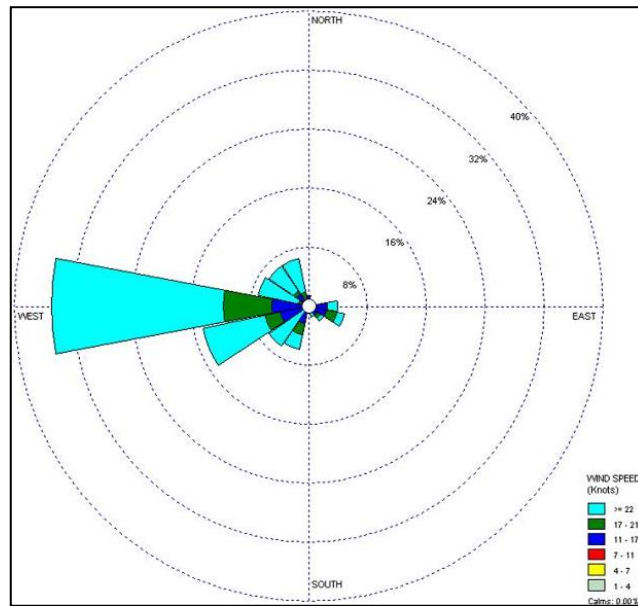
شکل ۷- نقشه‌های توزیع غلظت عناصر Zn و As, Ni, Pb در نمونه‌های برداشت شده از منطقه



شکل ۸- نمودار احتمال نرمال عناصر Cr و As, Pb, Zn, Ni



شکل ۹- توزیع عناصر در نمودار پراکنده PC1-PC2 پس از تجزیه مؤلفه‌های اصلی



شکل ۱۰- نمودار گلباد ایستگاه هواشناسی کبوتر آباد که در نزدیکی محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۱- پارامترهای آماری عناصر آنالیز شده در نمونه‌های خاک (غلظت‌ها بر حسب ppm می‌باشند؛ به جز مواردی که ذکر شده است)

عنصر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	عنصر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
As	3.47	47.14	10.13	7.53	0.74	Mn	420.15	1246.29	618.12	122.47	0.20
(%)Al	3.85	9.36	6.05	0.83	0.14	(%)Na	0.36	1.16	0.68	0.12	0.18
Ba	152.53	1158.73	350.51	152.61	0.44	Nb	5.80	12.24	9.20	1.18	0.13
Be	0.56	1.49	0.94	0.13	0.14	Nd	10.89	26.96	18.57	3.35	0.18
(%)Ca	9.65	25.97	16.69	2.37	0.14	Ni	28.83	71.12	51.30	8.54	0.17
Cd	0.12	5.02	0.68	0.62	0.91	P	259.90	6034.39	1047.51	628.59	0.60
Ce	24.49	59.59	37.73	5.38	0.14	Pb	11.74	392.01	46.53	56.64	1.22
Co	6.75	14.50	10.41	1.52	0.15	Rb	43.42	104.17	64.18	9.33	0.15
Cr	49.09	117.30	89.56	13.69	0.15	Sc	8.67	16.68	13.33	1.51	0.11
Cs	4.07	8.29	6.37	0.92	0.15	Sm	2.07	4.60	3.25	0.47	0.15
Cu	13.39	44.77	29.41	4.85	0.16	Sn	1.34	10.78	3.70	1.61	0.44
Dy	2.36	4.07	3.18	0.37	0.11	Sr	307.21	2455.96	588.45	231.26	0.39
Er	1.03	2.11	1.52	0.21	0.14	Te	0.02	0.10	0.05	0.02	0.40
Eu	0.50	1.14	0.78	0.12	0.15	Th	4.99	9.82	7.39	0.85	0.11
(%)Fe	2.72	5.17	3.89	0.41	0.11	Ti	1945.11	4130.00	2988.74	378.43	0.13
Ga	7.25	17.51	11.41	1.63	0.14	Tl	0.20	1.50	0.67	0.19	0.28
Gd	2.46	4.80	3.54	0.48	0.14	U	1.39	4.30	2.52	0.49	0.19
Ge	0.69	1.84	1.14	0.24	0.21	V	57.46	117.22	85.93	10.93	0.13
(%)K	0.95	2.34	1.41	0.19	0.13	Y	18.22	30.07	24.44	2.20	0.09
La	15.83	33.61	23.24	2.88	0.12	Yb	2.08	3.09	2.68	0.19	0.07
Li	18.59	48.17	28.94	4.71	0.16	Zn	67.04	2435.00	233.53	314.33	1.35
(%)Mg	1.62	2.92	1.90	0.20	0.11	Zr	83.60	384.41	125.68	27.26	0.22



## کتابخانه

- ۱- دیانی، م.، محمدی، ج.، نادری، م.، ۱۳۸۸، تجزیه و تحلیل زمین‌آماری غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک‌های حومه سپاهان‌شهر واقع در جنوب اصفهان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 23، شماره ۴، زمستان 1388، ۶۷-۷۶.
- ۲- زاهدی، م.، ۱۳۵۷، نقشه ۱/۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی اصفهان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۳- صلحی، م.، ۱۳۸۴، گیاه بالایی خاک‌های آلوده به عناصر سرب و روی و استفاده از رادیو ایزوتوپ روی جهت مطالعه رفتار روی در خاک و گیاه، پایان نامه دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۵۸ص.
- ۴- صفری سنجانی، علی اکبر، و شنبه دستجردی، فرزاد، ۱۳۸۴، فرانباشنگی کادمیوم در گیاهان بومی رشدیافته بر روی خاک‌های آلوده منطقه ایرانکوه اصفهان، ایران چهارمین همایش ملی بیوتکنولوژی ایران، کرمان.
- ۵- علامه، ا.، ۱۳۶۹، گزارش اکتشافات تپه سرخ، شرکت باما، گزارش داخلی.
- ۶- قاسمی تودشکچویی، ع.، ۱۳۷۴، بررسی زمین‌شناسی، آنالیز رخساره و ژئوشیمی کانسار سرب و روی کلاه دروازه- گودزدان- خانه گرگی در دامنه جنوبی ایرانکوه (جنوب‌غربی اصفهان)، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۵۵ص.

## References

- 7- Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. 2007.
- 8- Cappuyns, V., Swennen, R., Vandamme, A., Niclaes, M. 2006. Environmental impact of the former Pb-Zn mining and smelting in East Belgium. *Journal of Geochemical Exploration* 88: 6-9.
- 9- Carapeto, C. and Purchase, D. 2000. Use of Sequential Extraction Procedures for the Analysis of Cadmium and Lead in Sediment Samples from a Constructed Wetland. *Bull. Environ. Contamination and Toxicology*. 64:51-58.
- 10- De Vivo, B.; Belkin, H.; Lima, A. 2008. *Environmental Geochemistry: Site Characterization, Data Analysis and Case Histories*, Elsevier, Amsterdam.
- 11- Dollhopf, D J. 2006. Rehabilitation after Open Cut Mines. In: *Encyclopedia of Soil Science*, R. Lal (Ed.), 1(1): 1446-1449.
- 12- Geras'kin, S., Oudalova, A., Michalik, B., Dikareva, N., Dikarev, V. 2011. Geno-toxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of Allium-test. *Chemosphere*, 83 (8): 1133-1146.
- 13- Ghaderian, S.M., Hemmat, G.R., Reeves, R.D., Baker, A.J.M. 2007. Accumulation of lead and zinc by plants colonizing a metal mining area in Central Iran. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(2): 145-150.
- 14- Lim, H.S., Lee, J.S., Chon, H.T., Sager, M. 2008. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au-Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration* 96: 223-230.
- 15- Loska, K., Wiechuh, D. 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, 51(8): 723-733.
- 16- Meza-Figueroa, D., Maier, R.M., de la O-Villanueva, M., Gómez-Alvarez, A., Moreno-Zazueta, A., Rivera, J., et al. 2009. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico. *Chemosphere*, 77 (1): 140-147.
- 17- Morton-Bermea, O., Hernández-Álvarez, E., González-Hernández, G., Romero, F., Lozano, R., Beramendi-Orosco, L.E., 2009. Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration* 101: 218-224.
- 18- Navarro M.C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J., Tovar, P.J., Bech, J. 2008. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration* 96: 183-193.
- 19- Prieto, G. 1998. Geochemistry of heavy metals derived from gold-bearing sulphide minerals in the Marmato District (Colombia). *Journal of Geochemical Exploration* 64: 215-222.
- 20- Rao, C.R.M.; Sahuquillo, A. and Lopez Sanchez, J.F. 2008. A Review of the Different Methods Applied in Environmental Geochemistry for Single and Sequential Extraction of Trace Elements in Soils and Related Materials. *Water Air Soil Pollut.* 189: 291-333.
- 21- Thompson, M. and Howarth, R.J., 1976, Duplicate analysis in practice-Part 1. Theoretical approach and estimation of analytical reproducibility. *The Analyst*, 101, 690-698.
- 22- Thompson, M. and Howarth, R.J., 1978, A new approach to the estimation of analytical precision. *Journal of Geochemical Exploration*, 9, 23-30.