

## مقایسه هاله‌های بیوزئوشیمیایی و لیتوزئوشیمیایی ثانویه به منظور اکتشاف ذخایر مس و تحلیل خطای مراحل مختلف آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها در منطقه معدنی مس دره زرشک

سارا رضائی<sup>۱</sup>، فرهاد محمد تراب<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱/۲۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۸/۵

### چکیده

هدف از انجام این تحقیق بررسی تغییرات و ارتباط عناصر مختلف در خاک و گونه‌های مختلف گیاهان موجود در منطقه معدنی دره زرشک و مقایسه توزیع آنها با مناطق فاقد کانی‌سازی بوده است تا بر این اساس بتوان روش مناسبی از اکتشافات ژئوشیمیایی به منظور کشف ذخایر پنهانی مس در منطقه و مناطق اطراف پیشنهاد نمود. بر این اساس تعداد ۳۲ نمونه از دو فراکسیون مختلف از افق B خاک از مناطق کانی‌سازی و فاقد کانی‌سازی و تعداد ۲۹ نمونه از گونه‌های مختلف گیاهی موجود در منطقه برداشت و پس از آماده‌سازی به روش جذب اتمی برای عناصر مس، آهن، سرب و روی آنالیز شدند. در مرحله اول با آماده‌سازی نمونه‌ها به روش‌های مختلف و آنالیز نمونه‌های تکراری، خطای مراحل مختلف تحلیل شد و مشخص گردید روش آماده‌سازی به شیوه سه اسید مناسب ترین روش انحلال بوده و دقت آماده‌سازی به این شیوه و آنالیز نمونه‌ها در محدوده قابل قبول قرار دارد. در مرحله بعد ضرایب هم‌بستگی و ضریب جذب زیست‌شناختی عناصر محاسبه و تحلیل گردید. مطالعات اخیر نشان داد که به دلیل ماهیت گونه‌ها، تنوع زیاد، پراکنده بودن و عدم تراکم کافی گیاهان در منطقه و تاثیر عوامل مختلف زیستی و بیولوژیکی، استفاده از روش بیوزئوشیمیایی به عنوان یک ابزار اکتشافی در اکتشاف مس در منطقه با چالش همراه است ولی محیط لیتوزئوشیمیایی ثانویه مثل خاک برجا می‌تواند مناسب‌ترین محیط نمونه‌برداری قلمداد شود چرا که بیشترین تباین را در غلظت مس بین زون کانی‌سازی و مناطق عقیم نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** دره زرشک، ضریب جذب زیست‌شناختی، لیتوزئوشیمیایی ثانویه، مس، نمونه‌برداری بیوزئوشیمیایی.

Email: fmtorab@yazd.ac.ir

\*- نویسنده مسئول: ۰۳۵۳۱۲۳۲۵۲۱

## مقدمه

بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه یکی از مهم‌ترین روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی است. در اثر هوازدگی، عناصر موجود در توده کانسنگ، در منطقه وسیعی از فضای اطراف آن از قبیل خاک، رسوبات رودخانه‌ای، آب‌های زیرزمینی، گیاهان و غیره پراکنده می‌شود. خاک به عنوان محیط لیتوژئوشیمیایی ثانویه به دلیل همگنی بیشتر نسبت به محیط سنگی از اهمیت زیادی در اکتشافات ژئوشیمیایی کانسارهای پنهانی برخوردار است. گسترش هاله ثانویه عناصر در خاک به بسیاری عوامل و در درجه اول به تحرک ژئوشیمیایی عناصر بستگی دارد. خاک‌های برجا انعکاسی از توزیع عناصر در سنگ بستند و نمونه‌برداری از خاک‌های برجا معمولاً نتایج موفقیت آمیزی در اکتشاف کانسارهای پنهانی داشته است (حسنی‌پاک، ۱۳۶۲). پی جویی و اکتشاف ژئوشیمیایی بسیاری از عناصر این نکته مهم را آشکار ساخته که رابطه‌ای بین محتوای فلزات در کانسار و خاک اطراف آن از یک سو و بعضاً گیاهانی که در خاک آنها می‌رویند، از سوی دیگر وجود دارد. بررسی‌های مختلف نشان داده است که محتوای بسیاری از فلزات در گیاهانی که در محدوده هاله‌های ثانویه کانسار می‌رویند چندین برابر میزان آن در خاک و گیاهانی است که در مناطق معمولی روئیده‌اند (مدنی، ۱۳۶۸). از آنجایی که گیاهان در بسیاری از نقاط زمین حضور دارند و نوع و موجودیتشان در ارتباط مستقیم با عناصر حاضر در سطح زمین است، می‌توانند به عنوان یک نمونه گیر طبیعی عمل نموده و اطلاعات با ارزشی از شرایط و پتانسیل زیرسطحی در اختیار یک ژئوشیمیست قرار دهند. درواقع گیاهان با توانایی بالا در جذب عناصر ما را

در یافتن اطلاعاتی ارزشمند درباره منابع پنهان و شناسایی مناطق پتانسیل دار توانا خواهند کرد (فرجندی و باستانی، ۱۳۹۰). بیوژئوشیمی می‌تواند به عنوان سیستم تعامل متقابل (دوطرفه) بین زیست‌شناسی و ژئوشیمی تعریف شود (کاتر، ۲۰۰۵). آنالیزهای روش بیوژئوشیمیایی بر پایه تجزیه و تحلیل شیمیایی بخش‌های مختلف گیاه استوار هستند (دان، ۲۰۰۷). تعیین ترکیب عناصر موجود در گیاهان (اکتشاف بیوژئوشیمی) می‌تواند در تشخیص کانسارهای مدفون شده با توجه به عمق نفوذ ریشه کمک کند (ارن و همکاران، ۱۹۹۹). ارتباط غلظت عنصر در گیاهان و مقدار جذب آن از خاک ساده نیست و بنابراین اکتشاف بیوژئوشیمی باید قبل از اجرا به دقت مورد بررسی قرار گیرد (هولم و هیل، ۲۰۰۳). بروکس در مورد این روش می‌گوید: از نظر انجام کار، این روش در میان ساده‌ترین روش‌ها است ولی هنوز از نظر تفسیر داده‌ها در بین تمام روش‌های اکتشافی موجود مشکل‌ترین روش است (بروکس و همکاران، ۱۹۹۵). رویکرد اکتشاف بیوژئوشیمی مواد معدنی در مقایسه با دیگر تکنیک‌های اکتشاف مقرون به صرفه است؛ اما بعضاً ارتباط یک به یک بین شیمی گیاهان و میزان عناصر در خاک وجود ندارد (دان، ۲۰۰۷). توانایی گیاه در جذب عناصر شیمیایی از خاک به وسیله نسبت غلظت عنصر در گیاه به غلظت عنصر در خاک ارزیابی شده و ضریب جذب زیست‌شناختی<sup>۱</sup> (BAC) نامیده می‌شود (بروکس و همکاران، ۱۹۹۵). که عبارت است از  $BAC = C_p / C_s$  که در آن  $C_p$  مقدار عنصر در خاکستر گیاه و  $C_s$  مقدار همان عنصر در خاک است. مقدار BAC به طور معمول از ۰/۱ تا ۱۰ تغییر می‌کند (بروکس و همکاران، ۱۹۹۵)، اگر مقدار BAC بر پایه وزن

آرسنیک معرفی شده است (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). تحقیقاتی نیز به منظور گیاه‌پالایی در منطقه معدن مس سرچشمه انجام گرفته است که جهت تعیین گونه‌های مناسب برای گیاه‌پالایی به برداشت نمونه‌های بیوژئوشیمیایی پرداخته شده است (قادریان و قطبی‌راوندی، ۲۰۱۲). نمونه‌های گیاهی از ۴۶ گونه گیاهی از گیاهان آوندی از محل‌های مختلف این منطقه برداشت شده است. در این راستا دو گونه گیاهی گندمک و بید علفی کرکی به عنوان ابرانباشتگر مس در منطقه، به منظور گیاه‌پالایی پیشنهاد شده است (قادریان و قطبی‌راوندی، ۲۰۱۲). مطالعه‌ای نیز به منظور بررسی پتانسیل اکتشافی ذخیره اسکارن مولیبدن در منطقه چچئون در کشور کره جنوبی انجام شده است. هدف اصلی این مطالعه در درجه نخست بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی خاک و گیاهان در مرحله دوم بررسی روابط ژئوشیمیایی بین این دو محیط و در نهایت تعیین گیاهان شاخص اکتشاف مولیبدن در منطقه مذکور است (پارک و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است که غلظت مولیبدن در اندام‌های گیاهان مطالعه شده، ۴ تا ۸ برابر بیشتر از منطقه عقیم بوده است، لذا غلظت این عنصر در گیاهان مذکور از نظر توزیع فضایی با کانسنگ‌های اسکارن مولیبدن دار در منطقه ارتباط منطقی دارند (پارک و همکاران، ۲۰۱۴). هدف از پژوهش حاضر، بررسی و شناخت گیاهان منطقه معدنی مس دره زرشک برای یافتن گونه گیاهی مناسب برای اکتشاف مس و همچنین یافتن ارتباط معنی‌دار میان غلظت مس در گیاه و خاک و در نهایت یافتن الگوی مناسب برای اکتشاف مس در

خشک نمونه گیاه محاسبه شود، مقدار آن برای بیشتر عناصر کوچک‌تر از واحد خواهد بود (فرجندی و باستانی، ۲۰۱۳). بسیاری از مطالعات نقش تغییرات فصلی در غلظت عناصر در گیاهان را نشان داده‌اند. به طور کلی بیشترین غلظت در گیاهان در فصل بهار تشخیص داده شده است، به همین دلیل نمونه‌برداری از منطقه دره زرشک نیز در اواخر فصل بهار طراحی و اجرا گردید. به منظور استفاده از گیاهان در اکتشاف، مطالعه‌ای مشابه در ناحیه مسجد داغی (آذربایجان شرقی) جهت بررسی گیاهان و معرفی گونه‌های مناسب گیاهی ابرانباشتگر و معرف انجام شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که بررسی توانایی انباشت فلزات در گیاهان جهت اکتشافات بیوژئوشیمیایی کانه‌زایی‌های پنهان، مفید بوده و می‌تواند به عنوان نشانه‌های خوبی برای کانی‌سازی مس پورفیری و رگه‌ای طلا در منطقه مذکور مورد استفاده قرار گیرد، زیرا گونه‌های بومی موجود دارای پراکندگی گسترده‌ای در منطقه بوده و فلزات را چندین برابر بیشتر از خاک در خود انباشته نموده‌اند (فرجندی و باستانی، ۱۳۹۰؛ فرجندی و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعه مشابهی به منظور بررسی پراکندگی عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی و خاک کانسار مس سونگون انجام شده است. تأکید اصلی این مطالعه بر روی تجمع فلزات سنگین از جمله مس، سرب، روی، آرسنیک در نمونه‌های گیاهی و خاک بوده تا بتوان نمونه‌های گیاهی که توانایی ذخیره‌سازی عناصر سنگین مذکور را در خود دارند، معرفی کرد. در تحقیق مذکور، گونه بابونه دارای بیشترین میزان تمرکز از فلزات سنگین به خصوص مس و

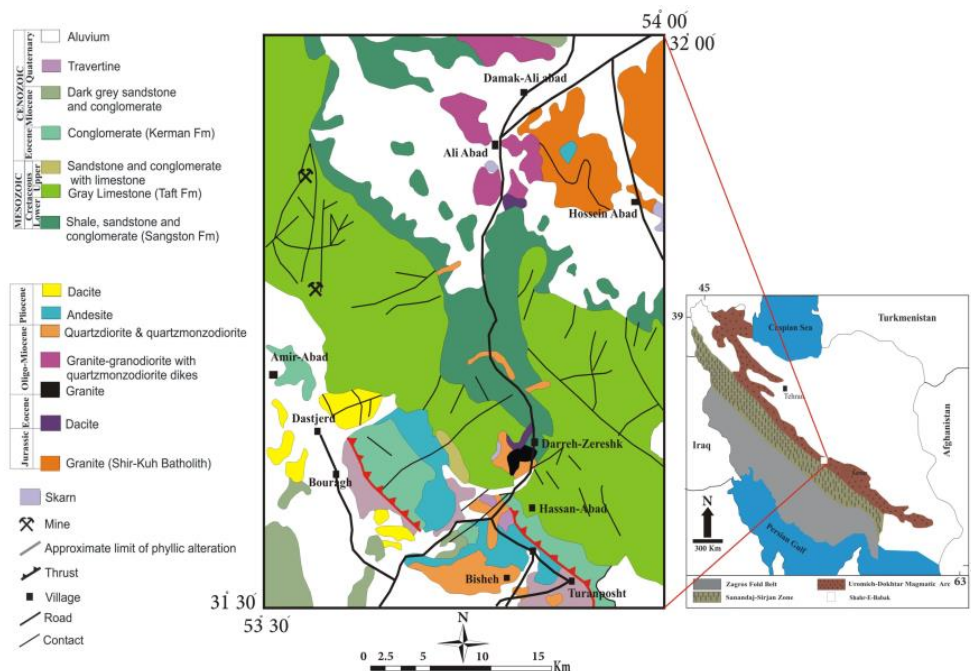
واحدهای سنگی با سن مزوزوئیک شروع شده، این سنگ‌ها تحت عنوان سازند سنگستان با سن ژوراسیک بالایی تا کرتاسه تحتانی، شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل‌های قرمز تا خاکستری تیره هستند (زراسوندی و همکاران، ۲۰۰۵؛ نبوی، ۱۹۷۲). سازند سنگستان به‌طور ناهم شیب به وسیله‌ی واحدهای کربناته به صورت لایه‌ای تا توده‌ای تحت عنوان سازند تفت پوشیده شده است. سنگ‌های رسوبی آتشفشانی ائوسن، اغلب با ترکیب توف ریولیتی در بخش شمالی و شمال شرقی نقشه دره زرشک رخنمون دارند، که غالباً به وسیله‌ی آلتراسیون آرژیلیک تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. ترادف مزوزوئیک-پالئوسن، به وسیله‌ی توده‌های نفوذی گرانیتی قطع شده‌اند (زراسوندی و همکاران، ۲۰۰۴) و سنگ‌های گرانیتوئیدی تیره‌تر با ترکیبی از دیوریت ریزدانه و کوارتز دیوریت تا کوارتز مونوزودیوریت در مرکز این توده نفوذی برونزد دارند و به عنوان زون کانی-سازی شده قلمداد می‌شوند (زراسوندی و همکاران، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۴) که در امتداد چند شکستگی بزرگ نفوذ کرده و زون‌های دگرسانی پروپیلیتی و آرژیلیکی را به وجود آورده‌اند (اسلامی‌زاده، ۱۳۸۱). نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی در سنگ‌های کربناته باعث تشکیل اسکارن و کانی‌سازی پراکنده مس و آهن شده است. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه دره زرشک (زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۴) را نشان می‌دهد.

منطقه مورد بررسی است. در این ارتباط علاوه بر نمونه‌برداری از خاک منطقه، گونه‌های مختلف گیاهی موجود در منطقه نیز شناسایی و از آنها نمونه‌برداری صورت گرفته و پس از آماده‌سازی برای عناصر مس، آهن، سرب و روی آنالیز شده‌اند. محاسبه و تجزیه و تحلیل خطای مراحل مختلف کار و تعیین بهترین روش آماده‌سازی و انحلال نمونه‌ها به منظور افزایش دقت روش نیز از دیگر اهداف این تحقیق بوده است.

### محدوده مورد مطالعه

#### زمین‌شناسی

منطقه معدنی دره زرشک در فاصله ۶۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان یزد و ۴۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان تفت در مسیر جاده یزد به شیراز واقع شده است. این کانسار در محدوده طول‌های جغرافیایی شرقی  $۵۳^{\circ}۴۵'$  تا  $۵۳^{\circ}۵۴'$  و عرض‌های شمالی  $۳۱^{\circ}۳۱'$  تا  $۳۱^{\circ}۴۲'$  (نیکولاس و کورنل، ۱۹۹۹) و در ارتفاع ۲۶۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. کانسار دره زرشک در محل تماس مرز غربی بلوک ایران مرکزی و زون ارومیه-دختر قرار گرفته است (زراسوندی و همکاران، ۲۰۰۵). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک و باتولیت گرانیتی شیرکوه به سن ژوراسیک هستند، که واحدهای پالئوزوئیک و تریاس منطقه را دگرگون کرده است. در بخش‌های غربی و شرقی کانسار دره زرشک تناوب



شکل ۱: بخشی از نقشه زمین‌شناسی محدوده دره زرشک (زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۴)

یافت می‌شود (ابراهیمی، ۱۳۹۱). مطالعات انجام شده در این تحقیق منجر به معرفی ۱۶ گونه مختلف گیاهی در منطقه شده است.

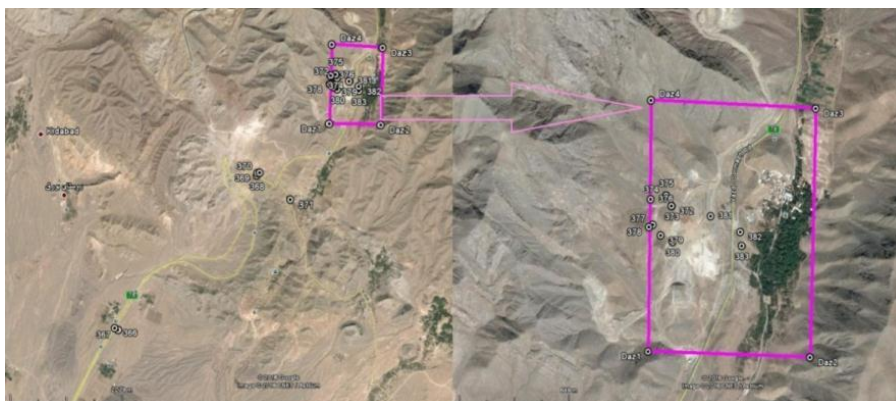
### مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه‌برداری از دو محیط خاک و گیاه انجام شده است. نمونه‌ها در یک دوره عملیات صحرایی در خردادماه ۱۳۹۵ از منطقه مورد مطالعه برداشت شدند. نمونه‌ها از ۱۹ ایستگاه، شامل ۳۲ نمونه خاک در دو فراکسیون ابعادی مختلف از افق B خاک و ۲۹ نمونه گیاه (۱۶ گونه مختلف)، برداشت شده‌اند. طراحی موقعیت نمونه‌ها به گونه‌ای بوده است که علاوه بر منطقه کانی‌سازی، وضعیت مناطق اطراف و

### آب‌وهوا و پوشش گیاهی

از نظر آب و هوایی محدوده دره زرشک جزء مناطق نیمه بیابانی است. بیشترین دما در تابستان در این منطقه، ۳۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت در تابستان ۱۵ درصد و زمستان ۳۰ درصد و میانگین بارندگی سالیانه برف ۷۰ میلی‌متر و باران تا ۶۰ میلی‌متر است (ابراهیمی، ۱۳۹۱). به دلیل آب و هوای خشک و قدرت تبخیر زیاد، پوشش گیاهی در منطقه ناچیز است. در دشت‌های منطقه گیاهان مرتعی متنوعی وجود دارند. این مراتع بیشتر دارای بوته‌های درمنه، گون، کرگیچ و اسپند می‌باشند. به دلیل کمبود بارندگی پوشش گیاهی فقیر است. گیاهان خودرو نظیر خارشتر، گون، درمنه، گز، اسپند، شیرین‌بیان و ... نیز در منطقه

خصوصاً مناطق بکر را نیز جهت محاسبه مقدار زمینی در بر گیرد (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت نمونه‌های گیاه و خاک برداشته شده از منطقه دره زرشک بر روی تصویر ماهواره‌ای

کلریدریک، اسید نیتریک، اسید هیدروفلوریک و اسید پرکلریک) حل شده و با روش دستگاهی جذب اتمی (AAS) برای عناصر مذکور آنالیز شدند. علت تفکیک نمونه‌های خاک به دو فراکسیون مختلف، بررسی نقش دانه‌بندی خاک در تمرکز عناصر و مقایسه غلظت عناصر در دو فراکسیون ابعادی مختلف و تعیین فراکسیون غنی شده است. هم‌چنین بررسی ارتباط میزان جذب عناصر توسط گیاه و فراکسیون ابعادی خاک نیز در این تحقیق مدنظر بوده است. قابل ذکر است که غلظت عنصر روی برای تمامی نمونه‌ها زیر حد قابل ثبت دستگاه بوده است. غلظت عنصر سرب در گیاهان نیز قابل ثبت نبوده ولی مقدار آن در خاک به روش سه اسید ثبت و به همراه عناصر مس و آهن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

### بحث و نتایج

محاسبه و تحلیل خطای مراحل مختلف براساس نمونه‌های تکراری به منظور کنترل کیفیت داده‌های آزمایشگاهی که از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات ژئوشیمیایی

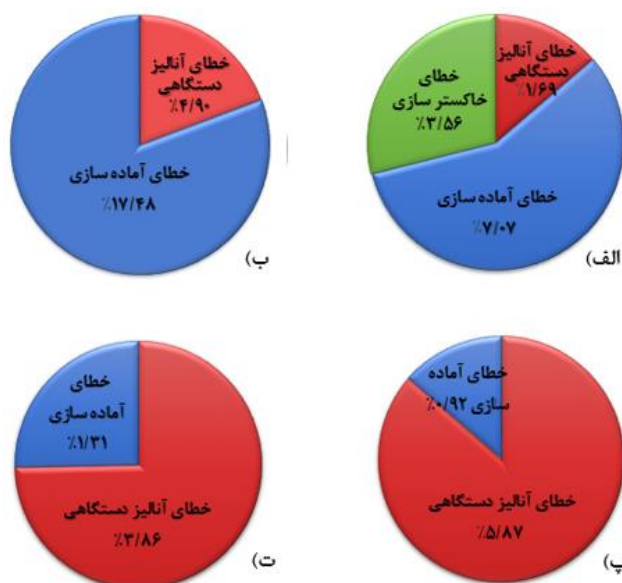
نمونه‌های گیاهی از اندام‌های هوایی گونه‌ها برداشت شده‌اند و به منظور آماده‌سازی نمونه برای آنالیز، به منظور حذف گرد و غبار ابتدا با آب مقطر شستشو شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و به وزن پایدار رسیدند، سپس در کوره با دمای ۴۷۵ درجه سانتی‌گراد خاکستر شدند و در تیزاب سلطانی (مخلوط سه حجم اسید کلریدریک غلیظ و یک حجم اسید نیتریک غلیظ) حل شدند و در نهایت با روش دستگاهی جذب اتمی (AAS) برای عناصر مس، آهن و سرب و روی آنالیز شدند. نمونه‌های خاک از افق B خاک برداشت شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا در دمای اتاق خشک شده سپس با الک ۸۰ و ۱۴۰ مش به دو فراکسیون ابعادی مختلف تفکیک شدند و نمونه‌های زیر سرند ۱۴۰ مش (۱۴۰- مش) و بالای سرند ۱۴۰ مش (۸۰- و ۱۴۰+ مش) به تفکیک ابتدا در تیزاب سلطانی (انحلال در مخلوط دو اسید) و سپس به روش‌های انحلال با سه اسید (مخلوط اسید کلریدریک، اسید نیتریک و اسید هیدروفلوریک) و چهار اسید (مخلوط اسید

ناشی از تغییر غلظت در قسمت‌های مختلف گیاه مورد بررسی باشد. گرچه این خطا و خصوصاً خطای مرحله آنالیز بسیار کم بوده و قابل اغماض می‌باشند. نمودار دایره‌ای بعدی، سهم خطای آنالیز دستگاهی و آماده‌سازی به روش دو اسید را در آنالیز خاک برای عنصر مس (شکل ۳ ب) نشان می‌دهد. در این مرحله نیز مشخص شده که میزان خطای آماده‌سازی (انحلال نمونه‌ها) از مرحله آنالیز دستگاهی به مراتب بیشتر است و باید برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک دقت بیشتری اعمال شود. لذا آماده‌سازی نمونه‌های خاک به روش سه و چهار اسید نیز انجام و با روش دو اسید مقایسه شده است (شکل‌های ۳ پ و ۳ ت). همان‌طور که ملاحظه می‌شود کم‌ترین سهم خطای آماده‌سازی مربوط به روش انحلال به شیوه سه اسید (۰/۹۲٪) است (شکل ۳ پ). با توجه به نمودارهای کنترلی ترسیم شده، براساس نتایج نمونه‌های تکراری گیاهان و خاک (شکل ۴) مشخص شد که توزیع نقاط رسم شده در این نمودار غالباً زیر خطوط ۹۰ و ۹۹٪ سطح اعتماد قرار گرفته‌اند، لذا خطای مراحل مختلف آماده‌سازی و اندازه‌گیری‌ها براساس آنالیز نمونه‌های تکراری در اغلب موارد کمتر از ۱۰ درصد برآورد می‌گردد. یعنی میزان تکرارپذیری نتایج و در واقع دقت اندازه‌گیری‌ها در تمامی مراحل قابل اطمینان است. تنها خطای مرحله آماده‌سازی (انحلال) نمونه‌های خاک به روش دو اسید در برخی نمونه‌ها بالاتر از ۱۰٪ است. لذا در چنین شرایطی، تغییر روش انحلال و استفاده از روش‌های انحلال سه یا چهار اسید توصیه می‌شود. بنابراین آماده‌سازی نمونه‌های خاک با روش ۳ اسید و ۴ اسید مجدداً انجام شد و

برخوردار است با تهیه نمونه‌های تکراری از مراحل مختلف عملیات شامل آماده‌سازی، انحلال و آنالیز دستگاهی، سعی شد تا خطای مراحل مختلف شناسایی و تحلیل گردد. به منظور تحلیل خطاها، از روش گرافیکی تامسون و هوارث استفاده گردید. در روش گرافیکی مذکور دقت اندازه‌گیری‌ها از طریق جفت نمونه‌های تکراری بررسی می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). برای محاسبه خطای مراحل مختلف، برای هر مرحله به طور مجزا نمونه‌های تکراری در نظر گرفته شده است. بدین صورت که برای نمونه‌های گیاهی، سه مرحله‌ی تکرار آزمایش شامل: آنالیز مجدد با دستگاه جذب اتمی، انحلال مجدد نمونه (انحلال خاکستر) و آماده‌سازی مجدد اولیه نمونه (از قسمت خشک کردن و خاکستر سازی) انجام شد و غلظت عنصر مس مجدداً توسط دستگاه قرائت گردید. برای نمونه‌های خاک نیز نمونه‌های تکراری در دو مرحله شامل: آنالیز دستگاهی و آماده‌سازی مجدد به صورت انحلال مورد تحلیل قرار گرفت. در شکل ۳ خلاصه نتایج تحلیل خطا و سهم تفکیک شده هر مرحله از خطا به صورت نمودارهای دایره‌ای ارائه شده است. با توجه به نمودار اول، خطای آنالیز دستگاهی، آماده‌سازی و خاکسترسازی در گیاه برای عنصر مس به تفکیک مشخص شده است (شکل ۳ الف) که میزان خطای آماده‌سازی (انحلال) از بقیه مراحل بیشتر است لذا باید در مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها (انحلال نمونه‌ها) دقت بیشتری اعمال شود. این مسئله می‌تواند ناشی از تفاوت در جنس ماتریکس و لذا اختلاف جزئی در زمان انحلال نمونه‌ها باشد. پس از آن خطای خاکسترسازی است که این نوع خطا ممکن است

براساس آنالیز نمونه‌های تکراری کمتر از ۱۰ درصد برآورد می‌گردد. با توجه به این موارد، روش ۳ اسید برای انحلال نمونه‌های خاک ترجیح داده می‌شود و در ادامه تمامی تحلیل‌ها براساس روش هضم ۳ اسید انجام گرفته است. تحلیل‌های بعدی نیز نشان داده‌اند که روش هضم سه اسید قادر بوده است مقدار بیشتری مس را از فازهای مختلف نمونه استخراج نماید.

با استفاده از نمونه‌های تکراری خطای این دو روش محاسبه و با خطای روش ۲ اسید مقایسه شد. با توجه به نمودارهای کنترلی ترسیم شده برای دو روش ۳ و ۴ اسید، براساس نتایج نمونه‌های تکراری خاک (شکل ۴) مشخص شد که نقاط رسم شده در این نمودار غالباً زیر خط ۹۰ و ۹۹٪ سطح اعتماد قرار گرفته‌اند، لذا خطای مراحل مختلف آماده‌سازی و اندازه‌گیری‌ها



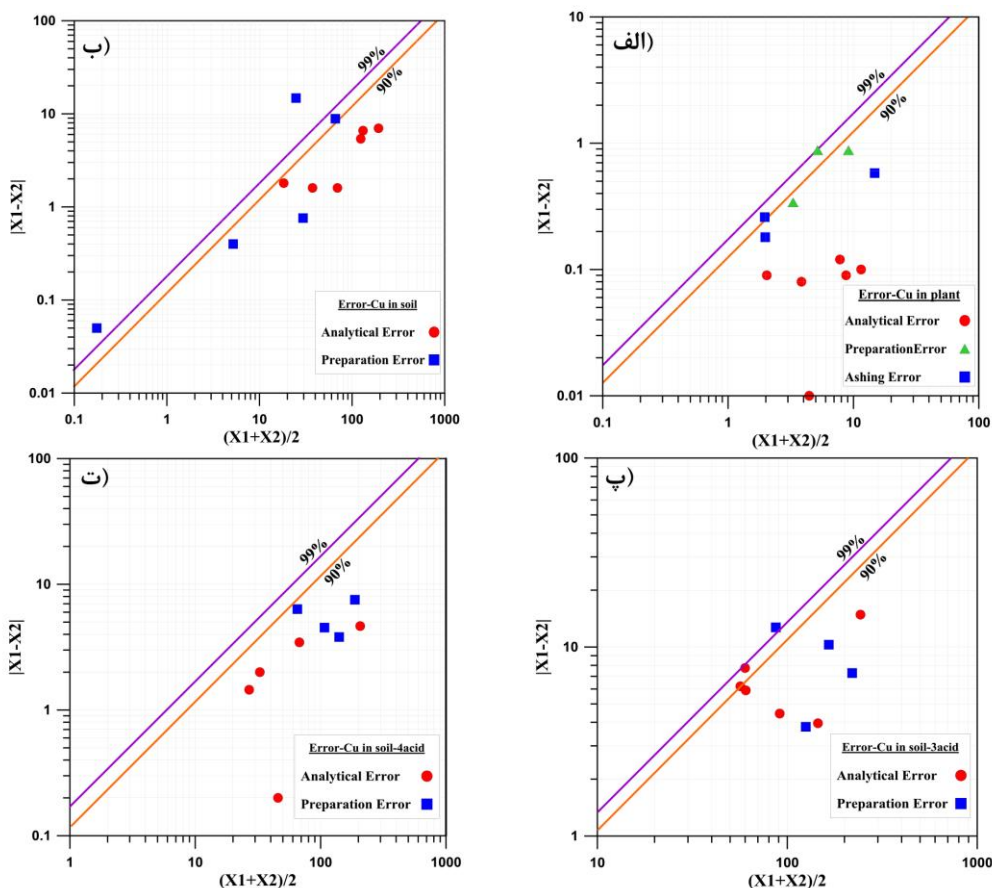
شکل ۳: سهم خطای مراحل مختلف آنالیز و آماده‌سازی نمونه‌ها: الف) مس در گیاه، ب) مس در خاک (روش ۲ اسید)، پ) مس در خاک (روش ۳ اسید)، ت) مس در خاک (روش ۴ اسید).

خاک از ۴۱۲۲ تا ۱۹۶۰۸ ppm و در نمونه‌های گیاه از ۶۸/۹ تا ۱۱۷۶/۹ ppm و غلظت عنصر سرب در نمونه‌های خاک از ۰/۷ تا ۱۴۹۹/۸ ppm تغییر می‌کنند. همان‌طور که در بخش قبل نیز ذکر شد، غلظت عنصر روی در نمونه‌ها زیر حد قابل ثبت دستگاه بوده است.

#### تحلیل‌های آماری توزیع عناصر در گیاهان و خاک

پارامترهای آمار توصیفی عناصر مس، آهن و سرب در گیاهان و خاک از قبیل میانگین، میانه، انحراف استاندارد و مقادیر حداقل و حداکثر به صورت جدول آماری ارائه شده است (جدول ۱). غلظت عنصر مس در نمونه‌های خاک بین ۴۶/۶ تا ۲۲۵/۳ ppm و در نمونه‌های گیاه از ۱/۵۴ تا ۱۵/۰۷ ppm و غلظت عنصر آهن در نمونه‌های





شکل ۴: نمودار کنترل کیفیت نتایج آزمایشگاهی در خطای مجاز ۱۰٪ (در سطوح اعتماد ۹۰ و ۹۹ درصد) برای آنالیز عنصر مس در: الف) نمونه های گیاهی، ب) نمونه های خاک (روش انحلال ۲ اسید)، پ) نمونه های خاک (روش انحلال ۳ اسید) و ت) نمونه های خاک (روش انحلال ۴ اسید).

جدول ۱: پارامترهای آمار توصیفی عناصر مس، آهن و سرب در گیاهان و خاک منطقه مطالعاتی (تمامی اعداد بر حسب ppm)

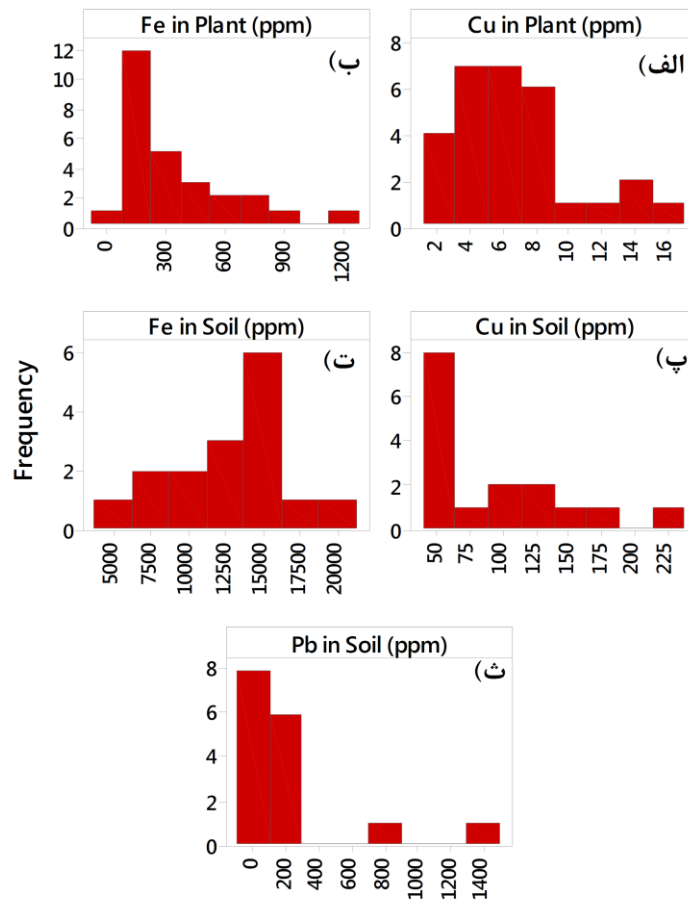
|                | مس در گیاهان | مس در خاک | آهن در گیاهان | آهن در خاک | سرب در خاک |
|----------------|--------------|-----------|---------------|------------|------------|
| Mean           | ۶/۵۶۷        | ۹۴/۶      | ۳۳۵/۸         | ۱۳۶۴۳      | ۲۱۶/۱      |
| Median         | ۶/۱۴         | ۶۴/۲      | ۲۳۷/۴         | ۱۴۰۳۸      | ۹۷/۷       |
| StDev          | ۳/۵۹۳        | ۵۴/۱      | ۲۸۷/۱         | ۳۵۳۰       | ۳۹۳/۱      |
| Minimum        | ۱/۵۴         | ۴۶/۶      | ۶۸/۹          | ۴۱۲۲       | ۰/۷        |
| Maximum        | ۱۵/۰۷        | ۲۲۵/۳     | ۱۱۷۶/۹        | ۱۹۶۰۸      | ۱۴۹۹/۸     |
| Q <sub>1</sub> | ۵/۴۳         | ۵۵/۸      | ۱۰۹/۹         | ۱۲۸۸۴      | ۵/۷        |
| Q <sub>3</sub> | ۸/۴۷         | ۱۳۱/۳     | ۳۹۴/۶         | ۱۵۳۳۲      | ۲۱۲/۸      |

تجربه مطالعات گذشته نشان داده است که مقدار متوسط عنصر مس موجود در بسیاری از گیاهان مختلف مورد استفاده در اکتشاف بیوژئوشیمیایی معمولاً در محدوده ۵-۸ ppm تغییر می‌کند و مقدار آن بر روی زون کانی‌سازی به ده‌ها ppm مس افزایش می‌یابد (دان، ۲۰۰۷). در شکل ۵ هیستوگرام فراوانی برخی عناصر در گیاه و خاک به عنوان نمونه ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود توزیع عنصر مس در هر دو محیط به خصوص در محیط خاک از عدم تقارن و چولگی بالایی برخوردار است و این نشان دهنده وجود نمونه‌های آنومال یا بی‌هنجار از مس به خصوص در نمونه‌های خاک است که همگی بر روی زون کانی‌سازی منطبق گشته‌اند. توزیع عنصر مس در گیاه با توجه به هیستوگرام آن نشان از دو جامعه‌ای بودن آن دارد. لذا گیاهان موجود در منطقه را احتمالاً می‌توان از جنبه میزان جذب مس به دو گروه مختلف تفکیک نمود. توزیع عنصر آهن به خصوص در خاک از توزیع یکنواخت تری برخوردار است. توزیع عنصر سرب در خاک به شکل توزیع نمایی با چولگی مثبت بالا و دو نمونه کاملاً خارج از ردیف و آنومال ظاهر شده است که نمونه‌های آنومال کاملاً منطبق بر زون کانی‌سازی می‌باشند.

#### ضریب همبستگی عناصر در نمونه‌های خاک و گیاه

ضریب همبستگی بین عناصر مختلف در خاک و گیاهان منطقه دره زرشک براساس روش اسپیرمن، محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است. با تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از جدول و

نمودارهای همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که بین غلظت مس در گیاهان منطقه و غلظت آن در خاک همبستگی ضعیف مثبتی وجود دارد که این همبستگی با فراکسیون ابعادی ۱۴۰- مش خاک بیشتر است. لذا این‌طور می‌توان استنباط کرد که گیاهان موجود در منطقه کلاً جاذب خوبی برای عنصر مس نیستند. این گیاهان همگی گیاهان مرتعی با ریشه کوتاه و بعضاً فصلی هستند و نمی‌توانند عنصر مس را از اعماق خاک جذب نمایند. همین مسئله برای عنصر آهن نیز صادق است و یک همبستگی مثبت ضعیف بین آهن موجود در گیاه با آهن موجود در خاک وجود دارد که این همبستگی با فراکسیون ابعادی ۱۴۰- مش خاک به مراتب بیشتر است. نکته قابل توجه در جدول مذکور، وجود همبستگی مثبت و نسبتاً قابل توجهه (+۰/۸۸) بین غلظت آهن موجود در گیاه و مس موجود در خاک است که نشان می‌دهد بین جذب آهن توسط گیاه و مس موجود در خاک ارتباط معنی‌داری وجود دارد. این ارتباط را شاید بتوان این‌چنین توصیف کرد که در زون اکسیداسیون کانی‌سازی مس، آهن از شبکه کانه‌های سولفیدی به راحتی آزاد و به شکل لیمونیت و گوتیت در آمده و به خوبی توسط ریشه گیاه در زون‌های سطحی خاک جذب می‌شود. این در حالی است که در زون‌های دیگر که فقیر از کانی‌سازی است، آهن به اشکال دیگر به خصوص در شبکه کانی-های سیلیکاته حضور داشته و به راحتی توسط گیاه جذب نمی‌گردد.



شکل ۵: هیستوگرام غلظت: الف) مس در گیاه، ب) آهن در گیاه، پ) مس در خاک و ت) آهن در خاک و ث) سرب در خاک.

BAC به پنج گروه تقسیم می‌کنند: (فرجندی و باستانی، ۱۳۹۲)  
 ۱) جذب شدید (BAC: ۱۰-۱۰۰)  
 ۲) جذب قوی (BAC: ۱-۱۰)  
 ۳) جذب متوسط (BAC: ۰/۱-۱)  
 ۴) جذب ضعیف (BAC: ۰/۱-۰/۰۱)  
 ۵) جذب خیلی ضعیف (BAC: ۰/۰۰۱-۰/۰۱).  
 به‌طور کلی عناصری با ضریب جذب نسبتاً پایین تمایل شدیدی به جذب سطحی شدن توسط

ضریب جذب زیست شناختی عناصر مس و آهن در گیاهان  
 ضریب جذب زیست شناختی (BAC) عناصر برابر است با نسبت غلظت عنصر در خاکستر گیاه به غلظت عنصر در خاک. این ضریب یک روش مناسب در بیان سهولت نسبی جذب عناصر موجود در خاک توسط گیاهان و انباشت در اندام‌های آنها است. گیاهان را بر پایه مقدار

درشت‌تر باشد مقدار عناصر بیشتری را در اختیار گیاه قرار می‌دهد، با توجه به نمودارهای عنکبوتی ارائه شده در شکل ۶ شامل تغییرات عنصر مس در خاک (شکل ۶ الف) و آهن در خاک (شکل ۶ ب) این مطلب به خوبی نشان داده شده است. مقدار عنصر موجود در نمونه‌های ۱۴۰+ از مقدار عنصر موجود در نمونه‌های ۱۴۰- غالباً کمتر است که نشان دهنده جذب بهتر عناصر مس و آهن موجود از ذرات ۱۴۰+ توسط گیاه است. در شکل ۶ پ غلظت مس استخراجی از خاک با سه روش انحلال دو، سه و چهار اسید در نمونه‌های مختلف داخل و خارج کانی‌سازی با یکدیگر مقایسه شده- اند. این نمودار نشان داده است که روش انحلال سه اسید از قدرت هضم بالاتری در تمام نمونه‌ها برخوردار بوده است. هم‌چنین در شکل ۶ ت، غلظت مس در نمونه‌های گیاه با غلظت آن در خاک و میزان آنها با غلظت آهن در نمونه‌های گیاه مقایسه شده است.

#### نقشه پراکندگی عناصر و هاله‌های ژئوشیمیایی

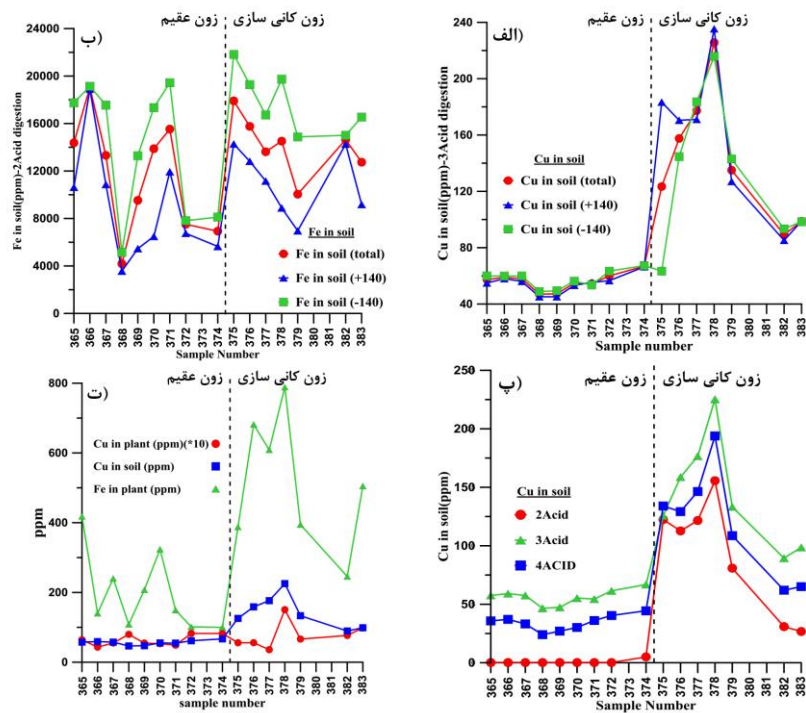
براساس نتایج آنالیزهای انجام شده و تعیین غلظت عناصر در نمونه‌های خاک و گیاه، نقشه پراکندگی و هاله‌های ژئوشیمیایی عناصر به تفکیک عنصر و محیط نمونه‌برداری ترسیم و در شکل ۷ ارائه شده است. با توجه به این شکل، توزیع عنصر مس در گیاه و به خصوص در خاک به خوبی توانسته موقعیت زون کانی‌سازی را منعکس سازد.

ذرات جامد خاک (رس‌ها) را دارند. این ضریب برای گیاهان موجود در منطقه نسبت به محیط خاک موجود محاسبه شده و به صورت جدول ارائه شده است (جدول ۳). با توجه به ضریب جذب محاسبه شده و میزان غلظت مس موجود در گیاهان و خاک می‌توان بیان کرد که گیاهانی که به دور از زون کانی‌سازی قرار دارند به دلیل کم بودن مس موجود در خاک، تمام مس موجود را جذب کرده‌اند و میزان مس در خاک کاهش یافته و خاک از این عنصر فقیر شده است. لذا در زون فاقد کانی‌سازی میزان جذب برای عنصر مس متوسط تا قوی بوده است. این در حالی است که در زون کانی‌سازی، با وجود غنی شدن مس در خاک، گیاهان تمایلی به جذب بیشتر از خود نشان نداده لذا این ضریب در زون کانی‌سازی نیز تغییر چندانی نکرده است. به عنوان مثال گونه گیاه سازو بیشترین ضریب جذب بیولوژیکی عنصر مس را به خود اختصاص داده است. لذا می‌تواند به عنوان یک انباشتگر نسبتاً قوی در منطقه مطرح گردد. هرچند فراوانی و پراکندگی این گونه در منطقه کم است. در مورد عنصر آهن نیز تمامی گیاهان رفتار یکسانی نشان داده و جذب متوسطی از خود بروز داده‌اند.

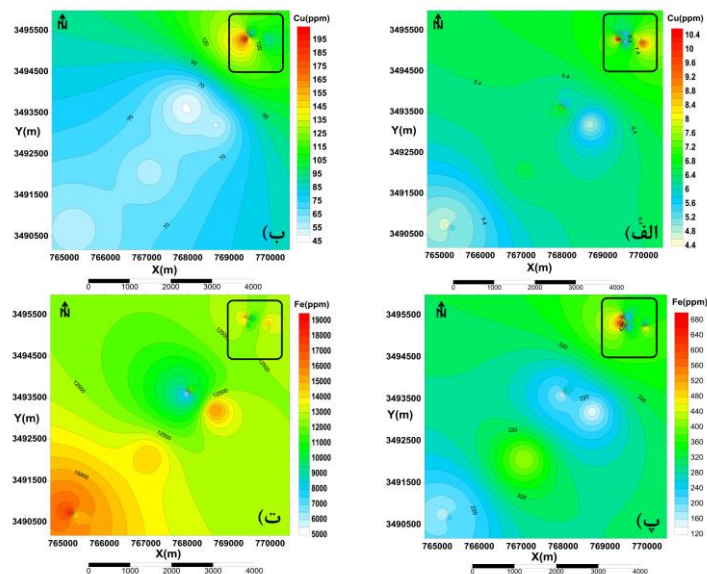
#### میزان جذب در گیاه با توجه به بافت خاک

هرچه بافت خاک ریزتر باشد به خاطر چسبندگی عناصر به ذرات رسی مقدار عناصر در گیاهان کمتر خواهد بود. در شرایط مشابه از مقدار خاک و مقدار عناصر جزئی، هر چه بافت خاک دانه





شکل ۶: نمودارهای غلظت عناصر در نمونه‌های مختلف در زون کانی سازی و فاقد کانی سازی (عقیم): (الف) میزان تغییرات غلظت مس در دو فراکسیون ۱۴۰- مش و ۱۴۰+ مش نمونه‌های خاک و عیار کل (ب) میزان غلظت آهن در دو فراکسیون ۱۴۰- مش و ۱۴۰+ مش نمونه‌های خاک و عیار کل (پ) مقایسه غلظت مس استخراجی از خاک به سه روش انحلال ۲، ۳ و ۴ اسید، (ت) مقایسه میزان غلظت مس در نمونه‌های گیاه، خاک و میزان غلظت آهن در نمونه‌های گیاه.



شکل ۷: نقشه‌های هم‌غلظت و هاله‌های ژئوشیمیایی: (الف) مس در گیاه، (ب) مس در خاک، (پ) آهن در گیاه، (ت) آهن در خاک، (محدوده معدن دره زرشک با کادر مشکی در نقشه مشخص شده است).

از وجود فازهای مختلف در نمونه و قدرت انحلال متفاوت فازها باشد. لذا برای بالا بردن دقت مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها از روش انحلال سه و چهار اسید نیز استفاده گردید و مشخص شد روش انحلال ۳ اسید مناسب‌ترین روش انحلال نمونه-های خاک است و بیشترین قدرت هضم و استخراج مس را نشان می‌دهد. توزیع عنصر مس در خاک نشان داد که هیستوگرام این عنصر از چولگی بالایی برخوردار است و این توزیع غیر یکنواخت می‌تواند دال بر وجود مناطق آنومال و بی‌هنجاری مس در منطقه باشد. این توزیع در مورد نمونه‌های گیاهی از یکنواختی بیشتری برخوردار است. گرچه توزیع این عنصر در گیاهان از دو جامعه مجزا تشکیل شده است که نشان می‌دهد رفتار گونه‌های مختلف گیاهی در جذب و تمرکز عنصر مس متفاوت است. تحلیل بافت خاک نشان داد که هرچه بافت خاک ریزتر باشد به خاطر چسبندگی عنصر مس و آهن به ذرات رسی موجود، مقدار عناصر مشکل‌تر جذب گیاه شده و مقدار آن در گیاهان کمتر خواهد بود. میزان جذب عنصر مس توسط گیاه، بستگی به متابولیسم گیاه دارد و رابطه بین خاک و گیاه در مورد این عنصر یک به یک نمی‌باشد. با توجه به میزان غلظت مس موجود در گیاهان و خاک می‌توان بیان کرد که گیاهانی که خارج از زون کانی-سازی قرار دارند به دلیل کم بودن مس موجود در خاک، تمام مس موجود در خاک را به عنوان یک عنصر مورد نیاز جذب کرده‌اند و باعث شده‌اند که میزان مس در خاک فقیر و ناچیز شود. این در حالی است که در زون کانی‌سازی به دلیل بالا بودن میزان عنصر مس در خاک، میزان جذب عنصر مس تا حد مورد نیاز صورت گرفته است. این مسئله باعث شده است تا ضریب جذب زیست

توزیع عیاری مس در گیاهان موجود در منطقه (شکل ۷ الف) از پراکندگی فضایی بیشتری برخوردار بوده ولی توزیع این عنصر در خاک (شکل ۷ ب) از تمرکز بیشتری به خصوص در زون کانی‌سازی (کادر مشکی در بخش شمال شرقی منطقه) برخوردار است و بهتر توانسته تا زون کانی‌سازی را از سایر مناطق فاقد کانی‌سازی مجزا و تفکیک نماید. توزیع عنصر آهن در گیاه و خاک (اشکال ۷ پ و ت)، رفتار متفاوت‌تری را نشان داده است. جالب توجه است که تمرکز این عنصر در گیاه (شکل ۷ پ) با زون کانی‌سازی منطبق بوده که این مسئله با همبستگی این عنصر در گیاه با مس در خاک نیز تایید شده بود. پراکندگی آهن در خاک رفتار کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد و هیچ‌گونه ارتباطی با زون کانی‌سازی ندارد. به گونه‌ای که بیشترین تمرکز این عنصر در خاک در بخش جنوب غربی این نقشه (شکل ۷ ت) مشاهده می‌گردد که کاملاً دور از زون کانی‌سازی مس است. اگرچه تمرکزهای موضعی از این عنصر در مناطق کانی‌سازی شده نیز بعضاً به چشم می‌خورد ولی از نظر عیاری ارزش‌چندانی ندارد.

### نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که عناصر مختلف در خاک و گیاه رفتار متفاوتی بروز می‌دهند. تحلیل خطای مراحل مختلف آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها براساس نمونه‌های تکراری نشان داد خطای مراحل مختلف در محدوده قابل قبول قرار دارد و دقت روش‌های استفاده شده در سطح اعتماد معین قابل قبول است. هرچند که برای هر دو عنصر مس و آهن، خطای مرحله انحلال به روش دو اسید از سایر مراحل بیشتر بوده است. این مسئله می‌تواند ناشی

به عنوان گونه معرف تعیین گردد. این گونه به دلیل فراوانی و پراکندگی بهتر به عنوان مناسب ترین گونه جهت اکتشافات بیوزئوشیمیایی در منطقه معرفی می‌گردد. چرا که توانسته است بیشترین اختلاف معنی دار را بین زون کانی‌سازی و زون عقیم از خود نشان دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بهترین روش اکتشاف ژئوشیمیایی در این منطقه، استفاده از روش لیتوزئوشیمیایی ثانویه و بهره‌گیری از نمونه‌های خاک با جزء ابعادی زیر ۱۴۰ میکرون است که از افق B خاک برداشت شده و برای عنصر مس آنالیز می‌گردد. این فراکسیون ابعادی بیشترین تمرکز و بیشترین ضریب اختلاف را در زون کانی‌سازی نسبت به زون فاقد کانی‌سازی ایجاد می‌نماید. اگرچه عنصر آهن در خاک این منطقه فقیر است ولی به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه مطرح می‌باشد و تمرکز این عنصر در گیاه و بررسی تغییرات آن در گیاهان موجود در منطقه نیز به خوبی توانسته زون کانی‌سازی مس را از مناطق فاقد کانی‌سازی تفکیک کند و به عنوان یک ردیاب مناسب اکتشافی در اکتشافات بیوزئوشیمیایی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

شناختی مس بسته به نوع گونه و متابولیسم آن و موقعیت نمونه از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر تغییر کند و مقدار ثابت و مشخصی نداشته باشد. عدم همبستگی میزان عنصر مس در خاک با میزان آن در گیاه ناشی از همین مسئله است. تغییرات غلظت عنصر مس در خاک به مراتب از تغییرات آن در گیاه بیشتر است و غلظت مس در خاک به خوبی توانسته است زون کانی‌سازی را از زون فاقد کانی‌سازی یا عقیم تشخیص دهد. این در حالی است که تغییر غلظت مس در گیاه از یکنواختی بالاتری برخوردار است. اگرچه در تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام شده، تغییرات این عنصر به وضوح دو جامعه آماری مجزا را نشان می‌دهد ولی تفکیک زون کانی‌سازی با استفاده از تمامی گونه‌های مطالعه شده به راحتی مقدور نمی‌باشد. مقایسه ضریب جذب زیست شناختی یا ضریب انتقال در داخل و خارج زون کانی‌سازی نشان داد که گونه گیاهی سازو می‌تواند به عنوان یک گیاه انباشتگر معرفی شود. گیاه درمنه اگرچه جذب بالایی در منطقه عاری از کانی‌سازی دارد ولی در زون کانی‌سازی به عنوان یک گونه اجتناب‌گر عمل نموده است. هم‌چنین گونه کرفیج می‌تواند

## پانویس

### 1-Biological Absorption Coefficient

مس وابسته آن"، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.  
-تقی پور، ب.، همتی، م. و پیروزنیا، ن.، ۱۳۹۱.  
زمین شیمی و بررسی رفتار فلزات سنگین (Pb، As، Zn، Cu) در نمونه‌های گیاهی و خاک کانسار مس سونگون و ارتباط آن با کانه‌زایی مس، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.  
-حسینی پاک، ع.ا.، ۱۳۶۲. اصول اکتشافات

### منابع

-ابراهیمی، ن.، ۱۳۹۱. بررسی اثرات آلودگی معدنکاری مس و ارائه راهکار به منظور کاهش آلودگی زیست محیطی (مطالعه موردی معدن مس دره زرشک)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.  
-اسلامی زاده، ع.، ۱۳۸۱. پترولوژی سنگ‌های آذرین علی‌آباد و دره زرشک ناحیه یزد و کانه زایی



روش نوین اکتشافات بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی برای کشف کانه‌زایی با نگرشی ویژه به مسجد داغی جلغا، سی امین گردهمایی علوم زمین -فرجندی، ف. و باستانی، ح.، ۱۳۹۲. استفاده از روش نوین اکتشافات بیوژئوشیمیایی به منظور پی‌جویی کانه‌زایی مس، سرب و روی در محدوده مسجد داغی جلغا (آذربایجان شرقی)، علوم زمین، شماره ۸۷، ص ۵۱-۶۴.

-مدنی، ح.، ۱۳۶۸. اصول پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی، انتشارات خانه فرهنگ، ۸۳۲ ص.

ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۲۱ ص.

-حسینی پاک، ع.ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص.

-زراسوندی، ع.، سامانی، ب.، پورکاسب، ه.، خورسندی، ز. و جلیلی، ی.، ۱۳۹۴. بررسی ارتباط ساختاری-زایشی کانی‌سازی مس در مناطق خضرآباد و شهرابک: با استفاده از آنالیزهای Fry و Fractal، مجله زمین‌شناسی اقتصادی شماره ۲، جلد ۷، ص ۳۸۵-۴۰۲.

-فرجندی، ف. و باستانی، ح.، ۱۳۹۰. استفاده از

-Arne, D.C., Stott, J.E. and Waldron, H.M., 1999. Biogeochemistry of the Ballarat East goldfield, Victoria, Australia, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 67, p. 1-14.

-Brooks, R.R., Dunn, C.E. and Hall, G.E.M., 1995. Biological Systems in Mineral Exploration and Processing, Ellis Horwood Limited, Hertfordshire", *Chemical Engineering Journal*, v. 156, p. 286-297.

-Cutter, G.A., 2005. Biogeochemistry: now and into the future, *Geobiology: Objectives, Concepts, Perspectives*, p. 191-198.

-Dunn, C.E., 2007. Biogeochemistry in Mineral Exploration, *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, p. 1-460.

-Farjandi, F., Faiziev, A., Fozilov, M., Bastani, H. and Soleimani, S., 2013. The application of biogeochemistry for gold exploration in the Masjed-Daghi, Julfa, NW Iran, *Arab J Geosci*, v. 6, p. 1435-1446.

-Ghaderian, S.M. and Ghotbi Ravandi, A.A., 2012. Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran, *Journal of Geochemical*

*Exploration*, v. 123, p. 25-32.

-Hulme, K.A. and Hill, S.M., 2003. River red gums as a biogeochemical sampling medium in mineral exploration and environmental chemistry programs in the Curnamona Craton and adjacent regions in NSW and SA, *Advances in Regolith*, p. 205-210.

-Nabavi, M.H., 1972. Geologic map of Yazd quadrangle, scale 1:250,000: Tehran, Iran, Geological Survey of Iran.

-Nicolescu, D. and Cornell, D.H., 1999. P-T Conditions During Skarn Formation in the Ocna De Fier Ore District, *Romanian Journal of Mineral Deposits*, v. 34, p. 730-742.

-Park, J.Y., Jeon, S.H., Kim, J.N. and Chon, H.T., 2014. A biogeochemical orientation study in Mo skarn deposits, Jecheon district in Korea, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 146, p. 9-16.

-Zarasvandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2005. geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran, *International Geology Review*, v. 47, p. 620-646.

-Zarasvandi, A., Liaghat, S. and

Zentilli, M., 2004. Evolution of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, central Iran, within an orogen-parallel strike-slip

system [abs.], in 30th Annual Meeting of Atlantic Geoscience Society, January 30–31, Moncton, New Brunswick, Canada.