نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن "
Iranian Journal of Mining Engineering
*(IRJME)*

دوره دهم، شماره ۲۷، سال ۱۳۹۴، صفحه ۸۱تا ۹۴
Vol. 10, No. 27, 2015, pp.81-94

# ارزیابی تأثیر معدن متروکه مس چغندر سر بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه (جنوب غرب عباس آباد)

**بهناز دهر آزما*[۱] ، شمسی رحمتی[۲]، حمیدرضا اصغری[۳]، محمود صادقیان [۴]**

۱- دانشیاردانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود behnaz_dahrazma@shahroodut.ac.ir
۲- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه شاهرود shamcirahmati@yahoo.com
۳ - دانشیاردانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه شاهرود Hamidasghari@gmail.com
۴ – دانشیاردانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود Sadeghianm1386@yahoo.com
(دریافت ۱۹ دی ۱۳۹۳، پذیرش ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۴)

**چکیده**

**کانسار مس و معدن متروکه چغندرسر در جنوب غرب عباس آباد، در شرقی‌ترین بخش استان سمنان واقع شده است. هدف تحقیق حاضر ارزیابی غلظت سرب، روی، مس، منگنز و نیکل در خاک و گیاهان بومی منطقه معدنی چغندرسر است. برای بررسی تأثیر منطقه معدنی مس چغندرسر بر آلودگی خاک منطقه، سه ایستگاه نمونه‌برداری برای خاک و گیاه شامل: بالادست منطقه معدنی متروکه (شاهد)، منطقه معدن‌کاری متروکه و پائین‌دست منطقه معدنی متروکه انتخاب شد. غلظت این عناصر با استفاده از آنالیز ICP-OES اندازه‌گیری شد. همچنین پارامترهای pH ،EC ،CEC, کربنات کلسیم و مواد آلی، درصد ماسه ، سیلت و رس در نمونه‌های خاک نیز تعیین شد. نتایج نشان دادند که حضور کانسار بر پراکنش غلظت عناصر مس، سرب، روی و منگنز (به استثنا نیکل) در خاک مؤثر بوده و بالاترین غلظت این عناصر در منطقه معدنی متروکه مشاهده شد. همچنین با هدف ارزیابی تأثیر حضور کانسار مس بر تجمع فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی بومی منطقه، با توجه به تراکم و تاج پوشش و فراوانی گونه‌ها، پنج گونه گیاهی شامل اسپند[۱]، درمنه دشتی[۲]، افدرا[۳] ، قیچ[۴] و کاروانکش[۵] برای بررسی انتخاب شد. غلظت این عناصر در نمونه-های گیاهی (اندام‌های هوایی و زمینی) با دستگاه جذب اتمی تعیین شد. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت مس در اندام زمینی درمنه (۵۲/۴۸ mg/kg) در منطقه معدنی متروکه است. محاسبه شاخص‌های بیوژئوشیمیایی نشان داد که بیشترین میزان فاکتور انتقال مربوط به عنصر منگنز در افدرا (۳/۲۹) است و بیشترین میزان فاکتور تمرکز زیستی مربوط به عنصر سرب در کاروانکش (۰/۴۸) است. به‌طور کلی حضور کانسار مس و معدن متروکه بر توزیع غلظت عناصر مورد بررسی به جز نیکل درخاک و گیاهان بومی منطقه مؤثر بوده است.**

**کلمات کلیدی**

**معدن متروکه مس، خاک، گیاهان بومی، فلزات سنگین، چغندرسر**

*نویسنده مسئول مکاتبات

## ۱- مقدمه

خاک از یک سو محیطی برای ته نشست ژئوشیمیایی آلاینده‌ها فراهم می‌کند و از سوی دیگر به‌عنوان واسطه طبیعی، انتقال مواد و عناصر شیمیایی به هواکره ، آبکره و موجودات زنده اعم از گیاهان و جانوران را کنترل می-کند[۱]. اهمیت خاک برای بشر از آن روست که به‌طور مستقیم به‌عنوان منبع حفاظت و تولید غذا و به‌طور غیر مستقیم از طریق درهم کنش و ارتباط با اتمسفر، بیوسفر و هیدروسفر بر سلامت بشر اثر گذار است[۲]. خاک علاوه بر اینکه محیط رشد گیاه است بسیاری از آلاینده ها از جمله فلزات بالقوه سمی را به هواکره، زیست کره و منابع آبی منتقل می‌کند[۳].

مشکلات زیست محیطی ناشی از حضور فلزات سنگین در محیط ناشی از پایداری آن‌ها در محیط زیست است. این عناصر برخلاف مواد آلی آلاینده از طریق فرایندهای شیمیایی و زیستی قابل تجزیه نیستند. این فلزات پس از ورود به بدن جانداران در بافت‌های بدن موجودات زنده مجتمع شده و در غلظت‌های بسیار بیشتری در سطوح بالاتر زنجیره غذایی انباشت می‌شوند. همچنین فلزات سنگین با جایگزینی به جای املاح و مواد معدنی مورد نیاز بدن جانداران موجب به خطر افتادن سلامت آنان می-شوند[۴]. ذخایر طبیعی فلزی مهم‌ترین منبع آزادسازی این عناصر به محیط هستند[۵] . آلودگی خاک با فلزات سنگین ناشی از معادن سبب کاهش کیفیت و سلامت خاک می‌شود که این امر برای سلامت گیاه و به دنبال آن انسان مضر است[۶].

با در نظر گرفتن روند تکاملی صنعت معدن‌کاری فعال و بهره‌برداری از معادن بکر و هم‌چنین با توجه به پتانسیل معدنی بالای کشور و نیاز شدید به تولیدات معادن، نظارت زیست‌محیطی بر معادن استخراج شده و متروکه امری ضروری است[۷]. شرایط زمین‌شناسی ایران از لحاظ زمین ساخت و تحمل فازهای مختلف کوهزایی باعث پیدایش انواع فرایندهای ولکانیسم، پلوتونیسم، متامرفسیم، دگرشکلی‌های نظیر چین‌ها، گسل‌ها، شکستگی‌ها شده-است. این ویژگی‌های زمین‌ساختی، فرسایش و همچنین پدیده‌های مختلف رسوبی به تشکیل کانسارهای مختلفی چه از خواستگاه ماگمایی و چه از خواستگاه دگرگونی و رسوبی در منطقه ساختاری ایران شده‌است[۸]. از جمله کانسارهای فلزی با گسترش بالا در ایران، کانسار مس است[۹].

عملیات استخراج فلزاتی که در کانسار عیار پائینی دارند، منجر به تولید مقدار بسیار زیادی سنگ باطله در محیط می‌شود، به‌طوری که فعالیت‌های معدن‌کاری سالانه در سطح جهان تولید هزاران میلیون تن سنگ باطله را در پی دارد[۱۰]. باطله‌های معدنی اغلب حاوی میزان بالایی از برخی فلزات کمیاب چون کادمیوم، آرسنیک، مس، منگنز، سرب و روی است[۱۱]. خاک‌های نزدیک مناطق اکتشاف معدنی قدیمی می‌توانند غلظت‌های بالایی از فلزات کمیاب داشته باشند که برای تشخیص و ارزیابی خطرات بالقوه زیست محیطی آن‌ها اغلب می‌توان از غلظت کل فلزات استفاده کرد[ ۱۳-۱۲].

اگرچه با به کارگیری روش‌ها و تجهیزات مدرن در مراحل معدن‌کاری می‌توان تا حد زیادی از آلوده شدن محیط زیست به فلزات سمی و ترکیبات آن‌ها پیشگیری کرد، با این حال در اثر فرایندهایی چون فرسایش بادی یا آبی که شستشو و انتقال عناصر و توزیع آن‌ها را در پی دارد، یا ضمن حمل و نقل و ذخیره‌سازی مواد معدنی این عناصر وارد محیط می‌شوند. گیاهان عناصر غذایی مورد نیاز خود را به‌صورت یون‌های معدنی از خاک جذب می‌کنند. مواد - معدنی به‌طور مداوم بین موجودات زنده درگردش هستند و ورود آن‌ها به کره حیات (بیوسفر) از طریق ریشه گیاهان انجام می‌شود. عناصر کم‌مصرف و پرمصرف ضروری، برای زندگی گیاه اهمیت دارند و بدون آن‌ها گیاه قادر به تکمیل چرخه رویشی و زایشی خود نیستند[۱۴-۱۶].

با توجه با احتمال بالای آلودگی خاک با فلزات سنگین در مناطق فعال معدن‌کاری و محدوده مناطق معدنی متروکه و قابلیت گیاهان بومی و زراعی منطقه به جذب این فلزات به بافت‌های گیاهی (اندام‌های هوایی و زمینی)، بنابراین احتمال آلودگی و افزایش غلظت این فلزات در گیاهان بالا است[۱۷]. گونه‌های مختلف گیاهی و اندام‌های گیاهی در هر گونه قابلیت تجمع متفاوت برای فلزات مختلف می-دارد[۲۰-۱۸]. افزایش انحلال‌پذیری عناصر موجود در خاک باعث افزایش احتمال حضور این عناصر در محلول اطراف ذرات خاک شده و در نتیجه تحرک عنصر را افزایش می‌دهد و باعث افزایش در دسترس پذیری زیستی عنصر برای گیاه می‌شود. تجمع این عناصر سنگین در گیاه در غلظت‌های بالا می‌تواند موجب مرگ گیاه شود[۲۳-۲۲-۲۱-۱۷-۱ ].از سوی دیگر گیاهانی وجود دارند که قادر به تجمع بالای این عناصر در اندام‌های خود بوده و در

واقع زیست‌انباشت کننده نامیده می‌شوند[۲۴] گاهایاز این گیاهان با توجه به تمایل آن‌ها در انباشت عناصر خاص، به عنوان شاخص‌های بیولوژیکی در اکتشافات معدنی استفاده می‌شود[۲۶، ۲۵، ۱۷]. تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه تأثیر معدن‌کاری و حضور معادن متروکه بر آلودگی خاک و همچنین تأثیر این آلودگی بر تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهان بومی و زراعی منطقه در سطح ایران و جهان انجام شده است. با توجه به نتایج این تحقیقات می‌توان مناطق آلوده یا مستعد آلودگی را شناسایی و با مدیریت صحیح از ورود آلودگی به زنجیره غذایی و عواقب زیست محیطی آن جلوگیری کرد.

در تحقیقی توزیع غلظت فلزات مس، روی، آهن و منگنز در خاک‌های معادن متروکه مس و زمین‌های احیا شده با کشت پرتقال و زمین‌های بالادست معدن و زمین‌های شالی‌کاری در ناحیه معدنی Kochi Prefecture ژاپن بررسی شد. نتایج نشان داد که در خاک‌های معدنی غلظت کل مس و روی و منگنز و آهن افزایش می‌یابد. در زمین‌های بالادست آلودگی مس تشخیص داده نشد. محتوای کل منگنز در افق‌های سطحی در زمین‌های اطراف معدن‌کاری معدن نسبت به زمین‌های احیا شده با کشت پرتقال و زمین‌های شالیکاری افزایش داشت[۲۷].

در تحقیقی که توسط مایتی و مناب روی غلظت‌های کل و بخش‌های دسترس پذیر فلزات در رسوبات دریاچه سد باطله و باطله خشک معدن مس Rakha در هند انجام شد مشخص شد که غلظت متوسط مس، نیکل، منگنز، روی، سرب، کادمیم وکبالت، همچنین مقدار pH، N، P، k و کربن آلی در باطله مرطوب بیشتر از باطله خشک بود[۲۸].

محمدرضا خانی و همکاران به‌منظور بررسی غلظت عناصر مس و روی در اندام هوایی و زمینی گیاه درمنه کوهی در خاک‌های ارتفاعات لاشکار معدن مس سرچشمه، در ۱۷ سایت از ریشه و اندام‌های هوایی درمنه نمونه برداری انجام دادند. میانگین مقادیر مشخص می‌سازد که میزان تجمع عناصر مس و روی در ریشه این گیاه بیشتر از اندام هوایی بوده‌است. همچنین تجمع این عناصردر اندام هوایی و ریشه در نقاط مطالعاتی نزدیک به معدن بیش از سایر نقاط مورد بررسی بوده که این امر تأثیر معدن‌کاری بر تجمع عناصر سنگین در گیاهان بومی منطقه را نشان می‌دهد [۲۹].

اسلامی و همکاران در طی مطالعه‌ای خاک‌های اطراف معدن مس پورفیری میدوک در استان کرمان، را برای سنجش غلظت ۴۵ عنصر آنالیز کردند. نتایج این تحقیق، غنی‌شدگی عناصر مس، نقره، سرب و آرسنیک در نمونه‌های خاک گرفته شده از مناطق با آثار معدن‌کاری قدیمی و حفره اصلی معدن و همچنین آلودگی شدید خاک را نسبت به این عناصر نشان داد. برای سنجش میزان زیست انباشت عناصر در گیاهان منطقه، ریشه و اندام‌های هوایی سه گیاه گون، چوبک و برداشت و مورد آنالیز برای سنجش عناصر سنگین قرار گرفت. بر اساس نتایج، غلظت آرسنیک، نقره، مس و سرب در خاک و گیاهان در نزدیکی آثار معدن‌کاری قدیمی لاطلا و چاه‌مسی بسیار بیشتر از استاندارد بود. بنابراین پیشنهاد کردند با حصارکشی و هشدار به دامداران روستاهای اطراف از چرای دام در این مناطق جلوگیری شود[۳۰].

استوارزاده و همکاران در تحقیقی به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان اطراف معدن مس سرچشمه کرمان و نیز احتمال وجود گیاهان بیش تجمع‌کننده در منطقه برای انجام گیاه پالایی منطقه پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که برای گیاه پالایی منطقه از فلزات سنگین می‌توان از گونه‌های: بادآورد [۶]،ونسی [۷] و درمنه کوهی [۸] استفاده کرد زیرا این گیاهان به عنوان گیاهان فرا انباشته کننده در منطقه قادر به تجمع فلزات سنگین در بخش‌های مختلف خود هستند[۳۱].

اکسیو و همکاران(۲۰۰۸) در تحقیقی ۴۹ گونه گیاهی بومی رشد کرده بر باطله ۵ معدن مس در شرق چین را بررسی کردند. غلظت کل مس، سرب، روی و کادمیوم اندام‌های هوایی گونه‌ها (برگ وساقه) تعیین شد. غلظت متوسط مس در گیاهان ۵ منطقه معدن‌کاری متروکه روند افزایشی با افزایش سن باطله معدن نشان داد. گونه بابونه برداشت شده از نقاط مختلف دارای بیشترین غلظت مس در مقایسه با سایر گونه‌ها بود. نتایج این تحقیق نشان داد که این گونه گزینه مناسبی برای انجام گیاه پالایی باطله معدن مس است[۳۲].

تحقیق در باره تأثیر معدن مس متروکه در شرق چین بر پراکنش غلظت عناصر سنگین مس، سرب، روی و کادمیوم در خاک منطقه توسط محققین مشخص کرد که حضور معدن مس متروکه به‌ترتیب باعث افزایش غلظت این

فلزات به میزان ۴/۶، ۲/۲، ۲ و ۱/۷ برابر غلظت زمینه در منطقه مورد مطالعه شده است[۳۳].

شاخص‌های زیستی مختلفی برای برآورد تمرکز و تجمع زیستی فلزات در گیاهان توسط محققین بررسی و ارائه شده‌است. محققین طی تحقیقی نمونه‌هایی از باطله وگیاهان بومی منطقه را در معدن متروکه مس Rakha واقع در ایالت Thankhand هند برداشت و پس از بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی برای تعیین میزان تجمع فلزات سنگین در گونه های گیاهی بومی ، علف ارزنی ، درنه سرخه ، آمانیا و کرفو را آنالیز کردند. نتایج نشان داد که باطله‌ها غلظت‌های بالایی از مس و نیکل دارد و اسیدیته متوسط و مقدار کمی عناصر مغذی دارد. گونه کرفو مقادیر قابل توجهی نیکل و روی در ریشه و مقادیر بیشتری از منگنز در ریشه و اندام‌های هوایی نسبت به چهار گونه داشت. بالاترین غلظت متوسط مس( ۱۶۱۳mg/kg) در بافت‌های زیرزمینی گونه آمانیا مشاهده شد. گونه علف ارزنی مقادیر بیشتری از مس و نیکل در اندام‌های هوایی خود نسبت به سایر گونه‌ها داشت. محاسبه فاکتور انتقال (نسبت غلظت فلز در ساقه به ریشه گیاه) نشان داد که میزان فاکتور انتقال تمامی نمونه‌های گیاهی برای منگنز بیش از ۱ و فاکتور انتقال روی برای گونه علف ارزنی کمتر از یک (تجمع بیشتر فلز در ریشه نسبت به ساقه) و در بین فلزات مس و روی و نیکل فاکتور انتقال مس کمترین میزان و فاکتور انتقال روی دارای بیشترین مقدار بود. در گونه آمانیا فاکتور انتقال نیکل بیشتر از روی بود[۳۴].

یون و همکاران غلظت کل فلزات سنگین در ۳۶ نمونه گیاهی از ۱۷ گونه متفاوت و خاک پای گیاهان را برای بررسی پتانسیل گیاه پالایی این گونه های بومی در شمال غرب منطقه *Jacksavile* فلوریدا بررسی کردند. این بررسی با محاسبه فاکتور انتقال[۹] و فاکتور تمرکز زیستی[۱۰] برای‌گونه های گیاهی انجام شد. گیاهان با تمرکز زیستی بیشتر از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک به‌عنوان گونه‌های مورد استفاده در تثبیت فلزات سنگین در محیط در نظر گرفته شد. محاسبه فاکتور انتقال مس ( TF:12) و روی(TF: 6.3) در گیاه شاه پسند این گونه را برای تثبیت گیاهی این فلزات مؤثر دانست. محاسبه فاکتور تمرکز زیستی برای گیاه کوشاد نشان داد که این گونه برای زیست تثبیت محل‌های آلوده به سرب و مس و روی مناسب است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهند که این گونه‌های بومی را می‌توان برای گیاه‌پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین مس و سرب و روی استفاده کرد[۳۵].

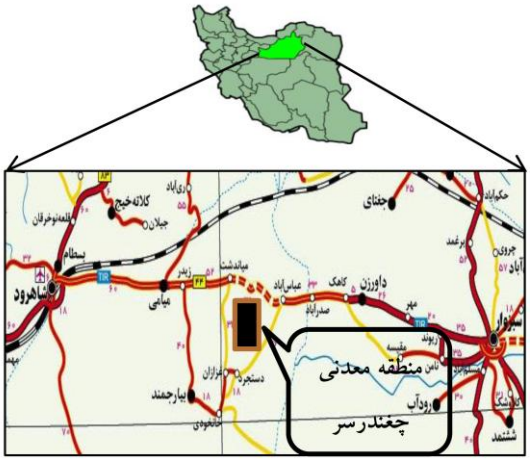
نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی گیاهانی که در مناطق معدنی رشد مناسبی دارند، با توجه به تجمع بالای فلزات سنگین در خاک این مناطق و در نتیجه در پیکره آن‌ها، می‌توانند گزینه های مناسبی برای گیاه پالایی درخاک مناطق صنعتی حاوی فلزات سنگین با شرایط مشابه اقلیمی در نظر گرفته شوند[۳۶].

با توجه به اهمیت ارزیابی تأثیر کانسارهای فلزی و معادن فلزی متروکه بر خاک و گیاهان منطقه، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر کانسار و معدن متروکه مس چغندرسر واقع در منطقه عباس آباد بر غلظت سرب، روی، مس، منگنز و نیکل در خاک و گیاهان بومی منطقه معدنی پایه-گذاری شد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

### ۲-۱-موقعیت جغرافیایی منطقه

کانسار مس (معدن متروکه) چغندرسر در استان سمنان در منطقه عباس آباد، در ۱۳۵کیلومتری جاده شاهرود به سبزوار واقع شده است (شکل۱). منطقه مطالعاتی با وسعت ۲۸ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی ″۱۱ ′۱۲ °۵۶ تا ″۱۵ ′۱۲ °۵۶ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″ ۳ ′۱۸ °۳۶ تا ″۳ ′۲۲ °۳۶ شرقی قرار می-گیرد.




شکل ۱: نقشه راه‌های دسترسی به منطقه [۳۷]

### ۲- ۲- ویژگی‌های زمین شناسی منطقه

مطالعات زمین شناسی عمومی منطقه نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی ساختاری ایران از نظر آقانباتی (۱۳۸۳) بخشی از نوار آتشفشانی ایران مرکزی را شامل می‌شود که در لبه شمالی زون ایران مرکزی (شرق استان سمنان) قرار دارد. بررسی نقشه زمین‌شناسی چغندرسر (شکل ۲) نشان می‌دهد که واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های آذرین آتشفشانی با ترکیب بازیک تا حدواسط (تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت) و واحدهای آتشفشانی ـ رسوبی (شیل و ماسه‌سنگ توفی و آهک نومولیت دار و ماسه سنگ قرمز، متعلق به محیط رسوبی کم عمق تا نیمه عمیق می‌باشند[۳۸]. برخی از نمونه‌های سنگ‌های منطقه در اشکال ۲ و ۳ آورده شده است.

مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی منطقه نشان می‌دهد که کانسار مس چغندرسر به‌صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، جایگزینی است. حضور مس در این کانسار اغلب به‌صورت کانی‌های کالکوسیت و مالاکیت است که در آندزیت‌های خاکستری قرار دارند، همچنین اشکال دیگر مس چون مس خالص و میانبارهای بورنایت و کوپریت که جایگزین کالکوسیت شده‌اند، در منطقه مشاهده می‌شود. کانی باطله کانسار کلسیت است و عیار مس کانسار ۲/۲۳ ٪ تخمین زده شده‌است. مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی منطقه نشان می‌دهد که کانسار مس چغندرسر به‌صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، جایگزینی است. حضور مس در این کانسار اغلب به‌صورت کانی‌های کالکوسیت و مالاکیت است که در آندزیت‌های خاکستری قرار دارند همچنین اشکال دیگر مس چون مس خالص و میانبارهای بورنایت و کوپریت که جایگزین کالکوسیت شده‌اند، در منطقه مشاهده می‌شود. کانی باطله کانسار کلسیت است و عیار مس کانسار ۲/۲۳ ٪ تخمین زده شده‌است[۳۹].

شکل ۲: ساخت مگاپورفیری در تراکی آندزیت

شکل ۳: زئولیت و مالاکیت در تراکی آندزیت

نتایج مطالعات کانی‌شناسی، حضور کانیهای مس کالکوسیت، دژنیت، بورنیت، کوولیت، مس ناتیو، مالاکیت و آزوریت را بصورت اولیه و ثانویه در انواع سنگ‌های آندریتی ـ بازالتی، تراکیتی و توف را نشان می‌دهد. وجود میانبارهای اکسیدهای آهن مگنتیت و هماتیت بصورت پراکنده در کالکوسیت نشان می‌دهد که در زمان تشکیل کانسار درجه حرارت و فوگاسیته اکسیژن بالا بوده‌است (شکل ۴).

بررسی داده‌های لیتوژئوشیمیایی و پارامترهای تکتونوماگمایی، نشان می‌دهد که این کانسار در نوعی ریفت درون قاره‌ای تشکیل شده است که طی آن ماگمای شوشونیتی از قسمت‌های عمیق به سمت بالا جایگزین شده و منجر به کانه‌زایی از نوع مانتو و پایپ شده است[۴۰].

شکل ۴: دگرسانی اکسید آهن

ژئومورفولوژی منطقه متأثر از آب و هوا ، جنس سنگ‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی است و شامل تپه‌هایی با شیب ملایم تا متوسط وکوه‌های نسبتاً مرتفع است. رسوبات آبراهه‌ای شیلی و سیلت استونی در مناطق کم ارتفاع و پست مشاهده می‌شود. منطقه چغندرسر مورفولوژی ملایم وکم ارتفاع دارد که بلندترین نقطه آن در منطقه قله سیاه کوه با ارتفاع ۱۲۹۹متر در نزدیکی معدن متروکه چغندرسر است [۴۱].

خروج محلول‌های حاوی کربنات مس از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها در اثر فعالیت‌های تکتونیکی، سبب کانه‌زایی مس در سنگ‌های تراکی آندزیتی شده است. شکستگی-هایی‌که محل عبور سیال هستند سنگ‌هایی با بافت پورفیری دارند. این شکستگی‌ها به رنگ‌های سبز و قرمز دیده می‌شوند و اثرات حرکات تکتونیکی (اثر خش لغزش) در آن‌ها دیده می‌شود. رگه‌های کلسیتی در اثر عملکرد گسل در محل دهانه تونل و کنده‌کاری‌های قدیمی و ورود سیالات به فضاهای باز ایجاد شده، تشکیل شده‌است. منطقه از لحاظ تکتونیکی فعال بوده و شکستگی‌های مزدوج فراوان دارد که در اثر عملکرد این شکستگی‌ها و نیز گسل‌ها، الگوی زهکشی منطقه به‌صورت داربستی است[۴۱].

**۲- ۳- اقلیم و پوشش گیاهی منطقه**

این منطقه از لحاظ آب و هوایی دارای آب و هوای خشک است و میزان بارش سالانه به کمتر از ۱۵۰ میلیمتر است. به‌دلیل عدم وجود آب کافی در این منطقه تولید محصولات کشاورزی به‌گونه‌ای محدود امکان‌پذیر است و دامداری و دامپروری نیز بندرت در منطقه دیده می‌شود. شرایط وزش باد در منطقه به نحوی است که از چهار سو مورد وزش باد قرار می‌گیرد [۴۲].

پوشش گیاهی منطقه اغلب شامل بوته‌ها و درختچه‌های کوتاه است که مقاوم به خشکی هستند[۴۱]. پوشش گیاهی غالب منطقه، تیپ قیچ و درمنه است[۴۳].

## ۳- مواد و روش ها

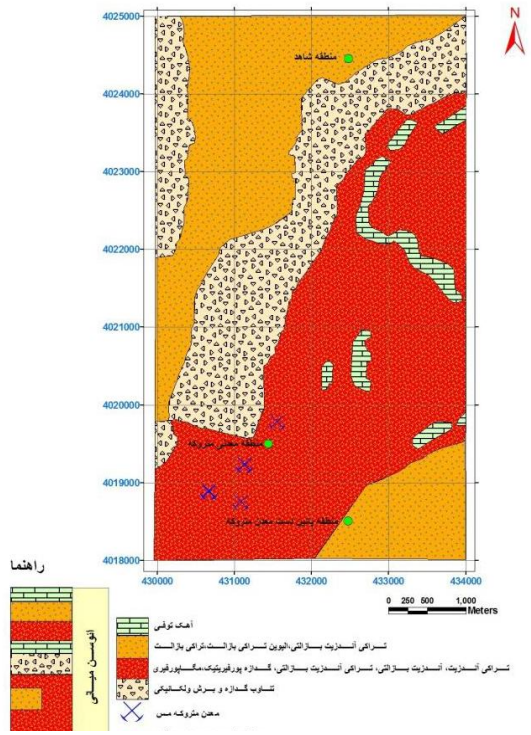
**۳-۱- نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها**

نمونه‌های سنگ با توجه به تنوع سنگی و فراوانی در منطقه از انواع سنگ‌های بازالت و تراکی بازالت در محدوده معدن متروکه برداشت شد.

برای بررسی تأثیر منطقه معدنی متروکه مس چغندرسر بر آلودگی خاک منطقه، سه ایستگاه نمونه برداری برای خاک و گیاه شامل: محل بالادست منطقه معدن‌کاری متروکه (شاهد)، منطقه معدن‌کاری متروکه و پائین دست منطقه معدن‌کاری متروکه انتخاب شد. مناطق نمونه-برداری بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین با هدف ارزیابی تأثیر حضور کانسار مس بر تجمع فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی بومی منطقه، با توجه به تراکم و تاج پوشش و فراوانی گونه‌ها، پنج گونه گیاهی شامل اسپند، درمنه دشتی ، افدرا ، قیچ و کاروانکش برای بررسی انتخاب شد.

برای تهیه نمونه‌های گیاه، ۱۵ نمونه در هر منطقه و از هر گونه گیاهی پنج نمونه برداشت شد. اندام‌های هوایی و زمینی نمونه‌های گیاهی پس از برداشت و شستشوی کامل با آب معمولی و سپس با آب مقطر، تفکیک شدند.

نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و نمونه‌ها به تفکیک اندام هوایی و زمینی به قطعات ریزتر تقسیم و در دستگاه آسیاب خرد شدند. پس از آسیاب هر نمونه، برای کاهش خطا، قطعات داخلی آسیاب که در تماس با نمونه بوده با آب و سپس الکل صنعتی شسته و خشک شد. نمونه‌ها برای آنالیز با دستگاه جذب اتمی به آزمایشگاه شیمی دامغان برای تعیین غلظت عناصر فرستاده شد. فلزات سنگین شامل مس، سرب، روی، نیکل و منگنز با توجه به غلظت آن‌ها در خاک، نحوه تغییرات و توزیع در خاک منطقه و تحقیقات پیشین صورت پذیرفته در ارتباط با ارزیابی تأثیر حضور کانسار مس بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه، برای ارزیابی‌های آتی در این تحقیق، انتخاب شد.




**شکل ۵: نمایش توزیع مناطق نمونه‌برداری بر روی نقشه زمین-شناسی منطقه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس آباد)**

نمونه‌های خاک هر منطقه، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از خاک پای نمونه‌های گیاهی برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه‌های خاک در هوای اتاق و آماده‌سازی نمونه‌ها (عبور دادن نمونه از الک ۲۳۰)، نمونه‌ها برای آنالیز ICP-OES) به شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما برای تعیین غلظت عناصر فرستاده شد.

### ۳-۲-روش‌های آنالیز

**pH**: pH نمونه‌های خاک با استفاده از روش استاندارد METHOD 9045 EPA sw-846، تعیین و با دستگاه pH meter مدل jenway 3510 اندازه‌گیری شد.

هدایت الکتریکی : EC[11] نمونه‌های خاک از طریق عصاره گیری با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب، در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه شاهرود و با استفاده از دستگاه EC سنج (مدل Jenway) اندازه‌گیری شد .

**درصد مواد آلی و کربنات کلسیم:** ابتدا نمونه‌های وزن شده به مدت ۱۲ ساعت در آون با دمای $^{o}C$ ۱۰۵ قرار داده شدند تا رطوبت آن‌ها خارج شود (در این مرحله درصد رطوبت خاک به‌دست می‌آید). پس از این مرحله نمونه‌ها دوباره وزن شدند و سپس به مدت ۱۲ساعت در کوره با دمای $^{o}C$ ۵۵۰ قرار داده شدند. بعد از گذشت ۱۲ساعت، نمونه‌ها از کوره خارج شده و دوباره وزن شدند. درصد ماده آلی نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد[۴۴].

$$\%LOI_{550}=((DW_{105}-DW_{550})/DW_{105})*100 \quad (۱)$$

در این رابطه $LOI_{550}$ نشان‌دهنده میزان هدررفت جرم اولیه خاک در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد که بیان‌گر درصد مواد آلی خاک است. $DW_{105}$[12] نشان دهنده وزن خشک نمونه پس از قرار دادن نمونه در آون به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد است. $DW_{550}$ وزن خشک نمونه پس از قرار دادن نمونه در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت است.

در ادامه برای اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم نمونه‌های خاک را در کوره در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت قرار داده و پس از سرد شدن وزن کرده و درصد کربنات کلسیم با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد[۴۴].

$$\%LOI_{950}=((DW_{505}- DW_{950})/DW_{505})*100 \quad (۲)$$

د ر این رابطه $LOI_{950}$ نشان‌دهنده میزان هدر رفت جرم خاک در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد است که نشان‌دهنده درصد کربنات کلسیم است. $DW_{505}$ نشان‌دهنده وزن خشک نمونه پس از قرار دادن نمونه در کوره ۵۵۰ در دمای درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت است، $DW_{950}$ نشان‌دهنده وزن خشک نمونه پس از احتراق در کوره در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد است.

**بافت خاک:** برای اندازه‌گیری درصد ماسه، سیلت و رس از روش الک و هیدرومتری استفاده شد[۴۵].

**اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک**: ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد[۴۶].

$$CEC = (2.5 \times LOI\%) + (0.57 \times Clay) \quad (۳)$$

## ۴-نتایج و بحث

### ۴-۱- غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ و خاک منطقه

با توجه به چرخه حرکت فلزات سنگین و مسیر حرکت این عناصر در محیط زیست از سنگ به خاک و سپس به بدن موجود زنده، دراین بخش از تحقیق مقادیر عناصر مورد نظر در سنگ‌ها و خاک منطقه و تأثیر حضور معدن متروکه بر نحوه توزیع این عناصر در خاک بررسی شد. در

جدول ۱ و جدول ۲ به ترتیب غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ برداشت شده و غلظت عناصر و مقادیر سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک آورده شده است.

با مقایسه متوسط غلظت عناصر در سنگ و نمونه‌های خاک نتیجه می‌گیریم که غلظت عناصر سنگین مورد بررسی شامل مس، سرب، روی و نیکل در نمونه‌های خاک منطقه معدنی متروکه، بیشتر از غلظت آن‌ها در نمونه‌های سنگ است. این امر نشان می‌دهد که این عناصر در طی فرایندهای هوازدگی، شستشو، انحلال و دگرسانی از سنگ منشأ گرفته و به دلیل بارش کم و پائین بودن انحلال پذیری آن‌ها در pH قلیایی در خاک متمرکز شده‌اند.

به‌طور کلی با توجه به نتایج، بالاترین غلظت عناصر مس، سرب، روی و منگنز در خاک منطقه معدنی متروکه مشاهده می‌شود که این امر تأثیرگذاری حضور کانسار مس و سنگ‌های آتشفشانی حاوی مس را بر توزیع این عناصر در خاک منطقه نشان می‌دهد. همچنین مقایسه غلظت عناصر در منطقه شاهد با منطقه معدنی متروکه و پائین دست معدن متروکه نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن از منطقه معدن‌کاری به سمت پائین دست، غلظت این عناصر کاهش یافته و به غلظت آن در منطقه شاهد نزدیک می‌شود که تأییدی مجدد بر تأثیر منطقه معدنی متروکه برکیفیت خاک منطقه است. بررسی تأثیر معدن مس سرچشمه بر پراکنش عناصر سنگین در خاک، نیز نشان از افزایش غلظت فازات مس، مولیبدن، سرب، منگنز، کروم و روی در خاک منطقه را دارد که این امر تأکیدی بر صحت نتایج این تحقیق است[۴۷].

**جدول ۱: متوسط غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ بر حسب (mg/kg)**

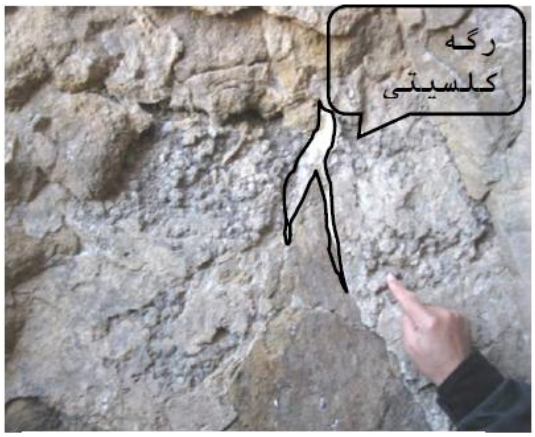
| نمونه‌های سنگ | Cu | Pb | Zn | Ni | Mn |
|---|---|---|---|---|---|
| **بازالت** | ۲۰۱/۲ | ۱۶ | ۶۷/۲ | ۲۳ | ۹۶۹/۸ |
| **تراکی بازالت** | ۱۳۰/۶ | ۱۷/۶ | ۸۴ | ۲۲/۷ | ۱۰۴۰/۶ |

خاک منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شرایط قلیایی را دارد و این امر محیط مناسبی برای رسوبگذاری فلزات سنگین را مهیا ساخته و عامل مهمی در تمرکز فلزات سنگین در خاک محسوب می‌شود.

**جدول۲: متوسط غلظت عناصر سنگین و مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های خاک**

| پارامتر | نمونه‌های خاک | | |
|---|---|---|---|
| | منطقه شاهد (بالادست منطقه معدنی متروکه) | منطقه معدنی متروکه | منطقه پائین دست منطقه معدنی متروکه |
| Cu (mg/kg) | ۹۸ | ۷۱۲۲ | ۵۷ |
| Pb (mg/kg) | ۲۰ | ۳۴ | ۲۰ |
| Zn (mg/kg) | ۶۵ | ۹۶ | ۶۹ |
| Ni (mg/kg) | ۸۷ | ۵۳ | ۷۰ |
| Mn (mg/kg) | ۸۴۶ | ۱۰۲۳ | ۷۸۴ |
| pH | ۸/۳۹ | ۸/۵۰ | ۸/۳۹ |
| EC (µs/cm) | ۸۹/۸ | ۲۷۷ | ۱۲۴/۵ |
| CEC (meq/100g) | ۱۱/۱۱ | ۱۵/۳۳ | ۱۳/۶۵ |
| $CaCo_3$% | ۳/۲۴ | ۵/۹۴ | ۴/۴۱ |
| ماده آلی (٪) | ۲/۸۶ | ۳/۲۸ | ۳/۸۸ |
| ماسه (٪) | ۸۸ | ۸۲/۴ | ۹۱/۸۷ |
| سیلت (٪) | ۵ | ۵/۱ | ۱/۲ |
| رس (٪) | ۶/۹۱ | ۱۲/۵ | ۶/۹۳ |
| بافت خاک | ماسه لومی | لوم ماسه‌ای | ماسه‌ای |

مقادیر بالای pH را می‌توان به وجود رگه‌های کلسیتی موجود در کانسار نسبت داد (شکل ۶). از آنجا که مقدار $\%CaCO_3$ نمونه‌های خاک در گستره (۱۰-۲)٪ قرار می‌گیرد، بر طبق FAO(2006) نمونه‌های خاک، جزء خاک‌های آهکی است.




**شکل ۶: رگه‌های کلسیتی موجود در کانسار**

به‌طورکلی مقادیر EC در خاک منطقه پائین است. بالاتر بودن EC در خاک منطقه معدنی متروکه نسبت به دو

منطقه دیگر نشان از تمرکز بیشتر عناصر در این منطقه می‌باشد که بالا بودن مس، سرب، روی و منگنز در خاک این منطقه نسبت به مناطق دیگر این امر را تأیید می‌کند. درصد رس و مقادیر CEC بطورکلی پائین است. مقادیر CEC محاسبه‌شده با توجه به جدول ۳ (مقدار CEC انواع کلوئیدهای خاک) در گستره (meq /۱۰۰g)۱۵- ۳ قرار می‌گیرد که حاکی از حضور بیشتر کانی رسی کائولن با CEC اندک می‌باشد. بافت خاک منطقه (جدول ۲) نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

**جدول ۳: مقدار CEC انواع کلوئیدهای خاک [۴۸]**

| نام کلوئید | CEC (meq / ۱۰۰ g) |
|---|---|
| هوموس | ۳۰۰- ۱۰۰ |
| ورمیکولیت | ۱۵۰- ۸۰ |
| مونت‌موریلونیت | ۱۰۰- ۶۰ |
| ایلیت | ۴۰- ۲۵ |
| کائولن | ۱۵- ۳ |
| هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم | ۴ |

**۲-۴- غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاه**

چون گیاهان اولین و مهم‌ترین عامل در انتقال فلزات سنگین از خاک به زنجیره غذایی هستند، در این بخش از تحقیق میزان غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و زمینی گیاهان بومی غالب منطقه مطالعه شده است. غلظت فلزات سنگین مورد بررسی به تفکیک اندام هوایی و زمینی در ۵ گونه گیاهی بومی شامل اسپند، درمنه دشتی، افدرا، قیچ و کاروانکش در مناطق نمونه‌برداری به تفکیک در جدول۴ آورده شده‌است. حد نرمال و بحرانی عناصر در گیاهان در جدول ۵ آورده شده است .

علت اهمیت میزان غلظت عناصر سنگین در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه این است که تمامی گونه‌های مورد بررسی علاوه بر اینکه در منطقه مورد چرای دام واقع می‌شوند، به‌عنوان گیاهان دارویی شناخته شده و برداشت می‌شوند. نتایج بررسی غلظت فلزات در اندام‌های هوایی و زمینی به تفکیک گیاه به صورت زیر است:

**اسپند:** غلظت فلزات منگنز و سرب اغلب در اندام‌های هوایی گیاه اسپند نسبت به اندام‌های زمینی آن(در منطقه شاهد و منطقه معدنی متروکه) بیشتر است که این امر نشان‌دهنده تحرک بالای این عناصر در گیاه اسپند است. در حالی‌که در همین گیاه اغلب غلظت مس و نیکل در اندام های هوایی نسبت به اندام‌های زمینی آن کمتر است.

**درمنه**: فلزات منگنز، نیکل، روی و مس را بیشتر در اندام‌های زمینی و سرب را در اندام‌های هوایی خود مجتمع کرده است.

**افدرا:** غلظت فلزات مورد بررسی در گیاه افدرا قابلیت تمرکز بیشتر فلزات سنگین در اندام‌های زمینی نسبت به اندام‌های هوایی در این گیاه را نشان می‌دهد. مطلب قابل توجه، تجمع یکسان مس در اندام‌های هوایی و زمینی افدرا است. تراکم پوشش گیاهی افدرا با نزدیک شدن به کانسار و معدن متروکه بیشتر می‌شود. البته حضور و تراکم بالای افدرا در مجاورت کانسارهای مس در تحقیقات دیگری نیز تأیید شده است[ ۴۹].

**قیچ:** فلزات منگنز و نیکل و سرب و روی در گیاه قیچ بیشتر در اندام‌های هوایی مجتمع شده، در حالی‌که غلظت مس در اندام‌های زمینی آن نسبت به اندام های هوایی بیشتر است.

**کاروانکش:** اندام‌های هوایی کاروانکش غلظت بالاتری از عناصر منگنز، نیکل و سرب را نسبت به اندام‌های زمینی نشان می‌دهند. درحالی که فلزات مس و روی بیشتر در اندام زمینی در این گیاه تمرکز دارد.

نتایج مقایسه غلظت فلزات سنگین در گونه‌های بومی را به تفکیک هر فلز می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

**Ni:** تجمع نیکل در اسپند و افدرا بیشتر در اندام زمینی، در قیچ بیشتر در اندام هوایی و در کاروانکش در اندام‌های زمینی و هوایی دیده شده است. بیشترین غلظت نیکل ۱۴ mg/kg در خاک در منطقه شاهد بوده و بالاترین تجمع در اندام زمینی درمنه در منطقه شاهد و در اندام زمینی اسپند در پائین دست منطقه معدن متروکه دیده شده‌است. تجمع این عنصر در اندام های هوایی و زمینی بسته به گونه گیاهی متفاوت است. غلظت نیکل در اندام هوایی قیچ در بالادست منطقه معدنی متروکه، در اندام‌های زمینی افدرا و درمنه درمنطقه معدن متروکه و در اندام‌های زمینی اسپند در منطقه پائین دست معدن‌کاری در محدوده بحرانی قرار می‌گیرد. غلظت این عنصر گیاهان سایر مناطق در محدوده نرمال است.

**Cu**: تجمع مس در اسپند، درمنه، افدرا، قیچ و کاروانکش بیشتر در اندام های زمینی این گیاهان دیده شده‌است که نشان از تحرک کمتر مس در این گیاهان دارد. بیشترین غلظت مس در منطقه معدنی متروکه بوده و بالاترین تجمع در اندام زمینی درمنه(۵۲/۴۸ mg/kg) در منطقه معدنی متروکه دیده می‌شود. غلظت مس در اندام‌های هوایی و زمینی قیچ و اندام‌های زمینی کاروانکش در منطقه بالادست معدنی متروکه، دراندام‌های زمینی درمنه و کاروانکش در منطقه معدن‌کاری و در اندام‌های زمینی درمنه در منطقه پائین‌دست معدنی متروکه در محدوده بحرانی قرار می‌گیرد. غلظت این عنصر در گیاهان سایر مناطق در محدوده نرمال است.

**Pb**: امکان تجمع سرب در گیاه بسیار پائین است و در همه گیاهان چه در اندام‌های هوایی و چه در اندام‌های زمینی کمتر از mg/kg ۳ می‌باشد. بیشترین تجمع در اندام هوایی قیچ (۲/۷۶ mg/kg) و در اندام هوایی کاروانکش ( ۲/۳ mg/kg) در منطقه دیده شد. این امر انحلال‌پذیری اندک سرب در خاک و امکان ورود اندک آن به گیاه را نشان می‌دهد. غلظت سرب در تمامی نمونه‌های گیاهی در محدوده نرمال است.

**Zn**: تجمع روی در اسپند و درمنه و افدرا و کاروانکش بیشتر در اندام زمینی و در قیچ بیشتر در اندام هوایی دیده شد. بیشترین غلظت روی در منطقه معدن متروکه است و بیشترین تمرکز روی در این منطقه در اندام زمینی اسپند (۲۳/۲ mg/kg) و در اندام زمینی درمنه (۲۱/۲ mg/kg) دیده شد. بنابراین می‌توان گفت که در ۵ گونه گیاهی مورد بررسی بیشترین تمرکز روی در اندام‌های زمینی است. غلظت روی در اندام‌های هوایی اسپند در منطقه شاهد در محدوده نرمال قرار می‌گیرد و در سایر نمونه‌ها زیر حد نرمال است.

**Mn**: تجمع منگنز در درمنه و افدرا بیشتر در اندام های زمینی و در اسپند، قیچ و کاروانکش در اندام‌های هوایی دیده شد. بالاترین مقدار منگنز در خاک منطقه معدن متروکه و بیشترین تمرکز در درمنه در اندام زمینی (۱۰۰/۸ mg/kg) و در اسپند در اندام هوایی( mg/kg ۵۶) دیده شد. بیشتر گونه‌های مورد بررسی تمایل به تمرکز منگنز در اندام‌های هوایی دارند. غلظت منگنز در اندام های زمینی درمنه در منطقه معدنی متروکه بیش از حد نرمال است. غلظت این عنصر در اندام‌های زمینی و هوایی قیچ در منطقه معدنی متروکه و پائین‌دست منطقه معدنی متروکه کمتر از حد نرمال و در سایر نمونه‌ها در محدوده نرمال قرار می‌گیرد.

### ۳-۴ – شاخص‌های بیوژئوشیمیایی

در این بخش از تحقیق، برای تفسیر نتایج تأثیر معدن متروکه بر پراکنش فلزات سنگین در خاک و گیاهان منطقه از شاخص‌های زیست محیطی ارتباط‌دهنده این پارامترهای استفاده شده است.

**فاکتور تمرکز زیستی:** یکی از فاکتورهای مهمی که برای اندازه‌گیری میزان تمرکز عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، فاکتور تمرکز زیستی است که از رابطه۴ بدست می‌آید[۳۵].

$$BCF = \frac{\text{غلظت عنصر مورد نظر در ریشه گیاه}}{\text{غلظت عنصر مورد نظر در خاک}} \quad (۴)$$

گونه دارای مقادیرBCF بالا (بیشتر از ۱) برای یک فلز خاص می تواند به عنوان گونه تثبیت کننده آن عنصر، در نظر گرفته شود[۳۵]. با توجه به داده‌های جدول ۴، مقدار فاکتور BCF هیچ یک از گونه‌ها برای عناصر مورد بررسی بیشتر از یک نبوده است. در واقع این گونه‌ها را نمی‌توان برای تثبیت گیاهی عناصر مذکور در منطقه مورد استفاده قرار داد.

**جدول۴: غلظت عناصر سنگین (mg/kg) در گونه های گیاهی به تفکیک اندام های هوایی و زمینی**

| | عنصر | اسپند | | درمنه | | افدرا | | قیچ | | کاروانکش | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | هوایی | زمینی | هوایی | زمینی | هوایی | زمینی | هوایی | زمینی | هوایی | زمینی |
| منطقه شاهد (بالادست منطقه معدنی متروکه) | Ni | ۵/۲۰ | ۶/۰۸ | ۴/۰۸ | ۵/۶ | ۸/۴ | ۸/۴ | ۱۲/۴ | ۵/۲ | ۶/۴ | ۸/۴ |
| | Cu | ۸/۴ | ۱۲ | ۸/۸ | ۱۴/۴ | ۱۱/۶ | ۱۲ | ۲۴/۸ | ۲۴/۸ | ۱۷/۲ | ۲۴/۸ |
| | Pb | ۱/۴۸ | <۰/۴۴ | ۱/۱۲ | ۱/۰۴ | ۲/۲۸ | ۱/۳۲ | ۲/۷۶ | ۰/۶۸ | ۱/۱۲ | ۱/۴۸ |
| | Zn | ۲۷/۲ | ۱۷/۲ | ۱۰ | ۹/۲ | ۱۳/۲ | ۱۱/۶ | ۱۴/۴ | ۸ | ۱۰/۸ | ۱۲ |
| | Mn | ۷۷/۲ | ۵۸ | ۳۱/۶ | ۵۰/۸ | ۴۲/۴ | ۵/۲ | ۳۱/۲ | ۲۰ | ۳۰ | ۲۱/۲ |
| منطقه معدنی متروکه | Ni | ۶/۵ | ۵/۶ | ۵/۲ | ۱۴ | ۵/۲ | ۱۰/۸ | ۶/۴ | ۷/۵ | ۸/۵ | ۴/۸ |
| | Cu | ۱۵ | ۱۵/۲ | ۱۸/۴ | ۵۲/۴۸ | ۱۲/۴ | ۱۵ | ۱۲/۴ | ۱۵ | ۱۵/۵ | ۲۶/۵ |
| | Pb | ۱/۲ | ۰/۴۴ | ۱/۳۶ | ۰/۴۸ | ۱/۱۶ | ۱/۴۸ | ۱/۲۸ | <۰/۴۴ | ۱/۸۵ | ۱/۷۶ |
| | Zn | ۱۱/۵ | ۲۳/۲ | ۱۱/۲ | ۲۱/۲ | ۱۱/۲ | ۱۶/۴ | ۱۸/۸ | ۹/۵ | ۱۳/۵ | ۱۵/۶ |
| | Mn | ۵۶ | ۴۳/۶ | ۳۵/۲ | ۱۰۰/۸ | ۳۳/۲ | ۴۲ | ۱۰ | ۷/۵ | ۲۳/۵ | ۱۶/۸ |
| پائین دست منطقه معدنی متروکه | Ni | ۵/۶ | ۱۴ | ۵/۶ | ۹/۶ | ۴/۴ | ۶/۵ | ۹/۶ | ۵/۶ | ۵/۵ | ۴/۴ |
| | Cu | ۱۶ | ۱۹/۲ | ۱۰/۴ | ۲۰ | ۱۴/۴ | ۱۴ | ۱۶/۸ | ۱۷/۶ | ۱۷ | ۱۰ |
| | Pb | ۱/۷۶ | ۱/۴۸ | ۱/۷۲ | ۰/۶ | ۱ | ۱/۹ | ۱/۴۴ | ۱/۰۸ | ۲/۳ | <۰/۴۴ |
| | Zn | ۱۱/۶ | ۱۸/۴ | ۸/۸ | ۲۱/۲ | ۱۰/۴ | ۲۶ | ۱۳/۲ | ۸/۸ | ۱۸/۵ | ۱۰ |
| | Mn | ۳۱/۶ | ۹۲ | ۲۹/۶ | ۴۳/۶ | ۱۹/۶ | ۲۱ | ۱۱/۲ | ۱۰/۸ | ۶۰ | ۱۶ |

**جدول ۵: حد نرمال و بحرانی عناصر در گیاه بر حسب mg/kg**

| حد غلظت | Ni | Cu | Pb | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|
| نرمال | ۰/۰۲ –۵[50] | ۵-۲۰[50] | ۰/۲-۵[50] | ۲۷-۱۰۰[1] | ۱۵-۸۰[50] |
| بحرانی | ۱۰-۱۰۰[50] | ۲۰-۱۰۰[1] | ۳۰-۳۰۰[50] | ۱۰۰-۴۰۰[50] | ۵۰۰[1] |

1- Kabata-Pendias and Pendias. 2001.
50- Alloway. 1990.

**فاکتور انتقال :** این فاکتور جهت ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلز از ریشه به ساقه مورد استفاده قرار می‌گیرد، این فاکتور با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود [۳۴].

$$TF=\frac{\text{غلظت عنصر سنگین در اندام هوایی}}{\text{غلظت عنصر سنگین مورد نظر در اندام زمینی}} \quad (۵)$$

مقادیر کمتر از ۱ برای فاکتور انتقال نشان از تمایل بیشتر گیاه به تجمع عنصر در اندام‌های زمینی نسبت به اندام هوایی و در واقع تحرک کم عنصر در اندام‌های گیاهی دارد. انحلال‌پذیری عنصر در مایعات بافتی و متابولیسم حاکم بر گونه گیاهی از جمله عوامل اصلی در تعیین مقادیر این پارامتر می‌باشند[۳۵].

مقادیر TF محاسبه شده برای گیاهان منطقه (جدول ۶) نشان می‌دهد که اسپند، درمنه، قیچ و کاروانکش امکان تجمع بیشتر سرب در اندام‌های هوایی (تقریباً ۲ برابر) نسبت به اندام‌های زمینی خود دارند. مقادیر TF همه گونه‌های مورد بررسی در ارتباط با مس کمتر از ۱ بوده که این امر تحرک‌پذیری اندک این عنصر در گیاهان را نشان می‌دهد. مقادیر TF در گونه‌های گیاهی مورد بررسی بجز قیچ و کاروانکش در ارتباط با عنصر نیکل کمتر از ۱ می‌باشد. بالاترین مقدار انتقال فلز از اندام‌های زمینی به اندام‌های هوایی در گیاه افدرا برای عنصر منگنز (TF= 3.29) دیده شد.

**جدول ۶: متوسط مقادیر فاکتورهای**

**تمرکز زیستی و فاکتور انتقال در گیاهان مورد مطالعه در منطقه ( شامل منطقه شاهد ( بالادست منطقه معدنی متروکه )، منطقه معدنی متروکه، پائین دست منطقه معدنی متروکه**

| | اسپند | | درمنه | | افدرا | | قیچ | | کاروانکش | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فلز | TF | BCF | TF | BCF | TF | BCF | TF | BCF | TF | BCF |
| Ni | ۰/۸۰ | ۰/۱۲ | ۰/۵۶ | ۰/۱۵ | ۰/۷۲ | ۰/۱۳ | ۱/۶۴ | ۰/۰۹ | ۱/۲۶ | ۰/۰۸ |
| Cu | ۰/۸ | ۰/۱۵ | ۰/۴۹ | ۰/۱۶ | ۰/۹۴ | ۰/۱۲ | ۰/۹۲ | ۰/۱۸ | ۰/۹۹ | ۰/۱۴ |
| Pb | ۲/۴۲ | ۰/۰۳ | ۲/۲۶ | ۰/۰۳ | ۱/۰۱ | ۰/۰۶ | ۲/۷۶ | ۰/۰۳ | ۲/۳۴ | ۰/۴۸ |
| Zn | ۰/۹ | ۰/۲۵ | ۰/۶۸ | ۰/۲۲ | ۰/۷۴ | ۰/۲۳ | ۱/۷۶ | ۱۱/۰ | ۱/۲۰ | ۰/۱۶ |
| Mn | ۰/۹۸ | ۰/۰۷ | ۰/۵۵ | ۰/۰۶ | ۳/۲۹ | ۰/۰۲ | ۱/۳۱ | ۰/۰۱ | ۲/۱۹ | ۰/۰۹ |

## ۵-نتیجه‌گیری

بالاترین غلظت مس، سرب، روی و منگنز در خاک منطقه معدنی متروکه مشاهده می‌شود که این امر تأثیرگذاری حضور کانسار مس و سنگ‌های آتشفشانی حاوی مس و معدن متروکه را بر توزیع این عناصر در خاک منطقه نشان می‌دهد. غلظت نیکل در منطقه معدنی متروکه کاهش یافته و بیشترین غلظت در منطقه شاهد است که دلیل این امر را می‌توان حضور بیشتر الیوین در الیوین تراکی در بازالت‌های منطقه دانست. مقادیر بالاتر pH و $CaCO_3$ در منطقه معدن‌کاری قدیمی مشاهده می‌شود که به علت وجود رگه‌های کلسیتی موجود در کانسار است.

مقادیر CEC و EC بطورکلی در خاک منطقه پائین است. بررسی غلظت فلزات در اندام‌های هوایی و زمینی گونه-های مورد مطالعه نشان می‌دهد که غلظت فلزات منگنز و سرب در اندام‌های هوایی گیاه اسپند نسبت به اندام‌های زمینی آن بیشتر است که این امر نشان‌دهنده تحرک خوب این عناصر در گیاه اسپند است، در حالی که غلظت مس و نیکل در اندام‌های هوایی نسبت به اندام‌های زمینی آن کمتر است. گیاه درمنه فلزات منگنز، نیکل، روی و مس را بیشتر در اندام‌های زمینی و سرب را در اندام‌های هوایی خود مجتمع کرده است.

غلظت فلزات مورد بررسی در گیاه افدرا تمرکز بیشتری را در اندام‌های زمینی نسبت به اندام‌های هوایی نشان می-دهد. فلزات منگنز و نیکل و سرب و روی در گیاه قیچ بیشتر در اندام‌های هوایی مجتمع شده، در حالی که غلظت مس در اندام‌های زمینی آن نسبت به اندام‌های هوایی بیشتر است. اندام‌های هوایی کاروانکش غلظت بالاتری از عناصر منگنز، نیکل و سرب را نسبت به اندام-های زمینی نشان می‌دهند، در صورتی که فلزات مس و روی بیشتر در اندام زمینی کاروانکش تمرکز دارد. بیشترین میزان فاکتور انتقال مربوط به عنصر منگنز در افدرا (۳/۲۹) بیشترین میزان فاکتور تمرکز زیستی مربوط به عنصر سرب در کاروانکش (۰/۴۸) است.

## ۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان برخود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس جعفری، کارشناس محترم سازمان حفاظت محیط زیست استان سمنان مستقر در ایستگاه تحقیقاتی عباس آباد به سبب کمک‌های بی دریغشان قدردانی نمایند.

## مراجع


[1] Kabata-Pendias, A. and Pendias, H; 2001; "*Trace elements in soils and plants*". 3rd ed. CRC Press, LLC, Boca Raton, 413 pp.

[2] Abrahams, PW; 2002; *"Soils: their implications to human health"*. The Science of the Total Environment, Vol. 291: p.1-32.

[3] Chen, T.B., Wong, J.W.C., Zhou, H.Y; 1997; *"Assesment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong",*.Environmental Pollution, Vol. 96: p.61-68.

[4] Mohamadi, M., Shirvani Mahanim S., Haghnia, Gh; 2006;"*Radishes and cress and study compared absorption of zinc and cadmium in their interactions*", Conference on soil, environment and sustainable development, Tehran.

[5] Aykol, A., Budakoglu, M., Kumral, M., Gultekin, A.H., Turhan, M., Esenli, V., Yavuz, F., Orgun, Y; 2003; "*Heavy metal pollution and acid drainage from the abandoned Balya Pb-Zn sulfide mine, NW Anatolia, Turkey"*, Environmental Geology, Vol. 45: p. 198-208.

[6] Jarup, l;2003; *"Hazards of heavy metal contamination*", British Medical Bulletin, Vol. 68: p.167–182.

[7] Balmaki, B., et al.;2009; "*Research and environmental monitoring of mining Baba Ali in Bahar city* " Third Conference and specialized exhibition of environmental engineering, Tehran.

[8] Khosrotehrani, Kh.;2004; " *Geological Survey of Iran*"; Payam Noor University. Tehran.

[9] Ghorbani, M.; 2008; "*Economic geology (mineral deposits and signs Iran)*". Arian Zamin. Tehran.

[10] Siegel, F. R;2002; "*Environmental geochemistry of potentially toxic metals*". springer, p. 218.

[11] Berti, W. R. and Cunninghum, S.D;2000; "*Phytostabilization of metals.in: Raskin I, Ensley BD(Eds).Phytoremediation of toxic metals using plant to clean up the environment".* John Willey & Sons, Inc., New York, p. 71-88.

[12] Kabata-Pendias, A; 2004; "*Soil-Plant transfer of trace elements – an environmental tissue*". Geoderma, Vol. 122: p. 143-149.

[13] Adriano, D.C.,Wenzel,W.W.,Vangronsveld ,J., Bolan,N.S; 2004; "*Role of assisted natural remediation in environmental cleanup"*. Geoderma, Vol. 122: p. 121-142.

[14] Taiz, L. and E. Zeiger; *"Plant Physiology"*, 4th ed; 2006; Sinauer associates,Inc., Publishers,U.S.A.

[15] Stevenson, F. J. and Fitch, A; 1981; *"Reaction with organic matter. In: Copper in soils and plants",* J. F. Loneragan, A. D. Robson and R. D. Graham,eds. Academic Press, New York, p. 69-95.

[16] Marschner, H; 2005; *"Mineral Nutrition of Higher plants"*. Vol. I, translated by B. Kholdebarin, T. Eslamzadeh. Dept. of Biology, College of Sciences, Shiraz University.

[17] Alipoor, S.; 2005; "*Basics of biogeochemical exploration in the discovery of mineral deposits and environmental studies*". Urmia University Press. 319 pages.

[18] Seo .K.W, Son.Y., Rhoades.Ch.C., Noh. N. J., Koo.J.W., Kim.J.G; 2008; "*Seedling Growth and Heavy Metal Accumulation of Candidate Woody Species for Revegetating Korean Mine Spoils*". Restoration Ecology, Vol. 16(4): p. 702–712.

[19] Lee, S., Usman, A. R. A., Abdel-Azeem, S.A.M., Awad, Y. M., Kim, M., Ham, K., Lim, J., Yang, J. E., Lee, S. S., Ok. Y. S; 2011; "*Risk Assessment and Phytoremediation Potential of Native Plant Species for Soils Contaminated with Cr, Cu and As in Gangwon Province, Korea"*. Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences, Vol. 23 (1): p. 22-33.

[20] Jung, M.CH; 2008; "*Heavy Metal Concentrations in Soils and Factors Affecting Metal Uptake by Plants in the Visinity of a Korean CU-W Mine*". Sensors, Vol. 8: p. 2413-2422.

[21] Selinus,O. , Alloway, B., Centeno, J., Finkelman, R., Fug, R., Lindh, U., Smedley, P; 2005; "*Essential of Medical Geology*". Elsevier Academic Press, USA, p. 812 .

[22]Thronton, L; 1999; "*Bioavailibility of trace metals in the food chain*", 2nd lnt, Vetiver Conf, Bangkok, Thailand.

[23] Reichman, S. M; 2002; "*The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc*", Australian Minerals & Energy Environment Foundation, Published as Occasional Paper No.14,ISBN 1-876205-13-X.

[24] Kabata-Pendias,A., and Mukherjee, A.B; 2007; "*Trace elements from soil to human*". New York, Springer.

[25]Wisłocka, M., Krawczyk, J., Klink. A., Morrison.L; 2006; "Bioaccumulation of Heavy Metals by Selected Plant Species from Uranium Mining Dumps in the Sudety Mts., Poland". Polish J. of Environ. Stud, Vol. 15( 5), p. 811-818.

[26]-Holoubek. I., Korinek.p., Sed.A. z., Schneiderova .E., Holoubkova. I., Pacl. A., Trisha. J., Cuddling P., Caslavsky.J; 2000; "*The use of Mosses and Pine needles to Detect Persistent organic Pollutants at Local and regional Scales"*. Environ. Pollut, Vol. 109 (2): p. 283-292.

[27] Iwasaki K.,Tsuji. M., Sakurai. K;1997; "*Fractionation of Copper and Manganese in Agriculture Soils near an Abandoned Copper Mine*". Soil Sci Plant Nutr, Vol. 43(1): p.157-169.

[28] Manab, D,. Maiti. S. K; 2008; "*Comparison between availability of heavy metals in dry and wetland tailing of an abandoned copper tailing pond*". Environ Monit and Assess, Vol. 137: p. 343–350 .

[29] Mohamadkhani Deh Abasi, M., Fekri, M., Sarcheshmehpoor,M.;2011;"*Cu and Zn concentrations in shoot and root of Artemisia in the soil contaminated Lashkar heights Sarcheshmeh*

[40] Tavasoli, A., Lotfi, M.;2007; " *Determination of tectonomagmatic environment Choghondarsar mining area With focus on the mineralization factors (Semnan, northeast Iran)*", Twenty-sixth meeting of Earth Sciences, Tehran, Iran.
[41] Mousavi Shahroodi, A.; 2009; "*Petrology and geochemistry of the volcanic rocks Choghondarsar (South West Abbas Abad) and mineralization associated with them*". Master thesis. Shahrood University of Technology.
[42] Environmental Protection Agency report, Abbas Abad district; 2011.
[43] Qoleno range management plan; 2008; Department of Natural Resources Shahrood.
[44] Dean,W. E. JR; 1974; " *Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparition with other methods*". J.sed. Petrol, Vol. 44: p. 242-248.
[45] U.S. Dept. of Agri;1995; Handb.18.U.S.Govt. Print. Washington, DC., p. 503.
[46] Malakouti, M. and Homaie, M; 1994; "*Fertility of arid region soils (Problems & solutions)*", Tarbiat Modarres Univ, p. 518.
[47] Shayestehfar, M., Rezaei, A.; 2011; "*Evaluation of heavy metals contamination and distribution in Sarcheshmeh Copper Mine sediments using geochemical data and statistical analyzes*"; Iranian Journal of Mining Engineering, Vol. 6, No. 15: p. 25-34.
[48] Miller, R.W. and R.L. Donahue;1990; "*Soils, an Introduction to Soils and Plant Growth*" 6th Edn., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
[49] Pyatt, F. B., Gilmore, G., Grattan, J. P., Hunt, C. O., McLaren, S;2000; "*An Imperial Legacy? An Exploration of the Environmental Impact of Ancient Metal Mining and Smelting in Southern Jordan*", Journal of Archaeological Science, Vol. 27: p. 771–778.
[50] Alloway, BJ; 1990; "*Heavy metals in soils*", Blakie and son Ltd, , London, p. 339
*Copper Mine*". Fifth national conference and exhibition of environmental engineering, Tehran.
[30] Eslami, A.,et al.;2010;" *The determination of trace elements in soils and plants Meydouk Copper Mine*", Twenty nine meeting of Earth Sciences, Tehran, Iran.
[31] Ostvarzadeh, H.,et al.;2010;" *Phytoremediation of heavy metal copper from Sarcheshmeh Copper Mine*", Fourth conference of environmental engineering, Tehran.
[32] Xiao. W. L., Luo, C. L., Chen, Y. H., Shen, Z. G., Li, X. D; 2008; *"Bioaccumulation of Heavy Metals by Wild Plants Growing on Copper Mine Spoils in China"*. Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 39(3-4): p. 315-328 .
[33] qin. C., Luo.C., Chen.Y., Shen.Z.;2012, *"Spatial-Based Assessment of Metal Contamination in Agricultural Soils Near an Abandoned Copper Mine of Eastern China*". Bull Environ Contam Toxicol, Vol. 89: p. 113-118.
[34] Manab, D,. Maiti, S. K; 2007; *"Metal Accumulation In 5 Native Plants Growing On Abandoned Cu-Tailing Ponds"*. Journal of Applied Ecology and Environmental Research, Vol. 5(1): p. 27-35.
[35] Yoon, J., Cao, X,. Zhou, Q., Ma. L.Q;2006; "*Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*", Science of the Total Environment, Vol. 368: p. 456-664.
[36] Juárez-Santillán. L.F. Lucho-Constantino. C. A., Vázquez-Rodríguez. G. A., Cerón-Ubilla. N. M., Beltrán-Hernández. R. I.; 2010; *"Manganese accumulation in plants of the mining zone of Hidalgo, Mexico"*. Bioresource Technology, Vol. 101: p. 5836-5841.
[37] *Atlas of the ways of Iran*; 2005.
[38] Aghanabati, A.; "Iran Geology", Publication of Geological Survey of Iran. 586 pages.
[39] Reporting of the Geological Survey of Iran, 2011; Abandoned data bank .

**پی نوشت**

[1] Peganum harmala
[2] Artemisia Siberia
[3] Epherdar strpbilacea
[4] Zygophyllum eurypterum
[5] Traphaxis Espinosa
[6] Onopordon acanthinm
[7] Stipagrostis plumose
[8] Artemisia aucheri

[9] TF:Translocation Factor
[10] BCF:Bioconcentration Factor
[11] Electrical Conductiveity
[12] Dried weight