

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب

منطقه معدنی چغندرسر (جنوب غرب عباس آباد)

شمسی رحمتی

استاد راهنما :

دکتر بهناز دهرآزما

اساتید مشاور:

دکتر حمیدرضا اصغری

دکتر محمود صادقیان

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۱



دانشگاه گیلان
مدرسه تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره: ۱۱۱۷/۲۹
تاریخ: ۱۳۹۱/۱۲/۲
ویرایش:

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای - شمسی رحمتی - رشته - زمین شناسی - گرایش زیست محیطی - تحت عنوان ارزیابی غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه معدنی چغندر سر (جنوب غرب عباس آباد) که در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : ۱۹) امتیاز ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

✓ ۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر بهناز دهر آما	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر محمود صادقیان دکتر حمیدرضا اسفندی	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عزیز الله طاهری	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر هادی قربانی	استادیار	

رئیس دانشکده:

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

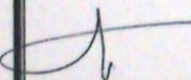
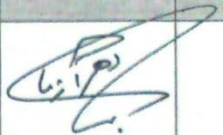
پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شمسی رحمتی

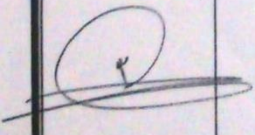
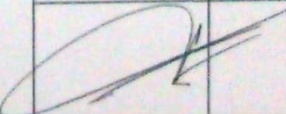
تحت عنوان: ارزیابی غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه معدنی چغندر سر (جنوب غرب

عباس آباد)

در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	دکتر محمود صادقان دکتر حمیدرضا اصغری		دکتر بهناز دهر آزما

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	دکتر عزیز الله طاهری		دکتر افشین فشلاقی
			نام و نام خانوادگی : دکتر هادی قربانی

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنان که درس صداقت و مهربانی،

صبر و تلاش

و

امید، توکل و ایمان به خدا را به من آموختند

تقدیم به برادر و خواهرانم

که همواره مشوق، یاریگر و آرامش دهنده خطاتم در تنگنا و دشواری های زندگی بوده اند

خدایا؛

زندگیم را در دستان تو انمندت قرار می‌دهم

و به تو توکل می‌کنم که چراغ هدایتگر را بهم باشی

امروز که به لطف و عنایت پروردگار این تحقیق به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از زحمات و دلسوزی‌های بی‌شائبه پدر و مادر عزیزم تشکر کنم. آنان که وجودشان برایم مهر، امید و آرایش و وجودم برایشان بهواره ریخته بوده است. توانشان رفت تا به توان برسم، مویشانشان سپید گشت تا رویم سپید بماند، و در کمال خضوع و خشوع در برابر وجود مهربانشان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با دلی مملو از عشق و محبت بر دستانشان بوسه می‌زنم، سر و وجودشان بهواره سبز و استوار باد.

بر خود لازم می‌دانم مراتب سپاس و تشکر خود را از اساتذ و فرزندان و کرامت‌داران، سرکار خانم دکتر بنناز و حرّ آزما که با پذیرش رابهنایی این پایان نامه، از بیچ مساعدتی نسبت به اینجانب دریغ ننموده و بهواره بارابهنایی با و نظرات ارزنده و دلسوزانه خود راه‌شای مسیر تحقیق بوده‌اند و بهواره از ایشان درس صبر و زندگی آموختم، اعلام نمایم. از اساتید محترم مشاور جناب آقای دکتر حمید رضا صغری و جناب آقای دکتر محمود صادقیان که رابهنایی‌های دلسوزانه‌شان رو به تشکر را بهم بوده، کمال سپاس را دارم. از ریاست محترم دانشکده جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی، اساتید محترم دانشکده، جناب آقای دکتر عزیزانده طاحری، دکتر حمید طاحری شهرآیینی، دکتر ناصر حافظی، دکتر فرج‌انده فروست، دکتر اشرفی قناتی، سرکار خانم دکتر کیلی فرغانی تهرانی و دیگر سروران گرامی که در محضرشان علم آموختم و از نظرات ارزنده‌شان بهره‌جستم، تشکر می‌کنم. از کارشناسان محترم دانشکده، جناب آقای مهندس میریاقری و سرکار خانم مهندس سعیدی که بهواره در انجام آزمایشات این پایان نامه نظرات دلسوزانه داشتند و جناب آقای مهندس خاضعی زاده و سرکار خانم مهندس فارسی که در انجام امور آموزشی بسیار متحمل زحمت می‌شدند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تشکر ویژه به عل می‌آورم از برادر عزیزم آقای صدر حجتی و آقای سهراب جمیدی که در مدت انجام نمونه‌برداری زحمات و رنج فراوان بردند و از بهرایی صبورانه و دلسوزانه‌شان در این مرحله از تحقیق بهره‌جفراوان بردم. همچنین از جناب آقای جعفری کارشناس سازمان حفاظت محیط زیست استان سمنان در ایستگاه تحقیقاتی عباس آباد که در انجام نمونه‌برداری کمک نمودند، کمال تشکر را دارم. از برادر مهربان و عزیزتر از جانم جناب آقای اسلام علی رحمتی که بهواره حامی و امید و بنده و مشوق اصلی من بوده‌اند تشکر فراوان دارم. در آخر از تمام دوستان عزیز و مهربانم سرکار خانم با زینب نجفی مرزوه و داوودی فرد، زهراندیس، آمنه آذین‌کان و الهام تاتاری، مریم غیورانه، طاهره امیری، شیارستی و آقایان امامی، آدینه و ندا تیموری و فرزنانی که بهرایی‌شان موجب دلگرمی من بود، تشکر می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته
دانشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه
و به این ترتیب تحت راهنمایی تعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۲

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تاثیر کانسار مس چغندر سر و معدن متروکه مس بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه پایه گذاری گردید. منطقه مورد مطالعه با وسعت تقریبی ۲۸ کیلومتر مربع بین عرض های جغرافیایی $56^{\circ}12'11''$ تا $56^{\circ}12'15''$ شمالی و طول های جغرافیایی $36^{\circ}18'3''$ تا $36^{\circ}22'3''$ شرقی قرار گرفته است. منطقه معدنی چغندر سر در استان سمنان، در ۱۳۵ کیلومتری جاده شاهرود به سبزوار واقع شده است. جهت نیل به این هدف ۱۹ نمونه سنگ، ۲۸ نمونه خاک برداشت گردید. همچنین از ۵ گونه گیاهی غالب منطقه شامل گیاهان اسپند (*Peganum harmala*)، درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*)، افدرا (*Ephedra strobilacea*)، قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) و کاروانکش (*spinosus*) نمونه برداری صورت گرفت. پارامترهای مختلف فیزیوشیمیایی در خاک، غلظت عناصر در نمونه های خاک (با روش ICP-OES) و گیاه (با استفاده از دستگاه جذب اتمی) اندازه گیری و نقشه های پهنه بندی عناصر در محیط Arc GIS در خاک ترسیم گردید. در تحقیق حاضر با توجه به نوع کانسار، غلظت عناصر و اولویت های زیست محیطی، عناصر نقره، آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، روی و وانادیم در خاک و عناصر مس، سرب، روی و نیکل در گیاهان جهت بررسی انتخاب گردید. نتایج بدست آمده با استفاده از محاسبه شاخص های ژئوشیمیایی و بیوژئوشیمیایی و ترسیم نمودارهای مختلف، تجزیه تحلیل و تفسیر گردید. مطالعات زمین شناسی نشان می دهند که کانی سازی در منطقه از نوع رگه ای گرمایی و دارای ماهیت آلوکالین بوده که در طی ائوسن و در یک محیط درون صفحه قاره ای تشکیل شده است. واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل سنگهای آذرین آتشفشانی با ترکیب بازیک (تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالتی) و واحدهای آتشفشانی _ رسوبی و رسوبی (شیل و ماسه سنگ توفی، آهک نومولیت دار، ماسه سنگ قرمز) متعلق به محیط رسوبی کم عمق تا نیمه عمیق می باشند. نتایج بررسی غلظت عناصر در خاک منطقه نشان می دهد که بیشترین غلظت عناصر مس، سرب، روی، آرسنیک، نقره، کادمیم و منگنز در خاک منطقه معدنی متروکه مس می باشد. بیشترین میزان فاکتور غنی شدگی ($155/54$) و شاخص زمین انباشت ($6/56$) مربوط به فلز مس در خاک منطقه معدنی متروکه می باشد و خاک این منطقه به ترتیب غنی شدگی نسبتاً شدید و آلودگی بی نهایت نسبت به مس را نشان داد. روند پراکنش غلظت فلزات سرب و روی و منگنز در خاک منطقه مشابه می باشد. خاک منطقه نسبت به عناصر مس، سرب، روی، نیکل، وانادیم و کادمیم دارای آلودگی متوسط می باشد. نتایج ارزیابی غلظت عناصر در گیاهان مورد بررسی نشان می دهد که بالاترین تجمع مس در اندام زمینی درمنه ($52/48 \text{ mg/kg}$) در منطقه معدنی متروکه دیده می شود. در بین گونه ها درمنه بالاترین تجمع مس، منگنز و نیکل، اسفند بیشترین تجمع نیکل و روی و قیچ بالاترین تجمع سرب را نشان دادند. بیشترین میزان فاکتور انتقال مربوط به سرب در گونه قیچ ($2/76$)، بیشترین مقدار تمرکز زیستی ($0/26$) و فاکتور غنی شدگی ($0/23$) مربوط به عنصر روی در گیاه اسپند می باشد. تنها غلظت مس و نیکل در برخی گونه های گیاهی مورد بررسی در محدوده بحرانی قرار می گیرد. غلظت مس در اندام های هوایی و زمینی قیچ و اندام های زمینی کاروانکش در منطقه بالادست معدنی متروکه، در اندام های زمینی درمنه و کاروانکش در منطقه معدنکاری و در اندام های زمینی درمنه در منطقه پائین دست معدنی متروکه در محدوده بحرانی قرار می گیرد. غلظت نیکل در اندام هوایی قیچ در بالادست منطقه معدنی متروکه، در اندام های زمینی افدرا و درمنه در منطقه معدن متروکه و در اندام های زمینی اسپند در منطقه پائین دست معدنکاری در محدوده بحرانی قرار می گیرد. بطور کلی با توجه به نتایج بدست آمده، کانه زایی مس در منطقه معدنی چغندر سر تأثیر بسزایی در غلظت و توزیع عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه داشته است.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک- فلزات سنگین- گیاهان بومی- معدن متروکه چغندر سر

لیست مقالات مستخرج شده از پایان نامه

- ۱- ارزیابی آلودگی و غلظت عناصر سنگین مس، سرب و کروم در خاک منطقه معدنی چغندرسر (جنوب غرب عباس آباد- سمنان)، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی اقتصادی، (اصفهان)، ۱۷ اسفند ماه (۱۳۹۰).
- ۲- تأثیر کانه‌زایی مس بر غلظت فلزات سنگین مس، روی و کادمیوم در منطقه معدنی چغندرسر (جنوب غرب عباس آباد- سمنان)، نخستین همایش ژئوشیمی منطقه‌ای غرب کشور، (لرستان)، ۷ اردیبهشت ماه (۱۳۹۱).

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ح	چکیده
ی	فهرست مطالب
ن	فهرست شکل‌ها
ص	فهرست جدول‌ها
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- بیان مسئله
۴	۱-۳- خصوصیات منطقه مورد مطالعه
۴	۱-۳-۱- موقعیت جغرافیایی
۵	۱-۳-۲- آب و هوا
۵	۱-۳-۳- کاربری اراضی و پوشش گیاهی
۷	۱-۴- اهداف تحقیق
۷	۱-۵- لزوم انجام تحقیق
۸	۱-۶- روش انجام تحقیق
۹	۱-۷- سازمان بندی پایان نامه
۱۰	فصل دوم: زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
۱۱	۲-۱- مقدمه
۱۵	۲-۲- واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه
۲۱	۲-۳- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه
۲۲	۲-۴- زمین شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه

۲۴	۵-۲- زمین شناسی اقتصادی
۲۷	فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین
۲۸	۳-۱- مقدمه
۲۸	۳-۲- مس و اهمیت آن در گیاه و انسان
۲۹	۳-۲-۱- مس و گیاه
۳۰	۳-۲-۲- مس و انسان
۳۱	۳-۳- کانه زایی مس در ایران
۳۳	۳-۴- گیاهان و فلزات سنگین
۳۷	۳-۵- کانه‌زایی مس و آلودگی خاک و گیاه
۴۳	۳-۶- تجمع و تمرکز زیستی فلزات سنگین در گیاهان
۴۳	۳-۶-۱- فاکتورهای انتقال، تمرکز زیستی و غنی‌شدگی
۴۷	۳-۷- زیست دسترس پذیری فلزات سنگین
۵۰	۳-۸- مطالعات انجام شده در منطقه
۵۲	فصل چهارم : مواد و روش‌ها
۵۳	۴-۱- مقدمه
۵۳	۴-۲- انجام مطالعات پایه
۵۳	۴-۳- نمونه برداری
۵۴	۴-۳-۱- نمونه برداری سنگ
۵۴	۴-۳-۲- نمونه برداری خاک
۵۸	۴-۳-۳- نمونه برداری گیاه
۶۰	۴-۴- آماده سازی نمونه‌ها
۶۰	۴-۴-۱- نمونه های سنگ

۶۰	۴-۲- نمونه‌های خاک
۶۰	۴-۳- نمونه‌های گیاه
۶۱	۴-۵- روش‌های آنالیز
۶۱	۴-۵-۱- اندازه گیری pH
۶۱	۴-۵-۲- اندازه گیری EC
۶۲	۴-۵-۳- اندازه گیری درصد مواد آلی خاک
۶۲	۴-۵-۴- اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم
۶۳	۴-۵-۵- تعیین بافت خاک
۶۴	۴-۵-۶- تعیین غلظت عناصر سنگین
۶۵	۴-۶- روش‌های ارزیابی کیفیت و میزان آلودگی خاک و گیاه
۶۵	۴-۷- ارزیابی میزان زیست دسترس پذیری فلزات سنگین
۶۷	فصل پنجم: بررسی غلظت عناصر و فلزات سنگین در خاک منطقه
۶۸	۵-۱- مقدمه
۶۹	۵-۲- نتایج خام آنالیز نمونه‌های خاک منطقه
۷۰	۵-۳- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در خاک منطقه
۷۰	۵-۳-۱- pH
۷۱	۵-۲-۲- هدایت الکتریکی
۷۲	۵-۳-۳- CEC
۷۵	۵-۲-۴- ماده آلی
۷۵	۵-۲-۴- کربنات کلسیم
۷۶	۵-۲-۶- بافت خاک
۸۱	۵-۴- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر در خاک منطقه

۸۱	۵-۵- بررسی غلظت و توزیع عناصر در خاک منطقه
۸۱	۵-۵-۱- مس
۸۴	۵-۵-۲- نقره
۸۵	۵-۵-۳- آرسنیک
۸۶	۵-۵-۴- کادمیم
۸۶	۵-۵-۵- کروم
۹۰	۵-۵-۶- منگنز
۹۱	۵-۵-۷- نیکل
۹۵	۵-۵-۸- سرب
۹۶	۵-۵-۹- روی
۹۷	۵-۵-۱۰- وانادیم
۹۷	۵-۶- ارزیابی کیفیت و شدت آلودگی خاک با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی
۹۷	۵-۶-۱- فاکتور غنی شدگی
۱۰۶	۵-۶-۲- شاخص زمین انباشت
۱۱۱	۵-۶-۳- فاکتور آلودگی و درجه آلودگی
۱۱۷	فصل ششم : بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاهان بومی غالب منطقه
۱۱۸	۶-۱- مقدمه
۱۱۹	۶-۲- معرفی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه
۱۲۰	۶-۲-۱- افدرا
۱۲۱	۶-۲-۲- اسفند
۱۲۲	۶-۲-۳- درمنه

۱۲۴	۶-۲-۴- قیچ
۱۲۴	۶-۲-۵- کاروان کش
۱۲۵	۶-۳- ارزیابی غلظت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی
۱۳۴	۶-۴- ارزیابی شاخص‌های بیوژئوشیمیایی در گیاهان مورد بررسی
۱۳۵	۶-۴-۱- فاکتور انتقال
۱۳۶	۶-۴-۲- فاکتور تمرکز زیستی
۱۳۷	۶-۴-۳- فاکتور غنی شدگی
۱۳۸	۶-۵- زیست دسترس پذیری
۱۴۱	فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۴۲	۷-۱- مقدمه
۱۴۳	۷-۲- مطالعات زمین‌شناسی منطقه
۱۴۴	۷-۳- تأثیر کانه‌زایی بر کیفیت خاک منطقه
۱۴۷	۷-۴- تأثیر کانه‌زایی بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان بومی منطقه
۱۴۸	۷-۵- پیشنهادات

منابع

۱۴۹	منابع فارسی
۱۵۲	منابع انگلیسی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن (برگرفته از اطلس راههای ایران ۱۳۸۴)

- شکل ۱-۲ نمای از کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه ۶
- شکل ۱-۳ منطقه مورد مطالعه بخشی از منطقه حفاظت شده از توران ۶
- شکل ۲-۱ تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه ۱۱
- شکل ۲-۲ نقشه پهنه‌های رسوبی - ساختاری عمده ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳) ۱۲
- شکل ۲-۳ نقشه زمین شناسی منطقه چغندر سر (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس آباد) ۱۳
- شکل ۲-۴ تراکی بازالت با فنوکریست اوژیت ۱۵
- شکل ۲-۵ فنوکریست کلینوپیروکسن در تراکی بازالت (XPL، بزرگنمایی ۲۰ برابر) ۱۵
- شکل ۲-۶ تراکی بازالت دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز ۱۵
- شکل ۲-۷ فنوکریست پلاژیوکلاز در تراکی بازالت (XPL، بزرگنمایی ۲۰ برابر) ۱۵
- شکل ۲-۸ تصاویری از حضور کانی‌های ثانویه در تراکی بازالت‌ها ۱۶
- شکل ۲-۹ تراکی آندزیت بازالتی با میان لایه توف قرمز و نهشته‌های رسوبی ۱۶
- شکل ۲-۱۰ ساخت جریانی تراکی آندزیت بازالتی ۱۷
- شکل ۲-۱۱ ساخت مگاپورفیری در تراکی آندزیت ۱۷
- شکل ۲-۱۲ کلسیت و کوارتز ۱۷
- شکل ۲-۱۳ دگرسانی اکسید آهن ۱۷
- شکل ۲-۱۴ ساخت پورفیری، مگاپورفیری، جریانی در تراکی آندزیت ۱۸
- شکل ۲-۱۵ زئولیت و مالاکیت در تراکی آندزیت‌های معدن مس چغندر سر ۱۸
- شکل ۲-۱۶ تصویری از یک افق توفیتی قرمز ۱۸
- شکل ۲-۱۷ تصویری از افق توفیتی قرمز بین دو افق گدازه ۱۸
- شکل ۲-۱۸ ضخامت زیاد گدازه با حالت کنگلومرایی ۱۹
- شکل ۲-۱۹ ضخامت زیاد با حالت کنگلومرایی ۱۹
- شکل ۲-۲۰ آهک نومولیت‌دار ۱۹
- شکل ۲-۲۱ آهک نومولیت‌دار (XPL - بزرگنمایی ۲۰ برابر) ۱۹
- شکل ۲-۲۲ مقاطع نازک از آهک دارای فسیل‌های شاخص دیگر (آلئولینا- دوکفه‌ای- میلیولید و کاسکولینا) ۲۰

(XPL - بزرگنمایی ۲۰ برابر)

- شکل ۲-۲۳ نمایی از ارتفاعات منطقه ۲۱
- شکل ۲-۲۴ تپه‌هایی با شیب ملایم تا متوسط ۲۱
- شکل ۲-۲۵ نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه عباس آباد براساس نقشه زمین شناسی، ماهواره ای و مشاهدات صورت گرفته (موسوی شاهرودی و همکاران، ۱۳۸۸) ۲۲
- شکل ۲-۲۶ نمایش اثر عملکرد شکستگی (سبز رنگ) و عبور سیال حاوی کربنات مس ۲۲
- شکل ۲-۲۷ نمایی از شکستگی‌های قرمز رنگ در تراکی آندزیت، در محل کانسار که محل عبور سیال را نشان می‌دهد ۲۲
- شکل ۲-۲۸ اثر حرکات تکتونیکی (خش لغزش) در نزدیکی دهانه تونل وکنده کاری‌های قدیمی کانسار ۲۳
- شکل ۲-۲۹ تشکیل رگه کلسیتی در شکستگی‌های ایجاد شده در اثر عملکرد گسل و ورود سیالات به داخل فضاهای باز ۲۳
- شکل ۲-۳۰ شکستگی‌ها در دهانه تونل کانسار ۲۴
- شکل ۲-۳۱ اثر عملکرد گسل چغندر سر ۲۴
- شکل ۲-۳۲ کانه زایی مس در سطح سنگها در اطراف تونل استخراجی در نزدیکی معدن متروکه مس ۲۵
- شکل ۲-۳۴ ژئولیت شعاعی در گدازه‌های ائوسن ۲۵
- شکل ۲-۳۵ ژئولیت اسفرولیتی در تراکی‌بازالت ۲۵
- شکل ۴-۱ توزیع نقاط نمونه برداری سنگ بر روی نقشه زمین شناسی منطقه ۵۵
- شکل ۴-۲ توزیع نقاط نمونه برداری خاک بر روی نقشه زمین شناسی منطقه ۵۷
- شکل ۴-۳ توزیع نقاط نمونه برداری گیاه روی نقشه زمین شناسی منطقه ۵۹
- شکل ۴-۴ مثلث بافت خاک USDA ۶۴
- شکل ۵-۱ نقشه پراکندگی pH در خاک منطقه ۷۳
- شکل ۵-۲ نقشه پهنه‌بندی EC در خاک منطقه ۷۴
- شکل ۵-۳ پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک منطقه ۷۷
- شکل ۵-۴ پهنه‌بندی ماده‌آلی در خاک منطقه ۷۸

۷۹	شکل ۵-۵ پهنه‌بندی کربنات کلسیم در خاک منطقه
۸۰	شکل ۶-۵ پهنه‌بندی بافت خاک منطقه
۸۰	شکل ۷-۵ رده‌بندی بافت خاک منطقه بر اساس (USDA, 2009)
۸۴	شکل ۸-۵ پهنه‌بندی غلظت مس در خاک منطقه
۸۷	شکل ۹-۵ پهنه‌بندی غلظت نقره در خاک منطقه
۸۸	شکل ۱۰-۵ پهنه‌بندی غلظت آرسنیک در خاک منطقه
۸۹	شکل ۱۱-۵ پهنه‌بندی غلظت کادمیم در خاک منطقه
۹۲	شکل ۱۲-۵ پهنه‌بندی غلظت کروم در خاک منطقه
۹۳	شکل ۱۳-۵ پهنه‌بندی غلظت منگنز در خاک منطقه
۹۴	شکل ۱۴-۵ پهنه‌بندی غلظت نیکل در خاک منطقه
۹۸	شکل ۱۵-۵ پهنه‌بندی غلظت سرب در خاک منطقه
۹۹	شکل ۱۶-۵ پهنه‌بندی غلظت روی در خاک منطقه
۱۰۰	شکل ۱۷-۵ پهنه‌بندی غلظت وانادیم در خاک منطقه
۱۰۲	شکل ۱۸-۵ میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مختلف در خاک منطقه
۱۰۵	شکل ۱۹-۵ مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر مختلف در خاک منطقه
۱۰۷	شکل ۲۰-۵ میانگین مقادیر شاخص زمین‌انباشت برای عناصر مختلف در خاک منطقه
۱۱۱	شکل ۲۱-۵ میزان شاخص زمین‌انباشت برای عناصر مورد بررسی
۱۱۲	شکل ۲۲-۵ میانگین مقادیر فاکتور آلودگی برای عناصر مختلف در خاک منطقه
۱۱۵	شکل ۲۳-۵ میزان فاکتور آلودگی برای عناصر مورد بررسی
۱۱۶	شکل ۲۴-۵ مقادیر درجه آلودگی در نمونه‌های خاک منطقه
۱۲۱	شکل ۱-۶ گیاه افدرا در منطقه مورد مطالعه
۱۲۱	شکل ۲-۶ پراکنش افدرا در منطقه شاهد
۱۲۱	شکل ۳-۶ پراکنش افدرا در منطقه معدنی متروکه
۱۲۳	شکل ۴-۶ گیاه اسفند در منطقه مورد مطالعه

- شکل ۵-۶ گیاه درمنه در منطقه مورد مطالعه ۱۲۳
- شکل ۶-۶ گیاه قیچ در منطقه مورد مطالعه ۱۲۴
- شکل ۷-۶ گیاه کاروانکش در منطقه مورد مطالعه ۱۲۵
- شکل ۸-۶ غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در واحد وزن خشک گیاه (گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام‌های هوایی و زمینی) ۱۲۷
- شکل ۹-۶ غلظت نیکل در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام ۱۳۱
- شکل ۱۰-۶ نمودار غلظت مس در گونه‌های گیاهی منطقه به تفکیک اندام ۱۳۳
- شکل ۱۱-۶ غلظت سرب در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام ۱۳۳
- شکل ۱۲-۶ تغییرات غلظت روی در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام ۱۳۴
- شکل ۱۳-۶ تغییرات غلظت منگنز در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام ۱۳۵

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۵۶	جدول ۱-۴ نام و مختصات جغرافیایی نمونه‌های سنگی
۵۶	جدول ۲-۴ مشخصات محل‌های نمونه برداری خاک
۵۸	جدول ۳-۴ مشخصات محل‌های نمونه برداری گیاه
۶۹	جدول ۱-۵ میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های خاک منطقه
۷۰	جدول ۲-۵ غلظت عناصر در نمونه‌های خاک منطقه بر حسب mg/kg
۷۰	جدول ۳-۵ میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های سنگ بر حسب mg/kg
۷۱	جدول ۴-۵ طبقه بندی خاک بر مبنای pH (soil science society of America, 1997)
۸۳	جدول ۵-۵ همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر در منطقه
۱۰۱	جدول ۶-۵ غلظت میانگین عناصر مورد بررسی در پوسته و شیل بر حسب (mg/kg) (میسون و مر، ۱۳۸۶)
۱۰۱	جدول ۷-۵ رده بندی مقادیر فاکتور غنی شدگی (Chen et al, 2007)
۱۰۷	جدول ۸-۵ میزان آلودگی خاک بر اساس مقادیر شاخص زمین انباشت در طبقه بندی مولر (Muller, 1969)
۱۱۲	جدول ۹-۵ رده بندی کیفی خاک هاکنسون بر مبنای فاکتور آلودگی و درجه آلودگی (Hakanson, 1980)

- جدول ۱-۶ غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام‌های هوایی و زمینی ۱۲۶
- جدول ۲-۶ دامنه غلظت نرمال و بحرانی و حد بحرانی کمبود و سمیت عناصر مورد بررسی در گیاه بر حسب (mg/kg) ۱۲۹
- جدول ۳-۶ میانگین مقادیر فاکتورهای بیوژئوشیمیایی محاسبه شده در گیاهان مورد مطالعه در منطقه ۱۳۸
- جدول ۴-۶ مقادیر زیست دسترس پذیری عناصر مس، سرب و روی در نمونه‌های خاک منطقه ۱۴۰

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

محیط زیست شامل انسان، آب، هوا، خاک و اجزاء زنده و غیر زنده گیاهی و جانوری می باشد و متأثر از برهم کنش های بین این اجزاء است. حاصل این برهم کنش ها می تواند در جهت ارتقاء سلامت و کیفی ت محیط زیست و یا تخریب آن و به مخاطره انداختن سلامت و حیات اجزاء باشد. از آنجا که اجزاء تشکیلی دهنده کره زمینی اعم از زنده و غیر زنده مهمترین منبع تأمین مواد مورد نیاز زندگی بشر هستند، سلامت انسان در گرو برهم کنش مثبت آنها و حفظ تعادل بین اجزاء می باشد. سلامت جامعه بشری و محیط زیست که از ارکان اساسی توسعه پایدار هر کشور است، متأثر از سلامت اجزاء محیط است.

در طول تاریخ بشر، هر چند استفاده از فلزات منافی برای انسان داشته است، به همان اندازه بیامدهای پرخطر غیر قابل پیش بینی را موجب شده است. در حقیقت فعالیتهای معدنی اغلب یک منبع مهم آلودگی فلزات سنگین را به نمایش می گذارند، که ممکن است به اکوسیستم های اتمسفری، خشکی و آبی وارد شود (Passariello et al., 2002). ذخایر طبیعی فلزی مهمترین منبع رهاسازی این عناصر به محیط می باشند (Aykol et al., 2003). استخراج معادن فلزی کانی های حاوی فلزات سنگین موجود در سنگ دیواره، سنگ باطله و روباره را در معرض هوازدگی شدید قرار می دهد که این امر منجر به افزایش بار آلودگی فلزی محیط زیست می شود (MacGregor, 2000). آلودگی خاک توسط فلزات سنگین ناشی از معدن کاری سبب کاهش کیفیت و سلامت خاک می شود که این امر برای سلامت گیاه و به دنبال آن انسان مضر می باشد (Jarup, 2003). در تحقیقات بسیاری آلودگی های حاصل از معادن متروکه مورد بررسی قرار گرفته اند (Abrahams and Thornton, 1987; Hamilton, 2000). می زان و درجه آلودگی فلزات سنگین اطراف معادن به عواملی از جمله خصوصیات کانی شناسی و ژئوشیمیایی کانسار و سنگ می زبان و همچنین درجه کانه زایی (عیار ماده معدنی) باطله بستگی دارد (Johnson et al., 2000). سرنوشت و انتقال فلزات

پدیده‌ای پی‌چیده می‌باشد که با فرایندهای مؤثر در انتقال آنان، اندازه و کانی‌شناسی ذرات فرسایش یافته و ویژگی‌های خاک مرتبط می‌باشد (Razo et al., 2004). فلزات سنگین می‌توانند زیست‌کره را در دراز مدت تحت تأثیر قرار داده و از لایه‌های خاک شسته شده و وارد منابع آب و پی‌کره گیاهان گردند. بنابراین استفاده غذایی از گیاهان آلوده به مقادیر بالای فلزات سنگین می‌تواند یک خطر جدی برای سلامت انسان و جانوران محسوب شود (Wang et al., 2003). در این فصل به بیان مسئله و موضوع تحقیق، لزوم اجرای تحقیق، روش انجام تحقیق و خصوصیات منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسئله

خاک به عنوان منبع طبیعی و اولیه بسیاری از عناصر و مواد کانیایی، چه بطور مستقیم از طریق فرسایش آبی و بادی و چه غیرمستقیم در اثر برهمکنش با هوا، گیاه و میکروارگانیسم‌ها به چرخه مواد و انرژی وارد کرده و می‌تواند موجب ارتقاء، بهبود و یا کاهش کیفیت و سلامت محیط زیست شود. خاک به سبب دارا بودن خواص فیزیکی از قبیل تراوایی، نفوذپذیری، تبخیر، فیلتراسیون و خواص شیمیایی چون تبادل یونی و تشکیل کمپلکس‌های معدنی و آلی و نیز خواص بیولوژیکی به سبب وجود موجودات زنده و تجزیه و فساد مواد آلی، به عنوان پالاینده طبیعی محیط زیست عمل می‌کند. به منظور تأمین مواد مورد نیاز طبیعی انسان از یکسو و بهبود کیفیت و سلامت خاک از سوی دیگر، بررسی و کنترل خصوصیات و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آن امری لازم به شمار می‌آید.

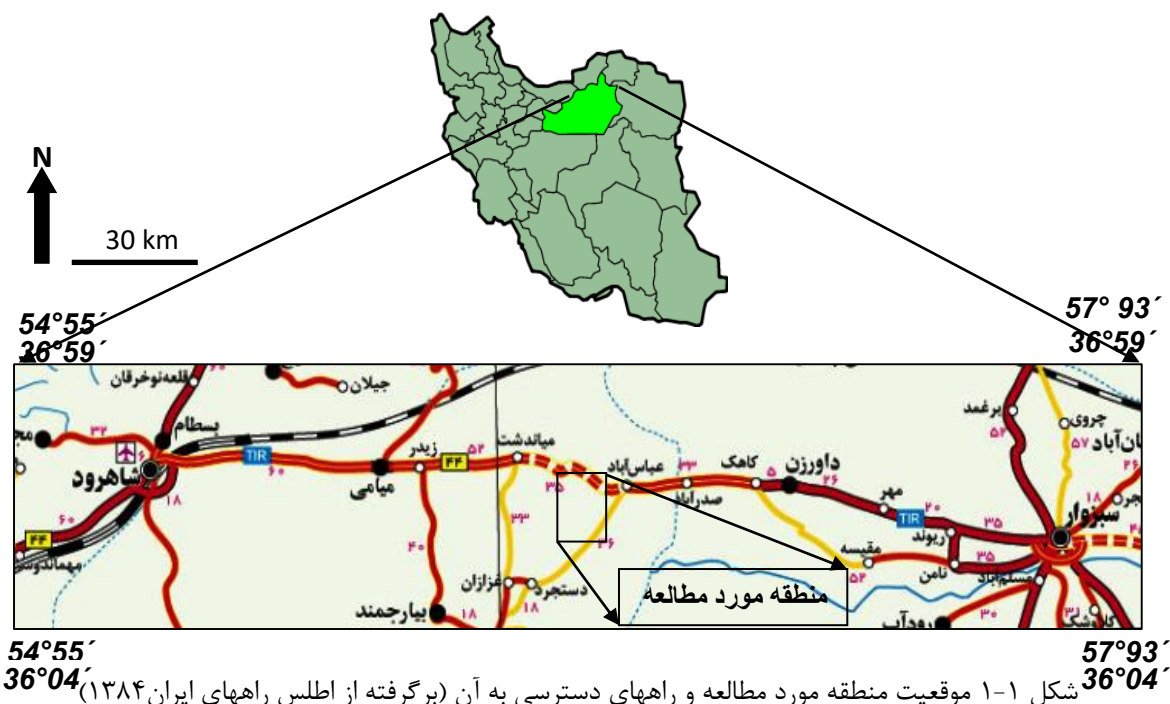
منطقه مطالعاتی با وسعت ۲۸ کیلومترمربع در استان سمنان، در ۱۳۵ کیلومتری جاده شاهرود به سبزوار واقع شده است (شکل ۱-۱). خاک منطقه متأثر از سنگهای آتشفشانی و کانسار مس چغندرسر می‌باشد. با توجه به وجود معدن متروکه مس، احتمال آلودگی خاک و گیاه به عناصر سنگین می‌باشد. از طرفی با توجه به اهمیت پوشش گیاهی خاص منطقه که دارویی و منبع غذایی

دامپهاست، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر معدن متروکه مس و سنگ‌های آتشفشانی منطقه بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه پایه گذاری و اجرا گردید.

۳-۱- خصوصیّات منطقه مورد مطالعه

۱-۳-۱- موقعیت جغرافیایی

منطقه مطالعاتی (منطقه چندرسر) با وسعت ۲۸ کیلومترمربع بین عرض های جغرافیایی $36^{\circ}18'3''$ تا $36^{\circ}22'3''$ شرقی $56^{\circ}11'11''$ تا $56^{\circ}12'15''$ شمالی و طول های جغرافیایی $36^{\circ}18'3''$ تا $36^{\circ}22'3''$ شرقی قرار گرفته است. این منطقه در استان سمنان، در ۱۳۵ کیلومتری جاده شاهرود به سبزوار واقع شده است. پس از عبور از بخش میاندشت و طی ۹ کیلومتر به سمت جنوب غرب در جاده فرعی خاکی، تونل و آثار کنده کاری قدیمی کانسار مس چندرسر قابل مشاهده است. در شکل ۱-۱ راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه آورده شده است.



۱-۳-۲- آب و هوا

این منطقه از لحاظ آب وهوایی، دارای آب وهوایی خشک است و می‌زان بارندگی به کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر در سال می‌رسد (خلعتبری، ۱۳۸۰). به دلیل عدم وجود آب کافی در این منطقه تولید محصولات کشاورزی و زراعت بسیار محدود می‌باشد و بیشتر دامپروری در منطقه دیده می‌شود. دامداران دامهای روستاهای اطراف نظیر عباس آباد، دستجرد و غزازان و می‌اندشت را برای چرا به این منطقه می‌آورند. شرایط وزش باد در منطقه به نحوی است که منطقه از چهار سو مورد وزش باد قرار می‌گیرد. بادهایی خشک معروف به سیه باد که از سمت جنوب و غرب و از سوی صحرای عرفات می‌وزند. بادهای باران آور که از سمت شمال به منطقه می‌وزد، موجب بارش برف و کولاک در منطقه می‌شود. بادهایی که از سمت شرق به منطقه می‌وزد و به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت موجب بارش در منطقه می‌شود که بسته به شرایط محلی حاکم می‌تواند بارش برف یا باران را در پی داشته باشد.

۱-۳-۳- کاربری اراضی و پوشش گیاهی

پوشش گیاهی ناحیه مورد نظر، به بوته ها و درختچه های کوتاه محدود می شود که در مقابل خشکی مقاوم می باشند. پوشش گیاهی غالب منطقه، تیپ قیچ و درمنه می باشد (اداره منابع طبیعی شاهرود، ۱۳۸۷). بر طبق مشاهدات صحرایی دی‌گرگونه‌های فراوان در منطقه، که به عنوان علوفه و نی‌زگیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از: اسفند، کاروانکش، افدرا، سالسولا، کوخی، گیاه شورپسند. از لحاظ کاربری اراضی، اراضی منطقه مرتع محسوب می‌شود و گیاهان منطقه گذشته از استفاده دارویی، به مصرف دام می‌رسند (شکل ۱-۲).

شایان ذکر می‌باشد که توزیع پوشش گیاهی منطقه با توجه به حضور کانسار مس چغندر سر یکنواخت نبوده که در فصول آینده مورد بحث قرار می‌گیرد. در محدوده منطقه مورد مطالعه به

دلیل بارش اندک، سخت و سنگی و مرتفع بودن نسبی اراضی منطقه و عدم وجود اراضی هموار و یکدست، کشاورزی امکان پذیر نمی باشد. منطقه جزء منطقه حفاظت شده پارک ملی توران محسوب شده و به لحاظ وجود گونه های جانوری و گیاهی کمیاب و ارزشمند موجود، ذخیره گاه ژنی محسوب می شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۲ نمایی از کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه



شکل ۱-۳ منطقه مورد مطالعه بخشی از منطقه حفاظت شده توران

۴-۱- اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق بررسی تأثیر سنگهای آتشفشانی و کانسار مس چغندر سر بر غلظت عناصر و فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه می باشد. نیل به این هدف مستلزم رسیدن به اهداف فرعی زیر می باشد:

- مطالعه زمین شناسی و تنوع واحدهای سنگی در منطقه.
- تعیین و بررسی روند تغییرات غلظت عناصر و فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه و نمایش نحوه توزیع عناصر در خاک با استفاده از نرم افزار GIS بر روی نقشه زمین شناسی منطقه .
- تعیین ارتباط بین غلظت عناصر و فلزات سنگین بین سنگ، خاک و گیاهان بومی غالب منطقه.
- ارزیابی میزان آلودگی در خاک و گیاه بومی غالب منطقه با استفاده از استانداردها و شاخصهای زیستمحیطی و بیوژئوشیمیایی.
- ارزیابی میزان انباشت، تحرک و انتقال عناصر از خاک به گیاهان بومی غالب منطقه.
- ارزیابی زیست دسترس پذیری فلزات سنگین

۵-۱- لزوم انجام تحقیق

حضور عناصر سنگین در خاک و گیاه، کیفیت آنها را تحت تأثیر قرار می دهد، در صورتیکه غلظت این عناصر از حدود نرمال و استاندارد افزایش یابد، با ورود به زنجیره غذایی (انتقال، تغییر ترکیب، افزایش سمیت، تغلیظ و تمرکز) به طور مستقیم و غیرمستقیم موجب به خطر افتادن سلامت جوامع زیستی در بوم سامانه ها (انسان، گیاه، جانور) می شوند.

ارزیابی غلظت کل فلزات سنگین در خاک معمولاً به عنوان اولین شاخص مرجع برای مقایسه سطح آلودگی با حدود مجاز (استاندارد) یا معمول، مورد استفاده قرار می گیرد، با این حال حضور طبیعی

فلزات سمی در خاکها خصوصاً در نواحی معدنی متروکه نیاز به انجام مطالعات بیشتری برای تعیین و تشخیص تحرک آنها بواسطه فرسایش و شستشو و در نتیجه ورود آنها به محیط زیست دارد (Giuliano et al., 2007). تعیین میزان کل فلزات سنگین یک رویکرد مؤثر برای تعیین آلودگی زیست محیطی می باشد اما برای ارزیابی اثر هر عنصر در آلودگی بالقوه اکوسیستم ناکافی می باشد (Ure and Davidson, 2002).

در حال حاضر منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط نامساعد کشاورزی از قبیل شوری خاک، کافی نبودن منابع آب شیرین، فاقد زمین های زراعی می باشد و گیاهان بومی خودرو در منطقه مورد استفاده چرای دام و استفاده دارویی قرار می گیرند و تنها منبع آلاینده خاک و گیاهان منطقه، منبع زمین زاد (سنگ های منطقه و معدن متروکه مس) می باشد. با توجه به موارد ذکر شده و همچنین حضور سنگ میزبان کانسار مس چغندر سر در منطقه و احتمال آلودگی خاک و گیاهان به فلزات سنگین و ورود آنها به زنجیره غذایی، بررسی غلظت، تحرک و تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه که علوفه ای و دارویی هستند، امری لازم به شمار می آید. لازم به ذکر می باشد که عدم وجود تحقیقات زیست محیطی در منطقه لزوم انجام تحقیق را بیشتر نمایان می سازد.

۱-۶- روش انجام تحقیق

جهت رسیدن به اهداف این تحقیق در ابتدا مطالعه گسترده از تحقیقات پیشین مشابه در ایران و جهان در زمینه آلودگی طبیعی عناصر سنگین در خاک و گیاه، چگونگی حرکت، تجمع و توزیع آنها، برهم کنش خاک و گیاه برای کسب اطلاعات به عمل آمد. در ادامه به بررسی ویژگی های زمین شناسی منطقه پرداخته شد. برای بررسی می زان و نحوه توزیع، تحرک و تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاهان غالب منطقه و تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آنها، نمونه برداری از سنگ، خاک و گیاهان بومی غالب منطقه انجام شد. برای تعیین کانی های موجود در سنگهای منطقه و انجام مطالعات کانی شناسی مقاطع نازک از سنگ ها تهیه گردید. غلظت عناصر و

فلزات سنگین در نمونه‌های سنگ، خاک و گیاه توسط دستگاه ICP-OES و جذب اتمی (AAS) و پارامترهای دی‌گر فی‌زی‌کوشی‌می‌ای نظیر بافت خاک، درصد کربنات کلسیم، درصد مواد آلی، می‌زان هدایت الکتریکی، pH، در خاک اندازه‌گیری شد. در نهایت بطور کلی نتایج حاصل از آنالیزهای فی‌زی‌کوشی‌می‌ای و کانی‌شناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با استفاده از نرم افزارهای مختلف (SPSS 16, Arc GIS 9.3) و رسم نمودارها و محاسبه شاخص‌های مختلف ژئوشی‌می‌ای و زیست‌محیطی، نحوه توزیع، تحرک و تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه و ارتباط آن با سنگ‌های منطقه تعین و ارزیابی گردید. می‌زان دسترس پذیری زیستی فلزات مس، سرب و روی در نمونه‌های خاک منطقه شاهد، منطقه معدنی متروکه و پائین دست منطقه معدنی تعین گردید.

۱-۷- سازمان بندی پایان نامه

مراحل و نتایج تحقیق حاضر در قالب پایان نامه به صورت زیر سازمان بندی شده است :

فصل اول: کلیات

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

فصل پنجم: بررسی غلظت عناصر و فلزات سنگین در خاک منطقه

فصل ششم: بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاهان بومی غالب منطقه

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل دوم

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

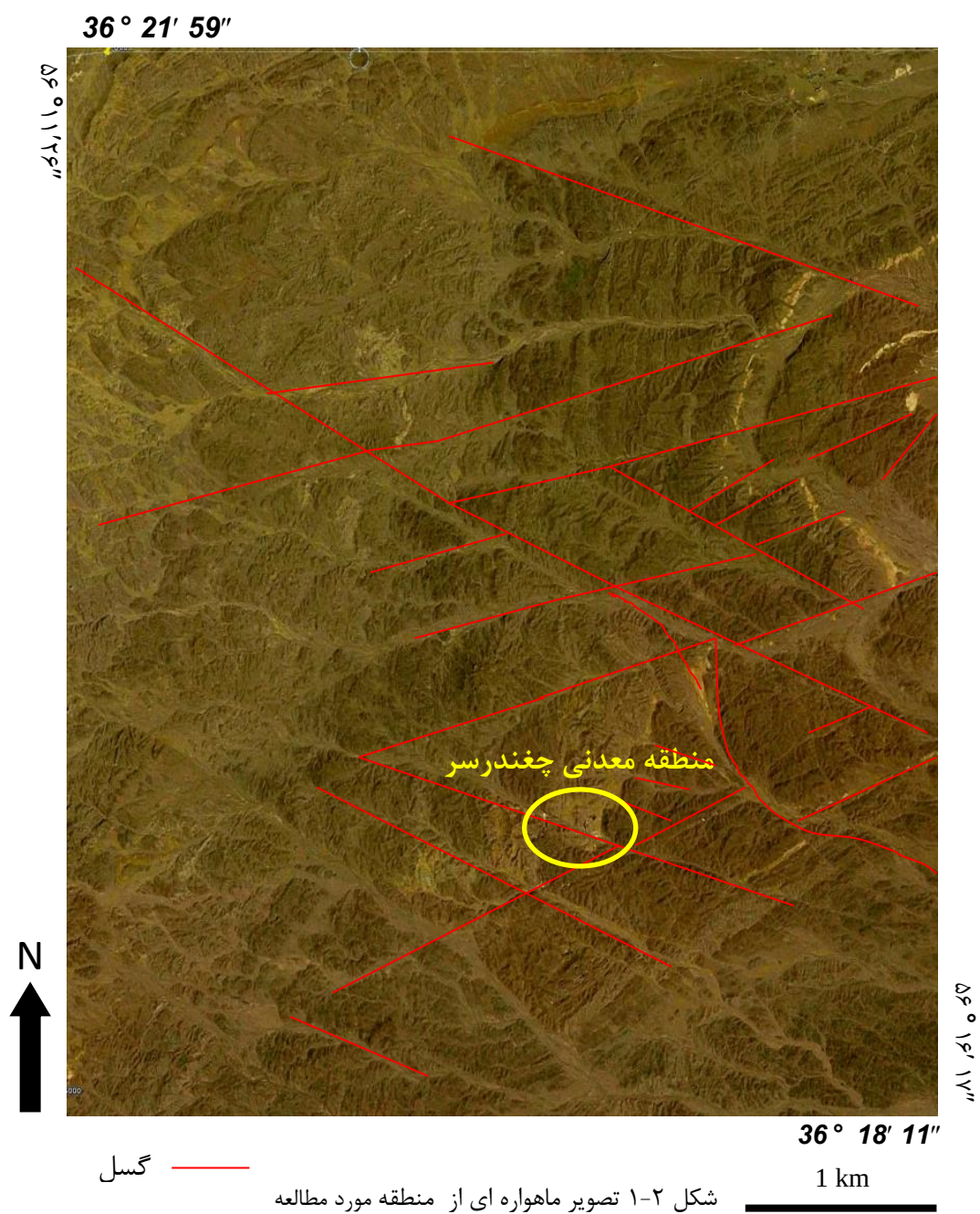
۲-۱- مقدمه

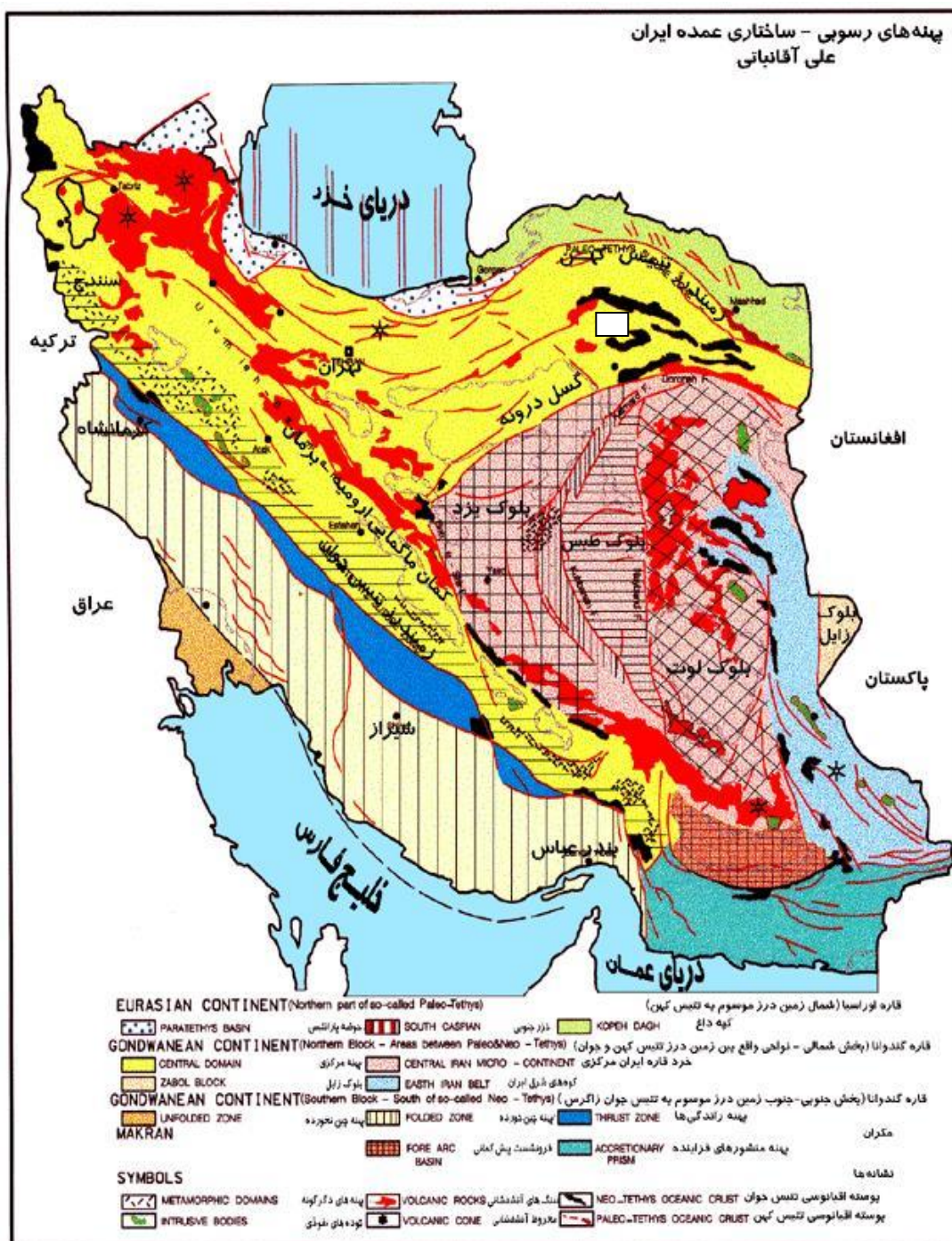
حوادث ماگمایی سنوزوئیک را که در فاز کوهزایی آلپی روی داده است، می‌توان مهمترین حادثه در تکوین پوسته ایران و وضعیت فعلی آن و همچنین شکل فعلی کوههای ایران دانست. در نتیجه فعالیت ماگماتیسم و عملکرد بعدی آن (اثر محلولهای گرمایی) در ایران، قسمت اعظم ذخایر معدنی ایران از جمله کانسارهای مس تشکیل شده‌اند (درویش زاده، ۱۳۸۵).

دوران سنوزوئیک را باید دوران فعالیت ماگماتیسم ایران نامید که اثرات آن در سراسر ایران به استثنای زاگرس و کپه داغ دیده می‌شود. فعالیت ماگماتیسم و بخصوص ولکانیسم ترشیر در ایران دارای ترکیب سنگی متفاوت و گسترش و پراکندگی زیادی می‌باشد (قربانی، ۱۳۸۲).

وجود فوران‌های زیردریایی، رسوبات کم عمق و رخساره‌های قاره‌ای نشان‌دهنده تناوب پیشروی و پسروی دریای کم عمقی است که روی مواد آتشفشانی را پوشانده است (درویش زاده، ۱۳۸۵). در شکل (۱-۲) تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. منطقه چغندرسر در تقسیم بندی ساختاری ایران از نظر آقانباتی (۱۳۸۳) بخشی از نوار آتشفشانی ایران مرکزی می‌باشد که در لبه شمالی زون ایران مرکزی (شرق استان سمنان) قرار دارد (شکل ۲-۲).

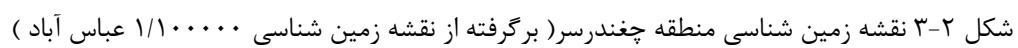
واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل سنگهای آذرین آتشفشانی با ترکیب بازیک تا حدواسط (تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالتی) و واحدهای آتشفشانی _ رسوبی و رسوبی (شیل و ماسه سنگ توفی، آهک نومولیت دار، ماسه سنگ قرمز) متعلق به یک محیط رسوبی کم عمق تا نیمه عمیق است (شکل ۱-۳).





شکل ۲-۲ نقشه پهنه‌های رسوبی - ساختاری عمده ایران (آقائباتی، ۱۳۸۳). موقعیت

منطقه مورد مطالعه بر روی این نقشه با علامت ☐ نشان داده شده است.



۲-۲- واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه

بر اساس نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و بازدیدهای صحرایی انجام شده واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه عبارتند از سنگهای آتشفشانی با ترکیب بازیک تا حدواسط و سنگهای آتشفشانی رسوبی و رسوبی که ظاهراً در یک محیط رسوبی کم عمق تا نیمه عمیق تشکیل شده اند که در زیر به آنها اشاره می شود.

الف) تناوب گدازه و کریستال توف یا توفیت قرمز

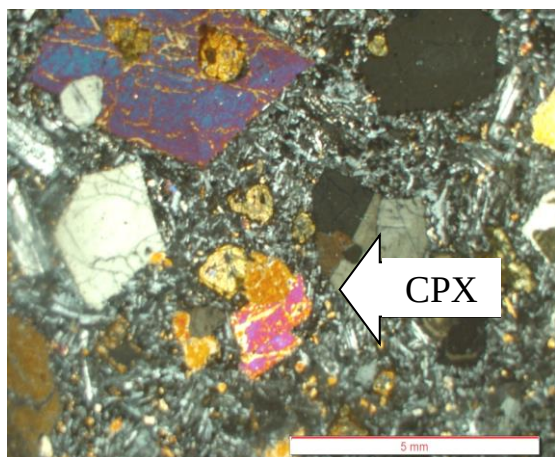
این واحد سنگی شامل تناوبی از گدازه عمدتاً پورفیری و توف قرمز است که در قسمت بالایی برخی گدازه ها حالتی شبیه به کنگلومرا دیده می شود.

- گدازه ها : قسمت عمده این تناوب شامل گدازه هایی است که در نقاط مختلف حجم و ضخامت متفاوتی دارند. ترکیب سنگ شناسی گدازه های منطقه چغندر سر شامل تراکی بازالت و تراکی آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت می باشد.

- تراکی بازالت : این سنگها در نمونه دستی به رنگ سیاه یا قرمز تیره مایل به قهوه ای می باشند. کانی غالب این گروه سنگی کلینوپیروکسن (اوژیت) است که بصورت فنوکریست در سنگ مشاهده می شود (شکل ۲-۴). پلاژیوکلاز و اوژیت جزء کانی های اصلی سازنده سنگ به شمار می آیند. در برخی نمونه ها فنوکریست پلاژیوکلاز در سطح دانه های سنگ دیده می شود. اندازه فنوکریست های اوژیت به طور متوسط ۳ تا ۵ میلیمتر است. برخی از بلورهای اوژیت دارای ادخال اپیدوت و آپاتیت می باشد. بلورهای آپاتیت بصورت مقاطع عرضی شش گوش در زمینه کلینوپیروکسن یافت می شود. برخی از پیروکسن های خود شکل دارای ماکل اوژی تی می باشد (شکل ۲-۵).

- همچنین اندازه فنوکریست پلاژیوکلاز در برخی نمونه ها بیش از ۱۰ میلیمتر می باشد (شکل ۲-۶ و

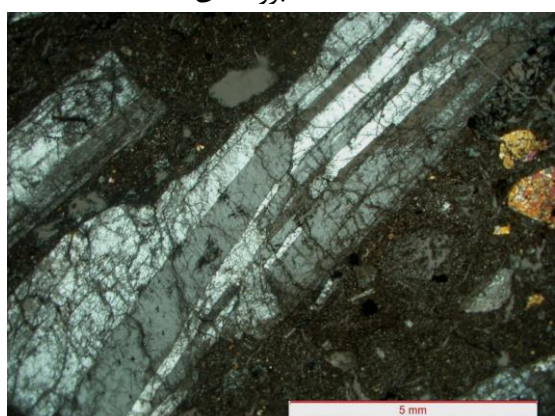
و ۷-۲). کانی‌های ثانویه‌ای چون کلسیت، کوارتز، کلریت و زئولیت در حفرات و درز و شکاف‌های این سنگ‌ها یافت می‌شود (شکل ۸-۲).



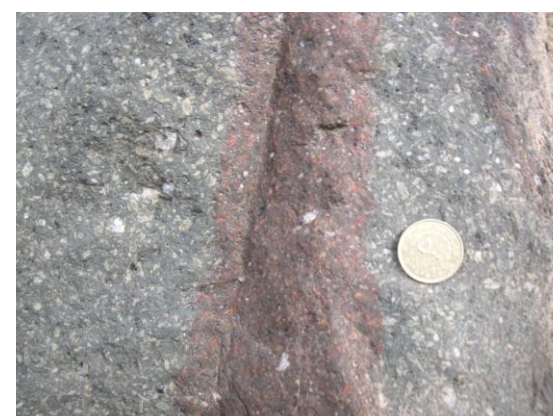
شکل ۲-۵ فنوکریست کلینوپیروکسن در تراکی بازالت (XPL، بزرگنمایی)



شکل ۲-۴ تراکی بازالت با فنوکریست اوژیت



شکل ۲-۷ فنوکریست پلاژیوکلاز در تراکی بازالت (XPL، بزرگنمایی ۲۰ برابر)



شکل ۲-۶ تراکی بازالت دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز

- تراکی آندزیت بازالتی : این گدازه‌ها بصورت روانه‌های گسترده و ضخیم با میان لایه‌هایی از توف قرمز و نهشته‌های رسوبی مشاهده می‌شوند. علت تشکیل این تناوب را می‌توان توقف و وقفه‌ای کوتاه در خروج گدازه‌های بازالتی دانست (شکل ۲-۹). رنگ گدازه‌های بازالتی در نمونه دستی از خاکستری تیره تا سیاه متغیر می‌باشد. ابتدا پلاژیوکلاز و سپس اوژیت فنوکریست‌های سنگ را تشکیل می‌دهند. ساخت جریانی در برخی نمونه‌ها به سبب نحوه قرار گیری بلورهای درشت پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود (شکل ۲-۱۰). از دیگر ساخت‌های مشاهده شده در نمونه‌ها می‌توان به ساخت پورفیری و مگاپورفیری



شکل ۸-۲ تصاویری از حضور کانی‌های ثانویه در تراکی بازالتی‌ها { سمت راست (کلسیت) و (کوارتز) - سمت چپ (زنولیت) }



شکل ۹-۲ تراکی آندزیت بازالتی با میان لایه توف قرمز و نهشته‌های رسوبی

اشاره نمود که اندازه پلاژیوکلاز در آنها در حد چند میلیمتر تا ۲ سانتیمتر می‌رسد (شکل ۲-۱۱). مورفولوژی این واحد سنگی بصورت نسبتاً مرتفع می‌باشد. همچنین کانی‌های ثانویه‌ای چون آنالسیم، کلسیت، کلریت، زنولیت و اپیدوت و اکسیدهای آهن در اثر دگرسانی پدید آمده‌است (شکل ۲-۱۲ و ۲-۱۳).

- تراکی آندزیت : حجم وسیعی از گدازه‌های تراکی آندزیت با ضخامت زیاد نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی را می‌پوشانند و یا در برخی نقاط بصورت بین لایه‌ای با آنها قرار می‌گیرند. رنگ این واحد سنگی خاکستری تیره تا قرمز مایل به قهوه‌ای است که دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و بندرت

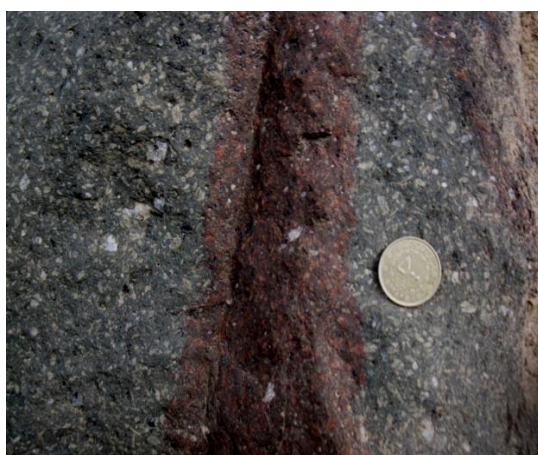
اوژیت می‌باشند. ساخت پورفیری، مگاپورفیری و جریان‌ی به وضوح در نمونه دستی این سنگ‌ها قابل مشاهده‌است. در تراکی آندزیت‌های معدن مس چغندرسر، کربنات مس بصورت لکه‌هایی در



شکل ۱۱-۲ ساخت مگاپورفیری در تراکی آندزیت



شکل ۱۰-۲ ساخت جریان‌ی تراکی آنزیت بازالتی



شکل ۱۳-۲ دگرسانی اکسید آهن



شکل ۱۲-۲ کلسیت و کوارتز

سطح سنگ‌ها و نیز در درز و شکاف سنگ‌ها مشاهده می‌شود و زئولیت‌زایی بصورت پرکننده حفرات مشاهده می‌شود (اشکال ۱۴-۲ و ۱۵-۲).

(ب) توفیت قرمز رنگ : در منطقه چغندرسر چندین افق توفیتی قرمز در بین گدازه‌های تراکی - بازالتی و بازالتی یافت می‌شود. در فاصله بین دو فوران یا همزمان با فوران، محصولات حاصل از تخریب گدازه‌ها به صورت رسوبات دانه ریز و معلق در محیط آتشفشانی- رسوبی نهشته می‌شوند و

بصورت لایه‌های اپی‌کلاستی به ضخامت یک تا دو متر بین دو افق گدازه یافت می‌شوند (شکل ۲-۱۶ و ۱۷-۱۶).



شکل ۲-۱۵ زئولیت و مالاکیت در تراکی آندزیت‌های معدن مس چغندر سر

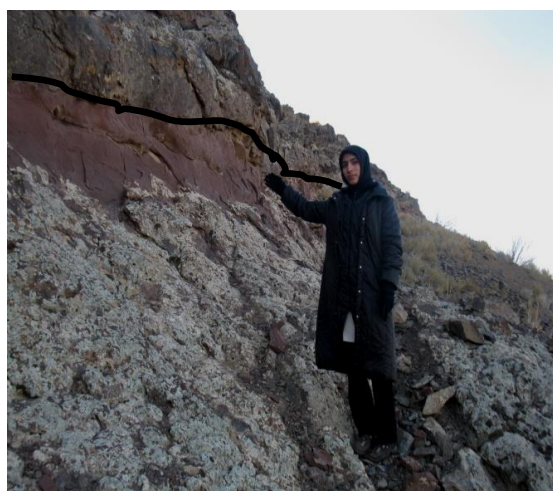


شکل ۲-۱۴ ساخت پورفیری، مگاپورفیری، جریان‌ی در تراکی آندزیت



شکل ۲-۱۷ تصویری از افق توفیتی قرمز

بین دو افق گدازه



شکل ۲-۱۶ تصویری از یک افق توفیتی قرمز

بین دو افق گدازه تراکی بازالتی

ج) آگلومرا: در اثر گسیخته شدن گدازه در محیط آبی کنگلومرا با قطعات بازالتی و با ضخامت تقریبی ۴-۶ متر در بالا و پائین برخی روانه‌های گدازه‌ها توسط رسوبات سیلتی - سیلستونی و ماسه سنگی - توف سبز تا قرمز رنگ مؤید موقعیت قرارگیری گدازه در توالی آتشفشانی- رسوبی

می‌باشد. بیشتر قطعات تشکیل دهنده آگلومرا سنگ‌های بازالتی خرد شده می‌باشد که اندازه متفاوت دارند. اغلب قطعات زاویه‌دار و به ابعاد چند دسیمتر تا چند سانتیمتر می‌باشند و گاهی این قطعات ریز می‌باشند و بیانگر خرد شدگی شدید در هنگام فوران آتشفشانی هستند که توسط خمیره خاکستری مایل به قهوه‌ای به هم متصل شده‌اند و بصورت ضخیم لایه برونزد دارند. (شکل ۱۸-۲ و ۱۹-۲).



شکل ۱۸-۲ ضخامت زیاد گدازه با حالت کنگلومرایي

شکل ۱۹-۲ ضخامت زیاد گدازه با حالت کنگلومرایي

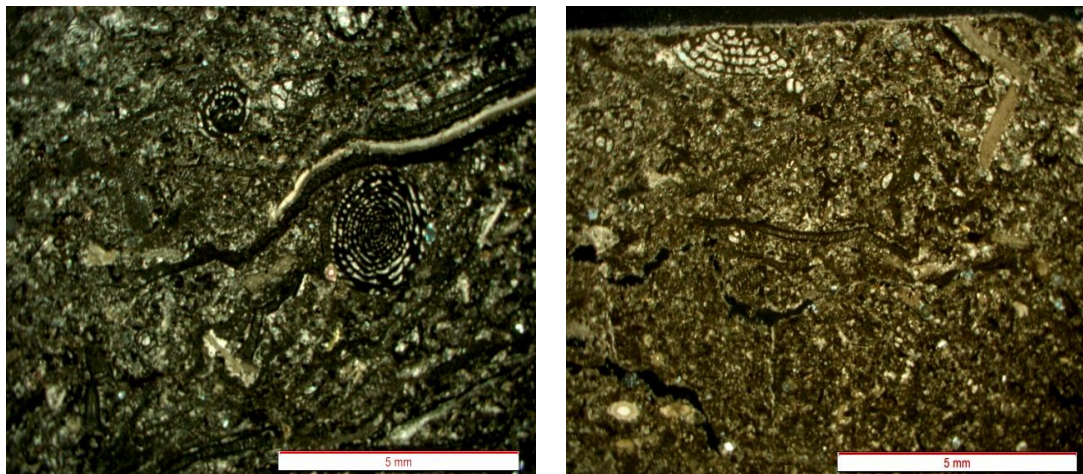
(د) آهک نومولیت‌دار : به دلیل مشاهده فسیل‌هایی چون نومولیت، می‌توان سن آهک‌ها را به ائوسن میانی تا بالایی نسبت داد (شکل ۲۰-۲ و ۲۱-۲ و ۲۲-۲).



شکل ۲۱ - ۲ آهک نومولیت‌دار (XPL - بزرگنمایی ۲۰ برابر)

شکل ۲۰ - ۲ آهک نومولیت‌دار

در رابطه با نحوه قرارگیری این واحد روی گدازه می توان گفت که فوران گدازه درون آب بوده و فوران های درون حوضه ای با تشکیل آهک نومولیت دار به پایان رسیده است.



شکل ۲-۲۲ مقاطع نازک از آهک دارای فسیل های شاخص دیگر (آلئولینا- دوکفه ای- میلیولید و کاسکولینا) - XPL بزرگنمایی ۲۰ برابر

۲-۳- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

ژئومورفولوژی منطقه متأثر از آب و هوا، جنس سنگها و فعالیت های تکتونیکی است و شامل تپه-هایی با شیب ملایم تا متوسط (شکل ۲-۲۴) و کوههای نسبتاً مرتفع (شکل ۲-۲۳) می باشد. رسوبات آبراهه ای شیلی و سیلت استونی در مناطق کم ارتفاع و پست دارد (شکل ۲-۲۶). بلندترین نقطه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه قله سیاه کوه دارای ۱۲۹۹ متر ارتفاع می باشد و در قسمت جنوب شرق معدن متروکه چغندر سر است (موسوی شاهرودی، ۱۳۸۸). رخنمون سنگ های بازالتی و نهشته های اپی کلاستی بصورت سینوسی دارای پستی و بلندی است به نحوی که در بخش های گدازه ای به علت مقاوم بودن سنگ ها معمولاً منطقه از مورفولوژی مرتفع تری برخوردار است و در بخش های تخریبی آتشفشانی به علت فرسایش پذیر بودن منطقه از مورفولوژی هموارتری برخوردار است. نمایی از ارتفاعات در شکل (۲-۲۳) و ارتفاع و دشت (۲-۲۴) آورده شده است.

۴-۲- زمین شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه

گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را می‌توان در دو گروه تقسیم بندی کرد (شکل ۲-۲۵).

(۱) از مهمترین گسل‌های منطقه چغندسر، گسل‌هایی با روند شمال شرقی _ جنوب غربی با مؤلفه های چپ گرد می‌باشند. مهمترین آنها گسل چغندرسر و سیاه‌کوه هستند که عملکرد آنها در جنوب منطقه دیده می‌شود.



شکل ۲-۲۴ تپه‌هایی با شیب ملایم تا متوسط

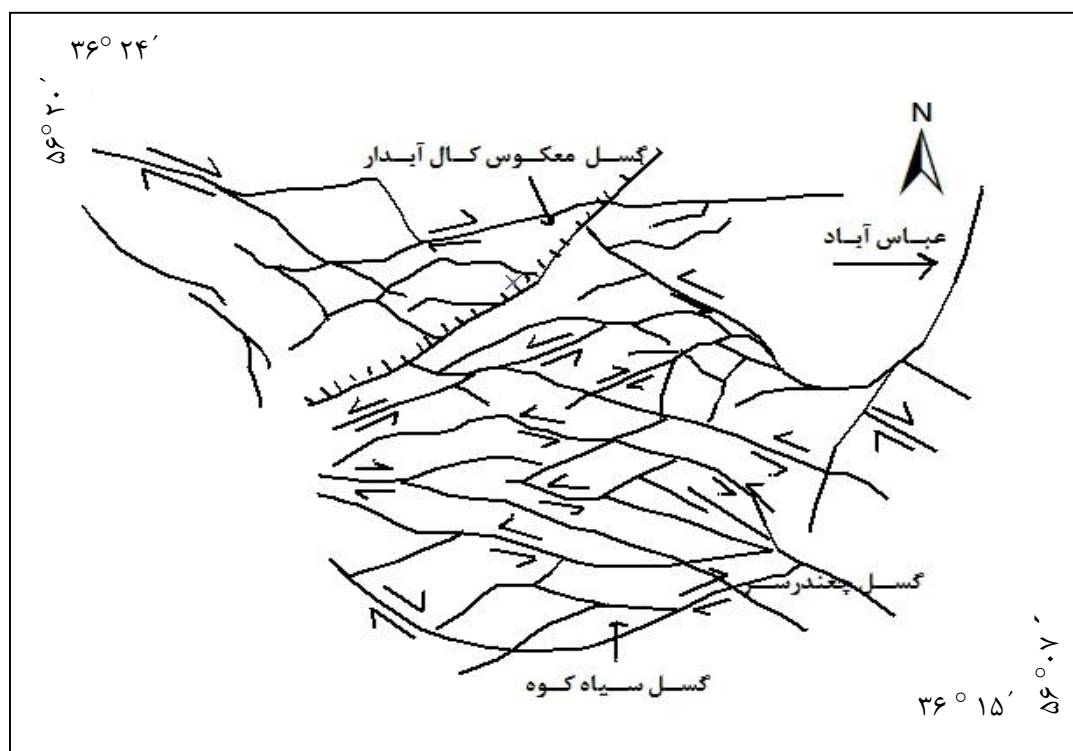


شکل ۲-۲۳ نمایی از ارتفاعات منطقه

(۲) گسل‌هایی با روند شمالی _ جنوبی عملکرد عادی یا معکوس دارند که مهمترین آنها گسل کال آبدار می‌باشد .

خروج محلول‌های حاوی کربنات مس از طریق گسلها و شکستگی‌ها در اثر فعالیت‌های تکتونیکی، سبب کانه‌زایی مس در سنگهای تراکی‌آندزیت شده است. شکستگی‌هایی که محل عبور سیال هستند، دارای سنگ‌هایی با بافت پورفیری هستند. این شکستگی‌ها به رنگ‌های سبز (شکل ۲-۲۶) و قرمز (شکل ۲-۲۷) دیده می‌شوند.

در این شکستگی‌ها اثرات حرکات تکتونیکی (اثر خش لغزش) در آنها دیده می‌شود (شکل ۲-۲۸).
 رگه‌های کلسیتی در اثر عملکرد گسل در محل دهانه تونل و کنده‌کاری‌های قدیمی و ورود سیالات
 به فضاهای باز ایجاد شده، تشکیل شده است (شکل ۲-۲۹).



شکل ۲-۲۵ نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه عباس آباد براساس نقشه زمین شناسی، ماهواره ای و مشاهدات
 صورت گرفته (موسوی شاهرودی و همکاران، ۱۳۸۸)



شکل ۲-۲۶ نمایش اثر عملکرد شکستگی (سبز رنگ) و عبور سیال حاوی کربنات مس
 شکل ۲-۲۷ نمایی از شکستگی‌های قرمز رنگ در تراکی
 آندزیت، در محل کانسار که محل عبور سیال را نشان می‌دهد.

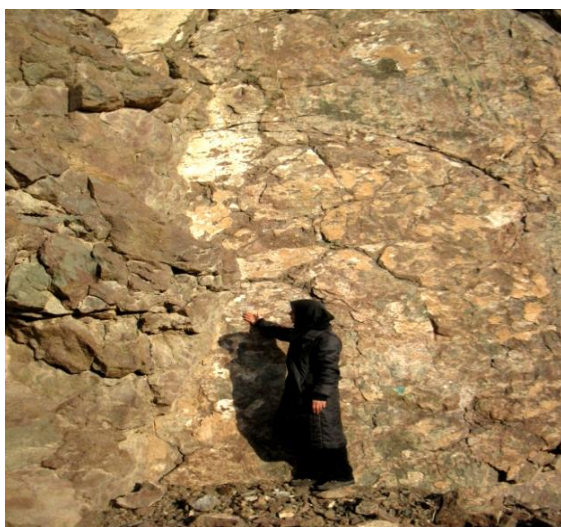


شکل ۲-۲۸ اثر حرکات تکتونیکی (خش لغزش) شکل ۲-۲۹ تشکیل رگه کلسیتی در شکستگی های ایجاد شده در نزدیکی دهانه تونل وکنده کاری های قدیمی در اثر عملکرد گسل و ورود سیالات به داخل فضاهای باز اثر عملکرد شکستگی های فراوان در منطقه خصوصاً حوالی کانسار به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۲-۳۰). در این تصویر شکستگی های عمیق و فراوان، بالای دهانه تونل وکنده کاری های قدیمی کانسار نشان داده شده است. همچنین اثر عملکرد گسل که موجب جابجایی توده های سنگی شده، در شکل (۲-۳۱) نشان داده شده است که گسل مذکور همان گسل (امتداد لغز راستگرد) چغندرسر می باشد. منطقه از لحاظ تکتونیکی فعال بوده و دارای شکستگی های مزدوج فراوان می باشد، که در اثر عملکرد این شکستگی ها و نیز گسل ها، الگوی زهکشی منطقه بصورت داربستی می باشد (شکل ۲-۳۱).

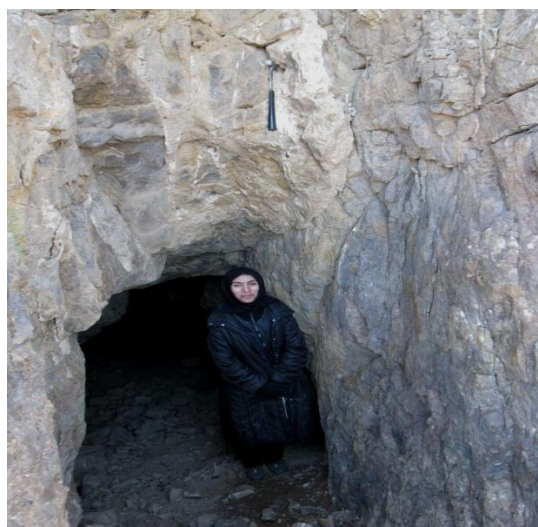
۲-۵- زمین شناسی اقتصادی

مطالعات زمین شناسی اقتصادی منطقه نشان می دهد که کانسار مس چغندرسر به صورت رگه ای، رگچه ای، جایگزینی می باشد. حضور مس در این کانسار عمدتاً به صورت کانیهای کالکوسیت و مالاکیت است که در آندزیت های خاکستری قرار دارند. همچنین اشکال دیگر آن چون مس خالص و میانبارهای بورنیت و کوپریت که جایگزین کالکوسیت شده اند در منطقه مشاهده می شود. کانی باطله کلسیت است و عیار مس کانسار ۲/۲۳٪ تخمین زده شده است (سازمان زمین شناسی ایران و

اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۰). نتایج مطالعات کانی شناسی، حضور کانیهای مس کالکوسیت، دژنیت، بورنیت، کولیت، مس خالص، مالاکیت و آزوریت را بصورت اولیه و ثانویه در انواع سنگهای آندزیتی – بازالتی، تراکیتی و توف 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 بوده است (توسلی و لطفی، ۱۳۸۶).



شکل ۲-۳۱ اثر عملکرد گسل چغندرسر (امتداد گسل نشان داده شده است)



شکل ۲-۳۰ شکستگی ها در دهانه تونل استخراجی کانسار

آثار معدنی زیر در این منطقه مشاهده می‌شود:

مس

کانه‌زایی مس در منطقه عباس‌آباد قابل توجه می‌باشد و اثرات این کان‌زایی را در محدوده مورد مطالعه و در سطح سنگها شکل (۲-۳۲ و ۲-۳۳) به صورت کان‌های مالاکیت و کالکوسیت می‌توان مشاهده کرد که به صورت رگچه یا لکه‌هایی در داخل سنگهای تراکی آندزیت پورفیری تشکیل شده‌اند.

ژئولیت

ژئولیت در صنایع مختلف چون کشاورزی کاربرد دارد. در منطقه مورد مطالعه، ژئولیت عمدتاً به صورت شعاعی-اسفرولیتی (شکل ۲-۳۴ و ۲-۳۵) همراه با آنالسیم، کلسیت و کلریت درون گدازه‌های ائوسن و عمدتاً در تراکی بازالت‌ها دیده می‌شود که اندازه و پراکندگی آنها در قسمت‌های مختلف با هم متفاوت است.



شکل ۲-۳۳ کانه زایی مس در سطح سنگ‌ها در نزدیکی معدن متروکه مس



شکل ۲-۳۲ کانه زایی مس در سطح سنگ‌ها در اطراف تونل استخراجی در نزدیکی معدن متروکه مس



شکل ۲-۳۵ ژئولیت اسفرولیتی در تراکی بازالت



شکل ۲-۳۴ ژئولیت شعاعی در گدازه‌های ائوسن

فصل سوم

مروری بر مطالعات پیشین

۳-۱- مقدمه

مشکلات زیست محیطی ناشی از حضور فلزات سنگین در محیط ناشی از پایداری آنها در محیط زیست است و برخلاف مواد آلی آلاینده از طریق فرایندهای شیمیایی و زیستی قابل تجزیه نیستند. در نتیجه این فلزات پس از ورود به بدن جانداران در بافت‌های بدن موجودات زنده مجتمع شده و در غلظت‌های بسیار بیشتری در موجودات زنده سطوح بالاتر زنجیره غذایی انباشت می‌گردند. همچنین فلزات سنگین با دخالت در متابولیسم بدن جانداران موجب به خطر افتادن سلامت آنان می‌شوند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). ذخایر فلزی مهمترین منبع آزادسازی این عناصر به محیط می‌باشند (Aykol et al., 2003). با در نظر گرفتن روند تکاملی صنعت معدنکاری فعال و تجهیز و بهره برداری از معادن بکر و هم چنین با توجه به پتانسیل معدنی بالای کشور و نیاز شدید به تولیدات معادن، نظارت زیست محیطی بر معادن استخراج شده و متروکه امری ضروری به شمار می‌آید (بلمکی و همکاران، ۱۳۸۸).

در این فصل ضمن مروری بر مطالعات گذشته، به مس و اهمیت آن در گیاه و انسان، کانه‌زایی مس در ایران، ارتباط کانه‌زایی مس و آلودگی خاک و گیاه، تجمع و تمرکز زیستی فلزات سنگین در گیاهان، زیست دسترس پذیری و مطالعات انجام شده در منطقه پرداخته شده‌است.

۳-۲- مس و اهمیت آن در گیاه و انسان

مس یک فلز واسطه است که با ۳ حالت اکسیدان Cu^0 ، Cu^{+1} و Cu^{+2} در طبیعت یافت می‌شود که حالت دو ظرفیتی آن اغلب در سیستم‌های بیولوژیکی یافت می‌شود. برخی از منابع ورود مس به چرخه حیات، عبارتند از: کانسارهای مس و معدنکاری مس، قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، ضد زنگ، کود-های حیوانی، فعالیت معدنکاری، پساب و پسماند صنایع و فعالیت‌های کشاورزی (Selinus et al., 2005).

۳-۲-۱- مس و گیاه

عنصر مس یکی از ۱۹ عنصر ضروری برای تکمیل چرخه زندگی گیاهان می‌باشد. مس جزء عناصر کم مصرف گیاه می‌باشد که به میزان ۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه (۶ قسمت در میلیون) مورد نیاز می‌باشد (Epstein and Bloom, 2004). بهترین pH برای جذب مس توسط گیاه ۵ تا ۶ است. عناصر پرمصرف و کم مصرف ضروری برای زندگی گیاه از اهمیت یکسانی برخوردار هستند، به نحوی که در صورت نبود آنها چرخه رویشی و زایشی گیاه کامل نمی‌شود و عنصر دیگری هم نمی‌تواند جایگزین آنها باشد (Stevenson and Fitch, 1981؛ Marchner, 2005؛ Taiz and Zeiger, 2006). یون مس دو ظرفیتی (Cu^{+2}) با پیوند قوی به اسیدهای آلی می‌چسبد و ترکیبات پیچیده مس- ماده آلی را تشکیل می‌دهد (Stevenson and Fitch, 1981). مس می‌تواند در محلول خاک تا ۹۸٪ با مواد آلی دارای وزن ملکولی کم تشکیل کمپلکس دهد. نحوه عملکرد مس به عنوان ماده غذایی برای گیاه به این گونه است که با برخی از آنزیم‌ها همراه می‌شود و در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء شرکت می‌کند (Khormaei et al., 2007).

مس به سه شکل مختلف در پروتئین‌های گیاهی وجود دارد (Marschner, 2005).

(۱) پروتئین‌های آبی رنگ که نقش جابجا کننده الکترون دارند و بدون فعالیت اکسیداز (مثل پلاستوسین در کلروپلاست) می‌باشند.

(۲) پروتئین‌های غیر آبی رنگ که آنزیم‌های پراکسیداز را تولید و مونوفنول‌ها را به دی‌فنول‌ها اکسید می‌کنند.

(۳) پروتئین‌هایی که دارای چهار اتم مس یا بیشتر در ملکول خود هستند و نقش اکسیداز را در سلول ایفا می‌کنند (مثل اسید اسکوربیک اکسیداز و لاکاز).

اختلال در سوخت و ساز قند و ازت، اختلال در چوبی شدن دیواره‌های سلولی، پژمردگی یا پیچیدگی برگ‌های جوان، پیچیدگی ساقه، سترون بودن دانه گرده و کاهش باروری گیاه، قهوه‌ای شدن و از بین

رفتن مریستم انتهایی از جمله علایم کمبود مس در گیاه می‌باشند. ۱۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه، موجب آسیب به گیاه و از جمله موجب زردی برگ‌ها می‌شود که عوارض ایجاد شده برای گیاهان مختلف متفاوت می‌باشد. حد بحرانی غلظت مس در بخش‌های رویشی گیاه معمولاً ۳ تا ۵ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه می‌باشد (Marschner, 2005).

۳-۲-۲- مس و انسان

سازمان بهداشت جهانی مصرف روزانه ۰/۶ میلی گرم مس را برای کودکان ۶ ماهه تا ۶ ساله ضروری دانسته است (Selinus et al., 2005). مس عنصری ضروری در حفظ خصوصیات ساختاری و کاتالیکی کوپروآنزیم‌ها می‌باشد. کمبود مس معمولاً در اثر کمبود ذخیره مس در بدو تولد، رژیم غذایی فاقد مس کافی، جذب ضعیف، افزایش نیاز به دلیل رشد سریع، افزایش اتلاف مس، بروز می‌کند. مس در متالوپروتئین‌ها به عنوان یک واسطه انتقال الکترون در واکنش‌های احیایی عمل می‌کند. همچنین در عملکرد آنزیم‌های اکسید و احیاء کننده جزء ترکیبی مهمی محسوب می‌شود. بنابراین حضور آن برای عملکرد فیزیولوژیکی طبیعی از قبیل تنفس سلولی، دفاع در مقابل رادیکال‌های آزاد، سنتز رنگدانه ملانین، زیست سنتز بافت‌های رابط، متابولیسم سلولی آهن ضروری به شمار می‌آید. کمبود مس در بدو تولد موجب بروز سندرم Menkes، محتوی بسیار پائین مس مغز، آسیب جدی مخچه و کم‌وزنی نوزاد می‌شود. مس یک عنصر مغذی ضروری برای سلامتی انسان محسوب می‌شود؛ با این وجود ورود بیش از حد لازم آن به بدن موجب بروز بیماری‌هایی چون: تب بخارات فلزی، Hemolysis، بیماری Wilson، زخم معده، کم‌خونی و neutropenia (کاهش غیر طبیعی گلبول‌های سفید خون، که موجب آسیب جدی به دستگاه ایمنی می‌شود)، ناهنجاری‌های استخوانی (مثل شکستگی که بیشتر در نوزادان کم وزن یا خردسالان بروز می‌کند)، افزایش کلسترول و سبز رنگ شدن موها در بدن، آسیب به سیستم عصبی مرکزی، بیماری‌های کلیوی و نیز گاهی منجر به مرگ می‌شود. علائم

ناشی از مسمومیت نسبت به این عنصر در بزرگسالان عبارت از: سردرد و سرگیجه، سوزش بینی، دهان و چشم، تهوع، اسهال، دردهای ناحیه شکم، پرخونی و خونریزی داخلی می‌باشد (Uauy et al., 1998).

۳-۳- کانه زایی مس در ایران

مس میل ترکیبی زیادی با گوگرد نشان می‌دهد و مس در توده‌های سولفوردار لیکوئید ماگماتیک - پنوماتولیتی و پنوماتولیتی و قبل از همه به شکل رگه‌های گرمایی حرارت بالا تا حرارت متوسط و بالآخره به شکل اشباعی از همان منشأ پیدا می‌شود. این فلز در برخی رسوبات سولفوردار نیز (مانند شیست‌های زاج دار) از منشأ آلی و یا شیمیایی تشکیل شده که در این حالت اکثراً از طریق دگرگونی مجاورتی تغییر پیدا کرده است. چنانچه غلظت عناصر Bi و As و Zn و Sb در کانسارهای مس به ترتیب از ۰/۵٪، ۲٪، ۱٪ و ۱۰٪ تجاوز کند، موجب نامرغوبی آن می‌گردد (عرفانی، ۱۳۶۵). شرایط زمین شناسی ایران از لحاظ زمین‌ساخت و تحمل فازهای مختلف کوهزایی باعث پیدایش انواع فرایندهای ولکانیسم، پلوتونیسم، متامرفسیم، دگرشکلی‌هایی نظیر چین‌ها، گسل‌ها، شکستگی‌ها، فرسایش و همچنین پدیده‌های مختلف رسوبی شده که موجب تشکیل کانسارهای مختلفی چه از خاستگاه ماگمایی و چه از خاستگاه دگرگونی و رسوبی در منطقه ساختاری ایران شده است (خسروتهرانی، ۱۳۸۳).

کمربند آتشفشانی ایران که از نواحی سهند و سبلان در آذربایجان تا تفتان و بزمان در بلوچستان با روند شمال غربی - جنوب شرقی کشیده شده‌است و به نام منطقه ولکانیکی - پلوتونیک قلعه دختر - ارومیه نیز معروف است، بیشترین و مهمترین معادن مس ایران را در بر دارد. به عنوان مثال کانسار مس پورفیری سرچشمه کرمان از بزرگترین معادن مس ایران و یکی از معادن مهم دنیا به شمار می‌رود. بطور کلی کانه‌زایی مس در ایران در وهله اول با فرایندهای

ماگماتیسیم ترشیری در ارتباط است و بیشتر در نواحی آذربایجان البرز (طارم) کاشان، کرمان و بلوچستان مشاهده می‌شود. مهمترین کانسارهای مس ایران در نواحی کرمان قرار دارند که مهمترین آن کانسار مس سرچشمه می باشد (تاجبخش و همکاران، ۱۳۷۸). از دیگر کانسارهای مس ایران می‌توان به سونگون، میدوک، قلعه زری، تالمسی، چغندرسر و کوه زر اشاره نمود (قربانی، ۱۳۸۷).

تعداد کانسارهای مس در ایران که تشکیل آنها مستقیماً با سنگ‌های آذرین درونی ارتباط دارد تقریباً ۱۴ درصد کل کانسارهای مطالعه شده است. این کانسارها در مجاورت بلا فصل باتولیت‌ها و یا با فاصله کمی نسبت به آنها تشکیل شده است. در حدود ۸ درصد از توده های معدنی مس و بخصوص کانسارهای مس پورفیری با سنگهای آذرین نفوذی کم عمق ارتباط دارد. کانسارهایی که تشکیل آنها با سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی – رسوبی مربوط می‌شود، تقریباً نیمی از تعداد کل کانسارهای شناخته شده ایران را می‌سازد. این کانسارها دارای عیار بالا و گسترش کم هستند. شکل آنها رگه‌ای و عدسی می‌باشد. کانسارهایی که در سنگهای رسوبی قرار دارد، تقریباً ۱۵ درصد کانسارهای مس را تشکیل می‌دهد. در کانسارهای مس موجود در سنگهای فوق قلیایی کرتاسه ترکیبات مس محدود و کمیاب است و تعداد این نوع کانسارها کمتر از ۳ درصد کل می باشد. در سنگهای دگرگونی پرکامبرین، بخصوص در ایران مرکزی، آثاری از مس با اهمیت خیلی کم پیدا شده است که این کانسارها در حدود ۷ درصد کل کانسارهای ایران می‌باشد (عرفانی، ۱۳۶۵).

کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ایران، وابستگی تنگاتنگی با سنگهای ماگمایی جوانتر از کرتاسه دارند. بطور کلی چند واقعیت را می‌توان در مورد ویژگی‌های متالورژیکی مس ایران برشمرد:

- ۱- بیشتر کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ایران متعلق به ترشیری می باشند. ۲- کانسارها و نشانه های معدنی مس در پیوند با سنگهای کرتاسه و یا کهن‌تر، بسیار کمیاب هستند. ۳- وابستگی مشخصی بین کانسارها و نشانه های معدنی مس در ایران و سنگهای ماگمایی بخصوص

سنگهای ولکانیک و نیمه ژرف با سن ائوسن بالا- الیگومیوسن، با ترکیبی حد واسط تا اسیدی، دیده می شود. ۴- تنوع کانی سازی و دمای تشکیل کانیهای مس بسیار گسترده است. ۵- کانی سازی در سنگهای میزبان بیشتر رگه ای است، ولی حالت های رگه های فشرده، افشان و اسکارنی نیز نمود دارند.

بر اساس نقشه توزیع پراکندگی کانسارهای مس و مقایسه آن با نقشه های ماگماتیسم ایران و سنگهای ماگمایی ایران با مقیاس های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (امامی و همکاران، ۱۳۷۲) و (آقائباتی، ۱۳۷۰)، می توان نتیجه گرفت که کانسارها و نشانه های معدنی مس در زونهای، ۱- زون ارومیه- دختر، قابل تقسیم به سه بخش جنوبی، مرکزی و شمالی، ۲- زون البرز باختری (طالقان- طارم)، ۳- زون سبلان، ۴- زون کویر- سبزوار، ۵- زون لوت، ۶- زون مکران پدید آمده اند. بطوری که وابستگی ژنتیکی سنگهای ماگمایی (در پیوند با ذخائر مس) این زونها با یکدیگر بطور دقیق مشخص نیست (تاجبخش و همکاران، ۱۳۷۸).

۳-۴- گیاهان و فلزات سنگین

قسمت اعظم گیاهان (بطور متوسط از ۵۰ تا ۷۰ درصد) از آب تشکیل شده است. ماده اصلی دیگر عنصر کربن است که در نتیجه عمل فتوسنتز در گیاه ساخته شده و تا حدود ۵۰ درصد کل گیاهان را تشکیل می دهد. سایر عناصر شیمیایی حداکثر تا سه درصد گیاهان را تشکیل می دهند (علی- پور، ۱۳۸۴).

با توجه به شرایط زیست شناسی، فیزیکی و شیمیایی محیط، فلزات سنگین موجود در آب و خاک می تواند در غلظت های کم یا زیاد، در شبکه غذایی وارد شده و در دسترس موجودات زنده (گیاهان و جانوران) باشد و در نهایت وارد بدن انسان شده و تهدیدی برای سلامتی محسوب شود. در یک زنجیره

غذایی فلزات سنگین می‌توانند تا حد خطرناکی در مصرف‌کننده‌ها زیست‌انباشت شود Siegel, (2002). از نقطه نظر ژئوشیمی، گیاهان دارای عناصری هستند که در خاک‌ها، رسوبات، سنگ‌ها و آب‌های زیرزمینی وجود دارد. در مواردی این عناصر در پیکره گیاه می‌تواند به حد کافی غنی یا تهی شده و موجب بروز آنومالی‌های قابل مشاهده‌ای مانند رشد غیر طبیعی، غول آسا شدن، رنگ‌های غیر عادی گل‌ها، اشکال عجیب برگ‌ها یا شاخه‌ها شوند (علی‌پور، ۱۳۸۴).

آلودگی به فلزات سنگین باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا آنها مانند آلاینده‌های آلی در محیط تجزیه نمی‌شوند و به جهت اینکه زیست‌تجزیه پذیر نیستند، قادرند در مدت زمان طولانی در محیط باقی بمانند و در غلظت‌های بالا سمی محسوب می‌شوند (Tomas et al., 2012 ; Ge et al., 2005 ; Qin et al., 2012). عناصر از دید زیست‌شناختی و مطالعات زیست‌محیطی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱) عناصر اساسی یا ضروری مانند آهن، مس و روی که برای رشد طبیعی گیاه حیاتی و ضروری می‌باشند و در صورت جذب در غلظت‌های بالا می‌توانند سبب ایجاد اثرات مسمومیت در گیاه شوند .

(Lambers et al., 1998 ; Angelova et al., 2004; Hamadouche et al., 2012; Rengel, 1999) عناصر کم مصرف و پرمصرف ضروری، برای زندگی گیاه حائز اهمیت یکسان می‌باشند و بدون آنها گیاه قادر به تکمیل چرخه رویشی و زایشی خود نمی‌باشد (Stevenson and Fitch, 1981 ; Marchner, 2005 ; Taiz and Zeiger , 2006).

۲) عناصر غیر اساسی (غیر ضروری)، سمی یا جزئی که حضور آنها حتی در غلظت‌های کم برای سلامت انسان و محیط زیست سمی و مضر می‌باشد (Haider et al., 2004). هردو گروه عناصر ذکر شده هنگامی که غلظت آنها از حد خاصی تجاوز کند برای انسان، گیاه و جانور مضر خواهد بود

(Alloway, 1995 ; Adriano, 2001) و هر گیاهی دارای حدی از تحمل برای دریافت عناصر مورد نیاز می‌باشد (علی‌پور، ۱۳۸۴). سرنوشت و نقش متابولیکی فلزات سنگین در گیاهان مرتبط با برخی فرایندهای اساسی از قبیل: جذب و انتقال در گیاه، عملکرد آنزیمی، غلظت و شکل حضور آن، کمبود و سمیت، رقابت و برهم‌کنش یونی می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011). فلزات سنگین موجود در خاک می‌توانند توسط گیاهان از خاک جذب شود (Kozłowski, 1985). عناصر سازنده گیاهان با عناصر تشکیل دهنده خاک، سنگ و حیوانات بسیار متفاوت می‌باشد (علی‌پور، ۱۳۸۴). بطور کلی می‌توان گیاهان را بر اساس میزان جذب، به سه گروه گیاهان جمع کننده (Accumulator)، دفع کننده (Excluder) و معرف (Indicator) طبقه بندی بندی کرد (Baker, 1983 ; Peterson, 1983). بیکر (۱۹۸۳) بیان می‌دارد که گونه‌های مختلف با توجه به طبیعت گونه و شرایط خاص بیوژئوشیمیایی محیط، می‌توانند برای یک عنصر جمع‌کننده ولی برای عنصر دیگر دفع کننده باشند (Baker, 1983). کوالوسکی در سال ۱۹۷۹ پدیده مقاومت را در مورد جذب عناصر بیان کرده و نتیجه گرفت که گونه‌های مختلف گیاهی و اندام‌های مختلف گیاهان دارای مقاومت‌های متغیری در برابر عناصر تغلیظ شده در طبقات زیرین خاک هستند (Kovalovski, 1979). گیاهان می‌توانند دسترس‌پذیری فلزات سنگین را در خاک، مخصوصاً در اطراف ریزوسفر از طریق تغییر اسیدیته و ایجاد ترشحات، یا حضور میکروارگانیسم‌ها تغییر دهند (Adriano, 2001 ; Adriano et al., 2004). بافت ریشه گیاهان می‌تواند اسیدهای آلی با وزن ملکولی پائین، اسید استیک، اسید اکسالیک، اسید فورمیک، اسید سیتریک و تارتاریک اسید را آزاد نماید که موجب سهولت جذب فلز از طریق تشکیل ترکیبات و کمپلکس‌هایی با فلزات سنگین که انحلال‌پذیری بیشتری دارند یا تحرک فلز را تغییر می‌دهند، شود (et al., 1991 ; Mench Chen, 2003). جذب فلز توسط گیاه از طریق فرایندهای دسترس‌پذیری و انحلال‌پذیری فلزات در خاک کنترل می‌شود (Wang et al., 2006).

عوامل مهم مؤثر بر جذب فلزات سنگین توسط گیاه عبارت از: گونه گیاه، فصل، بیماری‌ها و قارچ‌ها،

آب و هوا، بافت خاک، آب‌های جاری و رطوبت خاک، pH، EC، CEC و مواد آلی می‌باشد (علی‌پور، ۱۳۸۴). فلزات به طرق مختلف وارد متابولیسم گیاهان شده و نقش‌های مختلفی را ایفا می‌کنند که محققین بسیاری در مورد نحوه عملکرد و ورود این عناصر به متابولیسم گیاهان مطالعه و تحقیق کرده‌اند. در ادامه به صورت خلاصه به معرفی برخی فلزات سنگین و تأثیرات آنها پرداخته شده‌است.

(Salisbury and Ross, 1969 ; Nicholas, 1975 ; Baker, 1983 ; Mengell and Kirkby, 1987 ; Marschner, 1995 ; Van Den Driessche, 1991; Gardea-Torresdey et al., 2005 ; Ling et al., 2009; Ayari et al., 2010; Kabata-Pendias., 2011)

(سالاردینی، ۱۳۷۱؛ بولت و بروگنورت، ۱۳۷۱؛ ملکوتی، ۱۳۷۳؛ فوث و الیس، ۱۳۷۶)؛ مارشنر (۱۳۸۴، ۱۳۸۵)؛ ملکوتی و همکاران، (۱۳۸۵)

مس: عنصری ضروری برای رشد گیاه محسوب می‌شود که در متابولیسم گیاه و نیز در ساختمان گیاه و در ساختار آنزیم‌ها نقش مؤثری دارد. حضور در ساختار آنزیم‌های دهیدروژناز و اکسیداز، فعال کردن آنزیم‌ها (کوانزیم‌ها)، فسفریلاسیون، متابولیسم، شرکت در ساختار پروتئین پلاستو سیانین و آنزیم کلروپلاست، سوخت و ساز سلولی و شرکت در واکنش‌های اکسیداسیون- احیا از جمله فعالیت‌های مس در گیاه می‌باشد. مقدار بیش از اندازه مس در گیاه، بر فتوسنتز و باردهی گیاه اثر بازدارندگی دارد.

روی: عنصری ضروری برای رشد گیاه است که دارای نقش آنزیمی در گیاه می‌باشد. شرکت در آنزیم‌های دهیدروژناز و پپتیداز، سنتز هورمون‌ها، نقش در متابولیسم و رشد گیاه، سوخت و ساز قند و ساخت پروتئین، احیاء مواد و تنظیم آب گیاه از جمله نقش‌های روی در گیاه می‌باشد.

منگنز: یک عنصر ضروری برای رشد گیاه است که نقش آنزیمی در گیاه ایفا می‌کند. حضور در ساختار آنزیم‌ها، نقش مهم در تنفس و پدیده‌های فتوشیمیایی، سنتز کلروفیل، فتوسنتز و آزاد شدن

اکسیژن، فعال‌کننده آنزیم‌ها و تنظیم فعالیت آنها، ساخت پروتئین، چربی و قند، تنظیم رشد سلول از جمله نقش‌های روی در گیاه می‌باشد.

- **نیکل:** تا کنون به عنوان عنصری غیر ضروری برای گیاه شناخته شده است. البته در مواردی می -

تواند در گیاه نقش‌هایی را ایفا کند. بطور مثال گرهم‌هایی که نیتروژن را در قالب مشتقات اوره به بخش‌های بالایی گیاه منتقل می‌کنند، به نیکل نیاز دارند.

- **سرب:** عنصری غیر ضروری و سمی برای گیاه می‌باشد و بر متابولیسم و فعالیت‌های حیاتی گیاه چون ، فتوسنتز، تقسیم میتوز و جذب آب، اثر بازدارندگی دارد.

۳-۵- کانه‌زایی مس و آلودگی خاک و گیاه

عملیات استخراج فلزاتی که در کانسار، عیار پائینی دارند، منجر به تولید مقدار بسیار زیادی سنگ باطله در محیط می‌شود، بطوریکه فعالیت‌های معدنکاری سالانه در سطح جهان تولید هزاران میلیون تن سنگ باطله را در پی دارد (Siegel, 2002). باطله‌های معدنی مس اغلب حاوی میزان بالایی از برخی فلزات کمیاب چون کادمیم، آرسنیک، مس، منگنز، سرب و روی می‌باشند

(Berti and Cunningham, 2000). خاکهای نزدیک مناطق اکتشاف معدنی قدیمی می‌توانند دارای غلظت‌های بالایی از فلزات کمیاب باشند که برای تشخیص و ارزیابی خطرات بالقوه زیست‌محیطی آنها اغلب می‌توان از غلظت کل فلزات استفاده نمود (Kabata pendias, 2004 و Adriano et al., 2004). اگرچه با بکارگیری روشها و تجهیزات مدرن در مراحل معدنکاری می‌توان تا حد زیادی از آلوده شده محیط زیست به فلزات سمی و ترکیبات آنها پیشگیری نمود، 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

ذخیره سازی مواد معدنی این عناصر وارد محیط می شوند. لذا بررسی میزان و محدوده توزیع این عناصر در اجزاء محیط زیست پیرامون نواحی معدنی امری لازم به نظر می رسد. محققان زیادی در ایران و سایر نقاط جهان تحقیقاتی در این زمینه انجام داده اند که می توان بر مبنای نتایج بدست آمده مناطق آلوده و یا مستعد آلودگی را شناسایی و از ورود آلودگی به زنجیره غذایی و یا تشدید آن و عواقب سوء زیست محیطی آن جلوگیری کرد. همچنین تحقیقات بسیاری در زمینه تأثیر کانسارهای مس بر آلودگی خاک و گیاه منطقه در ایران و جهان صورت پذیرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می شود.

هیو و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی به منظور احیاء گیاهان اکوسیستم تخریب شده در اطراف معدن مس متروکه Tonglushan واقع در جنوب شرق ایالت Hubei چین که دارای قدمت ۳۰۰۰ ساله در معدنکاری است، انباشت و توزیع فلزات سنگین در پنج گونه گیاهی غالب رشد یافته بر توده باطله مس به سن ۳۰۰۰ سال را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در گونه های غالب بابونه (*Commelina communis*)، گل قلیانی (*Silene fortune*)، علف هفت بند (*Polygonum perfoliatum*) و *Kummerowia striata* دارای غلظت های بالایی از مس، سرب، روی، کادمیم و کروم می باشند. مس در ریشه *Elsholtzia haichowensis* دارای غلظت $844/56 \text{ mg/kg}$ بود که تقریباً $33/8$ تا $168/9$ برابر بیشتر از غلظت معمول در گیاه 25 تا 5 mg/kg می باشد. اما غلظت کل آرسنیک در این گونه ها $0/98 - 0/18 \text{ mg/kg}$ بود که کمتر از حد میانگین در گیاهان می باشد. در نتیجه می توان گفت که این گونه ها یکنوع مکانسیم برای جلوگیری از جذب آرسنیک از خاک دارند. این محققین نتیجه گرفتند که نه تنها پنج گونه ذکر شده فوق انباشت کننده مس، سرب، روی، کادمیم، کروم و آرسنیک محسوب نمی شوند، بلکه گونه های بسیار مقاوم به فلزات سنگین هستند (Hu et al., 2008).

پایات و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی اثرات زیست محیطی معدنکاری قدیمی مس در اراضی بیابانی Wadi Faynan در بخش جنوبی Jordan انگلیس پرداختند. کانسارهای رسوبی Faynan از هزاره

سوم قبل از میلاد مورد بهره‌برداری و استخراج قرار گرفته‌است. معدنکاری مس در این منطقه موجب شده‌است که بوم‌سامانه بیابانی در این ناحیه حداقل به مدت ۲۰۰۰ سال در معرض آلودگی فلزی قرار گیرد. آلودگی فلزی ایجاد شده در زمانهای گذشته، ناشی از تهنشست فلزات در محیط زیست تا زمانی که از محیط زدوده شده یا تجزیه شوند و یا توسط فرایندهای طبیعی انتقال یابند، در محیط باقی می‌مانند. نتایج حاصل از آنالیز فلزات سنگین در نمونه‌های گیاه برداشت شده از منطقه معدنکاری و منطقه Khirbet Faynan در نزدیکی آن و نیز منطقه شاهد واقع در ۲/۵ کیلومتری جنوب ناحیه معدنکاری که شواهدی از فعالیت معدنکاری در آن مشاهده نمی‌شود، بطور کلی نشان داد که محتوی مس و سرب در ریشه تمامی گونه‌های مورد آزمایش نسبت به اندام‌های هوایی آنها بیشتر بود. همچنین غلظت مس و سرب تمامی نمونه‌ها در منطقه معدنکاری نسبت به منطقه شاهد بیشتر بود. محتوای مس و سرب برگ‌های گیاه بارهنگ (*Plantago coronopus*) و *Gymnarrhena micrantha* که مورد چرای دام واقع می‌شوند، در مناطق آلوده نسبت به منطقه شاهد به ترتیب (۵/۵ و ۱/۶) و (۶/۲) برابر بیشتر بود. غلظت‌های بیشتری از مس و سرب در اندام‌های زمینی این گونه نسبت به اندام‌های هوایی آن مشاهده شد که نشان از پالایش طبیعی فلز در گیاه و ممانعت از انتقال آن به اندام‌های هوایی دارد. برگ‌های بارهنگ (*Plantago coronopus*) به دلیل داشتن حالت افقی، بیشتر متأثر از تهنشست فلز حمل شده در هوا بوده و در نتیجه حاوی غلظت‌های بیشتری از مس و سرب نسبت به برگ‌های گیاه *Asphodelus fistulosa* که حالت عمودی دارند، بودند. غلظت سرب در ریشه *Urginea maritime* در منطقه آلوده ۶ برابر بیشتر از محتوی سرب در ریشه آن در منطقه شاهد می‌باشد که برای گیاه‌خواران سمی خواهد بود. ریشه‌های چوبی افدرا (*Ephedra alte*) تا عمق زیادی نفوذ کرده و مانند *Acacia* (صمغ عربی) طول عمر بلندی دارد، که میزان تجمع سرب و مس در ریشه آنها نسبت به اندام هوایی بیشتر است. غلظت مس و سرب در ریشه افدرا در منطقه آلوده نسبت به

منطقه شاهد به ترتیب ۶/۰۳ و ۶/۱۴ برابر بود. همچنین غلظت مس و سرب در ریشه Acacia در منطقه آلوده نسبت به منطقه شاهد به ترتیب ۲/۰۷ و ۸/۲۶ برابر بود (Pyatt et al., 2000).

در تحقیقی توزیع محتوای فلزات مس، روی، آهن و منگنز در خاک‌های معادن متروکه مس و اراضی احیا شده با کشت پرتقال و اراضی بالادست معدن و اراضی شالیکاری در ناحیه معدنی Kochi Prefecture ژاپن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در خاک‌های معدنی محتوی کل مس و روی و منگنز و آهن با عمق افزایش می‌یابد. در اراضی بالادست آلودگی مس تشخیص داده نشد. محتوای کل منگنز در افق‌های سطحی در اراضی اطراف معدنکاری معدن نسبت به اراضی احیا شده با کشت پرتقال و اراضی شالیکاری افزایش داشت (Iwasaki et al., 1997).

محمدرضاخانی و همکاران (۱۳۹۰) به منظور 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. با توجه به نتایج، غلظت مس در اندام هوایی از ۷۷/۲ تا ۱۹۲/۳۵ و در ریشه از ۶۱/۶۴ تا ۲۵۴/۷ میکروگرم در گرم متغیر بود. غلظت روی نیز در اندام هوایی این گیاه از ۳۴/۴۲ تا ۸۴/۴۶ و در ریشه از ۲۹/۰۶ تا ۱۰۰/۲ میکروگرم در گرم اندازه‌گیری شد. میانگین مقادیر مشخص می‌سازد که میزان تجمع عناصر مس و روی در ریشه این گیاه بیشتر از اندام هوایی است. همچنین تجمع این عناصر در اندام هوایی و ریشه در نقاط مطالعاتی نزدیک به معدن بیش از سایر نقاط مورد بررسی بود که این امر تأثیر معدنکاری بر تجمع عناصر سنگین در گیاه بومی منطقه (درمنه کوهی) را نشان می‌دهد.

اسلامی و همکاران (۱۳۸۹) در طی مطالعه‌ای خاک‌های اطراف معدن مس پورفیری میدوک در استان کرمان را برای ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آنها مورد آنالیز قرار دادند. نتایج این تحقیق، غنی‌شدگی عناصر مس، نقره، سرب و آرسنیک در نمونه‌های خاک و گیاهان گرفته شده از مناطق با

آثار معدن کاری 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 بومی گون، چوبک و درمنه را مورد آنالیز و سنجش عناصر سنگین قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل، غلظت آرسنیک، نقره، مس و سرب در خاک و گیاهان، در نزدیکی آثار معدن کاری قدیمی لاطلا و چاه مسی بسیار بیشتر از استاندارد بود. بنابراین پیشنهاد کردند با حصارکشی و هشدار به دامداران روستاهای اطراف از چرای دام در این مناطق جلوگیری شود.

استوار زاده و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان اطراف معدن مس سرچشمه کرمان و نیز احتمال وجود گیاهان بیش تجمع کننده در منطقه به جهت انجام گیاه پالایی منطقه پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که جهت پالایش گیاهی منطقه از فلزات سنگین می توان از گونه های گیاهی: بادآورد (*Onopordan acanthinm*) و نسی (*Stipagrostis plumose*) و درمنه کوهی (*Artemisia aucher*) استفاده نمود زیرا این گیاهان به عنوان گیاهان فرا انباشت کننده در منطقه قادر به تجمع فلزات سنگین در بخش‌های مختلف پیکره خود هستند.

مناب و مایتی (۲۰۰۸) به مقایسه انباشت فلزات سنگین مس، نیکل و منگنز، در سه گونه گیاهی *Vetiveria zizanioides* , *Cymbopogon citrates* , *Elusin indica* رشد کرده بر خاک حاصل از باطله معدن متروکه مس واقع در هند پرداختند. خاک حاصل از باطله غنی از کالکوپیریت و اسیدی بود. محتوی مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی کم باعث کاهش زیست دسترس پذیر بودن فلزات سنگین در منطقه شده بود. پس از مس، به ترتیب نیکل و منگنز بیشترین غلظت را در گیاهان مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دادند. غلظت زیست دسترس‌پذیر مس (حاصل از استحصال CuCl_2) بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود و غلظت نیکل و منگنز مقادیر زیر حد آشکارسازی را نشان داد. در میان گونه‌های برداشت شده، گونه‌های *Elusin indica* , *Vetiveria zizanioides*

Manab and Cymbopogon citrates به ترتیب بیشترین تجمع مس، نیکل و منگنز را داشتند (maiti, 2008).

فریتاس و همکاران (۲۰۰۴) طی تحقیقی برای انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین جهت احیای گیاهی خاک معدن مس متروکه Sao Domingos متعلق به کمربند پیریت Iberian واقع در جنوب شرق پرتغال، خاک و گونه‌های گیاهی بومی غالب منطقه را مورد آنالیز غلظت فلزات سنگین قرار دادند. محققین گونه‌های گیاهی جگن (*Juncus efusus* ، *Juncus Conglomerates*) ، *Scirpus holoschoenus* ، علف تیموتی (*Thymus mastichina*) را برای احیای گیاهی منطقه مورد نظر به لحاظ توانایی انباشت غلظت بالای فلزات سنگین مذکور، به خصوص در اندام‌های هوایی خود ، مناسب برشمردند (Freitas et al., 2004).

اکسیو و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی ۴۹ گونه گیاهی بومی رشد کرده بر باطله ۵ معدن مس در شرق چین را مورد مطالعه قرار دادند. غلظت کل مس و سرب و روی و کادمیوم اندام‌های هوایی گونه‌ها (برگ و ساقه) تعیین شد. غلظت متوسط مس در گیاهان ۵ منطقه معدنکاری متروکه روند افزایشی با افزایش سن باطله معدن نشان داد. چهارگونه بابونه (*Commelina communis*) ، *Polygonum* ، *Arthraxon prionodes* ، *macrathum haicho wensis* برداشت شده از نقاط مختلف دارای بیشترین غلظت مس در مقایسه با سایر گونه ها بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که گونه های مذکور گزینه‌های مناسبی جهت انجام گیاه پالایی باطله معدن مس می باشد (Xiao et al., 2008).

محققین طی تحقیقی نمونه‌هایی از باطله و گیاهان بومی منطقه را در معدن متروکه مس Rakha واقع در ایالت Thankhand هند برداشت و پس از بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی جهت تعیین میزان تجمع فلزات سنگین، در گونه‌های گیاهی بومی *Prcreus flavidus* ، علف ارزنی (*Fimbristylis*) *dichotoma*، درنه سرخه (*Echinochola colona*) و آمانیا (*Ammania baccifera*) و کرفو (*Typha*)

latifolia) را مورد آنالیز قرار دادند. نتایج معلوم ساخت که باطله ها دارای غلظت های بالایی از مس و نیکل بوده و دارای اسیدیته متوسط و مقدار کمی عناصر مغذی می باشند. گونه کرفو دارای مقادیر قابل توجهی نیکل (129 mg/kg) و روی (125 mg/kg) در ریشه و مقادیر بیشتری از منگنز در ریشه و اندام های هوایی نسبت به چهار گونه دیگر بود. بالاترین غلظت متوسط مس (1613 mg/kg) در بافت های زیرزمینی گونه آمانیا مشاهده شد. گونه علف ارزنی دارای مقادیر بیشتری از مس و نیکل در اندام های هوایی خود نسبت به سایر گونه ها بود (Manab and Maiti, 2007).

۳-۶- تجمع و تمرکز زیستی فلزات سنگین در گیاهان

شاخص های زیستی مختلفی جهت برآورد میزان تمرکز و تجمع زیستی فلزات در گیاهان توسط محققین بررسی و ارائه شده است.

۳-۶-۱- فاکتورهای انتقال، تمرکز زیستی و غنی شدگی

فاکتور انتقال (TF) Translocation Factor، شاخصی است که میزان توانایی گیاه را در انتقال فلز از ریشه به ساقه نشان می دهد. فاکتور تمرکز زیستی (BCF) Bioconcentration Factor، بیانگر میزان توانایی ریشه گیاه در جذب فلز موجود از خاک می باشد. فاکتور غنی شدگی (EF) Enrichment Factor، میزان توانایی گیاه در انتقال فلز از خاک به ساقه را نشان می دهد.

فاکتورهای مختلفی چون غلظت فلز سنگین در خاک و مقدار pH، میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، سن و نوع گونه گیاهی بر میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاه تأثیر می گذارند (Adriano, 1986). در سیستم های با غلظت بالای مس، ته نشست مالاکیت در pH های پائین میزان مس حل شده را کنترل می کند (Bourg, 1988; Salomons, 1995). برخی مواقع جانشینی فلزی

در گیاه بسیار پیچیده است، به عنوان مثال سمیت مس با فراوانی کم روی، آهن، مولیبدن و سولفات مرتبط می‌باشد (Chaney, 1988).

پوچینریت و هوراک (۲۰۰۰) به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف خاک بر فاکتور انتقال از خاک به گیاه فلزات کادمیم، مس و روی در نمونه‌های برداشت شده از دو گونه گندم و چاودار (گندم سیاه) در ۴۵ منطقه استرالیا پرداختند. تعیین پارامترهای مختلف خاک، غلظت فلزات مورد نظر در خاک و گونه‌های گیاهی مورد نظر و محاسبه فاکتور انتقال فلزات از خاک به گیاه برای گونه‌های تعیین شده نشان داد که فاکتور انتقال کادمیم بیشتر متأثر از محتوی مواد آلی خاک بود. فاکتور انتقال مس و روی بهترین همبستگی را با غلظت کل فلزات و محتوی رس خاک نشان داد. عناصر ضروری مس و روی بیشتر به قسمت‌های زایشی گیاه منتقل می‌شدند. همچنین فاکتور انتقال آنها از خاک به دانه بیشتر از فاکتور انتقال از خاک به سبوس دانه بود. دو گونه در جذب مس و روی اختلاف کمی داشتند و در کل فاکتور انتقال گندم بیشتر از فاکتور انتقال گندم سیاه بود (and Horak., 2000). (Puschenreiter

محققین طی تحقیقی فاکتور انتقال فلزات سنگین در گیاهان بومی منطقه شامل *Prcreus flavidus*، علف ارزنی (*Fimbristylis dichotoma*) و درنه سرخه (*Echinochola colona*) و آمانیا (*Ammania baccifera*) و کرفو (*Typha latifolia*) را در معدن متروکه مس Rakha واقع در ایالت Thankhand هند مورد بررسی قرار دادند. 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 بوده و بین ۱/۳ تا ۲/۷ متغیر بود. فاکتور انتقال گونه‌ها برای سایر فلزات به استثنای فاکتور انتقال روی برای گونه‌های علف ارزنی (*Fimbristylis dichotoma*) و *Prcreus flavidus* کمتر از یک (تجمع بیشتر فلز در ریشه نسبت به ساقه) و در بین فلزات مس، روی و نیکل فاکتور انتقال مس کمترین و فاکتور انتقال روی بیشترین مقدار را در گیاهان منطقه نشان داد (Manab and Maiti, 2007).

یون و همکاران (۲۰۰۶) غلظت کل فلزات سنگین در ۳۶ نمونه از ۱۷ گونه گیاهی بومی و خاک پای گیاهان را برای بررسی پتانسیل گیاه پالایی آنان در شمال غرب منطقه Jacksavile فلوریدا مورد بررسی قرار دادند. این بررسی با محاسبه فاکتور انتقال یا (TF) و فاکتور تمرکز زیستی یا (BCF) برای گونه‌های گیاهی انجام پذیرفت. گیاهان با فاکتور تمرکز زیستی بیشتر از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک به عنوان 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 شاه‌پسند (*phyla nodiflora*) این گونه را برای تثبیت این فلزات مؤثر دانست. محاسبه فاکتور تمرکز زیستی برای گیاه کوشاد (*Gentiana pennelliana*) نشان داد که این گونه برای تثبیت گیاهی محل‌های آلوده به سرب و مس و روی 11، (2.6, 12 BCF) مناسب می‌باشد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهند که گونه‌های بومی شاه‌پسند و کوشاد را می‌توان برای پالایش گیاهی مناطق آلوده به فلزات سنگین مس، سرب و روی مورد استفاده قرار داد (Yoon et al., 2006).

لرستانی و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقی به بررسی توان گیاه پالایی گیاهان بومی رشد یافته بر خاک آلوده در اطراف معدن مس همه‌کسی واقع در شمال غرب همدان، پرداختند. این محققین پس از محاسبه فاکتور انتقال، فاکتور تمرکز زیستی و فاکتور غنی‌شدگی در ۱۷ گونه گیاهی را محاسبه نمودند. بر طبق تعریف ارائه شده توسط (McGrath and Zhao., 2003)، از آنجا که تنها گونه‌های ماهور تماشایی *Cousinia bijarensis* دارای فاکتور انتقال برابر ۱۵/۴۴، ۱/۵۰، ۱/۱، ۵/۴۴ به ترتیب برای مس، روی، آهن منگنز می‌باشد، به عنوان فرا انباشت‌کننده این فلزات محسوب می‌شود. گونه *Cousinia robustus* دارای فاکتور انتقال برابر ۱۷/۲، ۸۲/۱، ۵۷/۱ به ترتیب برای مس، روی، منگنز بوده که می‌توان گفت این گونه فرا انباشت‌کننده این فلزات می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار فاکتور انتقال روی در گونه گل بی‌مرگ ارمنستانی (*Heliochrysum armenium*)، ۴۳/۱، آهن معادل ۸۱/۷ و منگنز معادل ۴۱/۲ محاسبه شد، این گونه را به عنوان فرا انباشت‌کننده این فلزات معرفی کردند.

گونه *Euphorbia macrocalada* با فاکتور انتقال ۸/۴۰ برای روی و ۳/۷۹ برای منگنز، فرا انباشت-کننده این فلزات به شمار می‌آید. گونه *Stipa barbata* فرا- انباشت‌کننده روی و آهن (فاکتور انتقال برابر ۱/۱۲ و ۱/۳۸) ، گونه *Cousinia* فرا انباشت‌کننده مس و روی (فاکتور انتقال برابر ۱/۴۰، ۲/۶۴)، گونه گل گندم بوته‌ای (*Centaurea virgata*) فرا انباشت‌کننده آهن و منگنز (فاکتور انتقال برابر ۱/۵۴ ، ۱/۸۸) می باشند، گونه‌های گل ماهو (TF: 1.74) (

Verbascum speciosum، سلم (*Chenopodium botry* (TF: 2.32) و همچنین گونه (TF: 3.70) *Eryngium billardieri* فرا انباشت‌کننده آهن محسوب می‌شوند. گونه‌های کاکوتی (TF:1.42) (*Ziziphora clinopodioides*) و گون (TF: 1.53) (*Astragalus verus*) فرا انباشت‌کننده منگنز می-باشند. فاکتور انتقال روی در گونه‌های کاهوی وحشی، *Stachys inflata* و *Chondrila juncea* به ترتیب برابر ۱/۱۷ و ۱/۲۶ می‌باشد، که می‌توان گفت این گونه‌ها فرا انباشت‌کننده روی می‌باشند و *Biebersteinia multifida* فرا انباشت‌کننده مس با فاکتور انتقال ۱/۴۹ می‌باشد. این محققین همچنین ضمن سنجش فلزات سنگین در ساقه و ریشه گونه‌های گیاهی بومی منطقه و مقایسه با غلظت فلزات مورد نظر در خاک پای گونه‌های مذکور دریافتند که در بین گونه‌های مورد بررسی، گونه مناسب برای استخراج گیاهی مس، روی، آهن و منگنز وجود ندارد. فرفیون (*Euphorbia macroclada*) به عنوان تنها گونه مناسب برای تثبیت گیاهی مس و آهن در منطقه (BCF: 1.33) (1.10) و (0.39, 0.34) (TF: شناسایی شد. گونه‌های کاکوتی‌کوهی (*Ziziphora clinopodioides*) ، هزار خار (*Cousinia*) ، درمنه ترکی (*Chenopodium botrys*) برای تثبیت گیاهی روی مؤثر می‌باشند. همچنین گونه‌های قندرونک (*Chondrila juncea*) و *Stipa barbata* (BCF: 1.03, 1.00) و (0.38) ، (TF: 0.13) ، دارای پتانسیل تثبیت گیاهی منگنز می‌باشند. لرستانی و همکاران (۲۰۱۱) همچنین ضمن سنجش فلزات سنگین در ساقه گونه‌های گیاهی بومی منطقه و مقایسه با غلظت فلزات مورد نظر

در خاک پای گونه‌های مذکور و سپس محاسبه فاکتور غنی شدگی دریافتند که بر اساس تعریف ارائه شده توسط (Yanqun., 2005 ; McGrath and Zhao., 2003)، تنها گونه *Cousinia bijarensis* دارای فاکتور غنی شدگی بیش از یک 1.13، برای منگنز و تنها گونه فرا انباشت کننده منگنز در این تحقیق می‌باشد (Lorestani et al., 2011).

۷-۳- زیست دسترس پذیری فلزات سنگین

زیست دسترس پذیری و سمیت فلزات سنگین برای گیاه به فاکتورهای زیستی و خصوصیات خاک بستگی دارد. میزان زیست دسترس پذیری فلزات سنگین، جذب زیستی و اثرات آن روی موجودات زنده خاک را می‌توان از روی گونه‌سازی شیمیایی آن دریافت. برخی پارامترهای خاک چون: pH، میزان رس، اکسیدهای آهن و منگنز، مواد آلی و نیز ظرفیت تبادل کاتیونی در توزیع فلزات سنگین در خاک و در دسترس پذیری این عنصر یا ترکیب در خاک مؤثر می‌باشد. میزان زیست دسترس پذیری تا حد زیادی توسط گونه‌سازی عنصری یا ته نشست شیمیایی آن در خاک، کنترل می‌شود که انحلال پذیری را تعیین می‌کند (Sterckeman et al., 2000 ; deMatos et al., 2000).

تااکاک و همکاران طی تحقیقی به بررسی محتوای فلزات سنگین و زیست دسترس پذیری آنان در منطقه معدنکاری مس ناحیه Spis مرکزی ژاپن، پرداختند. آنان به منظور بررسی میزان زیست دسترس پذیری عناصر مس و سرب و روی از روش ارائه شده توسط (Ure et al. 1995) استفاده کردند. در این تحقیق برای تعیین بخش‌های رها شدنی فلزات در خاک، از روش استحصال یک مرحله‌ای با استفاده از محلول ۲ مولار اسیدنیتریک استفاده شد. همچنین بخش‌های بالقوه متحرک فلزات در خاک با استفاده از EDTA ۰/۰۵ مولار جدا شدند. برای تعیین بخش‌های متحرک فلزات در خاک از محلول CaCl_2 ۰/۱ مولار استفاده کردند. برای آماده‌سازی نمونه خاک در هر مرحله ۱۰ گرم

خاک و ۱۰۰ میلی لیتر محلول افزوده شده به آن را به مدت یک ساعت روی لغزنده گذاشتند و غلظت فلزات سنگین را در هر استحصال با روش AAS بر حسب mg/kg اندازه گیری کردند. نسبت بخش متحرک فلزات به بخش رها شدنی در خاک به ترتیب زیر بود: سرب < روی < مس که سرب بیشترین نسبت بخش های متحرک را داشت. همچنین فراوانی بخش هایی از فلزات که قابلیت تحرک پذیری دارند به ترتیب زیر بود: مس < روی < سرب. در نمونه های خاک با بیشترین اسیدیته بیشترین نسبت اشکال متحرک فلزات را مشاهده کردند (Takac et al., 2009).

ناوارو و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی به بررسی میزان زیست دسترس پذیری عناصر آرسنیک، کادمیم و سرب در خاک منطقه معدنی متروکه Cabezo Rajao واقع در ناحیه Murcia، جنوب شرق اسپانیا پرداختند. همچنین به منظور ارزیابی زیست دسترس پذیری فلزات از محلول اسیدی شبیه محیط بیوشیمیایی معده و محلول خنثی شبیه محیط بیوشیمیایی روده کوچک جهت استحصال بخش های زیست دسترس پذیری فلزات مورد بررسی در نمونه های خاک، طبق استاندارد دستورالعمل کاربردی ارائه شده توسط کنسرسیوم تحقیق انحلال پذیری و دسترس پذیری زیستی (SBRC) استفاده شد. میزان زیست دسترس پذیری فلزات مورد مطالعه به طور کلی در محیط اسیدی معده نسبت به روده کوچک بیشتر بود. میزان زیست دسترس پذیری فلزات مورد بررسی در خاک به ترتیب زیر کاهش یافت: کادمیم < سرب < آرسنیک. ترکیب کانیاپی و pH خاک از جمله عوامل مهم مؤثر بر زیست دسترس پذیری فلزات مورد نظر معرفی شد. در شرایط اسیدی زیست دسترس پذیری فلزات بالا و در شرایط خنثی دسترس پذیری آنها پائین بود. کادمیم دارای بیشترین میزان زیست دسترس پذیری بود که تا ۰/۴۷ در معده و تا ۰/۲۷ در روده کوچک قابل جذب بود. سرب بیشتر در معده قابل جذب بود و آرسنیک کمترین میزان جذب را در بین عناصر داشت که میزان جذب آن در معده نسبت به روده بیشتر بود. همچنین میزان زیست دسترس پذیری فلزات متأثر از ترکیب کانیاپی خاک می-باشد. زیست دسترس پذیری سرب در خاک حاوی کربنات به دلیل انحلال پذیری بالای آن در محیط

اسیدی معده افزایش می‌یابد. در حالیکه حضور جاروسیت در خاک به دلیل پایداری آن در محیط اسیدی معده، منجر به زیست دسترس پذیری پائین سرب خواهد بود. انحلال آرسنیک کمتر به اسیدیته خاک مرتبط می‌باشد. به دلیل جذب سطحی آرسنیک توسط اکسیدهای آهن که منجر به کاهش اسیدیته خاک می‌شود کاهش در میزان زیست دسترس پذیری آرسنیک مشاهده گردید. در حالیکه میزان pH بالای خاک ناشی از حضور کربنات منجر به افزایش زیست دسترس پذیری آرسنیک گردید. به دلیل انحلال پذیری بالای کادمیم، ارتباط مشخصی بین زیست دسترس پذیری کادمیم و کانی‌شناسی خاک مشاهده نشد (Navarro et al., 2006).

آناوار و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی روش‌های مختلف استحصال برای تعیین میزان آرسنیک در دسترس گیاه در خاک مناطق مختلف معدنکاری تنگستن، آنتیموان، روی و طلا در چندین ایالت اسپانیا پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که آرسنیک قابل استحصال با استات سدیم ۱ مولار با اسید استیک، در خاک‌های منطقه معدنکاری همبستگی مثبتی با آرسنیک موجود در گیاه نشان داد که می‌توان از آن برای پیش‌بینی بخش زیست دسترس پذیر آرسنیک در خاک مناطق معدنی که می‌تواند توسط گیاه جذب شود، استفاده کرد (Anawar et al., 2008).

کابالا و سینگ (۲۰۰۱) به بررسی تحرک و گونه‌سازی مس و سرب و روی در خاک نزدیک کوره ذوب مس پرداختند. در این بررسی به منظور ارزیابی غلظتی از فلزات مورد بررسی در خاک که متحرک بوده و پتانسیل در زیست دسترس پذیری را دارد، از روش استحصال ۱ مرحله‌ای با استفاده از کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار با نسبت حجمی ۱۰ به ۱ (خاک به استحصال‌کننده) استفاده کردند. این روش استحصال به منظور شبیه سازی محلول خاک برای رهاسازی غلظتی از فلزات در اشکال ناپایدار که بیشترین همبستگی و تطابق را با جذب فلز توسط گیاه دارد، توسط محققین دیگر (Karczewska et al., 1998 ; Iyengar et al., 1981) نیز ارائه و استفاده شده بود (Kabala and sing., 2001).

۳-۸- مطالعات انجام شده در منطقه

معدن متروکه چغندر سر جزء مجموعه معادن مس عباس آباد به شمار می‌آید که در نوار کانه زایی مس، واقع در حاشیه شمال غربی کویر بزرگ به طول بیش از ۳۵ کیلومتر واقع شده است.

نتایج برخی از تحقیقات محققین در منطقه مورد مطالعه به قرار زیر می‌باشد:

- محققین زیادی در زمینه کانه‌زایی مس در منطقه مورد نظر به مطالعه و بررسی پرداخته‌اند که عبارت از: بارویانت (۱۹۷۰)، آقانباتی (۱۳۴۹)، رشید (۱۳۷۶)، صادق زاده (۱۳۷۷)، نوروزی (۱۳۷۹)، خلعتبری (۱۳۸۸)، بادامه (۱۳۸۲) می‌باشند. مطالعات این محققین نشان می‌دهد که فوران‌های متعددی در منطقه در اثر عملکرد گسل‌ها و ایجاد شکستگی‌های عمیق صورت گرفته است که در طی آن گدازه‌هایی با ترکیب بازیک تا حدواسط جریان پیدا کرده‌اند و بواسطه آن کانه‌زایی مس در داخل سنگهای بازیک و حدواسط پورفیری صورت گرفته است.

- نتایج مطالعات توسلی و لطفی (۱۳۸۶)، پیرامون زمین شناسی اقتصادی منطقه نشان می‌دهد مس بصورت اولیه و ثانویه در کالکوسیت، دژنیت، بورنیت، کوولیت، مس ناتو، مالاکیت و آزوریت در انواع سنگهای آندزیتی _ بازالتی، تراکیتی و توف حضور دارد (توسلی و لطفی، ۱۳۸۶).

- کانی سازی در منطقه با توجه به مطالعات انجام شده از نوع رگه‌ای گرمابی می‌باشد. کانه سازی مرتبط با کنتاکت لایه آندزیت پورفیری بوده و کانه اصلی مس کالکوسیت است که به صورت رگچه و لکه هایی در داخل سنگ آندزیت پورفیری تشکیل می‌شود. کالکوسیت تیغه‌ای حاوی انکلوزیون‌های ریز دانه از بورنیت بوده و به مقدار کمی نیز کوپریت تشکیل می‌شود. کالکوسیت به مقداری توسط کوولیت جانشین می‌شود و مقدار کمی مس آزاد نیز در کانسار مشاهده شده است. حفاری‌های انجام شده در منطقه نشان داده است که کانه سازی در عمق به صورت رگه‌ای ادامه دارد و پتانسیل خوب

کانه‌زایی در منطقه وجود دارد که انتظار می‌رود ذخایر زیادتری در منطقه وجود داشته باشد (علی نیا و دهقان نژاد، ۱۳۸۳).

- موسوی شاهرودی و همکاران (۱۳۸۸) پس از انجام مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی دریافتند که سنگهای منطقه دارای ماهیت آکالن بوده که در طی ائوسن و در یک محیط درون صفحه قاره‌ای تشکیل شده‌اند. این سنگها از ذوب بخشی کم یک منشأ غنی شده گارنت لرزولیتی در اعماق ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتری لیتوسفر زیر قاره‌ای منشأ گرفته‌اند. ولکانیسم منطقه عباس‌آباد، با توجه به ماهیت ماگمایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها، با سیستم کششی انطباق دارد و تنها محیط کششی که امکان ایجاد چنین الگویی را برای سنگهای منطقه فراهم می‌آورد، توسعه حوضه پولاپارت (حوضه کششی) می‌باشد.

مطالب ذکر شده، خلاصه نتایج تحقیقات کانی‌شناسی، پترولوژی، زمین‌شناسی اقتصادی انجام شده در منطقه می‌باشد. شایان ذکر می‌باشد که هیچ تحقیق زیست‌محیطی در ارتباط با آلودگی خاک و گیاهان منطقه تاکنون صورت نپذیرفته است.

فصل چہارم

مواد و روشہ

۴-۱- مقدمه

در انجام تحقیقات زیست محیطی اولین گام، شناسایی دقیق محیط مورد مطالعه، بازدیدهای صحرایی و مشاهده عوامل و فرایندهای مؤثر بر کیفیت محیط زیست می باشد. در مرحله بعد بر اساس مشاهدات به عمل آمده و بررسی مطالعات قبلی با موضوع مشابه، متناسب با شرایط محیط و هدف تحقیق، مناسبترین روش برای نمونه برداری انتخاب می شود. پس از انجام دقیق نمونه برداری، نمونه ها آماده سازی و سپس آنالیز می شوند و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

در این فصل پس از شرح مختصری پیرامون مطالعات پایه انجام شده، روشهای نمونه برداری، روش های آنالیز و تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف به کاررفته در این تحقیق توضیح داده شده است.

۴-۲- انجام مطالعات پایه

در این تحقیق جهت انجام مطالعات زمین شناسی، ابتدا به شناسایی منطقه و خصوصیات زمین شناسی آن با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس آباد، مطالعه و بررسی تصاویر ماهواره ای ETM (لندست) و گوگل ارث (Google Earth) پرداخته شد و مطالعات قبلی انجام شده در منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

از آنجا که در این تحقیق آلودگی طبیعی خاک و گیاه بررسی می شود پس از مطالعه دقیق پیرامون سنگهای آتشفشانی منطقه، به بررسی گونه های گیاهی بومی غالب منطقه با استفاده از مطالعات انجام شده در منطقه و منابع موجود پیرامون این گونه ها پرداخته شد.

۴-۳- نمونه برداری

پس از بررسی و مطالعه اطلاعات پایه، بر اساس هدف تحقیق و عوامل مؤثر بر ایجاد آلودگی، نمونه

برداری از سنگ، خاک برجا (طبیعی) و گیاهان غالب منطقه صورت گرفت. نمونه‌ها شامل ۱۹ نمونه

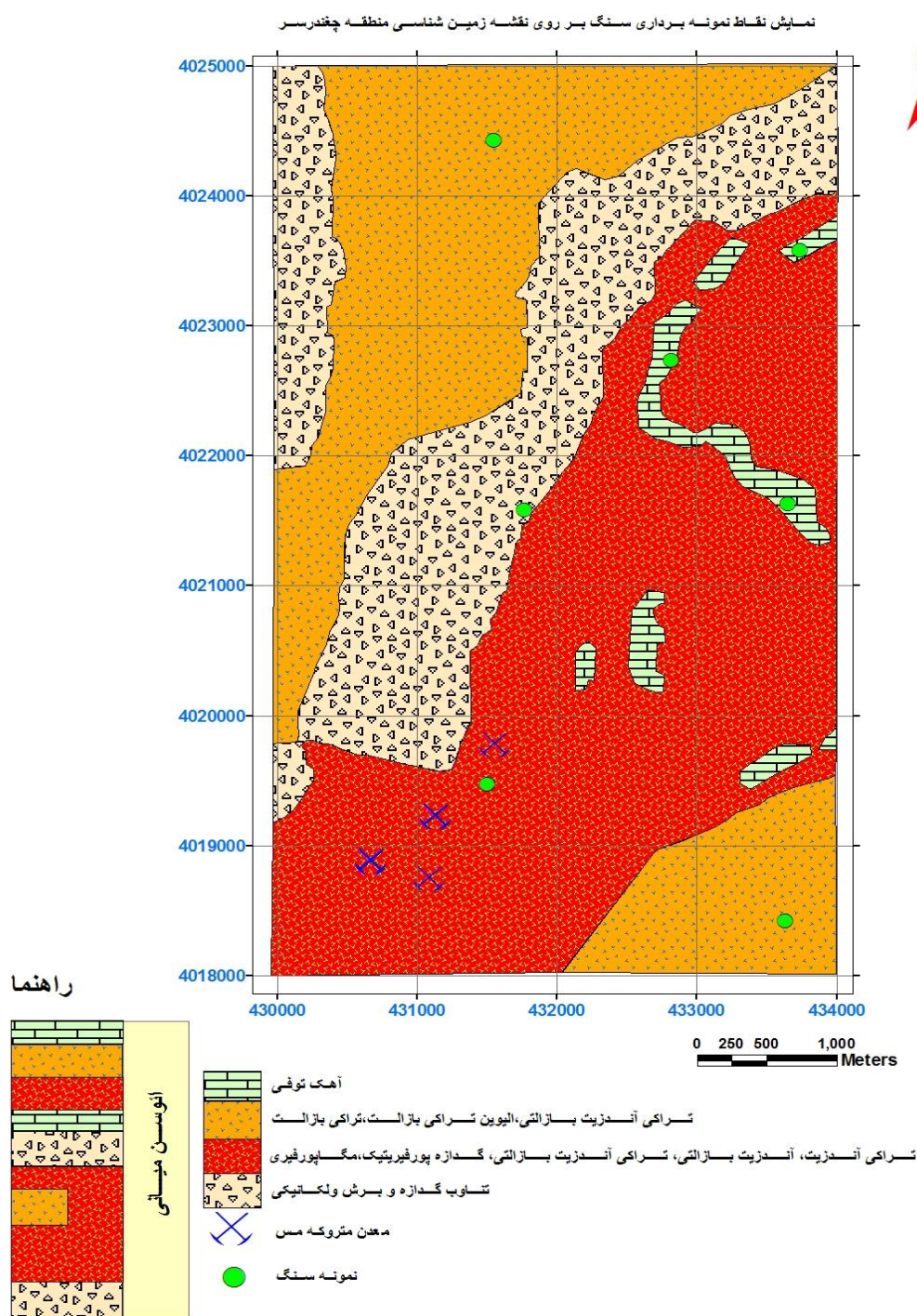
سنگی، ۲۸ نمونه خاک، ۱۵ نمونه گیاه از ۵ گونه مختلف می باشند.

۴-۳-۱- نمونه برداری سنگ

بر طبق مشاهدات صحرایی و مطالعه منابع موجود، با توجه به تنوع سنگی و فراوانی در منطقه تعداد ۸ نمونه سنگ برای انجام آنالیز ICP-OES و ۱۱ نمونه برای تهیه مقطع نازک و انجام مطالعات سنگ شناسی برداشت گردید. در جدول ۴-۱ نام و موقعیت جغرافیایی نمونه‌های سنگ برداشت شده ذکر شده است. شکل ۴-۱ نشان دهنده توزیع نقاط نمونه برداری سنگ بر روی نقشه زمین شناسی منطقه در محیط GIS می باشد.

۴-۳-۲- نمونه برداری خاک

از آنجا که هدف کلی این تحقیق بررسی تأثیر سنگ‌های آتشفشانی و کانه‌زایی مس و معدن متروکه بر آلودگی خاک به عناصر سنگین در منطقه می‌باشد، برای دستیابی هرچه دقیقتر به این هدف از خاک کل منطقه با استفاده از روش شبکه‌بندی مربعی سیستماتیک نمونه برداری انجام شد. از آنجا که وسعت منطقه مورد مطالعه تقریباً ۲۸ کیلومتر مربع می‌باشد، محدوده مطالعاتی به ۲۸ واحد ۱ کیلومتر مربعی بر اساس سیستم مختصات متریک تقسیم گردید. نمونه خاک هر واحد ترکیبی از ۵ نقطه به صورت شعاعی (حدوداً یک کیلوگرم از هر نقطه) در واحد تعیین و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری برداشت گردید. نمونه‌های برداشت شده از هر واحد مخلوط و هموژن گردیده و ۱ کیلوگرم از آن برداشت شد. پس از نمونه برداری قطعات قلوه سنگ‌ها در محل از خاک جدا گردید و نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی مقاوم نگهداری و شماره گذاری شد. مشخصات محل‌های نمونه برداری خاک در جدول (۴-۲) ذکر شده است. شکل (۴-۲) نشان دهنده توزیع نقاط نمونه برداری خاک بر روی نقشه زمین شناسی منطقه می‌باشد.



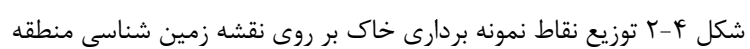
شکل ۴-۱ توزیع نقاط نمونه برداری سنگ بر روی نقشه زمین شناسی منطقه

جدول ۴-۱ نام و مختصات جغرافیایی نمونه‌های سنگی

نام سنگ	مختصات جغرافیایی (UTM)		آنالیز
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
تراکی بازالت	۴۰۲۴۵۰۰	۴۳۱۵۰۰	مقطع نازک، ICP-OES
آهک فسیل‌دار	۴۰۲۳۵۸۷	۴۳۳۷۳۹	مقطع نازک
آهک فسیل‌دار	۴۰۲۲۷۳۴	۴۳۲۸۱۷	مقطع نازک
آهک فسیل‌دار	۴۰۲۱۶۳۷	۴۳۳۶۵۰	مقطع نازک
تراکی بازالت	۴۰۲۱۵۸۸	۴۳۱۷۸۳	مقطع نازک
بازالت	۴۰۱۹۵۰۰	۴۳۱۵۰۰	مقطع نازک، ICP-OES
تراکی بازالت	۴۰۱۹۵۰۰	۴۳۱۵۰۰	مقطع نازک، ICP-OES
بازالت	۴۰۱۸۵۰۰	۴۳۳۵۰۰	مقطع نازک، ICP-OES
بازالت	۴۰۱۸۴۱۹	۴۳۳۶۳۸	مقطع نازک، ICP-OES

جدول ۴-۲ مشخصات محل های نمونه برداری خاک

شماره ایستگاه	مختصات جغرافیایی (UTM)		شماره ایستگاه	مختصات جغرافیایی (UTM)	
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
1A	4024500	433500	4C	4021500	431500
1B	4024500	432500	4D	4021500	430500
1C	4024500	431500	5A	4020500	433500
1D	4024500	430500	5B	4020500	432500
2A	4023500	433500	5C	4020500	431500
2B	4023500	432500	5D	4020500	430500
2C	4023500	431500	6A	4019500	433500
2D	4023500	430500	6B	4019500	432500
3A	4022500	433500	6C	4019500	431500
3B	4022500	432500	6D	4019500	430500
3C	4022500	431500	7A	4018500	433500
3D	4022500	430500	7B	4018500	432500
4A	4021500	433500	7C	4018500	431500
4B	4021500	432500	7D	4018500	430500



۴-۳-۳- نمونه برداری گیاه

پس از انجام بازدید صحرایی و بررسی مطالعات انجام شده قبلی در منطقه پیرامون گونه های گیاهی غالب و مطالعه سایر منابع موجود، جهت بررسی تأثیر منطقه معدنی مس چغندر سر بر آلودگی خاک منطقه، سه ایستگاه نمونه برداری برای گیاه شامل: محل بالادست منطقه معدنکاری قدیمی (شاهد)، منطقه معدنکاری قدیمی و پائین دست منطقه معدنکاری قدیمی انتخاب گردید. مختصات جغرافیایی مناطق نمونه برداری در جدول ۴-۳ و محل های نمونه برداری بر روی نقشه زمین شناسی منطقه در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. از بین گونه های گیاهی بومی منطقه، با توجه به تراکم و تاج پوشش، فراوانی و اهمیت گونه ها، پنج گونه گیاهی اسپند (*Peganum harmala*)، درمنه دشتی (*Artemisia sieberia*)، افدرا (*Ephedra strobilacea*)، قیچ (*Zygophyllum eurypterum*)، کاروانکش (*Atraphaxis spinosa*) که از گونه های گیاهی بومی غالب منطقه می باشند، انتخاب شدند. این گونه ها گذشته از اینکه مورد چرای دام واقع می شوند، جزء گیاهان دارویی محسوب می شوند. نمونه های گیاهی برداشت شده از هر منطقه به تفکیک گونه و اندام های هوایی و زمینی با یکدیگر مخلوط شده و دو نمونه (اندام هوایی و اندام زمینی) از هر گونه گیاهی نماینده هر منطقه جهت آنالیزهای آتی تهیه گردید. بدین ترتیب مجموعاً ۱۵ نمونه گیاهی (از هر سه منطقه و از هر منطقه ۵ گونه گیاهی) جهت آنالیز تهیه گردید.

جدول ۴-۳ مشخصات محل های نمونه برداری گیاه

مختصات جغرافیایی (UTM)		محل نمونه برداری
طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بالادست منطقه معدنکاری قدیمی (شاهد)
۴۳۲۵۰۰	۴۰۲۴۰۰	

منطقه معدنکاری قدیمی	۴۰۱۹۵۰۰	۴۳۱۵۰۰
پاتین دست منطقه معدنکاری قدیمی	۴۰۱۸۵۰۰	۴۳۲۵۰۰

راهنما

نوسن میانی

آهک توفی

تراکی آندزیت بازالتی، الیوین تراکی بازالت، تراکی بازالت

تراکی آندزیت، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت بازالتی، گدازه پورفیری، مگماپورفیری

تلاوب گدازه و برش ولکانیکی

معدن متروکه مس

نمونه گیاه

0 250 500 1,000 Meters

شکل ۴-۳ توزیع نقاط نمونه برداری گیاه روی نقشه زمین شناسی منطقه

۴-۴-۴ آماده سازی نمونه ها

۴-۴-۴-۱ نمونه های سنگ

نمونه های سنگ برداشت شده ابتدا در کارگاه مقطع گیری دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت قطعاتی در ابعاد تقریبی ۱۰ سانتی متر برش داده شدند. تعداد ۸ نمونه سنگ برش داده شده به آزمایشگاه کانه آرایی منتقل و توسط دستگاه سنگ شکن به ابعاد تقریبی ۱ سانتی متر خرد شدند. پس از جدا کردن قطعات دارای بیشترین کانی باطله کوارتز و کلسیت و نیز قطعات دارای بیشترین دگرسانی، میزان ۵۰ گرم از هر نمونه در ظروف پلاستیکی مخصوص نگهداری و شماره گذاری شد. تعداد ۱۱ نمونه سنگ برش داده شده برای تهیه مقطع نازک به دانشگاه دامغان فرستاده شد.

۴-۴-۴-۲ نمونه های خاک

نمونه ها پس از برداشت و شماره گذاری در کیسه های نایلونی مقاوم نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه ها به مدت ۱ هفته در دمای محیط آزمایشگاه خشک شده و سپس از الک شماره ۱۰ (قطر ۲ میلی متر) عبور داده شدند. بخشی از هر نمونه در هاون چینی خرد و از الک شماره ۲۳۰ (قطر ۶۳ میکرومتر) عبور داده شد و به میزان ۵۰ گرم از خاک عبور داده شده در ظروف پلاستیکی مخصوص نگهداری و شماره گذاری شد.

۴-۴-۴-۳ نمونه های گیاه

پس از انجام نمونه برداری و انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، ابتدا نمونه ها با دقت با آب معمولی و سپس با آب مقطر شسته و پس از زدوده شدن ذرات گرد و غبار و خاک و سنگریزه ها از اندام های آنها، به

دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شدند. نمونه‌ها سپس در کیسه‌های کاغذی قرار داده شده و پس از شماره گذاری به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن به قطعات کوچکتر خرد شده و در نهایت توسط دستگاه آسیاب کاملاً خرد شدند. پس از آسیاب هر نمونه، جهت کاهش خطا قطعات داخلی آسیاب که در تماس با نمونه بوده با آب و سپس الکل صنعتی شسته و خشک گردیدند. نمونه‌ها پس از عبور هر نمونه از الک شماره ۶۰، میزان ۲ گرم از هر نمونه در ظروف پلاستیکی مخصوص نگهداری و شماره گذاری شدند.

۴-۵- روش‌های آنالیز

پس از آماده سازی، نمونه‌های سنگ، خاک و گیاه برداشت شده جهت اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی، با استفاده از روش‌های مختلف که در ادامه توضیح داده شده است، مورد آزمایش و تجزیه قرار گرفتند.

۴-۵-۱- اندازه گیری pH

pH نمونه‌های خاک با استفاده از روش استاندارد (Method 9045D USEPA, 2004) اندازه گیری و تعیین گردید. بر طبق این روش ۲۰ گرم از پودر همگن نمونه خاک که بعد از آماده سازی از الک شماره ۱۰ عبور داده شده بود، به نسبت ۱ به ۱ (خاک به آب) در بشر ریخته شد و به مدت ۳۰ دقیقه توسط دستگاه استیرر (مدل IKA. RH. Basic 2) مخلوط گردید. سپس مخلوط آب و خاک به مدت یک ساعت به حال سکون رها شده و آنگاه pH عصاره توسط pH سنج (مدل 3510 jenway) در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری گردید.

۴-۵-۲- اندازه گیری EC

EC نمونه‌های خاک از طریق عصاره‌گیری با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب، در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود تعیین گردید. جهت انجام آزمایش، در یک ارلن ۲۵۰ mL، ۱۰ mg خاک خشک شده در هوای آزاد و عبور داده شده از الک ۱۰ و ۵۰ mL آب مقطر ریخته شد. مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه توسط دستگاه استیرر مخلوط گردید. پس از صاف کردن محلول، بلافاصله EC با استفاده از دستگاه EC سنج (مدل Jenway) اندازه‌گیری گردید.

۴-۵-۳- اندازه‌گیری درصد مواد آلی خاک

ابتدا نمونه‌های وزن شده به مدت ۱۲ ساعت در آون با دمای 105°C قرار داده شدند تا رطوبت آنها خارج شود (در این مرحله درصد رطوبت خاک به دست می‌آید). پس از این مرحله نمونه‌ها دوباره وزن شدند و سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در کوره با دمای 550°C قرار داده شدند. بعد از گذشت ۱۲ ساعت، نمونه‌ها از کوره خارج شده و دوباره وزن شدند. درصد ماده آلی نمونه‌های خاک با استفاده از رابطه ۴-۱ محاسبه گردید (Dean, 1974).

$$\text{LOI}_{550} = ((\text{DW}_{105} - \text{DW}_{550}) / \text{DW}_{105}) * 100 \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

در این رابطه LOI_{550} میزان هدر رفت جرم اولیه در دمای 550°C درجه سانتیگراد که نشان دهنده درصد ماده آلی خاک است. DW_{105} نشان دهنده وزن خشک نمونه پس از قرار دادن نمونه در آون به مدت ۱۲ ساعت در دمای 105°C درجه سانتیگراد. DW_{550} وزن خشک نمونه پس از قرار دادن نمونه در کوره در دمای 550°C درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت می‌باشد.

۴-۵-۴- اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم

این آنالیز در ادامه مرحله تعیین درصد ماده آلی انجام می‌شود، بطوری که پس از وزن نمودن نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن در دمای 550°C درجه سانتیگراد، نمونه‌ها را در کوره 950°C درجه سانتیگراد به مدت ۲

ساعت قرار داده و پس از سرد شدن وزن کرده و درصد کربنات کلسیم با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Dean, 1974).

$$\text{رابطه (۴-۲)} \quad \text{LOI}_{950} = ((\text{DW}_{550} - \text{DW}_{950}) / \text{DW}_{550}) * 100$$

در این رابطه LOI_{950} میزان هدر رفت جرم خاک در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد می باشد که نشان دهنده درصد کربنات کلسیم است. DW_{550} نشان دهنده وزن خشک نمونه پس از قرار دادن نمونه در کوره ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت می باشد، DW_{950} نشان دهنده وزن خشک نمونه پس از احتراق در کوره در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد می باشد.

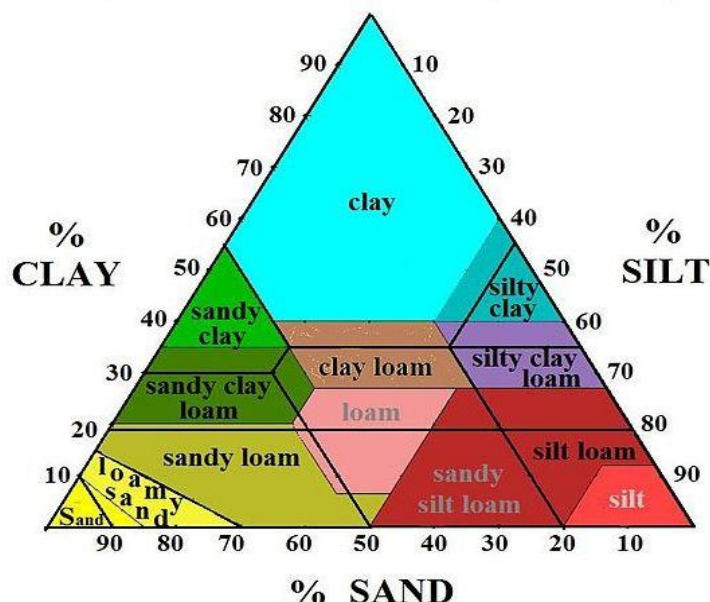
۴-۵-۵- تعیین بافت خاک

جهت تعیین بافت خاک از روش الک و هیدرومتری و جهت رده بندی ذرات از طبقه بندی (USDA, 1995) استفاده شد. در این طبقه بندی اجزاء سازنده خاک در سه دسته ماسه (۲ تا ۰/۰۵ میلیمتر)، سیلت (۰/۰۵ تا ۰/۰۰۲ میلیمتر) و رس (> ۰/۰۰۲ میلیمتر) قرار می گیرند.

برای جدا کردن گراول از ماسه، از الک ۱۰ و جهت تفکیک انواع ذرات ماسه (خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز) به ترتیب از الک های مش ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ استفاده شد. الک مش ۲۳۰ (الک ۴ فی)، الکی است که ذرات ماسه را از لای (سیلت تا رس) جدا می کند و ذرات عبوری از این الک در ظرفی ته بسته (Pan) جمع می شود. به منظور تفکیک انواع ذرات ابتدا حدود یک کیلوگرم خاک را با ترازو وزن کرده و به منظور جدا شدن اجزاء به هم پیوسته آن، پس از ریختن نمونه در داخل هاون، با حرکات بالا و پایین دسته هاون، به آرامی تکان داده شدند (باید توجه شود که در شکل و اندازه اولیه ذرات تغییری ایجاد نشود). در مرحله بعد سری های الک بر روی دستگاه تکان-دهنده (Shaker) قرار داده شد و به مدت ۱۵ دقیقه نمونه ها توسط دستگاه تکان داده شدند. پس از

گذشت این زمان الکها خارج شده و ذرات باقیمانده روی هر الک وزن شدند. به این ترتیب انواع ذرات ماسه تفکیک و وزن هر نوع ذره مشخص گردید.

برای جدا کردن ذرات رس از سیلت نیز از روش هیدرومتری استفاده شد. ابتدا ذرات عبور داده شده از الک ۲۳۰ مش که در Pan جمع شده، خشک و وزنی معادل ۳۰ تا ۴۰ گرم از آن انتخاب شد. برای پراکنده نمودن ذرات رس از محلول ۴٪ هگزامتافسفات سدیم استفاده و گل مخلوط شده با این محلول در مرحله هیدرومتری دانه سنجی شد. سپس این مخلوط را در هیدرومتر ریخته و با قرار دادن هیدرومتر در آن در فواصل مشخص ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ دقیقه هیدرومتر قرائت شد. عدد قرائت شده از روی هیدرومتر را یادداشت نموده و پس از انجام محاسبات مربوط به تعیین درصد اجزاء مختلف خاک، درصد رس و سیلت نمونه خاک مشخص شد. با قرار دادن درصدهای بدست آمده از آزمایش الک و هیدرومتری در مثلث رده‌بندی خاک (شکل ۴-۴)، نمونه های خاک در یکی از طبقه های ۱۲ گانه خاک نامگذاری گردید.



شکل ۴-۴ مثلث بافت خاک USDA

۴-۵-۶- تعیین غلظت عناصر سنگین

پس از آماده سازی نمونه های سنگ و خاک برای تعیین غلظت عناصر سنگین خاک به روش ICP-OES نمونه ها به شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما فرستاده شدند.

نمونه های گیاه پس از آماده سازی و شماره گذاری به آزمایشگاه میکروشیمی دامغان جهت تعیین غلظت عناصر سنگین Cu, Pb, Zn, Ni, Mn به روش AAS فرستاده شدند.

۴-۶- روش های ارزیابی کیفیت و میزان آلودگی خاک و گیاه

جهت ارزیابی کیفی و بررسی میزان آلودگی در خاک و گیاهان بومی منطقه از فاکتورها و شاخص های مختلف ژئوشیمیایی و زیست محیطی شامل فاکتور غنی شدگی، شاخص زمین انباشت، فاکتور آلودگی، فاکتور تمرکز زیستی، فاکتور انتقال، فاکتور غنی شدگی استفاده گردید که درباره هر کدام در بخش مربوطه توضیح داده خواهد شد.

۴-۷- ارزیابی میزان دسترس پذیری زیستی فلزات سنگین

دسترس پذیری زیستی به توانایی یک ماده شیمیایی در محیط زیست، در برهمکنش با انسان و سایر دریافت کننده های موجود در بوم سامانه گفته می شود (Peijnenburg et al., 1997). از آنجایی که انحلال پذیری گونه های مختلف عناصر و ظرفیت جذب آنان به اجزاء مختلف خاک متفاوت می باشد، این امر می تواند بر جذب عناصر توسط جانداران دریافت کننده آنان نیز تأثیر گذار باشد (Ruby et al., 1999 ; Rodriguez et al., 1999). در این بررسی به منظور ارزیابی غلظت در دسترس پذیر زیستی فلزات سنگین خاک از روش استحصال ۱ مرحله ای با استفاده از کلرید کلسیم (CaCl_2) ۰/۰۱ مولار با نسبت حجمی ۱ به ۱۰ (خاک به استحصال کننده) استفاده گردید. از این

استحصال کننده به منظور شبیه سازی محلول خاک برای رهاسازی غلظتی از فلزات در اشکال ناپایدار که بیشترین همبستگی و تطابق را با جذب فلز توسط گیاه دارند، در تحقیقات دیگر (Iyengar et al., 1990 ; Houba et al., 1990 ; Karczewska et al., 1981) نیز استفاده شده است. در این استحصال ۱ گرم از نمونه خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی متر، با ۱۰ میلی لیتر کلرید کلسیم (CaCl_2) ۰/۰۱ مولار مخلوط گردید و مخلوط حاصل به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق بر روی شیکر گذاشته شد. سپس در سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. مخلوط نمونه پس از سانتریفیوژ مدتی به حال سکون رها شده و سپس محلول رویی از کاغذ صافی ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد. انجام این آزمایش دو بار تکرار شد. در هر بار محتوی فلزات سنگین (مس، سرب، روی، نقره، کادمیم و کروم) محلول حاصل توسط دستگاه جذب اتمی Atomic Absorbtion Spectrophotometry اندازه گیری و تعیین گردید.

فصل پنجم

بررسی غلظت عناصر و فلزات سنگین در خاک منطقه

۵-۱- مقدمه

آلودگی به عنوان تهدیدی برای بقای بشر محسوب می‌شود که یکی از موضوعات مورد بحث محیط-زیستی در عصر کنونی می‌باشد. رسوبات، نهشته‌ها و خاک‌های منشأ گرفته از سنگ مادر (مواد اولیه) غنی از فلزات سنگین، منشأ آلودگی طبیعی فلزات سنگین در خاک‌ها می‌باشند. خاک از یک سو محیطی برای ته نشست ژئوشیمیایی آلاینده‌ها فراهم می‌کند و از سوی دیگر به عنوان واسطه طبیعی، انتقال مواد و عناصر شیمیایی به هواکره، آبکره و موجودات زنده اعم از گیاهان و جانوران را در کنترل دارد (Kabata pendias and pendias, 2001). اهمیت خاک برای بشر از آن روست که به طور مستقیم به عنوان منبع حفاظت و تولید غذا و به طور غیر مستقیم از طریق درهم‌کنش و ارتباط با اتمسفر، بیوسفر و هیدروسفر بر سلامت بشر اثرگذار است (Abrahams, 2002) و علاوه بر اینکه محیط رشد گیاه است، بسیاری از آلاینده‌ها از جمله فلزات بالقوه سمناک را به هواکره، زیست‌کره و منابع آبی منتقل می‌کند (Chen et al., 1997). خصوصیات خاک بر جذب فلزات سنگین در خاک اثرگذار می‌باشد و ویژگی‌های خاک در دسترس‌پذیری زیستی عناصر و در نتیجه سمیت عنصر و میزان تأثیرگذاری آن بر رشد گیاه را تعیین می‌کند (Vega et al., 2004). در مرحله استخراج در مناطق کانه‌زایی مس و در اثر هوازدگی طبیعی سنگ میزبان غلظت‌های بالایی از مس و سایر فلزات همراه آن در محیط پراکنده می‌شود و با توجه به شرایط فیزیکوشیمیایی محیط می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مخربی را برجای گذارد.

در این فصل پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک در نقشه پهنه‌بندی غلظت عناصر در خاک منطقه، روابط همبستگی بین عناصر با سایر پارامترهای بررسی شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. برای بررسی منشأ و روابط ژئوشیمیایی بین عناصر از آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 و همچنین برای ارائه و ارزیابی میزان آلودگی و کیفیت خاک از

استانداردهای موجود و شاخص زمین‌انباشت مولر، فاکتور غنی‌شدگی و فاکتور و درجه آلودگی استفاده شده است. غلظت ۲۶ عنصر در هر نمونه خاک با استفاده از دستگاه ICP-OE اندازه‌گیری گردید و با توجه به غلظت عناصر، روند تغییرات آنها در منطقه و همچنین اولویت‌های زیست‌محیطی و نیز با توجه به نتایج مطالعات قبلی در مناطق کانه‌زایی مس، از میان این عناصر تعداد ۱۰ عنصر (آرسنیک، سرب، روی، کروم، کادمیم، مس، منگنز، نقره و نیکل و وانادیم) به منظور بررسی و ارزیابی کیفیت خاک منطقه انتخاب گردید.

۵-۲- نتایج خام آنالیز نمونه‌های خاک منطقه

پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های خاک و سنگ برداشت شده از منطقه در جدول ۵-۱، ۵-۲ و ۵-۳ آورده شده‌است.

جدول ۵-۱ میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های خاک منطقه

شماره نمونه	Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	CEC (meq/100g)	EC (μS/cm)	pH
1A	Sand	94.16	0.99	4.85	2.44	2.27	8.44	120.4	8.83
1B	Loamy sand	88.08	5.00	6.91	3.24	2.86	11.11	136.8	8.55
1C	Loamy sand	86.88	2.47	10.65	3.46	3.05	13.71	89.8	8.8
1D	Sand	95.8	2.2	2	3.11	3.33	9.47	193.1	8.53
2A	Loamy sand	85.97	4	10.03	3.08	2.51	12.01	146	8.93
2B	Loamy sand	83.72	7.44	8.84	5.10	2.90	12.30	150.6	8.9
2C	Loamy sand	86.56	1.55	11.89	3.47	3.07	14.46	125.1	8.87
2D	Sand	92.88	2.14	4.98	3.94	3.21	10.88	125.9	8.8
3A	Sandy Loam	74.57	6.53	18.9	5.09	2.76	17.68	135.8	8.67
3B	Sandy Loam	77.81	7.24	14.95	4.94	3.10	16.29	147.9	8.64
3C	Sandy Loam	75.86	7.48	16.66	5.14	3.26	17.66	129.6	8.87
3D	Sandy Loam	78.34	6.92	14.74	4.57	3.25	16.53	129.2	8.64
4A	Sand	90.85	0.83	8.32	3.12	3.03	12.33	163.5	8.62
4B	Sand	89.82	1.52	8.66	5.40	3.37	13.37	144.2	8.57
4C	Sand	90.82	1.01	8.17	3.32	2.41	10.70	159.1	8.56
4D	Sandy Loam	80.33	8.99	10.68	3.33	3.04	13.70	130	8
5A	Sandy Loam	67.81	13.46	18.73	4.51	2.95	18.06	122.8	8.4
5B	Loamy sand	86.25	5.77	7.98	5.42	3.23	12.64	167.2	8.89
5C	Loamy sand	88.89	2.84	8.27	3.61	3.15	12.6	153	8.43
5D	Sand	90.1	2.52	7.38	3.54	3.12	12.01	148.2	8.56
6A	Loamy sand	89.5	1.31	9.19	3.57	3.90	15.00	122.6	8.5
6B	Sandy Loam	83.64	2.57	13.79	5.67	3.22	15.92	121.9	8.74
6C	Sandy Loam	82.4	5.1	12.5	5.94	3.28	15.33	277	8.5
6D	Loamy sand	86.18	2.9	10.92	4.46	3.08	13.94	121.2	8.76
7A	Sand	93.12	2.68	4.2	6.19	3.03	9.97	162.5	8.88

8.39	124.5	13.65	3.88	4.41	6.93	1.2	91.87	Sand	7B
8.4	159.6	14.92	3.62	5.84	10.28	6.36	83.36	Loamy sand	7C
8.42	174.3	13.33	3.30	5.22	8.88	3.07	88.05	Loamy sand	7D

جدول ۲-۵ غلظت عناصر در نمونه‌های خاک منطقه بر حسب mg/kg

V	Zn	Pb	Ni	Mn	Cr	Cd	As	Ag	Cu	فلز شماره نمونه
281	64	20	42	744	134	0.27	4.4	0.4	77	1A
222	65	20	87	846	260	0.25	5.1	0.49	98	1B
212	66	21	74	810	127	0.25	4.2	0.42	122	1C
224	69	22	82	858	99	0.27	3.5	0.3	46	1D
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2A
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2B
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2C
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2D
209	84	27	87	987	115	0.27	5.9	0.29	46	3A
145	70	24	101	789	131	0.25	6.9	0.25	50	3B
205	70	23	79	839	115	0.28	5.2	0.48	87	3C
202	73	22	84	931	126	0.26	5.6	0.39	84	3D
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4A
193	70	23	87	839	126	0.26	7.1	0.24	54	4B
256	76	23	57	823	79	0.26	3.7	0.31	55	4C
267	66	22	65	843	213	0.27	4	0.43	88	4D
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5A
250	71	23	64	855	108	0.28	5.9	0.31	55	5B
247	79	22	70	869	95	0.25	4	0.26	50	5C
236	68	21	65	803	144	0.26	4.9	0.31	90	5D
210	79	25	92	930	125	0.26	7.3	0.26	47	6A
182	79	26	98	868	130	0.27	6	0.28	48	6B
224	96	34	53	1023	73	1	8.9	1.9	7122	6C
215	72	22	83	845	150	0.27	4.6	0.27	176	6D
212	65	19	55	789	114	0.24	2.6	0.45	63	7A
205	69	20	70	784	127	0.25	5.4	0.27	57	7B
181	75	23	87	828	116	0.25	7.4	0.26	52	7C
176	72	23	97	840	132	0.26	7.5	0.27	55	7D

جدول ۳-۵ میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های سنگ بر حسب mg/kg

V	Zn	Pb	Ni	Mn	Cr	Cd	As	Ag	Cu	غلظت فلز نمونه میانگین
253.4	67.2	16	23	970	92	0.26	3.02	0.39	201	بازالت
333.3	84	17.67	22.7	1041	130	0.24	2.467	0.39	131	تراکی بازالت

۳-۵- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در خاک منطقه

pH - ۱-۳-۵

غلظت یون هیدروژن از جمله عوامل مؤثر بر گونه‌سازی فلزات، انحلال‌پذیری کانی‌ها و زیست‌دسترس-پذیری فلزات در خاک می‌باشد (Salomons, 1995). میزان pH بطور مستقیم یا غیر مستقیم مکانیسم نگهداری و جذب فلز توسط اجزای مختلف خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Harter, 1983). بیشتر فلزات در شرایط اسیدی براحتی حل شده و کمتر جذب سطح اجزای خاک می‌شوند. (Gonzalez et al., 2011). جدول ۴-۵ و شکل ۵-۱ طبقه‌بندی خاک‌ها را بر اساس pH (Soil Science Society of America, 1997) و پهنه‌بندی pH در خاک منطقه را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵ طبقه بندی خاک بر مبنای pH (Soil Science Society of America, 1997)

توضیحات	pH
شدیداً اسیدی	< ۴/۵
اسیدی زیاد تا خیلی زیاد	۴/۶ - ۵/۵
نسبتاً اسیدی	۵/۶ - ۶
کمی اسیدی	۶/۱ - ۶/۵
خنثی	۶/۶ - ۷/۳
کمی قلیایی	۷/۴ - ۷/۸
نسبتاً قلیایی	۷/۹ - ۸/۴
قلیایی زیاد	۸/۵ - ۹
قلیایی خیلی زیاد	> ۹/۱

بر اساس رده‌بندی ارائه شده می‌توان گفت بطور کلی خاک منطقه در رده‌های نسبتاً قلیایی و قلیایی زیاد قرار می‌گیرد. علت آن را می‌توان فرسایش و هوازدگی سنگ‌های بازالتی و خروج کلسیم و سدیم از پلاژیوکلازهای بازیک و پیروکسن‌های سدیم و کلسیم دار با ترکیب اوژییتی دانست. قلیایی بودن خاک منطقه محیط مناسبی جهت رسوبگذاری فلزات سنگین مهیا ساخته و عامل مهمی در تمرکز فلزات سنگین در خاک منطقه محسوب می‌شود.

۵-۲-۲- هدایت الکتریکی

علاوه بر شوری خاک فاکتورهای زیادی چون تخلخل خاک، رطوبت، مقدار و نوع کانی رسی بر میزان

هدایت الکتریکی خاک موثر هستند (McNeill, 1980). شکل ۵-۲ پهنه‌بندی هدایت الکتریکی (EC) در نمونه‌های خاک منطقه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از سنجش میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک منطقه بیان کننده این واقعیت است که خاک محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی معدن متروکه مس چغندر دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی است ($277 \mu S/cm$). می‌توان علت آن را حضور یون‌های سولفات ناشی از هوازدگی و شستشوی سنگ‌های حاوی کانی‌هایی چون کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت دانست. افزایش میزان هدایت الکتریکی خاک می‌تواند به دلیل نگهداری فلزات سنگین با مکانیسم‌های مختلف باشد که توسط محققین دیگر (Gonzalez, 2011) نیز تأیید شده است.

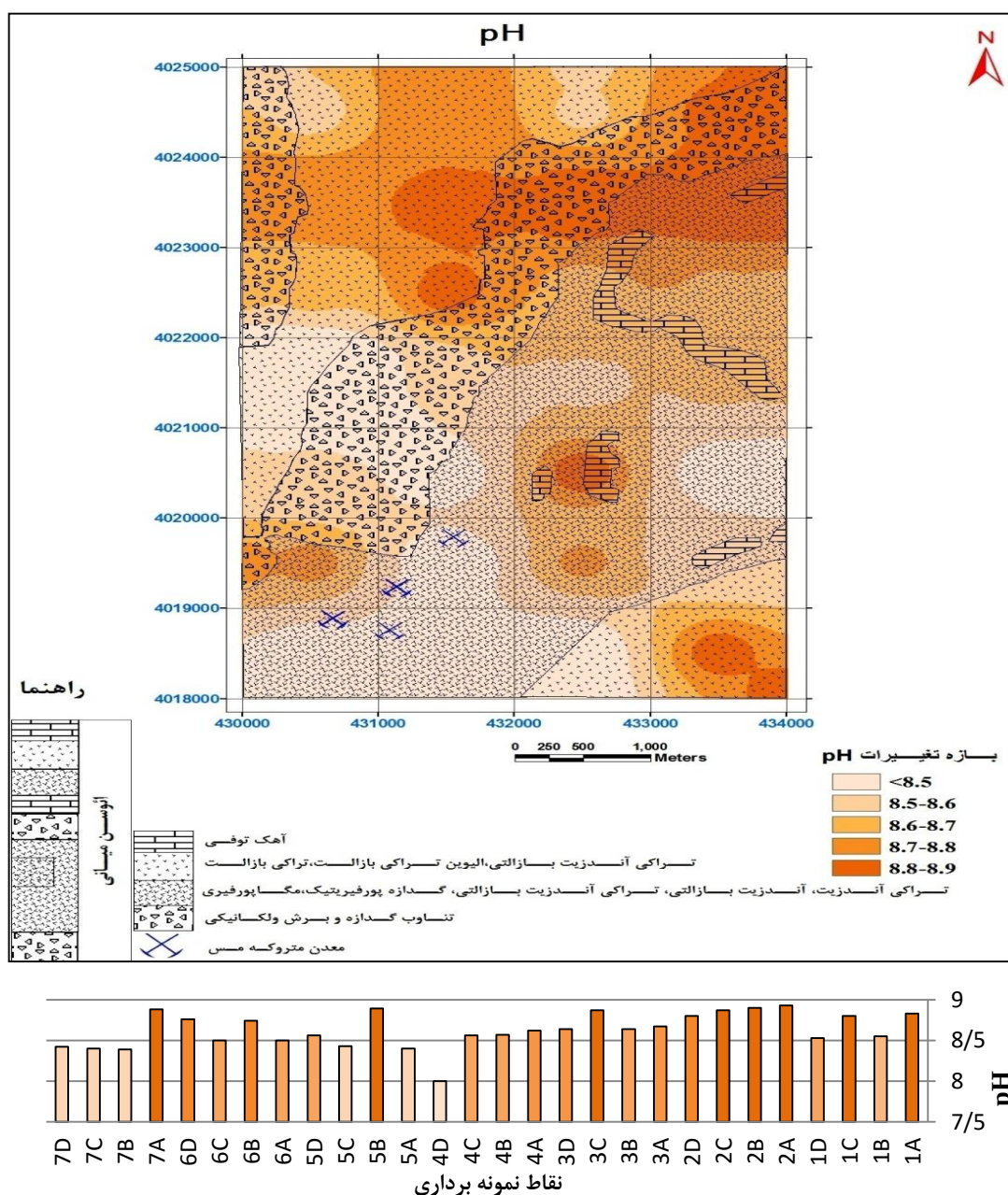
CEC -۳-۲-۵

ظرفیت تبادل کاتیونی یا Cation Exchange Capacity (CEC) حداکثر میزان کاتیون‌هایی است که ۱۰۰ گرم خاک خشک می‌تواند جذب کند. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شاخصی برای بیان میزان توانایی آن جهت تبادل کاتیونها با محلول خاک و نمایانگر قدرت جذب فلزات سنگین در خاک می‌باشد. خاک‌های با ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان مواد آلی بالا، می‌توانند میزان زیادی از کاتیون‌هایی را که در فرایند معدنی شدن به خاک وارد می‌شوند، تبادل و حفظ کنند (Yobouet et al., 2010). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به کانی‌های رسی، مواد آلی، ظرفیت و شعاع یون هیدراته فلز بستگی دارد. فلزات با شعاع یونی بیشتر و ظرفیت کمتر با قدرت کمتری در خاک حفظ و نگهداری می‌شوند (McNeill, 1980). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از رابطه (۵-۱) محاسبه گردید (Malakouti and Homaie, 1994).

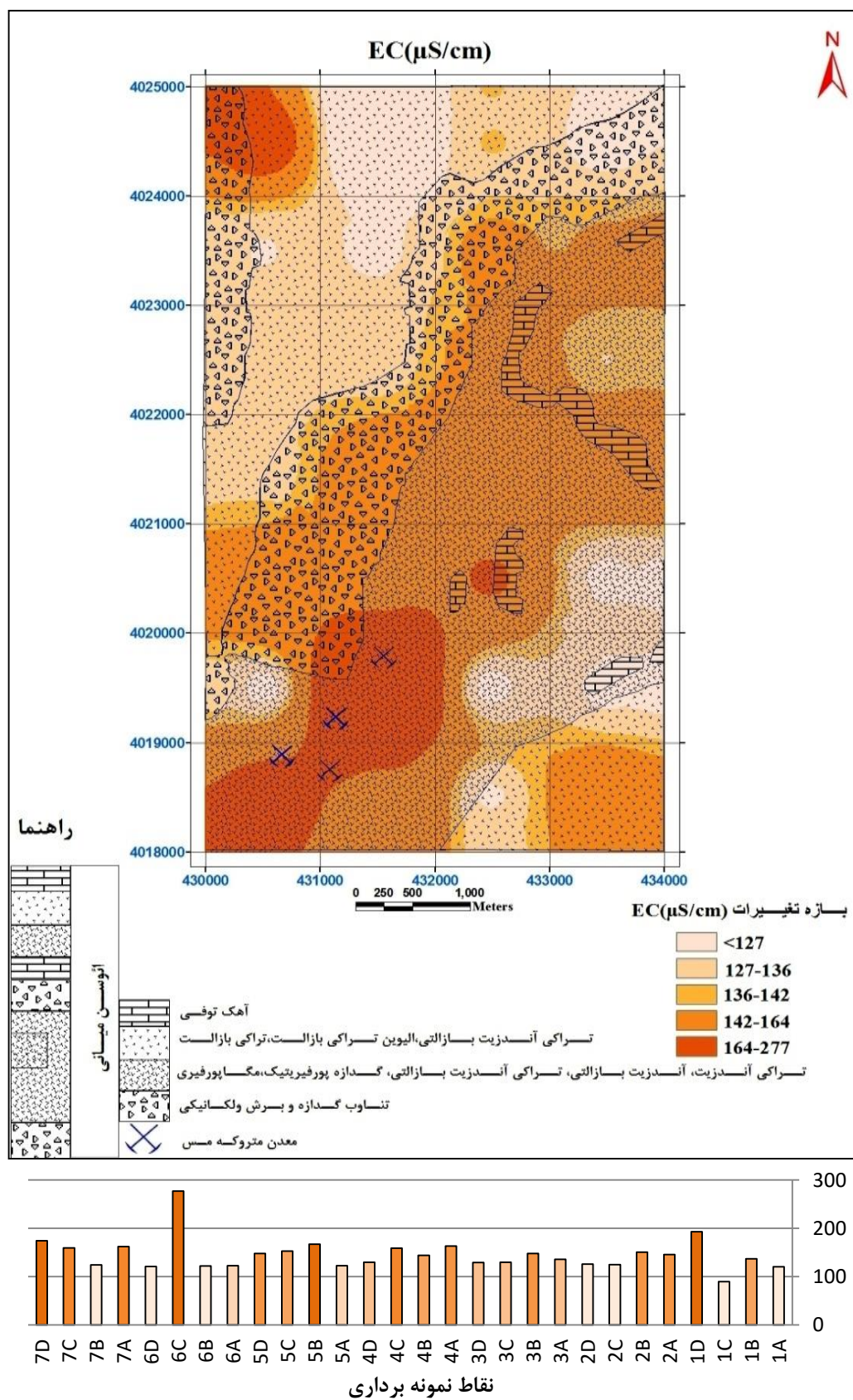
$$CEC = (2.5 \times LOI\%) + (0.57 \times Clay \%) \quad \text{رابطه ۵-۱}$$

شکل ۵-۳ پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک منطقه را نشان می‌دهد. درصد مواد آلی

و نیز درصد رس خاک منطقه بطور کلی پائین می‌باشد. در اطراف کانسار تا فاصله ۳ کیلومتری شرق و ۱ کیلومتری جنوب آن به علت بالاتر بودن مقدار مواد آلی خاک (افزایش تراکم پوشش گیاهی و چرای دام‌ها) مقادیر CEC بالاتر می‌باشد. همچنین در فاصله ۳ کیلومتری شمال منطقه معدنی متروکه (نمونه‌های 3A, 3B, 3C 3D) به علت افزایش نسبی درصد رس خاک در این منطقه (جدول ۵-۱)، مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک افزایش می‌یابد.



شکل ۵-۱ نقشه پراکندگی pH در خاک منطقه



شکل ۵-۲ نقشه پهنه‌بندی EC در خاک منطقه

۵-۲-۴- ماده آلی

مواد آلی شامل هر نوع ماده با منشأ گیاهی یا جانوری است که از طریق فرایندهای تجزیه به خاک باز می‌گردد. همچنین مواد آلی به منظور فراهم کردن مواد مغذی و زیستگاه موجودات زنده در خاک در قالب توده‌هایی به ذرات خاک متصل می‌شود و قابلیت خاک برای نگهداری آب را بهبود می‌بخشد. بیشتر خاکها حاوی ۲٪ تا ۱۰٪ مواد آلی هستند. با این حال حتی در مقادیر کم حضور مواد آلی بسیار مهم است. عوامل طبیعی تأثیرگذار بر میزان مواد آلی عبارت از: دما، رطوبت خاک و اشباع‌شدگی از آب، بافت خاک، توپوگرافی، شوری و اسیدیته، پوشش گیاهی و تولید زیست توده می‌باشد. ترکیب ماده آلی خاک و سرعت تجزیه آن بر روی ساختار و تخلخل خاک، میزان نفوذ آب، توانایی نگهداری رطوبت خاک، تنوع و فعالیت زیستی ارگانیسم‌های خاک و دسترس پذیری مواد مغذی گیاه موثر می‌باشد (Bot and Benites, 2005).

شکل ۴-۵ پهنه‌بندی ماده‌آلی در نمونه‌های خاک منطقه را نشان می‌دهد. به طور کلی به دلیل پوشش گیاهی بیابانی و مرتع در منطقه، مقدار ماده آلی در خاک منطقه اندک (۰.۲٪ تا ۰.۴٪) می‌باشد. با توجه به اینکه درصد ماده آلی خاک در منطقه کمتر از ۱۰٪ می‌باشد، خاک منطقه جزء خاک‌های معدنی (حسین‌پور، ۱۳۸۷) محسوب می‌شود. بیشترین درصد ماده آلی خاک در اطراف کانسار و منطقه معدنی متروکه و نیز در سمت شمال غرب منطقه مشاهده می‌شود که می‌تواند به علت وجود آغل‌های فصلی دام‌های ساکنین اطراف و چرای بیشتر دام‌ها باشد. همچنین افزایش تراکم پوشش گیاهی بیابانی و مرتع در نزدیکی معدن متروکه هم در افزایش درصد ماده‌آلی مؤثر بوده‌است.

۵-۲-۵- کربنات کلسیم

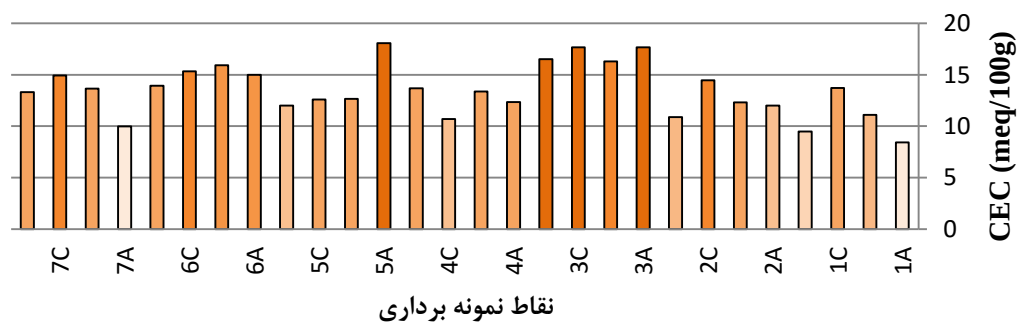
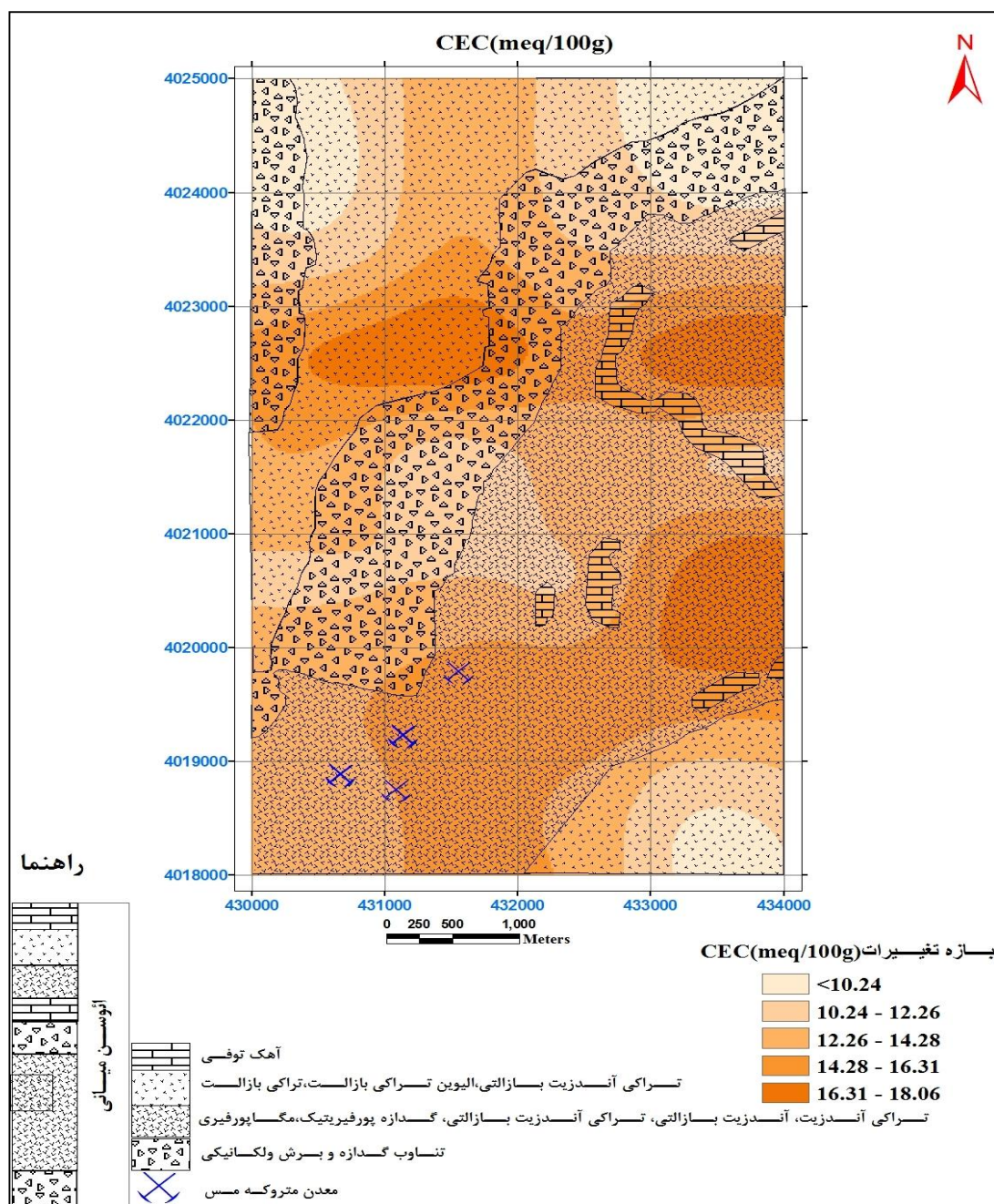
حضور کربنات در خاک اغلب به حالت نیمه پایدار است. کربنات در خاک معمولاً تحت شرایطی تشکیل می‌شود که میزان تبخیر و تعرق بیشتر از میزان بارندگی باشد. در خاکهای با میزان بالای آب

نفوذی، کربنات براحتی حل و شسته می‌شود. کلسیت شکل فراوان و نسبتاً متحرک کربنات کلسیم در خاکها می‌باشد که معمولاً نسبت به دیگر اشکال کربنات، پراکندگی بیشتری دارد و تأثیر عمده‌ای بر pH خاکها و بالطبع رفتار فلزات سنگین در خاک دارد (Kabata Pendias and Pendias., 2001).

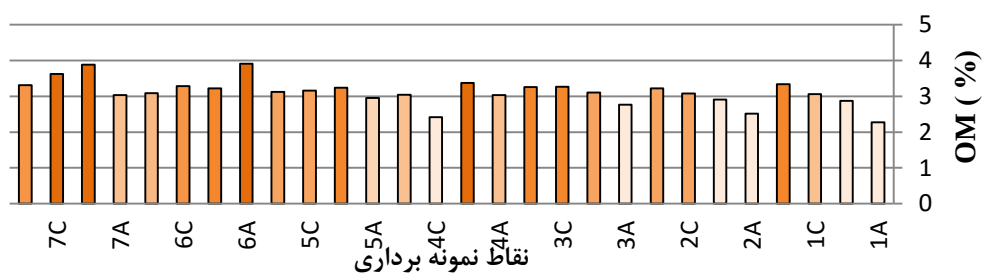
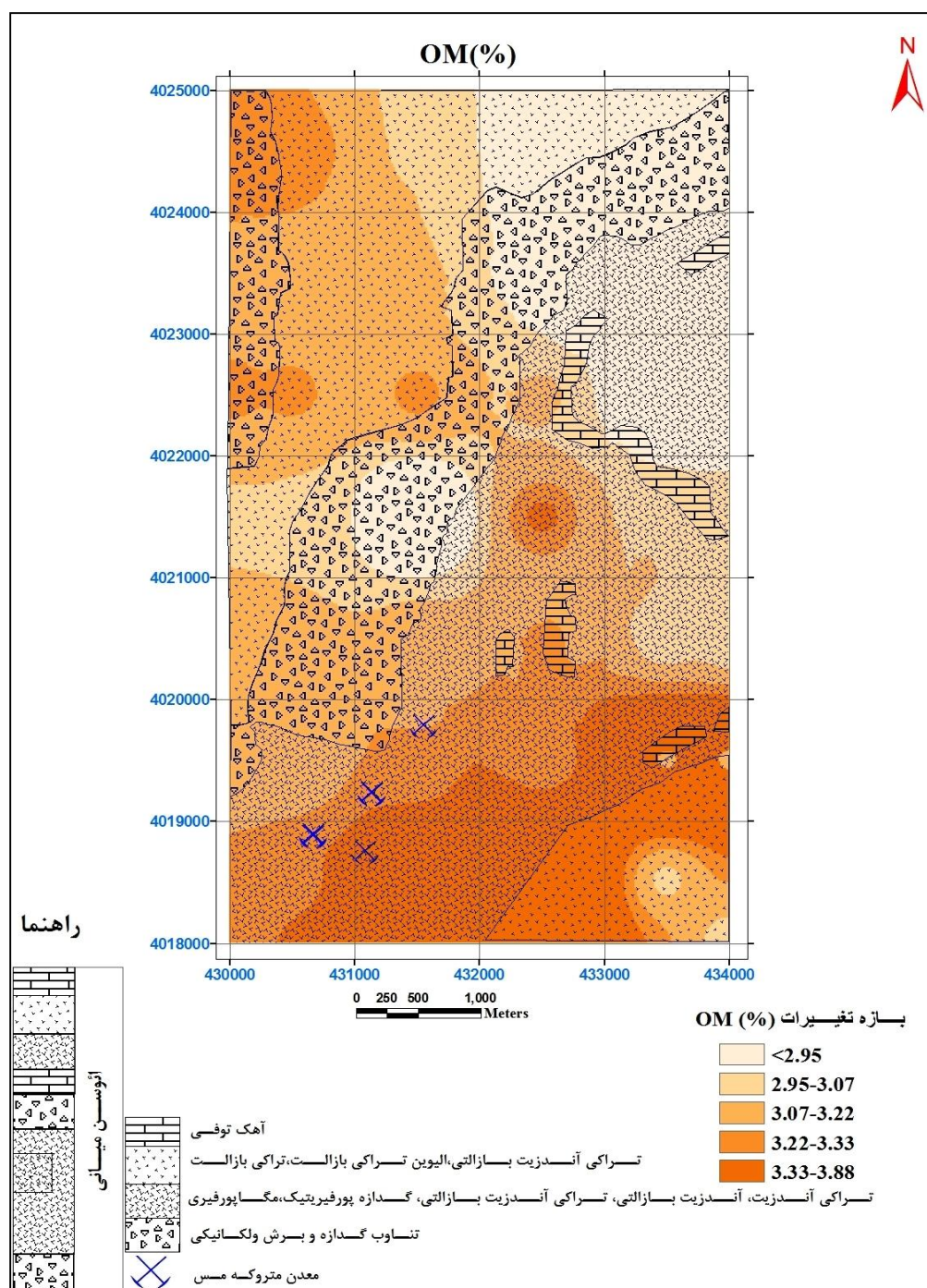
شکل ۵-۵ نقشه پهنه‌بندی کربنات کلسیم در خاک منطقه را نشان می‌دهد. از آنجا که درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های خاک منطقه در گستره ۱۰٪-۲٪ قرار می‌گیرد، بر طبق طبقه بندی خاک بر اساس درصد کربنات کلسیم (FAO, 2006) نمونه‌های خاک، جزء خاک‌های آهکی می‌باشد. تقریباً می‌توان گفت بیشترین میزان کربنات کلسیم در نمونه‌های خاک در محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی آن به دلیل حضور کلسیت بصورت پراکنده در منطقه، در قالب کانی فرعی کلسیت، همچنین وجود دگرسانی کربناتی و رگه‌های کلسیتی (شکل ۲-۲۹) و حتی ترکیب پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها که هر دو حاوی کلسیم هستند و پس از دگرسانی کلسیم آنها آزاد می‌شود، مشاهده می‌شود.

۵-۲-۶- بافت خاک

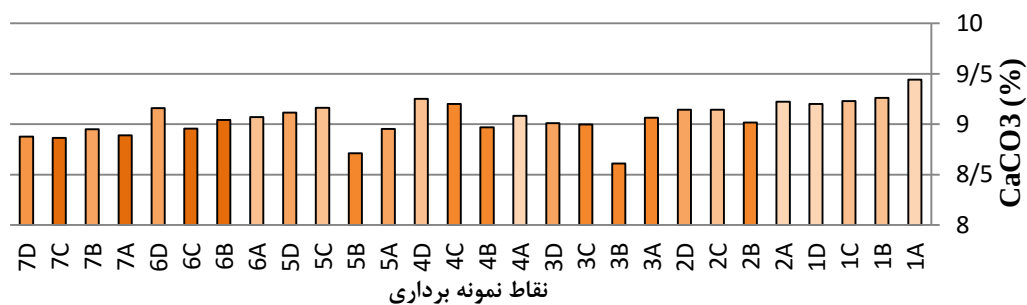
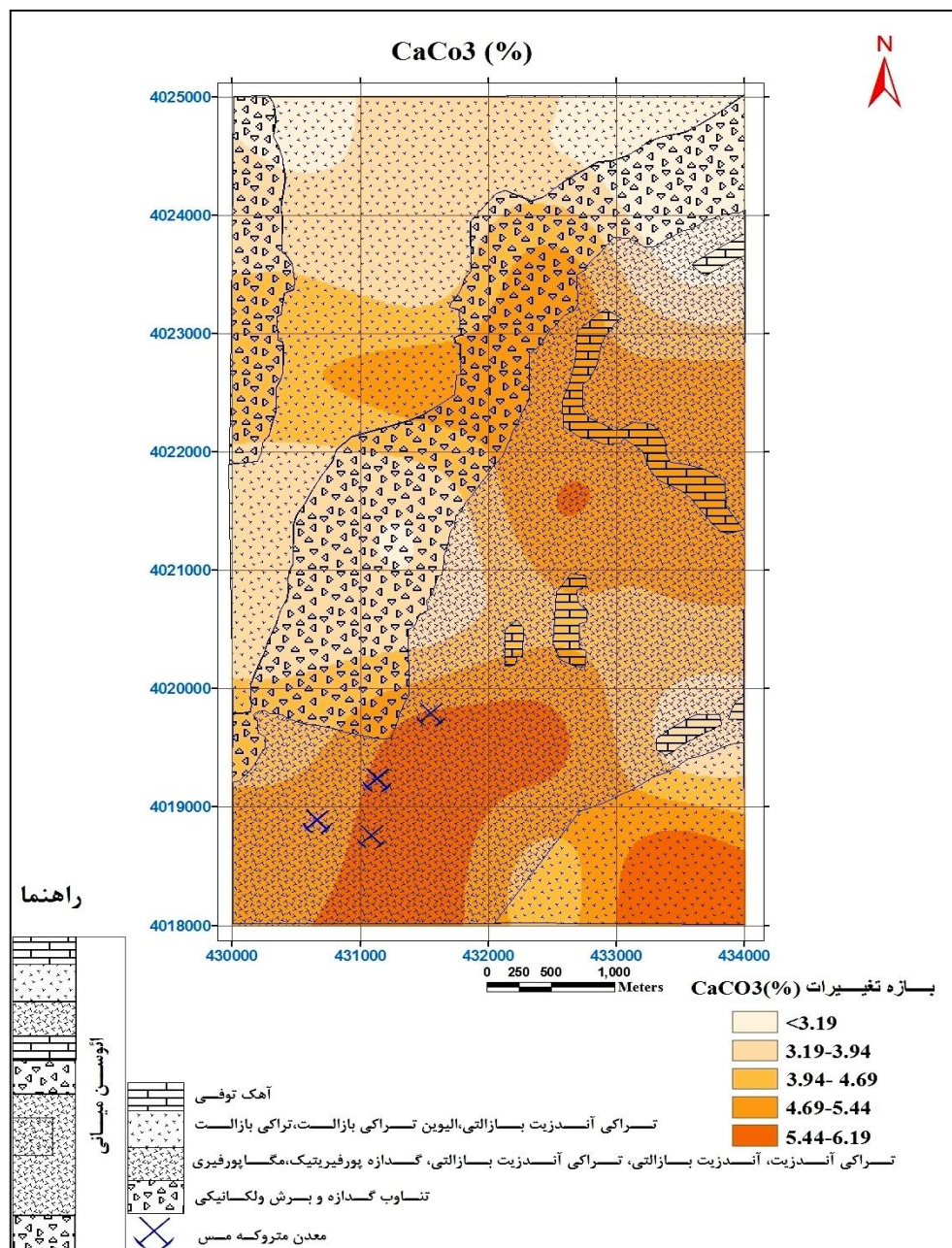
بافت خاک که تعیین کننده اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک می‌باشد، پارامتر مؤثر در تحرک فلزات سنگین در محیط‌های خاکی محسوب می‌شود (Siegel, 2002). در این تحقیق به منظور طبقه بندی خاک از مثلث نام‌گذاری بافت خاک طبق استاندارد خاک کشاورزی امریکا (U.S Department of Agriculture, 2009) با تعیین درصد وزنی مقدار رس، سیلت و ماسه استفاده شده است (شکل ۵-۶). در شکل ۵-۷ نقشه پهنه‌بندی بافت خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه آورده شده است. بافت نمونه‌های خاک منطقه بطور کلی در ۳ دسته ماسه‌ای، ماسه‌ای لومی و لومی ماسه‌ای قرار می‌گیرد.



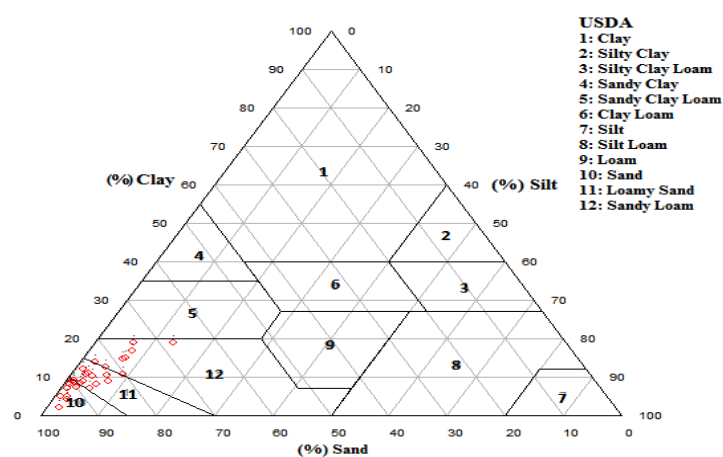
شکل ۳-۵ پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک منطقه



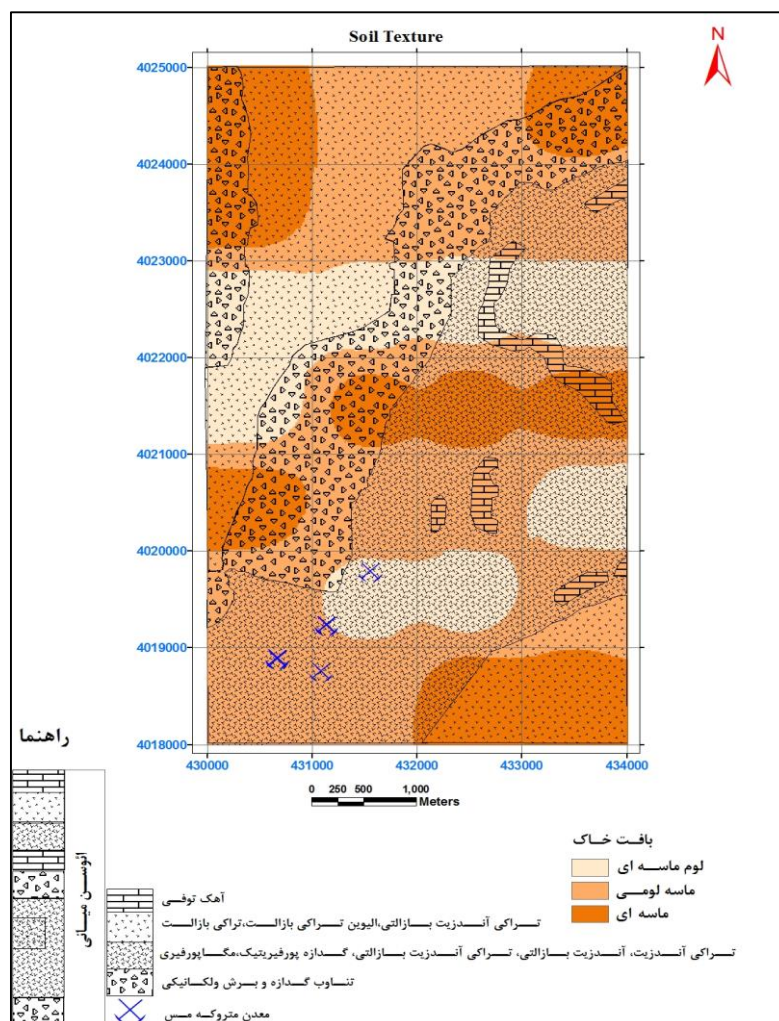
شکل ۴-۵ پهنه‌بندی ماده آلی در خاک منطقه



شکل ۵-۵ پهنه‌بندی کربنات کلسیم در خاک منطقه



شکل ۵-۶ رده‌بندی بافت خاک منطقه بر اساس (USDA, 2009)



شکل ۵-۷ پهنه‌بندی بافت خاک منطقه

۵-۴- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر در خاک منطقه

نتایج حاصل از محاسبه همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در جدول (۵-۵) آورده شده است. از نتایج محاسبه همبستگی بین پارامترها و عناصر جهت تجزیه و تحلیل نحوه توزیع و عوامل مؤثر در پراکنش هر عنصر در بخش مربوطه استفاده شده است. بطور کلی نتایج حاصل از محاسبه همبستگی را می توان بصورت زیر خلاصه نمود:

۱- عنصر سرب با روی؛ منگنز با سرب و روی؛ کادمیم با مس و سرب و روی؛ نقره با کادمیم و مس، همبستگی مثبت بالا و معنی داری را نشان دادند. این امر از ویژگی های ژئوشیمیایی تقریباً مشابه آنها ناشی می شود.

۲- همبستگی مثبت بالا و معنی دار بین نقره و رس خاک بیانگر این مطلب است که رس

خاک قادر به جذب و نگهداشت نقره در محیط خاک بوده است.

۳- همبستگی مثبت بالا و معنی دار درصد رس نمونه های خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی

نشان می دهد که عامل اصلی در میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک منطقه میزان رس آن بوده است.

۵-۵- بررسی غلظت و توزیع عناصر در خاک منطقه

به منظور بررسی غلظت عناصر و وضعیت آلودگی در خاک منطقه و جهت تجزیه و تحلیل بهتر، از نقشه های زمین شناسی تهیه شده در این تحقیق در محیط GIS، پهنه بندی عناصر بر روی نقشه زمین شناسی منطقه و نمایش نحوه توزیع عناصر در خاک منطقه استفاده شده است.

۵-۵-۱- مس

میانگین غلظت مس در خاک جهانی 38.9 ppm می باشد (Kabata-Pendias, 2011). شکل ۵-۸

پهنه بندی و توزیع غلظت مس در نمونه های خاک منطقه را نشان می دهد. بیشترین غلظت مس

در خاک منطقه (۷۱۲۲ ppm) در محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی کانسار مشاهده می‌شود که حدود ۱۸۳ برابر بیشتر از میانگین خاک جهانی می‌باشد. از آنجا که مس در اکثر شرایط حاکم بر محیط خاک، تنها به مقدار کمی تحرک می‌یابد، غلظت آن در خاک در مدت زمان طولانی افزایش یافته و در غلظت‌های بالایی متمرکز می‌شود (Hutchinson, 1979). حضور این مقادیر بالای مس در محل کانسار به علت وجود کانی‌های کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت و آزوریت می‌باشد (توسلی و لطفی، ۱۳۸۶). با افزایش فاصله از کانسار غلظت مس در نمونه‌های خاک منطقه کاهش می‌یابد. این موضوع توسط محققین دیگری که بر روی تأثیر کانسار مس در خاک مناطق مختلف جهان تحقیق کرده‌اند (در زیر به آنها اشاره شده‌است) نیز تأیید می‌گردد (Abreu et al., 2008 ; Vega et al., 2006 ; Boularbah et al., 2006 ; Luo et al., al., 2004 ; Wilson and Pyatt, 2007 ; Qin et al., 2012 ; Batista et al., 2012 ; 2006) متوسط غلظت مس در پوسته زمین 55 mg/kg می‌باشد (2011 , Kabata-Pendias). میانگین غلظت مس در خاک منطقه (بجز خاک نزدیک معدن متروکه) ۷۱/۴۳ ppm می‌باشد که ۱/۸ و ۱/۳ برابر بیشتر از غلظت میانگین آن در خاک جهانی و پوسته زمین است به دلیل وجود سنگ‌های زمینه با غلظت مس بالا مانند میانگین آن در خاک جهانی و در پوسته زمین است. افزایش چشمگیر غلظت مس در خاک منطقه نسبت به بازالت (۲۰۱ ppm) و تراکی بازالت (۱۳۱ ppm) در منطقه (جدول ۵-۳) قابل مشاهده می‌باشد. مس در پوسته زمین بیشتر در سنگهای حدواسط و بازی تمرکز دارد. با توجه به اینکه اکثر سنگهای منطقه در رده حدواسط و بازیک می‌باشد و از سوی دیگر فعالیت بشرزاد بجز چرای اندک دام‌ها در منطقه دیده نمی‌شود، بنابراین این فلز در خاک منطقه منشأ زمین زاد داشته و از رگه‌های معدنی حاوی سولفیدهای مس و محصولات دگرسانی آنها نظیر مالاکیت و آزوریت نشأت گرفته‌است. غلظت مس با کادمیم و نقره همبستگی مثبت بالا نشان می‌دهد. غلظت عناصر مذکور در خاک اطراف منطقه معدن متروکه نسبت به غلظت این عناصر در سایر نمونه‌های خاک افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد.

	pH	EC	CEC	OM	CaCO ₃	Clay	Silt	Sand	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	V
pH	1																	
EC	-0.19	1																
CEC	-0.07	-0.12	1															
OM	-0.28	0.09	0.46	1														
CaCO ₃	0.19	0.34	0.57	0.44	1													
Clay	0.13	-0.23	0.88	0.07	0.43	1												
Silt	-0.10	0.17	0.51	0.12	0.41	0.50	1											
Sand	0.005	0.07	-0.86	-0.05	-0.42	-0.84	-0.80	1										
Ag	0.03	0.45	0.08	-0.14	0.09	0.96	0.26	-0.16	1									
As	0.26	0.11	-0.67	-0.08	-0.29	0.54	-0.15	0.51	0.23	1								
Cd	-0.07	-0.65	0.17	0.05	0.26	0.17	0.17	-0.17	0.84	-0.01	1							
Cr	-0.22	-0.51	-0.38	-0.03	-0.28	0.36	0.22	-0.07	-0.18	-0.08	-0.43	1						
Cu	-0.03	0.48	0.18	-0.002	0.17	0.19	0.18	-0.14	0.89	0.09	0.93	-0.25	1					
Mn	-0.14	0.37	0.41	0.24	0.31	0.43	0.36	-0.46	0.39	-0.18	0.58	-0.29	0.45	1				
Ni	-0.11	-0.20	0.36	0.51	0.31	0.35	0.30	-0.37	-0.49	0.50	-0.33	0.27	-0.37	0.23	1			
Pb	-0.09	0.49	0.50	0.16	0.43	0.50	0.27	-0.48	0.42	-0.47	0.75	-0.47	0.57	0.78	0.15	1		
Zn	-0.11	0.49	0.44	0.19	0.40	0.46	0.13	-0.35	0.31	-0.39	0.66	-0.60	0.48	0.82	0.10	0.90	1	
V	-0.07	0.12	-0.37	-0.47	-0.60	0.35	-0.26	0.36	0.27	0.56	0.11	-0.02	0.15	-0.03	-0.76	0.21	-0.12	1

همبستگی مثبت معنی دار

همبستگی منفی معنی دار

۵-۲-۵- نقره

میانگین غلظت نقره در خاک جهانی ppm ۰/۱۳ می باشد (Kabata-Pendias, 2011). شکل ۵-۹ پراکندگی غلظت نقره را در نمونه های خاک منطقه نشان می دهد. بیشترین غلظت نقره در خاک محل کانسار و کنده کاری های قدیمی معدن متروکه (۱/۹ ppm) مشاهده می شود که بیش از ۱۴/۶۱ برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی می باشد و با افزایش فاصله از کانسار غلظت آن کاهش می یابد. غلظت متوسط نقره در خاک منطقه (به استثنای خاک منطقه معدنکاری متروکه یعنی ppm ۰/۳۳ (6C) می باشد که بیش از ۲/۵۳ برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی می باشد. نقره به عنوان فلز همراه کانه های مس شناخته شده است (Alloway, 1995) و به همین دلیل در اطراف کانسار غلظت آن افزایش می یابد. غلظت متوسط نقره در خاک منطقه (۰/۳۳ ppm) تقریباً نزدیک به میانگین غلظت آن در نمونه های سنگ منطقه شامل بازالت ها (۰/۳۹ ppm) و تراکی بازالت ها (۰/۳۹ ppm) (جدول ۵-۳)، می باشد که نشان می دهد نقره از سنگ مادر منشأ گرفته و با توجه به شرایط قلیایی حاکم بر خاک منطقه در خاک مجتمع شده است.

ویژگی های ژئوشیمیایی نقره مشابه مس می باشد با این تفاوت که غلظت آن در پوسته زمین (۰/۰۶ ppm) تقریباً هزار برابر کمتر از مس است (Kabata-Pendias, 2001). غلظت های کمی از نقره اغلب بصورت ناخالصی در کانی های سولفیدی چون اسفالریت (ZnS)، پیریت (FeS₂)، کالکوپیریت (CuFeS₂) و گالن (PbS) حضور دارد و همچنین نقره در بسیاری از کانی های مس جایگزین مس می شود (Selenius et al., 2005). غلظت نقره در منطقه با غلظت کادمیم و مس همبستگی مثبت بالا نشان داده است و غلظت این عناصر در خاک اطراف کانسار افزایش یافته است. نقره در خاک در شرایط pH > 4 بصورت غیرمتحرک است (Kabata-Pendias, 2011) و اغلب بصورت محصول فرعی در اکتشاف کانه های مس و روی مورد بهره برداری قرار می گیرد. افزایش غلظت نقره در خاک دیگر

مناطق کانه‌زایی مس که توسط محققین دیگر مورد بررسی قرار گرفته‌است نیز مشاهده و گزارش شده‌است (Kabata-Pendias and Mukherjee., 2007).

۵-۳-۵- آرسنیک

غلظت میانگین آرسنیک در خاک جهانی ppm ۶/۸۳ می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011). شکل ۵-۱۰ پهنه‌بندی غلظت آرسنیک را در خاک منطقه نشان می‌دهد. از آنجا که آرسنیک شبه فلز همراه کانه‌های مس می‌باشد (Alloway, 1995 ; Batista et al., 2012)، با الگوی نسبتاً مشخصی با نزدیک شدن به کانسار بر غلظت آن در خاک افزوده می‌شود به طوری که بیشترین میزان غلظت آرسنیک را در خاک منطقه (۸/۹ ppm) در محل کانسار و کنده‌کاری‌های معدن متروکه مشاهده می‌کنیم که ۱/۳ برابر بیش از غلظت میانگین آن در خاک جهانی می‌باشد. متوسط غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک منطقه ppm ۵/۳ است که نسبت به متوسط غلظت آن در خاک جهانی (۶/۸۳ ppm) کمتر می‌باشد که این امر با توجه به بافت خاک منطقه (خاک‌های ماسه‌ای) قابل توجیه می‌باشد. شایان ذکر می‌باشد که این نتیجه با نتایج تحقیقات دیگر محققین (Kabata-Pendias and Sadurski, 2004) نیز مورد تأیید قرار می‌گیرد. از آنجا که غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک منطقه (۵/۳ ppm) بیش از غلظت میانگین نمونه‌های سنگ منطقه شامل بازالتها (۳/۰۲ ppm) و تراکی‌بازالتها (۲/۴۶ ppm) می‌باشد (جدول ۵-۳)، می‌توان نتیجه گرفت که آرسنیک در اثر فرسایش و هوازدگی از سنگ مادر شسته شده و در خاک تجمع یافته است. از آنجایی که آرسنیک با گوگرد رفتار ژئوشیمیایی نزدیک به هم می‌باشد، می‌تواند همراه ترکیبات گوگردی حضور داشته باشد و همانطور که شواهد صحرایی نشان می‌دهد ترکیبات گوگردی مس و آهن بصورت پیریت، کالکوپیریت، کولیت و بورنیت (توسلی و لطفی، ۱۳۸۶) یافت می‌شود.

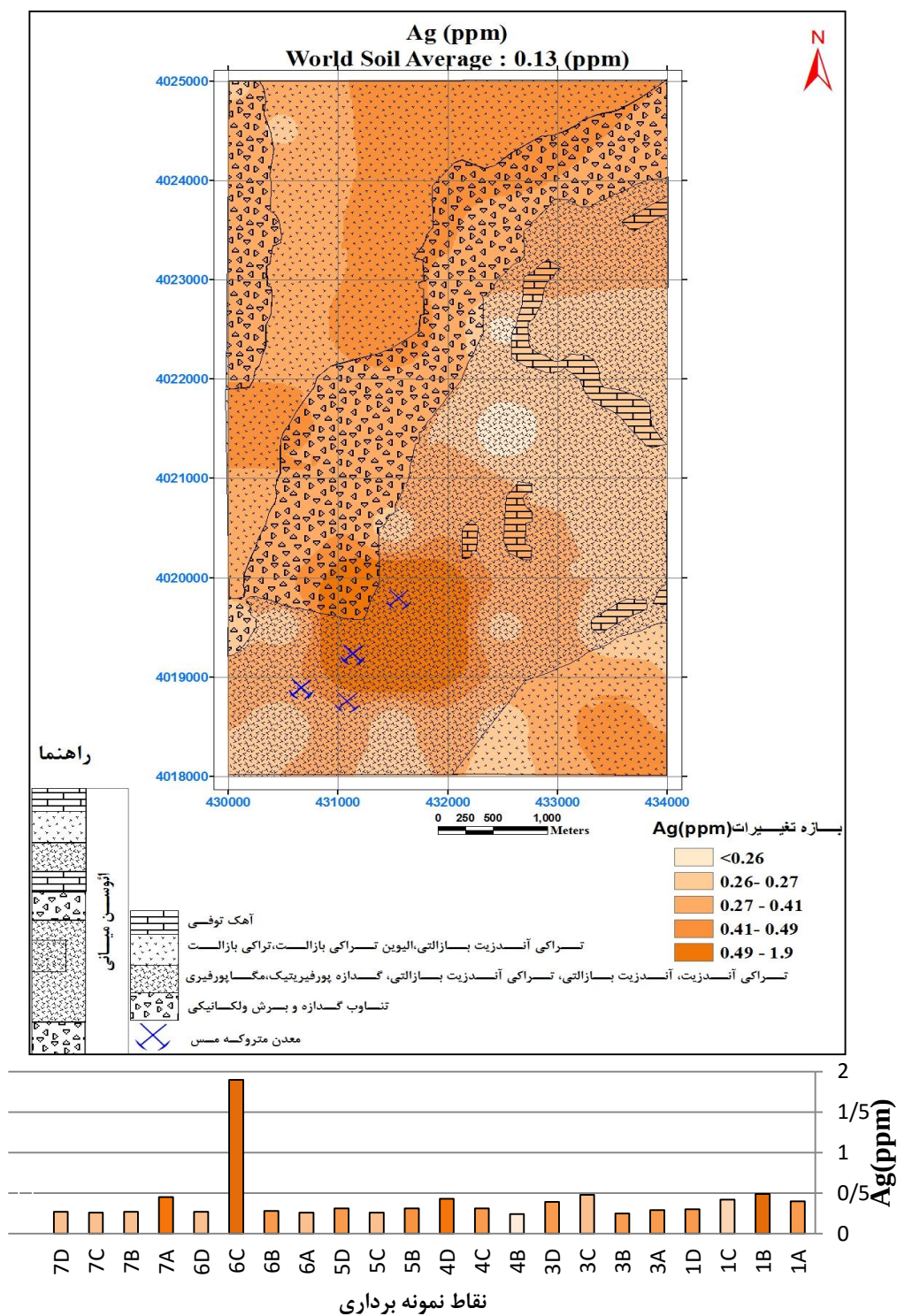
۵-۴-۵- کادمیم

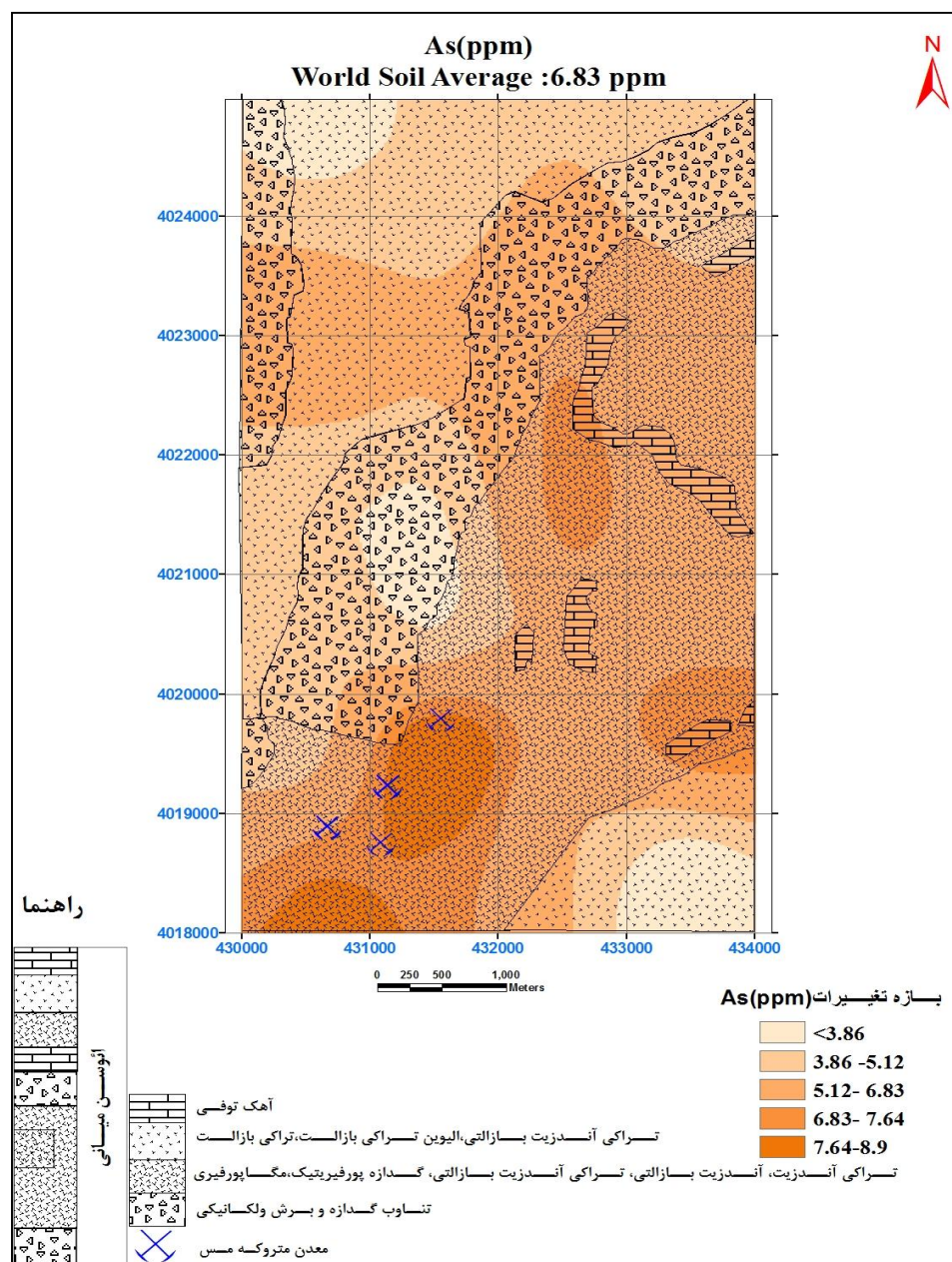
غلظت میانگین کادمیم در خاک جهانی 0.41 ppm می باشد (Kabata-Pendias., 2011). شکل ۵-۱۱ پهنه بندی غلظت کادمیم را در خاک منطقه نشان می دهد. از آنجا که کادمیم فلز همراه کانه های مس می باشد (Alloway, 1995 ; Qin et al, 2012 ; Vega et al, 2004)، غلظت کادمیم در خاک اطراف معدن متروکه افزایش می یابد به طوری که بیشترین غلظت کادمیم (1 ppm) در خاک محل کانسار و کنده های قدیمی کانسار مشاهده می شود که بیش از 2.43 ppm برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی می باشد با توجه به جایگاه کادمیم در جدول تناوبی عناصر و نزدیکی آن به جایگاه مس، این عنصر می تواند جایگزین مس در ترکیبات مس باشد. لازم به ذکر می باشد که غلظت آن در خاک منطقه (0.26 ppm)، (بجز نمونه خاک منطقه معدنکاری قدیمی یعنی 6C)، مشابه غلظت آن در میانگین نمونه های سنگ منطقه شامل بازالت ها (0.26 ppm) و تراکی بازالت ها (0.24 ppm) می باشد (جدول ۵-۳). غلظت کادمیم در خاک منطقه با غلظت مس، سرب و نقره همبستگی مثبت بالا نشان می دهند که همگی الگوی توزیع تقریباً یکسانی دارند. مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تحرک یون کادمیم pH و پتانسیل اکسیداسیون است در $\text{pH} > 7.5$ کادمیم جذب شده. در خاک براحتی نمی تواند تحرک داشته باشد (Isenbeck et al., 1987 ; Christensen, 1984 ; Kabata-Pendias., 2001);

(Fic, 1987) و از آنجا که خاک منطقه قلیایی و آهکی می باشد، برآورد می گردد که قابلیت تحرک کادمیم در منطقه زیاد نمی باشد. با توجه به اینکه مس و کادمیم هر دو جزء عناصر کالکوفیل می باشند (میسون و مر، ۱۳۸۶) و رفتار ژئوشیمیایی مشابه دارند، کادمیم می تواند جایگزین مس در ترکیبات مس دار شود و با نزدیک شدن به کانسار و محل کانه زایی به مقدار کادمیم خاک افزوده می شود.

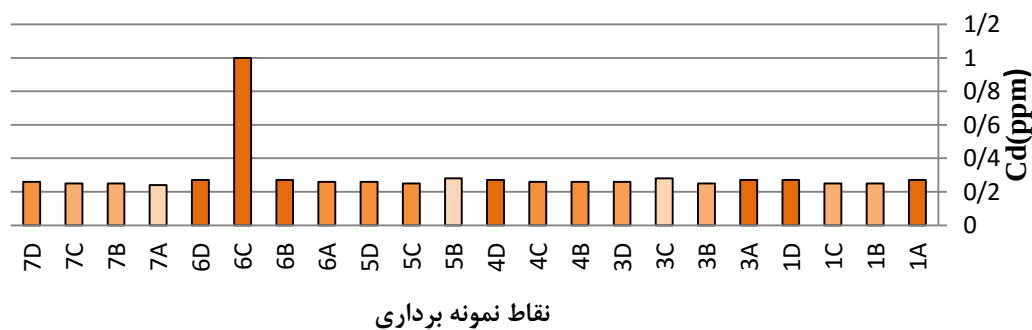
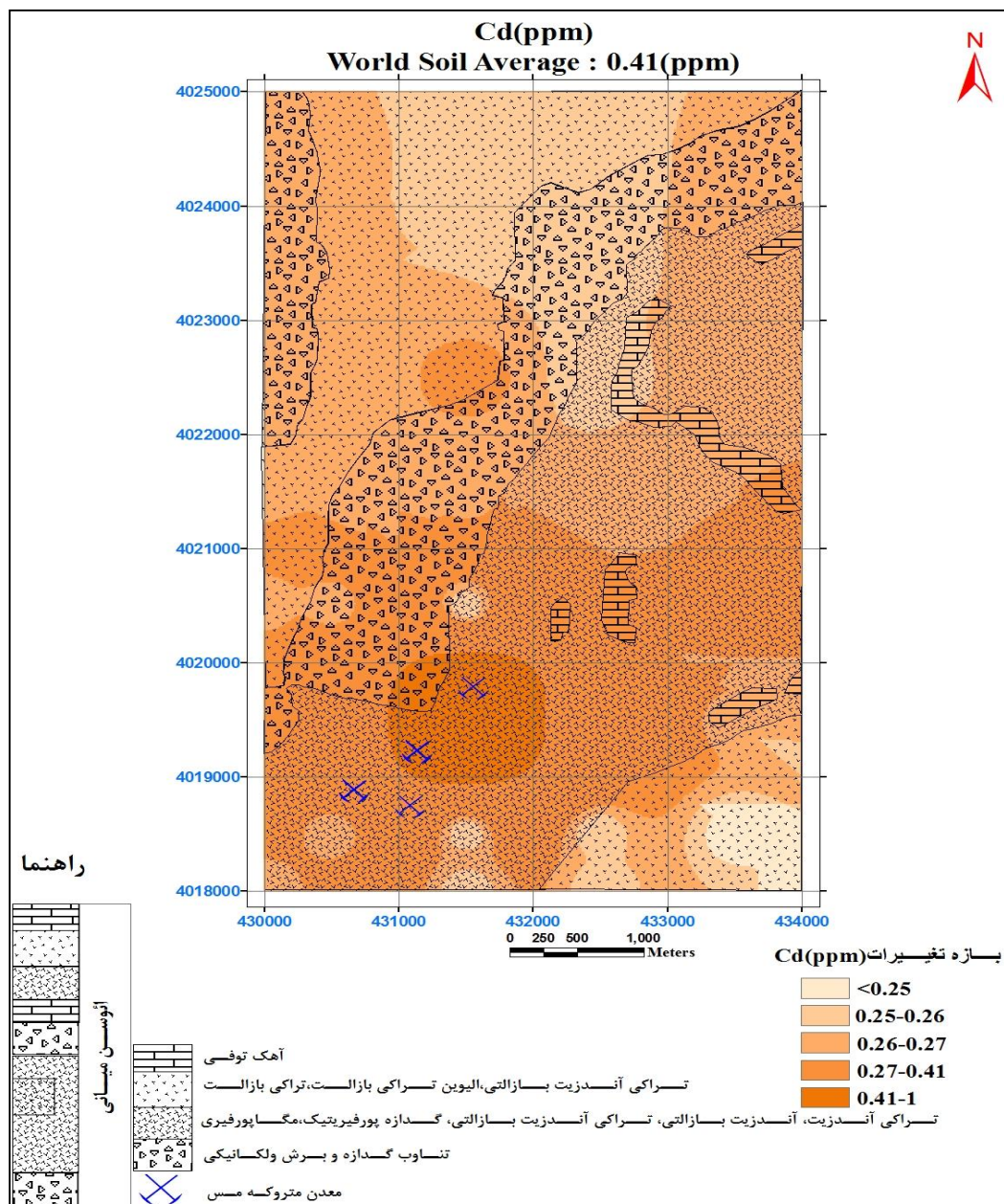
۵-۵-۵- کروم

غلظت کروم در میانگین خاک جهانی 60 ppm می باشد (Kabata-Pendias , 2011). شکل ۵-۱۲





شکل ۵-۱۰ پهنه‌بندی غلظت آرسنیک در خاک منطقه



شکل ۵-۱۱ پهنه‌بندی غلظت کادمیم در خاک منطقه

پهنه‌بندی غلظت کروم در نمونه‌های خاک منطقه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که نتایج بررسی‌ها (Alloway, 1995) نشان می‌دهد، کروم فلز همراه کانه‌های مس نمی‌باشد، که این مطلب تأییدی است

بر صحت نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، بطوریکه غلظت کروم در خاک منطقه متأثر از کانسار

نبوده است و روند توزیع و تغییر غلظت آن از روند توزیع و تغییر غلظت مس در خاک منطقه تبعیت نمی‌کند. توزیع کروم در سنگ‌ها نشان می‌دهد که بیشتر تمایل دارد در سنگ‌های آذرین تیره شامل بازالت‌ها و تراکی‌بازالت‌ها متمرکز شود (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2000). غلظت میانگین

کروم در خاک منطقه ($131/71 \text{ ppm}$) تقریباً مشابه میانگین غلظت آن در نمونه‌های سنگ منطقه شامل بازالت‌ها (92 ppm) و تراکی‌بازالت‌ها (130 ppm) است (جدول ۵-۳). پیروکسن غنی از کروم است (میسون و مر، ۱۳۸۶) که همچنین این کانی جزء فراوانترین کانیهای موجود در سنگهای منطقه می‌باشد (شکل ۲-۵). الیوین و پیروکسن هر دو به علت داشتن آهن و منگنز می‌توانند حاوی مقادیری کروم باشند. چون کروم دارای رفتار ژئوشیمیایی بسیار نزدیک به این عناصر می‌باشد.

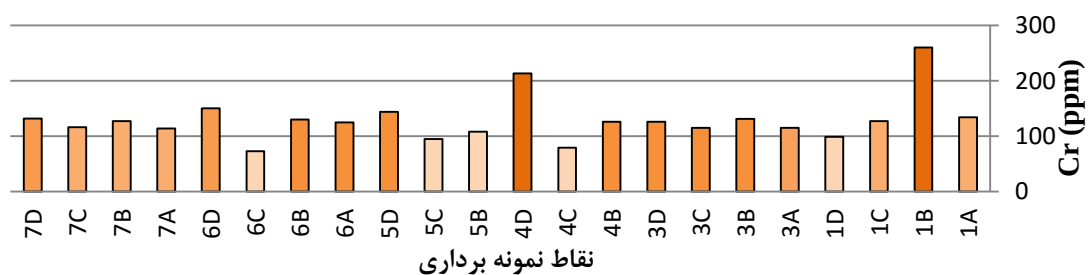
۵-۵-۶- منگنز

غلظت میانگین منگنز در خاک جهانی 488 ppm می‌باشد. شکل ۵-۱۳ پهنه‌بندی غلظت منگنز را در خاک منطقه نشان می‌دهد. بیشترین غلظت منگنز (1023 ppm) در خاک محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی مشاهده می‌شود که بیش از $2/1$ برابر میانگین غلظت آن در خاک جهانی است. مقدار منگنز در اطراف منطقه کانه‌زایی بیشتر متأثر از عملکرد سیالات گرمایی است که باعث شده آهن و منگنز را از ترکیبات کانی‌هایی نظیر الیوین، پیروکسن و مگنتیت خارج کند و همراه با سیالات به درون سنگ‌های اطراف منتشر سازد یا در درزه‌ها و شکستگی‌ها متمرکز کند. میان لایه‌های توف سیلت‌استونی قرمز رنگ نیز در افزایش و تمرکز مقادیر آهن و منگنز می‌توانند نقش بسزایی داشته باشند. معدن متروکه (1023 ppm) بالاتر از میانگین غلظت منگنز در کل خاک منطقه (844 ppm)

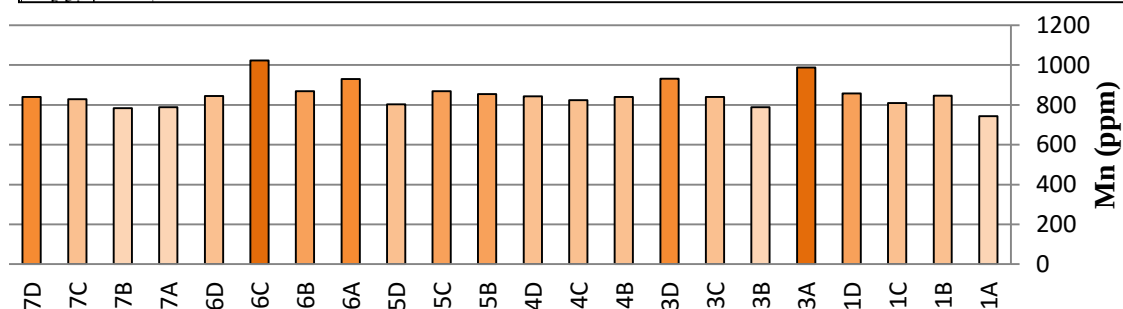
می‌باشد. روند تغییر و توزیع غلظت منگنز در خاک منطقه، با روند تغییر و توزیع غلظت سرب و روی تشابه دارد که همبستگی مثبت بالای غلظت منگنز با سرب و روی را توجیه می‌کند. منگنز در کانیهای فرومنیزین (الیوین و پیروکسن) وارد می‌شود (میسون و مر، ۱۳۸۶) و از آنجا که این کانی‌ها از جمله فراوانترین کانیهای موجود در سنگ‌های منطقه می‌باشد، بنابراین میانگین بالای غلظت منگنز در خاک منطقه (۸۴۴ ppm) که بیش از ۱/۷۲ برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی است، خارج از انتظار نمی‌باشد. نزدیکی میانگین غلظت منگنز در خاک منطقه (۸۴۴ ppm) با غلظت منگنز در بازالت‌ها (۹۷۰ ppm) در منطقه تأییدی مجدد بر این امر می‌باشد. غلظت منگنز در خاک اطراف کانسار افزایش می‌یابد که نتایج تحقیق مشابه (Qin et al., 2012) نیز صحت این مطلب را تأیید می‌کند. بیشترین غلظت منگنز در خاکهای آهکی دیده می‌شود (Kabata-Pendias, 2011) و بالا بودن غلظت متوسط منگنز در خاک منطقه که جزء خاک‌های آهکی می‌باشد با این امر تطابق دارد.

۵-۷-۵- نیکل

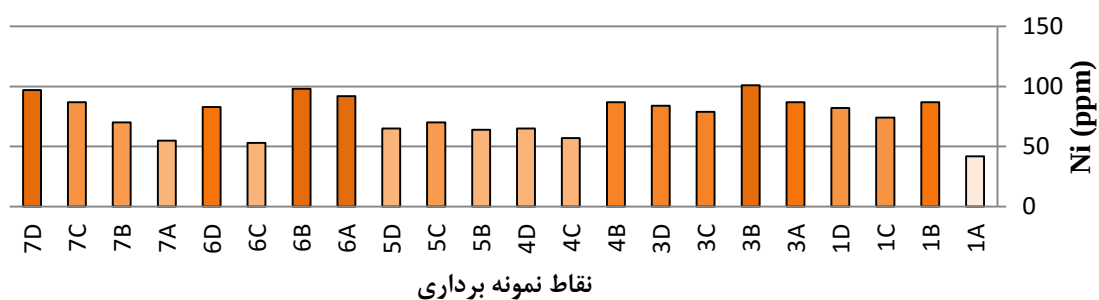
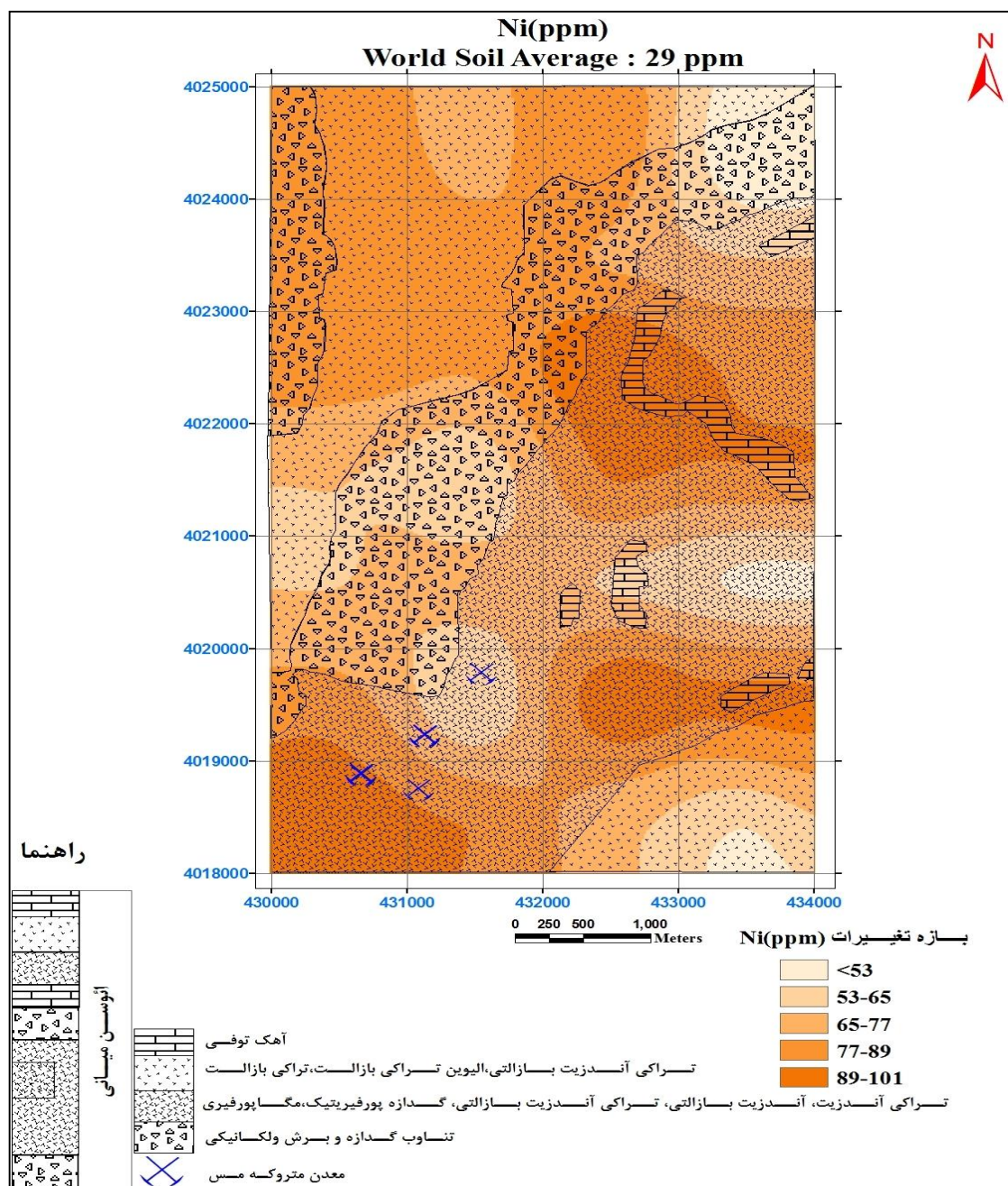
غلظت میانگین نیکل در خاک جهانی ۲۹ ppm می‌باشد. فراوانی متوسط نیکل در پوسته زمین تقریباً ۲۰ ppm می‌باشد. شکل ۵-۱۴ پهنه‌بندی غلظت نیکل را در خاک منطقه نشان می‌دهد. غلظت نیکل در خاک منطقه متأثر از کانسار نبوده است. غلظت متوسط آن در خاک منطقه (۷۷/۴ ppm) از غلظت عنصر در نمونه‌های سنگ منطقه شامل بازالت‌ها (۲۳ ppm) و تراکی‌بازالت‌ها (۲۲/۷ ppm) و همچنین از غلظت میانگین آن در خاک جهانی (۲۹ ppm) بیشتر است (جدول ۵-۳)، نیکل در کانی الیوین حضور و تجمع دارد (میسون و مر، ۱۳۸۶). منشأ اصلی حضور نیکل وجود کانی‌های مافیک نظیر الیوین و پیروکسن در سنگ‌های بازالتی و تراکی‌بازالتی در منطقه می‌باشد. الیوین یکی از فراوانترین کانی‌های سنگ‌های منطقه می‌باشد (شکل ۵) و می‌توان گفت که این عنصر از سنگ مادر منشأ گرفته و با توجه به انحلال‌پذیری و تحرک پذیری کم نیکل (Norrish, 1975) و شرایط قلیایی خاک، در



شکل ۵-۱۲ پهنه‌بندی غلظت کروم در خاک منطقه



شکل ۵-۱۳ پهنه‌بندی غلظت منگنز در خاک منطقه



شکل ۵-۱۴ پهنه‌بندی غلظت نیکل در خاک منطقه

خاک منطقه مجتمع شده است. این امر که قابلیت انحلال نیکل در $pH > 6.5$ در خاک بسیار کاهش یافته و نیکل در خاک به ندرت متحرک بوده و بیشتر در بخش باقیمانده می باشد (Siebielec and Chaney, 2006)، تأییدی مجدد بر تجمع نیکل در خاک و افزایش غلظت آن نسبت به سنگ های منطقه است. بیشترین غلظت نیکل در خاک منطقه (101 ppm) مشاهده شده است که بیش از $3/5$ برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی می باشد. عدم تطابق مس با نیکل می تواند بیانگر آن باشد که در کانی های مس دار نیکل جایگزین مس نشده است

۵-۵-۸- سرب

غلظت میانگین سرب در خاک جهانی 27 ppm می باشد (Kabata-Pendias, 2011). شکل ۵-۱۵ پهنه بندی غلظت سرب را در خاک منطقه نشان می دهد. بیشترین غلظت سرب (34 ppm) در خاک منطقه مربوط به خاک محل کانسار و کنده کاری های قدیمی معدن متروکه می باشد که بیش از $1/25$ برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی می باشد. غلظت میانگین سرب در پوسته زمین تقریباً 15 mg/kg می باشد. از آنجا که سرب فلز همراه کانه های مس می باشد (Chopin, 2003 ; Chopin, 2004 ; Batista et al., 2012 ; Qin et al., 2012 ; Vega et al., 2004 ; Wilson and Pyatt, 2007)، غلظت این عنصر در خاک اطراف کانسار و معدن متروکه افزایش نشان می دهد و با فاصله گرفتن از کانسار غلظت آن کاهش می یابد. متوسط غلظت سرب در خاک منطقه $22/43 \text{ ppm}$ می باشد که کمتر از غلظت میانگین آن در خاک جهانی می باشد. سرب عنصری کالکوفیل می باشد که حضور آن در محیط زیست بیشتر بصورت Pb^{+2} می باشد. در طی فرایند هوازدگی سولفید سرب به آرامی اکسید شده و می تواند تشکیل کربنات دهد و همچنین سرب می تواند با کانی های رسی و هیدروکسیدها و مواد آلی تثبیت شود. در pH بالای ۶ سرب توسط فرایند تبادل کاتیونی در سطوح فلدسپار جذب می شود (Kabata-Pendias, 2011)، که یکی از فراوانترین های کانی های موجود در سنگ های منطقه (شکل ۲-۶ و ۲-۷) است. غلظت سرب در خاک منطقه با منگنز، روی و کادمیم

همبستگی مثبت بالا نشان می‌دهد. مقایسه غلظت میانگین سرب در خاک منطقه با غلظت این عنصر در سنگ‌های منطقه شامل بازالت (۱۶ ppm) و تراکی بازالت (۱۷/۶۷ ppm) نشان از تمرکز و تجمع بیشتر سرب در خاک نسبت به سنگ دارد. اگرچه کانی‌زایی سرب بصورت قابل مشاهده در نمونه دستی یا میکروسکوپی (مینرالوگرافی (کانه‌نگاری)) مشاهده نشده‌است ولی با توجه به حضور ترکیبات سولفیدی مس‌دار در منطقه حضور سرب در منطقه کانه‌زایی امری دور از انتظار نیست.

۵-۵-۹- روی

غلظت متوسط روی در پوسته زمین و نیز در میانگین خاک جهانی ۷۰ ppm برآورد شده است. , (Kabata-Pendias 2011). شکل ۵-۱۶ پهنه‌بندی غلظت روی را در خاک منطقه نشان می‌دهد. روی فلز همراه کانه‌های مس می‌باشد (Wilson and Pyatt., 2004 ; Vega et al., 2004 ; Alloway., 1995; Chopin., 2003; Chopin., 2004; Qin et al., 2012 ; Batista et al., 2012). به همین دلیل بیشترین غلظت روی در خاک منطقه در محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی معدن متروکه مشاهده می‌شود (۹۶ ppm) که بیش از ۱/۳۷ برابر غلظت میانگین آن در خاک جهانی می‌باشد. روی با سرب (۰/۹۰) و با منگنز (۰/۸۲) در خاک منطقه همبستگی نشان می‌دهد که نشان از نزدیکی رفتار ژئوشیمیایی آنها دارد. همچنین روند تغییر و توزیع غلظت این عناصر در خاک منطقه تقریباً مشابه می‌باشد. غلظت متوسط روی در خاک منطقه ۷۱/۵۲ ppm می‌باشد که نزدیک به غلظت میانگین آن در خاک جهانی (۷۰ ppm) می‌باشد. در طی فرایند هوازدگی روی موجود در خاک قابلیت تحرک بالایی را دارد (Kabata-Pendias , 2011) که این امر می‌تواند دلیل یکسان بودن غلظت متوسط روی در پوسته زمین و خاک جهانی باشد. شایان ذکر می‌باشد که این هماهنگی و تشابه بین غلظت میانگین خاک در منطقه (۷۱/۵۲ ppm) و غلظت روی در سنگ‌های منطقه شامل بازالت‌ها (۶۷/۲ ppm) و تراکی بازالت‌ها (۸۴ ppm) نیز مشاهده می‌گردد.

۵-۵-۱۰- واندیم

غلظت میانگین واندیوم در خاک جهانی ppm ۱۲۹ می باشد (Kabata-Pendias, 2011). شکل ۵-۱۷ پهنه‌بندی غلظت واندیم را در خاک منطقه نشان می‌دهد. الگوی توزیع واندیم در خاک منطقه از روند خاصی تبعیت نمی‌کند و غلظت آن در خاک متأثر از کانسار نمی‌باشد. غلظت متوسط واندیم در خاک منطقه ppm ۲۱۵/۷ می‌باشد که ۱/۶۷ برابر بیش از غلظت میانگین آن در خاک جهانی است که زیاد بودن غلظت واندیم در سنگ‌های منطقه را معلوم می‌سازد. غلظت میانگین واندیم در خاک منطقه (۲۱۵/۷ ppm) نزدیک به غلظت واندیم بازالت‌های منطقه (۳۵۲/۴ ppm) می‌باشد. این نشان می‌دهد که کانی‌های مافیک و تیره موجود در بازالت‌ها مهمترین منبع تأمین کننده واندیم موجود در خاک و سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد.

۵-۶- ارزیابی کیفیت و شدت آلودگی خاک با استفاده از شاخص های ژئوشیمیایی

۵-۶-۱- فاکتور غنی شدگی

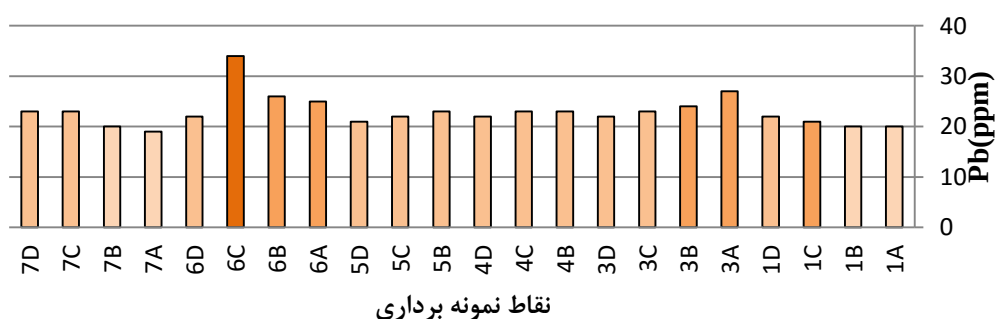
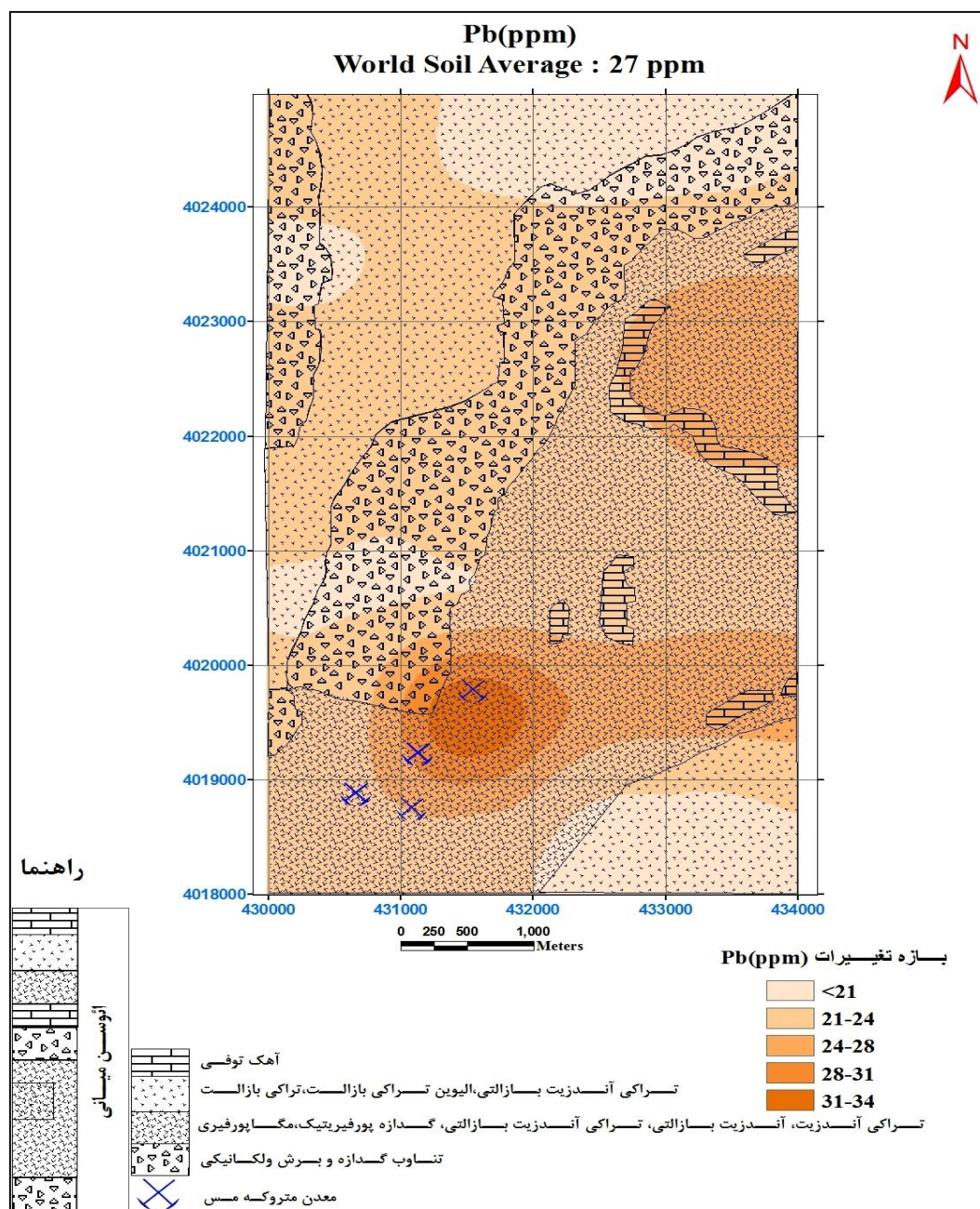
فاکتور غنی شدگی یا Enrichment Factor (EF) با استفاده از رابطه ۵-۲ محاسبه گردید

(Loska et al. 1995).

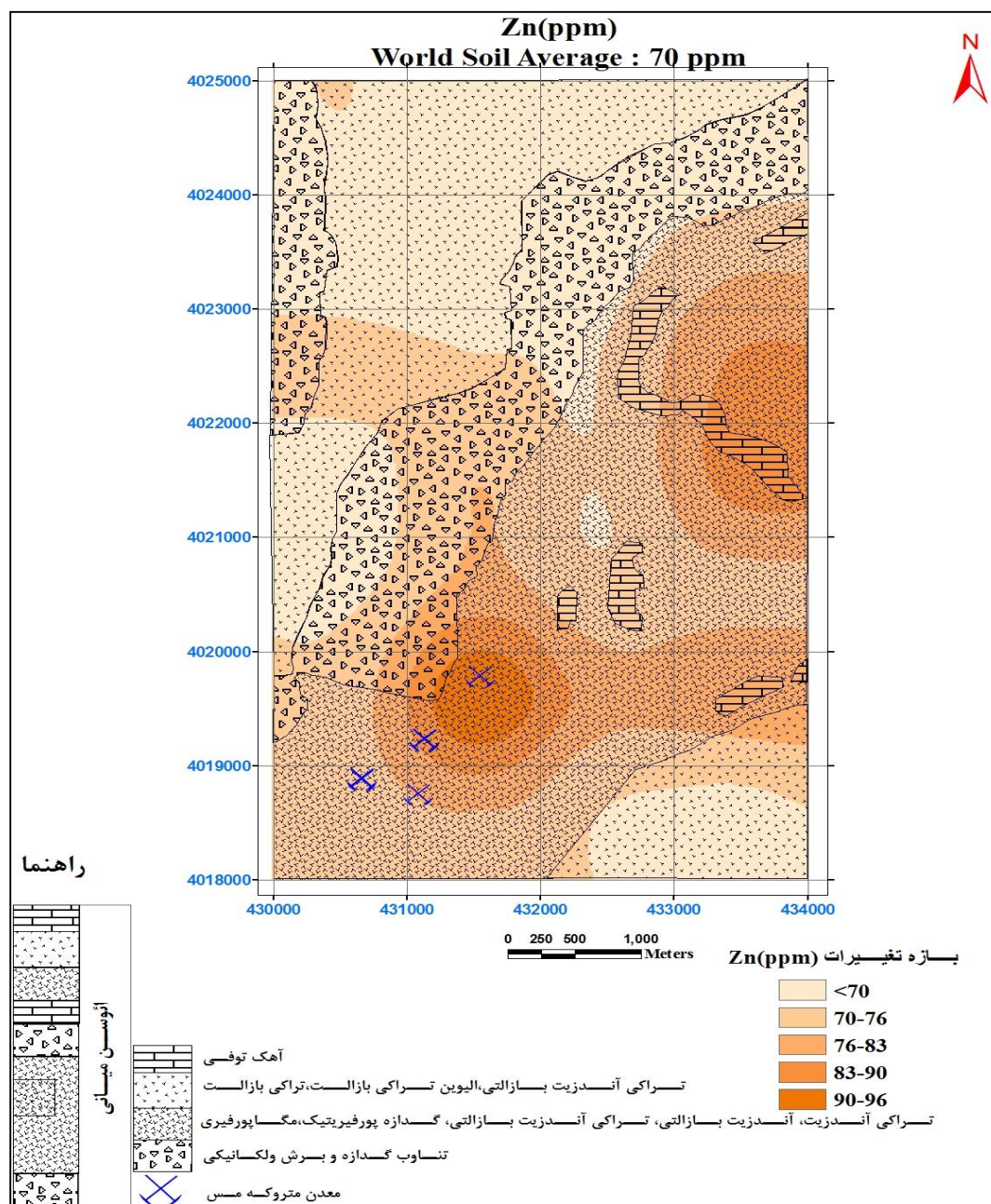
$$EF = [C_{1Me}^{+n} / C_{1n}] / [C_{2Me}^{+n} / C_{2n}] \quad \text{رابطه ۵-۲}$$

در این رابطه C_{1n} نشان‌دهنده غلظت عنصر مبنا در محیط مورد بررسی و C_{1Me}^{+n} نمایانگر غلظت فلز در محیط مورد بررسی، C_{2Me}^{+n} برابر غلظت همان فلز در محیط مبنا (پوسته زمین) می‌باشد و C_{2n} غلظت عنصر مبنا در محیط مبنا را نشان می‌دهد. عنصر مبنا عنصری است که تغییرات کمی در محیط دارد و متأثر از فعالیت‌های انسانزاد نیست (Loska et al., 1995). در این تحقیق عنصر مبنا آهن انتخاب شده است. جدول ۵-۶ غلظت متوسط عناصر در پوسته و شیل و جدول ۵-۷ طبقه‌بندی خاک

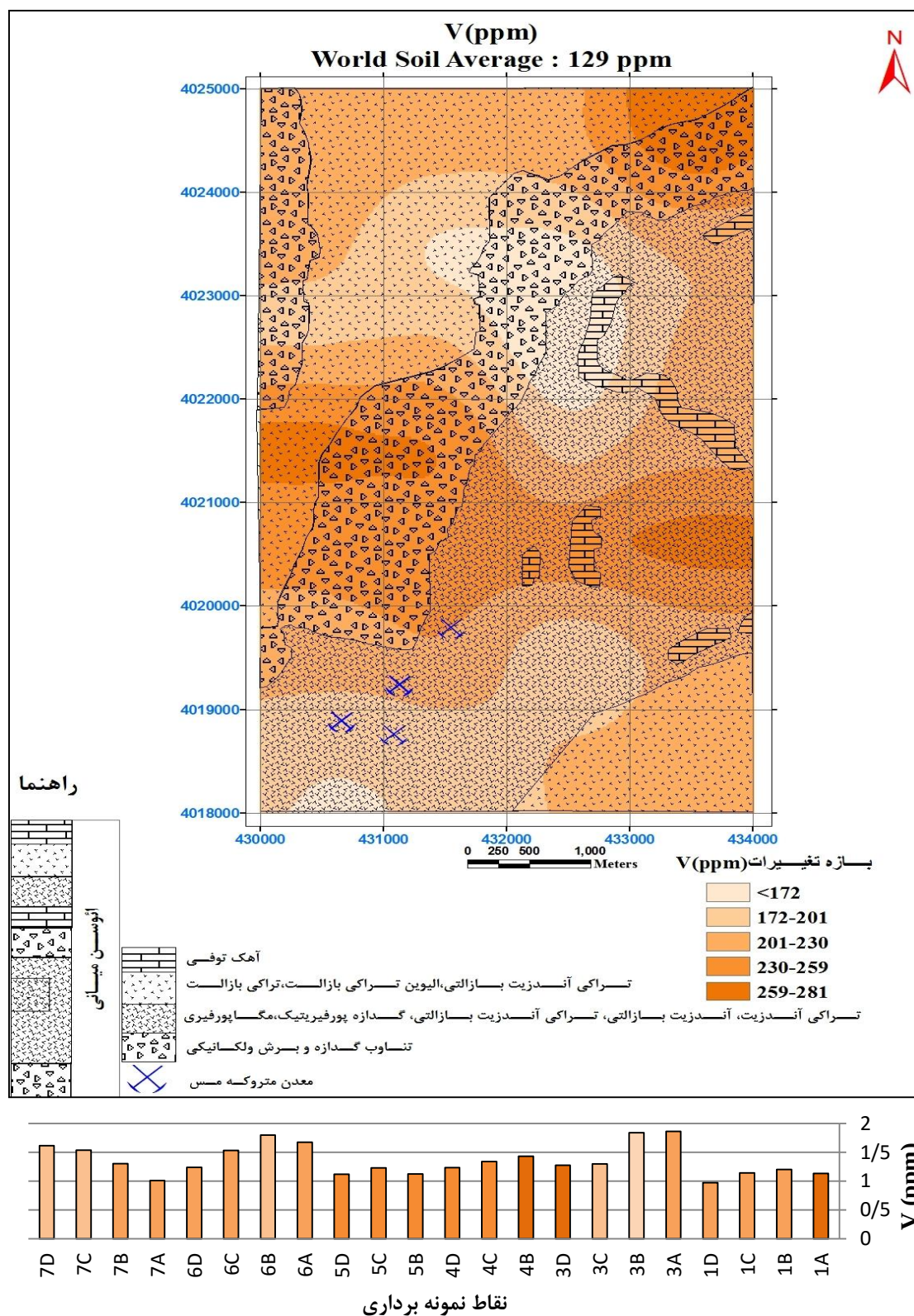
را بر اساس میزان غنی‌شدگی نشان می‌دهد. میانگین فاکتور غنی شدگی عناصر در شکل ۵-۱۸



شکل ۵-۱۵ پهنه‌بندی غلظت سرب در خاک منطقه



شکل ۵-۱۶ پهنه‌بندی غلظت روی در خاک منطقه



شکل ۵-۱۷ پهنه‌بندی غلظت وانادیم در خاک منطقه

و تغییرات فاکتورهای غنی‌شدگی در ایستگاههای مورد بررسی به تفکیک عنصر در شکل ۵-۱ آورده شده است.

جدول ۵-۶ غلظت میانگین عناصر مورد بررسی در پوسته و شیل برحسب (mg/kg) (میسون و مر، ۱۳۸۶)

عنصر	Cu	Ag	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Zn	V
پوسته	۵۵	۰/۰۷	۱/۸	۲/۰	۱۰۰	۹۵۰	۷۵	۱۳	۷۰	۱۳۵
شیل	۴۵	۰/۰۷	۱۳	۰/۳	۹۰	۸۵۰	۶۸	۲۰	۹۵	۱۳۰

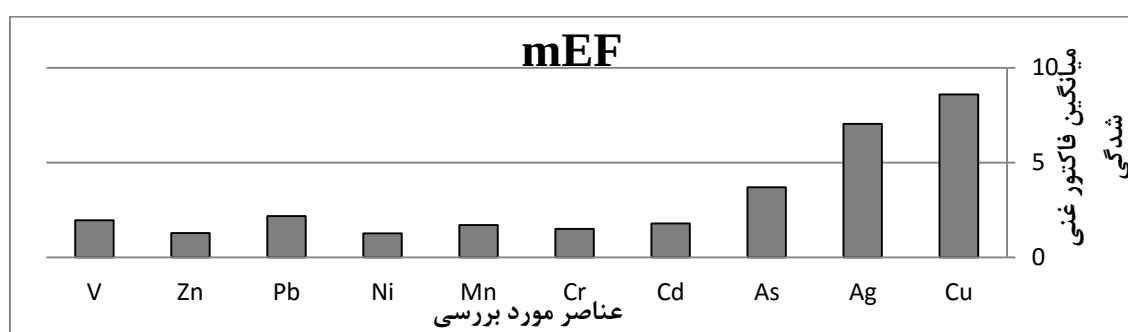
جدول ۵-۷ رده بندی مقادیر فاکتور غنی‌شدگی (Chen et al, 2007)

EF	شدت غنی‌شدگی	EF	شدت غنی‌شدگی
$EF < 1$	بدون غنی‌شدگی	$EF = 10 - 25$	غنی‌شدگی شدید
$EF = 1 - 3$	غنی‌شدگی اندک	$EF = 25 - 50$	غنی‌شدگی خیلی شدید
$EF = 3 - 5$	غنی‌شدگی متوسط	$EF > 50$	غنی‌شدگی بینهایت شدید
$EF = 5 - 10$	غنی‌شدگی نسبتاً شدید		

بررسی میانگین فاکتور غنی‌شدگی (شکل ۵-۱۸) نشان می‌دهد که بیشترین میزان غنی‌شدگی مربوط به مس و نقره (به ترتیب ۸/۶ و ۷/۰۵) می‌باشد که غنی‌شدگی نسبتاً شدید خاک منطقه را نسبت به این عناصر را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت‌های مربوط به این عناصر در خاک منطقه معدنی متروکه و کنده‌کاری‌های قدیمی کانسار مس چغندر سر می‌باشد. غنی‌شدگی خاک نسبت به دیگر عناصر در رده متوسط تا اندک قرار می‌گیرد. و بطور کلی مقادیر میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مورد بررسی به ترتیب زیر می‌باشد:

$$Cu > Ag > As > Pb > Va > Cd > Mn > Cr > Zn > Ni$$

نتایج محاسبه فاکتور غنی‌شدگی برای نمونه‌های خاک منطقه و عناصر مختلف مورد بررسی نشان می‌دهد که با توجه به بالا بودن غلظت عناصر نقره (۱/۹ ppm)، آرسنیک (۸/۹ ppm)، کادمیم (۱ ppm)، مس (۷۱۲۲ ppm)، منگنز (۱۰۲۳ ppm)، سرب (۳۴ ppm) و روی (۹۶ ppm) در خاک اطراف کانسار و معدن متروکه، بالاترین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای این عناصر هم به ترتیب ۳۲/۶۰، ۵/۹۳، ۶، ۱۵۵/۵۴، ۱/۲۹، ۳/۱۴، ۱/۶۵ در خاک اطراف معدن محاسبه گردیده‌است. نتایج بررسی فاکتور غنی‌شدگی عناصر مختلف به صورت زیر خلاصه می‌شود:



شکل ۵-۱۸ میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مختلف در خاک منطقه

Cu: کمتر از ۵٪ نمونه‌ها دارای غنی‌شدگی متوسط می‌باشند. بیش از ۹۰٪ نمونه‌ها غنی‌شدگی اندک

دارند. خاک محل معدنکاری قدیمی غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید نسبت به مس را نشان داد.

Mn: بیش از ۱۰٪ نمونه‌ها بدون غنی‌شدگی می‌باشند. بیش از ۸۰٪ نمونه‌های خاک دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند.

Ag: بیش از ۹۵٪ نمونه‌های خاک دارای غنی‌شدگی متوسط و نسبتاً شدید می‌باشد. خاک محل معدنکاری قدیمی غنی‌شدگی خیلی شدید نسبت به نقره را نشان داده‌است.

As: بیش از ۳۰٪ نمونه‌های خاک دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند. بیش از ۴۰٪ نمونه‌ها دارای غنی‌شدگی متوسط و بیش از ۲۰٪ نمونه‌ها غنی‌شدگی نسبتاً شدید را نسبت به آرسنیک نشان داده‌اند. خاک محل معدنکاری قدیمی دارای غنی‌شدگی نسبتاً شدید می‌باشد.

Cd : بیش از ۹۵٪ نمونه‌ها دارای غنی‌شدگی اندک نسبت به کادمیم می‌باشند. تنها خاک محل

معدنکاری قدیمی غنی‌شدگی نسبتاً شدید نشان داده‌است.

Cr : بیش از ۸۰٪ نمونه‌های خاک منطقه دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند و خاک محل معدنکاری

قدیمی بدون غنی‌شدگی می‌باشد.

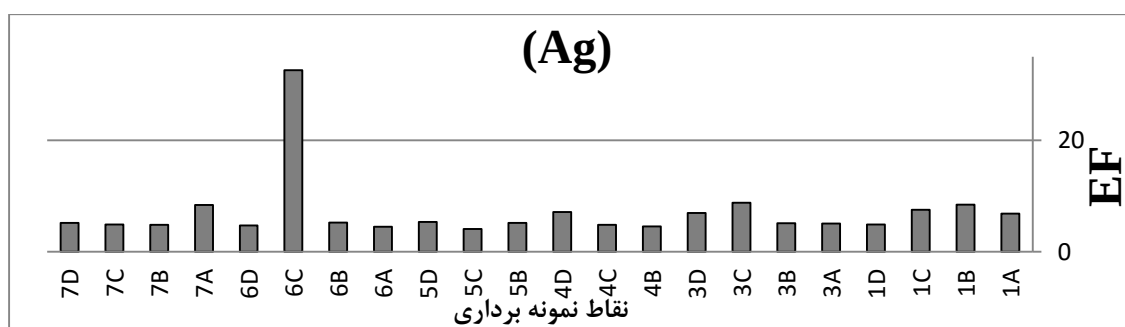
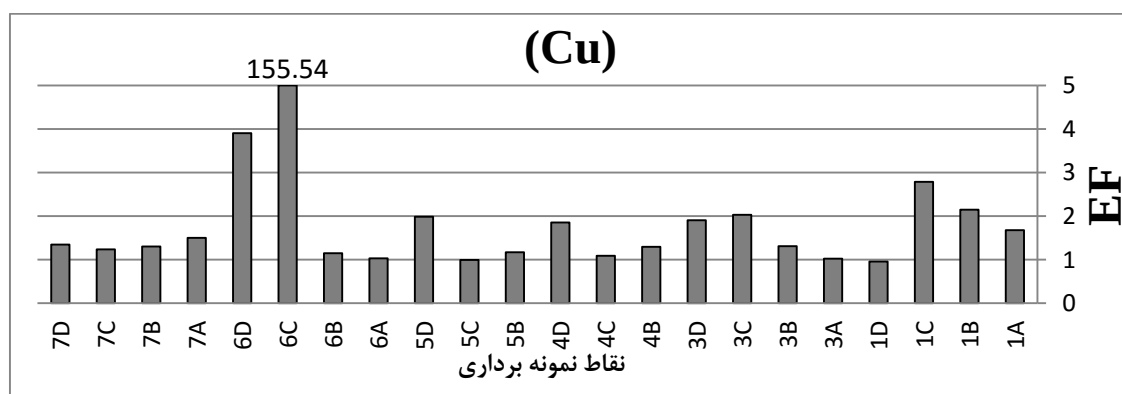
Pb : بیش از ۹۵٪ نمونه‌ها دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند. خاک محل معدنکاری متروکه دارای

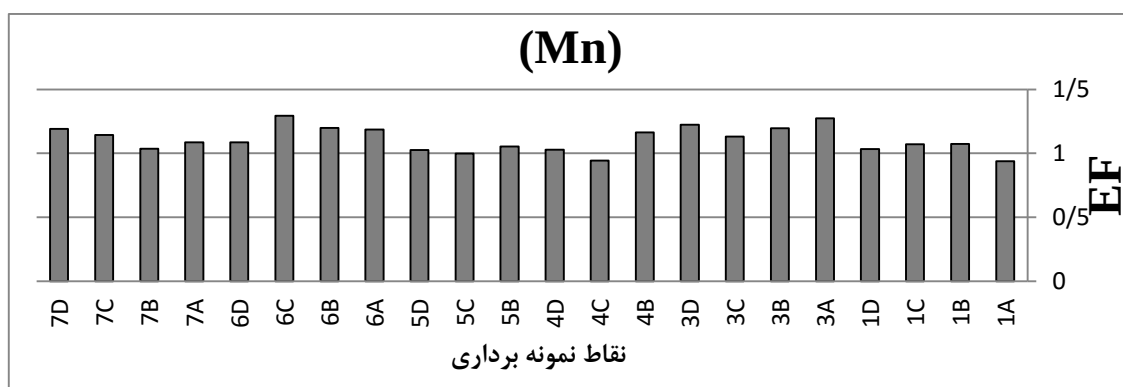
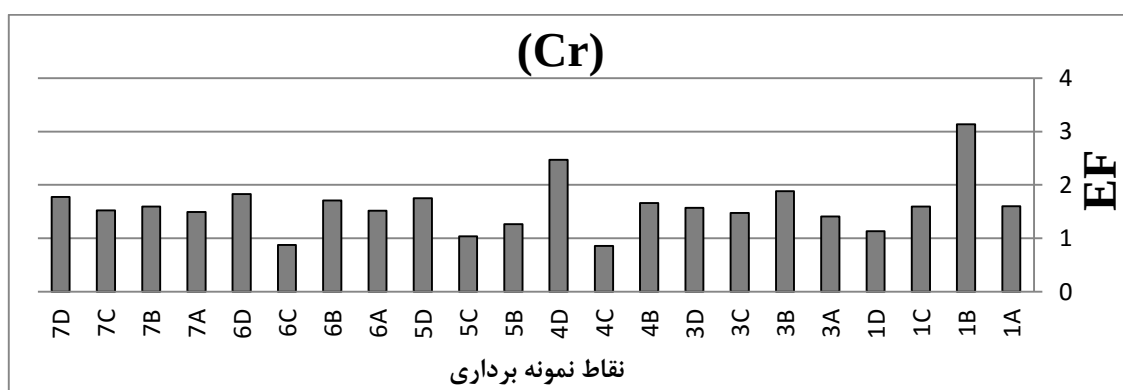
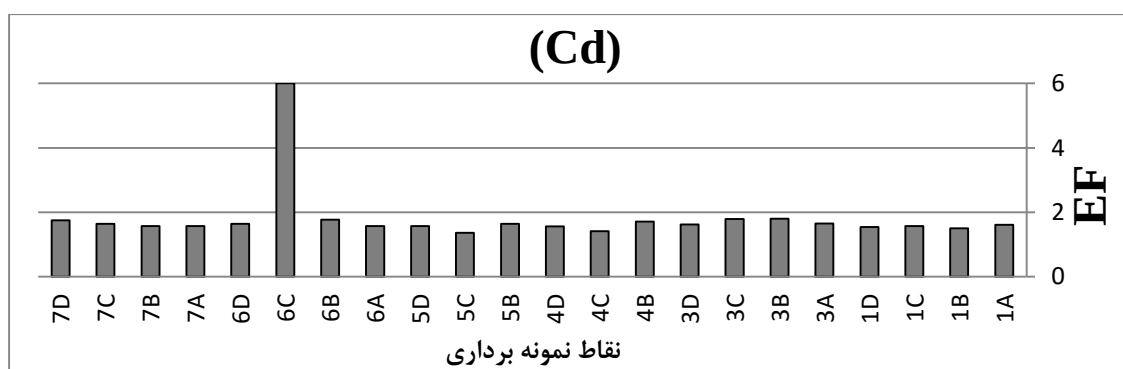
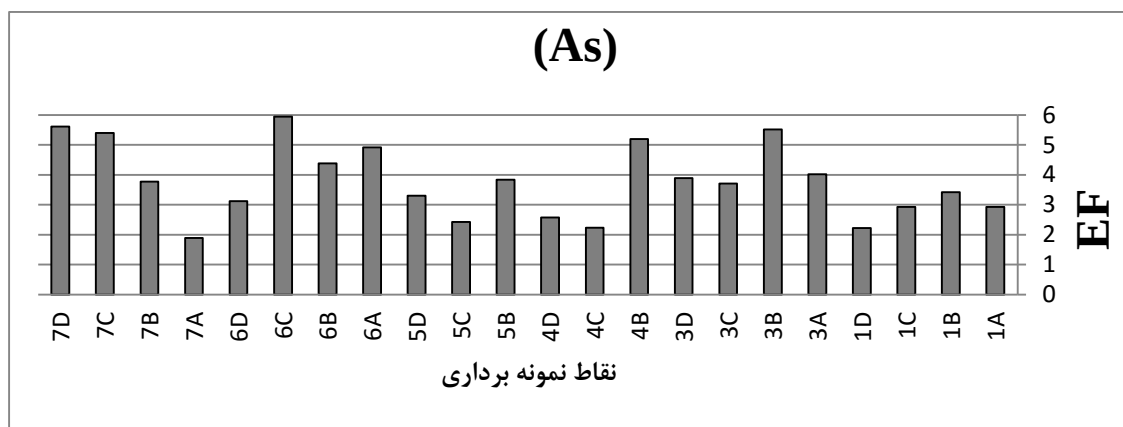
غنی‌شدگی متوسط می‌باشد.

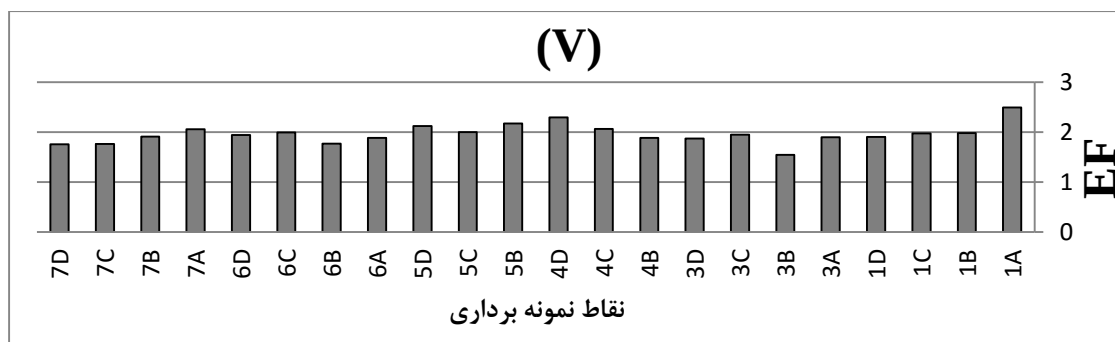
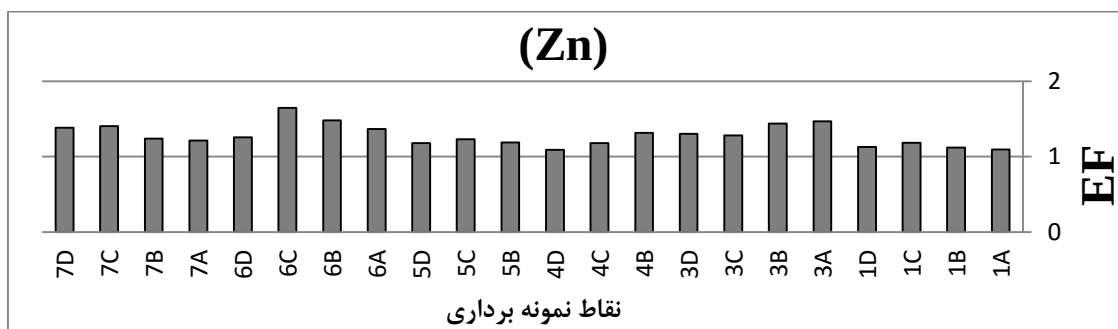
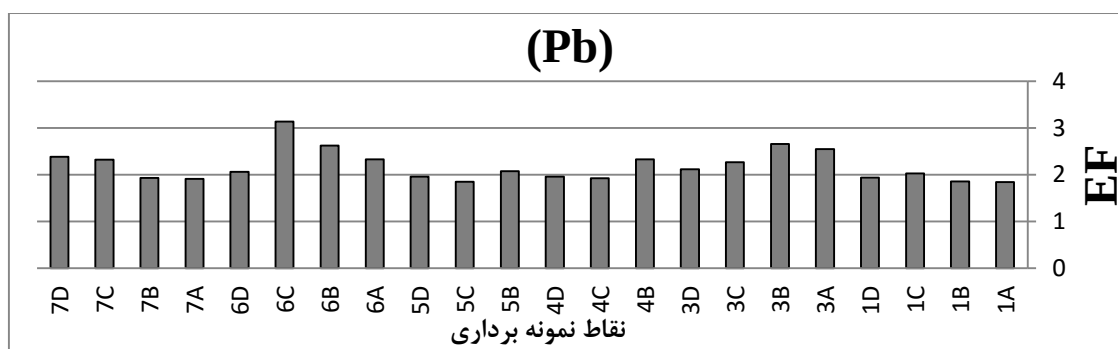
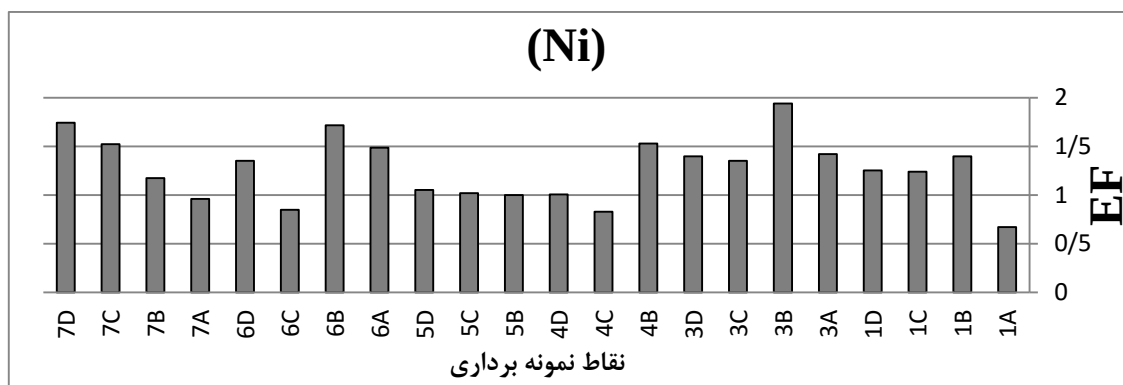
Ni : بیش از ۱۸٪ نمونه‌ها بدون غنی‌شدگی و بیش از ۸۰٪ دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند.

Zn : تمامی نمونه‌ها دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند.

V : تمامی نمونه‌ها دارای غنی‌شدگی اندک می‌باشند.







شکل ۵-۱۹ مقادیر فاکتور غنی شدگی عناصر مختلف در خاک منطقه

۵-۶-۲- شاخص زمین انباشت

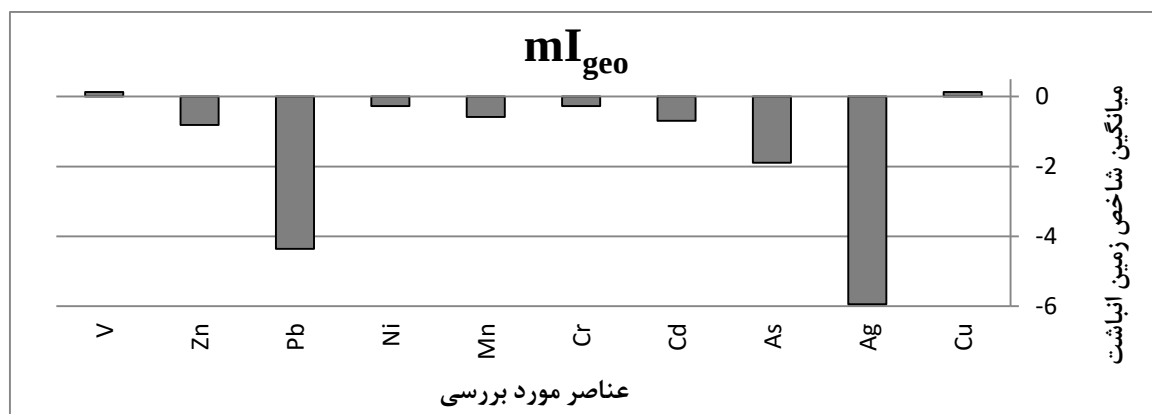
شاخص زمین انباشت (Geo Accumulation Index) (I_{geo}) توسط مولر (Muller) در سال ۱۹۶۹ برای تعیین و توصیف غلظت فلزات و میزان آلودگی در رسوبات معرفی شد. این شاخص با استفاده از رابطه (۳-۵) محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 \times B_n) \quad \text{رابطه ۳-۵}$$

در این رابطه، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه، B_n غلظت عنصر مورد مطالعه در مقدار زمینه (شیل) و مضرب $1/5$ ضریب تصحیح تأثیر لیتولوژی است که ناشی از تغییرات سنگ شناختی در منطقه می‌باشد (Muller, 1979). میزان آلودگی خاک‌ها با استفاده از شاخص زمین انباشت به هفت رده تقسیم می‌شود (جدول ۵-۸) که بر اساس آن بالاترین درجه آلودگی در خاک ۶ می‌باشد (Habes, 2006 - Luoping et al, 2007).

بررسی میانگین شاخص زمین انباشت (شکل ۵-۲۰) نشان می‌دهد که مس و وانادیم بیشترین میزان شاخص زمین انباشت را دارا می‌باشند و خاک منطقه نسبت به این فلزات بدون آلودگی تا آلودگی متوسط را دارا می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص زمین انباشت مربوط به فلز مس در منطقه معدنی متروکه (۶/۵۶) می‌باشد که بیانگر آلودگی بی‌نهایت خاک این محل به مس می‌باشد. مقادیر میانگین شاخص زمین انباشت برای سایر عناصر در خاک منطقه به ترتیب زیر کاهش می‌یابد:

$$Cu-Va > Cr-Ni > Mn > Cd > Zn > As > Pb > Ag$$



شکل ۵-۲۰ میانگین مقادیر شاخص زمین انباشت برای عناصر مختلف در خاک منطقه

جدول ۵-۸ میزان آلودگی خاک بر اساس مقادیر شاخص زمین انباشت در طبقه بندی مولر (Muller, 1969)

درجه آلودگی	محدوده I_{geo}	شدت آلودگی
۰	$I_{geo} \leq 0$	بدون آلودگی
۱	$0 < I_{geo} < 1$	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	$1 < I_{geo} < 2$	آلودگی متوسط
۳	$2 < I_{geo} < 3$	آلودگی متوسط تا شدید
۴	$3 < I_{geo} < 4$	آلودگی شدید
۵	$4 < I_{geo} < 5$	آلودگی شدید تا بی نهایت
۶	$I_{geo} > 5$	آلودگی بی نهایت

نتایج بررسی مقادیر شاخص زمین انباشت برای عناصر (شکل ۵-۲۱) بصورت زیر خلاصه می شود:

Cu: کمتر از ۵۰٪ نمونه ها آلودگی متوسط دارند. بیش از ۴۰٪ نمونه ها بدون آلودگی یا آلودگی متوسط دارند. حدود ۶۰٪ نمونه ها فاقد آلودگی می باشند. خاک محل معدنکاری قدیمی دارای آلودگی بی نهایت می باشد.

As: ۱۰۰٪ نمونه های خاک دارای $I_{geo} \leq 0$ می باشند، که نشان می دهد خاک منطقه نسبت به

آرسنیک فاقد آلودگی می باشد.

Ag : ۱۰۰٪ نمونه‌های خاک دارای $I_{geo} \leq 0$ می‌باشند، که نشان می‌دهد خاک منطقه به نقره آلوده نمی‌باشد.

Cd : بیش از ۹۵٪ نمونه‌ها دارای $I_{geo} \leq 0$ و بدون آلودگی می‌باشند. ۵٪ خاک منطقه معدنی نسبت به کادمیم دارای آلودگی متوسط می‌باشد.

Ni : بیش از ۱۸٪ نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشد. بیش از ۸۷٪ نمونه‌ها دارای $I_{geo} \leq 0$ و بدون آلودگی می‌باشند.

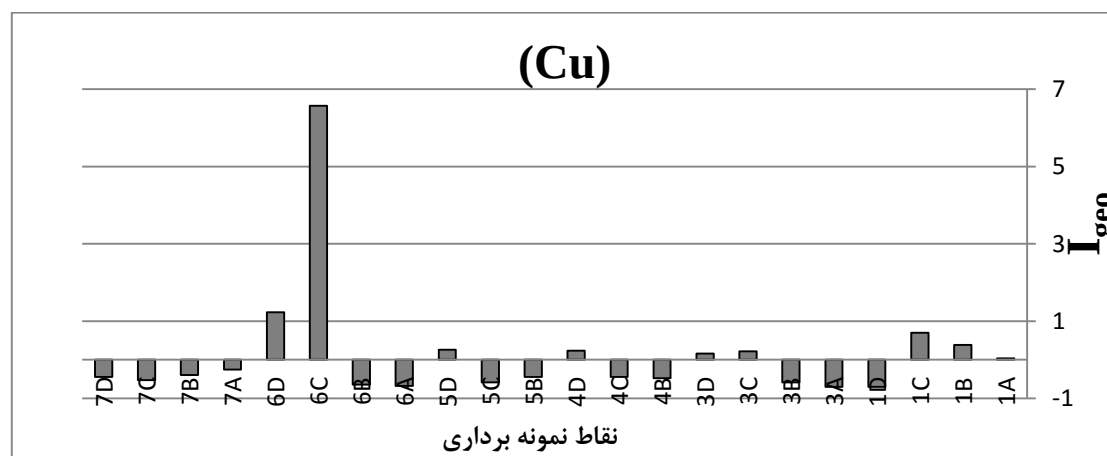
Cr : کمتر از ۱۰٪ نمونه‌ها بدون آلودگی یا آلودگی متوسط دارند. بیش از ۹۰٪ نمونه‌ها فاقد آلودگی می‌باشند.

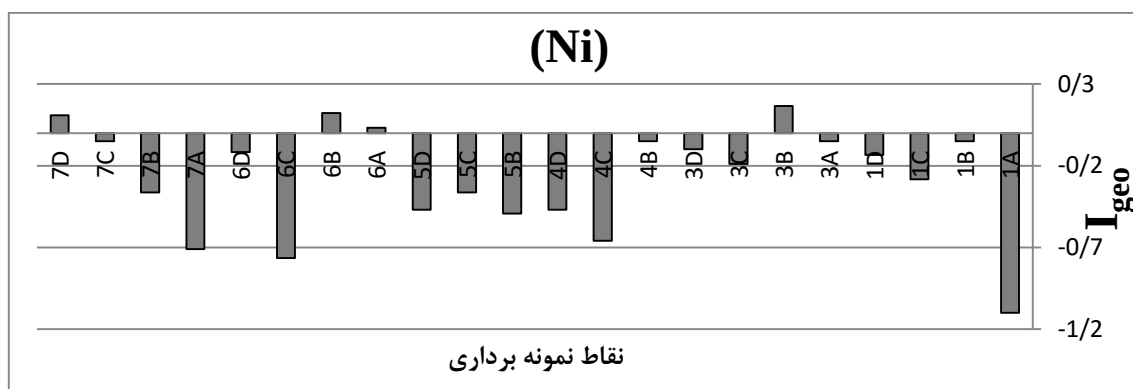
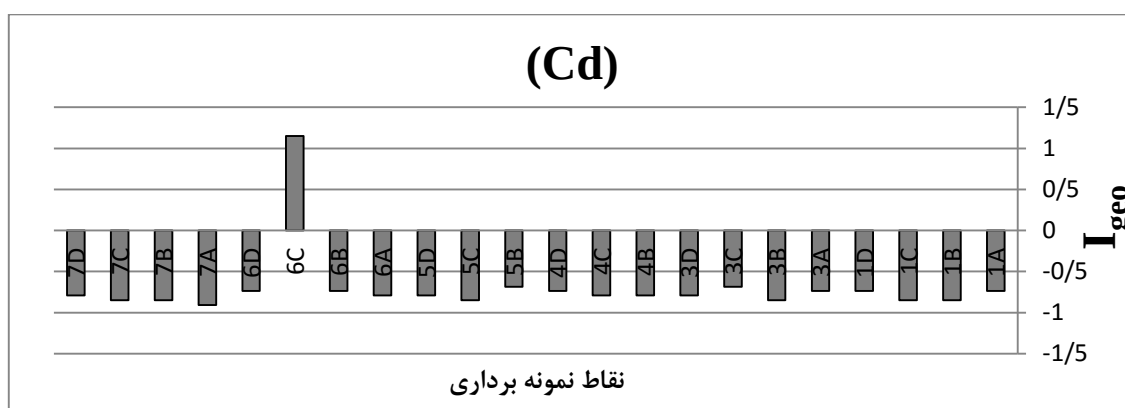
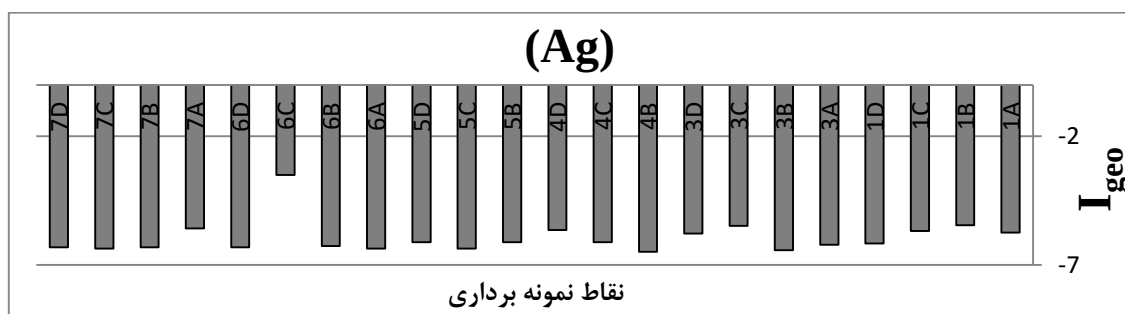
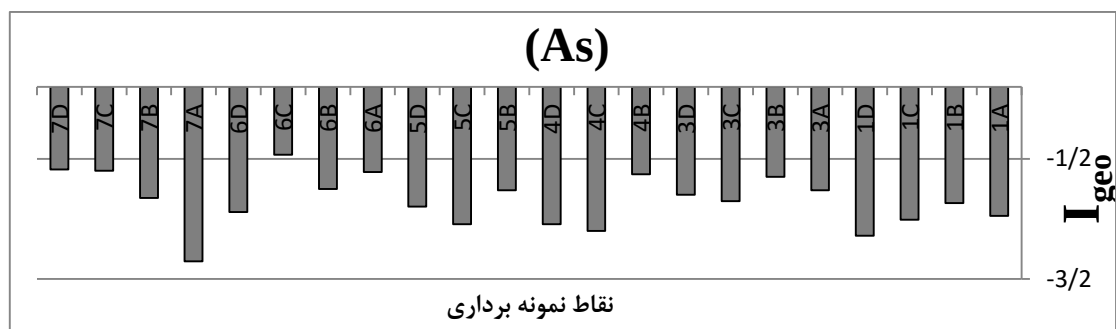
Mn : تمامی نمونه‌ها دارای $I_{geo} \leq 0$ می‌باشند که نشان می‌دهد خاک منطقه فاقد آلودگی می‌باشد.

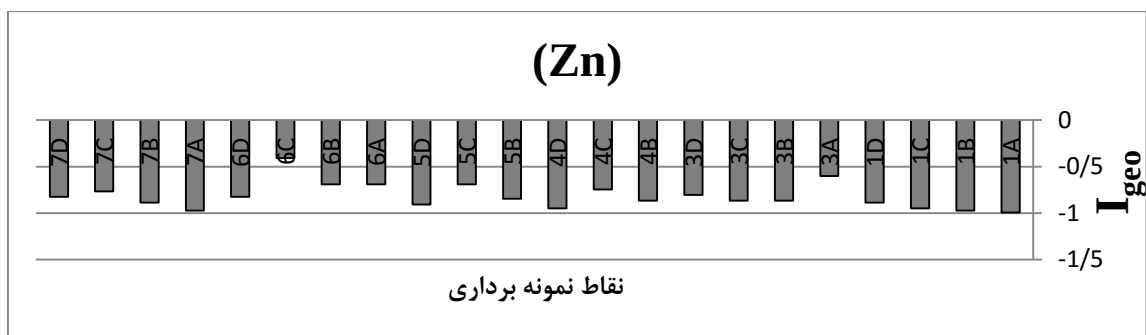
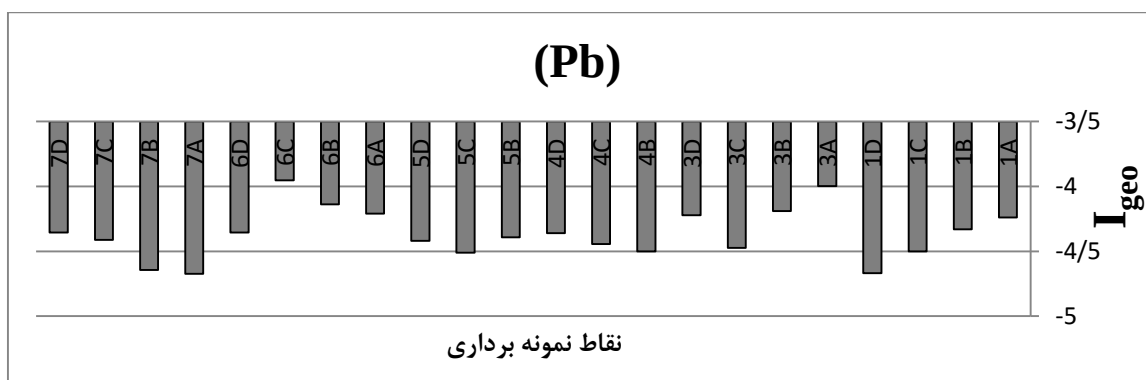
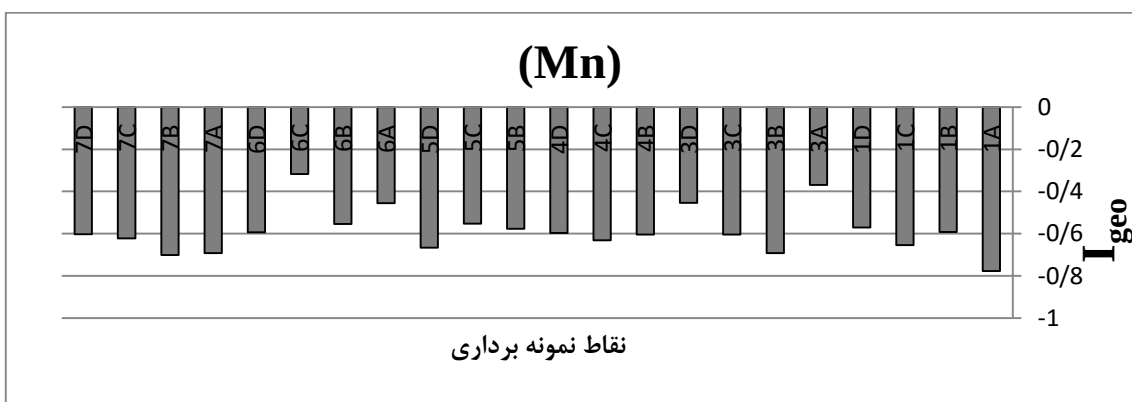
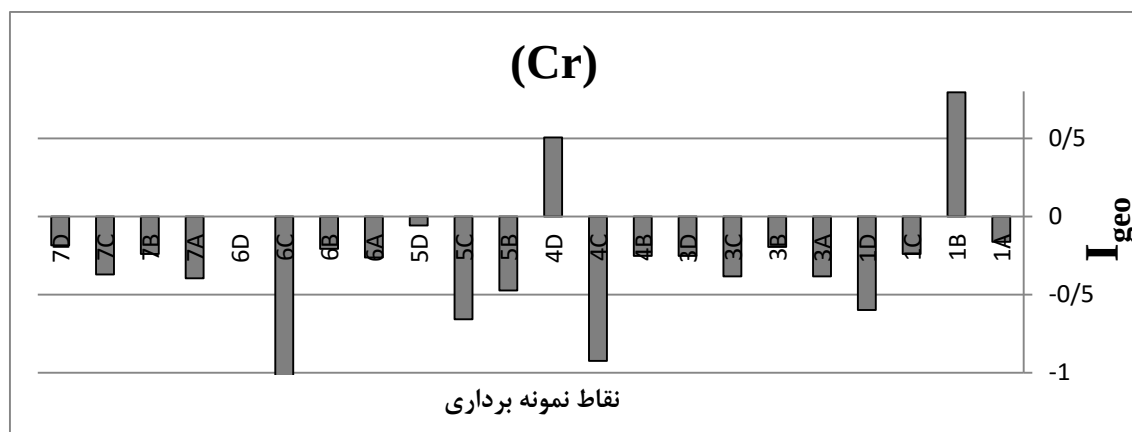
Pb : تمامی نمونه‌ها دارای $I_{geo} \leq 0$ می‌باشند که نشان می‌دهد خاک منطقه فاقد آلودگی می‌باشد.

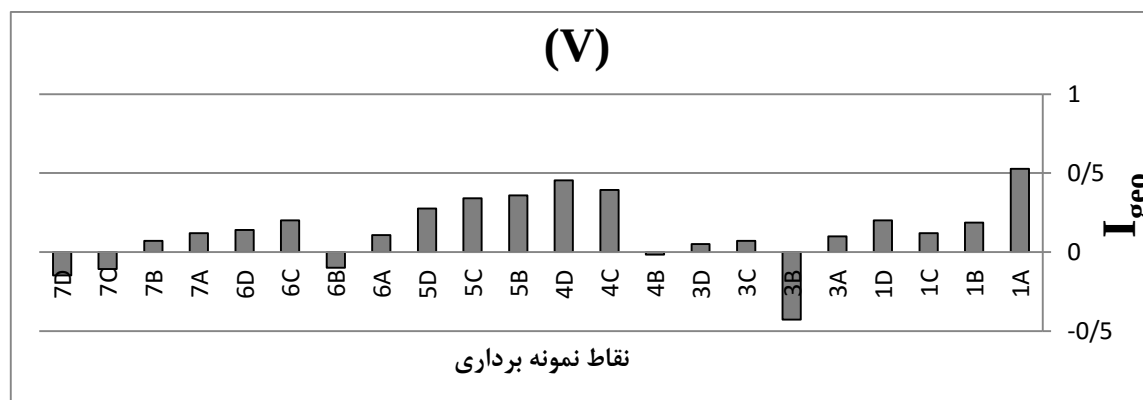
Zn : تمامی نمونه‌ها دارای $I_{geo} \leq 0$ می‌باشند که نشان می‌دهد خاک منطقه فاقد آلودگی است.

V : حدود ۲۳٪ نمونه‌ها بدون آلودگی می‌باشند. حدود ۷۷٪ نمونه‌ها بدون آلودگی یا آلودگی متوسط دارند.









شکل ۵-۲۱ میزان شاخص زمین انباشت برای عناصر مورد بررسی

۵-۶-۳- فاکتور آلودگی و درجه آلودگی

فاکتور آلودگی (Contamination Factor) یکی از شاخص‌هایی است که می‌توان از آن برای تعیین و بیان میزان و وضعیت آلودگی محیط نسبت به یک عنصر خاص استفاده نمود (Ahdy and Shakeri et al, 2010; Khaled, 2009). برای محاسبه فاکتور آلودگی از روش ارائه شده توسط هاکنسون (Hakanson, 1980) استفاده شده است. مقادیر مربوط به فاکتور آلودگی در جدول ۵-۹ آورده شده است. فاکتور آلودگی هاکنسون با استفاده از رابطه ۵-۳ محاسبه و تعیین می‌شود:

$$C_f = C_0 / C_n \quad \text{رابطه ۵-۳}$$

در رابطه بالا C_f فاکتور آلودگی، C_0 غلظت فلز در نمونه مورد بررسی و C_n غلظت فلز در میانگین شیل می‌باشد. درجه آلودگی یا درجه آلودگی هاکنسون (C_d Contamination Degree) مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه است، که در تحقیق حاضر آلودگی ناشی از حضور فلزات سنگین در خاک مورد بررسی قرار گرفته است. درجه آلودگی خاک با استفاده از رابطه ۵-۴ محاسبه می‌شود:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad \text{رابطه ۵-۴}$$

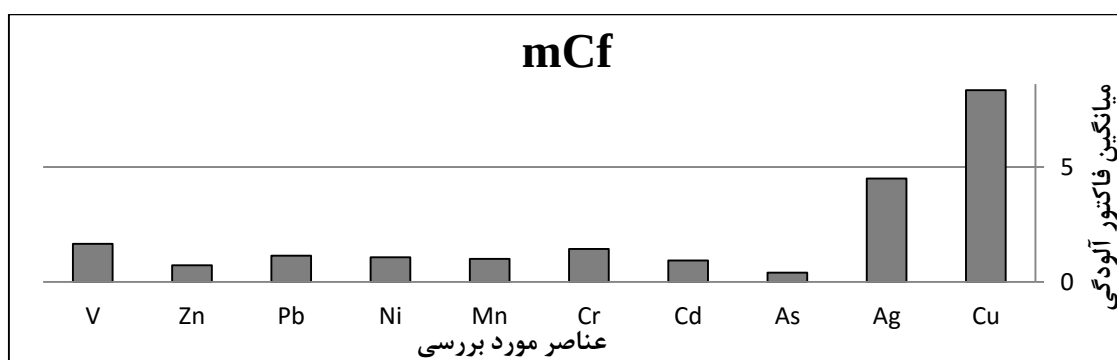
جدول ۵-۹ رده بندی کیفی خاک هاكنسون بر مبنای فاکتور آلودگی و درجه آلودگی (Hakanson, 1980)

کیفیت	C_d	مقدار آلودگی	C_f
درجه آلودگی پایین	$C_d < 6$	آلودگی پایین	$C_f < 1$
درجه آلودگی متوسط	$6 \leq C_d < 12$	آلودگی متوسط	$1 \leq C_f < 3$
درجه آلودگی قابل توجه	$12 \leq C_d < 24$	آلودگی قابل توجه	$3 \leq C_f < 6$
درجه آلودگی بسیار بالا	$C_d \geq 24$	آلودگی بسیار بالا	$C_f \geq 6$

محاسبه میانگین فاکتور آلودگی برای عناصر مورد بررسی (شکل ۵-۲۲) نشان می‌دهد که بیشترین میزان آن مربوط به عنصر مس ($8/33$) می‌باشد. خاک منطقه معدنکاری مس بیشترین درجه آلودگی خاک منطقه را به خود اختصاص می‌دهد ($196/6$) و خاک این محل دارای درجه آلودگی بسیار بالاست (شکل ۵-۲۴).

میانگین مقادیر فاکتور آلودگی برای سایر عناصر به ترتیب زیر کاهش می‌یابد:

$$Cu > Ag > V > Cr > Pb > Ni > Mn > Cd > Zn > As$$



شکل ۵-۲۲ میانگین مقادیر فاکتور آلودگی برای عناصر مختلف در خاک منطقه

نتایج بررسی مقادیر فاکتور آلودگی برای عناصر (شکل ۵-۲۳) بصورت زیر خلاصه می‌شود:

Cu: خاک محل معدنکاری قدیمی دارای $C_f \geq 6$ می‌باشد که نشان‌دهنده آلودگی بسیار بالای خاک

است. بیش از ۹۵٪ نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط هستند.

As : تمامی نمونه‌های خاک دارای $C_f < 1$ می‌باشند که آلودگی پائین خاک منطقه را نشان می‌دهد.

Ag : بیش از ۳۰٪ نمونه‌ها دارای $C_f \geq 6$ می‌باشند که نشان می‌دهد خاک منطقه دارای آلودگی بسیار بالاست. بیش از ۶۰٪ نمونه‌ها آلودگی قابل توجه دارند.

Cd : نمونه خاک محل معدنکاری قدیمی دارای $3 < C_f < 6$ می‌باشد که نشان‌دهنده آلودگی قابل توجه خاک است. بقیه نمونه‌های دارای آلودگی متوسط می‌باشند.

Cr : بیش از ۹٪ نمونه‌ها آلودگی متوسط دارند. حدود ۹٪ نمونه‌ها دارای $C_f < 1$ و آلودگی پائین می‌باشند.

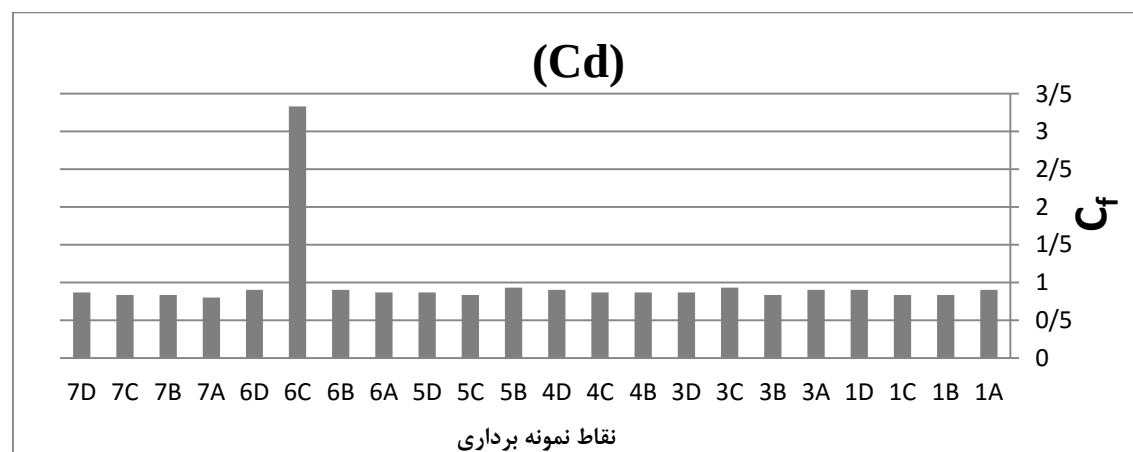
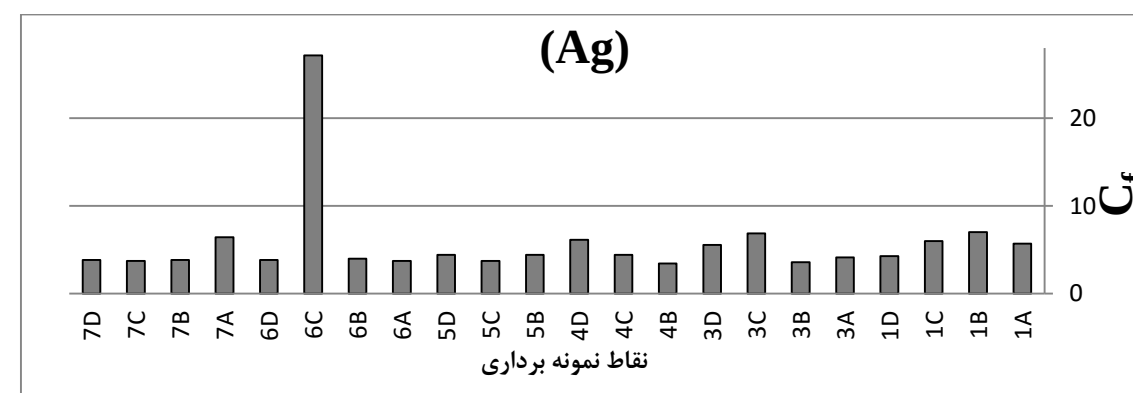
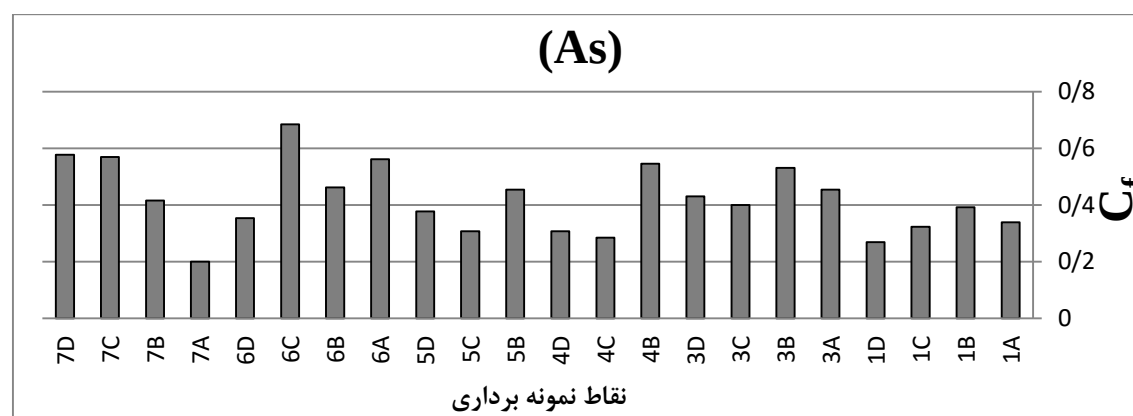
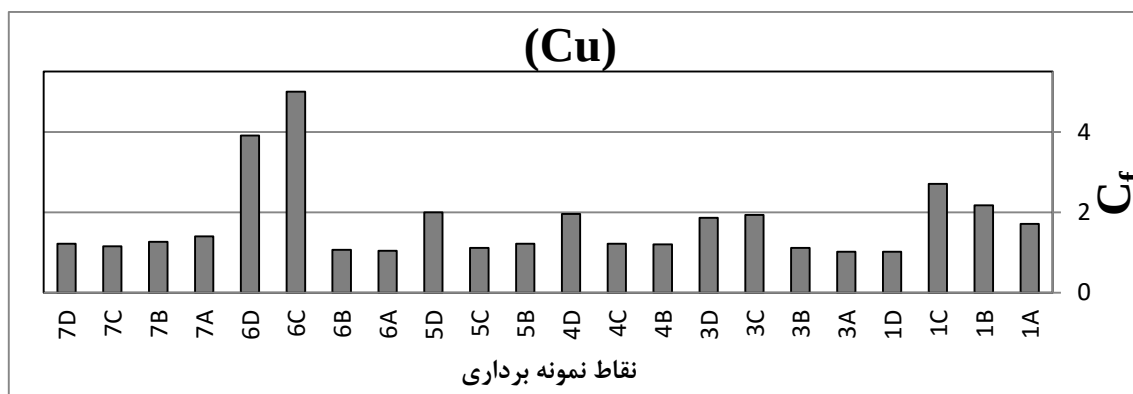
Ni : بیش از ۲۲٪ نمونه‌ها دارای آلودگی پائین می‌باشند. بیش از ۷۷٪ نمونه‌ها آلودگی متوسط دارند.

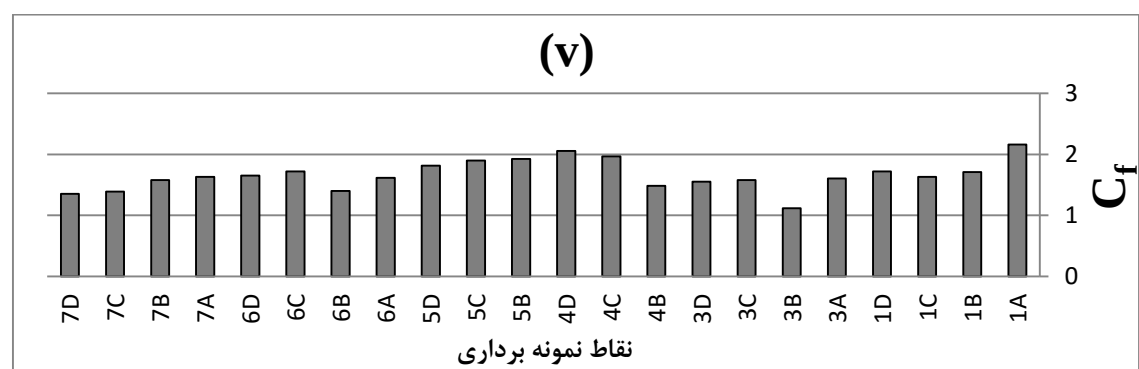
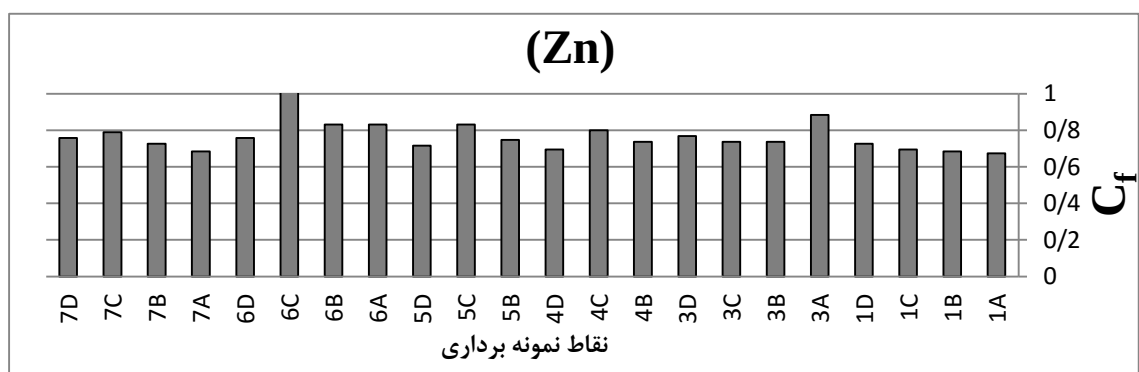
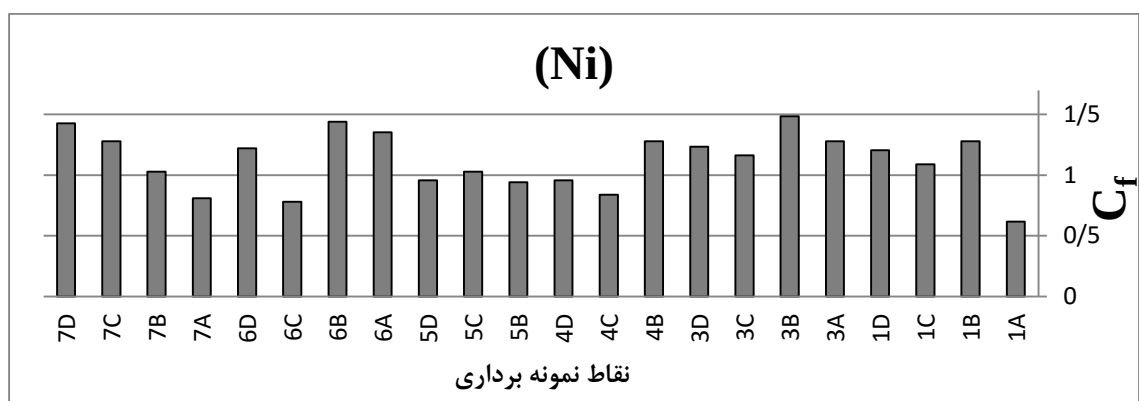
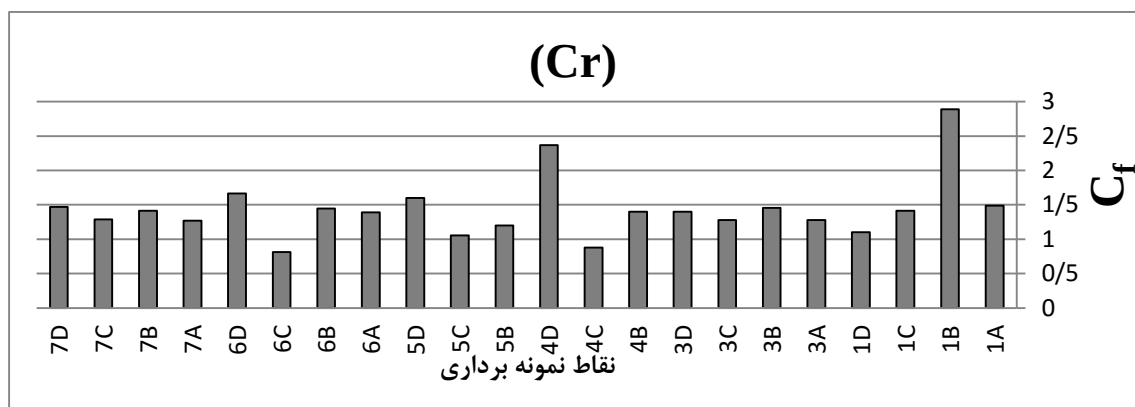
Pb : کمتر از ۵٪ نمونه‌ها دارای آلودگی پائین می‌باشند. بیش از ۹۵٪ نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشند.

Mn : بیش از ۱۸٪ نمونه‌ها آلودگی متوسط دارند. بیش از ۸۰٪ نمونه‌ها دارای آلودگی پائین می‌باشند.

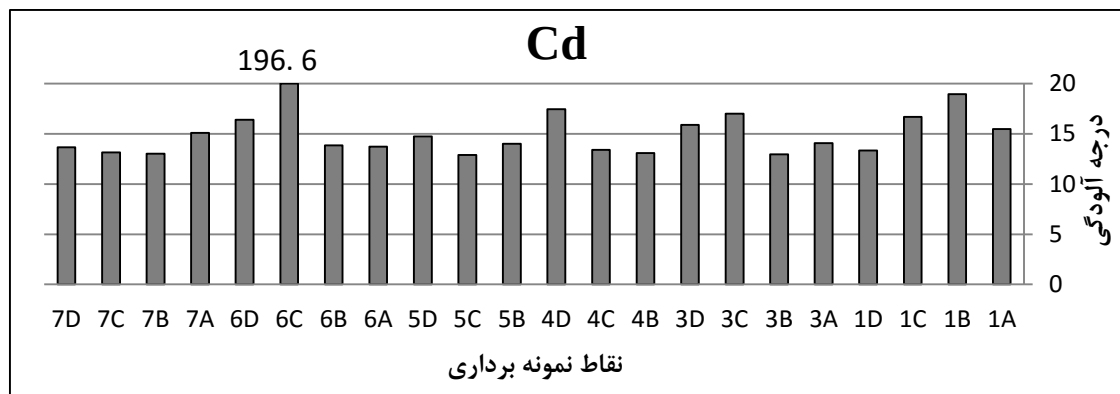
Zn : کمتر از ۵٪ نمونه‌ها آلودگی پائین دارند. بیش از ۹۵٪ نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشند.

V : تمامی نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشند.





شکل ۵-۲۳ میزان فاکتور آلودگی برای عناصر مورد بررسی



شکل ۵-۲۴ مقادیر درجه آلودگی در نمونه‌های خاک منطقه

فصل ششم

بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاهان بومی غالب منطقه

۶-۱- مقدمه

آلودگی بوم‌سامانه‌ها با فلزات سنگین منجر به بروز مشکلات زیست‌محیطی مهم و همچنین عواقب اقتصادی قابل توجهی در سراسر جهان می‌شوند (Reeves and Baker, 2000). ورود عناصر سنگین به محیط در اثر برجاماندن باطله‌های (روباره) حاصل از معدنکاری در مرحله استخراج (et al., 2012)، یا ضمن حمل و نقل و ذخیره سازی مواد معدنی، ورود عناصر به محیط امری اجتناب ناپذیر است. معدنکاری و فعالیتهای مرتبط با آن غلظت‌های بالایی از فلزات را در محیط زیست آزاد می‌کند (Peng et al., 2006 ; Tordoff et al. 2000 ; Wang et al., 2004) 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)، لذا احتمال آلودگی و افزایش غلظت این فلزات در گیاهان بالا می‌باشد (علی پور، ۱۳۸۴). گیاهان عناصر غذایی مورد نیاز خود را به‌صورت یون‌های معدنی از خاک جذب می‌کنند و در واقع ریشه مسیر اصلی ورود مواد به گیاه می‌باشد (Marchner, 2005) ;

(Stevenson and Fitch., 1981 ; Taiz and Zeiger., 2006). خاک به عنوان اولین پذیرنده و نگهدارنده عناصر و میزبان گیاه عمل کرده و باعث ورود این عناصر به پیکره گیاه گردیده و در غلظت‌های بالا موجب مسمومیت گیاهان شده و از این طریق فلزات سنگین را وارد زنجیره غذایی می‌نماید. از جمله مهمترین این عناصر ورودی آلاینده به پیکره گیاه، فلزات سنگین هستند که پایدار بوده و تجزیه‌پذیر زیستی نیستند و می‌توانند در طی زمان در اندام‌های گیاهان مجتمع شده و در نهایت موجب بروز اختلال در عملکرد طبیعی گیاهان، جانوران و در نهایت انسان شود (Abii , 2012 ; Luo et al., 2005 ; Sipter et al., 2008 ; Pal et al., 2006;). با توجه به اهمیت تأثیر فلزات سنگین در حیات گیاهان هر منطقه و از سوی دیگر غلظت بالای برخی فلزات سنگین در خاک منطقه معدن

متروکه، با انجام چندین بازدید صحرایی از منطقه، پنج گونه گیاهی بومی غالب انتخاب و تأثیر کانه-زایی بر تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و زمینی گیاهان با استفاده از شاخص‌های مختلف بیوژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت و این بخش به ارائه نتایج حاصل از این بررسی اختصاص داده شده است. لازم به ذکر می‌باشد که با توجه به غلظت عناصر در خاک منطقه و نحوه توزیع و پراکنش آن، از بین عناصر مورد بررسی در خاک، ۵ عنصر شامل مس، سرب، روی، نیکل و منگنز جهت بررسی و مطالعه در گیاه انتخاب گردید.

۶-۲- معرفی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه

استفاده از گیاهان به عنوان دارو، قدیمی‌ترین نحوه مراقبت و حفظ سلامت و بهداشت توسط بشر شناخته شد و در تمامی فرهنگ‌ها در طول تاریخ مورد استفاده قرار گرفته است (Barnes et al., 2007). شماری از گیاهان مختلف که به عنوان گیاهان دارویی شناخته شده‌اند از زمان انسان اولیه تاکنون برای درمان بیماری‌ها استفاده شده‌اند (Kabata-Pendias, 2011). انسان‌های اولیه دریافتند که جهت داشتن یک زندگی سالم به طبیعت نیازمندند و بنابراین به انواع گیاهان به عنوان منابعی برای غذا، پوشش، پناهگاه و دارو جهت درمان بیماری‌های بی‌شمار، وابسته بودند. زنان و مردان نخستین (اولیه) بواسطه هوش طبیعی (غریزه)، حس‌چشایی (مزه کردن) و تجربه، بیماری‌ها را با استفاده از گیاهان، اعضای بدن حیوانات و مواد معدنی درمان می‌کردند، در حالیکه این مواد در رژیم غذایی معمولی آنها جایی نداشتند. انسان‌های اولیه از روش آزمون و خطا جهت شناسایی گیاهان مفید، همچنین روش‌های فراوری یا ترکیب آنها برای دستیابی به نتایج بهینه و سازگار بهره بردند (et al., 2012). محصولات گیاهان دارویی صدها سال است که در اشکال مختلفی به منظور درمان بیماری‌ها در فرهنگ شرق و غرب مورد استفاده واقع می‌شود (El-Rjoob et al., 2008). تقریباً ۷۰ تا ۸۰ درصد جمعیت جهان مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه در مراقبت بهداشتی اولیه به داروهای

غیر متعارف و گیاهی متکی می‌باشند (Ernst, 2003; Chan, 2003). در ادامه به معرفی گونه‌های گیاهی بومی غالب منطقه که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، پرداخته می‌شود.

۶-۲-۱- افدرا

گونه افدرا (*Ephedra strobilacea*) یا ارمک بیابانی (ارمک آسیای مرکزی)، گیاه درختچه‌ای چندساله است که متعلق به جنس *Ephedra* و از خانواده Ephedraceae (=Gentaceae) تیره افدرا یا ارمک یا ریش بز می‌باشد. که دارای نام‌های ریش بز، علی جونک، ارمک (Ormak) نیز می‌باشد. این گونه در مناطق بیابانی خشک و نیمه خشک می‌روید و بخاطر داشتن آلکالوئید معروف به نام افدرین دارای خاصیت دارویی است (مظفریان، ۱۳۷۵). در ایران این گونه در کوهستان‌های خشک و کویرهای مرکزی ایران می‌روید (کریمی، ۱۳۸۱). افدرا خواص درمانی متعددی دارد. از جوشانده ریشه و شاخه آن در درمان روماتیسم و سفلیس و همچنین تسکین سیاه‌سرفه استفاده می‌شود. جوشانده افدرا جهت درمان سرماخوردگی و آنفولانزا، تسکین قی و استفراغ مورد استفاده قرار می‌گیرد. داروی محرک برای مغز بوده و تب بر و معرق است. ترشح بزاق و مایعات روده را تحریک می‌کند. مردمک چشم را باز می‌کند. همچنین حرکات روده را آرام کرده و به عبارت دیگر عضلات روده‌ای را آرام می‌کند. از آلکالوئید افدرین به شکل قرص، قطره و پماد قبل از حمله آسم استفاده می‌شود و موجب رفع و بهبود آسم می‌شود (میرحیدر، ۱۳۷۲c). شکل ۶-۱ نمونه افدرا برداشت شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین به سبب وجود ترکیب پورفیرین مس- سدیم ($C_{34}H_{30}O_5N_4CuNa_2$) در گیاه افدرا از آن برای درمان بیماری ریه و معده استفاده می‌شود (Zhang et al., 1998). با توجه به اینکه در بازدیدهای صحرایی از منطقه، افزایش تراکم و پوشش افدرا در حوالی منطقه معدنی متروکه و کانسار قابل مشاهده بود (شکل ۶-۲ و شکل ۶-۳) و همچنین در تحقیقات پیشین (Pyatt et al., 2000) نیز گسترش این گیاه در منطقه معدنی متروکه مس گزارش شده بود، لذا، گونه گیاه افدرا به عنوان یکی از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب گردید.

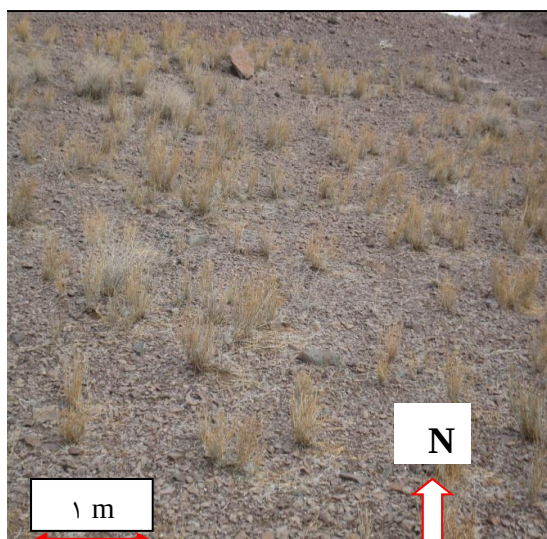


ب) در آزمایشگاه

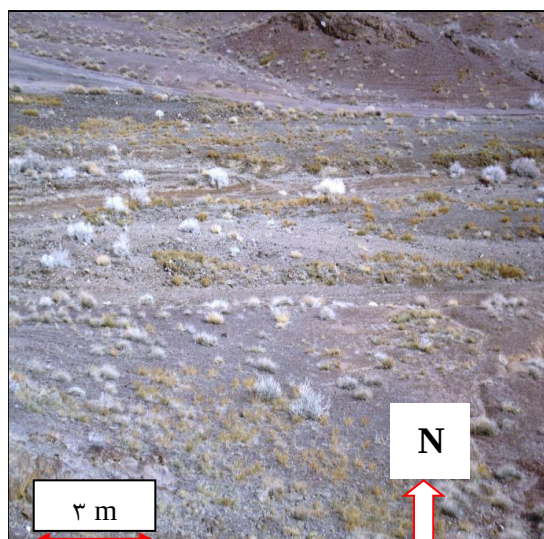


الف) در محیط طبیعی

شکل ۶-۱ گیاه افدرا در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶-۳ پراکنش افدرا در منطقه معدنی متروکه



شکل ۶-۲ پراکنش افدرا در منطقه شاهد

۶-۲-۲- اسفند

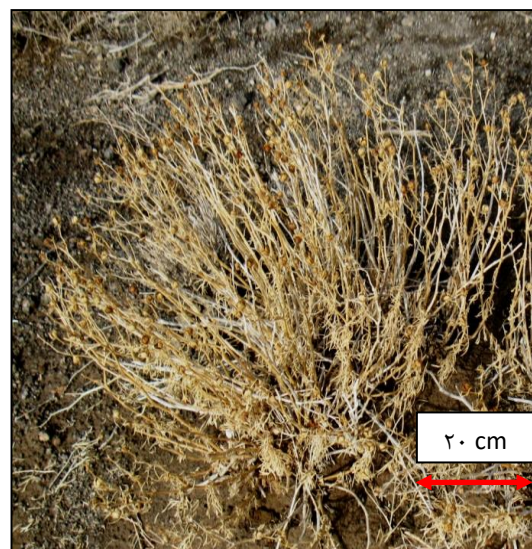
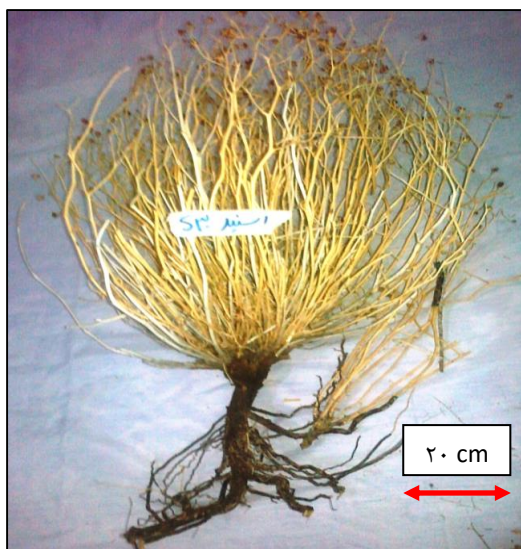
گونه اسفند یا اسپند (*Peganum harmala*) متعلق به جنس *Peganum* و از خانواده Zygophyllaceae (تیره قیچ یا اسفند) می‌باشد. اسفند یک گیاه علفی چند ساله بوده، اشکال رویشی بسیار متنوع و گوناگون دارد که معمولاً در اراضی تخریب یافته، نقاط مختلف دارای خاک فقیر می‌روید و به عنوان گیاهی مهاجم در مراتع و مرتعداری محسوب می‌شود (مظفریان، ۱۳۷۵). این گونه در

بیشتر مناطق ایران از جمله همدان، اصفهان و لرستان می‌روید (مبین، ۱۳۷۴). اسفند ارتفاعی در حدود ۰/۵ متر دارد، پر برگ می‌باشد و برگ‌ها با تقسیمات باریک و نامنظم و سبز روشن است. گل‌های آن به رنگ سفید تیره، میوه آن بصورت کپسول ناشکاف و گرد می‌باشد که حاوی دانه‌های سیاه-رنگ اسفند است. اسفند دارای خواص دارویی متعددی است. ماده مخدر است و به عنوان تب بر و برای کاهش درد معده تجویز می‌شود. جوشانده برگ اسفند برای روماتیسم مفید است. شیاف گرد ریشه اسفند یا روغن ایرسا دهانه عروق و خون بواسیر را باز می‌کند. روغن اسفند برای درمان فلج، رعشه و صرع مفید است (میرحیدر، ۱۳۷۲a). این گونه بیشتر در ترکمنستان، افغانستان، پاکستان و آسیای مرکزی یافت می‌شود (مظفریان، ۱۳۷۵). شکل ۴-۶ نمونه اسفند برداشت شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۶-۲-۳- درمنه

گونه درمنه یا افسنطین (*Artemisia sieberia*) متعلق به جنس *Artemisia* و از خانواده Compositae می‌باشد (مظفریان، ۱۳۷۵). درمنه گیاهی چندساله، پایا و سازگار با شرایط نامساعد می‌باشد. بلندی ساقه آن حدود ۰/۵ متر و دارای شاخه‌های فراوان خاکستری رنگ است. برگ‌ها دارای بریدگی خیلی عمیق به رنگ سفید و نقره‌ای و پوشیده از تارهای نازک که در حقیقت غده‌های کوچک به شکل مو یا تار نازک دیده می‌شود. گل‌های آن زرد رنگ، میوه آن خشک و بدون کاکل است. تمامی اندام‌های آن بوی نافذ و قوی دارد (میرحیدر، ۱۳۷۲b). این گونه از لحاظ تغذیه دام با ارزش‌ترین گونه این جنس بوده و جزء گیاهان بردبار مناطق بیابانی و نیمه بیابانی ایران محسوب می‌شود (مظفریان، ۱۳۷۵). درمنه دارای خواص دارویی فراوانی است. دم کرده درمنه ضد انگل شکم می‌باشد. این گیاه مدر می‌باشد. دم کرده شاخه‌ها و گل آن به هضم غذا کمک می‌کند و باعث رفع گاستریک شده و صفرا را زیاد می‌کند. از جوشانده شاخ و برگ آن به عنوان باز کننده مجاری و عروق استفاده می‌شود.

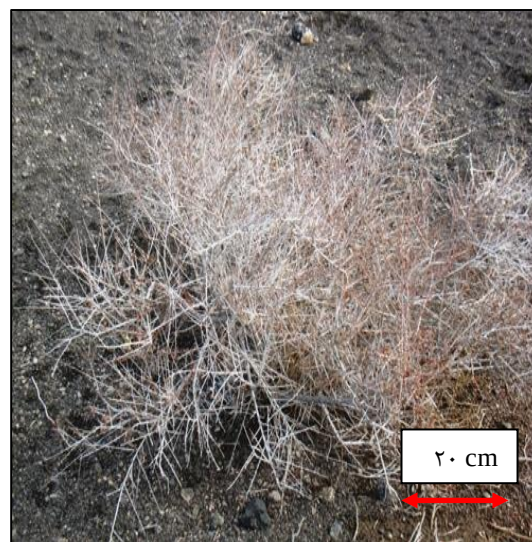
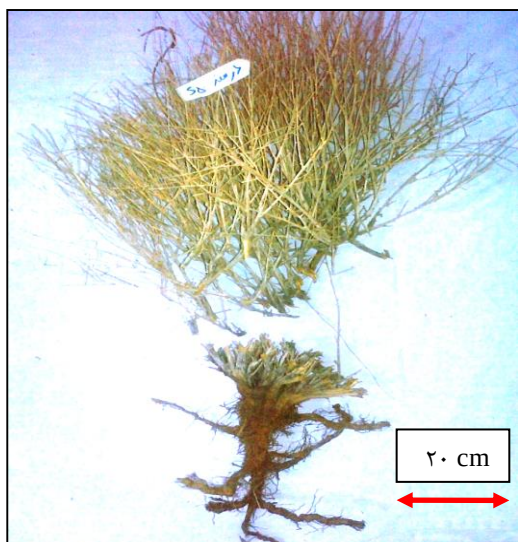
از نظر غذایی مقوی و اشتها آور است و برای درمان سوء هاضمه تجویز می‌شود. انواع کرم روده و معده را از بین می‌برد (میرحیدر، ۱۳۷۲). شکل ۶-۵ نمونه درمان برداشت شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



(ب) در آزمایشگاه

(الف) در محیط طبیعی

شکل ۶-۴ گیاه اسفند در منطقه مورد مطالعه



(ب) در آزمایشگاه

(الف) در محیط طبیعی

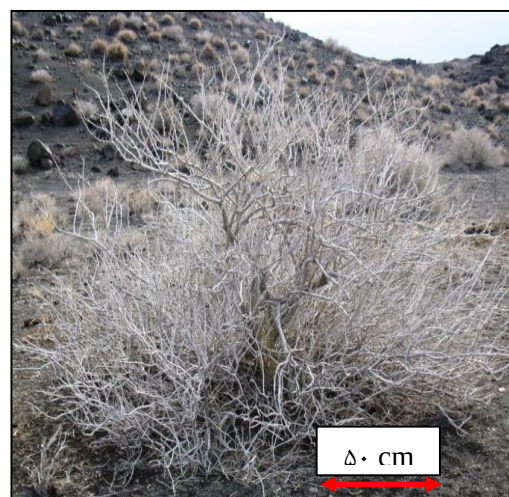
شکل ۶-۵ گیاه درمان در منطقه مورد مطالعه

۶-۲-۴- قیچ

گونه قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) که به آن قیچ لوبیایی نیز گفته می‌شود، متعلق به جنس *Zygophyllum* و از خانواده *Zygophyllaceae*، تیره اسفند (قیچ) می‌باشد. در برخی نواحی ایران چون شمال ایران-گیلان، مشهد- اسفندک، اطراف تهران و بیابان‌های مرکزی گسترش دارد. قیچ علاوه بر ایران در آسیای مرکزی، عراق، پاکستان، افغانستان، سواحل دریای عمان و خلیج فارس می‌روید (مظفریان، ۱۳۷۵). قیچ گیاهی درختچه‌ای و چندساله با بوته‌های چوبی می‌باشد که بلندی آن به ۵/۰ تا ۱ متر می‌رسد. برگ‌های آن مرکب و دارای ۲ برگچه که در انتهای یک دم‌برگ قرار دارند، هر برگچه تخم‌مرغی است. گل‌های آن زرد رنگ است و میوه آن به صورت غلافی دربرگیرنده چند دانه پهن و ناصاف می‌باشد. این گونه بوی تند و نامطبوع و مزه تلخ دارد. قیچ قابض و ضد کرم شکم است (میرحیدر، ۱۳۷۲ d). این گونه با میوه تخم‌مرغی شکل در شاهرود می‌روید (مبین، ۱۳۷۴). شکل ۶-۶ قیچ برداشت شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



ب) در آزمایشگاه



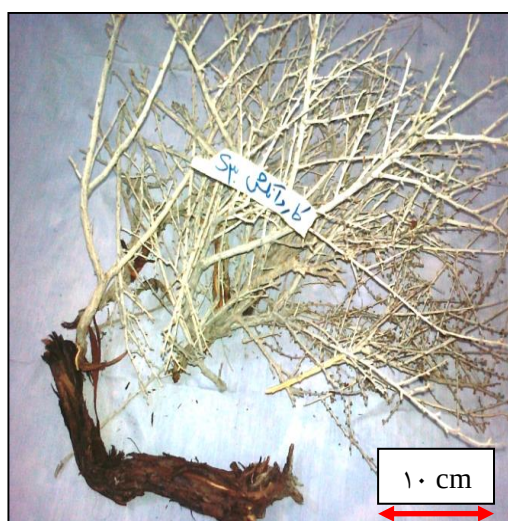
الف) در محیط طبیعی

شکل ۶-۶ گیاه قیچ در منطقه مورد مطالعه

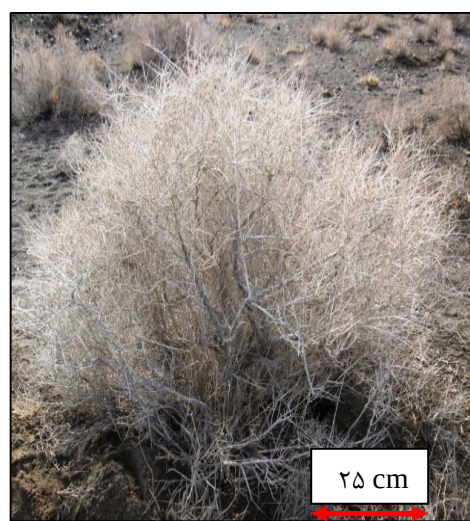
۶-۲-۵- کاروان کش

گونه کاروان کش (*Atraphaxis spinosa*) متعلق به جنس *Atraphaxis* و از خانواده *Polygonaceae* (تیره هفت بند یا ریواسیان) می‌باشد. این گونه در برخی نواحی ایران از جمله تهران، البرز، کرج،

شاهرود، کرمانشاه و همدان رویش و گسترش دارد که علاوه بر ایران در ترکمنستان، افغانستان، پاکستان و عراق و ارمنستان نیز می‌روید (مظفریان، ۱۳۷۵). این گونه، درختچه‌ای چندساله است، که در مناطق خشک و نیمه خشک کشور گسترش دارد. کاروانکش استفاده‌های دارویی زیادی دارد. این گیاه ملین می‌باشد. برای تقویت کبد، معده و روده مفید است. مسکن معده، قلب و کمر است و ضد سرفه می‌باشد (میرحیدر، ۱۳۷۲c). شکل ۶-۷ نمونه کاروانکش برداشت شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



ب) آزمایشگاه



الف) در محیط طبیعی

۶-۷ گیاه کاروانکش در منطقه مورد مطالعه

۶-۳- ارزیابی غلظت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی

میزان غلظت عناصر سنگین در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه به این جهت حائز اهمیت است که تمامی گونه‌های مورد بررسی علاوه بر اینکه در منطقه مورد چرای دام واقع می‌شوند، به عنوان گیاهان دارویی شناخته شده و برداشت می‌گردند. غلظت فلزات سنگین برحسب (mg/kg) در واحد وزن خشک) در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه به تفکیک اندام‌های هوایی و زمینی در جدول ۶-۱ و شکل ۶-۸ آورده شده است.

جدول ۶-۱ غلظت فلزات سنگین (mg/kg در واحد وزن خشک گیاه) در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام‌های هوایی و زمینی

	عنصر	اسفند		درمنه		افدرا		قیچ		کاروانکش	
		هوایی	زمینی	هوایی	زمینی	هوایی	زمینی	هوایی	زمینی	هوایی	زمینی
منطقه شاهد (بالادست منطقه معدنی متروکه)	Ni	5.20	6.08	4.08	5.6	8.4	8.4	12.4	5.2	6.4	8.4
	Cu	8.40	12.00	8.8	14.4	11.6	12	24.8	24.8	17.2	24.8
	Pb	1.48	<0.44	1.12	1.04	2.28	1.32	2.76	0.68	1.12	1.48
	Zn	27.2	17.2	10	9.2	13.2	11.6	14.4	8	10.8	12
	Mn	77.2	58	31.6	50.8	42.4	55.2	31.2	20	30	21.2
منطقه معدنی متروکه	Ni	6.5	5.6	5.2	14	5.2	10.8	6.4	7.5	8.5	4.8
	Cu	15	15.2	18.4	52.48	12.4	15	12.4	15	15.5	26.5
	Pb	1.2	0.44	1.36	0.48	1.16	1.48	1.28	<0.44	1.85	1.76
	Zn	11.5	23.2	11.2	21.2	11.2	16.4	18.8	9.5	13.5	15.6
	Mn	56	43.6	35.2	100.8	33.2	42	10	7.5	23.5	16.8
پائین دست منطقه معدنی متروکه	Ni	5.6	14	5.6	9.6	4.4	6.5	9.6	5.6	5.5	4.4
	Cu	16	19.2	10.4	20	14.4	14	16.8	17.6	17	10
	Pb	1.76	1.48	1.72	0.6	1	1.9	1.44	1.08	2.3	<0.44
	Zn	11.6	18.4	8.8	21.2	10.4	26	13.2	8.8	18.5	10
	Mn	31.6	29	29.6	43.6	19.6	21	11.2	10.8	20	16

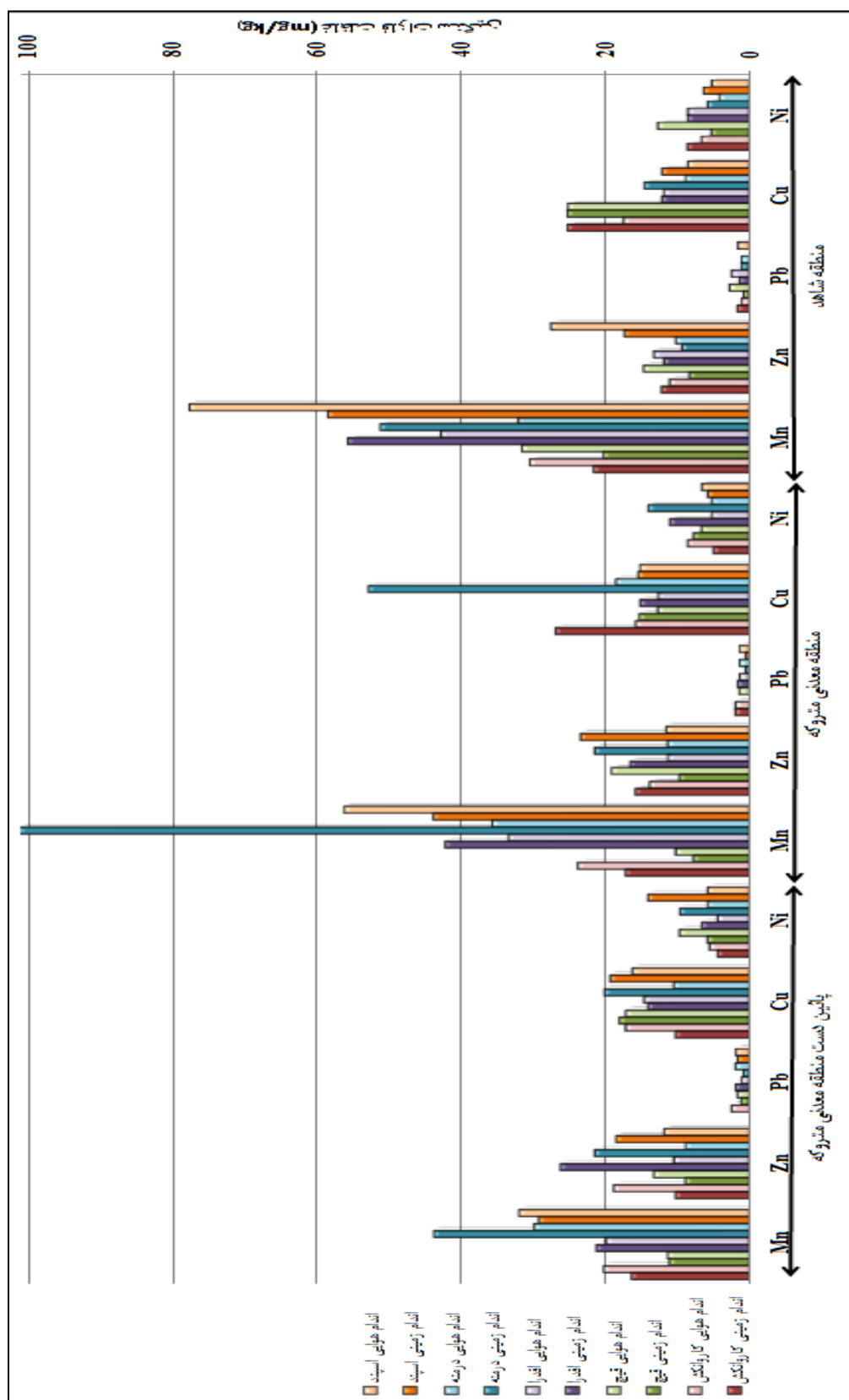
لازم می‌باشد که پیش از مقایسه غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در گونه‌های گیاهی انتخاب شده با غلظت‌های نرمال و بحرانی این فلزات در گیاهان به تعریف دامنه‌ها و حدهای مورد نیاز جهت این مقایسه پرداخته شود. تعریف دامنه‌ها و حدهای مورد نظر به قرار زیر می‌باشد (علی‌پور، ۱۳۸۴ ; Reichman , 2002).

دامنه غلظت نرمال: دامنه‌ای از غلظت عنصر در گیاه که در آن گیاه رشد طبیعی دارد.

دامنه غلظت بحرانی: دامنه‌ای از غلظت عنصر غذایی در یک مرحله معین از رشد که در بالاتر از این دامنه گیاه مازاد بر نیاز و در پائین‌تر از آن گیاه کمتر از نیاز خود از آن عنصر را دریافت می‌کند.

حد بحرانی کمبود: غلظتی عنصر در گیاه که کمتر از آن غلظت، سبب محدودیت شدید در رشد شده و کم و بیش عوارض کمبود آشکار می‌شود. کمبود معمولاً نسبت به سمیت بیشتر موجب مرگ گیاه می‌شود.

حد بحرانی سمیت: غلظتی از عنصر در گیاه که بیشتر از آن غلظت منجر به کاهش رشد گیاه شود. حد نهایی سمیت به مرگ گیاه منجر خواهد شد.



شکل ۶-۸- غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در واحد وزن خشک گیاه) گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام‌های هوایی و زمینی

نتایج بررسی غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی و زمینی به تفکیک گیاه به صورت زیر می‌باشد:

- **اسفند:** غلظت فلزات منگنز و سرب معمولاً در اندام‌های هوایی گیاه اسفند نسبت به اندام-

های زمینی آن (در منطقه شاهد و منطقه معدنی متروکه) بیشتر می‌باشد که این امر نشان دهنده تحرک بالای این عناصر در گیاه اسفند می‌باشد. در حالیکه در همین گیاه معمولاً غلظت مس، نیکل و روی در اندام‌های هوایی نسبت به اندام‌های زمینی آن کمتر است.

- **افدرا:** غلظت فلزات مورد بررسی در گیاه افدرا قابلیت تمرکز بیشتر فلزات سنگین در اندام-

های زمینی نسبت به اندام‌های هوایی در این گیاه را نشان می‌دهد. مطلب قابل توجه، تجمع تقریباً یکسان مس در اندام‌های هوایی و زمینی افدرا می‌باشد. شایان ذکر می‌باشد که تراکم پوشش گیاهی افدرا با نزدیک شدن به کانسار و معدن متروکه بیشتر می‌گردد. البته حضور و تراکم بالای افدرا در مجاورت کانسارهای مس در تحقیقات دیگری نیز تأیید گردیده است Payatt (et al., 2000).

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

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

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

مقایسه غلظت عناصر در اندام‌های هوایی و زمینی گونه‌های مورد بررسی در منطقه شاهد (بالادست

منطقه معدنی متروکه) با منطقه معدن متروکه نشان می‌دهد که کانه‌زایی مس بیشترین تأثیر را بر

افزایش تجمع غلظت عنصر مس، روی و منگنز در اندام‌های زمینی درمنه (به ترتیب حدود ۳/۶، ۲/۳،

۲ برابر) داشته‌است. دامنه‌ها و حدود غلظت‌های نرمال و بحرانی فلزات در گیاهان در جدول ۶-۲ آورده شده‌است.

جدول ۶-۲ دامنه غلظت نرمال و بحرانی و حد بحرانی کمبود و سمیت عناصر مورد بررسی در گیاه بر حسب (mg/kg) (حدود استفاده شده در این تحقیق ضخیم شده‌است)

حد بحرانی سمیت	حد بحرانی کمبود	دامنه غلظت بحرانی	دامنه غلظت نرمال	
-	-	۵۱۰-۱۰۰	۱۰/۰۲-۵	نیکل
۲۰-۳۰ ^۹ ۵>۲۰-۳۰	۹۴ ۱۱۵>	۴۲۰-۱۰۰	۱۵-۲۰	مس
-	-	۷۳۰۱۳۰-۳۰۰	۱۰/۲-۳ ۱۰/۲-۵	سرب
۸>۴۰۰	۱۰۲۰> ۲۱۵ ۱۱۱۵-۲۰ ۸۲۰-۲۵>	۷۱۰۰-۴۰۰ ۶۱۰۰-۵۰۰	۹۱-۵۰ ۴۲۷-۱۰۰ ۲۲۷-۱۵۰	روی
۵>۴۰۰ ۹>۵۰۰	۱۱۱۰-۲۰ ۹۲۰> ۵۱۵-۲۵	۲۳۰۰-۵۰۰	۱۱۵-۸۰ ۲۲۰-۳۰۰	منگنز

۱: Alloway (1990)

۲: Kabata-Pendias and Pendias (1984)

۳: Kabata-Pendias and Pendias (1995)

۴: Kabata-Pendias (2001)

۵: Kabata-Pendias and Pendias (2011)

۶: Macnicol and Beckett (1985)

۷: Pias and Jons (1997)

۸: بولت و بروگنورت، (۱۳۷۱)

۹: سالاردینی (۱۳۷۱)

۱۰: ملکوتی (۱۳۷۳)

۱۱: مارشتر (۱۳۸۴)

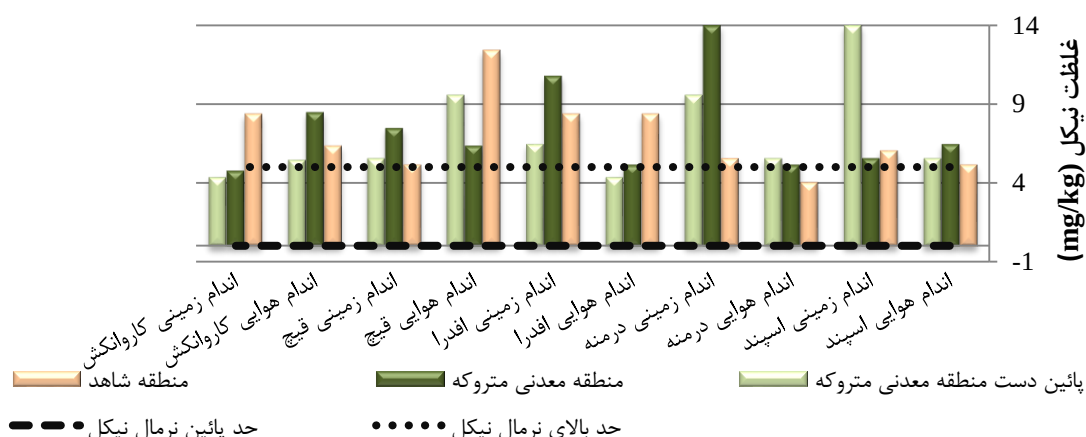
۱۲: فوٹ و الیس (۱۳۷۶)

بطور کلی نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات سنگین در گونه های بومی منطقه را به تفکیک هر فلز می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

(۱) **Ni** : تجمع نیکل در اسفند و افدرا بیشتر در اندام زمینی، در قیچ بیشتر در اندام هوایی در کاروانکش در اندام های زمینی و هوایی دیده شده است. بالاترین تجمع نیکل در مناطق شاهد، معدن متروکه و پائین دست معدن متروکه به ترتیب در اندام هوایی قیچ، اندام زمینی درمنه و اندام زمینی اسفند دیده شده است. تجمع این عنصر در اندام های هوایی و زمینی بسته به گونه گیاهی است (شکل ۶-۹). غلظت نیکل در اندام هوایی اسفند و اندام هوایی درمنه در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد ۱/۲ برابر افزایش نشان می دهد. معدنکاری بیشترین تأثیر را بر افزایش غلظت نیکل در اندام زمینی درمنه نسبت به منطقه شاهد دارد، بنحوی که غلظت نیکل در اندام زمینی درمنه در منطقه معدنی متروکه ۲/۵ برابر منطقه شاهد می باشد. غلظت نیکل در اندام زمینی افدرا در منطقه معدنی متروکه تقریباً ۱/۳ برابر غلظت آن در منطقه شاهد می باشد. نیکل در اندام زمینی قیچ در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد ۱/۴ برابر افزایش غلظت نشان داد. نیکل در اندام هوایی کاروانکش در منطقه معدنی متروکه ۱/۳ برابر نسبت به منطقه شاهد افزایش غلظت نشان می دهد. همچنین مقایسه غلظت این عنصر با مقادیر بحرانی، کمبود و سمیت در گیاهان نشان می دهد که غلظت نیکل در اندام هوایی قیچ در بالادست منطقه معدنی متروکه، در اندام های زمینی افدرا و درمنه در منطقه معدن متروکه و در اندام های زمینی اسفند در منطقه پائین دست معدنکاری در محدوده بحرانی قرار می گیرد. غلظت این عنصر در اندام های زمینی و هوایی گیاهان در سایر مناطق در محدوده نرمال می باشد.

(۲) **Cu** : تجمع مس در اسفند، درمنه، افدرا، قیچ و کاروانکش بیشتر در اندام های زمینی این گیاهان دیده شده است که نشان از تحرک کمتر مس در این گیاهان دارد. بطور کلی مس تحرک بسیار کمی در گیاهان دارد (فوٹ و الیس، ۱۳۷۶). غلظت مس در هیچ کدام از گونه های مورد بررسی در منطقه در محدوده بحرانی کمبود قرار نمی گیرد. بیشترین غلظت مس در منطقه معدنی متروکه بوده و بالاترین تجمع در اندام زمینی درمنه ($52/48 \text{ mg/kg}$) در منطقه معدنی متروکه دیده می شود. مقایسه غلظت

مس در اندام‌های مختلف گونه‌ها در منطقه معدنی متروکه با منطقه شاهد نشان می‌دهد که غلظت مس در اندام هوایی اسفند در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد $1/8$ برابر افزایش نشان داد.



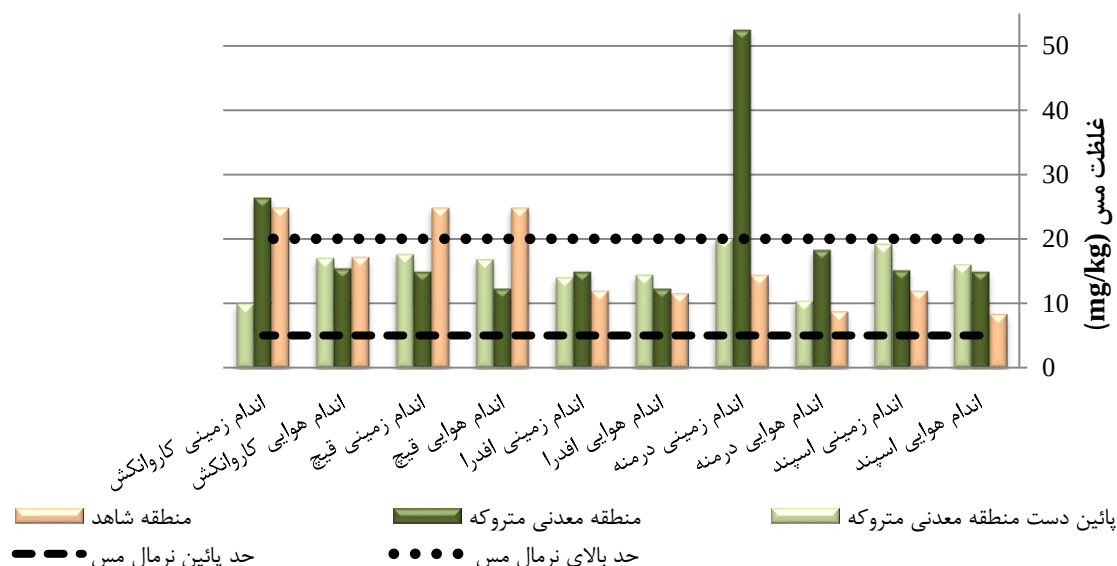
شکل ۶-۹ غلظت نیکل در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام

غلظت مس در اندام زمینی اسفند در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد $1/2$ برابر بیشتر می‌باشد. مس در اندام زمینی درمنه در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد $3/6$ برابر افزایش غلظت نشان داد. غلظت مس در اندام زمینی افدرا در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد $1/2$ بیشتر بود. غلظت مس در اندام‌های هوایی و زمینی قیچ و اندام‌های زمینی کاروانکش در منطقه بالادست معدنی متروکه، در اندام‌های 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 اندام‌های هوایی و زمینی گیاهان در سایر مناطق مورد بررسی در محدوده نرمال می‌باشد (شکل ۶-۱۰).

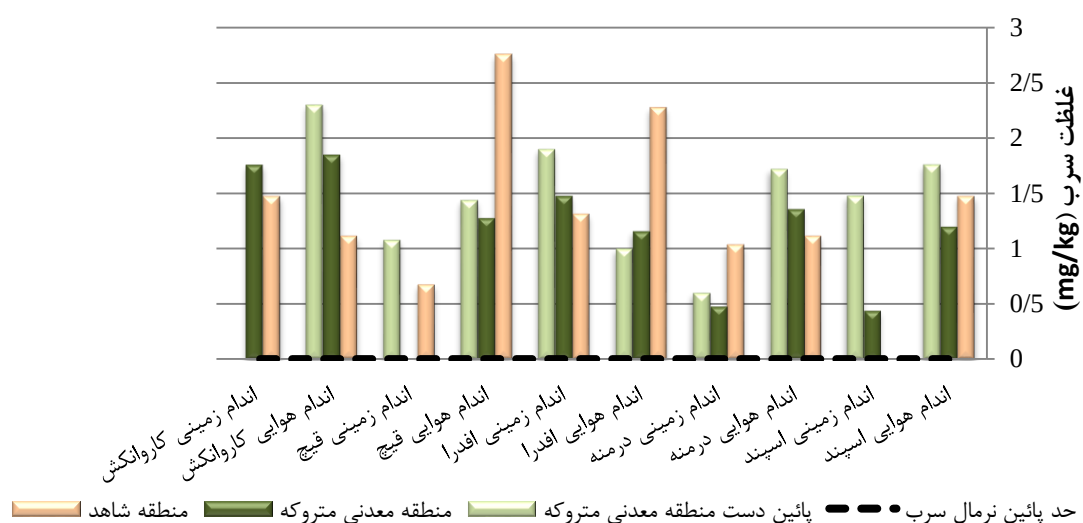
Pb (۳): امکان تجمع سرب در گیاه بسیار پائین است و در همه گیاهان چه در اندام‌های هوایی و چه در اندام‌های زمینی کمتر از 3 mg/kg می‌باشد. تحرک و جابجایی سرب در خاک کم است که سبب شده غلظت ناچیزی از آن به گیاه منتقل شود (بولت و بروگنورت، ۱۳۷۱). غلظت سرب در گونه‌ها به تفکیک

اندام در شکل ۶-۱۱ آورده شده است. بیشترین تجمع در اندام هوایی قیچ ($2/76 \text{ mg/kg}$) و در اندام هوایی کاروانکش ($2/3 \text{ mg/kg}$) به ترتیب در منطقه شاهد و پائین دست معدن متروکه دیده شد. این امر انحلال پذیری اندک سرب در خاک و امکان ورود اندک آن به گیاه را نشان می دهد. معدنکاری مس در این منطقه منجر به افزایش غلظت سرب در گونه های گیاهی مورد بررسی نشده است. غلظت سرب در تمامی نمونه های گیاهی در محدوده نرمال می باشد. غلظت سرب در هیچ نمونه گیاهی مورد بررسی در منطقه، در محدوده بحرانی قرار نمی گیرد (شکل ۶-۱۱).

4) Zn: تجمع روی در اسفند و درمنه و افدرا و کاروانکش بیشتر در اندام زمینی و در قیچ بیشتر در اندام هوایی دیده شد. روی نیز مانند مس در گیاه متحرک نیست و یا به مقدار بسیار ناچیز می تواند به اندام های هوایی منتقل شود و علائم کمبود آن بیشتر در برگها و شاخه های جوان دیده می شود (ملکوتی، ۱۳۷۳). بیشترین غلظت روی در منطقه معدن متروکه است و بیشترین تمرکز روی در این منطقه در اندام زمینی اسفند ($23/2 \text{ mg/kg}$) و در اندام زمینی درمنه ($21/2 \text{ mg/kg}$) دیده شد. روی

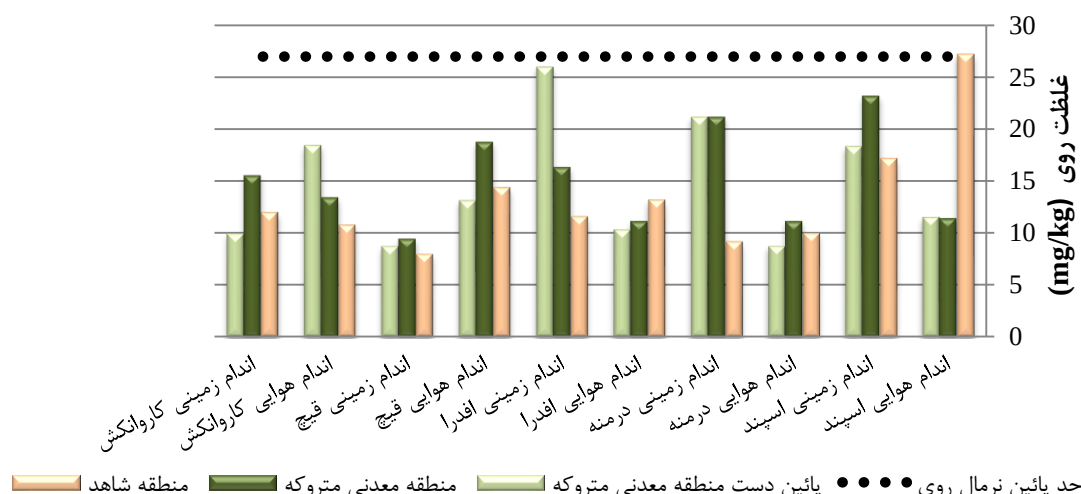


شکل ۶-۱۰ نمودار غلظت مس در گونه های گیاهی منطقه به تفکیک اندام



شکل ۶-۱۱ غلظت سرب در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام

در اندام زمینی اسفند در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد $1/8$ افزایش غلظت دارد. غلظت روی در اندام زمینی درمنه در منطقه معدنی متروکه در مقایسه منطقه شاهد $2/3$ برابر افزایش نشان می‌دهد. غلظت روی در اندام هوایی قیچ و اندام زمینی کاروانکش در منطقه معدنی متروکه نسبت به منطقه شاهد، $1/3$ برابر می‌باشد. روی در منطقه معدنی متروکه در مقایسه با منطقه شاهد $1/2$ برابر افزایش غلظت دارد. غلظت روی در اندام هوایی کاروانکش در منطقه معدنی متروکه $1/2$ برابر بیشتر از غلظت آن در منطقه شاهد است. روی در اندام‌های هوایی اسفند در منطقه شاهد، اندام زمینی درمنه در منطقه معدنی متروکه و اندام زمینی درمنه در پائین - دست معدن متروکه در محدوده نرمال قرار می‌گیرد و در سایر نمونه‌ها زیر حد نرمال می‌باشد. هیچ یک از گونه‌ها نشان‌دهنده غلظت روی در محدوده غلظت بحرانی و سمیت نمی‌باشند (شکل ۶-۱۲).

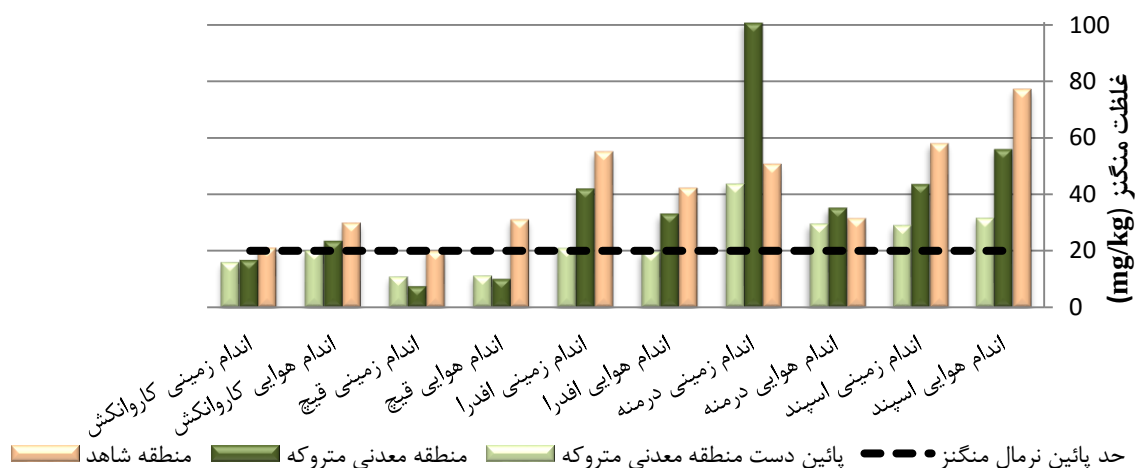


شکل ۶-۱۲ تغییرات غلظت روی در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام

Mn (5): منگنز بطور ناچیز در گیاه تحرک دارد (فوٹ و الیس، ۱۳۷۶). تجمع منگنز در درمنه و افدرا بیشتر در اندام های زمینی و در اسفند، قیچ و کاروانکش در اندام‌های هوایی دیده شد. بالاترین مقدار منگنز در خاک منطقه معدن متروکه بوده است که در این منطقه، بیشترین تمرکز در اندام زمینی درمنه (10.8 mg/kg) و در اندام هوایی اسفند (56 mg/kg) دیده شد. غلظت منگنز در اندام زمینی درمنه در منطقه معدنی متروکه در مقایسه با منطقه شاهد، ۲ برابر بیشتر می‌باشد. غلظت این عنصر در اندام‌های قیچ و اندام زمینی کاروانکش در منطقه معدنی متروکه و نیز در اندام زمینی اسفند و اندام‌های قیچ و نیز اندام زمینی کاروانکش در پائین دست منطقه معدنی متروکه در محدوده بحرانی کمبود قرار می‌گیرد. غلظت منگنز در دیگر نمونه‌ها در محدوده نرمال قرار می‌گیرد (شکل ۶-۱۳).

۴-۶- ارزیابی شاخص‌های بیوژئوشیمیایی در گیاهان مورد بررسی

در بسیاری از تحقیقات زیست‌محیطی با تعیین میزان شاخص های بیوژئوشیمیایی مختلف و با ارزیابی میزان توانایی گیاه در انباشت فلزات سنگین موجود در خاک و انتقال آن از ریشه به ساقه، می‌توان گونه‌های انباشت کننده، دفع کننده را شناسایی کرده و از آنها جهت نیل به اهدافی چون گیاه‌پالایی



شکل ۶-۱۳ تغییرات غلظت منگنز در گونه‌های گیاهی به تفکیک اندام

مناطق آلوده به فلزات سنگین، تثبیت فلز سنگین در ریشه گیاه و ممانعت از ورود آن به بخش‌های هوایی و قابل برداشت و همچنین استخراج فلزات سنگین از خاک استفاده نمود.

۶-۴-۱- فاکتور انتقال

فاکتور انتقال یا Translocation Factor (TF)، یکی از شاخص‌های زیستی جهت برآورد تمرکز و تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاه می‌باشد. این فاکتور عبارت از نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در اندام‌های زمینی گیاه است. این شاخص بیانگر میزان توانایی گیاه در انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام‌های هوایی می‌باشد که با استفاده از رابطه ۶-۱ محاسبه می‌شود.

(Vyslouzilova et al., 2003 ; Sun et al., 2008 ; Soltz and Greger, 2002 ; Yoon et al., 2006 ; Ma et al., 2001; Deng et al., 2004; Santillanet al., 2010)

$$TF = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در اندام هوایی}}{\text{غلظت مورد نظر در اندام زمینی}} \quad \text{رابطه ۶-۱}$$

با توجه به نتایج بدست آمده از میانگین فاکتور انتقال گیاهان (جدول ۶-۳) بیشترین میزان فاکتور انتقال در ۵ گونه گیاهی مورد بررسی، مربوط به عنصر سرب می‌باشد، که نشان می‌دهد سرب بیشتر

تمایل دارد در اندام‌های هوایی این گیاهان متمرکز شود. در واقع این عنصر تحرک خوبی در گونه‌های ذکر شده دارد. بیشترین میزان فاکتور انتقال سرب در گونه قیچ (۲/۷۶) می‌باشد، که نشان می‌دهد این گونه در منطقه در مقایسه با سایر گونه‌ها توانایی بیشتری در انتقال سرب به اندام‌های هوایی خود دارد. عنصر مس کمترین مقادیر فاکتور انتقال را در اسفند، درمنه، قیچ و کاروانکش داشته است. این امر تحرک‌پذیری کم این عنصر را در پیکره گیاه و تمایل مس را به تجمع در اندام‌های زمینی گیاه روشن می‌سازد. مقادیر TF مرتبط با نیکل در گونه‌های گیاهی مورد بررسی بجز قیچ و کاروانکش در سایر گونه‌ها کمتر از ۱ می‌باشد.

۶-۴-۲- فاکتور تمرکز زیستی

فاکتور تمرکز زیستی یا Bioconcentration Factor (BCF)، یکی از فاکتورهای مهمی است که برای اندازه‌گیری میزان تمرکز عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که از رابطه ۶-۲ بدست می‌آید (Yoon et al., 2006; Vyslouzilova et al., 2003).

$$\text{BCF} = \frac{\text{غلظت فلز مورد نظر در اندام‌های زمینی}}{\text{غلظت فلز مورد نظر در خاک}} \quad \text{رابطه ۶-۲}$$

در واقع این فاکتور امکان زیستی ورود عناصر به پیکره گیاهان از خاک را برای هر گیاه معلوم می‌سازد. میانگین فاکتورهای تمرکز زیستی محاسبه شده برای گیاهان مورد بررسی در ارتباط با عناصر نیکل، مس، سرب، روی و منگنز در جدول ۶-۳ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که بطور کلی مقادیر فاکتورهای تمرکز زیستی محاسبه شده در تمام گیاهان برای تمام عناصر مورد بررسی کمتر از ۰/۵ می‌باشد. این بدان معناست که غلظت عناصر در خاک منطقه همیشه بیش از ۲ برابر غلظت این عناصر در ریشه گیاهان در منطقه می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر BCF به ترتیب مربوط به عنصر روی در گیاه اسفند (۰/۲۶) و عنصر منگنز در قیچ (۰/۰۱) می‌باشد.

۶-۴-۳- فاکتور غنی شدگی

فاکتور غنی شدگی یا (EF) Enrichment Factor، شاخصی است که بیان کننده میزان انتقال فلز از خاک به اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد که از رابطه ۶-۳ بدست می‌آید و عبارت از نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی به غلظت فلز در خاک می‌باشد (Vyslouzilova et al., 2003 ; Branquinho et al., 2006).

$$EF = \frac{\text{غلظت فلز مورد نظر در اندام‌های هوایی}}{\text{غلظت فلز مورد نظر در خاک}} \quad \text{رابطه ۶-۳}$$

میانگین فاکتورهای غنی‌شدگی محاسبه شده برای گیاهان مورد بررسی در ارتباط با عناصر نیکل، مس، سرب، روی و منگنز در جدول ۶-۳ آورده شده است. بیشترین میزان فاکتور غنی‌شدگی در گونه‌های مورد بررسی مربوط به عنصر روی در گونه اسفند (۰/۲۳) بوده و نشان می‌دهد روی در اندام‌های هوایی اسفند بیشتر از سایر گونه‌ها متمرکز می‌شود. نتایج مطالعات دیگر محققین نیز نشان می‌دهد که روی بیشتر در بخش‌های فعال گیاه چون برگ‌ها و شاخه‌های جوان و گل‌ها متمرکز می‌شود (سالاردینی، ۱۳۷۱). شایان ذکر می‌باشد که بیشترین مقادیر EF برای عناصر مورد بررسی در هر گیاه مربوط به عنصر روی (۰/۲۳، ۰/۱۳، ۰/۱۶، ۰/۲، و ۰/۱۹) به ترتیب در اسفند، درمنه، افدرا و قیچ و در گیاه کاروانکش مربوط به عنصر منگنز می‌باشد.

بر طبق نتایج مطالعات محققین، گیاهانی که دارای فاکتور تمرکز زیستی و فاکتور انتقال بیش از یک باشند، می‌توان جهت استخراج گیاهی (Phytoextraction) عناصر از خاک استفاده نمود. همچنین گیاهان که دارای فاکتور تمرکز زیستی بیش از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک، جهت تثبیت گیاهی (Phytostabilization) عناصر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گیاهان مانع از انتقال فلز به اندام‌های هوایی شده و فلز را در ریشه خود متمرکز و تثبیت می‌کنند. گیاهانی که میزان فاکتور غنی شدگی محاسبه شده برای آنان بیش از یک باشد به عنوان گیاهان فرا انباشت کننده محسوب می‌شوند.

مقادیر کمتر از ۱ برای فاکتور انتقال نشان از تمایل بیشتر گیاه به تجمع عنصر در اندام‌های زمینی

جدول ۶-۳ میانگین مقادیر فاکتورهای بیوژئوشیمیایی محاسبه شده در گیاهان مورد مطالعه در منطقه (کمترین و

بیشترین مقادیر محاسبه شده برای هر فاکتور در هر گیاه و مربوط به هر عنصر، ضخیم شده است)

کاروانکش			قیچ			افدرا			درمنه			اسفند			فلز
EF	BCF	TF	EF	BCF	TF	EF	BCF	TF	EF	BCF	TF	EF	BCF	TF	
0.1	0.08	1.26	0.13	0.09	1.65	0.09	0.13	0.72	0.07	0.16	0.56	0.09	0.15	0.80	Ni
0.16	0.13	0.99	0.18	0.19	0.93	0.12	0.12	0.94	0.09	0.17	0.49	0.12	0.15	0.84	Cu
0.08	0.05	2.35	0.08	0.04	2.76	0.07	0.07	1.01	0.06	0.03	2.26	0.07	0.04	2.42	Pb
0.19	0.16	1.21	0.20	0.11	1.76	0.16	0.24	0.74	0.13	0.22	0.68	0.23	0.26	0.9	Zn
0.03	0.02	1.35	0.13	0.01	1.31	0.04	0.04	0.8	0.03	0.08	0.55	0.06	0.05	1.24	Mn

نسبت به اندام هوایی و در واقع تحرک کم عنصر در اندامهای گیاهی دارد. انحلال پذیری عنصر در مایعات بافتی و متابولیسم حاکم بر گونه گیاهی از جمله عوامل اصلی در تعیین مقادیر این پارامتر می باشد (McGrath and Zhao, 2003 ; Yanqun et al., 2005 ; yoon et al., 2006). مقایسه نتایج محققین با نتایج بدست آمده از محاسبه فاکتورهای انتقال، تمرکز زیستی، غنی شدگی در گیاهان مورد بررسی در ارتباط با عناصر انتخاب شده (مس ، سرب ، روی ، نیکل و منگنز) نشان می دهد که نمی توان از هیچ یک از گیاهان منطقه برای استخراج گیاهی، تثبیت گیاهی، استفاده نمود و همچنین این گیاهان از جمله گیاهان فرا انباشت کننده در منطقه محسوب نمی شوند.

۶-۵- زیست دسترس پذیری

زیست دسترس پذیری در اصطلاح به بخشی از غلظت کل فلز موجود در خاک یا رسوب گفته می شود که براحتی در دسترس موجودات دریافت کننده آن مانند گیاه می باشد یا به پتانسیل جذب یک ترکیب شیمیایی از غذا یا محیط غیر زنده خاک، توسط موجودات زنده و شرکت دادن آن در متابولیسم خود، گفته می شود (NRC, 2003). نسبت زیست دسترس پذیری یک عنصر یا ترکیب نسبت به غلظت کل آن، به عنوان شاخص کلیدی برای برآورد پتانسیل خطر آن عنصر یا ترکیب برای سلامت موجود زنده

مصرف کننده آن، مورد استفاده قرار می گیرد (Ruby et al., 1999 ; Milton and Johnson, 1999 ; Adriano et al., 2004). زیست دسترس پذیری فلزات و پتانسیل جذب آنان توسط بخشی از فلزات که در محلول خاک وجود دارد، نسبت به غلظت کل فلزات موجود در فاز جامد خاک، تعیین می شود

(Moffett and Brand, 1996). زیست دسترس پذیری عناصر در گیاهان بستگی به عوامل مختلف از جمله شرایط فیزیولوژیکی، سن، جنس و متابولیسم حاکم بر گیاهان، شرایط فیزیوشیمیایی و بیولوژیکی موجود در خاک منطقه و همچنین شرایط اقلیمی منطقه رشد گیاه دارد (Fitter and Hay, 1981; Greger M, 2003). میزان دسترس پذیری زیستی برای عناصر مس، سرب و روی در منطقه شاهد، معدن متروکه و پائین دست آن محاسبه و در جدول ۴-۶ آورده شده است. بطور کلی به دلیل قلیایی بودن خاک منطقه، درصد زیست دسترس پذیری فلزات مس، سرب و روی در خاک منطقه پائین می باشد. با نزدیک شدن به کانسار و منطقه معدنی متروکه درصد زیست دسترس پذیری فلزات مورد بررسی کاهش می یابد زیرا این فلزات به عنوان فلز همراه کانه مس (Alloway, 1995) محسوب می شوند و بیشتر در ساختار سیلیکات ها، اکسیدها، سولفیدها حضور دارند و کمتر در بخش های قابل تبادل خاک حضور دارند. می توان گفت در مورد تمامی گونه های مورد بررسی به استثنای قیچ این رابطه حاکم است: $TF_{Pb} > TF_{Zn} > TF_{Cu}$. با توجه به اینکه بیشترین مقادیر فاکتور انتقال در مورد گونه های مورد بررسی مربوط به سرب بوده و نشان می دهد که سرب در پیکره گیاه قابلیت تحرک و انتقال خوبی دارد و از طرفی نتایج زیست دسترس پذیری هم معلوم می سازد که بیشترین قابلیت تحرک مربوط به سرب بوده است، این مطلب نیز تأییدی بر بالا بودن TF_{Pb} می باشد. بالاترین زیست دسترس پذیری در مورد هر سه عنصر مربوط به منطقه شاهد می باشد. مقدار زیست دسترس پذیری در هر منطقه به این ترتیب می باشد: $Pb > Zn > Cu$. با وجود اینکه سرب درصد زیست دسترس پذیری بیشتری نسبت به مس و روی دارد با این حال به مقدار کمتری نسبت به آنها، توسط گیاهان منطقه جذب و تغلیظ شده است. با توجه به اینکه مس موجود در خاک که بیشتر تمایل به جذب شدن توسط

مواد آلی و تشکیل کمپلکس‌های آلی دارد (Dahrazma and Mulligan, 2004 ; Ristic et al., 2006) ;
 مواد آلی و تشکیل کمپلکس‌های آلی دارد (Stevenson, 1976 ; Stevenson, 1991 ; Jeffery and Uren, 1983)
 درصد ماده آلی در کل منطقه، کمپلکس‌های آلی مس مهمترین تأثیر را بر زیست دسترس پذیری و
 مهاجرت مس در خاک دارد. زیست دسترس پذیری اشکال محلول مس بستگی به غلظت و وزن
 ملکولی کمپلکس دارد (Kabata-Pendias ., 2011).

جدول ۴-۶ مقادیر زیست دسترس پذیری عناصر مس، سرب و روی در نمونه‌های خاک منطقه

دسترس پذیری زیستی (%)			
عناصر	منطقه شاهد	منطقه معدنی متروکه	پائین دست منطقه معدنی متروکه
مس	۲/۱۵	۰/۰۱۸	۲/۴۵
سرب	۵۵/۱	۳۲/۲۹	۵۲/۴
روی	۴۹/۲۳	۱۰/۳۳	۱۱/۳۶

فصل ہفتم

نتیجہ گیری و مشاہدات

۷-۱- مقدمه

کانسار مس چغندر سر در منطقه چغندر سر با وسعت تقریبی ۲۸ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی $۵۶^{\circ}۱۲'۱۱''$ تا $۵۶^{\circ}۱۲'۱۵''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $۳۶^{\circ}۲۲'۳''$ تا شرقی قرار گرفته است. این منطقه در استان سمنان، در ۱۳۵ کیلومتری جاده شاهرود به سبزوار واقع شده است. پس از عبور از بخش میاندشت و طی ۹ کیلومتر به سمت جنوب غرب در جاده فرعی خاکی، تونل و آثار کنده‌کاری قدیمی کانسار مس چغندر سر قابل مشاهده است. این منطقه از لحاظ آب و هوایی، دارای آب و هوایی خشک است. خاک منطقه متأثر از سنگهای آتشفشانی و کانسار مس چغندر سر می‌باشد. منطقه از لحاظ کاربری اراضی، مرتع محسوب می‌شود و گیاهان منطقه گذشته از استفاده دارویی، مورد چرای دام نیز واقع می‌شوند با توجه به اهمیت پوشش گیاهی خاص منطقه که دارویی و منبع غذایی دامهاست. با توجه به اینکه تنها منبع آلاینده خاک و گیاهان منطقه، منبع زمین‌زاد (سنگ‌های منطقه و معدن متروکه مس) می‌باشد این تحقیق با هدف بررسی تأثیر معدن متروکه مس و سنگ‌های آتشفشانی منطقه بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه پایه گذاری و اجرا گردید.

جهت نیل به این هدف جهت نیل به این هدف تعداد ۱۹ نمونه سنگی، ۲۸ نمونه خاک و ۱۵ نمونه گیاه از ۵ گونه مختلف شامل اسپند (*Peganum harmala*)، درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*)، افرا (*Ephedra strobilacea*)، قیچ (*Zygophyllum eurypterum*)، کاروانکش (*spinososa*)، برداشت شد. غلظت فلزات سنگین مس، سرب، روی و نیکل در گونه‌های گیاهی به روش AAS اندازه‌گیری شد. غلظت فلزات سنگین مس، نقره، آرسنیک، کادمیم، کروم، منگنز، نیکل، سرب، روی و وانادیم در نمونه‌های خاک و سنگ با روش ICP-OES تعیین شد. برای تعیین کانی‌های موجود در سنگهای منطقه و انجام مطالعات کانی‌شناسی مقاطع نازک از آنها تهیه شد. همچنین

پارامترهای EC, pH, CEC، درصد کربنات کلسیم، درصد ماده آلی و بافت خاک تعیین شد. به منظور تفسیر داده‌ها و نتایج بدست آمده از این تحقیق، از نرم‌افزارهای Arc Gis 9.3, SPSS 16 استفاده شد. نقشه پهنه‌بندی عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در خاک منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۷-۲- مطالعات زمین‌شناسی منطقه

منطقه چغندرسر در تقسیم‌بندی ساختاری ایران از نظر آقانباتی (۱۳۸۳) بخشی از نوار آتشفشانی ایران مرکزی می‌باشد که در لبه شمالی زون ایران مرکزی (شرق استان سمنان) قرار دارد.

واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل سنگهای آذرین آتشفشانی با ترکیب بازیک (تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالتی) و واحدهای آتشفشانی _ رسوبی و رسوبی (شیل و ماسه سنگ توفی، آهک نومولیت دار، ماسه سنگ قرمز) متعلق به محیط رسوبی کم عمق تا نیمه عمیق می‌باشند.

کانسار مس چغندرسر به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، جایگزینی می‌باشد. کانه‌زایی مس در منطقه عباس‌آباد قابل توجه می‌باشد و اثرات این کانه‌زایی در محدوده مورد مطالعه و در سطح سنگها به صورت کانه های مالاکیت و کالکوسیت و به صورت رگچه یا لکه هایی در داخل سنگهای تراکی آندزیت پورفیری تشکیل شده‌اند. کانیهای مس کالکوسیت، دژنیت، بورنیت، کوولیت، مس ناتپو، مالاکیت و آزوریت بصورت اولیه و ثانویه در انواع سنگهای آندزیتی _ بازالتی، تراکیتی و توف می- باشد. وجود میانبارهای اکسیدهای آهن مگنتیت و هماتیت بصورت پراکنده در کالکوسیت نشان می‌دهد که در زمان تشکیل کانسار درجه حرارت و فوگاسیته اکسیژن بالا بوده است. کانی باطله کلسیت است و عیار مس کانسار ۲/۲۳٪ تخمین زده شده است. ژئولیت عمدتاً به صورت شعاعی- اسفرولیتی همراه با آنالسیم، کلسیت و کلریت درون گدازه‌های ائوسن و عمدتاً در تراکی بازالت‌ها دیده می‌شود که اندازه و پراکندگی آنها در قسمت‌های مختلف با هم متفاوت است.

۷-۳- تأثیر کانه‌زایی بر کیفیت خاک منطقه

pH- خاک منطقه بطور کلی بین ۸ تا ۸/۹ می‌باشد و در رده قلیایی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد. قلیایی بودن خاک منطقه را می‌توان به علت فرسایش و هوازدگی سنگ‌های بازالتی و خروج کلسیم و سدیم از پلاژیوکلازهای بازیک و پیروکسن‌های سدیم و کلسیم دار با ترکیب اوزیتی دانست.

- میزان هدایت الکتریکی خاک منطقه بین $8/89 \mu S/cm$ تا $277 \mu S/cm$ می‌باشد. خاک محل کانسار وکنده‌کاری‌های قدیمی معدن متروکه مس دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی است ($277 \mu S/cm$) که علت آن را می‌توان حضور یون‌های سولفات ناشی از هوازدگی و شستشوی کانی‌های کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت دانست.

- مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک منطقه بین $8/44 \text{ meq}/100g$ تا $18/06 \text{ meq}/100g$ می‌باشد.

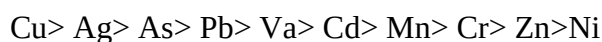
- مقدار ماده آلی خاک منطقه بین $2/27\%$ تا $3/90\%$ می‌باشد. بیشترین درصد ماده آلی خاک در اطراف کانسار و منطقه معدنی متروکه و نیز در سمت شمال غرب منطقه مشاهده می‌شود که می‌تواند به علت وجود آغل‌های فصلی دام‌های ساکنین اطراف و چرای محلی باشد. همچنین افزایش تراکم پوشش گیاهی بیابانی و مرتع در نزدیکی معدن متروکه هم در افزایش درصد ماده‌آلی مؤثر بوده‌است.

- مقدار کربنات کلسیم خاک منطقه بین $2/44\%$ تا $5/94\%$ قرار می‌گیرد. بیشترین میزان کربنات کلسیم در نمونه‌های خاک ($5/94\%$) در محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی آن به دلیل حضور کلسیت بصورت پراکنده در منطقه، در قالب کانی فرعی کلسیت، وجود دگرسانی کربناتی و رگه‌های کلسیتی و همچنین کلسیم آزاد شده از دگرسانی پلاژیوکلاز و پیروکسن‌ها که فراوانترین کانی‌های سنگهای منطقه هستند، می‌باشد.

- بافت خاک منطقه بطور کلی در ۳ دسته ماسه‌ای، ماسه لومی و لوم ماسه‌ای می‌باشد.

- بیشترین غلظت عناصر مس (7122 ppm)، نقره (1/9 ppm)، آرسنیک (8/9 ppm)، کادمیم (1 ppm)، منگنز (1023 ppm)، سرب (34 ppm) و روی (96 ppm) در خاک محل کانسار و کنده-کاری‌های قدیمی معدن متروکه مس مشاهده می‌شود. علت آن را می‌توان رفتار ژئوشیمیایی تقریباً مشابه نقره، مس، سرب، روی، آرسنیک و کادمیم دانست که جزء عناصر کالکوفیل می‌باشند. افزایش مقدار منگنز در خاک محل کانسار و کنده‌کاری‌های قدیمی معدن متروکه مس بیشتر متأثر از عملکرد سیالات گرمابی است که باعث شده آهن و منگنز را از ترکیباتی نظیر الیوین، پیروکسن و مگنتیت خارج کند و به درون سنگ‌های اطراف منتشر سازد و یا در درزه‌ها و شکستگی‌ها متمرکز کند. عدم تطابق مس با نیکل می‌تواند بیانگر آن باشد که در کانی‌های مس‌دار نیکل جایگزین مس نشده‌است. کانه‌زایی بر تغییرات غلظت تمامی عناصر مورد بررسی به استثنای وانادیم، کروم و نیکل مؤثر بوده - است. میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب و نیکل در خاک منطقه بیشتر از میانگین غلظت آنها در سنگ‌های منطقه می‌باشد که نشان می‌دهد این عناصر در طی زمان از سنگ مادر شسته شده و در خاک مجتمع شده است. میانگین غلظت سایر عناصر مشابه و یا بسیار نزدیک به میانگین غلظت آنها در سنگ‌های منطقه می‌باشد.

- محاسبه فاکتور غنی‌شدگی خاک منطقه نشان می‌دهد که مقادیر میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر به ترتیب زیر می‌باشد:



بیشترین مقدار میانگین فاکتور غنی‌شدگی مربوط به فلز مس (8/6) می‌باشد که نشان می‌دهد خاک منطقه بطور کلی نسبت به مس غنی‌شدگی نسبتاً شدید دارد. میانگین غنی‌شدگی نقره در خاک منطقه 7/05 می‌باشد که نشان‌دهنده غنی‌شدگی نسبتاً شدید خاک منطقه نسبت به نقره می‌باشد. میانگین فاکتور غنی‌شدگی آرسنیک، 3/7 می‌باشد که بیانگر غنی‌شدگی متوسط خاک

منطقه نسبت به آرسنیک است. محاسبه میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای سایر عناصر نشان‌دهنده غنی‌شدگی اندک خاک منطقه نسبت به آنها می‌باشد.

- مقادیر میانگین شاخص زمین‌انباشت برای عناصر در خاک به ترتیب زیر کاهش می‌یابد:

$$\text{Cu-Va} > \text{Cr-Ni} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Ag}$$

بیشترین مقدار میانگین شاخص زمین‌انباشت مربوط به مس و وانادیم (۰/۱۳) می‌باشد که نشان می‌دهد خاک منطقه نسبت به این عناصر بدون آلودگی تا آلودگی متوسط می‌باشد. مقدار میانگین شاخص زمین‌انباشت برای سایر عناصر نشان می‌دهد خاک منطقه نسبت به این عناصر بدون آلودگی می‌باشد.

بیشترین مقدار میانگین فاکتور آلودگی مربوط به عنصر مس (۸/۳۳) می‌باشد و آلودگی بسیار بالای خاک منطقه به مس را نشان می‌دهد. میانگین مقادیر فاکتور آلودگی برای عناصر به ترتیب زیر کاهش می‌یابد:

$$\text{Cu} > \text{Ag} > \text{Va} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{As}$$

مقدار میانگین فاکتور آلودگی محاسبه شده برای نقره ۴/۵ می‌باشد که بیانگر آلودگی قابل توجه خاک منطقه نسبت به نقره می‌باشد. مقدار میانگین فاکتور آلودگی محاسبه شده برای عناصر کروم، منگنز، نیکل، سرب و وانادیم نشان می‌دهد خاک منطقه دارای آلودگی متوسط نسبت به این عناصر می‌باشد. همچنین مقدار میانگین فاکتور آلودگی عناصر آرسنیک، کادمیم و روی، نشان‌دهنده آلودگی پائین خاک منطقه نسبت به این عناصر می‌باشد.

۷-۴- تأثیر کانه‌زایی بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان بومی منطقه

در بین گونه‌ها درمنه بالاترین تجمع مس، منگنز و نیکل را دارد. اسفند بیشترین تجمع نیکل و روی را نشان داده است و قیچ بالاترین تجمع سرب را نشان می‌دهد. بیشترین میزان فاکتور انتقال مربوط به سرب در گونه قیچ (۲/۷۶) می‌باشد. بیشترین مقدار تمرکز زیستی مربوط به عنصر روی در گیاه اسپند (۰/۲۶) می‌باشد. بیشترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به عنصر روی (۰/۲۳) در اسپند می‌باشد. تنها غلظت مس و نیکل در برخی گونه‌ها در محدوده بحرانی قرار می‌گیرد. غلظت مس در اندام‌های هوایی و زمینی قیچ و اندام‌های زمینی کاروانکش در منطقه بالادست معدنی متروکه، در اندام‌های زمینی درمنه و کاروانکش در منطقه معدنکاری و در اندام‌های زمینی درمنه در منطقه پائین‌دست معدن متروکه در محدوده بحرانی قرار می‌گیرد. غلظت نیکل در اندام هوایی قیچ در بالادست منطقه معدنی متروکه، در اندام‌های زمینی افدرا و درمنه در منطقه معدن متروکه و در اندام‌های زمینی اسپند در منطقه پائین دست معدنکاری در محدوده بحرانی قرار می‌گیرد. بطورکلی با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان گفت که کانه‌زایی مس در منطقه معدنی چغندرسر تأثیر بسزایی در غلظت و توزیع عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه داشته‌است. درصد دسترس‌پذیری زیستی سرب، مس و روی در خاک منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

بطورکلی درصد دسترس‌پذیری زیستی سرب نسبت به روی و مس بیشتر می‌باشد. درصد دسترس‌پذیری زیستی فلزات مورد بررسی از منطقه شاهد به سمت منطقه معدنی متروکه کاهش می‌یابد. دلیل آن را می‌توان این‌گونه ذکر کرد که در منطقه معدنی متروکه این فلزات بیشتر در بخش‌هایی غیر از بخش قابل تبادل خاک، مانند بخش متصل به اکسیدها و هیدروکسیدها و بخش باقیمانده (بخش موجود در شبکه و ساختار کانایی)، حضور دارد.

۷-۵- پیشنهادات

- پیشنهادات مدیریتی

حصارکشی اطراف معدن متروکه و جلوگیری از چرای دام‌ها در اطراف معدن به دلیل تأثیر کانه‌زایی و معدن متروکه و بهسازی منطقه جهت کاهش عوارض سوء زیست‌محیطی آن.

- پیشنهادات برای انجام تحقیقات آتی در منطقه

- **بررسی آلودگی منابع آب منطقه:** با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه تعداد زیادی چاه و چشمه وجود دارد که آب آنها جهت مصارف دام (دام‌هایی که از روستاهای اطراف جهت چرا به مرتع آورده می‌شوند) و کشاورزی محدود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به اینکه منطقه چغندرسر جزء منطقه حفاظت شده پارک ملی توران محسوب می‌شود و زیستگاه گونه‌های جانوری کمیابی چون یوزپلنگ آسیایی می‌باشد که از منابع آب منطقه استفاده می‌کنند و از سویی دیگر با توجه به تأثیر کانه‌زایی بر آلودگی خاک منطقه با فلزات سنگین، احتمال آلودگی آب منطقه وجود دارد و بررسی آلودگی منابع آب منطقه به فلزات سنگین و همچنین بررسی هیدروژئوشیمی این منابع پیشنهاد می‌شود.

- **بررسی و مطالعه زمین‌پزشکی منطقه:** با توجه به تأثیر کانه‌زایی بر غلظت عناصر سنگین در گیاهان منطقه و انتقال این عناصر به بدن جانوران و به طور غیر مستقیم به بدن انسان‌های تغذیه کننده از دام و گیاهان دارویی منطقه، انجام و تکمیل مطالعات زمین‌پزشکی در منطقه توصیه می‌گردد.

منابع فارسی

آقانباتی ع، (۱۳۴۹)، پایان نامه ارشد : "زمین شناسی منطقه فرومد و عباس آباد"، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ص ۷۴.

آقانباتی ع، (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران". انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ص ۵۸۶.

اداره منابع طبیعی شاهرود، طرح مرتعداری قلقله نو (۱۳۸۷).

استوارزاده ح، محمدی مبارکه س، محمد حسنی جور ف (۱۳۸۹)، "گیاه پالایی فلز سنگین مس از خاک معدن مس سرچشمه کرمان"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست تهران .

اسلامی ا، کشاورزی ب، دهقانی ش، مر ف (۱۳۸۹)، "تعیین غلظت عناصر کمیاب در خاک و گیاهان معدن مس میدوک"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

اطلس راههای ایران. (۱۳۸۴).

بادامه ع، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: "پتروژنز سنگهای آتشفشانی منطقه میاندشت (شرق شاهرود)"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود. ص ۱۳۰.

بارویانت و ، (۱۹۷۰)، پایان نامه ارشد : "زمین شناسی و تکتونیک منطقه غرب عباس آباد"، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ص ۷۶.

بلمکی ب، همکاران، (۱۳۸۸)، "مطالعه و پایش زیست محیطی معدن بابا علی در شهرستان بهار"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

بولت و بروگنورت، (۱۳۷۱) "شیمی خاک". جلد اول، کریمیان ن ، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ص ۲۹۸.

تاجبخش پ، خوئی ناصر، قربانی م (۱۳۷۸) "کانسارهای مس در ایران". سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ص ۴۲۱.

توسلی ع و لطفی م، (۱۳۸۶)، "تعیین محیط تکتونوماگمایی منطقه معدنی چغندر سر با نگرشی به

عوامل کانه زایی (خاورستان سمنان - شمال خاوری ایران) ". بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

سالاردینی ع، (۱۳۷۱) " حاصلخیزی خاک ". چاپ چهارم، دانشگاه تهران، ص ۴۴۱.

حسین پور ع، (۱۳۸۷) " شیمی و حاصلخیزی خاک ". انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۲۲۰.

خسروتهرانی خ، (۱۳۸۳) " زمین شناسی ایران ". دانشگاه پیام نور، ص ۳۲۷.

خلعتبری م، (۱۳۸۰)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس آباد، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.

درویش زاده ع، (۱۳۸۵)، " زمین شناسی ایران (چینه شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم) ". مؤسسه انتشارات امیرکبیر، تهران، ص ۴۳۴.

رشید ح، (۱۳۷۶)، پایان نامه ارشد: " ولکانیسم ترشیر منطقه عباس آباد (غرب سبزوار- ایران مرکزی) ". دانشکده علوم. دانشگاه تبریز. ص ۲۵۵.

صادق زاده ش، (۱۳۷۷)، پایان نامه ارشد: " پترولوژی سنگ های آتشفشانی منطقه شمال شرق میاندشت ". دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی. ص ۲۱۴.

عرفانی ح، (۱۳۶۵) " زمین شناسی اقتصادی کانسارها ۱ ". مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۱۷.

علی پور ص، (۱۳۸۴) " مبانی اکتشافات بیوزئوشیمیایی در کشف ذخایر معدنی و مطالعات زیست محیطی ". انتشارات دانشگاه ارومیه، ص ۳۱۹.

علی نیا ف، دهقان نژاد م، (۱۳۸۳)، " مطالعات زمین شناسی اقتصادی ژئوشیمیایی معادن مس عباس آباد شاهرود و برآورد پتانسیل معدنی آنها"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص ۱۰، تهران.

فوٹ اچ دی و الیس ب ج، (۱۳۷۶) " حاصلخیزی خاک ". نوربخش ف، کریمیان اقبال م، انتشارات غزل، اصفهان، ص ۳۲۷.

قربانی م، (۱۳۸۷) " زمین شناسی اقتصادی (کانسارها و نشانه های معدنی ایران) "، آراین

زمین، تهران، ص ۶۳۹.

کرباسی ع ، بیاتی آ، (۱۳۸۶) "ژئوشیمی زیست محیطی". مؤسسه انتشاراتی کاوش قلم. ص ۲۵۸.

کریمی ه، (۱۳۸۱) "فرهنگ رستنی‌های ایران- (گیاهان)". نشر پرچم، تهران، ص ۱۲۰۰.

مارشدر ه، (۱۳۸۴) "تغذیه معدنی گیاهان آلی". جلد اول، خلدبرین ب، اسلام زاده ط، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز، ص ۴۹۵.

مبین ص، (۱۳۷۴) "رستنی‌های ایران (فلور گیاهان آوندی)". جلد چهارم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۳۵.

محمدرضا خانی ده عباسی م ، فکری م ، سرچشمه پور مهدی ، (۱۳۹۰)، "بررسی غلظت عناصر مس و روی در اندام هوایی و ریشه گیاه درمنه کوهی در خاک‌های آلوده ارتفاعات لاشکار معدن مس سرچشمه"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

محمدی م، شیروانی ماهانی س ، حق نیا غ ، (۱۳۸۵)، "مقادیر جذب روی و کادمیم در تربچه و شاهی و بررسی اثرات متقابل آنها"، همایش خاک محیط زیست و توسعه.

مظفریان و ا، (۱۳۷۵) "فرهنگ نامهای گیاهان ایران". چاپ نوبهار، تهران، ص ۵۹۴.

ملکوتی م ج، (۱۳۷۳) "حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها)". چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ص ۴۹۴.

ملکوتی م ج، طباطبایی ج و کافی م، (۱۳۸۵) "روشهای نوین تأمین به موقع عناصر غذایی در گیاهان". چاپ اول، انتشارات سنا، ص ۴۰۸.

موسوی شاهرودی ا ، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد : "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی منطقه جغندر سر (جنوب غرب عباس آباد) و کانه زایی وابسته به آنها"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود. ص ۱۴۸.

میرحیدر ح، (۱۳۷۲a) "معارف گیاهی - کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماریها". جلد

سوم، چاپ اول، دفتر نشر فرهنگ اسلامی، ص ۵۳۲.

- میرحیدر ح، (۱۳۷۲b) " معارف گیاهی - کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماریها". جلد پنجم، چاپ اول، دفتر نشر فرهنگ اسلامی، ص ۵۲۷.
- میرحیدر ح، (۱۳۷۲c) " معارف گیاهی - کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماریها". جلد ششم، چاپ اول، دفتر نشر فرهنگ اسلامی، ص ۵۴۷.
- میرحیدر ح، (۱۳۷۲d) " معارف گیاهی - کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماریها". جلد هفتم، چاپ اول، دفتر نشر فرهنگ اسلامی، ص ۵۲۵.
- میسون ب،، مرک.ب، (۱۳۸۶) " اصول ژئوشیمی". ترجمه مرف و شرفی، ع. ا، چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه شی‌راز، ص ۵۶۶.

منابع انگلیسی

- Abii T.A. (2012) "Levels of Heavy Metals (Cr, Pb, Cd) Available for Plants within Abandoned Mechanic Workshops in Umuahia Metropolis". **Research Journal of Chemical Sciences.**, 2,2, pp 79-82.
- Abrahams P.W. (2002). Soils: their implications to human health. **The Science of the Total Environment.**, 291, pp 1-32.
- Abrahams P.W., Thornton I. (1987) " Distribution and extent of land contaminated by he Institution of Mining and Metallurgy 96, B1–B8.arsenic and associated metals in mining regions of southwest England". Transactions the Institution of Mining and Metallurgy, Section B, **Applied Earth Science.**, 96, PB1-B8.
- Abreu M. M., Matias M. J., Clara M., Magalhaes F., Basto M.J. (2008). "Impacts on water, soil and plants from the abandoned Miguel Vacas copper mine" **Portugal Journal of Geochemical Exploration.**, 96, pp 161–170.
- Adriano D. C. (1986), "Trace Elements in the Terrestrial Environment". Springer, New York. pp 533.
- Adriano D.C. (2001), "Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risk of Metals". SpringerVerlag, New York. pp 867.

Adriano, D.C., Wenzel, W.W., Vangronsveld, J., Bolan, N.S. (2004) "Role of assisted natural attenuation in environmental cleanup". **Geoderma** 122, pp 121–142.

Ahdy H., Khaled, A . (2009) "Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea" **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 3,4, pp 3330-3336.

Alloway BJ. (1990), "**Heavy metals in soils**", Blakie and son Ltd, London. pp. 339.

Alloway B.J. (1995) , "**Heavy Metals in Soil**", John Wiley and Sons, New York. pp. 100-124.

Anawar H.M., Garcia-Sanchez A., Santa Regina I. (2008) "Evaluation of various chemical extraction methods to estimate plant-available arsenic in mine soils" .**Chemosphere** 70. pp1459–1467.

Angelova V., Ivanova R., Delibaltova V., Ivanov K. (2004) "Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fiber crops (flax, cotton and hemp)". **Industrial Crops and Products**, 19, pp 197–205.

Ayari F., Hamdi H., Jedidi N., Gharbi, N., Kossai R. (2010) "Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots". **International Journal Environmental Science of Technology**., 7, 3, pp 465-472.

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**., 45, pp 198-208.

Baker D. A.(1983). Uptake of cations and their transport within the plant, In: "**Metals and micronutrients: uptake and utilization by plant**". Edited by Robb D. A, Pierpoint WS. Academic Press. pp. 3-19.

Barnes J, Anderson L. A, Phillipson J. D .(2007), "**Herbal medicine**". 3rd Edition, Pharmaceutical Press, London. pp 1-23.

Batistaa M.J., Abreu M.M., Locutura J., De Oliveira D., Matos J.X., Silva C., Bel-Lan A., Martins L.(2012) "Evaluation of trace elements mobility from soils to sediments between the Iberian Pyrite Belt and the Atlantic Ocean" **Journal of Geochemical Exploration** .,05024, pp 1-8.

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

Bollard E. G. (1983). Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. In, "**Encyclopedia of plant physiology**", Volume 15, pp 695-755, New Series. Edited by, Lauchi A,

Bieleski RL.

Bot A., Benites J. (2005) , “**The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production**”, FAO Soils Bulletin 80, pp. 80.

Boulbah A., Schawartz C., Bitton G., Abouldra W., Ouhammou A., Morel J. L.(2006) “Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plant”, **Chemosphere.**, **63**, pp **811-817**.

Bourg A.C.M.(1988). Metal in aquatic and terrestrial systems: Sorption, speciation, and mobilization , p. 3-32, in ”**Chemistry and biology of solid waste**”, Salomons, W., and Forstner, U., eds. Berlin, Springer-Verlag.

Branquinho C., Serrano H. C., Pinto M. J., M. A. Martins-Loucao, M .(2006) “Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements” **Environal Pollution Journal.**, **146**, **3**, pp **437–443**.

Chan K. (2003) “ Some aspects of toxic contaminants in herbal medicines”.**Chemosphere.**, **52**, pp **1361-1371**.

Chaney R.L. (1988). Metal speciation and interaction among elements affect trace element transfer in agricultural and environmental food-chains, p 219-259, in: ” **Metal Speciation Theory, Analysis, and Application** ”, Kramer, J.R. and Allen, H.E., eds. Lewis Publications, Boca Raton, Fla.

Chen T.B., Wong J.W.C.,Zhou H.Y. (1997) “ Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong” **Environmental Pollution.**, **96**, pp **61-68**.

Chen Y.X., Lin Q., Luo Y.M., He Y.F., Zhen S.J., Yu Y.L., Tian G.M and Wong M.H. (2003) “The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil” **Chemosphere**, **50**, **6**, pp **807-811**.

Chen C, W., Kao C, M., Chen C, F., Dong, C, D. (2007) “Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsinung Harbor, Taiwan” **Chemosphere.**, **50**,**6**, pp. **1431-1440**.

Chopin E. I. B, Black S, Hodson M. E, Coleman M. L, Alloway B. J. (2003) “A preliminary investigation into mining and smelting impacts on trace element concentrations in the soils and vegetation around Tharsis, SW Spain”. **Mineralogical Magazine** ., **67**, pp **279–88**.

Chopin E. I. B., (2004), Doctoral thesis, “Investigation of the factors controlling trace element distribution and transfer within the soil and vegetation systems around the modern and ancient mining and smelting areas of Tharsis, Ríotinto and Huelva in South West Spain”, University of Reading, 278. pp.

Chopin E.I.B., Alloway B.J.(2007) “Trace element partitioning and soil particle characterisation around mining and smelting areas at Tharsis, Ríotinto and Huelva, SW Spain”, **Science of the Total Environment.**, 373 x, pp 488–500.

Christensen T. H., (1984) “Cadmium soil sorption at low concentrations” **Water Air Soil Pollut.**, 21, pp 105 and 115.

Dahrazma B and Mulligan C. N.(2004) “Extraction of Copper from a Low-Grade Ore by Rhamnolipids” **Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management.**, 8, 3, pp166-172.

de Matos A. T., Fontes M. P. F., da Costa L. M., and Martinez, M. A. (2000) “Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils” **Environmental Pollution**, 111, pp 429-435.

Dean W. E. JR. (1974) “Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods” **J.sed. Petrol.**, 44, pp 242-248.

Deng H., Ye Z. H., Wong M. H. (2004) “Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China” **Environmental Pollution.**, 132 ,1 , pp 29–40.

Ekwue Y. A., Gbadebo A. M., Arowolo T. A., Adesodun J. K. (2012) “Assessment of metal from abandoned secondary and primary goldmines in Osun **contamination in soil and plants State**” **Nigeria Journal of Soil Science and Environmental Management.**, 3, 11, pp 262-274.

El-Rjoob A.W.O and Adnan M. Massadeh and Mohammad N. Omari .(2008) “Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in Rosmarinus officinalis labaiatae (Rosemary) medicinal plant and soils in selected zones in Jordan” **Environ Monit Assess.**, 140, pp 61–68.

Epstein E. and Bloom A. J. (2004) “**Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**”, 2nd ed. Sinauer associates, Inc. Publishers. pp. 380.

Ernst E. (2003) “Serious adverse effects of unconventional therapies for children and adolescents: a systematic review of recent evidence” **European Journal of Pediatrics** .,162 ,pp 72–80.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2006), **Guidelines for soil description**, Roma, ISBN 92-5-105521-1.

Fic M .,(1987), **Ph.D. thesis, Adsorptions-und Desorptions-Verhalten von Cadmium, Chromium, Kupfer und Zink an ausgewählten Boden und Sanden**”, Christian-Albrechts-

Universitat, Kiel,

Fitter A.H and Hay R.K.M.(1981), “**Environmetal Physiology of Plants**”, Academic Press, pp. 355.

Freitas H., Prasad M. N. V., Pratas J.(2004) “Plant community tolerant to trace elements growing on the degraded soils of Sa~o Domingos mine in the south east of Portugal” **Environment International environmental implications.**, 30, pp 65–72.

Gardea-Torresdey J. L., Peralta-Videa J. R., de la Rosa G., Parsons J. G. (2005) “Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy”. **Coordination Chemistry Review.**, 249 ,(17-18) , pp 1797-1810.

GE Y., Macdonald D.Y., Sauvoe S.D., Hendershot W. (2005) “ Modeling of Cd and Pb speciation in soil solutions by WinHumic V and NICA-Donnan model” **In Environmental Modeling Software.**, 20, pp 353-359.

Giuliano V., Pagnatelli F., Bornoroni L., Toro L., Abruzzese C. (2007) “Toxic elements at a disused mine district: particle size distribution and total concentration in stream sediments and mine tailings” **Journal of Hazardous Materials.**, 148, pp 409–418.

Gonzalez I., Galan E and Romero A. (2011) “Assessing Soil Quality in Areas Affected by Sulfide Mining. Application to Soils in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain)” **Journal Minerals.**, 1, pp 73-108.

Greger M. (2003). Metal availability, uptake, transport and accumulation in plants. In M. N. V. Prasad (Ed.), Heavy metals stress in plants: From molecules to ecosystems (2nd ed., pp. 1–27). Berlin: Springer

Habes G., Nigem Y., (2006) “Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan”. **Chemosphere** 65., pp 2114–2121.

Hakanson L., (1980) “An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approaches”, **Water Research.**, 14, pp 975–1001.

Haider S., Naithani V., Barthwal J., & Kakkar P. (2004) “Heavy metal content in some therapeutically important medicinal plants” **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.**, 72, pp119–127.

Hamadouche N. A. , Aoumeur H ., Djedai S., Slimani M., Aoues A. (2012) “Phytoremediation potential of Raphanus sativus L. for lead contaminated soil” **Acta Biologica Szegediensis.**, 56,1, pp 43-49.

Hamilton E. I. (2000) "Environmental variables in a holistic evaluation of land contaminated by historic mine wastes: a study of multi-element mine wastes in West Devon, England using arsenic as an element of potential concern to human health" **The Science of the Total Environment.**, 249, pp 171–221.

Harter R. D. (1983) "Effect soil pH on adsorption of lead, copper, zinc, and nickel" **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47, pp 47-51.

Houba V.J.G., Novozamsky I., Lexmond T.M. and Van DerLee J.J. (1990) "Applicability of 0.01 M calcium chloride as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes" **Communications in Soil Science and Plant Analysis.**, 21, pp 2281-2290.

Hu X.Y., Sun H. F., Chen D. L. Yea. (2008) "Accumulation and distribution heavy metals in dominant plants growing on Tonglushan mineral areas in Hubei Province, China" **Health & Environmental Research.**, 17, 3, pp 436-439.

Hutchinson T.C. (1979). Copper contamination of ecosystem caused by smelter activities. pp 451–502. In: **"Copper in the Environment"**, Part I: Ecological Cycling, ed. J.O. Nriagu, Wiley, New York.

Isenbeck M., Schroter J., Taylor T., Fic M., Pekdegen A., and Matthes G. (1987), **"Adsorption /desorption and solution/precipitation behavior of cadmium as influenced by the chemical properties of ground water and aquifer material"**, Meyniana, 39, 7.

Iwasaki K., Tsuji. M., Sakurai. K. (1997), "Fractionation of Copper and Manganese in Agricultural Soils near an Abandoned Copper Mine" **Soil Science and Plant Nutrition.**, 43, 1, pp 157-169.

Iyengar S.S., Martens D.C., and Miller W.P. (1981) "Distribution and plant availability of soil zinc fractions". **Soil Science Soc American Journal.**, 45, pp 735–739.

Jarup I. (2003) "Hazards of heavy metal contamination" **British Medical Bulletin.**, 68, pp 167–182.

Jeffery J.J. and Uren N.C. (1983) "Copper and zinc species in the soil solution and the effects of soil pH". **Australian Journal of Soil Research.**, 21, pp 479-488.

Johnson R.H., Blowes, Robertson W.D., Jambor J.L. (2000) "The hydrogeochemistry of the nickel rim mine tailings impoundment, Sudbury, Ontario" **Journal of Contaminant Hydrology.**, 41, pp 49–80.

Kabala C. and Sing B.R. (2001) "Fractionation and Mobility of Copper, Lead, and Zinc in Soil Profiles in the Vicinity of a Copper Smelter" **Journal Environol Quality.**, **30**, pp **485-492**.

Kabata-Pendai A. Mukherjee. A. B . (2007) "**Trace elements from soil to human**" Springer-Verlag, Heidelberg , Germany , p. **550**.

Kabata-Pendias A, Pendias H. (1984), "**Trace elements in soils and plants**", Boca Raton, FL: CRC Press, Inc, p. **365**.

Kabata-Pendias A. (2001) "**Trace elements in soils and plants**". 3rd Edn. CRC Press. New York, p. **331**.

Kabata-Pendias A. (2011), "**Trace elements in soils and plants**". 4rd Edn. CRC Press. New York, p. **505**.

Kabata-Pendias A., Sadurski W. (2004), Trace elements and compounds in soil. pp79–9, In: "**Elements and Their Compounds in the Environment**", 2 eds. E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoepler, Wiley-VCH Weinheim.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001), "**Trace elements in soils and plants**". 3rd edn. CRC Press. LLC, Boca Raton, **pp. 413**.

Kabata-Pendias A. (2004) "Soil-Plant transfer of trace elements- an environmental tissue" **Geoderma.**, **122**, pp **143-149**.

Kabata-pendias A. and pendias H. (1995) "**Biogeochemia pierwiastkow sladowych**". PWN, Warszawa, pp. **53**.

Karczewska A. (1998) "Metal species distribution in top and sub-soil in an area affected by copper smelter emissions" **Applied Geochemistry.**, **11**, pp **35–42**.

Khormaei. M. et al. (2007) "Copper biosorption from aqueous solutions by sour orange residue" **Journal of Hazardous Material.**, **149**, 2, pp **269-274**.

Kovalevskii A.L.(1979). "**Biogeochemical Exploration for mineral deposits**", Nedra Publ. Trans by ,USDI, USNSF. pp. **136**.

Kozlowskii T.T.(1985). " Tree growth in response to Environmental stresses" **Journal of Arboricultural.**, **11**, pp **97-111**.

Kunle O. F., Egharevba H.O., Ahmadu P.O. (2012) “Standardization of herbal medicines - A review” **International Journal of Biodiversity and Conservation.**, 4, 3, pp 101-112.

Lambers H., Chapin F.S., Pons T.L. (1998), “**Plant Physiological Ecology**”, Springer-Verlag, New York, USA.

Ling T. Guanghua, Z. Jun, R. (2009) “Effects of chromium on seed germination, root elongation and coleoptile growth in six pulses” **International Journal of Environmental Science and Technology.**, 6 ,4, pp 571-578.

Lorestani B., Cheraghi M., Yousefi N. (2011) “ Phytoremediation Potential of Native Plants Growing on a Heavy Metals Contaminated Soil of Copper mine in Iran” **World Academy of Science, Engineering and Technology.**, 7, pp 377- 382.

Loska K., Chebual J., Pleczar J., Wiechla D., and Kwapulinski J., (1995) “Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland” **Water, Air and Soil pollution.**, 93, pp 347-365.

Luoping Zhang, X, Y., Huan Feng, Y, J., Tong Ouyang, X, Y.,Rongyuan Liang, C, G., Weiqi,C., (2007) “**Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China**”**Marine Pollution Bulletin.**, 54, pp 974–982.

Luo C.L, Shen Z. G, Li X. D .(2005) “Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS” **Chemosphere.**, 59, pp 1–11.

Luo X. S. , Zhou D. M., Liu X. H.,Wang Y. J.(2006) “Solid/solution partitioning and speciation of heavy metals in the contaminated agricultural soils around a copper mine in eastern Nanjing city China” **Journal of Hazardous Material.**, 131(1-3), pp 19-27.

Ma L.Q., Komar K.M., Tu C., Zhang W., Cai Y., Kennelley E.D.(2001). “A fern that hyperaccumulates arsenic”. **Nature.**, 409,pp 579.

MacGregor D.(2000), “**Possible mechanisms of natural attenuation of metal-bearing waters in soils in northern climates**”, MERG Report 2000-6,Yukon, pp. 20.

Malakouti M. and Homaie M. (1994), Fertility of arid region soils (Problems & solutions), Tarbiat Modarres Univ.Press. 518p.(In Persian)

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.**, 137, pp 343–350.

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.**, 5,1, pp 27-35.

Marchner H . (1995), "**Mineral nutrition of higher plants**". Academic Press.pp. 889.

Marschner H. (2005), "**Mineral Nutrition of Higher plants**", Vol. 1, translated by B. Kholdebarin, T Eslamzadeh. Dept. of Biology, College of Sciences, Shiraz University.

McGrath S. P. and Zhao F. G. (2003) "Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils," **Curr. Opinion Biotechnol. J.**, 14, 3, pp 277–282.

McNeill J. D. (1980), "**Electrical conductivities of soils and rocks**". Technical Note TN-S. Geonics Ltd., 1745 Meyer-side Drive, Mississauga, Ontario, Canada L5Y 1C5. pp 22.

Mench M. and Martin E. (1991) "Mobilization of cadmium and other metals from 2 soils by root exudates of Zea mays L., Nicotiana glauca L., and Nicotiana glauca L". **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** ., 13,2 , pp 187-196.

Mengel K, Kirby E. A. (1987), "**Principles of plant nutrition**". Intern Potash Institute. pp 687.

Moffett, J. W. Brand L. E. (1996) "The production of strong, extracellular Cu chelators by marine Cyanobacteria in response to Cu stress", **In Limnology and Oceanography.**, 41, pp 288-293.

Muller G. (1969) "Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River" **Geo Journal.**, 2, pp 108–118.

National Research Council (NRC). (2003), "**Bioavailability of Contaminants in Soils and Sediments: Processes, Tools and Applications**". Water Science and Technology Board. The National Academies Press, Washington, DC, p. 432.

Navarro M.C., Perez-Sirvent C., Martinez-Sanchez M.J., Vidal J., Marimon J. (2006) "Lead, cadmium and arsenic bioavailability in the abandoned mine site of Cabezo Rajao (Murcia, SE Spain)". **Chemosphere.**, 63, pp 484–489.

Nicholas D. J. D. (1975). The functions of trace elements in Plants, pp. 109-133, In: "**Trace elements in soil-plant-animal systems**", Edited by, Nicholas DJD, Egan AR. Academic Press.

Norrish K. (1975). The geochemistry and mineralogy of trace elements, pp 55, In: "**Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems**", Nicholas, D. J. D. and Egan, A. R., Eds., Academic Press, New York.

Pal M., Horvath E., Janda T., Paldi E. and Szalai G. (2006). "Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize", **journal of Soil Science and Plant nuerition**, 169, pp 239-246.

Passariello B., Giuliano V., Quaresima S., Barbaro M., Caroli S., Forte G., Carelli G.,Iavicoli I., (2002). " Evaluation of the environmental contamination at an abandoned mining site" **Microchemical Journal**, 73, pp 245–250.

Peijnenburg, W.J.G.M., Posthuma, L., Eijsackers, H.J.P., Allen, H.E. (1997) "A conceptual framework for implementation of bioavailability of metals for environmental management purposes" **Ecotox. EnvironSafe.**, 37, pp 163–172.

Peng K. J, Li X. D, Luo C. L, Shen Z. G .(2006) "Vegetation composition and heavy metal uptake by wild plants at three contaminated sites in Xiangxi area" **Chinese Journal Environmental Science Health., Part A**, 41, pp65–75.

Peterson P.J.(1983). Adaptation to toxic metals, pp 51-69 ,In: "**Metals and micronutrients: uptake and utilization by plant**". Edited by Robb DA, Pierpoint WS. Academic Press.

Pias I and Jons J. B. (1997), "**The handbook of trace elements**", St.Lucie Press. pp 223.

Puschenreiter .M.and Horak. o. (2000) "Influence of different soil parameters on the transfer factor soil to plant of Cd,Cu and Zn for wheat and rye" **Die Bodenkultur.**, 51,1.

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.**, 27, pp 771–778.

Qin Ch ., Luo Ch .,Chen Y., Shen Zh .(2012) "Spatial-Based Assessment of Metal Contamination in Agricultural Soils Near an Abandoned Copper Mine of Eastern China" **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.**, 89, pp 113–118.

Razo I., Carrizales L., Castro J., Diaz Barriga F., Monroy M. (2004) "Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico" **Water, Air, and Soil Pollution.**, 152, pp 129–152.

Reeves R. D, Baker A. J. M. (2000). Metal-accumulating plants, p. 193–230, In: "**Raskin I, Ensley BD, editors. Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment**". Wiley NewYork.

Reichman S. M. (2002) "The Responses of Plants to Metal Toxicity. A Review Focusing on Copper, Manganese and Zinc" **Australian Minerals & Energy Environment Foundation**,

Melbourne, Australia., 14, pp 54.

Rengel Z. (1999). Heavy metals as essential nutrients. p. 231–252. In: **“Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems”**, Prasad M.N.Vand. Hagemeyer J (ed.). Springer, Berlin.

Ristic M., Bokic T., Zecevic T. **(2006)** “Copper accumulation and availability in vineyard soils of Serbia” **Working and Living Environmental Protection., 3, 1, pp 35 – 42.**

Rodriguez R.R., Basta N.T., Casteel S.W., Pace L.W. **(1999)** “An in-vitro gastro-intestinal method to assess bioavailable arsenic in contaminated soils and solid media” **Environmental Science and Technology., 33, pp 642–649.**

Ruby M.V., Schoof R., Brattin W., Goldade M., Post G., Harnois M., Mosby D.E., Casteel S.W., Berti W., Carpenter M., Edwards D., Cragin D., Chappell W. **(1999)** “Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soil for use in human health risk assessment” **Environmental Science Technology., 33, pp 3697–3705.**

Salisbury F.B, Ross C. **(1969)**, **“Plant physiology”**, Wadsworth, pp **608.**

Salomons W. (1995), “Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention” **Journal of Geochemical Exploration., 52, pp 5-23.**

Santillan L. F. J., Constantino C. A. L., Rodriguez G. A. V., Ubilla N. M. C., Hernandez R. I. B. **(2010)** “Manganese accumulation in plants of the mining zone of Hidalgo, Mexico” **Bioresource Technology., 101, 15, pp 5836-5841.**

Selinus O., Alloway B., Centeno J., Finkelman R., Fug R., Lindh U., Smedley P. **(2005)**, **“Essential of Medical Geology”**, Elsevier Academic Press, USA, pp **812.**

Shakeri A., Moor F., Razikordmahalleh L. (2010) “Distribution of soil heavy metal contamination around industrial complex zone, Shiraz, Iran”, 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia

Siebielec G., Chaney R.L. **(2006)** “Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis., 37, pp 1–17.**

Siegel, Fredric R. **(2002)**, **“Environmental geochemistry of potentially toxic metals”**, Springer, pp **218.**

Sipter E., Rozsa E., Gruiz K., Tatrai E., Morvai V. **(2008)** “Site-specific risk assessment in contaminated vegetable gardens”. **Chemosphere., 71, pp 1301–1307.**

Soil science society of America, (1997), **“Glossary of soil science terms”**. Madison,

Soltz E., Greger M. (2002) “Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailing”, **Environmental and Experimental Botany**, 47, pp 271-280.

Sterckeman T., Douay F., Proix N. and Fourrier H. (2000) “Vertical distribution of Cd, Pb, and Zn in soils near smelters in the north of France”, **Environmental Pollution**, 107, pp 377-389.

Stevenson F. J. and Fitch, A. (1981). Reaction with organic matter. pp 69-95, In: **“Copper in soils and plants”** J. F. Loneragan, A. D. Robson and R. D. Graham, eds., Academic Press, New York.

Stevenson F.J. (1976) “Stability constants of Cu^{2+} , Pb^{2+} , and Cd^{2+} complexes with humic acids” **Soil Science Society of America Journal**, 40, pp 665-672.

Stevenson F.J. (1991). Organic matter-micronutrient reactions in soil, pp. 145-186, In: **“Micronutrients in Agriculture”**. 2nd. edn. (ed. Mortvedt J.J., Cox F.R., Shuman L.M. and Welch R.M.). Soil Science Society of America, Madison.

Sun Y., Zhou Q., Diao Ch. (2008). “Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L.” **Bioresource Technology**, 99, pp 1103–1110.

Taiz L. and Zeiger E. (2006), **“Plant Physiology”**, Fourth Edition, Sinauer Associates, Sunderland, MA. pp. 764.

Takac P., Szabova T., Kozakova L., Benkova M. (2009) “Heavy metals and their bioavailability from soils in the long-term polluted Central Spiš region of SR” **Plant, Soil and Environment**, 55, 4, pp 167–172.

Tomas J., Arvay J., Toth T. (2012) “Heavy metals in productive parts of agricultural plants” **Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences**, 1, pp 819-827.

Tordoff G. M Baker A. J. M, Willis A. J. (2000) “Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes” **Chemosphere**, 41, pp 219–228.

Uauy R., Olivera M and Gonzalez M. (1998) “Essentiality of copper in humans” **The American Journal of Clinical Nutrition**, 67, pp 952s-958s.

USEPA (2004). Test methods for evaluating solid waste. In: Method 9045D, Washington, D.C.

U.S. Dept. Of agric. (1995) **Handbook**. 18. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC., illus. p. 503.

Ure A.M., Davidson C.M., Thomas R.P. (1995). Single and sequential extraction schemes for trace metal speciation in soil and sediment, pp 505–523, In: **“Quality assurance for environmental analysis”**, Elsevier Science B.V., 20.

Ure A.M., Davidson C.M. (2002). Chemical speciation in soils and related materials by selective chemical extraction, pp 265–300. In: **“Chemical Speciation in the Environment”**. Ure, A.M., Davidson, C.M. (Eds.) , Blackwell Science, Oxford.

Van Den Driessche R. (1991), **“Mineral nutrition of conifer seedling”**, CRC Press, pp 274.

Vega F.A., Covelo E.F., Andrade M.L., Marcet P. (2004) “Relationships between heavy metals content and soil properties in minesoils” **Analytica Chimica Acta.**, 524, pp 141–150.

Vyslouzilova M., Tlustos O., Szakova J., Pablicova D. (2003) “As, Cd, Pb and Zn uptake by different Salix spp. grown at soils enriched by high loads of these elements” **Plant, Soil and Environment.**, 49, 5, pp 191–196.

Wang A. S., Scott Angle J., Chaney R.L., Delorme Th. A., Reeves R.D. (2006) “Soil pH effects on uptake of Cd and Zn by *Thlaspi caerulescens*” **Plant and Soil.**, 281, pp 325–337.

Wang C. C., Shen Z. G., Li X. D., Luo CL., Chen YH., Yang H. (2004) “Heavy metal contamination of agricultural soils and stream sediments near a copper mine in Tongling, People’s Republic of China” **Bull Environ Contam Toxicol.**, 73, pp 862–869.

Wang Q.R., Cui Y.S., Liu X.M., Dong Y.T., Christie P. (2003) “Soil contamination and uptake of heavy metals at polluted sites in China” **Journal of Environmental Science and Health part A.**, 38, pp 823–838.

Wilson B., Pyatt F.B. (2007) “Heavy metal dispersion, persistence, and bioaccumulation around an ancient copper mine situated in Anglesey, UK”, **Ecotoxicology and Environmental Safety.**, 66, pp 224–231.

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.**, 39,(3-4), pp 315–328.

Yanqun Z., Yuan L., Jianjun C., Haiyan C., Li Q., Schwartz C. (2005) “Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China” **International Journal of Environment.**, 31, 5, pp 755–762.

Yobouet Y. A., Adouby K., Trokourey A. And Yao B. (2010) “Cadmium, Copper, Lead and Zinc speciation in contaminated soils” **International Journal of Engineering Science and Technology.**, 2, 5, pp 802–812.

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” **Sci. Tot. Environ. J.**, 368, 2-3, pp 456–464.

Zhang L.R., Yang T.M., Zou G.L. (2000) "Application of Thermogravimetry to Study the Kinetics and Stability of Porphyrin Copper-sodium of Ephedra" **Wuhan University Journal of Natural Sciences**, 5, 3, pp 357-360.