

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: علوم زمین

گروه: آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

ارزیابی تأثیر کانه‌زایی سرب و روی بر آلودگی آب و خاک در منطقه آی‌قلعه‌سی،
جنوب‌شرق تکاب

دانشجو:

آمنه آذرپیکان

اساتید راهنما:

دکتر بهناز دهرآزما

دکتر سروش مدبری

استاد مشاور:

مهندس علیرضا سیاره

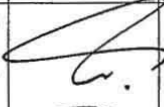
پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

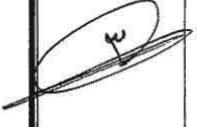


بهمن ماه ۱۳۹۱

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده علوم زمین
گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم آمنه آذریپکان
تحت عنوان: ارزیابی تأثیر کانه‌زایی سرب و روی بر آلودگی آب و خاک در منطقه آی‌قلعه‌سی، جنوب شرق تکاب
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 | امضاء | امضاء | استاد راهنما |
|------------|---|---|---|
| عماد حسینی | نام و نام خانوادگی: مهندس علیرضا سیاره |  | نام و نام خانوادگی: دکتر بهناز دهر آزما دکتر سروش مدبری |

| امضاء | امضاء | امضاء | اساتید داور |
|---|---|---|--|
|  | نام و نام خانوادگی: دکتر عزیزالله طاهر |  | نام و نام خانوادگی: دکتر غلامعباس کاظمی |
| | |  | نام و نام خانوادگی: دکتر علی عباسپور |



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :
تاریخ :
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 آمنه آذربیکان، رشته زمین شناسی، گرایش زیست محیطی، تحت عنوان: ارزیابی تأثیر کانه زایی سرب و روی بر آلودگی آب و خاک در منطقه آی قلعه‌سی، جنوب شرق تکاب که در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی) امتیاز (۱۹.۶۱) دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ✓

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

| امضاء | مرتبه علمی | نام و نام خانوادگی | عضو هیأت داوران |
|-------|------------|---------------------------|---------------------------------|
| | استادیار | دکتر بهناز دهر آزما | ۱- اساتید راهنما |
| | استادیار | دکتر سروش مدبری | |
| | مریی | مهندس علیرضا سیاره | ۲- استاد مشاور |
| | دانشیار | دکتر <u>عزیزالله طاهر</u> | ۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی |
| | استادیار | دکتر علی عباسپور | ۴- استاد ممتحن |
| | استادیار | دکتر غلامعباس کاظمی | ۵- استاد ممتحن |

رئیس دانشکده :

تقدیم به:

آسان ملکوتی پدرم:

اسطوره همیشه جاویدان داستان زندگیم، آنکه انوار درخشان وجودش، همواره روشنگر راه زندگیم بود، او که عشق به علم و فرهنگ را به من آموخت.

مادر عزیزم:

به پاس تمامی محبت‌ها و داشته‌هایم، آنکه گرمی کلامش و روشنی رویش سرمایه جاویدان زندگی من است.

برادران و خواهران عزیزم:

رضا، بهزاد، ژیللا و بیان که برای رسیدن به اهدافم از هیچ تلاشی دریغ نکردند.

قدردانی

حد و پاس پروردگار یکتا را که لطف و کرم بی کرانش ایجاب را نیز در برگرفت تا به وسع توان خویش کامی کوچک در کسره علم و معرفت بردارم و میسر گشت تا از خرمن دانش و تجربه بزنگان و نیک اندیشان خوشه چینی کرده باشم. در ابتدا از پدر عزیزم که اسطوره همیشه جاویدان زندگیم بود تشکر و قدردانی می کنم. بردستان پر مهر مادرم بوسه می زخم و از برادر عزیزم مهندس رضا آذینجان که جای خالی پدر را برایشان پر کرده اند و همچنین از دیگر افراد خانواده که نمونه آشکار لطف الهی هستند کمال تشکر را دارم و از خداوند مهربان، سلامت، بهروزی و خیر دنیا و آخرت را برایشان مسلت دارم.

از استاد عزیز و بزرگوارم سرکار خانم دکتر بهناز دهر آژما، که با سه صدر و تلاش و راهبانی های ارزنده شان در تمام مراحل پایان نامه همراه ایجاب بودند و همچنین از جناب آقای دکتر سروش دهری که قبول زحمت فرمودند و بنده را از راهبانی ایشان بی دریغ نکرده کمال تشکر و قدردانی را دارم. از آقای مهندس علیرضا سیاره که مشاوره این پژوهش را بر عهده داشتند و در این راه زحمات بسیاری را متحمل شدند قدردانی می نمایم. امید به آنکه توانسته باشم گوشه ای از زحمات آن عزیزان را جبران نمایم. از اساتید ارجمند گروه زمین شناسی آقایان، دکتر کریمی، حافظی مقدس، فردوست، قسلاقی، صادقیان، کاظمی، قاسمی و خانم دکتر فرحانی که افتخار ساگردی ایشان را داشته و مطالب فراوانی از آنها آموختم تشکر می نمایم. همچنین از کارشناسان محترم گروه زمین شناسی، آقایان مهندس میریاقری، مهندس خانعلیزاده، خانم مهندس فارسی و سعیدی به خاطر زحماتشان سپاسگزار می نمایم. از جناب آقای دکتر کوردزی جهت بخاری ایشان در امکان استفاده از آزمایشگاه گروه شیمی قدردانی می نمایم.

انجام این پایان نامه با حمایت مالی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور امکان پذیر گردید. لذا از ریاست محترم سازمان زمین شناسی، جناب آقای مهندس کره ای، مدیر گروه زمین شناسی زیست محیطی، جناب آقای مهندس سیاره، مسئولین محترم آزمایشگاه های آب و خاک سازمان زمین شناسی، سرکار خانم بهرروش و جانشینان و دیگر دست اندرکاران سازمان کمال تشکر و قدردانی را ابرازی نمید.

از مهندس عزیزی، مدیر اکتشاف معدن شرکت معدنکاران انگوران، مهندس احمدی، مسئول بخش آب های زیر زمینی آب منطقه ای آذربایجان غربی و مهندس کلانتری، مسئول آزمایشگاه کانییک خاک و سنگه عمران دانشگاه صنعتی شاهرود، کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای مهندس ابراهیم پور جهت راهبانی های ارزنده شان تشکر می نمایم. در نهایت برای دوستان و بگلاسیهای خوبم که به نوبه در طول این دوره هم یاری کردند به خصوص آقایان فرزندانی، آینه نوندا، تیموری، امامی و خانم بانغورانه، رتسی، امیری، محمدی، داوودی، فرحی، تندیس، کاظمی، تاناری، حیات الغیب و حیدر پور از صمیم قلب آرزوی بهترین ها را دارم.

پاسم برایتان بی پایان و کلامم ناتمام

آسمه آذینجان

تعهد نامه

اینجانب آمنه آذربیکان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی تأثیر کانه‌زایی سرب و روی بر آلودگی آب و خاک در منطقه آی‌قلعه‌سی، جنوب‌شرق تکاب تحت راهنمایی دکتر دهرآزما و دکتر مدبری متعهد می‌شوم:

- 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 ۱۳۹۱/۱۱/۲۸

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

مطالعه حاضر به منظور ارزیابی آلودگی منابع آب و خاک به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در اثرکانه‌زایی و معدن متروکه سرب- روی آی‌قلعه‌سی صورت پذیرفته است. کانه‌زایی سرب- روی آی‌قلعه‌سی در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق تکاب و در شمال غربی زون آتشفشانی ارومیه- دختر واقع شده است. جهت نیل به اهداف تحقیق تعداد ۲۳ نمونه خاک برجا از مناطق مختلف محدوده مورد مطالعه، ۴ نمونه خاک باطله، ۲ نمونه سنگ باطله، ۱۴ نمونه آب، شامل آب آبراهه (آبراهه زهاب معدنی و آبراهه پشت دره) و چشمه‌های موجود در منطقه و ۱۸ نمونه رسوب در مسیر آبراهه اصلی در منطقه، از بالادست تا پایین‌دست (خروجی حوضه) مورد مطالعه برداشت گردید. در نمونه‌های برداشت شده پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف و غلظت عناصر (با استفاده از دستگاه ICP-OES) اندازه‌گیری گردید. در تحقیق حاضر با توجه به عوامل مختلف از جمله غلظت عناصر، نوع کانه‌زایی و اولویت‌های زیست محیطی، عناصر Cu, Zn, Pb, As, Ni, Cd, Hg, Sb و برای مطالعه و بررسی انتخاب گردیدند. از نرم افزارهای Arc GIS 9.3, SPSS 17, PHREEQC 2.15, Aq.QA جهت جمع بندی، ترسیم و تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده استفاده گردید. مطالعات زمین‌شناسی انجام شده در منطقه نشان می‌دهد که واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی در منطقه بیشترین گسترش را دارند و کانه‌زایی در واحد مارن ماسه‌ای الیگومیوسن و در امتداد گسل اصلی منطقه (شمال شرق- جنوب غرب) و در شمال غربی روستای آی‌قلعه‌سی رخ داده است. نتایج مطالعات ژئوشیمیایی بر روی خاک نشان می‌دهد که غلظت عناصر Zn, Pb, As و Cu در خاک حاصل از باطله‌ها بالا بوده و این نمونه‌ها درجه آلودگی اصلاح شده بی‌نهایت دارند. غلظت Cd در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه مقادیر کم و یکنواختی را نشان می‌دهد که بیان کننده عدم تاثیر کانه‌زایی بر غلظت آن در منطقه می‌باشد. توزیع غلظت Ni و Hg در خاک منطقه نیز وابسته به کانه‌زایی نمی‌باشد و Sb در تمام نمونه‌های خاک منطقه، غلظت بالا داشته و با کانه‌زایی غلظت آن در نمونه‌های اطراف معدن افزایش یافته است. در خاک برجای منطقه غلظت Zn, Pb, As, Ni و Sb در بیشتر نمونه‌ها نسبت به میانگین غلظت خاک جهانی و غلظت زمینه بالا و غلظت عناصر Zn, Pb, As در نمونه‌های خاک برجای نزدیک به محدوده معدنی افزایش نشان داده است. نتایج آزمایشات انجام شده بر روی زهاب‌ها (AMD)، منابع آب سطحی و آب آشامیدنی در منطقه مورد مطالعه، بیان کننده غلظت بالای عناصر Zn و Cd در زهاب‌های معدنی نسبت به استاندارد خروجی فاضلاب می‌باشد و در منابع آب سطحی با دور شدن از منطقه معدنی متروکه غلظت آن کاهش می‌یابد. منابع آب شرب منطقه (چشمه‌ها) به Sb آلوده می‌باشند. تیپ آب‌های منطقه در مناطق نزدیک به کانه‌زایی و روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی سولفات کلسیک بوده که تأثیر کانه‌زایی و فعالیت‌های انسانی را روشن می‌سازد. براساس نمودار شولر منابع آب منطقه با توجه به مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها در محدوده خوب و قابل قبول قرار دارند. محاسبه شاخص اشباع شدگی نشان داد که تمام نمونه‌های آب منطقه نسبت به انیدریت، هالیت و ژپس زیر اشباع و بیشتر نمونه‌ها نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع می‌باشند. محاسبه بار فلزی نمونه‌های آب منطقه نشان می‌دهد که نمونه‌های زهاب معدنی در محدوده اسیدی با بار فلزی بالا و نمونه‌های آب سطحی نزدیک به محل کانسار در محدوده خنثی با بار بالای فلزی و دیگر نمونه‌ها در محدوده نزدیک به خنثی با بار پایین فلزی قرار گرفته‌اند. بالاترین میزان غلظت عناصر Cu, Zn, Pb و As در رسوبات زیر زهاب معدنی و در پایین‌دست باطله‌های نزدیک تونل اصلی اندازه‌گیری گردید. محاسبه میانگین ضریب غنی‌شدگی نشان می‌دهد که رسوبات منطقه نسبت به سرب و روی غنی‌شدگی بالا و نسبت به آرسنیک غنی‌شدگی بی‌نهایت دارند. همچنین محاسبه میانگین ضریب آلودگی نشان دهنده آلودگی بسیار بالای رسوبات منطقه به سرب، روی و آرسنیک می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، آلودگی آب، فلزات سنگین، معدن متروکه سرب و روی آی‌قلعه‌سی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

مقالات همایشی:

- آذرپیکان، آ. دهرآزما، ب. مدبری، س. سیاره، ع، ۱۳۹۰، بررسی هیدروژئوشیمی منابع آب منطقه آیقلعه‌سی، جنوب شرق تکاب، سی‌امین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران
- آذرپیکان، آ. دهرآزما، ب. مدبری، س. سیاره، ع، ۱۳۹۰، ارزیابی آلودگی Zn، Pb و As در آبهای سطحی منطقه آیقلعه‌سی، جنوب شرقی تکاب، سی‌امین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران
- آذرپیکان، آ. دهرآزما، ب. مدبری، س. سیاره، ع، ۱۳۹۱، ارزیابی تأثیر کانه‌زایی سرب و روی بر غلظت عناصر Cd و Se، Zn، Pb، Hg در منابع آب سطحی منطقه آیقلعه‌سی، جنوب شرقی تکاب، نخستین همایش ژئوشیمی غرب کشور، دره‌شهر.

مقالات پژوهشی:

- دهرآزما، ب. آذرپیکان، آ. مدبری، س. سیاره، ع. ر.، ۱۳۹۱، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه معدن متروکه سرب- روی آیقلعه‌سی، جنوب شرق تکاب، فصلنامه علوم زمین (اصلاح نهایی)

فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- بیان مسئله ۵
- ۱-۳- منطقه مورد مطالعه ۶
- ۱-۳-۱- موقعیت جغرافیایی ۶
- ۱-۳-۲- اقلیم و پوشش گیاهی ۷
- ۱-۳-۳- وضعیت اجتماعی و پراکندگی جمعیت ۷
- ۱-۴- ضرورت و اهداف تحقیق ۸
- ۱-۵- مراحل انجام تحقیق ۹
- ۱-۶- سازمان بندی پایان نامه ۱۰

فصل دوم: زمین شناسی منطقه

- ۱-۲- مقدمه ۱۲
- ۲-۲- زمین شناسی عمومی منطقه ۱۲
- ۱-۲-۲- زمین ریخت شناسی ۱۳
- ۲-۲-۲- زمین شناسی ساختاری ۱۴
- ۳-۲-۲- چینه شناسی و واحدهای سنگ چینه‌ای ۱۷
- ۱-۳-۲-۲- سنگ‌های دگرگون شده کرتاسه (KmsH) ۱۷
- ۲-۳-۲-۲- سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن ۱۸
- ۳-۳-۲-۲- توده‌های نیمه عمیق و آتشفشانی (پلیوسن) ۲۰
- ۴-۳-۲-۲- واحد تراورتنی عهد حاضر (Q^{II}) ۲۲
- ۳-۲- شیوه تشکیل کانسار آی قلعه‌سی ۲۲
- ۴-۲- حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه ۲۵

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

- ۱-۳- مقدمه ۲۹
- ۲-۳- کانه‌زایی سرب و روی ۳۰

- ۳-۳- اثرات زیست محیطی کانه‌زایی سرب و روی..... ۳۱
- ۳-۳-۱- زهاب اسیدی معدن (AMD)..... ۳۱
- ۳-۳-۲- آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی..... ۳۶
- ۳-۴- عوامل مؤثر در جذب و آزادسازی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی..... ۳۹
- ۳-۴-۱- Eh و pH..... ۳۹
- ۳-۴-۲- مواد آلی..... ۴۰
- ۳-۴-۳- کانیهای رسی..... ۴۱
- ۳-۴-۴- ظرفیت تبادل کاتیونی..... ۴۱
- ۳-۵- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه..... ۴۲

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

- ۴-۱- مقدمه..... ۴۶
- ۴-۲- نمونه‌برداری..... ۴۶
- ۴-۲-۱- نمونه‌برداری سنگ..... ۴۷
- ۴-۲-۲- نمونه‌برداری خاک..... ۴۷
- ۴-۲-۳- نمونه‌برداری آب و رسوب..... ۴۷
- ۴-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها..... ۵۱
- ۴-۳-۱- نمونه‌های کانسنگ و سنگ باطله..... ۵۱
- ۴-۳-۲- نمونه‌های خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌ها و رسوبات..... ۵۲
- ۴-۳-۳- نمونه‌های آب..... ۵۲
- ۴-۴- روش‌های آنالیز..... ۵۳
- ۴-۴-۱- تعیین غلظت عناصر و فلزات سنگین..... ۵۳
- ۴-۴-۲- اندازه‌گیری pH..... ۵۳
- ۴-۴-۳- اندازه‌گیری EC..... ۵۴
- ۴-۴-۴- اندازه‌گیری درصد مواد آلی در خاک و رسوب..... ۵۵
- ۴-۴-۵- تعیین بافت خاک و رسوب..... ۵۵
- ۴-۴-۶- اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آب..... ۵۷
- ۴-۵- ارزیابی شدت آلودگی در خاک و رسوبات..... ۵۸

فصل پنجم: کیفیت خاک منطقه

| | |
|----|--|
| ۶۰ | ۱-۵- مقدمه |
| ۶۰ | ۲-۵- نتایج اولیه آنالیز نمونه‌های خاک حاصل از باطله و خاک برجای منطقه |
| ۶۲ | ۳-۵- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه |
| ۶۲ | ۱-۳-۵- pH |
| ۶۳ | ۲-۳-۵- ماده آلی |
| ۶۴ | ۳-۳-۵- بافت خاک |
| ۶۵ | ۴-۳-۵- هدایت الکتریکی |
| ۶۶ | ۵-۳-۵- ظرفیت تبادل کاتیونی |
| ۶۷ | ۴-۵- محاسبه همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در خاک برجای منطقه |
| ۶۹ | ۵-۵- بررسی غلظت و پراکنش عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه |
| ۷۰ | ۱-۵-۵- سرب |
| ۷۲ | ۲-۵-۵- روی |
| ۷۴ | ۳-۵-۵- آرسنیک |
| ۷۶ | ۴-۵-۵- کادمیم |
| ۷۸ | ۵-۵-۵- نیکل |
| ۷۹ | ۶-۵-۵- جیوه |
| ۸۱ | ۷-۵-۵- آنتیموان |
| ۸۲ | ۸-۵-۵- مس |
| ۸۴ | ۶-۵- ارزیابی میزان آلودگی در خاک منطقه |
| ۸۴ | ۱-۶-۵- ضریب غنی‌شدگی در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه |
| ۸۹ | ۲-۶-۵- شاخص زمین‌انباشت در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه |
| ۹۳ | ۳-۶-۵- ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در خاک باطله‌ها و خاک برجای منطقه |
| ۹۷ | ۷-۵- آنالیز خوشه‌ای در خاک برجای منطقه |

فصل ششم: کیفیت آب و رسوب

| | |
|-----|--|
| ۱۰۰ | ۱-۶- مقدمه |
| ۱۰۱ | ۲-۶- نتایج اولیه آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات منطقه |
| ۱۰۲ | ۳-۶- بررسی تغییرات pH و EC در آب و رسوبات منطقه |
| ۱۰۲ | ۱-۳-۶- pH |

- ۱۰۴..... EC-۲-۳-۶
- ۱۰۵..... ۴-۶- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفیت منابع آب منطقه
- ۱۰۶..... ۱-۴-۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی
- ۱۱۰..... ۲-۴-۶- تیپ و رخساره آب
- ۱۱۱..... ۳-۴-۶- سختی
- ۱۱۲..... ۴-۴-۶- ارزیابی کیفی آب منطقه از نظر شرب و کشاورزی
- ۱۱۵..... ۵-۴-۶- عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب منطقه
- ۱۱۶..... ۶-۴-۶- بررسی شاخص اشباع‌شدگی نسبت به کانیهای اصلی
- ۱۱۸..... ۵-۶- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه
- ۱۱۸..... ۱-۵-۶- بافت رسوبات
- ۱۱۹..... ۲-۵-۶- مواد آلی
- ۱۲۰..... ۳-۵-۶- ظرفیت تبادل کاتیونی
- ۱۲۱..... ۶-۶- همبستگی بین پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در منابع آب و رسوبات منطقه
- ۱۲۴..... ۷-۶- بررسی تأثیر کانه‌زایی بر غلظت فلزات سنگین در منابع آب و رسوبات منطقه
- ۱۲۷..... ۱-۷-۶- سرب
- ۱۲۸..... ۲-۷-۶- روی
- ۱۳۰..... ۳-۷-۶- آرسنیک
- ۱۳۱..... ۴-۷-۶- کادمیم
- ۱۳۳..... ۵-۷-۶- نیکل
- ۱۳۵..... ۶-۷-۶- جیوه
- ۱۳۶..... ۷-۷-۶- آنتیموان
- ۱۳۸..... ۸-۷-۶- مس
- ۱۴۰..... ۹-۷-۶- بار فلزی منابع آب
- ۱۴۱..... ۸-۶- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی
- ۱۴۱..... ۱-۸-۶- ضریب غنی‌شدگی
- ۱۴۴..... ۲-۸-۶- شاخص زمین‌انباشت
- ۱۴۸..... ۳-۸-۶- ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده
- ۱۵۱..... ۹-۶- آنالیز خوشه‌ای در رسوبات منطقه

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها

| | |
|----------|---|
| ۱۵۴..... | ۱-۷- مقدمه..... |
| ۱۵۵..... | ۲-۷- جمع بندی و نتیجه گیری..... |
| ۱۵۶..... | ۳-۷- جمع بندی مطالعات مربوط به کیفیت خاک منطقه..... |
| ۱۵۸..... | ۴-۷- جمع بندی مطالعات مربوط به کیفیت آب و رسوبات منطقه..... |
| ۱۶۱..... | ۵-۷- پیشنهادها..... |
| ۱۶۳..... | منابع..... |

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- پراکندگی کانسارهای سرب و روی در ایران (قربانی، ۱۳۸۱)..... ۲
- شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده مطالعاتی کانه‌زایی چند فلزی آی‌قلعه‌سی ۶
- شکل ۱-۲-۱- زون‌های ساختاری ایران زمین (Alavi, 1991 در آقائاتی، ۱۳۸۳)..... ۱۳
- موقعیت منطقه مورد مطالعه با ستاره سفید مشخص شده است. ۱۳
- شکل ۲-۲- نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب) ۱۵
- شکل ۳-۲- نمایی از گسل اصلی کانه‌زایی آی‌قلعه‌سی..... ۱۶
- شکل ۴-۲- نمایی از گسل دوم به موازات تونل اکتشافی در آی‌قلعه‌سی ۱۶
- شکل ۵-۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب)..... ۱۹
- شکل ۶-۲- واحدهای رسوبی الیگومیوسن منطقه مورد مطالعه..... ۲۰
- شکل ۷-۲- واحد تراکی آندزیت بازالتی شمال رگه معدنی (دید بسمت شمال) ۲۱
- شکل ۸-۲- تصویر میکروسکوپی که در آن ادخال‌های کوچک کالکوپیریت (cp) در زمینه اسفالریت (sp) مشاهده می‌شود (نور طبیعی، ۴ X) ۲۳
- شکل ۹-۲- الف و ج) نمونه‌های دستی از کانسنگ، ب و د) تصویر میکروسکوپی از همان سنگها که کانیهای گالن (gn)، اسفالریت (sp) و پیریت (py) را نشان می‌دهند ((نور طبیعی، ب) ۱۰ X، د) ۴ X)..... ۲۴
- شکل ۱۰-۲- حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه..... ۲۶
- شکل ۱-۴- موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک برجا (S) و خاک حاصل از باطله (MWs) بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۴۸
- شکل ۲-۴- موقعیت نقاط نمونه‌برداری آب (W) و رسوب (SE) بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۵۱
- شکل ۳-۴- به حجم رساندن نمونه‌های خاک برای تعیین غلظت فلزات سنگین..... ۵۲
- شکل ۴-۴- اندازه‌گیری EC نمونه‌های خاک حاصل از باطله، خاک برجا و رسوب..... ۵۴
- شکل ۵-۴- مثلث بافت خاک (USDA, 1951) ۵۶
- شکل ۶-۴- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۵۴)..... ۵۷
- شکل ۱-۵- رده‌بندی بافت نمونه‌های خاک منطقه بر مبنای (USDA, 1951)..... ۶۴
- شکل ۲-۵- پراکنش غلظت سرب در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷۱
- شکل ۳-۵- پراکنش غلظت روی در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷۴
- شکل ۴-۵- پراکنش غلظت آرسنیک در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷۵
- شکل ۵-۵- پراکنش غلظت کادمیم در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷۷
- شکل ۶-۵- پراکنش غلظت نیکل در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۷۸
- شکل ۷-۵- پراکنش غلظت جیوه در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۸۰
- شکل ۸-۵- پراکنش غلظت آنتیموان در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۸۱
- شکل ۹-۵- نمونه‌دستی از کانیهای کربنات مس در منطقه مورد مطالعه ۸۳
- شکل ۱۰-۵- پراکنش غلظت مس در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۸۴
- شکل ۱۱-۵- میانگین ضریب غنی‌شدگی در نمونه‌های خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌های منطقه..... ۸۷
- شکل ۱۲-۵- ضریب غنی‌شدگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه ۸۸
- شکل ۱۳-۵- میانگین شاخص زمین‌انباشت خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه ۹۱

- شکل ۵-۱۴- مقادیر شاخص زمین‌انباشت عناصر در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه..... ۹۲
- شکل ۵-۱۵- میانگین ضریب آلودگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه..... ۹۴
- شکل ۵-۱۶- ضریب آلودگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه..... ۹۶
- شکل ۵-۱۷- درجه آلودگی اصلاح شده خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه..... ۹۷
- شکل ۵-۱۸- گروه‌بندی فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک برجای منطقه..... ۹۸
- شکل ۶-۱- نقشه هم‌غلظت و مقادیر pH در آب و رسوبات منطقه..... ۱۰۳
- شکل ۶-۲- نقشه هم‌غلظت و مقادیر EC در آب و رسوبات منطقه..... ۱۰۵
- شکل ۶-۳- فعالیت نسبی گونه‌های مختلف کربنات به‌عنوان تابعی از pH، (Eby, 2004)..... ۱۰۷
- شکل ۶-۴- نمودار پایپر نمونه‌های آب منطقه..... ۱۱۰
- شکل ۶-۵- ارزیابی قابلیت شرب منابع آب منطقه بر اساس دیاگرام شولر..... ۱۱۳
- شکل ۶-۶- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب بر روی نمودار ویلکاکس..... ۱۱۴
- شکل ۶-۷- ارزیابی عوامل کنترل‌کننده شیمی آب منطقه با استفاده از مدل گیبس، الف- مدل گیبس (Gibbs, 1970)، ب- نمایش نمونه‌های آب منطقه بر روی مدل گیبس..... ۱۱۵
- شکل ۶-۸- شاخص اشباع شدگی کانیهای اصلی در نمونه‌های آب..... ۱۱۷
- شکل ۶-۹- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۵۴)..... ۱۱۸
- شکل ۶-۱۰- نقشه هم‌غلظت و مقادیر مواد آلی (OM) در رسوبات منطقه..... ۱۱۹
- شکل ۶-۱۱- نقشه هم‌غلظت و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی در رسوبات..... ۱۲۱
- شکل ۶-۱۲- انحلال پذیری عناصر بر اساس pH در آب (Radha Krishnan, 1993)..... ۱۲۵
- شکل ۶-۱۳- نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh-pH در آب، الف) سرب، ب) روی، ج) آرسنیک، د) کادمیم، ه) نیکل، و) جیوه، ز) آنتیموان، ح) مس (Takeno, 2005)..... ۱۲۶
- شکل ۶-۱۴- نقشه هم‌غلظت سرب در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۲۸
- شکل ۶-۱۵- نقشه هم‌غلظت روی در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۲۹
- شکل ۶-۱۶- نقشه هم‌غلظت آرسنیک در آب و رسوبات منطقه..... ۱۳۱
- شکل ۶-۱۷- نقشه هم‌غلظت کادمیم در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۲
- شکل ۶-۱۸- نقشه هم‌غلظت نیکل در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۴
- شکل ۶-۱۹- نقشه هم‌غلظت جیوه در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۵
- شکل ۶-۲۰- نقشه هم‌غلظت آنتیموان در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۷
- شکل ۶-۲۱- نقشه هم‌غلظت مس در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۹
- شکل ۶-۲۲- رابطه بار فلزی (Pb+Zn+As+Cu+Ni+Hg+Sb) و pH در منابع آب منطقه بر اساس نمودار فیکلین، (Ficklin et al, 1992) اصلاح شده توسط (Caboi et al, 1999)..... ۱۴۰
- شکل ۶-۲۳- متوسط فاکتور غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در رسوبات..... ۱۴۲
- شکل ۶-۲۴- ضریب غنی‌شدگی عناصر در رسوبات منطقه..... ۱۴۳
- شکل ۶-۲۵- متوسط شاخص زمین‌انباشت در رسوبات منطقه..... ۱۴۶
- شکل ۶-۲۶- شاخص مقادیر زمین‌انباشت عناصر در رسوبات منطقه..... ۱۴۷
- شکل ۶-۲۷- متوسط ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه..... ۱۴۹
- شکل ۶-۲۸- ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه..... ۱۵۰

شکل ۶-۲۹- درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در رسوبات منطقه..... ۱۵۱

شکل ۶-۳۰- نمودار آنالیز خوشه‌ای بین عناصر در رسوبات..... ۱۵۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- فازهای کانه‌زایی سرب و روی در ایران ۳
- جدول ۱-۳- مقدار CEC انواع کلونیدهای خاک (Miller & Donahue, 1990) ۴۲
- جدول ۱-۴- مشخصات محل‌های نمونه‌برداری خاک برجا (S)، خاک حاصل از باطله (MWs) و سنگ باطله (R-W) ۴۹
- جدول ۲-۴- مشخصات محل‌های نمونه‌برداری آب (W) و رسوب (SE) ۵۰
- جدول ۱-۵- غلظت فلزات سنگین و اکسیدهای فلزی در خاک حاصل از باطله‌ها (MW_{S1}-MW_{S4}) و خاک منطقه (S₁-S₂₃) ۶۱
- جدول ۲-۵- مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک حاصل از باطله‌ها (MW_{S1}-MW_{S4}) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃) ۶۲
- جدول ۳-۵- طبقه‌بندی خاک بر مبنای pH (soil science society of America, 1997) ۶۳
- جدول ۴-۵- درصد ذرات تشکیل دهنده در نمونه‌های خاک منطقه ۶۵
- جدول ۵-۵- ارتباط انواع بافت خاک‌ها با ظرفیت تبادل کاتیونی (Miller and Donahue, 1990) ۶۷
- جدول ۶-۵- همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در خاک برجای منطقه ۶۸
- جدول ۷-۵- متوسط مقادیر غلظت عناصر مختلف در خاک، پوسته و شیل ۷۰
- جدول ۸-۵- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Sutherland 2000) ۸۵
- جدول ۹-۵- ضریب غنی‌شدگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها (MW_{S1}-MW_{S4}) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃) ۸۶
- جدول ۱۰-۵- رده بندی مولر بر مبنای مقدار شاخص زمین انباشت (Luoping et al, 2007) ۸۹
- جدول ۱۱-۵- شاخص زمین‌انباشت عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها (MW_{S1}-MW_{S4}) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃) ۹۰
- جدول ۱۲-۵- رده بندی کیفی خاک بر مبنای ضریب آلودگی (Hakanson, 1980) ۹۳
- جدول ۱۳-۵- رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham and Parker., 2008) ۹۴
- جدول ۱۴-۵- مقادیر ضریب آلودگی و ضریب آلودگی اصلاح شده در خاک حاصل از باطله‌ها (MW_{S1}-MW_{S4}) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃) ۹۵
- جدول ۱-۶- غلظت فلزات سنگین و مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب و رسوبات منطقه ۱۰۱
- جدول ۲-۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منابع آب منطقه بر حسب mg/L ۱۰۲
- جدول ۳-۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و تیپ و رخساره منابع آب منطقه ۱۱۱
- جدول ۴-۶- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی (Todd, 2005) ۱۱۲
- جدول ۵-۶- طبقه‌بندی منابع آب منطقه از نظر سختی (as CaCO₃ mg/L) ۱۱۲
- جدول ۶-۶- شاخص اشباع شدگی منابع آب منطقه نسبت به کانیهای اصلی ۱۱۷
- جدول ۷-۶- اجزا مختلف رسوبات منطقه مورد مطالعه برحسب درصد ۱۱۸
- جدول ۸-۶- ماتریس همبستگی بین آنیون- کاتیون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب منطقه ۱۲۲
- جدول ۹-۶- مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه ۱۲۳
- جدول ۱۰-۶- ضریب غنی‌شدگی رسوبات منطقه مورد مطالعه ۱۴۲
- جدول ۱۱-۶- شاخص زمین‌انباشت رسوبات منطقه مورد مطالعه ۱۴۵
- جدول ۱۲-۶- مقادیر ضریب آلودگی عناصر مورد مطالعه در رسوبات منطقه ۱۴۸

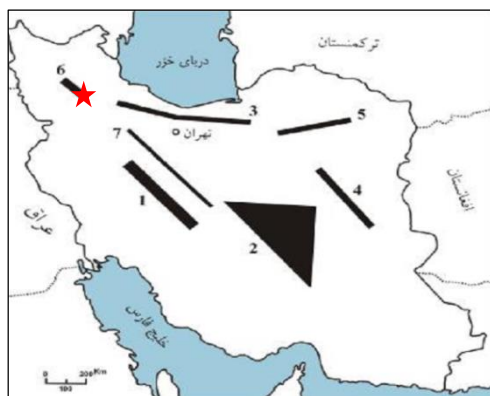
فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

زمین مهمترین منبع تأمین کننده مواد مورد نیاز بشر و زیستگاه همه موجودات زنده می‌باشد. سلامت بیوسفر (زیست کره) که شامل خاک، آب و هوا است، یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در سلامت جوامع بشری می‌باشد. فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های پایدار در محیط زیست بوده و عامل مؤثر در به خطر افتادن آن محسوب می‌شوند. حضور این فلزات در منابع آب و خاک ناشی از عوامل زمین‌زاد (آنومالی‌های ژئوشیمیایی و کانه‌زایی) و انسان‌زاد (فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، دفن پسماند، شهرسازی و ...) می‌باشد. فرایندهای طبیعی همچون دگرسانی، هوازدگی، فرسایش و شستشو در مناطق کانه‌زایی بر نحوه پراکنش این عناصر و اثرات منفی آنها بر محیط زیست تأثیر بسزایی دارند.

تشکیل کانسارهای سرب و روی و همچنین کانی‌سازی این عناصر در ایران از زمان پروتروزوئیک پسین تا آخرین فاز کانه‌زایی در ترشیری آغاز شده و در نقاط مختلفی از ایران پراکنده شده‌اند. مناطق دارای آثار و منابع شناخته شده سرب و روی در ایران شامل، (۱) محور ملایر- اصفهان در زون سنندج- سیرجان، (۲) کانسارهای ایران مرکزی در است‌انهای یزد، کرمان و ناحیه انارک، (۳) کانسارهای واقع در زون البرز (ناحیه زنجان و طارم)، (۴) کانسارهای شرق ایران واقع در ناحیه طبس، نیم پهنه زابل- بلوچ، (۵) کانسارهای زون کویر- سبزوار، (۶) کانسارهای آذربایجان، (۷) کانسارهای زون ارومیه- دختر می‌باشند (قربانی، ۱۳۸۱)، (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- پراکندگی کانسارهای سرب و روی در ایران (قربانی، ۱۳۸۱)، منطقه مورد مطالعه با ستاره مشخص شده است.

در ارتباط با فازهای کانه‌زایی سرب و روی در ایران می‌توان چنین بیان کرد که در زمان پروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین و در پی فاز ماگمایی وابسته به کافت‌های درون قاره‌ای (به عنوان مثال کافت تکاب- انارک- بافق)، قدیمی‌ترین کانسارهای سرب و روی ایران (کوشک، انگوران، چاه‌میر و ...) به صورت سولفید توده‌ای و آتشفشانی رسوبی تشکیل شده‌اند. در زمان دونین و پرمین تعدادی کانسار و نشانه معدنی سرب و روی در ایران مرکزی، البرز، شرق ایران و زاگرس تشکیل شده است، اما بیشترین ذخایر شناخته شده سرب و روی ایران به زمان مزوزوئیک و بویژه کرتاسه تعلق دارند که در سنگ‌های دولومیتی و دولومیت‌های آهکی با تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (مهدی‌آباد، نخلک و ...) قابل مشاهده هستند. آخرین فاز کانه‌زایی سرب و روی ایران در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن- الیگومیوسن و همچنین در بخش‌هایی از سازند قم صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به کانسارهای آی‌قلعه‌سی و گومیش‌تپه اشاره کرد (جدول ۱-۱). این گونه ذخایر سرب و روی با تیپ رگه‌ای و اپی‌ترمال، بیشتر در نوار آتشفشانی ارومیه- دختر، آذربایجان و شرق ایران شناخته شده‌اند (قربانی، ۱۳۸۱).

جدول ۱-۱- فازهای کانه‌زایی سرب و روی در ایران (قربانی، ۱۳۸۱)

| فازهای کانه‌سازی سرب و روی ایران | سنگ درونگیر | سن | تیپ کانی‌سازی | مثال |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|---|---|
| پروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین | توالی‌های آتشفشانی و رسوبی | پروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین | سولفید توده‌ای، آتشفشانی- رسوبی و رسوبی | کوشک، چاه‌میر، علم‌کندی، انگوران و زریگان |
| پالئوزوئیک پسین | سنگ آهک و دولومیت | دونین و پرمین | تیپ دره می‌سی‌سی‌پی | انجیره، دونا و شاکین، کوه سورمه |
| تریاس | دولومیت و دولومیت آهکی | تریاس (سازندهای شتری، الیکا و هم ارز آنها) | تیپ دره می‌سی‌سی‌پی همراه با فلونورین | دونا و الیکا (البرز)، مثلث بهاباد- کوه‌بنان- راور (ایران مرکزی) |
| کرتاسه | آهک، دولومیت و دولومیت آهکی | کرتاسه | تیپ دره می‌سی‌سی‌پی | مهدی‌آباد، نخلک (ایران مرکزی) و کانسارهای محور ملایر- اصفهان |
| ترشیاری | توالی‌های آتشفشانی- رسوبی و رسوبی | ائوسن و الیگومیوسن | عمدتاً رگه‌ای و اپی‌ترمال | آی‌قلعه‌سی، گومیش‌تپه |

فرایندهای طبیعی (هوازگی و فرسایش)، فعالیت‌های انسان (معدنکاری) و وجود میکروارگانسیم‌ها، آزادسازی و حمل عناصر بالقوه سمی موجود در کانسنگ‌ها را تسهیل نموده که این مسئله موجب توزیع این عناصر در محیط‌های ثانویه مانند آب، خاک و رسوب و در نهایت بدن موجودات زنده می‌شود.

سرب یکی از فلزات سنگین و بسیار سمی برای حیات انسان بوده که پس از ورود به بدن توسط گلوبولهای قرمز خون به بافت‌ها منتقل و مقادیر غیر قابل دفع آن در بافت‌های خاصی از بدن همچون استخوان‌ها انباشته می‌گردد. این عنصر موجب بروز لکه‌های آبی بر روی لثه و دندان‌ها شده و همچنین می‌تواند از طریق جفت به جنین انتقال یابد. روی برای تمام اشکال حیات عنصری ضروری بوده که به مقدار کم در فعالیت‌های سوخت و ساز بدن شرکت می‌کند. جذب بیش از حد روی می‌تواند عاملی برای جهش‌های نامتلااب موضعی در سلول‌های بدن شود که گاهی منجر به سرطان‌های مختلف می‌گردد. خون، پروستات، کبد، لوزالمعده و برخی عضلات و استخوان‌ها مرکز اصلی تجمع روی در بدن هستند. جذب بیش از 150 mg/day روی می‌تواند عاملی برای کم خونی و غلظت بالای آن (6000 mg/day) می‌تواند کشنده باشد. بیماری مربوط به شریان‌ها و کم اشتهاپی از علائم بروز غلظت‌های بالای روی در بدن به صورت مزمن می‌باشد. از جمله عوارض کمبود روی را می‌توان بروز اسهال، ریزش مو، ضعف حافظه، اختلال حواس و بروز سکتة عنوان نمود (زراسوندی و حیدری، ۱۳۹۰؛ حاج علیلو و وثوق، ۱۳۹۰).

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، منطقه معدنی آی‌قلعه‌سی (کانسار سرب و روی) می‌باشد که در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تکاب و بر روی زون آتشفشانی ارومیه- دختر واقع شده است (شکل ۱-۲). با توجه به قدمت معدنکاری (سال ۱۳۴۲) در محدوده مورد مطالعه، رهاسازی مقدار زیادی باطله در منطقه و خروج زهاب معدنی از تونل فرو ریخته معدن، احتمال آلودگی آب و خاک در منطقه بالا می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی غلظت و پراکنش عناصر و ارزیابی آلودگی در خاک، رسوبات و منابع آب موجود در منطقه معدنی

آی‌قلعه‌سی و همچنین بررسی ارتباط غلظت عناصر موجود در رسوبات و خاک و خصوصیات ژئوشیمیایی منطقه با کیفیت منابع آب پایه‌گذاری شده است.

در این فصل بعد از بیان مسئله، به معرفی منطقه مورد مطالعه پرداخته و سپس ضرورت و اهداف تحقیق و مراحل انجام تحقیق بیان شده و در نهایت نحوه سازمان‌بندی پایان‌نامه ارائه می‌گردد.

۱-۲- بیان مسئله

خطرات ناشی از آلودگی محیط زیست بر اثر پیشرفت فناوری، صنعت و معدنکاری، سلامت جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار داده و امروزه بر نگرانی انسانها افزوده است. از مهمترین اثرات آلودگی در منابع آب و خاک در مناطق کانه‌زایی، بالا بودن غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه است. خاک علاوه بر تأمین مواد غذایی، خاصیت تصفیه‌کنندگی نیز دارد. این خاصیت خاک حاصل خواص فیزیکی (نفوذ آب از منافذ، فیلتراسیون و تبخیر)، خواص شیمیایی (کمپلکس‌سازی و تبادل یونی) و خواص زیستی آن (موجودات زنده و تجزیه و فساد مواد آلی) است. از آنجایی که خاک منبع اصلی تولید غذای انسان است، بنابراین برنامه‌ریزی برای داشتن منابع آب و خاک سالم لازمه بقای انسان می‌باشد.

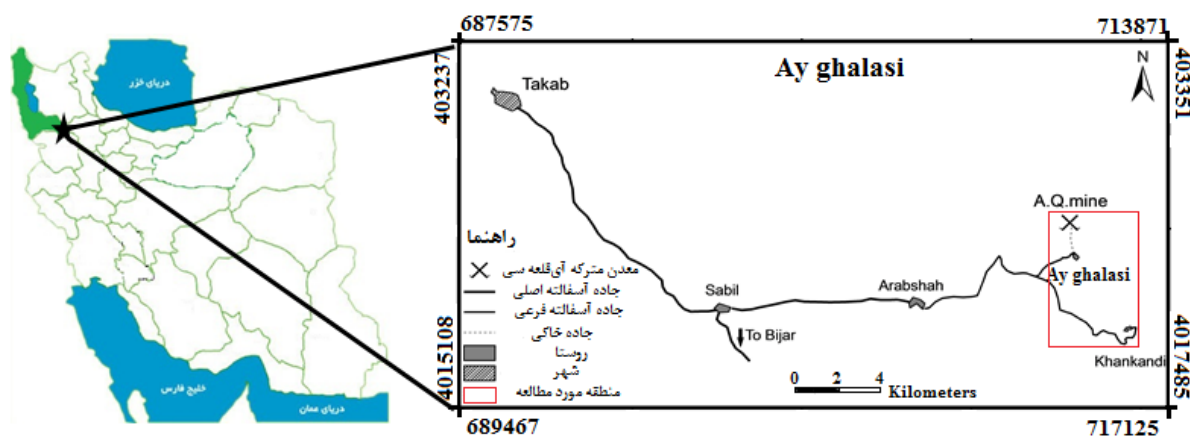
منطقه آی‌قلعه‌سی منطقه‌ای مستعد برای کانه‌زایی از نظر سرب و روی می‌باشد و معدن متروکه سرب و روی آی‌قلعه‌سی در این منطقه امید بخش و در شمال غربی روستای آی‌قلعه‌سی قرار گرفته است (بنی آدم و باباخانی، ۱۳۸۲). منابع آبی منطقه به دلیل جنس واحدهای زمین‌شناسی سطحی بوده و آبراهه‌ها از بالادست، حوضه مورد مطالعه را به سمت پایین دست زهکشی می‌کنند. تنها منبع تأمین کننده آب آشامیدنی روستاهای منطقه، دو چشمه است که متعلق به شرکت آب و فاضلاب روستایی استان‌های آذربایجان غربی و کردستان می‌باشد. لذا با توجه به وجود کانه‌زایی و معدن متروکه سرب و روی آی‌قلعه‌سی در بخش شمال غربی منطقه و قرارگیری روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی در بخش مرکزی و جنوبی حوضه که خاک و منابع آب آنها به طور

مستقیم تحت تأثیر این کانه‌زایی می‌باشد، به بررسی کانسنگ و باطله‌های ریخته شده در اطراف معدن، نحوه و میزان تأثیر آنها بر آلودگی رسوبات و خاک منطقه به فلزات سنگین و همچنین تعیین ارتباط بین منابع آلودگی و ویژگی‌های زمین‌شناسی با کیفیت منابع آب منطقه پرداخته شده است.

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

۱-۳-۱- موقعیت جغرافیایی

کانه‌زایی سرب و روی آی‌قلعه‌سی بین طول جغرافیایی $47^{\circ} 21'$ و $47^{\circ} 24'$ شرقی و عرض جغرافیایی $17'$ 36° و $21' 36^{\circ}$ شمالی واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه، حدود ۲۰ کیلومتر مربع است که در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تکاب و بین استان‌های آذربایجان غربی، کردستان و زنجان قرار دارد (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده مطالعاتی کانه‌زایی چند فلزی آی‌قلعه‌سی

راه اصلی دسترسی به محدوده از طریق جاده آسفالت تکاب- بیجار می‌باشد، بطوریکه از شهر تکاب در این مسیر تا روستای سبیل، ۱۵ کیلومتر و از روستای سبیل به سمت شرق تا نزدیک روستای عربشاه، ۹ کیلومتر جاده آسفالت و از روستای عربشاه جاده‌ای خاکی است که پس از طی ۱۰ کیلومتر به روستای آی‌قلعه‌سی می‌رسد. در محدوده کانه‌زایی و در ۳ کیلومتری شمال غربی روستای آی‌قلعه‌سی، معدن سرب و روی

آی‌قلعه‌سی قرار دارد که هم‌اکنون متروکه و غیر فعال می‌باشد (عزیزی، ۱۳۸۶). راه‌های فرعی دیگری نیز وجود دارند که اهمیت ارتباطی ندارند و در اینجا از ذکر آنها صرف نظر می‌شود.

۱-۳-۲- اقلیم و پوشش گیاهی

محدوده آی‌قلعه‌سی به علت واقع شدن در منطقه کوهستانی و قرار گرفتن در ارتفاعات بلند، دارای تابستان‌های معتدل و ییلاقی و نیز زمستان‌های سرد و طولانی بوده و پوشش گیاهی منطقه منحصر به بوته‌های علفی (گون) و درختان سنجد، درحاشیه شرقی منطقه است (عزیزی، ۱۳۸۶).

متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۰۰ میلی‌متر و متوسط رطوبت هوا ۵۶/۳۱ درصد گزارش شده است. بیشترین دما در تابستان ۳۵+ درجه سانتیگراد و کم‌ترین آن در زمستان ۲۵- درجه سانتیگراد می‌باشد. مورفولوژی در مناطق شمالی تند و خشن بوده و در مناطق جنوبی ملایم و هموار و در بعضی از مناطق قابل کشاورزی است (عزیزی، ۱۳۸۶). به دلیل جنس سازنده‌های زمین‌شناسی و نفوذپذیری کم آنها، آبهای منطقه سطحی بوده و منابع آبی بیشتر تحت تأثیر ریزش‌های جوی می‌باشند. آب آشامیدنی مورد نیاز روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی از دو چشمه که در این روستاها قرار گرفته‌اند تأمین می‌شود.

۱-۳-۳- وضعیت اجتماعی و پراکندگی جمعیت

شغل اصلی مردم منطقه دامپروری است. تعداد کمی از روستاها دارای دبستان هستند و تنها روستاهای پرجمعیت مدرسه راهنمایی دارند و در مجموع، سطح سواد مردم منطقه پایین است. نرخ بیکاری در این منطقه بالا و ایجاد فرصت‌های شغلی، چه به صورت ایجاد کارهای معدنی و یا به هر صورت دیگر، یکی از اولویت‌های منطقه به شمار می‌آید (شیرخانی، ۱۳۸۶).

به دلیل آب و هوای سرد و صعب‌العبور بودن منطقه، فاصله روستاها در این منطقه زیاد بوده و تراکم جمعیت در این مناطق کم است. روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی با جمعیت‌های ۱۸۴ و ۱۰۷ نفر (اداره آمار ایران، ۱۳۸۵) در محدوده کانه‌زایی و پایین‌دست معدن متروکه سرب و روی آی‌قلعه‌سی قرار دارند.

۱-۴- ضرورت و اهداف تحقیق

مناطق دارای کانه‌زایی سرب و روی به دلیل دارا بودن فلزات سنگین سرب، روی، کادمیم، آرسنیک، مس و ... از جمله مناطق مهم و تاثیرگذار بر آلودگی فلزات سنگین در منابع آب و خاک هستند (Bhattacharya et al, 2009; Robert et al, 2008; Ruiz et al, 2009). منابع آب و خاک منطقه آی‌قلعه‌سی نیز از این امر مستثنی نبوده و تحت تاثیر کانه‌زایی سرب و روی قرار گرفته و برآورد می‌گردد که این منابع به فلزات سنگین آلوده می‌باشند. وجود زهاب معدنی و باطله‌ها در اطراف معدن متروکه سرب و روی آی‌قلعه‌سی یکی دیگر از عوامل مؤثر حضور مقادیر بالای فلزات سنگین در آب سطحی و خاک منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه تاکنون در ارتباط با آلودگی آب و خاک منطقه آی‌قلعه‌سی به فلزات سنگین هیچ‌گونه تحقیق زیست محیطی صورت نگرفته و شناخت کیفیت منابع آب و خاک مناطق مختلف متأثر از کانه‌زایی و خصوصیات زمین‌شناسی و منابع آلاینده زمین‌زاد از جمله اولویت‌های تحقیقاتی زیست محیطی در سراسر جهان و از جمله در کشور ما می‌باشد، لذا انجام این تحقیق لازم و ضروری می‌نماید.

هدف کلی این تحقیق ارزیابی تاثیر کانه‌زایی سرب و روی بر آلودگی آب و خاک در منطقه آی‌قلعه‌سی

می‌باشد. اهداف کلی در پژوهش حاضر به قرار زیر می‌باشد:

- ارزیابی کیفیت منابع آب و آلودگی آنها به فلزات سنگین
- تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات
- مطالعات کانی‌شناسی کانسنگها (تهیه مقاطع صیقلی)

- تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک باطله و خاک برجای منطقه
- ارتباط شرایط زمین‌شناسی و کانه‌زایی با کیفیت و توزیع آلودگی در منابع آب و خاک

۱-۵- مراحل انجام تحقیق

انجام این تحقیق در چهار مرحله صورت پذیرفته است:

- جمع‌آوری اطلاعات
 - انجام سه بار بازدید علمی از منطقه مورد مطالعه
 - جمع‌آوری اطلاعات شامل مطالعات پیشین انجام شده در منطقه و مطالعات مشابه داخلی و خارجی
 - بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه (ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانسار سرب و روی، جنس سازندها، ژئومورفولوژی، حوضه آبریز و ...)
 - بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و ترسیم نقشه زمین‌شناسی منطقه در محیط GIS
 - نمونه‌برداری از سنگ، خاک (خاک برجا و خاک حاصل از باطله)، رسوب و آب
- پس از بررسی‌های اولیه بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه و بازدید از محل و نیز تعیین مناطق نمونه‌برداری بر روی نقشه آماده شده از منطقه، به منظور نیل به اهداف پژوهش، در انتهای فصل خشک (آبان ماه) از منابع آب، رسوبات، خاک برجا، باطله‌ها و کانسنگ‌های رگه معدنی نمونه‌برداری صورت پذیرفت.

- انجام آنالیزهای مورد نیاز

- پس از اندازه‌گیری pH و EC نمونه‌های آب در محل، نمونه‌های سنگ، خاک، رسوب و آب به‌منظور آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌ها و همچنین تعیین غلظت عناصر با استفاده از ICP-OES به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی

و اکتشافات معدنی کشور ارسال گردیدند. اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک و رسوبات در آزمایشگاه آب و زمین‌شناسی زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گردید.

- تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از آنالیزها

با مطالعه مقالات و کتاب‌های مرتبط با موضوع این تحقیق و گزارشات مربوط به منطقه مورد مطالعه و پس از رسم نمودارهای مرتبط، نتایج آنالیزها با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS 9.3، SPSS 17، 2.15، PHREEQC، Aq.QA، Chemistry، Microsoft 2010 مورد بررسی و تفسیر قرار گرفتند.

۱-۶- سازمان‌بندی پایان‌نامه

نتایج این پژوهش در ۷ فصل سازمان‌بندی گردیده که به ترتیب ذیل می‌باشند:

فصل اول: کلیات

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

فصل چهارم: مواد و روشها

فصل پنجم: کیفیت خاک

فصل ششم: کیفیت آب و رسوب

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فصل دوم

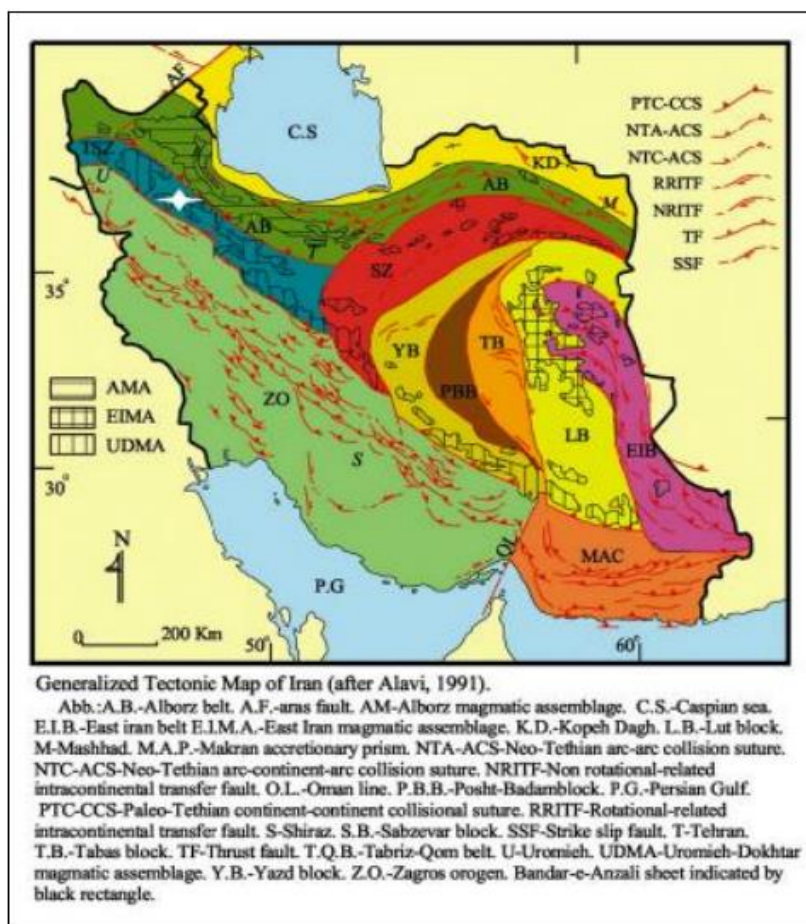
زمین‌شناسی منطقه

۲-۱- مقدمه

در مناطق کانه‌زایی و معادن متروکه سرب و روی، تمرکز و آبشویی عناصر فلزی و غیر فلزی در اثر فرسایش و هوازدگی رگه‌های معدنی و باطله‌های رها شده در اطراف معادن که حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی می‌باشند، دیده می‌شود. لذا در این مناطق، سازندها و واحدهای زمین‌شناسی و کانیهای موجود در رگه معدنی، اصلی‌ترین عامل طبیعی کنترل‌کننده کیفیت خاک و به دنبال آن منابع آب و رسوبات، در منطقه می‌باشد. در همین راستا، این بخش به بررسی و ارزیابی زمین‌شناسی منطقه اختصاص داده شده است. در این بخش ابتدا زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد بررسی قرار گرفته و سپس شیوه تشکیل کانسار آی‌قلعه‌سی به طور خلاصه بیان می‌گردد و در آخر حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه ترسیم و مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که مبنای اصلی شناخت و بحث در این رابطه، نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب، نقشه توپوگرافی عربشاه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مشاهدات و برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای بوده است.

۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه تکاب از نظر جایگاه زمین‌ساختی، محل برخورد زون‌های سنندج- سیرجان و البرز- آذربایجان بوده (نبوی، ۱۳۵۵)، و در بخش شمال غربی زون ارومیه- دختر (Stocklin, 1968) یا تبریز- بزمان (نوگل سادات، ۱۳۶۴) و یا سهند- بزمان (آقاباتی، ۱۳۸۳) قرار دارد (شکل ۱-۲). بر پایه تقسیم‌بندی که افتخارنژاد (۱۳۵۹) انجام داده است، این ناحیه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی و چینه‌ای ادامه کوههای ناحیه غربی زنجان است و بخش کوچکی از زون سلطانیه- میشو را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱-۲-۱- زون های ساختاری ایران زمین (Alavi, 1991 در آقائباتی، ۱۳۸۳).

موقعیت منطقه مورد مطالعه با ستاره سفید مشخص شده است.

۱-۲-۲- زمین ریخت شناسی^۱

منطقه آی قلعه‌سی در ارتفاعات بلند جنوب شرق تکاب قرار گرفته است که شامل کوه‌های بلند و دره‌های عمیق و صعب العبور می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، بلندترین ارتفاعات را سنگ‌های آتشفشانی پلیوسن و مناطق کم ارتفاع را عمدتاً ماسه‌سنگ و سیلتستون مربوط به الیگومیوسن تشکیل می‌دهد.

از لحاظ زمین ریخت شناسی، منطقه مورد مطالعه به دو صورت مناطق با توپوگرافی مثبت یا مرتفع که بخش اعظم منطقه را تشکیل می‌دهند و مناطق هموار و تپه ماهور که در پیرامون نواحی مرتفع به ویژه نیمه جنوبی

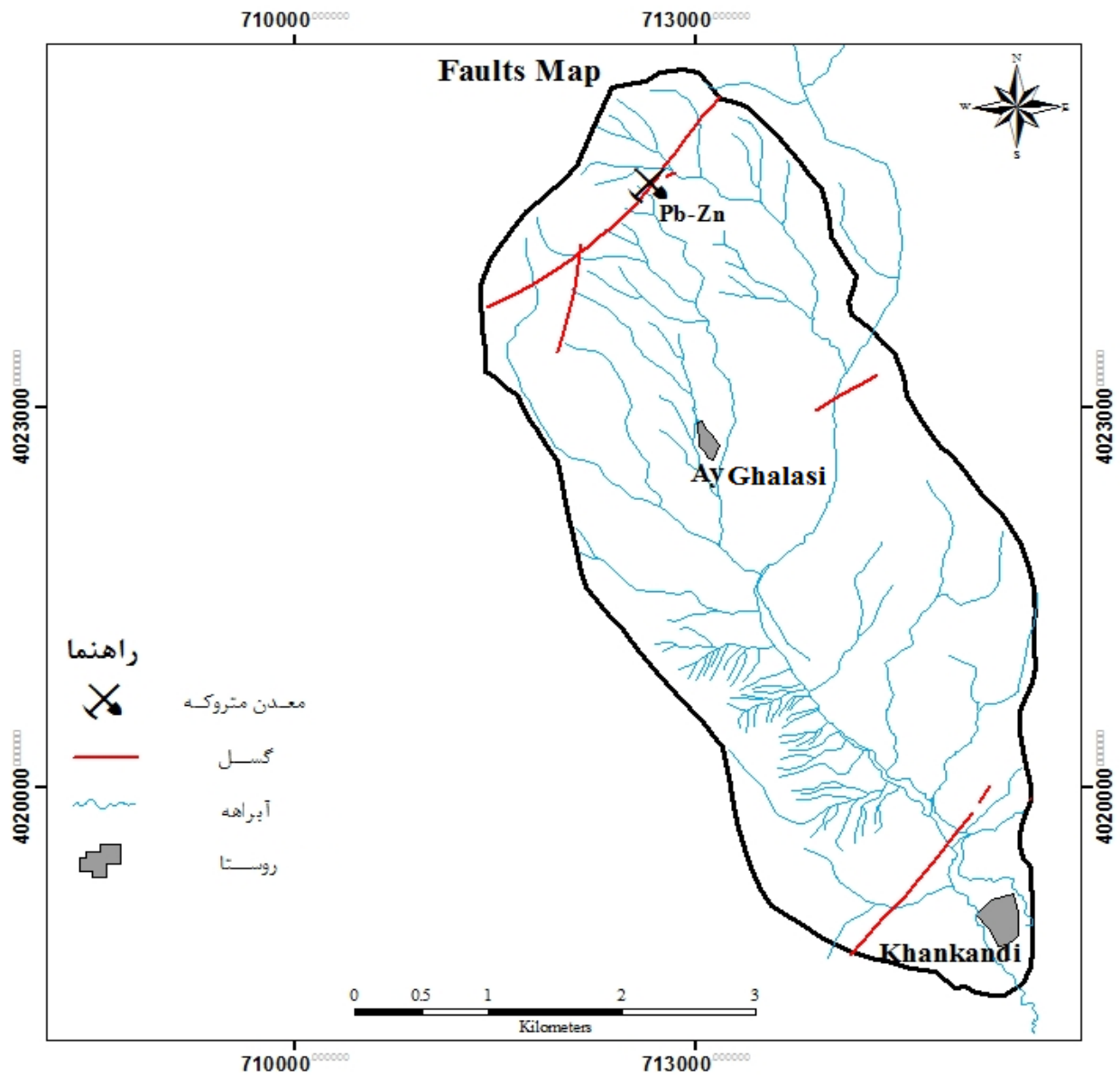
حوضه مورد مطالعه قابل تقسیم است. از بین بلندی‌ها و کوه‌های منطقه در بخش مرتفع، کوه گل‌زرد با ارتفاع بیش از ۲۷۰۰ متر از سطح دریا، بیشترین ارتفاع را دارد. مناطق هموار و تپه ماهور بخش جنوبی منطقه را در بر گرفته و عمدتاً از سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن تشکیل شده‌اند (شیرخانی، ۱۳۸۶).

۲-۲-۲- زمین‌شناسی ساختاری

با توجه به تشکیل زون آتشفشانی- پلوتونیک ارومیه- دختر، بر اثر فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی و فعالیت‌های ماگمایی- زمین‌ساختی مرتبط با این فرایند، گسل خوردگی‌های فراوانی در این ناحیه مشاهده می‌شود. بدیهی است که کانه‌زایی و فعالیت‌های اکتشافی در معدن متروکه آی‌قلعه‌سی، به عنوان بخش کوچکی از پهنه تکتونوماگمایی ارومیه- دختر، در اثر این فعالیت‌ها و گسل خوردگی‌ها صورت گرفته است (فنودی و همکاران، ۱۳۷۹؛ شیرخانی، ۱۳۸۶). سامانه اصلی گسل‌های منطقه را گسل‌های نرمال و راستالغز تشکیل می‌دهند (شکل ۲-۲). راندگی‌ها در منطقه عموماً راستای شمال شرق- جنوب غرب دارند و جهت حرکت اصلی آنها از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد.

مهم‌ترین گسل خوردگی در منطقه آی‌قلعه‌سی گسلی نرمال و راستالغز بوده که در واقع ادامه زونی می‌باشد که از کوه ایوب‌انصار شروع شده است. بین زون کانه‌زایی و کوه ایوب‌انصار آلتراسیون‌های زیاد و همچنین کانسارهای کائولینیت دیده می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۶). این گسل خوردگی در ردیف رسوبی ائوسن و الیگومیوسن صورت گرفته و با توجه به اینکه پهنای زون برشی گسل مزبور کم نیست (بین ۲ تا ۱۰ متر)، ظاهراً جابجایی مهمی در جهت عمودی ایجاد نکرده است. روند این گسل شمال شرق- جنوب غرب (N۳۵E) بوده و شیب آن ۷۵ تا ۹۰ درجه به سمت شمال غربی است (شکل ۲-۳). بخش اصلی کانه‌زایی سرب- روی در طول این گسل صورت گرفته است (فنودی و همکاران، ۱۳۷۹؛ شیرخانی، ۱۳۸۶؛ بنی آدم و باباخانی، ۱۳۸۲).

علاوه بر گسل مذکور، گسل نرمال دیگری با روند شمال شرق - جنوب غرب در فاصله ۸۰ متری جنوب شرقی ساختمان متروکه معدن قابل مشاهده است. به موازات این گسل تونلی برای استخراج ماده معدنی حفر شده که محل خروج زهاب معدنی بوده و بیشتر کارهای معدنی در گذشته در طول این گسل صورت گرفته است (شیرخانی، ۱۳۸۶). نکته قابل توجه اینکه، زائده کوچکی از گنبد نیمه عمیق داسیتی در مجاورت گسل و تونل مذکور قابل مشاهده است (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۲- نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب)



شکل ۲-۳- نمایی از گسل اصلی کانه‌زایی آی‌قلعه‌سی



شکل ۲-۴- نمایی از گسل دوم به موازات تونل اکتشافی در آی‌قلعه‌سی

چین خوردگی شاخصی در محدوده آی‌قلعه‌سی مشاهده نمی‌شود، تنها تعداد معدودی تاقدیس و ناودیس کوچک

قابل مشاهده هستند (شیرخانی، ۱۳۸۶).

۲-۲-۳- چینه‌شناسی و واحدهای سنگ‌چینه‌ای

مطالعات صحرائی انجام شده در این پژوهش بر پایه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی (فنودی و حریری، ۱۳۷۹) معلوم می‌سازند که واحدهای سنگی اصلی منطقه را عمدتاً سازندهای جوان تشکیل می‌دهند که شامل سنگ‌های رسوبی مختلف و توده‌های آذرین نفوذی و نیمه‌ژرف هستند (شکل ۲-۵). واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه آی‌قلعه‌سی از قدیم به جدید عبارتند از:

۱- سنگ‌های دگرگونی کرتاسه

۲- سنگ‌های رسوبی (الیگومیوسن)

۳- توده‌های نیمه‌عمیق و آتشفشانی (پلیوسن)

۴- نهشته‌های کواترنری

۲-۳-۱- سنگ‌های دگرگون شده کرتاسه (KmsH)

قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه شامل فیلیت و اسلیت‌های سبز رنگ کرتاسه می‌باشد که دگرگونی کمی را تحمل کرده‌اند (فنودی و حریری، ۱۳۷۹).

این واحد در شمال شرق و همچنین مجاورت روستای آی‌قلعه‌سی رخنمون دارد و به‌صورت دگرشیب در زیر ردیف رسوبی الیگومیوسن (سازند قم) قرار گرفته است. کانی کوارتز و کانیه‌های ورقه‌ای از قبیل مسکوویت و کلریت، که حد فاصل بلورهای کوارتز را پر کرده‌اند از عمده‌ترین کانیه‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های این واحد هستند (فنودی و حریری، ۱۳۷۹؛ شیرخانی، ۱۳۸۶). سن این واحد بر پایه مطالعات انجام شده قبلی (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب) کرتاسه در نظر گرفته شده است.

۲-۲-۳-۲ - سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن

نمایی از واحدهای رسوبی الیگومیوسن در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲-۵ آورده شده است، که به قرار زیر می‌باشند:

- واحد آهکی (OM^1)

این واحد در نقاط مختلف به صورت پراکنده قابل مشاهده بوده و بیشترین گسترش آن در جنوب شرقی ورقه تکاب و در اطراف روستای آی‌قلعه‌سی است (بنی آدم و باباخانی، ۱۳۸۲). مرز زیرین این واحد با کنگلومرای الیگوسن همشیب بوده و در بعضی نقاط نیز بر روی واحد OM^{m1} قرار دارد (عزیزی، ۱۳۸۶).

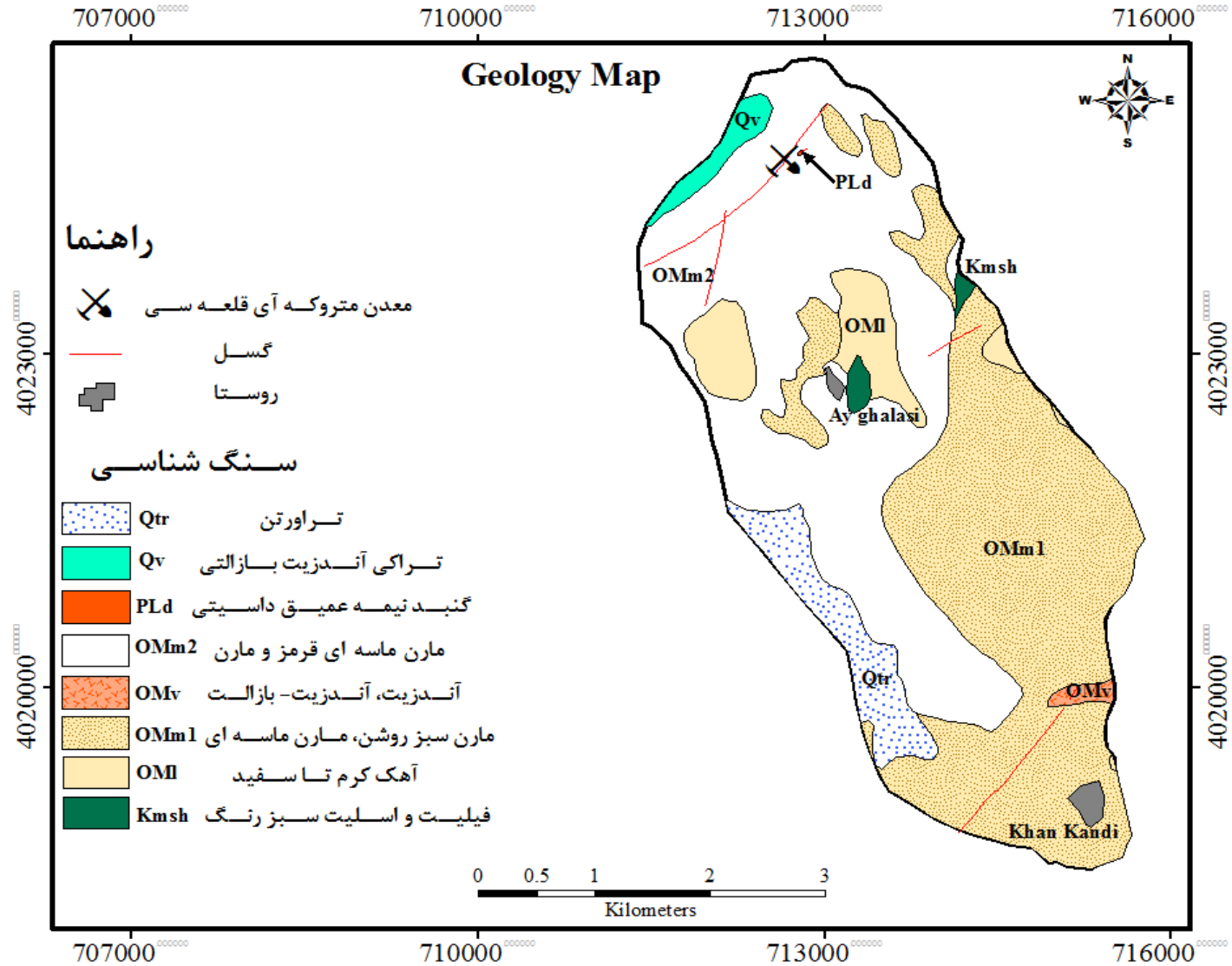
ضخامت این واحد در حدود ۱۰ تا ۱۵ متر است. بر اساس مجموعه فسیلی، سن این واحد Aquitanian (قاعده میوسن) و معادل واحد آهکی A سازند قم است (شیرخانی، ۱۳۸۶).

- واحد مارنی - ماسه‌ای (OM^{m1})

لیتولوژی این واحد شامل توالی مارنی سبز رنگ با میان لایه‌های ماسه‌سنگی، سیلتی و آهکی است. این واحد در بیشتر نقاط محدوده مورد مطالعه گسترش داشته اما بیشترین پراکندگی آن در شرق و جنوب شرق روستای آی‌قلعه‌سی و اطراف روستای خان‌کندی می‌باشد. مرز زیرین این واحد با واحد آهکی OM^1 به صورت هم‌شیب است. ضخامت این واحد ۳۰ تا ۵۰ متر بوده و دارای مجموعه فسیلی *Globigerinids*, *Echinoids*, *Elphidium* و *Pseudolituronella reichell* می‌باشد. با توجه به مجموعه فسیلی یاد شده سن این واحد میوسن حد واسطه زیرین تعیین شده است (شیرخانی، ۱۳۸۶).

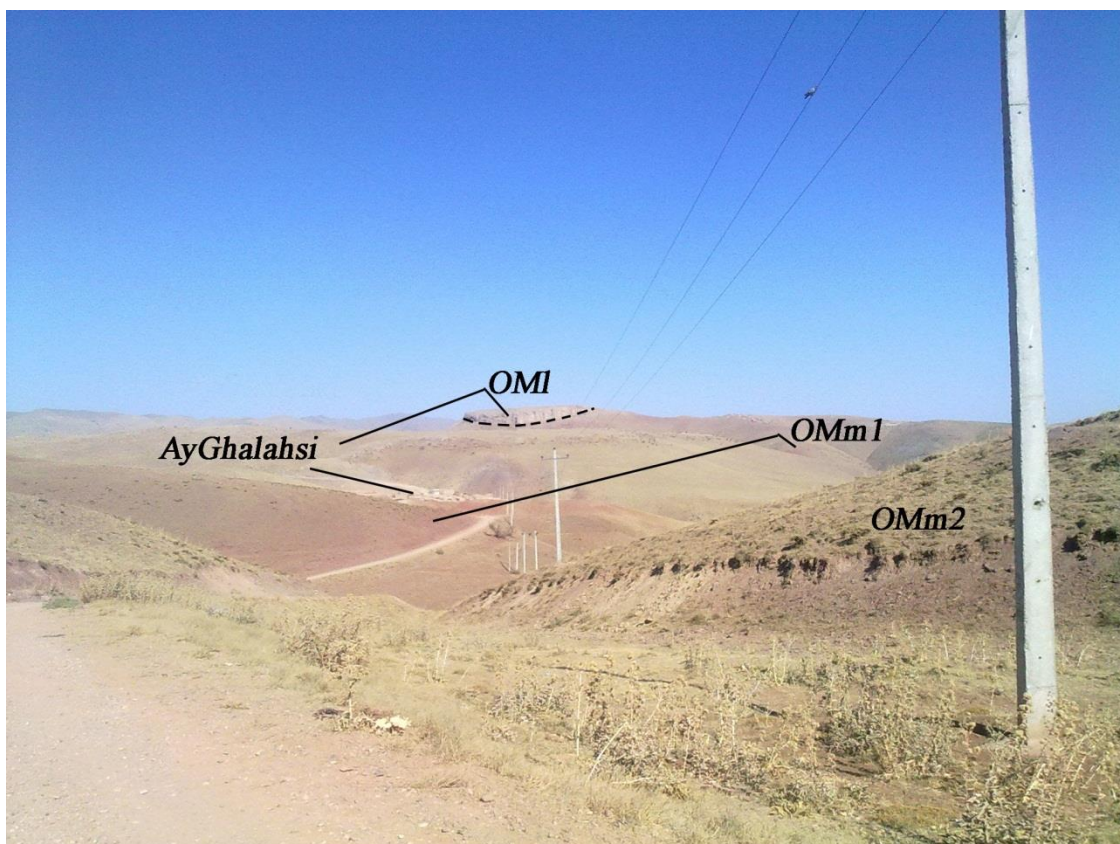
- واحد مارن ماسه‌ای قرمز - مارن میوسن (OM^{m2})

بر روی واحد مارن - ماسه‌ای OM^{m1} ، واحد مارنی ماسه‌ای قرمز و مارن OM^{m2} بطور همشیب قرار می‌گیرد. ناهمسانی‌های چشمگیر میان این واحد و واحد OM^{m1} مشاهده می‌شود. واحد OM^{m2} بیشتر مارنی - ماسه‌سنگی



شکل ۲-۵- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب)

است، درحالیکه در واحد OM^{m1} ماسه‌سنگ بصورت میان‌لایه‌ای حضور دارد (عزیزی، ۱۳۸۶؛ بنی آدم و باباخانی، ۱۳۸۲). رخنمون این واحد ($OMm2$) حدود ۵۰٪ از سطح محدوده مطالعاتی را پوشش داده است. کانه‌زایی سرب و روی آی‌قلعه‌سی نیز در این واحد صورت گرفته است.



شکل ۲-۶- واحدهای رسوبی الیگومیوسن منطقه مورد مطالعه

۲-۲-۳- توده‌های نیمه‌عمیق و آتشفشانی (پلیوسن)

- واحد تراکی آندزیت بازالتی پلیوسن (Q^v)

این واحد سنگی (شکل ۲-۷) از یک ولکانیک غالباً بازالتی تا آندزیت بازالتی تیره رنگ تشکیل شده و در کوه سیاه، شمال غربی روستای آی‌قلعه‌سی و بالادست معدن سرب و روی رخنمون دارد (بنی آدم و باباخانی، ۱۳۸۲). بخش آندزیت بازالتی این واحد به رنگ سبز تیره و بسیار ریزدانه و گاه شیشه‌ای است که در بعضی

مواقع تشخیص کانیهای سنگساز را با مشکل مواجه می‌نماید. کانیهای الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز کانیهای اصلی تشکیل دهنده این سنگها هستند. (عزیزی، ۱۳۸۶).



شکل ۲-۷- واحد تراکی آندزیت بازالتی شمال رگه معدنی (دید بسمت شمال)

گنبد نیمه عمیق داسیتی پلیوسن (PL^d) -

گنبد های نیمه عمیق داسیتی در اطراف معدن متروکه، سکانس رسوبی الیگومیوسن را قطع نموده اند و باعث دگرسانی در منطقه شده اند (شیرخانی، ۱۳۸۶)، که مهمترین محل ظهور این داسیتها کوه ایوب انصار در نزدیکی روستای عربشاه می باشد که خارج از محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است (بنی آدم و باباخانی، ۱۳۸۲). به نظر می رسد که جایگیری توده های واقع در محدوده اکتشافی از یک روند خطی تبعیت می نماید که مرتبط با ساختارهای زمین شناسی منطقه است. لازم به ذکر است که کانی سازی سرب و روی در منطقه آی قلعه سی با این توده های داسیتی ارتباط مستقیم دارند (عزیزی، ۱۳۸۶).

۲-۳-۴- واحد تراورتنی عهد حاضر (Q^{tr})

نهشته‌های عهد حاضر، در منطقه آی‌قلعه‌سی شامل رسوبات تراورتنی و آبرفتی جوان است. رسوبات تراورتنی در بخش جنوب غرب منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده هستند و عمده فعالیت کشاورزی در این محدوده صورت می‌گیرد که بیشتر خارج از محدوده مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به آبراهه‌ای بودن سیستم زهکشی آب‌های سطحی و جریان کم آب در حوضه‌آبریز مورد مطالعه، رسوبات آبرفتی در مسیر آبراهه‌های منطقه نهشته شده و عمق کم دارند.

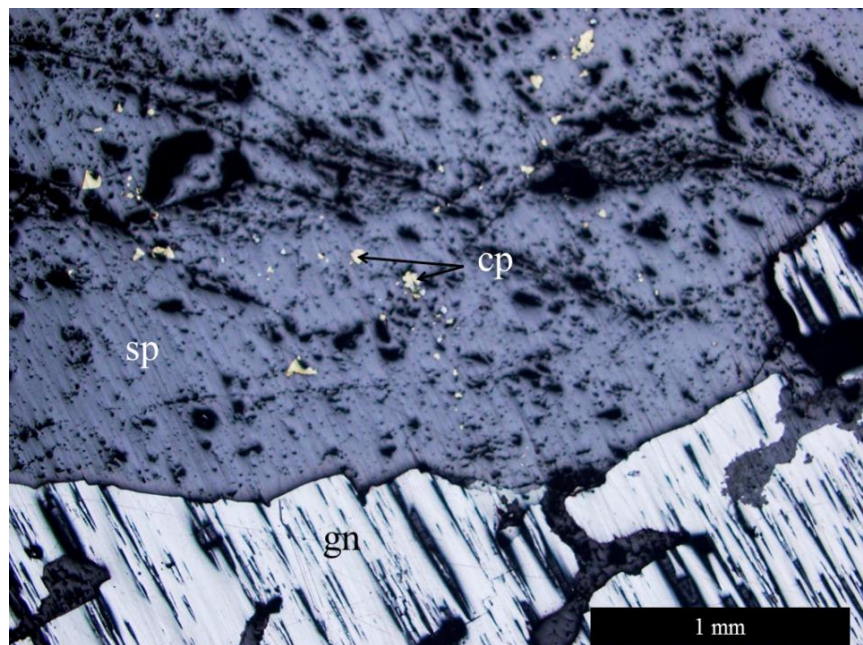
۲-۳- شیوه تشکیل کانسار آی‌قلعه‌سی

در مطالعات ژئوشیمیایی، نحوه پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی و پهنه‌های کانه‌دار و ارتباط و همبستگی این عناصر با یکدیگر مدنظر می‌باشد. با بررسی این روابط می‌توان تا حدودی به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی‌برد.

کانسار آی‌قلعه‌سی در طی ماگماتیسم میوسن پسین - پلیوسن تشکیل شده و کانه‌زایی در کانسار آی‌قلعه‌سی به شکل رگه‌ای در سکانس رسوبی الیگومیوسن و گنبد نیمه‌عمیق داسیتی رخ داده است. این کانه‌زایی مشتمل بر رگه سیلیسی به طول بیش از ۱ کیلومتر با روند N۳۵ E است. شیب رگه از ۷۵ تا ۹۰ درجه به سمت شمال غربی تغییر کرده و ضخامت آن بین ۲ تا ۱۰ متر است. گنبد‌های نیمه عمیق داسیتی در واحدهای رسوبی الیگومیوسن در منطقه معدنی آی‌قلعه‌سی نفوذ کرده‌اند. نفوذ این گنبد‌های نیمه عمیق داسیتی موجب گردیده است که آثار کانه‌زایی و دگرسانی در داخل گنبد‌های نیمه عمیق داسیتی و در اطراف آن پدیدار گردد (شیرخانی، ۱۳۸۶).

برای تشکیل هر ذخیره معدنی نیاز به فراهم شدن زمینه مناسب برای کانه‌زایی می‌باشد که در کانسار آی‌قلعه‌سی چنین زمینه‌ای توسط گسل اصلی منطقه فراهم گردیده و در واقع بخشی از این توده در راستای

گسل اصلی منطقه که اکنون کانه‌زایی در آن رخ داده، بصورت دایک جایگزین شده و این دایک خود نقش مهمی در کانه‌زایی نداشته اما بعنوان مجرای برای بالا آمدن سیالات از اعماق پائین‌تر عمل نموده است. گسل مرتبط با کانه‌زایی پس از تشکیل و یا در حین تشکیل کانسار نیز مقداری جابجایی داشته که این وضعیت را می‌توان از روی خرد شدن و برشی شدن کانسنگ و حتی سنگ میزبان تشخیص داد. وجود بافت اکسولوشن (exsolution) کالکوپیریت درون اسفالریت و در واقع حضور میانبارهای کالکوپیریت در اسفالریت، ناشی از تشکیل کانسار در دمای نسبتاً بالا (۲۸۰-۲۵۰ درجه سانتیگراد) است (شکل ۲-۸)، زیرا اکسولوشن این فازها در دماهای نسبتاً بالا رخ می‌دهد و در حین افت تدریجی دما، این کانیها به دلیل ساختارهای متفاوت از هم تفکیک می‌شوند و در نتیجه فازهایی از کانی میهمان درون کانی میزبان بصورت ذرات ریز باقی می‌ماند (عزیزی، ۱۳۸۶).

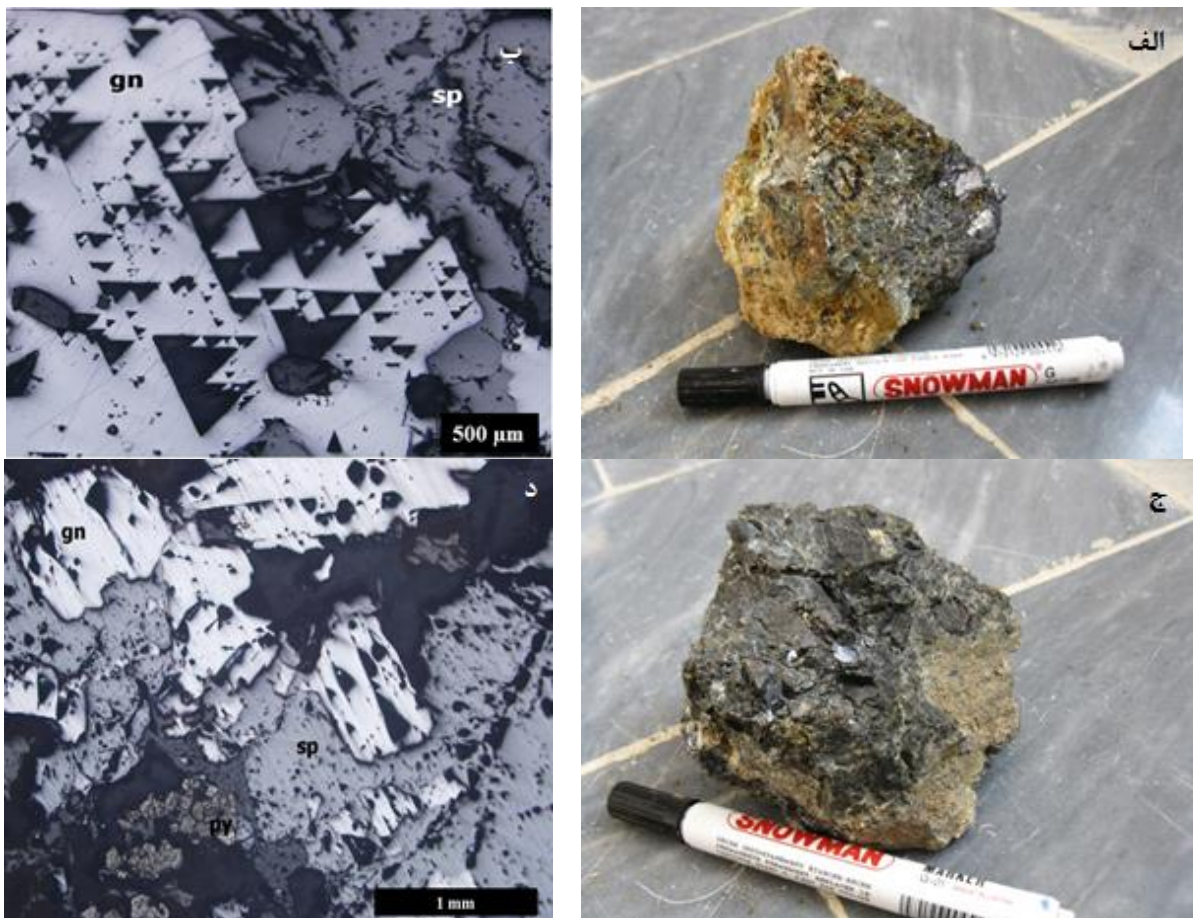


شکل ۲-۸- تصویر میکروسکوپی که در آن ادخال‌های کوچک کالکوپیریت (cp) در زمینه اسفالریت (sp) مشاهده می‌شود (نور طبیعی، ۴ X)

در طی کانه‌زایی فرایندهای دگرسانی نیز رخ می‌دهند، بنابراین سیالات مزبور ضمن کانه‌زایی موجب تغییرات شیمیایی در خود توده و نیز سنگهای میزبان کانه‌زایی می‌شوند. در توده فلدسپار پورفیری مهمترین دگرسانی، تبدیل فلدسپارها به سریسیت و دیگر کانیهای رسی از قبیل آرژیلیت است. در طی این تغییر، مقداری سیلیس

نیز از تجزیه فلدسپارها و دیگر کانیهای مافیک سنگ آزاد شده و این سیلیس موجب دگرسانی سیلیسی در سنگهای میزبان و خود توده می‌شود. البته سیال کانی‌ساز نیز خود حاوی مقادیری سیلیس بوده که موجب دگرسانی سیلیسی شدید واحد مارن و مارن ماسه‌ای میزبان شده و حتی در زون معدنی نیز کانی کوارتز همراه با کانسنگ اصلی حضور دارد. کانیهای پیریت و کالکوپیریت نیز در کانسار بصورت پاراژنز همراه با گالن و اسفالریت قابل مشاهده می‌باشد (عزیزی، ۱۳۸۶).

با توجه به نمونه‌های برداشت شده از کانسنگها و مقاطع صیقلی تهیه شده از آنها، کانیهای شاخص کانسار آی‌قلعه‌سی، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت می‌باشند (شکل ۲-۹)، که این نتایج مطالعات گذشته صورت گرفته در منطقه را تأیید می‌کند. بر اساس نتایج XRD نمونه‌های سنگ باطله، این نمونه‌ها حاوی کانیهای



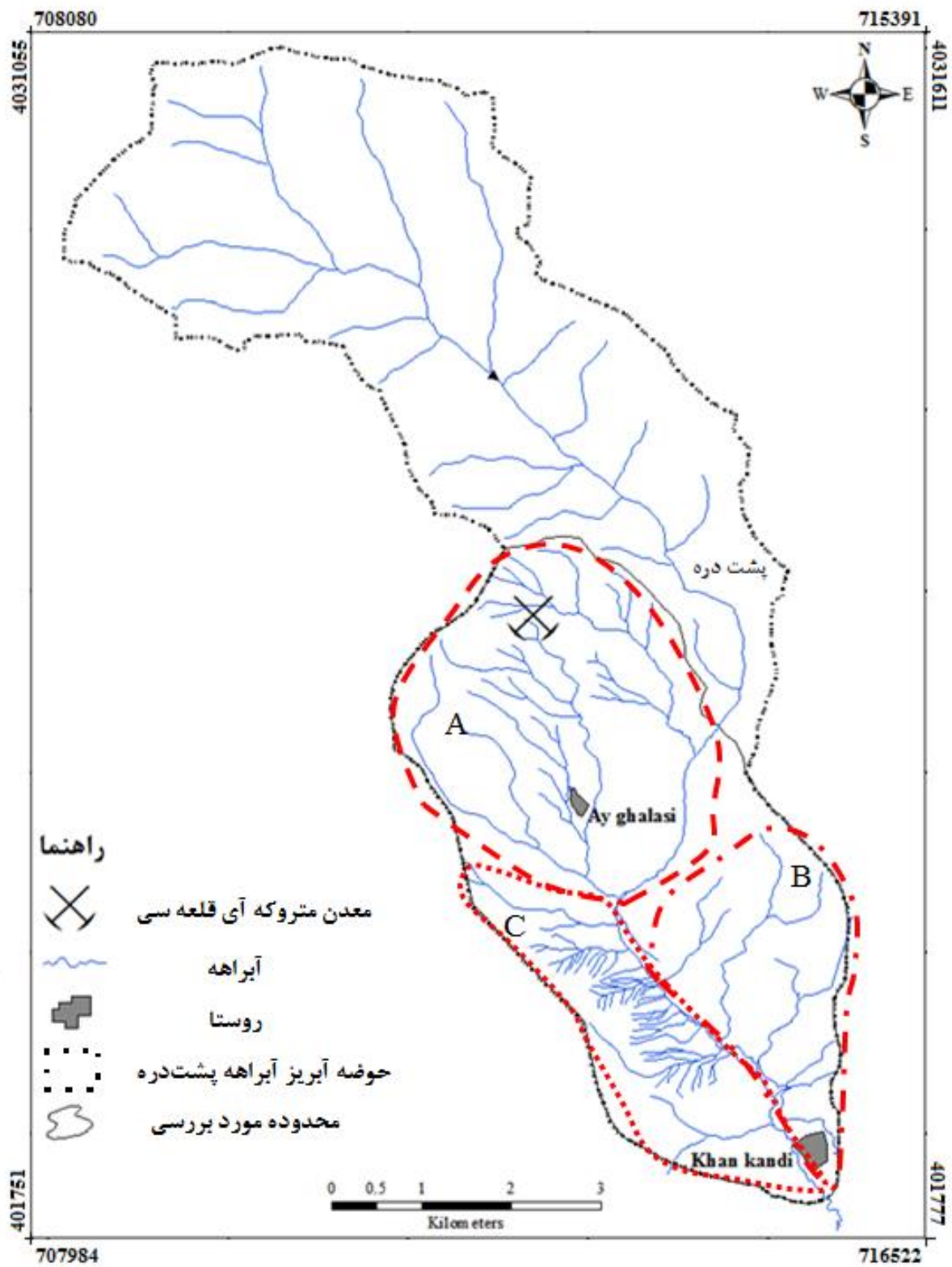
شکل ۲-۹- الف و ج) نمونه‌های دستی از کانسنگ، ب و د) تصویر میکروسکوپی از همان سنگها که کانیهای گالن (gn)، اسفالریت (sp) و پیریت (py) را نشان می‌دهند ((نور طبیعی، ب) X ۱۰، د) X ۴))

کوارتز (SiO_2)، گالن (PbS)، اسفالریت (ZnS)، هماتیت (FeO_3)، اسمیت‌زونیت (ZnCO_3) و تنوریت (CuO) می‌باشند.

بافت و ساخت کانسار سرب و روی آی‌قلعه‌سی توده‌ای، پرکننده فضای خالی و رگه‌ای، شانه‌ای و برشی تعیین شده است. عیار عناصر Pb و Zn در رگه اصلی معدن آی‌قلعه‌سی به ترتیب ۴۷۷۰۰ و ۷۵۶۰۰ mg/kg (شرکت معدنکاران انگوران، ۱۳۹۱) و در نمونه سنگ‌های اخذ شده از دپوی باطله‌های معدن برای فلزات سنگین Pb و Zn بیشتر از ۱۰۰۰۰ و برای دیگر فلزات همچون Cu و As به ترتیب ۸۳۰۱/۹ و ۶۰۰/۴ mg/kg می‌باشد. اجازه اولین بهره‌برداری از معدن در سال ۱۳۳۰ به شخصی به نام یوسف بهشتی و پس از وی در سال ۱۳۴۸ به شرکت سهامی معادن لوت واگذار گردید، ولی بنا به اظهار بهره‌بردار مبنی بر اتمام ذخیره، چند سال قبل از انقلاب اسلامی معدن تعطیل گردید (عزیزی، ۱۳۸۶؛ بانک اطلاعات معادن متروکه ایران، ۱۳۹۰).

۲-۴- حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه

پستی و بلندی‌ها در سطح زمین موجب می‌شوند که هنگام نزول باران و ایجاد جریان سطحی، آب از ارتفاعات در امتداد شیب زمین جریان پیدا کرده و به سمت نقاط پست زمین حرکت کنند. در واقع خط الرأس ارتفاعات خطوط تقسیم آب بین طرفین ارتفاعات بوده و خط القعرها محل تمرکز رواناب می‌باشند. بنابراین یک حوضه آبریز به مساحتی از زمین گفته شده که اطراف آن را ارتفاعات در بر گرفته و لذا رواناب حاصله از بارندگی روی این سطح در گودترین نقطه حوضه تمرکز یافته و از نقطه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را دارا می‌باشد از حوضه خارج می‌گردد. اگر نقطه تمرکز حوضه آبریز در انتهای آن واقع شده باشد بطوریکه آب بتواند از آن نقطه به خارج از حوضه جریان پیدا کند حوضه آبریز باز را تشکیل می‌دهد. خط فرضی که حوضه‌های مختلف را از یکدیگر مجزا می‌سازد به خط تقسیم آب معروف بوده و به توپوگرافی حوضه بستگی دارد و از به هم پیوستن خط الرأس‌های ارتفاعات به دست می‌آید (علیزاده، ۱۳۷۸). در شکل ۲-۱۰ حوضه آبریز مورد مطالعه آورده شده است.



شکل ۲-۱۰- حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. آبراهه پشت دره از کوه‌های قره گل واقع در ارتفاعات جنوب شرقی تکاب که منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است، سرچشمه می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش را می‌توان به سه زیر حوضه تقسیم کرد (شکل ۲-۱۰):

A. زیر حوضه‌ای که آب‌های محدوده معدنی را زهکشی می‌کند.

B. زیر حوضه‌ای که آب‌های بخش شرقی منطقه را زهکشی می‌کند.

C. زیر حوضه‌ای که آب‌های بخش غربی را زهکشی می‌کند.

منابع آب منطقه مورد مطالعه بیشتر سطحی بوده و به جز دو چشمه که آب آشامیدنی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی را تأمین می‌کنند چشمه و چاهی گزارش نشده است. جهت جریان آب‌های سطحی در منطقه از شیب توپوگرافی تبعیت کرده و از سمت شمال (بالادست) به سمت جنوب حوضه (پایین‌دست) جریان دارند. آبراهه پشت دره و آبراهه‌ای که زهاب اسیدی معدن را زهکشی می‌کند دائمی بوده و دیگر آبراهه‌ها فصلی هستند و تنها در زمان بارندگی آب دارند.

بر اساس گزارش فعالیت‌های اکتشافی محدوده آی‌قلعه‌سی سطح آب زیرزمینی در محدوده تونل‌ها بالا بوده (عزیزی، ۱۳۸۶) بطوریکه، تونل خروجی زهاب معدنی بصورت زهکش عمل نموده و زهاب معدنی از آن خارج می‌شود. بنابراین جهت بررسی آلودگی آب و رسوبات منطقه به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی با توجه به خروج زهاب معدنی و اختلاط آن با آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری از سرچشمه زهاب معدنی (شمال غرب منطقه) تا خروجی حوضه (جنوب منطقه) صورت گرفت.

فصل سوم

مروری بر مطالعات پیشین

مناطق با کانه‌زایی فلزی (همچون سرب و روی) به دلیل غلظت بالای عناصر از دیر باز مورد توجه بوده و در بیشتر این مناطق آثاری از اکتشافات اولیه مواد معدنی دیده می‌شود که به دلایل مختلفی (کافی نبودن ذخیره معدنی، هزینه زیاد و ...) این فعالیت‌ها متوقف شده و باعث متروکه شدن معادن و رهاسازی مقادیر زیادی از مواد باطله گردیده است. بدین طریق فعالیت‌های معدنکاری اولیه باعث به هم ریختگی لایه‌ها و قرار گرفتن مواد معدنی در معرض هوازدگی و فرسایش و آزادسازی عناصر در منابع آب و خاک می‌گردد. در معادن متروکه فلزی با خروج زهاب اسیدی معدن (AMD)، مقادیر بالایی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی وارد منابع آب سطحی شده که موجبات آلودگی آب آبراهه‌ها و رسوبات را فراهم می‌کنند (Kim et al, 2007). متروکه شدن معادن، در معرض هوا قرار گرفتن توده‌های باطله و زهاب‌های خروجی از معادن متداول‌ترین منابع وارد کننده فلزات سنگین در محیط‌های نزدیک معادن می‌باشند (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Nganje et al, 2010)، لذا بررسی کیفیت منابع آب و تعیین غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات و خاک مناطق کانه‌زایی و معادن متروکه یکی از موارد مهم و مورد توجه برای حفظ محیط زیست می‌باشند.

در این بخش ابتدا کانه‌زایی سرب و روی در مناطق مختلف و سپس اثرات زیست محیطی آن و معدنکاری سرب و روی که شامل زهاب اسیدی معدن و آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه عوامل مؤثر بر جذب و آزادسازی عناصر (pH، انحلال‌پذیری، مواد آلی و کانیهای رسی و ...) در خاک و آب مطالعه شده است. در آخر به مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۳-۲- کانه‌زایی سرب و روی

معدنکاری و به دنبال آن جداسازی و پالایش ترکیبات مختلف معدنی یکی از منابع بسیار مهم آلودگی خاک، آب و بیوسفر است. فعالیت‌های معدنکاری موجب تشدید رها سازی فلزات شده و از جمله مهمترین عوامل تأثیر گذار بر محیط زیست می‌باشند زیرا آلودگی‌های پایداری ایجاد کرده که سیستم‌های طبیعی قادر به خنثی کردن این آلودگی‌ها نمی‌باشند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶). با توجه به مطالعات کانی‌شناسی در مناطق کانه‌زایی سرب و روی، کانیهای گالن (PbS)، اسفالریت (ZnS)، پیریت (FeS₂) و کالکوپیریت (CuFeS₂) کانیهای اصلی هستند (Ghildiyal et al, 2000; Hofmann and Schuwirth, 2008). این کانیها به‌ویژه پیریت زمانی که در معرض عوامل هوازدگی قرار می‌گیرند، به دلیل فرایندهای اکسایش- کاهش و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، مقادیر بالایی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی و نیز SO₄²⁻ که آنیون غالب در این مناطق بوده را وارد محیط آب و خاک می‌کنند (Banks et al, 1997).

در کوه‌های Philip Smith آلاسکا کانه‌زایی سرب و روی در ارتفاعات حدود ۵۰۰ متری اتفاق افتاده است. کانیهای اصلی رگه معدنی شامل گالن، اسفالریت و کالکوپیریت بوده و فلزات دارای آنومالی در رگه معدنی شامل روی، سرب و نقره می‌باشند که به ترتیب دارای غلظت‌های ۳۴٪، بیشتر از ۲٪ و ۱۵۰ ppm هستند (Detra, 1977). رگه معدنی Driggith که معرف کانه‌زایی سرب و روی در منطقه Caldbeck Fell، شمال شرق Keswick، آلاسکا می‌باشد شامل مجموعه کانیهای اولیه گالن، اسفالریت، آرسنوپیریت، پیریت، بورنیت، کوارتز و کلسیت است (Stanley and Vaughan, 1981).

در منطقه Tons valley مطالعات کانی‌شناسی که بر روی کانسنگهای سولفیدی زون کانه‌زایی سرب و روی منطقه Chamri انجام شده است، کانیهای سولفیدی پیریت، گالن، اسفالریت و کالکوپیریت گزارش شده‌اند (Srivastava, 2011).

مطالعات کانی‌شناسی در کانسار سرب و روی چشمه حافظ، تروود در شاهرود نشان می‌دهد که کانی‌شناسی در منطقه معدنی به دو صورت هیپوژن و سوپرژن است. از کانیهای هیپوژن می‌توان به گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و تتراهدریت اشاره کرد و کانیهای سوپرژن شامل کوولیت، کالکوسیت، سرروزیت، مالاکیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند. کوارتز و کلسیت باطله‌های اصلی کانسار چشمه حافظ هستند (مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۸۹).

نرخ و یا میزان آزاد شدن فلزات از باطله‌ها به ویژگی‌های کانی‌شناختی و شیمیایی آنها، نوع کانه‌زایی فلزی (سولفیدی یا غیر سولفیدی) و شرایط زمین‌شناسی و آب‌شناسی محیط بستگی دارد (Kim et al, 2007). بطور کلی، با توجه به کانی‌شناسی معادن سولفیدی سرب و روی، این معادن و مناطق کانه‌زایی شده پتانسیل بالایی برای آزادسازی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی دارند، زیرا در این نوع معادن، زهاب اسیدی معدن از طرفی به عنوان عاملی برای حمل و انتشار فلزات عمل کرده و از طرف دیگر با بر هم زدن خواص فیزیکی و شیمیایی در محیط آب و خاک، زمینه لازم جهت تحرک بیشتر فلزات را فراهم می‌آورد.

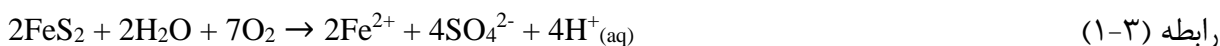
۳-۳- اثرات زیست محیطی کانه‌زایی سرب و روی

۳-۳-۱- زهاب اسیدی معدن (AMD)

سنگ‌های معدنی یا به وسیله معدنکاری زیرسطحی به صورت زیرزمینی و یا توسط تکنیک‌های سطحی به صورت روباز استخراج می‌شوند که مواد باطله ایجاد شده در کنار معدن انباشته شده و به مرور زمان و با تأثیر عوامل محیطی موجبات آلودگی محیط زیست را فراهم می‌کنند. در برخی از موارد استخراج مواد معدنی به وسیله محلول‌ها صورت می‌گیرد که در این صورت خطر آلودگی آبهای زیرزمینی وجود دارد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶). معادن متروکه نیز دارای اثرات زیست محیطی مختلفی همچون باطله‌های رها شده در منطقه، تولید زهاب اسیدی معدن، تولید غبار حاوی مواد آلاینده، بهم ریختگی زمین و از بین رفتن حیات جانوری و پوشش گیاهی و ... می‌باشند. مهمترین خطر مناطق کانه‌زایی و معادن متروکه سرب و روی، زهاب اسیدی معدن و

آلودگی منابع آب و خاک به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی می‌باشد. شایان ذکر است که، مناطق با کانه‌زایی فلزی، بطور طبیعی موجب آلودگی محیط زیست می‌شوند ولی این اثرات با دخالت انسان و معدنکاری در منطقه شدت می‌یابد.

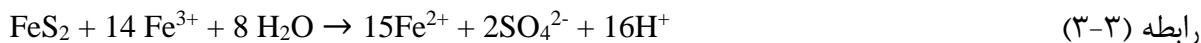
زهاب اسیدی معدن (AMD) مخرب‌ترین اثر زیست محیطی فعالیت‌های معدنکاری به حساب می‌آید. در کانسارهای سولفید فلزی، تولید زهاب اسیدی با pH کمتر از ۴ امری طبیعی است. استخراج و بهره‌برداری از این معادن، کانیهای سولفیدی همچون پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت را بیشتر در معرض هوای آزاد و بارش‌های جوی قرار داده و در نتیجه آهن‌گ تشکیل آب‌های اسیدی را بیشتر می‌سازد. زهاب اسیدی معدن در اثر اکسایش زیستی و غیرزیستی کانیهای سولفیدی بویژه پیریت ایجاد می‌شود (Banks et al, 1997)، که با واکنش‌های زیر ارائه می‌شود:



سپس آهن فرو حاصله توسط میکروب‌ها که پروتون‌ها را مصرف می‌کنند بر طبق واکنش زیر به آهن فریک تبدیل می‌شود:



ممکن است آهن فریک به عنوان گیرنده اکترون برای اکسایش بیشتر پیریت عمل کرده که در این فرایند پروتون وارد محلول می‌شود:



در آخر یک واکنش آبکافت نیز ممکن است رخ دهد، که در این واکنش نیز پروتون‌های اضافی وارد محلول می‌شود:



توالی کلی واکنش تولید زهاب معدنی را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:



اکسایش کانیهای سولفیدی معمولاً به هوازدگی سطحی محدود می‌شود که اکسیژن مورد نیاز این فرایندها توسط هوا، و آب مورد نیاز از نزولات جوی تأمین می‌شود. در ذخایر فلزی پایه علاوه بر پیریت کانیهای سولفیدی فلزی دیگر همچون گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، کوولیت و کالکوسیت وجود دارد، که تفاوت مهمی بین اکسایش کانیهای MS_2 (پیریت) و MS (اسفالریت) مشاهده می‌شود. اکسایش کانیهای MS_2 باعث رهاسازی یونهای H^+ در محلول می‌شود در حالی که برای کانیهای MS اینگونه نیست (رابطه ۳-۶). در زیر واکنش اسفالریت نشان داده شده است:



واکنش‌های آبکافت بعدی ممکن است که یونهای H^+ در محلول رها سازند، اما واکنش‌های اکسیداسیون و انحلال اسفالریت به دلیل هیدرولیز جزئی یونهای روی تأثیر کمتری بر اسیدی شدن آب‌های منطقه می‌گذارد.

باکتری‌های اسید دوست مانند *Thiobacillus ferrooxidans* که موجب اکسید کردن کانیهای سولفیدی می‌شوند، در pH حدود ۱/۵ تا ۳ رشد کرده و باعث اکسایش هر چه بیشتر Fe^{+2} به Fe^{+3} و در نتیجه با بالا رفتن غلظت آهن فریک، اکسایش پیریت و افزایش آهنگ تولید زهاب اسیدی معدن (AMD) می‌شوند. در نتیجه این فرایندها زهاب اسیدی با pH، ۲/۵ تا ۳/۵ تولید می‌شود که حاوی غلظت بالایی از فلزات، شبه فلزات و اسید سولفوریک می‌باشد. ورود یا تخلیه این زهاب در سیستم‌های آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) به شدت کیفیت آنها را از نظر فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد. از نظر شیمیایی، اسیدی شدن آب تا pH کمتر از ۴/۲ باعث تبدیل بی‌کربنات‌های موجود در آب به اسید کربنیک می‌شود. این اسید نیز به دی‌اکسیدکربن

و مولکول آب تجزیه شده که نتیجه آن به هم خوردن سیستم بافری آب می‌باشد. از نظر فیزیکی، تخلیه زهاب اسیدی معدن به داخل آب‌های سطحی باعث تغییر رنگ شدید آنها می‌شود، چرا که هیدروکسیدهای آهن سه ظرفیتی که در اثر اکسایش Fe^{+2} ایجاد می‌شوند و به آب رنگ قرمز اخراپی می‌دهند. این تغییر رنگ از یک طرف باعث اختلال در عمل فتوسنتز گیاهان آبی و مرگ تدریجی آنها و باعث مرگ گونه‌های جانوری آبی می‌شود و از طرف دیگر بر زیبایی محیط تأثیر می‌گذارد (Banks et al, 1997).

در pH کمتر از ۴ زهاب معدنی، انحلال آلومنیوم از کانیهای آلومینوسیلیکات چون کائولینیت صورت می‌گیرد. بنابراین زمانی که زهاب‌های اسیدی غنی از آلومنیوم وارد آب‌های سطحی با pH بالاتر می‌شوند هیدروکسید آلومنیوم سفید رنگ (گیبسیت) ته‌نشین می‌شود (رابطه ۳-۷) که در نهایت رسوبات سفید رنگی را تشکیل می‌دهند (Banks et al, 1997).



معدن Adak یک معدن چند فلزی Cu-Zn-Pb-Au-Ag می‌باشد که در شمال کشور سوئد قرار گرفته است. در این منطقه سطح آب زیرزمینی در عمق کم قرار گرفته و اختلاف خیلی کمی بین شیمی آب زیرزمینی و آب سطحی وجود دارد. بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر باطله‌ها و زهاب‌های حاصله از باطله‌های معدنی در این منطقه دارای pH بین ۲-۴ بوده و غلظت بالایی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی را دارا می‌باشند (Bhattacharya et al, 2006).

کسکین و توپتاش (Keskin and Toptaş, 2012) در مطالعه‌ای که بر روی آلودگی فلزات سنگین در اطراف معدن فعال سرب-روی و مس در ترکیه انجام دادند، نشان دادند که اکسیداسیون کانیهای سولفیدی باعث تولید آبهای اسیدی با مقادیر بالای SO_4^{2-} و Fe می‌شوند. این آبهای اسیدی مسئول انحلال فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی Al, Fe, Mn, Pb و Zn و ورود آنها به آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند. زباله‌های حاصل

از معدنکاری نیز بر غلظت بالای فلزات در آب رودخانه و آب زیرزمینی اثر می‌گذارند. غلظت Al، Fe و Mn در زهاب اسیدی به ترتیب ۸۸۲۹، ۱۹۰۸۴ و ۱۷۰۸ ppb بوده است.

بنکس و همکاران (Banks et al, 1997) بر اساس بررسی‌های انجام شده روی شیمی زهاب‌های معدنی خروجی از تعدادی از معادن متروکه نروژ که جهت استخراج عناصر مختلف Pb، Zn، Cu فعالیت کرده بودند، زهاب‌های معدنی را به سه دسته خوب، بد و زشت تقسیم کردند. زهاب معدنی خروجی از معدن Durham و معادن روی و مس نروژ دارای غلظت بالایی از عناصر Zn، Cu، As و Fe بودند که ورود آنها به رودخانه‌های مجاور تهدیدی جدی برای زندگی جانوری به حساب می‌آمده است.

گونزالس فرناندس و همکاران (Gonzalez-Fernandez et al, 2011) باطله‌های معدنکاری، سنگ‌های باقیمانده از فراوری کانسنگ و تخلیه مستقیم زهاب معدنی به داخل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در اطراف زون کانه‌زایی منطقه معدنکاری سرب و روی Cartagena-La Union در جنوب شرقی اسپانیا را عامل اصلی آلودگی خاک و گیاهان به فلزات سنگین تشخیص داده‌اند.

آیکول و همکاران (Aykol et al, 2003) آلودگی فلزات سنگین و اثرات زهاب اسیدی معدن را در معدن متروکه سرب و روی Balya واقع در شمال غربی ترکیه بررسی کردند. در این مطالعه آب‌های منطقه را به انواع آب معدن، آب سطحی و آب زیرزمینی در نزدیکی معدن Balya تقسیم کردند. بیشتر آب‌های معدن (زهاب معدنی) pH کم و غلظت بالای Zn، Cd و Mn در هر دو فصل خشک و تر داشتند. غلظت بالای Pb، As، Cr، Cu و S در آب‌های نزدیک معدن فقط در فصل تر دیده شد، زیرا در این فصل بعد از بارندگی pH نمونه‌ها اسیدی شده و قابلیت انحلال فلزات در آب افزایش می‌یافت. بطور کلی غلظت فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی Pb، Zn، Fe، Mn، Cu، Cr، Cd و As در آب معدن و نمونه‌های آب رودخانه Kocacay (در نزدیک معدن) تا ده برابر بیشتر از نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های دور از معدن، در رودخانه Kocacay و چاه‌های آب آشامیدنی خانگی بوده است.

۳-۳-۲- آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های پایدار در خاک بوده و چون توسط میکروارگانیسم‌های موجود در خاک تجزیه نمی‌گردند، از خاک به گیاه، محصولات کشاورزی و در نتیجه فرآورده‌های دامی منتقل شده و وارد چرخه غذایی انسان می‌گردند (عباسپور، ۱۳۸۲). بعضی از فلزات سنگین همچون مس، آهن و روی فلزات ضروری هستند که نقش مهمی در سیستم‌های بیولوژیکی بازی می‌کنند، درحالی‌که سرب و کادمیم فلزات غیر ضروری و سمی بوده و حتی در مقادیر اندک نیز سمی محسوب می‌شوند. فلزات ضروری نیز در مقادیر خیلی بالا می‌توانند اثرات سمی در بدن ایجاد کنند.

فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی خود همچون ویژگی‌های کالکوفیلی، سیدروفیلی و یا لیتوفیلی، انحلال‌پذیری و تحرک در شرایط احیایی یا اکسیدان، حلالیت در pHهای مختلف، همبستگی با کانیهای رسی یا مواد آلی، در سنگهای آذرین، دگرگونی و رسوبی جای گرفته‌اند. با تأثیر عوامل هوازدگی، تغییر شرایط آب و هوایی، تغییرات pH و Eh محیط و میزان تمایل و جذب سطحی عناصر، پایداری آنها در محیط بهم خورده و تحرک و جابجایی این عناصر آسان می‌شود.

نگانجه و همکاران (Nganje et al, 2010) معدنکاری فلزات پایه و تأثیر آن بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان نزدیک معدن سرب و روی Arufu در نیجریه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خاک برداشت شده از منطقه دارای pH خنثی و مواد آلی کم ($LOI < 10$) بوده و غلظت فلزات Zn, Pb و Cd در خاک‌های نزدیک معدن بالاتر از غلظت آنها در خاک‌های محل کنترل می‌باشد. آنها دلیل بالا بودن این عناصر را معدنکاری تشخیص داده‌اند.

ایکناکا و همکاران (Ikenaka et al, 2010) آلودگی خاک و رسوبات به فلزات سنگین را در زامبیا مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه توزیع مکانی فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار گرفته است، که بر اساس آنالیز خوشه‌ای ۳ منشأ برای آلودگی فلزات سنگین در زامبیا پیدا شد. در گروه اول غلظت As, Pb, Zn و Cd بطور قابل توجهی

بالا بوده که نشان دهنده تأثیر معدنکاری و کارخانه ذوب سرب و روی در منطقه Kabwe (مرکز زامبیا) می‌باشد. در رسوبات آبراهه Mushishima که از مناطق کانه‌زایی سولفیدی غنی در مس و کبالت (شمال غرب زامبیا) منشأ گرفته‌اند نیز غلظت بالای Cu و Co مشاهده شد که در تلاقی با رودخانه Kafue و به طرف پایین‌دست از غلظت آنها کاسته می‌شود.

در مطالعه‌ای که توسط نیکولاییدیس و همکاران (Nikolaidis et al, 2010)، جهت ارزیابی آلودگی خاک‌های کشاورزی، باطله‌ها و رسوبات آبراهه‌ای معدن متروکه سرب و روی Agios Philippos انجام شد، نمونه‌های باطله غلظت بسیار بالایی از عناصر Zn, Pb, Cd, Cu و As را نشان دادند. نمونه‌های خاک نزدیک به محدوده معدن دارای فلزات سنگین بالایی بودند که نشان دهنده وابستگی مستقیم آلودگی خاک به فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد. شاخص زمین‌انباشت و فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر Zn, Pb, Cd و As به ترتیب آلودگی به شدت بالا ($I_{geo} > 5$) و غنی‌شدگی بشدت بالا ($EF > 40$) را در باطله‌ها نشان داد. مقادیر بالای I_{geo} و EF برای عناصر Zn, Cd و As در رسوبات آبراهه‌ای نشان داد که آلودگی آب‌های سطحی منطقه وابسته به زهاب اسیدی معدن می‌باشد. همچنین به علت ورود زهاب اسیدی معدن به آبراهه بالاترین غلظت فلزات Zn, Pb, Cd, As و Mn در نمونه‌های نزدیک معدن ثبت شده بود و نشان دهنده تأثیر معدن متروکه بر آلودگی آبراهه اصلی منطقه در طول زمان می‌باشد.

اشلی و همکاران (Ashley et al, 2004) ژئوشیمی زیست محیطی کانسار و معدن متروکه Webbs Consols در نیو ساوت ولز استرالیا را مورد بررسی قرار داده‌اند. با توجه به اینکه معدنکاری و بهره‌برداری کانیها در مقیاس کوچک در این کانسار چند فلزی Pb-Zn-Ag صورت گرفته است، اما مقادیر بالایی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی Cu, Cd, As, Zn, Pb, Sb و Fe وارد محیط آب، رسوبات و خاک شده است. باطله‌های رها شده در اطراف معدن حاوی مقادیر بالای سولفیدهای آرسنوپیریت، گالن و اسفالریت و اکسیدهای تولید شده اسکروودیت، آنگلیزیت و اکسی هیدروکسیدهای آهن می‌باشند که دارای مقادیر بسیار بالای As و Pb و مقادیر بالای Cd, Ag, Cu, Sb و Zn هستند. رسوبات آبراهه‌ای غلظت‌های بسیار بالای As و Pb را داشته که تقریباً ۱ تا ۲ برابر

استاندارد مورد نظر بوده و دیگر عناصر نیز مقادیر بالایی داشته که از غلظت زمینه تجاوز کرده است. در نمونه‌های آب که از آبراهه Webbs Consols Creek در نزدیکی معدن برداشت شده‌اند به دلیل pH اسیدی غلظت عناصر As، Cd، Fe، Pb و Zn بالا بوده و بعد از تلاقی با رودخانه Severn و در فاصله ۵/۲ km از معدن غلظت عناصر بشدت کاسته شده است. غلظت فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در خاک‌های اطراف معدن بسیار بالا بوده که نشان دهنده غنی‌شدگی عناصر در زمینه می‌باشد که منعکس کننده کانه‌زایی ضعیف و یا انتشار فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار فلزی از توده‌های باطله می‌باشد.

چون و همکاران (Chon et al, 1998) آلودگی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در خاک و رسوبات آبراهه‌ای را در نزدیکی معادن فلزات پایه در کره جنوبی که بیشتر معادن سرب، روی و مس می‌باشند، مورد بررسی قرار دادند. منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در منطقه، باطله‌ها و مواد باطله حاصل از معدنکاری بودند. در منطقه معدنی Pb-Zn-Cu، Shiheung مقادیر متوسط عناصر Cu، Cd، Pb و Zn در باطله‌ها به ترتیب ۹۶/۶، ۵۸۲۰، ۱۰۴۱۰ و ۱۴۹۶۰ mg/kg بوده، که در اثر انتشار توسط باد و فرسایش آبی وارد سیستم آبراهه‌ای شده و موجب وخیم شدن کیفیت خاک‌های شالیزار، رسوبات و آب شده‌اند. در خاک‌های محدوده معدن سرب، روی، آهن Shinyemi غلظت‌های نسبتاً بالای عناصر مربوط به Cd، Pb و Zn بوده که غلظت این عناصر در رسوبات آبراهه بالاتر از خاک‌های در عرض‌های یکسان در اطراف معدن بوده است. همچنین این عناصر در آب‌های منطقه نیز مقادیر بالایی را نشان دادند.

دیانی و محمدی (Dayani and Mohammadi, 2010) آلودگی خاک به فلزات سنگین Pb، Zn و Cd در محدوده معدن سرب و روی باما (Bama)، اصفهان را مورد ارزیابی قرار دادند. نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده از فلزات سنگین در منطقه، مقادیر زیاد آلودگی را در اطراف معادن فعال این منطقه نشان می‌دهد.

سلیمی و همکاران (۱۳۹۰)، مطالعاتی جهت بررسی غلظت عنصر نیکل در خاک و تعدادی از گونه‌های گیاهی طبیعی اطراف معدن سرب و روی آهنگران در استان همدان انجام دادند. نتایج نشان داد که در منطقه

مذکور حداکثر غلظت کل نیکل در منطقه ۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که نشان دهنده عدم آلودگی خاک منطقه به این عنصر می‌باشد.

وهابزاده کبریا و همکاران (۱۳۸۴) اثرات زیست محیطی فعالیت‌های معدنکاری سرب و روی آهنگران در همدان را بر منابع آب و خاک منطقه مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده غلظت عناصر Cu، Ni و Cd در آب به ترتیب ۸، ۲/۵ و ۳ برابر حد مجاز آب آشامیدنی افزایش یافته است. غلظت میانگین عناصر Cu، Ni، Pb، Zn و Cd در خاک به ترتیب ۴۰۴، ۸۱، ۷۱۹۲، ۱۳۴۶ و ۱۸/۵ ppm اندازه‌گیری شد.

۳-۴- عوامل مؤثر در جذب و آزادسازی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی

خاک سیستمی پویا است که بطور مستمر تحت تأثیر تغییرات کوتاه مدت همچون تغییرات رطوبت، دما، pH و شرایط احیا، و تغییرات دراز مدت قرار دارد. فاکتورهایی که بر قابلیت انحلال فلزات اثر می‌گذارند شامل نوع و مقدار فلزات، Eh-pH، واکنش‌های اکسایش-کاهش، مواد آلی و وجود کانیهای رسی می‌باشند (Zabowski et al, 2001).

۳-۴-۱- Eh و pH

مهمترین عامل کنترل کننده غلظت و رفتار شیمیایی عناصر و یونها در محیط خاک و آب، pH است. با افزایش pH انحلال تعداد زیادی از فلزات سنگین در آب کاهش یافته و رسوب می‌کنند و با پایین آمدن pH این فلزات دوباره وارد محیط آب شده و انتقال می‌یابند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶). در مناطق کانه‌زایی و معدنکاری سولفیدهای فلزی، اکسایش پیریت، گالن و دیگر کانیهای سولفیدی رایج باعث تشکیل یون سولفات و حتی تشکیل اسید سولفوریک شده و موجب کاهش pH می‌شوند. در این مناطق زهاب معدنی که از معدن و یا معادن متروکه زهکشی می‌شود به دلیل اسیدی بودن غلظت بالایی از فلزات سنگین را دارا می‌باشد (Kim et al, 2007). pH معمولی خاک بین ۴ تا ۸/۵ در نوسان می‌باشد که در حضور آلومنیوم و کلسیم به ترتیب کاهش و

افزایش می‌یابد (Alloway, 1995). میزان pH خاک در اثر نوسان در پتانسیل احیا به صورت تناوبی تغییر می‌یابد، بطوری که شرایط احیا موجب افزایش میزان pH و برعکس اکسایش موجب کاهش pH می‌شود (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

کاهش pH آبهای سطحی منطقه، انحلال مقادیر بالای فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی، تغییر اکوسیستم آب و از بین رفتن آبزیان، تغییر رنگ آب و آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی، آلودگی خاک و مسمومیت گیاهان و جانوران از اثرات کاهش pH در آب و خاک تحت تأثیر معادن فعال و متروکه می‌باشد (Banks et al, 1997).

تعادل بین شرایط احیا و اکسایش در خاک حائز اهمیت است زیرا شرایط احیا و اکسایش، انحلال‌پذیری عناصری همچون کربن، نیتروژن، اکسیژن، گوگرد، آهن و منگنز و همچنین آرسنیک، کروم، جیوه، سرب و نقره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارقام بالای Eh (۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌ولت) نشان دهنده حضور کانیهای اکسید شده و ارقام پایین Eh (مثبت ۱۱۸ تا منفی ۴۱۴ میلی‌ولت) نشان دهنده شرایط احیا است (Alloway, 1995). رسوبدهی یا حلالیت اکسیدهای آهن و منگنز تحت کنترل تغییرات شرایط احیا می‌باشد. به همین علت، در شرایط احیا عناصری که جذب اکسیدهای آهن و منگنز شده‌اند از آنها آزاد و در فاز محلول قرار می‌گیرند و زیست در دسترس‌پذیری عناصر همچون کبالت، آهن، نیکل، وانادیوم، منگنز و مس افزایش می‌یابد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

۳-۴-۲- مواد آلی

مواد آلی به مقادیر متفاوت در کلیه خاک‌ها وجود داشته و اثر بسزایی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارند. مواد آلی موجود در خاک موجب جذب فلزات سنگین شده و کاهش تحرک آنها را سبب می‌شوند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶). در آب رودخانه‌ها و آبراهه‌ها مواد آلی معلق موجب جذب فلزات سنگین شده و باعث

ته‌نشینی آنها در رسوبات می‌شوند. جذب سطحی فلزات سنگین توسط مواد آلی وابسته به pH بوده و با افزایش آن افزایش می‌یابد. بنابراین با کاهش pH در منابع آب و خاک، فلزات سنگین جذب شده توسط مواد آلی و کانیهای رسی آزاد شده و موجبات آلودگی این منابع را فراهم می‌کنند.

۳-۴-۳- کانیهای رسی

کانیهای رسی، محصول هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها در سطح زمین بوده و اثر بالقوه‌ای بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارند. رس‌ها به دلیل سطح ویژه زیاد و دارا بودن بار منفی بر روی سطح خود به طور دائم محل خوبی برای جذب کاتیون‌ها به شمار می‌آیند. ظرفیت تبادل یونی و سطح ویژه کانیهای رسی به ترتیب زیر افزایش می‌یابد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

ورمیکولیت < مونت موریلونیت < اسمکتیت < ایلیت < کائولینیت

جذب فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی توسط کانیهای رسی و مواد آلی خاک، موجب تثبیت آنها شده و انحلال پذیری، تحرک و زیست در دسترس پذیری آنها را کنترل می‌کنند (Vega et al, 2004; Kabata- Pendias, 2011).

۳-۴-۴- ظرفیت تبادل کاتیونی

ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity) به ظرفیت جذب یون‌های مثبت توسط یون‌های منفی در اثر نیروی الکترواستاتیک در سطح ذرات گفته می‌شود. سطح مواد آلی، کانیهای رسی و اکسیدهای آهن دارای ظرفیت تبادل یونی بالایی بوده و این امر باعث جذب و نگهداری کاتیون‌ها در سطح آنها می‌شود. بطور کلی ظرفیت تبادل کاتیونی مواد آلی خاک بیشتر از کانیهای رسی و آن نیز بیشتر از اکسیدهای آهن و منگنز است (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶). مواد آلی به دلیل دارا بودن CEC بالا و همچنین به دلیل ایجاد کمپلکس با فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی موجب کاهش زیست در دسترس پذیری این عناصر می‌شوند (عرفان منش

و افیونی، ۱۳۷۹). مقدار و نوع کلوئیدهای خاک بر میزان ظرفیت تبادل کاتیونی آن مؤثر بوده، بنابراین هرچه مقدار کلوئیدهای نوع هوموس، ورمیکولیت و مونت موریلونیت در خاک بیشتر باشد (جدول ۳-۲)، CEC آن نیز بالاتر خواهد بود.

جدول ۳-۱- مقدار CEC انواع کلوئیدهای خاک (Miller and Donahue, 1990)

| نام کلوئید | CEC (بر حسب meq / 100 gr) |
|------------------------------------|---------------------------|
| هوموس | ۱۰۰ - ۳۰۰ |
| ورمیکولیت | ۸۰ - ۱۵۰ |
| مونت موریلونیت | ۶۰ - ۱۰۰ |
| ایلیت | ۲۵ - ۴۰ |
| کائولن | ۳ - ۱۵ |
| هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم | ۴ |

۳-۵- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه

از تاریخچه فعالیت اکتشافی معدن سرب و روی آی قلع‌سی اطلاعات و مدارک محدودی در دست می‌باشد. اجازه بهره‌برداری از معدن در سال ۱۳۳۰ به شخصی بنام یوسف بهشتی واگذار گردید. آخرین پروانه بهره‌برداری معدن نیز به شماره ۳۵۱۴۴ در تاریخ ۱۳۴۸/۱۲/۲۷ به نام شرکت سهامی معادن لوت صادر گردیده است و پس از اظهار بهره‌بردار مبنی بر اتمام ذخیره، چند سال قبل از انقلاب اسلامی، معدن به حالت تعطیل در آمد. از دیگر بهره‌داران می‌توان به افرادی نظیر مهندس ذوالفقاری و وارطان اشاره نمود (عزیزی، ۱۳۸۶).

بر اساس گزارش‌های شرکت مهندسی مشاور تحقیقات معدنی خاک خوب (۱۳۷۳) به نقل از گزارش سرب و روی در ایران و با توجه به مشاهدات صحرایی، کم عمق بودن ترانشه‌ها و وجود مقدار کمی سنگ باطله استخراجی در محل کندوکاوها، عملیات استخراجی در این معدن محدود بوده و گسترش عمقی چندانی نداشته است. طبق گزارش سال ۱۳۴۰ مقدار ۵۰۰۰ تن کانسنگ آماده حمل بوده و میزان ذخیره مشخص نبوده است (عزیزی، ۱۳۸۶).

در حال حاضر چند نفر در روستای آیقلعه‌سی و شهرستان تکاب حضور دارند که به سختی عملیات معدنی مورد نظر را بیاد می‌آورند که آنهم بصورت فنی چندان قابل ارزش‌گذاری نمی‌باشد. لازم به ذکر است تاکنون غیر از فعالیت‌هایی که توسط شرکت توسعه معادن روی ایران در منطقه صورت پذیرفته هیچگونه عملیات اکتشافی سیستماتیکی بر روی این معدن انجام نگرفته است (عزیزی، ۱۳۸۶).

بر پایه آنالیزهای انجام شده غلظت عناصر Pb و Zn در رگه اصلی معدن آیقلعه‌سی به ترتیب ۴۷۷۰۰ و ۷۵۶۰۰ mg/kg (شرکت معدنکاران انگوران، ۱۳۹۱) و در نمونه سنگهای اخذ شده از دیوی باطله‌های معدن به ترتیب عناصر Pb و Zn بیشتر از ۱۰۰۰۰ mg/kg و عناصر Cu و As به ترتیب ۸۳۰۱/۹ و ۶۰۰/۴ می‌باشد. بافت و ساخت کانسار سرب و روی آیقلعه‌سی رگه‌ای، پرکننده فضای خالی، شانه‌ای، برشی و توده‌ای تعیین شده است (شیرخانی، ۱۳۸۶).

به طور کلی مطالعات انجام شده در محدوده مورد مطالعه به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، علوی و همکاران (۱۳۵۵).
- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ عربشاه، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ دوم (۱۳۷۵).
- گزارش بررسی اولیه توان معدنی در محدوده عربشاه-آیقلعه‌سی (تکاب)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، حیدری (۱۳۷۶).
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، فنودی و حریری (۱۳۷۹).
- بررسی‌های دورسنجی به منظور شناسایی مواد معدنی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدنی گیوی و قریب (۱۳۸۱).

- گزارش بررسی مناطق امید بخش معدنی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تکاب (زون شاهیندژ- ماهنشان)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، بنی‌آدم (۱۳۸۲).
- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی روی- سرب و عناصر همراه در کانسار آی‌قلعه‌سی، جنوب شرقی تکاب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، شیرخانی (۱۳۸۶).
- گزارش فعالیت‌های اکتشافی محدوده آی‌قلعه‌سی، شرکت معدنکاران انگوران، عزیزی (۱۳۸۶).
- داده‌های غلظت عناصر سرب و روی در کانسنگ معدن سرب- روی آی‌قلعه‌سی، شرکت معدنکاران انگوران (۱۳۹۱).

فصل چهارم

مواد و روش ها

۴-۱- مقدمه

برای دستیابی به نتایج صحیح و دقیق و تعیین ارتباط آلودگی با عوامل به وجود آورنده آن در منطقه مورد مطالعه، به‌کارگیری روش‌های مناسب در طول تحقیق امری ضروری می‌نماید. شناخت و بررسی محیط مورد مطالعه، عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب، رسوب و خاک منطقه و انجام مطالعات زیست محیطی مواردی هستند که باید قبل از نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد بررسی قرار گیرند. در این پژوهش نیز ابتدا خصوصیات کلی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی منطقه، مورد بررسی قرار گرفت و سپس از منابع آب، رسوب، خاک برجا و خاک باطله و کانسنگ‌های منطقه نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های خاک برجای منطقه، خاک حاصل از باطله‌ها و رسوب جهت تعیین مقدار فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف همچون pH، EC، مواد آلی و بافت خاک مورد آنالیز قرار گرفتند و نمونه‌های آب نیز جهت تعیین فلزات سنگین، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، pH، EC و TDS به آزمایشگاه منتقل شدند.

این بخش به بررسی نحوه نمونه‌برداری، روش‌های آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها اختصاص داده شده است.

۴-۲- نمونه‌برداری

به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کانه‌زایی و معدن متروکه سرب و روی آی‌قلعه‌سی بر غلظت فلزات سنگین در آب و خاک منطقه، ابتدا با انجام بازدید صحرایی و همچنین مطالعه نقشه‌های منطقه، محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه تعیین گردید. محل ایستگاه‌های برداشت آب و رسوب با توجه به موقعیت معدن متروکه و باطله‌ها، و محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری خاک حاصل از باطله و خاک برجای منطقه با در نظر گرفتن موقعیت معدن متروکه و باطله‌ها و سازندهای زمین‌شناسی و در نظر گرفتن فاصله از محل کانه‌زایی از بالا دست تا پایین‌دست حوضه آبریز انتخاب گردید. به طور کلی ۲۳ نمونه خاک برجا، ۴ نمونه خاک حاصل از باطله، ۱۴ نمونه آب، ۱۸ نمونه رسوب و ۲ نمونه سنگ باطله و ۳ نمونه کانسنگ برداشت شد.

۴-۲-۱- نمونه برداری سنگ

نمونه‌های کانسنگ (Ore) از رگه اصلی معدن برای شناسایی کانیهای اصلی رگه معدنی و نمونه‌های سنگ باطله (Waste Rock) از کومه‌های باطله ریخته شده در اطراف تونل‌های اکتشافی برداشت شدند که پس از علامت گذاری بر آنها و نامگذاری در محل در داخل کیسه گذاشته شدند. جدول ۴-۱ مشخصات محل‌های نمونه برداری کانسنگ و سنگهای باطله را نشان می‌دهد.

۴-۲-۲- نمونه برداری خاک

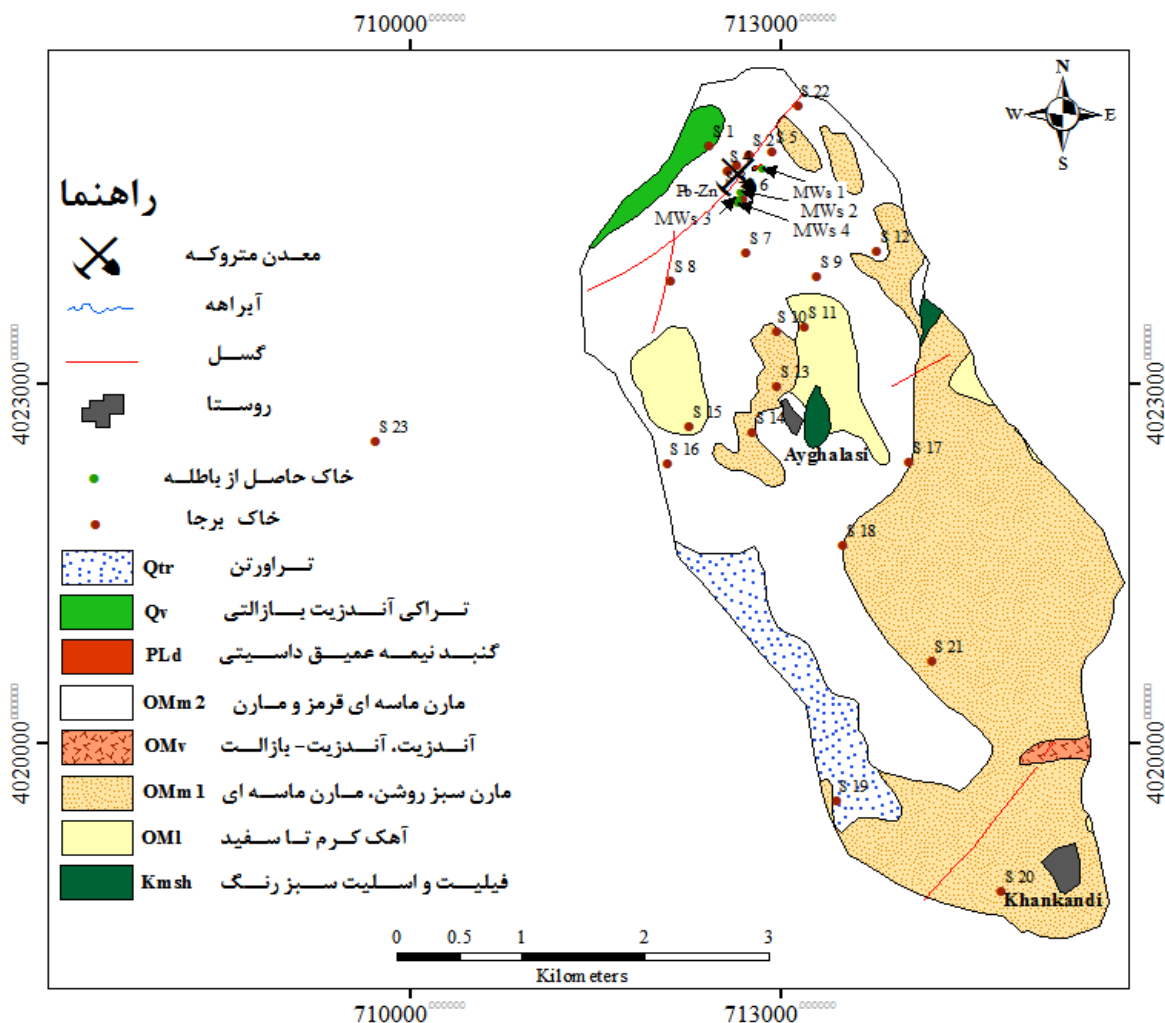
پس از تعیین محل‌های نمونه برداری بر اساس پارامترهای ذکر شده، مقدار ۱ الی ۱/۵ کیلوگرم از خاک برجای منطقه (Soil) و خاک باطله (Mining Waste of Soil) از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی متر برداشت گردید. هر نمونه خاک شامل سه نمونه است که با فاصله تقریبی ۲ متر از هم برداشت شده و در محل روی کاغذی تمیز با هم مخلوط گردیده، قلوه سنگ‌ها جدا شده و به روش مخروطی کردن و چهار قسمت کردن، به اندازه مورد نظر از هر نمونه در کیسه‌های نایلونی با مقاومت بالا ریخته شده و در محل نامگذاری گردیده است. شکل ۴-۱ پراکندگی نقاط نمونه برداری را بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه در محیط Arc GIS نشان داده و در جدول ۴-۱ مشخصات محل‌های نمونه برداری خاک برجای منطقه و خاک حاصل از باطله‌ها آورده شده است. ۴ نمونه خاک از کپه‌های باطله معدنی استخراج شده که در اطراف معدن در فضای باز ریخته شده بود، شد تا پس از تجزیه شیمیایی، توان آلاینده‌گی آنها نیز مشخص گردد.

۴-۲-۳- نمونه برداری آب و رسوب

منابع آب منطقه مورد مطالعه شامل آب سطحی بوده و تنها دو چشمه که آب آشامیدنی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی را تأمین می‌کنند به عنوان آب زیرزمینی در منطقه وجود داشتند. بنابراین تمام نمونه‌ها با در نظر گرفتن فاصله از معدن، آبراهه شاهد و روستاهای موجود در منطقه از محل معدن تا پایین دست حوضه

برداشت شد. برای برداشت نمونه آب از ظروف پلاستیکی در دو اندازه متفاوت ۵۰ و ۲۵۰ میلی لیتری دارای درب مناسب استفاده گردید که پس از چند بار شستشو توسط آب موجود در منطقه، نمونه‌های آب برداشت شدند.

مطابق با محل‌های برداشت آب، نمونه رسوب به مقدار ۱/۵ کیلوگرم از عمق ۰ تا ۱۵ سانتیمتر برداشت شد و در داخل کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌کیپ ریخته شدند. همه نمونه‌ها در محل برچسب‌گذاری شده و مشخصات نمونه‌ها روی آنها نوشته شد. جدول ۴-۲ نشان دهنده مشخصات محل‌های نمونه‌برداری آب و رسوب بوده و شکل ۴-۲ پراکندگی نقاط نمونه‌برداری آب و رسوب را بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه در محیط Arc GIS نشان می‌دهد.



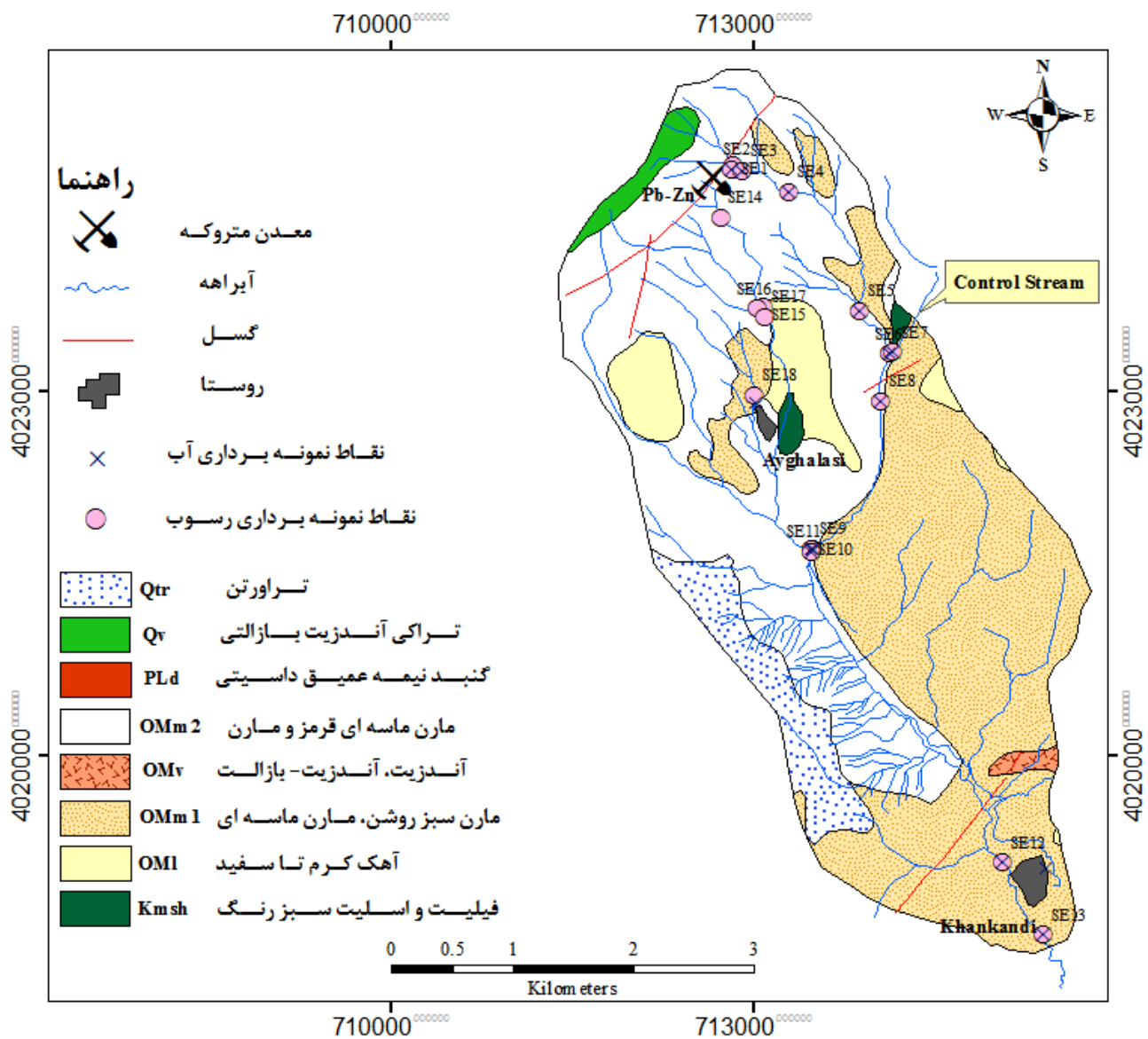
شکل ۴-۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک برجا (S) و خاک حاصل از باطله (MWs) بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه

جدول ۴-۱- مشخصات محل‌های نمونه‌برداری خاک برجا (S)، خاک حاصل از باطله (MWS)، کانسنگ (R-Ore) و سنگ باطله (R-W)

| کد نمونه‌ها | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | توضیحات |
|------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|
| S ₁ | ۷۱۲۴۱۸ | ۴۰۲۵۰۰۳ | بالادست معدن متروکه |
| S ₂ | ۷۱۲۷۴۸ | ۴۰۲۴۹۳۲ | امتداد رگه اصلی معدنی |
| S ₃ | ۷۱۲۶۵۰ | ۴۰۲۴۸۳۳ | شمال شرق معدن متروکه |
| S ₄ | ۷۱۲۵۶۵ | ۴۰۲۴۷۸۴ | شمال ترانشه افقی معدن متروکه |
| S ₅ | ۷۱۲۹۲۷ | ۴۰۲۴۹۴۵ | خاک‌های پشت معدن، روبروی باطله |
| S ₆ | ۷۱۲۶۹۷ | ۴۰۲۴۵۵۴ | روبروی رگه اصلی معدنی |
| S ₇ | ۷۱۲۷۱۶ | ۴۰۲۴۱۰۴ | مسیر معدن تا آی‌قلعه‌سی |
| S ₈ | ۷۱۲۱۰۸ | ۴۰۲۳۸۶۶ | ۷۰۰ متری گسل اصلی |
| S ₉ | ۷۱۳۲۹۱ | ۴۰۲۳۹۰۲ | نرسیده به آبراهه زهاب از آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₀ | ۷۱۲۹۶۶ | ۴۰۲۳۴۴۹ | ۵۰۰ متری روستای آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₁ | ۷۱۳۱۹۰ | ۴۰۲۳۴۸۱ | واحد آهکی نزدیک آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₂ | ۷۱۳۷۷۸ | ۴۰۲۴۱۲۱ | آبراهه نرسیده به آبراهه شاهد |
| S ₁₃ | ۷۱۲۹۷۱ | ۴۰۲۲۹۷۷ | نزدیک جاده روستای آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₄ | ۷۱۲۷۶۹ | ۴۰۲۲۵۹۸ | غرب روستای آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₅ | ۷۱۲۲۶۰ | ۴۰۲۲۶۴۸ | واحد آهکی غرب آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₆ | ۷۱۲۰۸۴ | ۴۰۲۲۳۳۴ | یک کیلومتری غرب آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₇ | ۷۱۴۰۳۹ | ۴۰۲۲۳۵۲ | مسیر آبراهه اصلی شرق آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₈ | ۷۱۳۵۰۸ | ۴۰۲۱۶۵۷ | جنوب روستای آی‌قلعه‌سی |
| S ₁₉ | ۷۱۳۴۵۲ | ۴۰۱۹۵۰۹ | واحد تراورتنی مسیر روستای خان‌کندی |
| S ₂₀ | ۷۱۴۷۸۴ | ۴۰۱۸۷۵۶ | غرب روستای خان‌کندی |
| S ₂₁ | ۷۱۴۲۲۱ | ۴۰۲۰۶۷۸ | ۲ کیلومتری شمال روستای خان‌کندی |
| S ₂₂ | ۷۱۰۲۵۸ | ۴۰۲۲۰۱۴ | نمونه شاهد شمال شرق معدن |
| S ₂₃ | ۷۰۹۷۲۴ | ۴۰۲۲۵۲۵ | نمونه شاهد غرب روستای آی‌قلعه‌سی |
| MWS ₁ | ۷۱۲۸۶۱ | ۴۰۲۴۸۱۷ | خاک باطله پشت معدن |
| MWS ₂ | ۷۱۲۶۸۳ | ۴۰۲۴۶۱۹ | خاک باطله روبروی رگه اصلی |
| MWS ₃ | ۷۱۲۶۵۲ | ۴۰۲۴۵۵۰ | خاک باطله کنار رگه اصلی |
| MWS ₄ | ۷۱۲۶۵۴ | ۴۰۲۴۵۳۱ | خاک باطله کنار رگه اصلی |
| WR ₁ | ۷۱۲۸۴۷ | ۴۰۲۴۸۲۷ | سنگ باطله ۱ |
| WR ₂ | ۷۱۲۸۳۳ | ۴۰۲۴۸۴۵ | سنگ باطله ۲ |
| R-Or | ۷۱۲۶۸۶ | ۴۰۲۴۶۵۴ | سه نمونه کانسنگ |

جدول ۴-۲- مشخصات محل‌های نمونه‌برداری آب (W) و رسوب (SE)

| کد نمونه‌ها | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | توضیحات |
|------------------|---------------|---------------|---|
| W ₁ | ۷۱۲۸۰۷ | ۴۰۲۴۸۳۱ | محل خروج زهاب اسیدی معدن |
| W ₂ | ۷۱۲۸۹۵ | ۴۰۲۴۸۱۶ | ۱۰۰ متری سرچشمه زهاب معدنی |
| W ₃ | ۷۱۳۲۸۵ | ۴۰۲۴۶۴۳ | ۵۰۰ متری سرچشمه زهاب معدنی |
| W ₄ | ۷۱۳۸۷۲ | ۴۰۲۳۶۵۹ | آب‌های معدنی مسیر آبراهه، بعد از زهاب |
| W ₅ | ۷۱۴۱۱۷ | ۴۰۲۳۳۰۶ | مسیر آبراهه، قبل از اختلاط با نمونه شاهد |
| W ₆ | ۷۱۴۱۴۷ | ۴۰۲۳۳۲۲ | نمونه آب آبراهه شاهد |
| W ₇ | ۷۱۴۰۳۹ | ۴۰۲۲۹۱۵ | اختلاط با نمونه شاهد |
| W ₈ | ۷۱۳۴۷۷ | ۴۰۲۱۶۹۳ | آبراهه اصلی، قبل از ورود فاضلاب روستا آی‌قلعه‌سی |
| W ₉ | ۷۱۳۴۶۶ | ۴۰۲۱۶۸۷ | آبراهه ورود فاضلاب روستا آی‌قلعه‌سی |
| W ₁₀ | ۷۱۳۴۷۱ | ۴۰۲۱۶۷۰ | نمونه اختلاط آبراهه اصلی با آبراهه فاضلاب آی‌قلعه‌سی |
| W ₁₁ | ۷۱۳۰۱۲ | ۴۰۲۲۹۰۲ | چشمه آب آشامیدنی روستا آی‌قلعه‌سی |
| W ₁₂ | ۷۱۵۰۵۵ | ۴۰۱۹۱۰۴ | نمونه آبراهه بالادست روستای خان‌کندی |
| W ₁₃ | ۷۱۵۴۱۳ | ۴۰۱۹۰۵۴ | چشمه آب آشامیدنی روستا خان‌کندی |
| W ₁₄ | ۷۱۵۳۹۱ | ۴۰۱۸۵۰۵ | نمونه آبراهه پایین‌دست روستا خان‌کندی |
| SE ₁ | ۷۱۲۸۲۵ | ۴۰۲۴۸۶۴ | آبراهه خشک قبل از خروج زهاب اسیدی معدن |
| SE ₂ | ۷۱۲۸۰۶ | ۴۰۲۴۸۳۰ | محل خروج زهاب اسیدی معدن |
| SE ₃ | ۷۱۲۸۹۷ | ۴۰۲۴۸۱۹ | ۱۰۰ متری سرچشمه زهاب معدنی |
| SE ₄ | ۷۱۳۲۸۵ | ۴۰۲۴۶۴۳ | ۵۰۰ متری سرچشمه زهاب معدنی |
| SE ₅ | ۷۱۳۸۷۲ | ۴۰۲۳۶۵۹ | مسیر آبراهه، بعد از زهاب‌های معدنی |
| SE ₆ | ۷۱۴۱۱۷ | ۴۰۲۳۳۰۶ | مسیر آبراهه، قبل از اختلاط با نمونه شاهد |
| SE ₇ | ۷۱۴۱۴۷ | ۴۰۲۳۳۲۲ | نمونه رسوب آبراهه شاهد |
| SE ₈ | ۷۱۴۰۳۹ | ۴۰۲۲۹۱۵ | اختلاط با نمونه شاهد |
| SE ₉ | ۷۱۳۴۷۷ | ۴۰۲۱۶۹۳ | آبراهه اصلی، قبل از ورود فاضلاب روستا آی‌قلعه‌سی |
| SE ₁₀ | ۷۱۳۴۶۶ | ۴۰۲۱۶۸۷ | آبراهه ورود فاضلاب روستا آی‌قلعه‌سی |
| SE ₁₁ | ۷۱۳۴۷۱ | ۴۰۲۱۶۷۰ | نمونه اختلاط آبراهه اصلی با آبراهه فاضلاب آی‌قلعه‌سی |
| SE ₁₂ | ۷۱۵۰۵۵ | ۴۰۱۹۱۰۴ | نمونه آبراهه بالادست روستای خان‌کندی |
| SE ₁₃ | ۷۱۵۳۹۱ | ۴۰۱۸۵۰۵ | نمونه آبراهه پایین‌دست روستا خان‌کندی |
| SE ₁₄ | ۷۱۲۷۲۲ | ۴۰۲۴۴۳۱ | رسوب آبراهه زیر باطله‌های رگه اصلی معدن |
| SE ₁₅ | ۷۱۳۰۷۶ | ۴۰۲۳۶۹۸ | ۱ کیلومتری باطله‌های رگه اصلی معدن |
| SE ₁₆ | ۷۱۳۰۱۶ | ۴۰۲۳۶۸۰ | رسوب حاصل از شستشوی خاک برجای منطقه |
| SE ₁₇ | ۷۱۳۰۸۰ | ۴۰۲۳۶۱۱ | رسوب روی بند حاصل از اختلاط نمونه‌های SE ₁₅ و SE ₁₆ |
| SE ₁₈ | ۷۱۳۰۰۱ | ۴۰۲۲۹۶۱ | رسوب نزدیک روستای آی‌قلعه‌سی |



شکل ۴-۲- موقعیت نقاط نمونه برداری آب (W) و رسوب (SE) بر روی نقشه زمین شناسی منطقه

۴-۳- آماده سازی نمونه ها

۴-۳-۱- نمونه های کانسنگ و سنگ باطله

نمونه های کانسنگ برای تهیه مقاطع صیقلی به دانشگاه فردوسی مشهد و سنگهای باطله جهت تعیین غلظت

عناصر به آزمایشگاه سازمان زمین شناسی ارسال گردیدند.

۴-۳-۲- نمونه‌های خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌ها و رسوبات

پس از برداشت نمونه‌ها، بسته بندی و برچسب‌گذاری آنها در محل، نمونه‌ها به محل مناسب منتقل شده و به مدت ۳ روز در هوای آزاد خشک شدند. نمونه‌ها پس از جدا نمودن قلوه‌سنگ‌ها و خرد کردن کلوخه‌ها، از الک شماره ۱۰ (۲ میلی‌متر) عبور داده شده و ذرات درشت‌تر از ماسه (ذرات روی الک ۲ mm) از آنها جدا گردید. سپس هر نمونه بر روی کاغذی تمیز ریخته و به قسمت‌های مساوی تقسیم گردید و از هر قسمت مقداری برداشته شد تا در نهایت به مقدار جرم مورد نظر (۳۰۰ گرم) رسید. در نهایت مقادیر مشخص شده از هر نمونه، از الک ۲۳۰ مش جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر عبور داده شد. مقادیر باقیمانده از نمونه‌ها برچسب‌گذاری شده و در کیسه‌های پلاستیکی جهت انجام آنالیزهای مختلف بسته بندی گردید (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- به حجم رساندن نمونه‌های خاک برای تعیین غلظت فلزات سنگین

۴-۳-۳- نمونه‌های آب

نمونه‌های آب برداشت شده در ظروف ۵۰ میلی‌لیتری برای تعیین غلظت فلزات سنگین با دستگاه‌های ICP-OES^۱ و AAS^۲ پس از اسیدی شدن توسط اسید نیتریک و رساندن به pH کمتر از ۳ در محل نمونه‌برداری، به آزمایشگاه منتقل شدند. همچنین نمونه‌های آب برداشت شده در بطری‌های در بسته ۲۵۰ میلی‌لیتری، در زمانی

^۱ پلاسمای جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma-OES)

^۲ اسپکتروفوتومتری جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrophotometry)

کمتر از ۴۸ ساعت به آزمایشگاه منتقل شدند و مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها توسط دستگاه IC^۱ و روش تیتراسیون تعیین شدند. جهت به حداقل رساندن تغییرات احتمالی یون‌های موجود در آب، نمونه‌ها تا قبل از تجزیه در داخل یخچال و در دمای زیر ۴ درجه سانتیگراد بدون یخ‌زدگی نگهداری شدند.

۴-۴- روش‌های آنالیز

نمونه‌های سنگ، خاک، آب و رسوب برداشت شده جهت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف با استفاده از روش‌های استاندارد که در ادامه توضیح داده شده است مورد آزمایش و تجزیه قرار گرفتند.

۴-۴-۱- تعیین غلظت عناصر و فلزات سنگین

غلظت ۶۲ عنصر در هر نمونه آب و ۵۲ عنصر در نمونه‌های خاک برجا، خاک حاصل از باطله و رسوب با دستگاه ICP-OES در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور اندازه‌گیری گردید.

۴-۴-۲- اندازه‌گیری pH

- نمونه‌های خاک و رسوب

pH نمونه‌های خاک برجا، خاک حاصل از باطله و رسوبات با استفاده از روش استاندارد METHOD 9045 EPA sw-846 اندازه‌گیری و تعیین گردید. بر اساس این روش ۳۰ گرم نمونه جامد که از الک ۲ mm (mesh) عبور داده شده بود با ۳۰ mL آب مقطر به نسبت ۱ به ۱ در بشر ریخته شد و به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر مخلوط گردید. سپس مخلوط آب و خاک به مدت یک ساعت در حالت سکون قرار داده شد. pH عصاره حاصل شده توسط دستگاه pHسنج (مدل 3510 Jenway) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور اندازه‌گیری گردید.

^۱ کروماتوگرافی یونی (Ion Chromatograph)

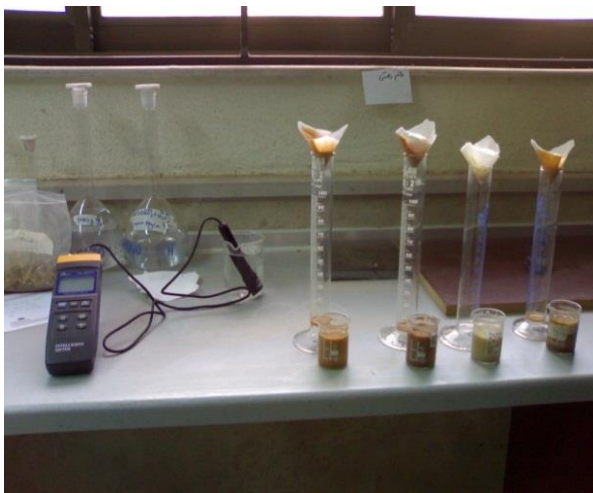
- نمونه‌های آب

pH نمونه‌های آب در محل توسط دستگاه‌های pH سنج SUNTEX مدل SP-701 اندازه‌گیری گردید.

۴-۴-۳- اندازه‌گیری EC

- نمونه‌های خاک و رسوب

یکی دیگر از پارامترهای مهم خاک و رسوب EC (Electrical Conductivity) می‌باشد که بیانگر میزان املاح معدنی قابل حل بوده و معیار دقیقی از میزان املاح و شوری آب و خاک می‌باشد. این پارامتر توسط دستگاه EC سنج مدل YK-2001 CT در آزمایشگاه زمین‌شناسی زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری این پارامتر، در یک بشر ۲۵۰ ml، ۱۰ گرم خاک خشک ریخته شده و به نسبت ۱ به ۵، با ۵۰ mL آب مقطر به مدت ۶۰ دقیقه روی دستگاه استیرر (IKA® RH basic 2) مخلوط گردید. بعد از صاف کردن محلول، بلافاصله EC نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴- اندازه‌گیری EC نمونه‌های خاک حاصل از باطله، خاک برجا و رسوب

- نمونه‌های آب

EC نمونه‌های آب در محل توسط دستگاه EC سنج HACH مدل ۵۰۱۵۰ اندازه‌گیری گردید.

۴-۴-۴- اندازه‌گیری درصد مواد آلی در خاک و رسوب

برای به دست آوردن مواد آلی موجود در خاک و رسوب از روش استاندارد (Standard Methods 209f,) (APHA, 1995) استفاده گردید. ابتدا ۱۰ گرم از هر نمونه به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۰۵ °C قرار داده شد تا رطوبت آن خارج شود (در این مرحله درصد رطوبت خاک به دست می‌آید). پس از این مرحله نمونه مجدداً وزن گردید. در ادامه نمونه به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰°C در داخل کوره قرار داده شد. بعد از گذشت این زمان، نمونه از کوره خارج شده و دوباره وزن شد. از تفاضل وزن قبل و بعد از حرارت دادن در دمای ۵۵۰°C، مقدار ماده آلی خاک و رسوب بر اساس رابطه زیر تعیین گردید.

$$\text{L.O.I}_{550} = (\text{DW}_{105} - \text{DW}_{550} / \text{DW}_{105}) \times 100 \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

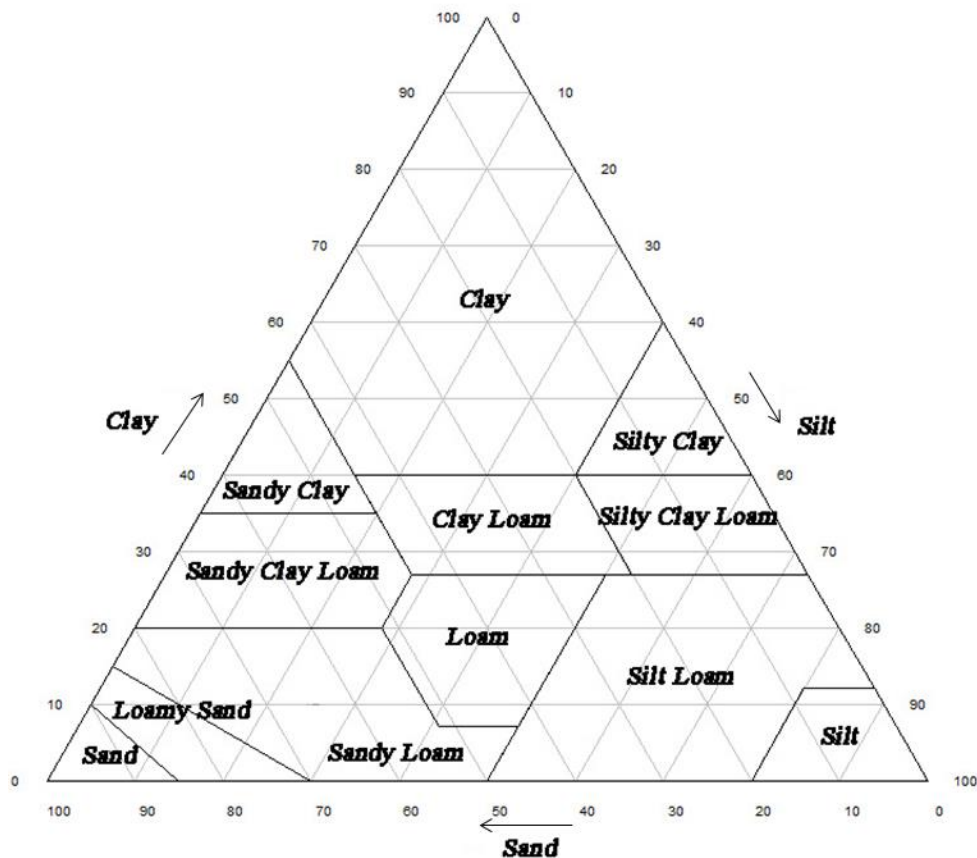
در این رابطه L.O.I_{550} : مقدار جرم کاهش یافته در اثر گرما، DW_{105} : وزن در دمای ۱۰۵ درجه، DW_{550} : وزن در دمای ۵۵۰ درجه.

۴-۴-۵- تعیین بافت خاک و رسوب

جهت اندازه‌گیری ذرات و تعیین بافت خاک از طبقه‌بندی استاندارد کشاورزی خاک امریکا (USDA, 1951) استفاده گردید (شکل ۴-۵). در این طبقه‌بندی اجزاء سازنده خاک در سه دسته ماسه، سیلت و رس قرار می‌گیرند. برای تعیین اندازه رسوبات از مثلث طبقه‌بندی فولک (Folk, 1954) استفاده شد (شکل ۴-۶) که شامل گراول، ماسه و گل (سیلت و رس) می‌باشد (موسوی حرمی، ۱۳۷۷).

برای جدا کردن ذرات گراول از ماسه از الک ۲ mm، و رس از سیلت از روش هیدرومتری استفاده شد. برای تفکیک انواع ذرات ماسه (خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز) به ترتیب از الک‌های ۱۸ mesh، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ استفاده گردید. ذرات عبوری از الک ۲۳۰ شامل ذرات سیلت و رس بوده و در ادامه این ذرات که در ظرفی ته بسته به نام پن (Pan) جمع شدند، به روش هیدرومتری از هم تفکیک گردیدند. برای تعیین

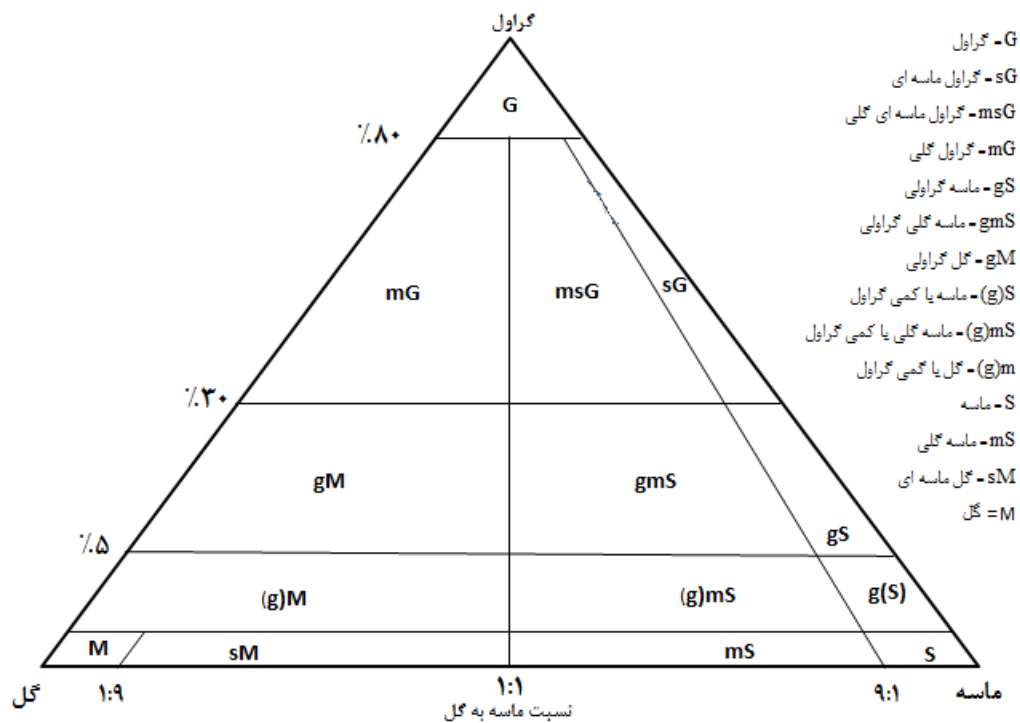
بافت خاک ابتدا مقدار مشخصی از خاک و رسوب (در حدود ۱۰۰۰ gr) را وزن کرده و در داخل هاون ریخته و به منظور جدا نمودن اجزاء به هم پیوسته آن به آرامی دسته هاون حرکت داده شود (ضربات وارده نباید به قدری باشد که شکل و اندازه اولیه ذرات تغییر یابند). در مرحله بعد سری‌های الک مورد نظر بر روی دستگاه لرزاننده (Shaker) قرار داده شد و با ریختن هر نمونه در الک اول دستگاه به مدت ۱۵ دقیقه نمونه‌ها را الک نمود. بعد از گذشت این زمان الک‌ها خارج شده و ذرات باقیمانده روی هر الک تا الک ۲۳۰ مش وزن گردیدند.



شکل ۴-۵- مثلث بافت خاک (USDA, 1951)

برای جدا کردن ذرات سیلت از رس نیز به روش هیدرومتری، ذرات عبور کرده از الک ۲۳۰ جمع شده و وزنی بین ۳۰ تا ۶۰ گرم از آنها انتخاب شد. محلول ۰.۴٪ هگزامتافسفات سدیم که برای پراکنده نمودن ذرات رس از هم می‌باشد تهیه شد و در داخل ظرفی مناسب، ۱۲۵ mL از محلول را ریخته و مقدار خاک یا رسوب مورد نظر را داخل آن ریخته و به مدت ۳ دقیقه با همزن، بطور کامل مخلوط شد. در ادامه محلول گلی را داخل استوانه ml

۱۰۰۰ ریخته و با آب به حجم کامل رسانده شد. بعد از به حجم رساندن محلول و قرار دادن هیدرومتر در آن در فواصل زمانی مشخص ۳۰ ثانیه، ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ دقیقه هیدرومتر قرائت شد. عدد قرائت شده از روی هیدرومتر پس از محاسبات ریاضی و انجام تصحیحات، برای رسم نمودار تجمعی آماده شده و درصد سیلت و رس هر نمونه محاسبه گردید. با قرار دادن درصدهای حاصل از آزمایش الک و هیدرومتری در مثلث رده‌بندی خاک و رسوب، نمونه‌های خاک و رسوب در یکی از رده‌های طبقه‌بندی شده، نامگذاری گردید.



شکل ۴-۶- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۵۴)

۴-۶-۴- اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آب

مقدار غلظت آنیون‌ها (CO_3^{2-} ، HCO_3^- و Cl^-) با روش تیتراسیون و دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) و کاتیون‌های اصلی (Ca^{+2} ، Mg^{+2} و Na^+ و K^+) توسط دستگاه ICP-OES در نمونه‌های آب، در آزمایشگاه آب سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور اندازه‌گیری شدند.

۴-۵- ارزیابی شدت آلودگی در خاک و رسوبات

برای ارزیابی شدت آلودگی از شاخص‌های ژئوشیمیایی شامل: ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor)، شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index)، ضریب آلودگی (Contamination Factor)، درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Degree of Contamination) و روش‌های آماری تحلیل داده‌ها از جمله ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) و آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) استفاده گردید که در بخش مربوط به نتایج بطور جداگانه آورده شده‌اند.

بطور کلی در این پژوهش جهت تفسیر و تجزیه و تحلیل داده‌ها از، نرم‌افزارهای Arc GIS 9.3، Chemistry،

SPSS 16، PHREEQC 2.15، Aq.QA، Microsoft Office 2010 استفاده گردید.

فصل پنجم

کیفیت خاک منطقه

۵-۱- مقدمه

خاک بخش مهمی از لیتوسفر است که در اثر عوامل مختلف همچون هوازدگی و فرسایش از سنگهای آذرین، دگرگونی و رسوبی در طی مدت زمان طولانی حاصل می‌شود. بنابراین خاک بطور مستقیم با مواد مادری رابطه داشته و از آن تأثیر می‌پذیرد. در مناطق با کانه‌زایی فلزی از جمله سرب و روی غلظت برخی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در خاک منطقه بالا می‌باشد که در اثر عوامل مختلف این عناصر رها شده و وارد بخش‌های مختلف اتمسفر، بیوسفر و هیدروسفر می‌شوند و بر زندگی جانوران و گیاهان تأثیر گذاشته و اثرات زیست محیطی زیادی را در محیط برجای می‌گذارند (Kabata-Pendias, 2011). انسان با دخالت در این مناطق و معدنکاری موجب تشدید این اثرات می‌شود.

در این فصل ضمن بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه، همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه غلظت و پراکنش عناصر در خاک حاصل از باطله و خاک برجای منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه ترسیم شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. در پایان به ارزیابی شدت آلودگی در خاک منطقه و خاک حاصل از باطله‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی پرداخته شده و محاسبات آماری (همبستگی و آنالیز خوشه‌ای) بر روی نتایج انجام گردیده است.

۵-۲- نتایج اولیه آنالیز نمونه‌های خاک حاصل از باطله و خاک برجای منطقه

غلظت فلزات سنگین و اکسیدهای فلزی در نمونه‌های خاک برجا، خاک حاصل از باطله‌ها و سنگ باطله در جدول ۵-۱ و مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی مورد بررسی در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه در جدول ۵-۲ آورده شده است.

جدول ۵-۱- غلظت فلزات سنگین و اکسیدهای فلزی در خاک حاصل از باطله‌ها (MW₁-MW₄) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃)

| نمونه | Pb (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Cd (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Hg (mg/kg) | Sb (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Fe ₂ O ₃ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | MnO (%) |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|
| MW _{S1} | ۶۴۰۴/۷ | ۴۲۳۱/۹ | ۲۰۹/۲ | ۰/۱ | ۱۶/۰ | ۰/۱ | ۰/۸ | ۲۷۲/۰ | ۲/۸ | ۴/۶ | ۰/۰۲ |
| MW _{S2} | ۱۰۲۳۰/۰ | ۱۰۴۱۶/۹ | ۵۱۵/۱ | ۰/۲ | ۱۹/۷ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۱۲۷۷/۹ | ۱۱/۲ | ۱۰/۵ | ۰/۰۹ |
| MW _{S3} | ۱۰۰۱۴/۰ | ۱۱۱۵۴/۴ | ۱۰۳۷/۰ | ۰/۳ | ۱۱/۷ | ۰/۲ | ۱/۰ | ۱۷۳۱/۲ | ۵/۰ | ۷/۱ | ۰/۰۳ |
| MW _{S4} | ۱۰۱۰۰/۰ | ۱۱۷۶۶/۰ | ۷۶۲/۱ | ۰/۱ | ۱۱/۹ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۷۴۲/۵ | ۳/۳ | ۱۰/۷ | ۰/۰۲ |
| Mean | ۹۱۸۷/۲ | ۹۳۹۲/۳ | ۶۳۰/۸ | ۰/۲ | ۱۴/۸ | ۰/۱۵ | ۰/۹ | ۱۰۰۵/۹ | ۵/۶ | ۸/۲ | ۰/۰۴ |
| S ₁ | ۱۴۴/۰ | ۴۵۴/۸ | ۲۳/۱ | ۰/۲ | ۵۲/۷ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۵۴/۹ | ۶/۱ | ۱۴/۴ | ۰/۱۵ |
| S ₂ | ۲۹۱۴/۹ | ۱۱۱۴۰/۹ | ۴۸۱/۹ | ۰/۱ | ۷۸/۹ | ۰/۱ | ۲/۶ | ۱۵۱۶/۲ | ۸/۸ | ۱۳/۱ | ۱/۰۴ |
| S ₃ | ۳۳۰/۹ | ۶۹۶/۰ | ۳۴/۹ | ۰/۲ | ۱۰۸/۹ | ۰/۲ | ۱/۶ | ۹۰/۱ | ۷/۹ | ۱۲/۵ | ۰/۲۰ |
| S ₄ | ۲۱۹۶/۵ | ۲۱۴۷/۸ | ۹۶/۳ | ۰/۲ | ۵۴/۱ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۳۱۷/۳ | ۷/۰ | ۱۲/۶ | ۰/۳۵ |
| S ₅ | ۵۱/۸ | ۱۴۰/۶ | ۹/۱ | ۰/۲ | ۴۴/۵ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۳۲/۹ | ۵/۹ | ۱۳/۱ | ۰/۱۱ |
| S ₆ | ۱۰۶/۲ | ۲۵۱/۴ | ۴۰/۷ | ۰/۱ | ۵۲/۶ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۵۱/۵ | ۵/۸ | ۱۲/۱ | ۰/۱۳ |
| S ₇ | ۵۴/۰ | ۱۵۸/۶ | ۱۲۹/۲ | ۰/۲ | ۴۴/۰ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۴۲/۳ | ۵/۲ | ۱۲/۲ | ۰/۱۷ |
| S ₈ | ۴۷/۵ | ۱۴۴/۴ | ۲۵/۷ | ۰/۲ | ۷۸/۹ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۴۶/۱ | ۶/۵ | ۱۱/۶ | ۰/۱۵ |
| S ₉ | ۱۲/۸ | ۳۲/۰ | ۷/۷ | ۰/۲ | ۳۱/۱ | ۰/۱ | ۱/۲ | ۱۱/۳ | ۳/۶ | ۱۰/۲ | ۰/۱۳ |
| S ₁₀ | ۵۶/۳ | ۱۱۷/۵ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۴۳/۶ | ۰/۱ | ۱/۲ | ۴۵/۸ | ۴/۶ | ۱۱/۱ | ۰/۱۳ |
| S ₁₁ | ۲۵/۱ | ۴۶/۱ | ۲/۴ | ۰/۱ | ۴۴/۸ | ۰/۲ | ۱/۱ | ۳۲/۲ | ۵/۸ | ۱۴/۹ | ۰/۰۸ |
| S ₁₂ | ۲۹/۷ | ۱۴۷/۹ | ۲۵/۰ | ۰/۲ | ۹۶/۳ | ۰/۱ | ۱/۴ | ۵۵/۹ | ۷/۴ | ۹/۶ | ۰/۱۴ |
| S ₁₃ | ۲۷/۲ | ۶۳/۲ | ۱۳/۷ | ۰/۲ | ۸۲/۳ | ۰/۱ | ۱/۵ | ۳۵/۱ | ۵/۵ | ۱۱/۹ | ۰/۱۱ |
| S ₁₄ | ۴۰/۸ | ۱۷۹/۵ | ۴/۹ | ۰/۲ | ۳۳/۹ | ۰/۱ | ۱/۰ | ۴۱/۹ | ۴/۹ | ۱۲/۸ | ۰/۰۹ |
| S ₁₅ | ۵۸/۱ | ۱۶۳/۷ | ۱۵/۹ | ۰/۳ | ۴۱/۸ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۶۸/۴ | ۵/۲ | ۱۳/۳ | ۰/۱۴ |
| S ₁₆ | ۹۹/۳ | ۲۹۳/۰ | ۵۰/۸ | ۰/۱ | ۶۵/۲ | ۰/۲ | ۱/۳ | ۴۱/۱ | ۵/۸ | ۱۰/۶ | ۰/۱۹ |
| S ₁₇ | ۸۹۹/۴ | ۱۶۴/۰ | ۱۷۳/۱ | ۰/۱ | ۳۸/۵ | ۰/۱ | ۱/۰ | ۷۱/۷ | ۸/۰ | ۷/۹ | ۰/۱۴ |
| S ₁₈ | ۱۵۶/۰ | ۱۹۰/۳ | ۱۲۰/۴ | ۰/۲ | ۵۹/۸ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۱۲۲/۷ | ۶/۲ | ۹/۷ | ۰/۱۳ |
| S ₁₉ | ۹۵/۱ | ۱۶۵/۴ | ۶/۰ | ۰/۱ | ۴۷/۲ | ۰/۱ | ۲/۱ | ۲۲/۳ | ۲/۷ | ۵/۸ | ۰/۰۴ |
| S ₂₀ | ۵۱/۶ | ۱۵۳/۸ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۵۱/۵ | ۰/۲ | ۱/۴ | ۲۳/۸ | ۴/۲ | ۹/۷ | ۰/۰۹ |
| S ₂₁ | ۳۱/۲ | ۱۴۵/۹ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۳۴/۷ | ۰/۲ | ۱/۱ | ۲۸/۳ | ۴/۴ | ۱۱/۲ | ۰/۱۱ |
| Mean | ۳۵۳/۷ | ۸۰۹/۴ | ۶۰/۱ | ۰/۲ | ۵۶/۴ | ۰/۱۶ | ۱/۴ | ۱۳۱ | - | - | - |
| Background | ۲۳/۲ | ۶۶/۸ | ۲۴/۶ | ۰/۱ | ۷۳/۹ | ۰/۱۵ | ۱/۴ | ۲۶/۶ | ۵/۶ | ۹/۹ | ۰/۱۳ |
| World ¹ Average Soil Ore ² | ۲۷ | ۷۰ | ۶/۸۳ | ۰/۴۱ | ۲۹ | ۰/۰۷ | ۰/۶۷ | ۳۸/۹ | - | - | - |
| Waste Rock | ۱۰۰۰۰ < | ۱۰۰۰۰ < | ۶۰۰/۴ | - | ۱۳/۴ | ۰/۱۳ | - | ۸۳۰۱/۹ | - | - | - |

Kabata-Pendias, 2011¹

شرکت معدنکاران انگوران، ۱۳۹۱^۲

جدول ۵-۲- مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک حاصل از باطله‌ها (MW₁-MW₄) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃)

| CEC (meq/100gr) | OM (%) | EC (μS/cm) | pH | نمونه |
|-----------------|--------|------------|------|------------------|
| - | ۰/۹۵ | ۶۳۰ | ۴/۳۷ | MWs ₁ |
| - | ۱/۵۱ | ۵۲۳ | ۴/۴ | MWs ₂ |
| - | ۱/۸۶ | ۱۲۵۸ | ۳/۸۹ | MWs ₃ |
| - | ۱/۶۱ | ۲۵۹ | ۴/۳۶ | MWs ₄ |
| - | ۱/۴۸ | ۶۶۷/۵ | ۴/۲۵ | Mean |
| ۷/۴۹ | ۱/۰۵ | ۱۶۲ | ۷/۱۶ | S ₁ |
| ۵/۱۵ | ۰/۸۹ | ۱۷۷ | ۸/۰۲ | S ₂ |
| ۴/۸۳ | ۰/۷۸ | ۱۸۱ | ۷/۷۵ | S ₃ |
| ۴/۰۴ | ۰/۴۲ | ۱۵۸ | ۷/۸۵ | S ₄ |
| ۴/۳۹ | ۰/۶۴ | ۱۶۰ | ۸/۵۴ | S ₅ |
| ۳/۹۱ | ۰/۷۶ | ۱۶۵ | ۸/۴۴ | S ₆ |
| ۴/۴۲ | ۰/۸۱ | ۱۳۵ | ۷/۷۹ | S ₇ |
| ۲/۹۲ | ۰/۴۴ | ۱۴۹ | ۷/۸۰ | S ₈ |
| ۴/۳۴ | ۰/۵۹ | ۱۰۸ | ۸/۸۰ | S ₉ |
| ۴/۹۱ | ۰/۸۲ | ۱۲۳ | ۷/۸۲ | S ₁₀ |
| ۵/۸۹ | ۱/۲۱ | ۱۰۹ | ۸/۴۵ | S ₁₁ |
| ۶/۱۹ | ۱/۳۳ | ۱۶۱ | ۷/۷۸ | S ₁₂ |
| ۵/۶۵ | ۱/۰۸ | ۱۱۵ | ۷/۳۵ | S ₁₃ |
| ۶/۳۲ | ۰/۸۹ | ۱۴۳ | ۷/۵۴ | S ₁₄ |
| ۶/۶۴ | ۱/۰۲ | ۱۱۴ | ۷/۰۰ | S ₁₅ |
| ۶/۹۷ | ۱/۱۵ | ۱۵۰ | ۷/۰۸ | S ₁₆ |
| ۶/۷۴ | ۱/۰۶ | ۱۲۰ | ۷/۶۰ | S ₁₇ |
| ۷/۷۷ | ۱/۴۷ | ۱۴۴ | ۷/۷۹ | S ₁₈ |
| ۷/۱۲ | ۱/۲۱ | ۱۲۷ | ۸/۱۶ | S ₁₉ |
| ۶/۰۹ | ۰/۸ | ۱۰۸ | ۷/۰۳ | S ₂₀ |
| ۳/۲۸ | ۰/۶۸ | ۱۴۵ | ۷/۴۵ | S ₂₁ |
| ۵/۵ | ۰/۹ | ۱۴۰/۷ | ۷/۷۷ | Mean |
| ۵/۲ | ۱/۰۲ | ۱۳۰ | ۷/۵ | Background |

۵-۳- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

۵-۳-۱- pH

pH رابطه مستقیم با تحرک و انحلال‌پذیری اکثر فلزات سنگین موجود در خاک داشته، و تغییرات pH، در دسترس‌پذیری عناصر را برای گیاهان و جانوران اعم از انسان و حیوان تغییر می‌دهد. در pHهای پایین میزان

تحرک اکثر فلزات افزایش می‌یابد (Banks et al., 1997). در جدول ۳-۵ طبقه‌بندی خاک بر مبنای pH که توسط انجمن علوم خاک آمریکا (Soil Science Society of America, 1997) ارائه شده، آورده شده است.

جدول ۳-۵- طبقه‌بندی خاک‌ها بر مبنای pH (Soil Science Society of America, 1997)

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

تغییرات pH در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲-۵). بر اساس استاندارد انجمن علوم خاک آمریکا، متوسط pH نمونه‌های خاک برجای منطقه (۷/۷۷) در محدوده کمی قلیایی و متوسط pH باطله‌های معدنی (۴/۲۵) در محدوده شدیداً اسیدی قرار می‌گیرند. زمین‌های خاک منطقه برابر با ۷/۵۴ بوده که مانند خاک‌های برجای منطقه در محدوده کمی قلیایی قرار می‌گیرد. با توجه به جنس واحدهای منطقه که عمدتاً آهکی، مارنی و مارن ماسه‌ای می‌باشند، این مقادیر pH قابل قبول است. کمترین مقدار pH در خاک برجای منطقه در نمونه S₁₅ برابر با ۷ و بیشترین مقدار آن در نمونه S₉ برابر با ۸/۸۰ می‌باشد. پایین بودن pH در خاک حاصل از باطله‌ها را می‌توان به حضور مقادیر بالای از کانیهای سولفیدی گالن، اسفالریت و کالکوپیریت نسبت داد.

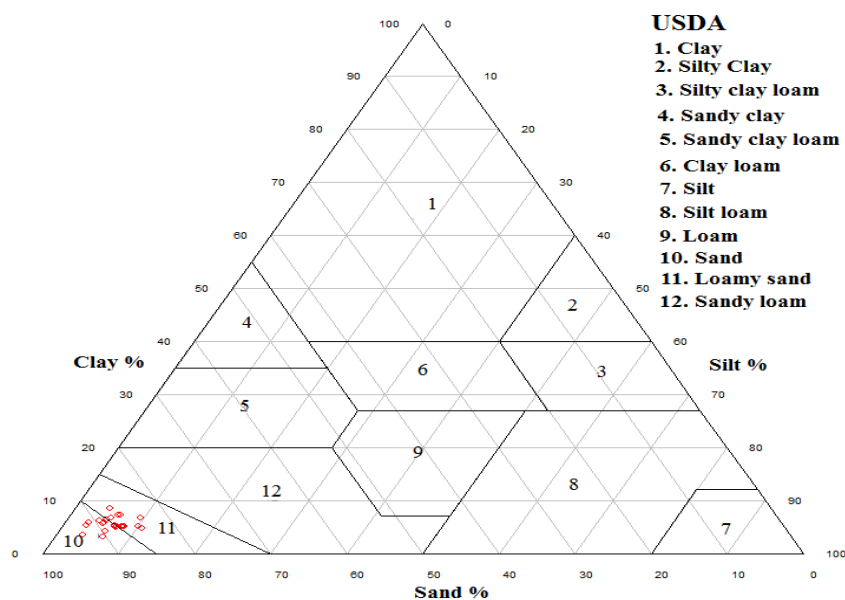
۳-۳-۵- ماده آلی

مواد آلی در خاک منطقه مورد مطالعه مقادیر کمتر از ۲٪ را دارا بوده که بیان کننده کم بودن مواد آلی خاک حاصل از باطله و خاک برجای منطقه می‌باشد و این امر نیز نقش اندک مواد آلی در نگهداری و تجمع فلزات

سنگین در خاک منطقه را بیان می‌کند (جدول ۵-۲). متوسط مقدار ماده آلی در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه به ترتیب ۱/۴۸ و ۱/۰۲ درصد می‌باشد. دلیل کم بودن مواد آلی در خاک برجا، پوشش گیاهی ضعیف و نیز نبود فعالیت کشاورزی در منطقه می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، بالا بودن متوسط ماده آلی خاک حاصل از باطله‌ها نسبت به خاک برجای منطقه، می‌تواند به دلیل حضور میکروارگانیسم‌هایی باشد که در داخل توده‌های باطله برای تجزیه و اکسایش مواد و کانیها فعالیت می‌کنند.

۵-۳-۳- بافت خاک

اندازه و دانه‌بندی ذرات و در واقع بافت خاک یکی از عوامل مؤثر در کیفیت خاک می‌باشد. در این تحقیق برای طبقه‌بندی خاک از مثلث نام‌گذاری بافت خاک طبق استاندارد خاک کشاورزی آمریکا (USDA, 1951) با تعیین درصد وزنی مقادیر رس، سیلت و ماسه استفاده گردیده است. نمایش توزیع بافت خاک منطقه بر روی مثلث رده‌بندی بافت خاک (شکل ۵-۱)، نشان می‌دهد که بطور کلی، خاک منطقه از نوع ماسه‌ای و ماسه لومی می‌باشد. جدول ۴-۵ درصد ذرات تشکیل دهنده خاک برجای منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- رده‌بندی بافت نمونه‌های خاک منطقه بر مبنای (USDA, 1951)

در این مطالعه خاک حاصل از باطله‌ها به دلیل اینکه توسط فعالیت‌های انسانی در اطراف معدن رها شده و تحت تأثیر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی قرار گرفته است مورد آزمایش دانه‌بندی قرار نگرفت. توپوگرافی خشن منطقه و جنس واحدهای منطقه که بیشتر مارنی و مارن- ماسه‌ای می‌باشد، وجود بافت ماسه‌ای و ماسه لومی را در خاک منطقه توجیه می‌کند.

جدول ۵-۴ - درصد ذرات تشکیل دهنده در نمونه‌های خاک منطقه

| نمونه | رس (%) | سیلت (%) | ماسه (%) | بافت |
|-----------------|--------|----------|----------|-----------|
| S ₁ | ۸/۵۲ | ۴/۵۸ | ۸۶/۹۰ | ماسه لومی |
| S ₂ | ۵/۱۴ | ۷/۰۳ | ۸۷/۸۳ | ماسه‌ای |
| S ₃ | ۵/۰۶ | ۷/۲۵ | ۸۷/۶۹ | ماسه‌ای |
| S ₄ | ۵/۲۴ | ۶/۹۶ | ۸۷/۸۰ | ماسه‌ای |
| S ₅ | ۴/۸۹ | ۷/۲۱ | ۸۷/۹۰ | ماسه‌ای |
| S ₆ | ۳/۵۳ | ۳/۵۳ | ۹۲/۹۴ | ماسه‌ای |
| S ₇ | ۴/۲۱ | ۶/۱۳ | ۸۹/۶۶ | ماسه‌ای |
| S ₈ | ۳/۲۰ | ۶/۳۸ | ۹۰/۴۲ | ماسه‌ای |
| S ₉ | ۵/۰۲ | ۸/۱۲ | ۸۶/۸۶ | ماسه لومی |
| S ₁₀ | ۷/۳۲ | ۶/۳۸ | ۸۶/۳۰ | ماسه لومی |
| S ₁₁ | ۶/۴۳ | ۵/۲۱ | ۸۸/۳۶ | ماسه‌ای |
| S ₁₂ | ۵/۱۴ | ۱۰/۰۶ | ۸۴/۸۰ | ماسه لومی |
| S ₁₃ | ۵/۱۸ | ۷/۹۴ | ۸۶/۸۸ | ماسه لومی |
| S ₁₄ | ۷/۱۸ | ۶/۷۸ | ۸۶/۰۴ | ماسه لومی |
| S ₁₅ | ۶/۲۷ | ۴/۳۹ | ۸۹/۳۴ | ماسه‌ای |
| S ₁₆ | ۵/۳۱ | ۳/۲۱ | ۹۱/۴۸ | ماسه‌ای |
| S ₁₇ | ۵/۷۸ | ۳/۲ | ۹۱/۰۲ | ماسه‌ای |
| S ₁₈ | ۵/۱۳ | ۸/۱۴ | ۸۶/۷۳ | ماسه لومی |
| S ₁₉ | ۶/۶۸ | ۹/۵۴ | ۸۳/۷۸ | ماسه لومی |
| S ₂₀ | ۴/۷۶ | ۱۰/۶۸ | ۸۴/۵۶ | ماسه لومی |
| S ₂₁ | ۵/۷۸ | ۵/۲۲ | ۸۹/۰۰ | ماسه‌ای |
| S ₂₂ | ۵/۶۳ | ۵/۱۸ | ۸۹/۱۹ | ماسه‌ای |
| S ₂₃ | ۶/۷۰ | ۵/۷۸ | ۸۷/۵۲ | ماسه لومی |
| Mean | ۵/۵۷ | ۶/۴۷ | ۸۷/۹۶ | - |

۵-۳-۴ - هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) خاک تحت تأثیر غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها و فرایندهای انحلال و شستشو می‌باشد. بر اساس مطالعاتی که صورت گرفته شوری خاک در افزایش حلالیت فلزات در خاک

و جذب آنها توسط گیاهان نقش دارد (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۰). از طرف دیگر شوری خاک باعث افزایش جذب سطحی فلزاتی همچون مس، کادمیم و سرب از طریق جایگزینی مس و کادمیم به جای سدیم و سرب به جای کلسیم می‌شود و روند جذب سطحی خاک را تغییر می‌دهد (کشاورزی و همکاران، ۱۳۸۶). در جدول ۵-۲ مقادیر EC نمونه‌های خاک حاصل از باطله و خاک برجای منطقه آورده شده است. نمونه‌های خاک برجای منطقه، هدایت الکتریکی کم و تقریباً یکنواختی را نشان می‌دهند، که با توجه به جنس واحدهای سنگ‌شناسی منطقه که بیشتر ترکیب مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی دارند و عدم حضور سازندهای تبخیری قابل توجه می‌باشد. خاک‌های حاصل از باطله‌ها مقادیر متفاوت هدایت الکتریکی را نشان می‌دهند و میانگین مقدار EC در آنها، بالاتر از میانگین مقادیر EC در نمونه‌های خاک برجای منطقه می‌باشد.

۵-۳-۵- ظرفیت تبادل کاتیونی

یکی دیگر از پارامترهای مهم خاک ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity) است. تبادل یک کاتیون از سطح کلئیدهای خاک با کاتیونی از محلول خاک، فرایند تبادل کاتیونی، و به مجموع کاتیون‌های قابل تبادل توسط خاک و رسوب، ظرفیت تبادل کاتیونی گفته می‌شود که واحد اندازه‌گیری آن میلی اکی‌والان در صد گرم خاک (meq/100gr) می‌باشد. از عوامل مؤثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، دما، سختی، مقدار و نوع کلئیدها و بافت خاک می‌باشد. هرچه میزان مواد آلی و کانیهای رسی در خاک و رسوب بیشتر باشد، CEC بالاتر خواهد بود (فوٹ و الیس، ۱۳۷۶؛ عرفان منش و افیونی، ۱۳۷۹). در این تحقیق ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از رابطه ۵-۱ محاسبه گردیده است (Henry, 1923; Malakouti and Homaie, 1994):

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

در این رابطه CEC، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، %Clay، درصد رس خاک و %LOI، درصد ماده آلی خاک را نشان می‌دهد. ظرفیت تبادل کاتیونی میزان ورود و تجمع فلزات سنگین را در خاک تعیین می‌کند بطوری که با

افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی امکان جذب فلزات به خاک و رسوب افزایش می‌یابد (هودجی و جلالیان، ۱۳۸۳).
در جدول ۵-۵ ارتباط انواع بافت خاک با ظرفیت تبادل کاتیونی نشان داده شده است.

جدول ۵-۵- ارتباط انواع بافت خاکها با ظرفیت تبادل کاتیونی (Miller and Donahue, 1990)

| نام بافت | CEC (meq/100gr) |
|-----------------|-----------------|
| ماسه‌ای | ۱-۵ |
| لوم ماسه‌ای ریز | ۵-۱۰ |
| لوم و لوم سلیتی | ۱۰-۱۵ |
| لوم رسی | ۱۵-۳۰ |
| رسی | بیش از ۳۰ |

با توجه به نتایج به دست آمده از محاسبات CEC، (جدول ۵-۲) ظرفیت تبادل کاتیونی خاک منطقه در محدوده بین ۱-۱۰ تغییر می‌کند. طبقه‌بندی CEC با توجه به بافت خاک (جدول ۵-۵) و بافت خاک منطقه مورد مطالعه (ماسه‌ای و ماسه‌ای لومی)، ظرفیت تبادل کاتیونی پایین را در خاک منطقه توجیه می‌کند.

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

در این تحقیق برای بررسی ارتباط بین متغیرها از روش آماری ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردیده است (حسنی پاک، ۱۳۸۹؛ Mmolawa et al, 2011). جهت تعیین ضریب همبستگی ابتدا داده‌ها نرمال‌سازی شده و بعد توسط نرم‌افزار SPSS 17 ضریب همبستگی داده‌ها، محاسبه گردید. در جدول ۵-۶ همبستگی بین فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی با پارامترهای فیزیکوشیمیایی نشان داده شده است. اکسید منگنز با عناصر $(r= 0.845, p < 0.01)$ Cu و $(r= 0.632, p < 0.01)$ Sb، $(r= 0.815, p < 0.01)$ Zn، $(r= 0.672, p < 0.01)$ Pb همبستگی بالا نشان می‌دهد. اکسید آلومنیوم با هیچکدام از پارامترها و فلزات همبستگی نشان نمی‌دهد.

جدول ۵-۶- همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در خاک بر جای منطقه

| Pb | Zn | As | Cd | Hg | Ni | Sb | Cu | pH | OM | EC | CEC | Clay | Silt | Sand | FeO ₃ | Al ₂ O ₃ | MnO | |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|----------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| ۱ | ۰/۸۸۳ ^{۰۰} | ۰/۶۰۱ ^{۰۰} | ۰/۰۹۰ | -۰/۰۷۹ | ۰/۱۸۲ | ۰/۳۶۲ | ۰/۸۶۱ ^{۰۰} | -۰/۰۲۱ | -۰/۱۳۴ | ۰/۴۵۵ ^۰ | ۰/۰۸۰ | ۰/۲۲۶ | ۰/۰۵۸ | -۰/۱۵۲ | ۰/۶۴۹ ^{۰۰} | ۰/۰۷۵ | ۰/۶۷۲ ^{۰۰} | Pb |
| | ۱ | ۰/۵۱۰ ^۰ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۶۲ | ۰/۳۰۸ | ۰/۵۳۳ ^۰ | ۰/۹۰۵ ^{۰۰} | -۰/۰۸۱ | -۰/۱۷۹ | ۰/۶۱۶ ^{۰۰} | -۰/۰۳۰ | ۰/۱۰۱ | ۰/۰۳۰ | -۰/۰۰۵ | ۰/۶۰۱ ^{۰۰} | ۰/۰۲۶۷ | ۰/۸۱۵ ^{۰۰} | Zn |
| | | ۱ | ۰/۵۳۲ ^{۰۰} | ۰/۰۱۰ | ۰/۳۸۹ | ۰/۰۳۰۳ | ۰/۶۱۴ ^{۰۰} | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۷۷ | ۰/۴۴۳ ^۰ | ۰/۱۲۰ | ۰/۱۷۷ | ۰/۱۶۱ | -۰/۱۳۲ | ۰/۶۸۶ ^{۰۰} | ۰/۰۱۳ | ۰/۵۱۹ ^۰ | As |
| | | | ۱ | -۰/۳۱۰ | ۰/۱۴۱ | -۰/۱۰۶ | ۰/۱۸۸ | ۰/۱۵۹ | -۰/۱۲۵ | ۰/۳۴۷ | ۰/۰۰۶ | ۰/۱۵۴ | ۰/۳۶۹ | -۰/۳۳۹ | ۰/۳۲۹ | ۰/۳۴۲ | ۰/۰۴۸ | Cd |
| | | | | ۱ | ۰/۲۷۸ ^۰ | ۰/۱۳۵ | ۰/۰۳۳ | -۰/۴۹۶ ^۰ | ۰/۳۵۴ | ۰/۱۹۳ | ۰/۱۹۶ | ۰/۰۲۰ | -۰/۱۶۸ | ۰/۰۵۹ | ۰/۲۲۷ | ۰/۱۴۲ | ۰/۰۱۱ | Hg |
| | | | | | ۱ | ۰/۵۱۵ ^۰ | ۰/۳۸۴ | -۰/۱۷۶ | ۰/۱۷۹ | ۰/۳۵۰ | -۰/۰۱۷ | -۰/۲۲۲ | ۰/۲۲۹ | ۰/۱۷۵ | ۰/۵۶۶ ^{۰۰} | ۰/۰۴۵ | ۰/۲۸۹ | Ni |
| | | | | | | ۱ | ۰/۳۹۹ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۳۵ | ۰/۳۵۷ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۸ | ۰/۱۷۳ | -۰/۰۲۷ | ۰/۱۶۹ | -۰/۲۴۵ | ۰/۶۳۳ ^{۰۰} | Sb |
| | | | | | | | ۱ | -۰/۰۲۲ | -۰/۰۵۱ | ۰/۴۹۳ ^۰ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۵۰ | ۰/۱۱۶ | -۰/۰۳۷ | ۰/۲۴۳ ^{۰۰} | ۰/۳۰۹ | ۰/۸۴۵ ^{۰۰} | Cu |
| | | | | | | | | ۱ | -۰/۱۶۲ | ۰/۰۷۳ | -۰/۳۷۷ | -۰/۲۶۴ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۵۹ | -۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۸۹ | pH |
| | | | | | | | | | ۱ | -۰/۲۳۰ | ۰/۷۹۰ ^{۰۰} | ۰/۳۷۲ | ۰/۰۷۱ | -۰/۳۶۶ | ۰/۰۰۹ | -۰/۱۹۰ | -۰/۱۲۷ | OM |
| | | | | | | | | | | ۱ | -۰/۱۳۱ | ۰/۰۸۹ | -۰/۰۵۸ | ۰/۰۵۷ | ۰/۵۲۷ ^{۰۰} | ۰/۱۱۱ | ۰/۳۲۹ ^۰ | EC |
| | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۸۲۶ ^{۰۰} | ۰/۲۷۰ | -۰/۱۵۸ ^{۰۰} | -۰/۰۲۲ | -۰/۰۹۳ | -۰/۰۹۳ | CEC |
| | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۲۲۲ | -۰/۰۵۴ | -۰/۲۲۲ | -۰/۰۴۱ | -۰/۰۴۱ | Clay |
| | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۱۵۸ | -۰/۲۶۲ | ۰/۱۳۱ | ۰/۱۳۱ | Silt |
| | | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۴۰۵ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۷ | Sand |
| | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۳۹۱ | ۰/۵۸۰ ^{۰۰} | Fe ₂ O ₃ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۲۲۶ | Al ₂ O ₃ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | M O |

^{۰۰} از تباط معنی داری در سطح ۱ درصد
^۰ از تباط معنی داری در سطح ۵ درصد

نمی‌دهد. اکسید آهن با عناصر Pb ($r= 0.649, p < 0.01$) Zn ($r= 0.601, p < 0.01$) As ($r= 0.686, p < 0.01$) و Cu ($r= 0.743, p < 0.01$) همبستگی بالا و مثبت را بیان می‌کند. ماسه با هیچکدام از پارامترها همبستگی نشان نداده و تنها با CEC و رس همبستگی بالا و منفی برقرار کرده است. سیلت با هیچکدام از پارامترها و عناصر همبستگی ندارد. EC تنها با Zn ($r= 0.616, p < 0.01$) همبستگی بالا و مثبت نشان می‌دهد. pH با هیچکدام از پارامترها و عناصر رابطه معنی‌دار نشان نمی‌دهد.

با توجه به رفتار ژئوشیمیایی عناصر Cu, Zn, Pb, As و همراهی آنها با هم در مناطق با کانه‌زایی سرب و روی، همبستگی بالا و مثبت Pb با Zn ($r = 0.882, p < 0.01$) Cu ($r = 0.861, p < 0.01$) و As ($r = 0.601, p < 0.01$) قابل مشاهده می‌باشد. بیشترین همبستگی مثبت بین عناصر و اکسیدهای آهن و منگنز مشاهده گردید که نشانه اهمیت اکسیدهای آهن- منگنز در جذب و نگهداری عناصر در خاک منطقه می‌باشد. به دلیل پرهیز از تکرار در نوشتار، تفسیر در رابطه با همبستگی‌های عناصر با یکدیگر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در بخش مربوط به هر عنصر آورده شده است.

۵-۵- بررسی غلظت و پراکنش عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

جهت بررسی غلظت عناصر و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه در محدوده کانه‌زایی و منطقه معدنی سرب و روی آی‌قلعه‌سی، نقشه پراکنندگی غلظت هر کدام از فلزات بر روی نقشه زمین‌شناسی در محیط GIS ترسیم گردید. در نقشه‌های پراکنش عناصر، متوسط مقادیر غلظت عناصر در خاک جهانی و میانگین پوسته (Kabata-Pendias, 2011) برای مقایسه غلظت عناصر در خاک و باطله‌ها در نظر گرفته شده است (جدول ۵-۷). تعداد ۵۲ عنصر در نمونه‌های خاک برداشت شده، اندازه‌گیری گردید و با توجه به غلظت عناصر، تغییرات غلظت آنها، مطالعات پیشین مشابه انجام شده در ارتباط با تأثیر کانه‌زایی سرب و روی بر آلودگی آب و خاک و همچنین اولویت‌های زیست محیطی، در این تحقیق عناصر Pb, Zn, As, Cd, Ni, Hg, Sb و Cu (جدول ۵-۱) جهت بررسی و ارزیابی انتخاب گردید.

جدول ۵-۷- متوسط مقادیر غلظت عناصر مختلف در خاک، پوسته و شیل

| عناصر | ^۱ متوسط خاک جهانی (mg/kg) | ^۱ متوسط پوسته (mg/kg) | ^۲ متوسط شیل (mg/kg) |
|-------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Pb | ۲۷ | ۱۵ | ۲۰ |
| Zn | ۷۰ | ۷۰ | ۹۵ |
| As | ۶/۸۳ | ۱/۸ | ۱۳ |
| Cd | ۰/۴۱ | ۰/۱ | ۰/۲۲ |
| Ni | ۲۹ | ۲۰ | ۶۸ |
| Hg | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۱۸ |
| Sb | ۰/۶۷ | ۰/۲ | ۱/۵ |
| Cu | ۳۸/۹ | ۵۵ | ۴۵ |

Kabata-Pendias, 2011 ^۱
Turekian and Wedepohl, 1961 ^۲

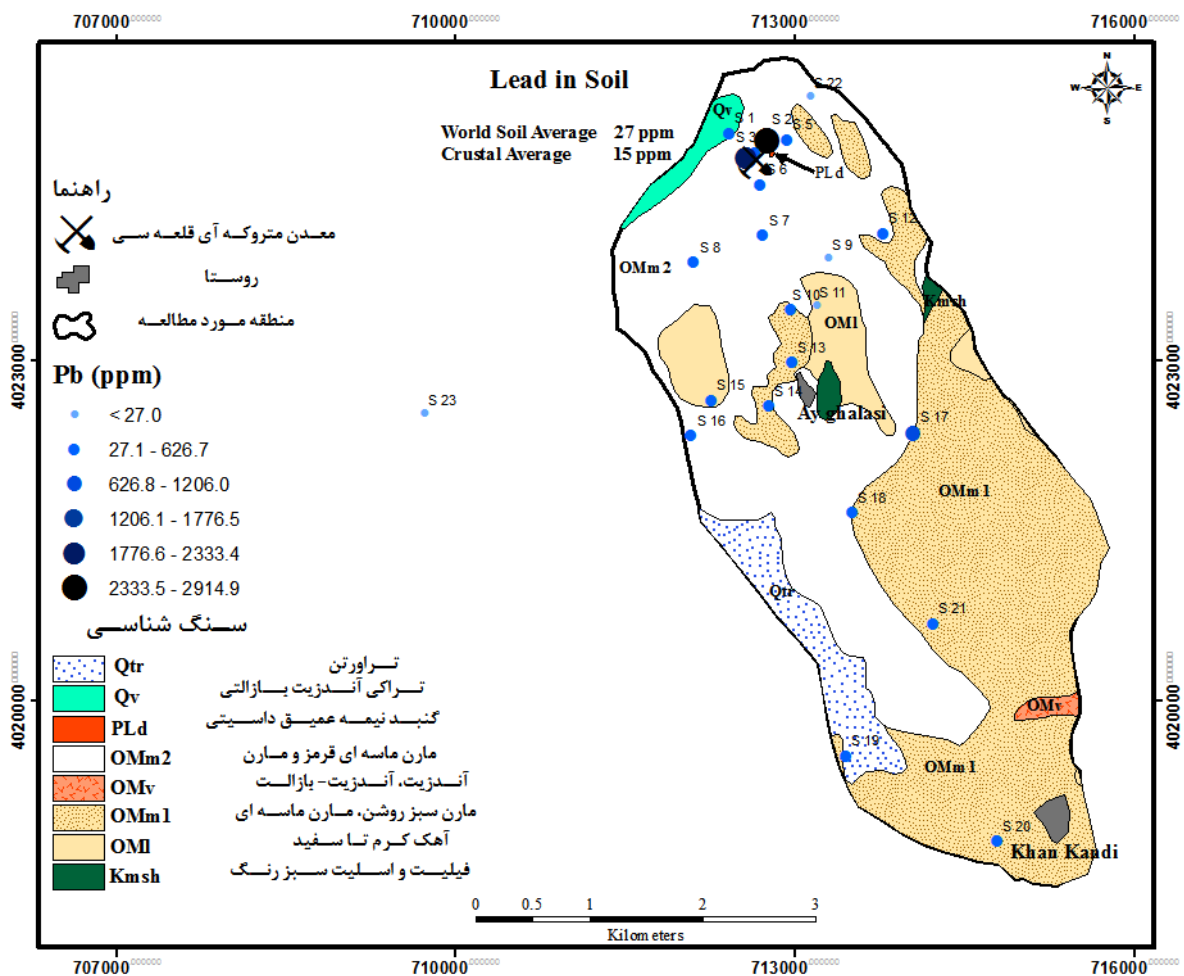
۵-۵-۱- سرب

در مناطق کانه‌زایی و معدنکاری سرب و روی، این عنصر ممکن است به دلیل فرسایش و هوازدگی شیمیایی کانسنگها و باطله‌ها در فازهای مختلف محیط زیست انتشار یابد. شدت این فرایندها وابسته به ویژگی‌های شیمیایی و حضور کانیها در باطله‌ها دارد (da Silva et al, 2004). در طول هوازدگی، سولفیدهای سرب به آهستگی اکسید شده و سرب رها شده توانایی تشکیل کربنات‌ها و نیز تثبیت توسط کانیهای رسی و اکسی‌هیدروکسیدها را دارد (Kabata-Pendias, 2011). بطور کلی سرب در نزدیکی سطح به دلیل جذب توسط مواد آلی خاک انباشته شده و مواد آلی خاک، کانی‌های رسی و اکسی-هیدروکسیدهای آهن و منگنز نقش تعیین کننده در تثبیت سرب در خاک دارند. انتقال سرب در خاک معمولاً آرام بوده اما افزایش اسیدیته خاک و تشکیل کمپلکس‌های Pb-OM تحرک و انحلال آن را افزایش می‌دهد (Sipos et al, 2005).

در منطقه مورد مطالعه میانگین غلظت سرب در خاک حاصل از باطله‌ها (۹۱۸۷/۲ mg/kg) مقادیر خیلی بالاتر از میانگین غلظت سرب در خاک جهانی (۲۷ mg/kg) و میانگین پوسته (۱۵ mg/kg) را نشان می‌دهد (جدول ۵-۱ و ۵-۷). غلظت سرب در رگه معدنی ۴۷۷۰۰ mg/kg (شرکت معدنکاران انگوران، ۱۳۹۱) و در سنگهای باطله بیشتر از ۱۰۰۰۰ mg/kg است. متوسط غلظت این عنصر در خاک برجای منطقه (mg/kg)

۳۵۳/۷) نسبت به میانگین غلظت سرب در خاک جهانی و غلظت زمینه منطقه (۲۳/۲ mg/kg) به ترتیب حدود ۱۳ و ۱۵ برابر افزایش نشان می‌دهد.

شکل ۲-۵ تغییرات غلظت سرب و چگونگی گسترش آن را در خاک برجای منطقه نشان می‌دهد. بالاترین غلظت سرب (۲۹۱۴/۹ mg/kg) در نمونه S₂ دیده می‌شود که در امتداد رگه معدنی و بالادست آن برداشت شده است. در نمونه‌های S₃ و S₄ نیز که از نزدیکی معدن برداشت شده‌اند مقادیر بالایی از سرب، به ترتیب حدود ۱۲ و ۸۱ برابر مقدار میانگین غلظت سرب در خاک جهانی و ۱۴ و ۹۵ برابر غلظت زمینه تشخیص داده شده است. بالا بودن غلظت در این نمونه‌ها وابسته به کانه‌زایی رخ داده می‌باشد.



شکل ۲-۵ - پراکنش غلظت سرب در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نمونه S₁₇ و S₁₈ که در فاصله زیادی از معدن و در شرق روستای آیقلعه‌سی برداشت شده‌اند، غلظت بالایی از سرب را نسبت به میانگین خاک جهانی و غلظت زمینه دارا می‌باشند که به احتمال زیاد به دلیل وجود آنومالی سرب و روی در آن محل است. همه این نمونه‌ها نسبت به پوسته نیز دارای مقادیر بالایی می‌باشند. با دور شدن از منطقه معدنی غلظت سرب کاهش یافته و در اکثر نمونه‌های دور از معدن متروکه، نزدیک به غلظت زمینه منطقه و یا بیشتر می‌باشد. غلظت سرب در خاک‌های ماسه‌ای و آهکی به ترتیب ۴۰-۵ و ۶۵-۱۷ mg/kg می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011). با توجه به گسترش واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی در منطقه مورد مطالعه غلظت سرب در نمونه‌های دور از کانه‌زایی، نزدیک به این مقادیر می‌باشد.

همبستگی بالای سرب با اکسید آهن (۰/۶۴۹) و اکسید منگنز (۰/۶۷۲) که در جدول ۵-۶ آورده شده است عامل اصلی تثبیت کننده سرب در خاک منطقه را روشن می‌سازد که این امر در بررسی‌های دیگر (Kabata-Pendias, 2011) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. با توجه به کم بودن مقادیر مواد آلی و رس در خاک منطقه و همبستگی پایین بین سرب و مواد آلی و رس، می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش غلظت سرب در خاک برجای منطقه به این پارامترها وابسته نمی‌باشد. همچنین همبستگی بالای سرب با عناصر Zn، As و Cu نشان از رفتار ژئوشیمیایی مشابه و ارتباط کانه‌زایی با نحوه توزیع این فلزات در خاک برجای منطقه دارد.

۵-۲-۵- روی

وجود روی در خاک در مقادیر زیاد تحت کنترل زمین‌شناسی منطقه (لیتولوژی منطقه و وجود کانه‌زایی و معدنکاری)، فرایندهای تشکیل خاک و مواد آلی است. ذرات رس، به ویژه ورمیکولیت و گیبسیت به میزان قابل توجهی به محتوی روی در خاک کمک می‌کند (Vega et al, 2007). تحرک روی در خاک بالا می‌باشد و در بیشتر موارد به آسانی وارد محلول می‌شود (Kabata-Pendias, 2011). بر اساس مطالعات صورت گرفته تثبیت روی در خاک نسبتاً آهسته و به شدت توسط pH خاک کنترل می‌شود. تحرک روی در خاک توسط فسفر و رس

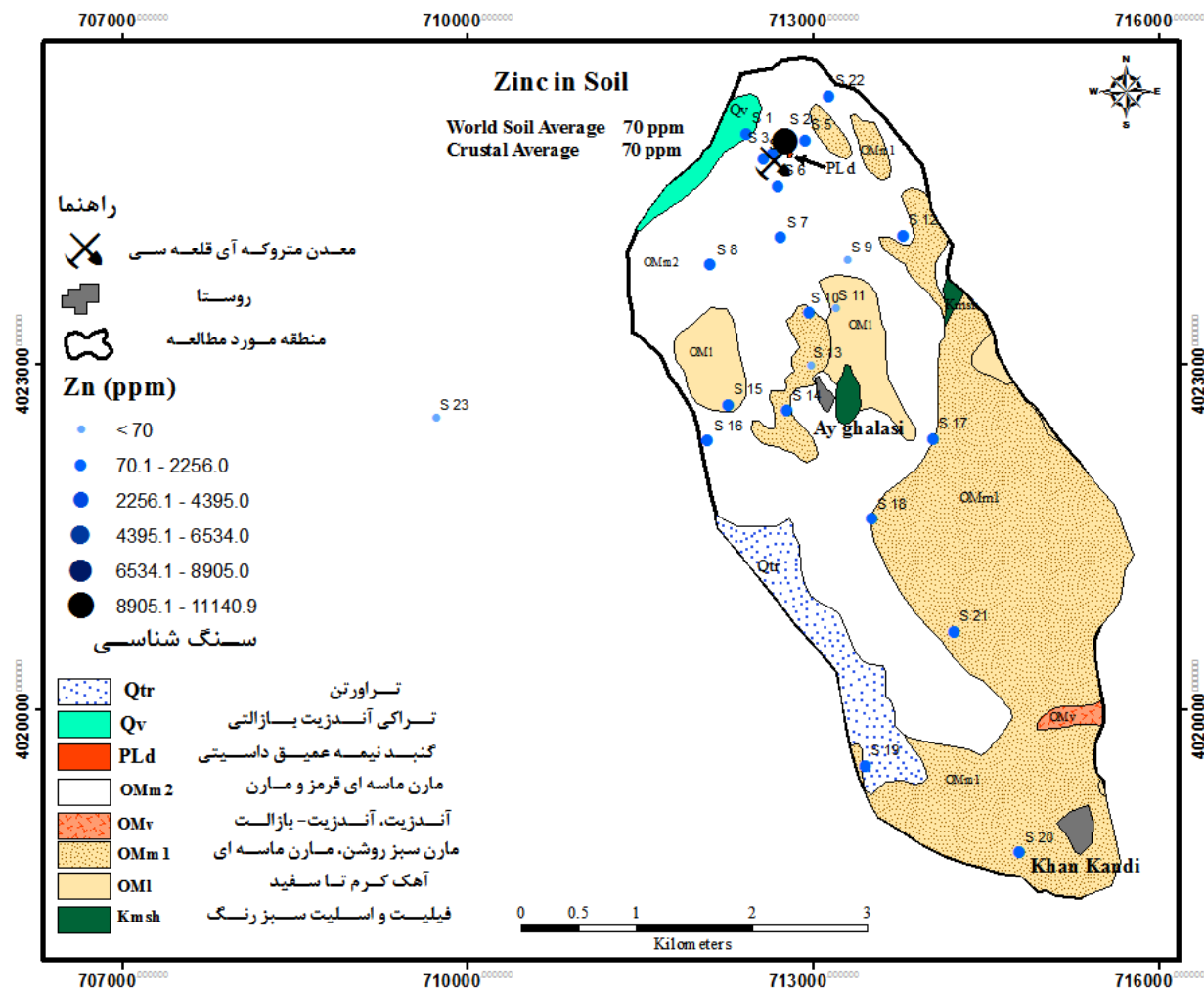
کنترل می‌شود (Kumpiene et al, 2008)، بطوریکه ذرات رس تا حدود ۰.۶٪ وجود روی را در خاک کنترل می‌کنند (Kabata-Pendias, 2011).

میانگین غلظت روی در خاک جهانی (Kabata-Pendias, 2011) 70 mg/kg است. با توجه به جدول ۵-۱، متوسط غلظت روی در خاک حاصل از باطله‌ها ($9392/3 \text{ mg/kg}$) نسبت به میانگین غلظت این عنصر در خاک جهانی (جدول ۵-۷) تقریباً ۱۳۴ برابر بیشتر می‌باشد. با توجه به مطالعات صورت گرفته غلظت متوسط روی در رگه معدنی 75600 mg/kg (شرکت معدنکاران انگوران، ۱۳۹۱) می‌باشد. متوسط غلظت روی در سنگهای باطله بالاتر از 10000 mg/kg بوده که تقریباً به متوسط غلظت روی در خاک حاصل از باطله‌ها نزدیک می‌باشد. شکل ۵-۳ پراکنش غلظت روی در خاک منطقه را نشان می‌دهد. غلظت زمینه روی در خاک‌های منطقه برابر با $66/8 \text{ mg/kg}$ می‌باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده نمونه‌های S_9 ، S_{11} و S_{13} که در مجاورت واحدهای آهکی و مارن ماسه‌ای قرار دارند، مقادیر کمتر از میانگین غلظت روی در خاک جهانی را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه غلظت این عنصر در خاک‌های ماسه‌ای $31-61 \text{ mg/kg}$ و در خاک‌های آهکی $50-100 \text{ mg/kg}$ می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011)، غلظت روی در نمونه‌های ذکر شده قابل توجیه می‌باشد. غلظت روی در بیشتر نمونه‌ها، به‌جز نمونه‌های (S_9 ، S_{11} و S_{13}) بالاتر از میانگین غلظت آن در خاک جهانی و غلظت زمینه می‌باشد که بیانگر غلظت زمینه بالای این عنصر در منطقه است. همانطور که در شکل ۵-۳ مشخص است، نمونه S_2 که در امتداد رگه معدنی و روی آن برداشت شده بالاترین غلظت این عنصر ($11140/9 \text{ mg/kg}$) را دارا می‌باشد که تقریباً ۱۵۰ برابر غلظت زمینه و میانگین غلظت روی در خاک جهانی می‌باشد.

روی با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی بالا نشان داده، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تحرک و جابجایی آن در خاک منطقه، به شدت توسط این اکسیدها کنترل می‌شود (جدول ۵-۶). همبستگی بالای روی

با سرب ($r= 0.882, p < 0.01$) هم منشأ بودن و تأثیر کانه‌زایی را در پراکنش عنصر روی در منطقه واضح می‌سازد.

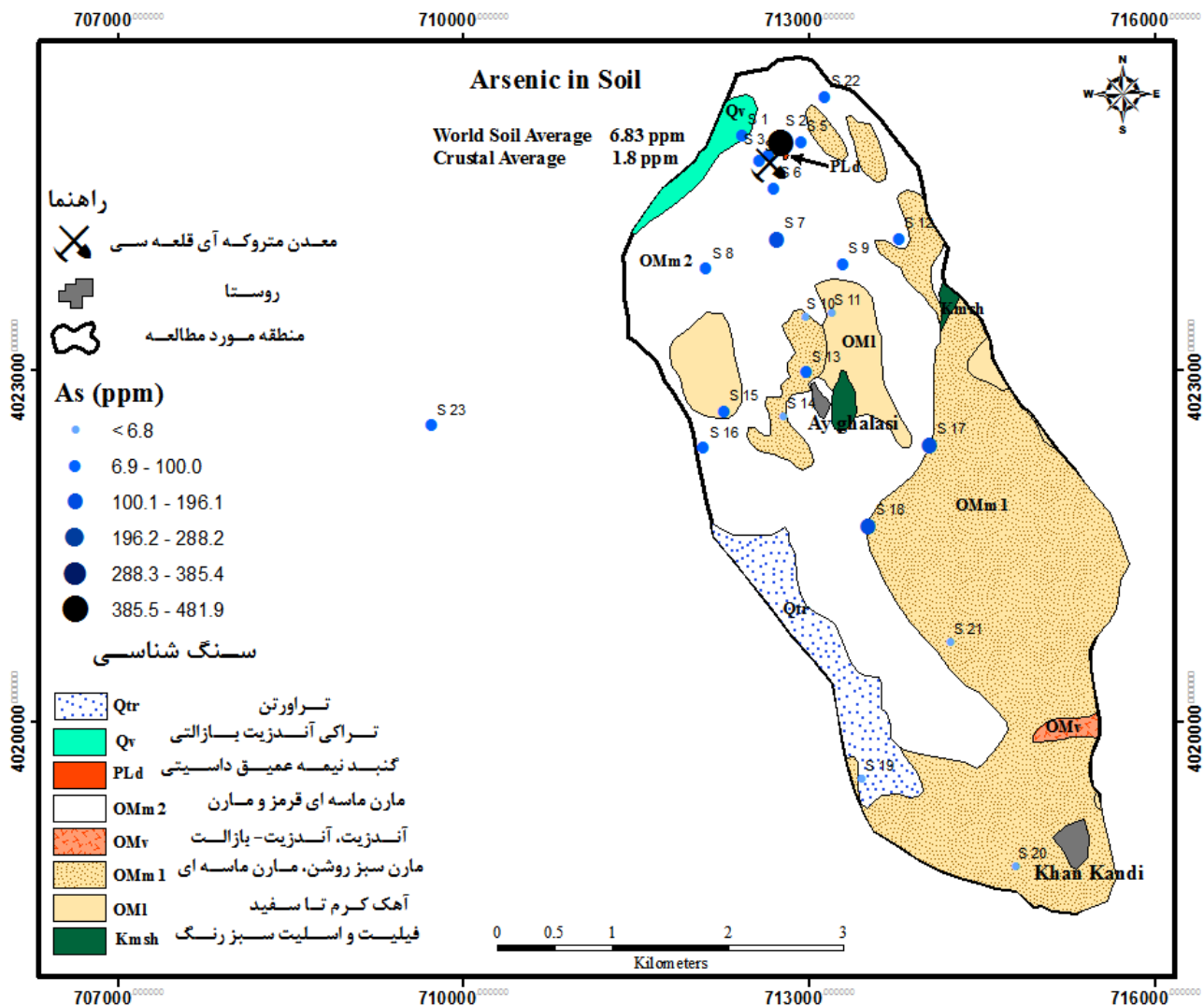


شکل ۵-۳- پراکنش غلظت روی در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۵-۵-۳- آرسنیک

آرسنیک یک شبه فلز سمی بوده که غلظت‌های کم آن نیز می‌تواند در محیط اثرات زیانبار زیادی بر جای بگذارد. این عنصر در کانیه‌های تتراهدریت و آرسنوپیریت وجود داشته و این کانیه‌ها از کانیه‌های همراه کالکوپیریت و پیریت می‌باشند (فرهادی، ۱۳۸۰). غلظت آرسنیک در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها بالاتر از میانگین غلظت آن در خاک جهانی ($6/83 \text{ mg/kg}$) و غلظت زمینه ($24/6 \text{ mg/kg}$) می‌باشد. متوسط غلظت آرسنیک در

سنگهای باطله $600/4 \text{ mg/kg}$ می باشد. بطور کلی متوسط غلظت آرسنیک در خاک حاصل از باطله ها (mg/kg) $630/8$ ، با سنگهای باطله برابر، و غلظت متوسط آن در خاک برجای منطقه ($60/1 \text{ mg/kg}$) نسبت به میانگین غلظت آرسنیک در خاک جهانی و زمینه منطقه به ترتیب حدود ۹ و ۳ برابر بیشتر می باشد. مقادیر آرسنیک در خاکهای ماسه ای در محدوده $30 - 0/1 \text{ mg/kg}$ بوده و در خاکهای آهکی مقادیری برای آن تعیین نشده است (Kabata-Pendias, 2011). در شکل ۴-۵ نقشه پراکنش غلظت آرسنیک در خاک برجای منطقه نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- پراکنش غلظت آرسنیک در خاک بر روی نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

بر اساس داده‌های به دست آمده و ارزیابی پراکنش این عنصر در منطقه مورد مطالعه، بالاترین غلظت آرسنیک در نمونه S₂ (۴۸۱/۹ mg/kg) می‌باشد که تقریباً ۷۰ برابر میانگین غلظت آرسنیک در خاک جهانی و ۱۹ برابر غلظت زمینه در منطقه است. در نمونه‌های S₁₀، S₁₁، S₁₄، S₁₉، S₂₀ و S₂₁ مقادیر آرسنیک پایین‌تر از میانگین خاک جهانی است که با توجه به گسترش واحدهای ماسه‌ای و مارنی در منطقه، مورد تأیید می‌باشد. غلظت آرسنیک در زمینه منطقه بالا بوده اما کانه‌زایی سرب و روی در منطقه موجب بالا رفتن غلظت بیشتر این عنصر در خاک‌های اطراف کانه‌زایی و محدوده معدنی شده است، که این امر تأثیر مثبت کانه‌زایی را بر پراکنش غلظت این عنصر در خاک منطقه بیان می‌کند.

بطور کلی اکسید آهن نقش مهمی در کنترل غلظت آرسنیک در خاک و محلول خاک بازی می‌کند (Kabata-Pendias, 2011). در منطقه مورد مطالعه آرسنیک از بین پارامترهای مورد بررسی تنها با اکسید آهن همبستگی بالا و مثبت (۰/۶۸۶) نشان می‌دهد که نشان دهنده تأثیر این پارامتر در جذب و نگهداشت آن در خاک می‌باشد. همبستگی بالای آرسنیک با Pb و Cu هم منشأ بودن این عناصر را بیان می‌کند (جدول ۵-۶).

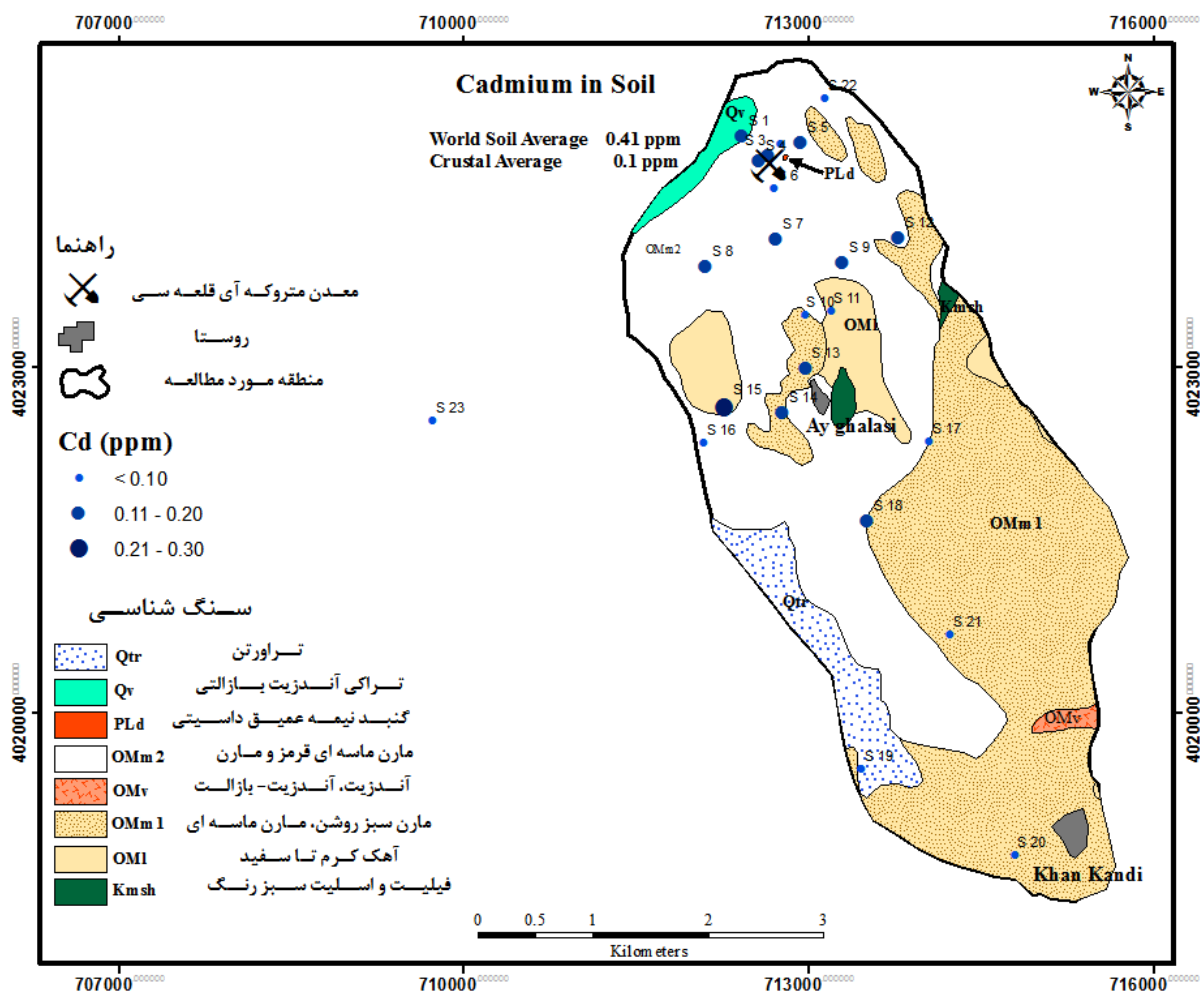
۵-۴-۵- کادمیم

میانگین غلظت کادمیم در خاک جهانی و متوسط پوسته به ترتیب ۰/۴۱ mg/kg و ۰/۱ می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011). کادمیم و روی ساختار یونی، الکترونگاتیویته و ویژگی‌های شیمیایی مشابه دارند، اما کادمیم نسبت به روی تمایل بیشتری در ترکیب با گوگرد دارد، بنابراین تحرک آن در محیط اسیدی بیشتر از روی می‌باشد (Alloway, 1995). انحلال کادمیم وابسته به اسیدیته خاک بوده و تمام مقادیر بالاتر از غلظت زمینه این عنصر منعکس کننده تأثیر انسان بر غلظت کادمیم می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011).

با توجه به اینکه کادمیم یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین بوده و در غلظت‌های خیلی کم نیز می‌تواند اثرات زیانباری در محیط و بر روی فرایندهای بیولوژیکی انسان، حیوان و گیاهان بگذارد، از نظر زیست‌محیطی حائز

اهمیت می‌باشد. غلظت کادمیم در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه نسبت به میانگین غلظت آن در خاک جهانی (0.41 mg/kg) پایین‌تر است. در شکل ۵-۵ نقشه پراکنش غلظت کادمیم نشان داده شده است.

مقدار زمینه این عنصر در خاک‌های منطقه 0.1 mg/kg می‌باشد که در بیشتر از 50% نمونه‌های خاک برجای منطقه، غلظت کادمیم بالاتر از غلظت زمینه می‌باشد. غلظت کادمیم در خاک‌های ماسه‌ای و آهکی به ترتیب $0.4-0.8 \text{ mg/kg}$ و $0.1-0.2 \text{ mg/kg}$ می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011) که این امر دلیل مقادیر پایین این عنصر را در واحدهای زمین‌شناسی منطقه بیان می‌کند.

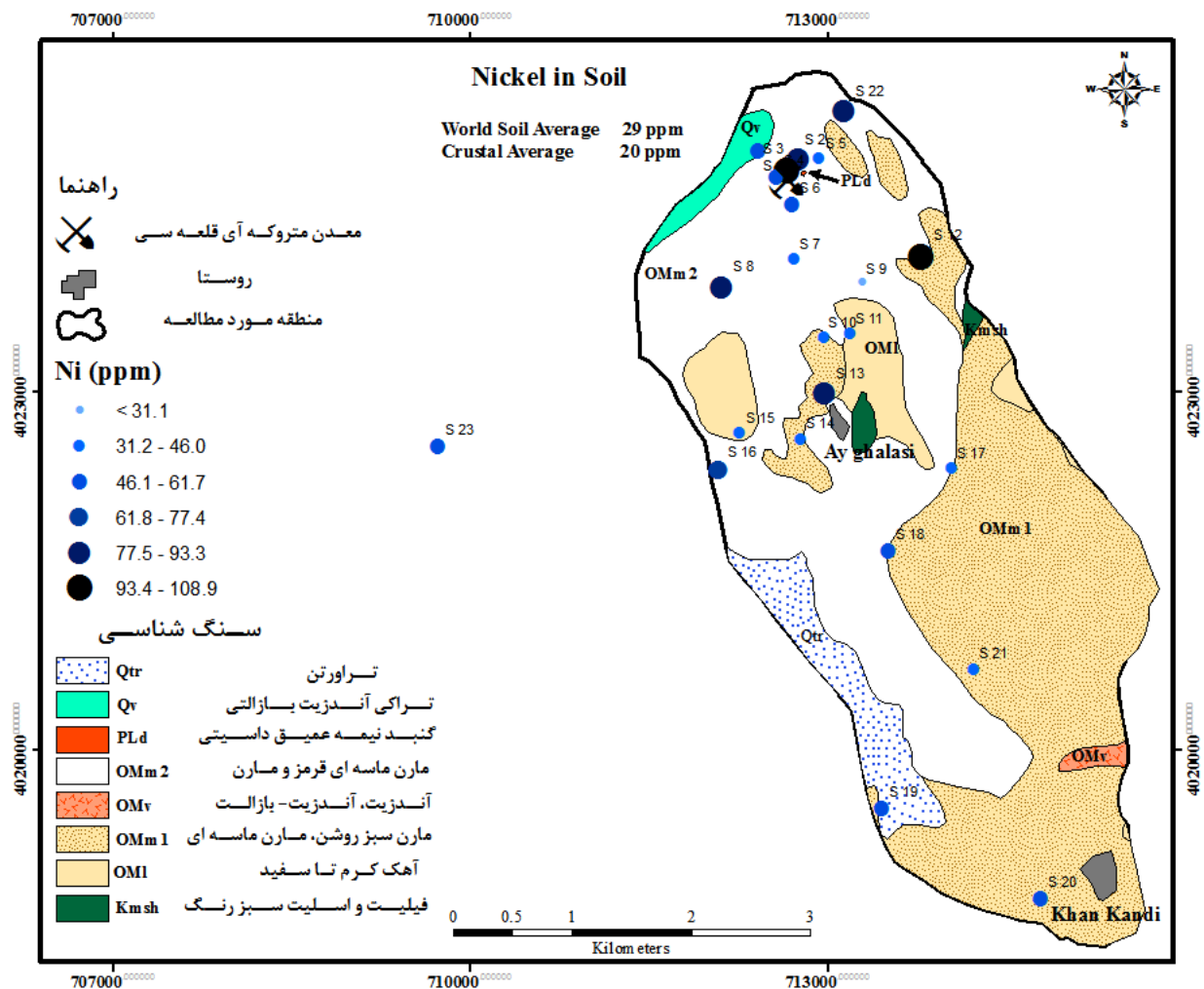


شکل ۵-۵- پراکنش غلظت کادمیم در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

اکسیدهای آهن و منگنز، pH، مواد آلی و مقدار رس موجود در خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌ها با کادمیم همبستگی بالا نشان نمی‌دهند. با توجه به عدم اختلاف بین غلظت متوسط کادمیم در نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه و بطور کلی غلظت نسبتاً یکنواخت کادمیم در نمونه‌های خاک می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش غلظت این عنصر در خاک منطقه تحت تأثیر کانه‌زایی و معدنکاری قدیمی نمی‌باشد.

۵-۵-۵- نیکل

نقشه توزیع غلظت نیکل در خاک منطقه در شکل ۵-۶ آورده شده است.



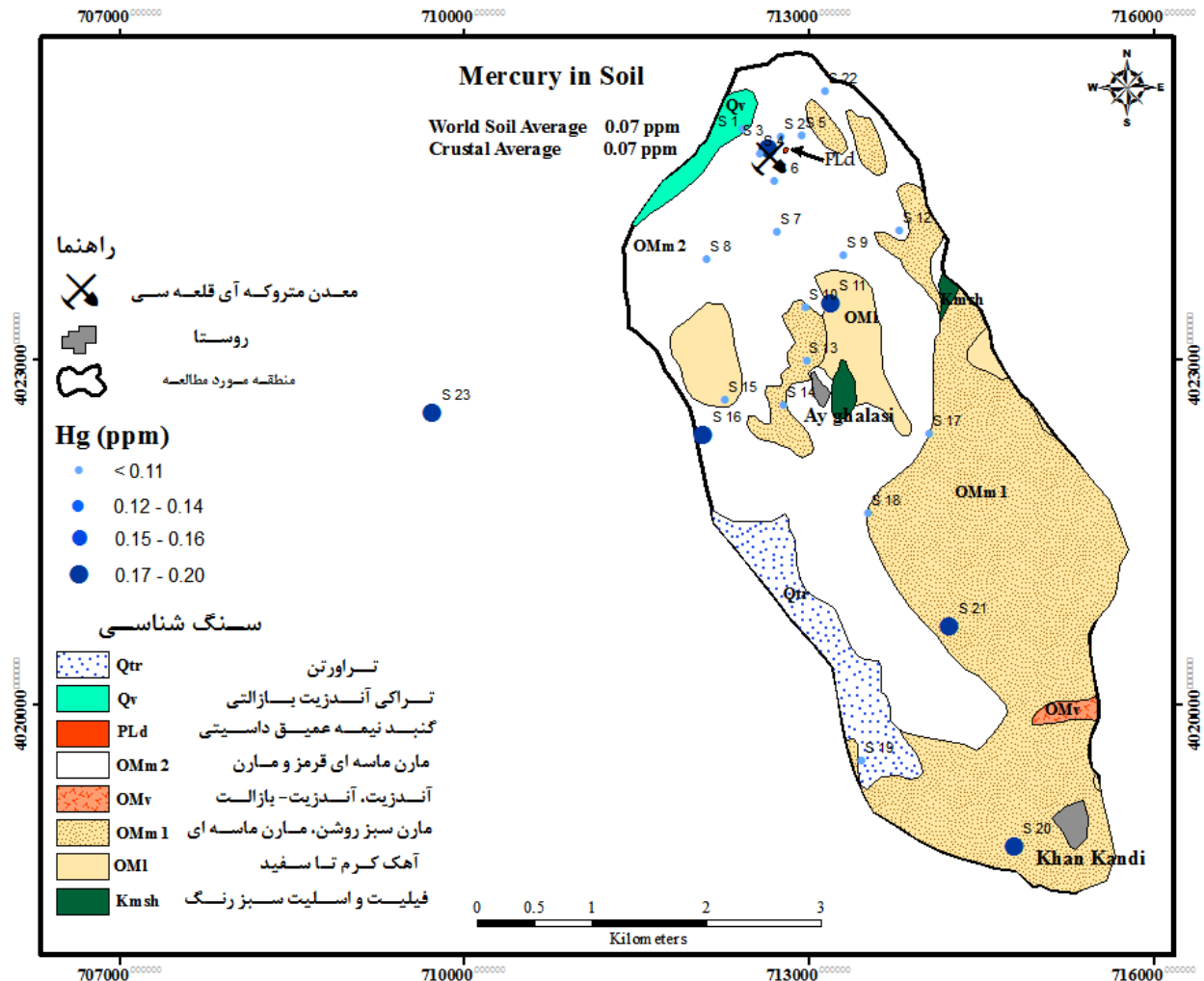
شکل ۵-۶- پراکنش غلظت نیکل در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

متوسط غلظت نیکل در نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها ($14/8 \text{ mg/kg}$) کمتر از میانگین غلظت نیکل در خاک جهانی (29 mg/kg) بوده و نسبت به متوسط غلظت نیکل در سنگهای باطله ($13/4 \text{ mg/kg}$) تقریباً $1/1$ برابر است. در خاک برجای منطقه متوسط غلظت این عنصر ($56/4 \text{ mg/kg}$) بالاتر از میانگین غلظت نیکل در خاک جهانی بوده اما نسبت به غلظت زمینه ($73/9 \text{ mg/kg}$) کمتر می‌باشد. بطور کلی بالا بودن غلظت نیکل در خاک منطقه نسبت به خاک حاصل از باطله‌ها (حدود ۳ برابر) بیانگر وابسته نبودن آن به کانه‌زایی و معدنکاری سرب و روی می‌باشد. غلظت متوسط نیکل در خاک‌های آهکی و ماسه‌ای به ترتیب $18-92 \text{ mg/kg}$ و $7-33$ می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011)، بنابراین با توجه به گسترش واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی در منطقه و بافت غالب ماسه‌ای و ماسه لومی در نمونه‌های خاک برداشت شده، می‌توان غلظت بالای نیکل را در خاک منطقه توجیه کرد. بیشترین همبستگی نیکل با آنتیموان ($0/515$) و اکسیدهای آهن ($0/566$) می‌باشد و با دیگر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر بویژه سرب و روی همبستگی معنی‌دار نشان نمی‌دهد (جدول ۵-۶) که این موضوع، عدم وابستگی توزیع غلظت نیکل در خاک منطقه به کانه‌زایی سرب و روی را تأیید می‌نماید.

۵-۶-۵- جیوه

غلظت جیوه در خاک‌های بکر و دست نخورده از مواد اولیه یا سنگ مادر تأمین می‌شود و همچنین در خاک‌های معدنی غلظت آن خیلی کمتر از خاک‌های با مواد آلی زیاد می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011). میانگین غلظت جیوه در خاک جهانی $0/07 \text{ mg/kg}$ می‌باشد که تمام نمونه‌های خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌ها مقادیر بالاتر از این مقدار را نشان می‌دهند. میانگین غلظت جیوه در سنگهای باطله ($0/13 \text{ mg/kg}$) تقریباً با میانگین این عنصر در خاک حاصل از باطله‌ها ($0/15 \text{ mg/kg}$) برابر می‌باشد. میانگین غلظت این عنصر در خاک برجای منطقه ($0/16 \text{ mg/kg}$) و زمینه منطقه $0/15 \text{ mg/kg}$ تقریباً برابر می‌باشد که بیانگر یکنواختی غلظت جیوه در کل محدوده مورد مطالعه و مؤثر نبودن کانه‌زایی و فعالیت‌های معدنکاری قدیمی بر غلظت آن

در خاک، و همچنین غلظت زمينه بالای آن در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در شکل ۵-۷ پراکنش غلظت جيوه در خاک برجای منطقه نشان داده شده است.

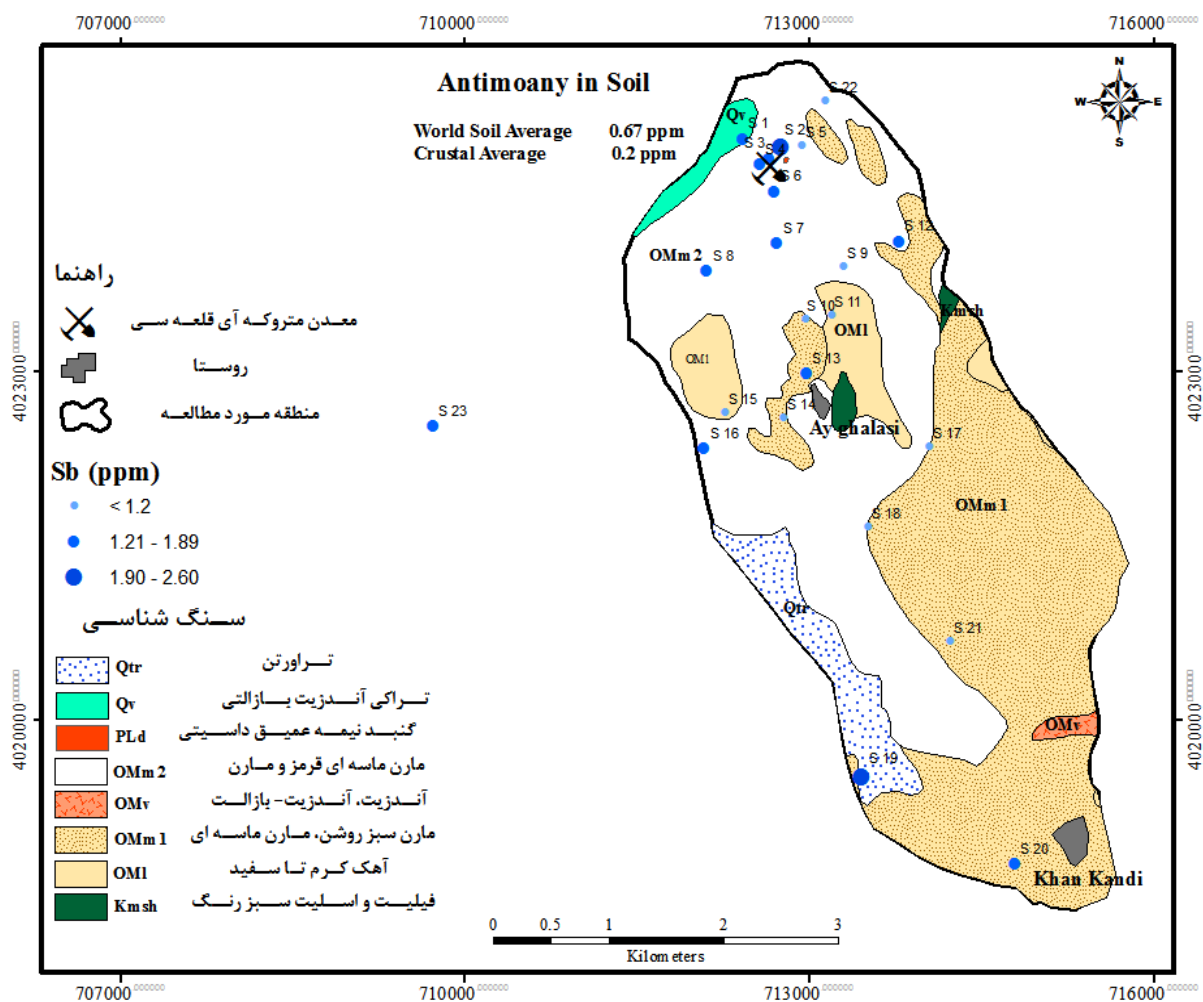


شکل ۵-۷- پراکنش غلظت جيوه در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در خاک‌های ماسه‌ای و آهکی غلظت این عنصر به ترتیب $0.07 - 0.08$ و $0.05 - 0.1$ mg/kg تعیین شده است (Kabata-Pendias, 2011). بنابراین با توجه به مارنی و مارن ماسه‌ای بودن اغلب واحدهای زمین‌شناسی منطقه و همچنین بافت خاک که ماسه‌ای و ماسه لومی می‌باشد، غلظت جيوه در منطقه مورد مطالعه قابل توجیه است. با توجه به جدول ۵-۶ جيوه با هیچکدام از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر مورد بررسی همبستگی معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

۵-۷- آنتیموان

غلظت آنتیموان در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها بالاتر از میانگین غلظت این عنصر در خاک جهانی (0.67 mg/kg) و میانگین پوسته (0.2 mg/kg) می‌باشد. متوسط غلظت آنتیموان در خاک حاصل از باطله‌ها 0.9 mg/kg بوده که نسبت به متوسط خاک برجای منطقه (1.4 mg/kg) تقریباً 0.6 برابر کمتر است. نقشه پراکندگی آنتیموان در خاک برجای منطقه در شکل ۵-۸ نشان داده شده است.



شکل ۵-۸- پراکنش غلظت آنتیموان در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

غلظت آنتیموان در کل منطقه مورد مطالعه بالاتر از میانگین غلظت آن در خاک جهانی (0.67 mg/kg) و میانگین پوسته (0.2 mg/kg) می‌باشد. بالاترین غلظت آنتیموان در منطقه مورد مطالعه در نمونه S_2 که در

امتداد رگه معدنی می‌باشد و نیز در نمونه S₁₉ که در نزدیکی روستای خان‌کندی و در واحد تراورتنی می‌باشد، دیده می‌شود. در خاک زمینه (نمونه‌های S₂₂ و S₂₃) نیز غلظت آنتیموان بالاتر از میانگین غلظت آنتیموان در خاک جهانی و میانگین پوسته می‌باشد. با توجه به غلظت آنتیموان در خاک حاصل از باطله‌ها، خاک برجای منطقه و همچنین غلظت زمینه (1/4 mg/kg)، می‌توان ذکر کرد که غلظت این عنصر در خاک منطقه بالا بوده و با کانه‌زایی رخ داده در منطقه غلظت آن در خاک‌های اطراف رگه معدنی افزایش یافته و در بقیه نمونه‌های خاک منطقه تقریباً یکنواخت می‌باشد.

متوسط غلظت آنتیموان در خاک‌های ماسه‌ای mg/kg ۱/۳۳-۰/۰۵ بوده و در خاک‌های آهکی مقداری برای آن تعیین نشده است (Kabata-Pendias, 2011)، بنابراین با توجه به گسترش واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهک در منطقه، نمونه‌های S₁₀، S₁₃، S₁₄، S₁₈، S₂₀ و S₂₁ غلظت نزدیک به خاک‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهند. آنتیموان تنها با اکسید منگنز همبستگی معنی‌دار (۰/۶۳۳) نشان می‌دهد.

۵-۵-۸- مس

میانگین غلظت مس در خاک جهانی mg/kg ۳۸/۹ و در پوسته ۵۵ mg/kg می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011). غلظت مس در سنگهای باطله mg/kg ۸۳۰۱/۹ نسبت به متوسط غلظت آن در خاک حاصل از باطله‌ها (۱۰۰۵/۹ mg/kg) تقریباً ۸ برابر بیشتر می‌باشد. از طرفی متوسط غلظت آن در خاک حاصل از باطله‌ها نسبت به میانگین غلظت این عنصر در خاک برجای منطقه (۱۳۱ mg/kg) حدود ۷ برابر می‌باشد. با توجه به مشاهدات صحرایی کانیهای کربنات مس (آزوریت و مالاکیت) به مقدار فراوان در منطقه دیده شده‌اند که غلظت بالای این عنصر را در رگه معدنی تأیید می‌کنند (شکل ۵-۹).

شکل ۵-۱۰ پراکندگی غلظت مس را در خاک برجای منطقه نشان می‌دهد. بالاترین غلظت مس در نمونه S₂، نزدیک‌ترین نمونه به رگه معدنی (۱۵۱۶/۲ mg/kg) مشاهده گردید. به بطور کلی میانگین غلظت مس در

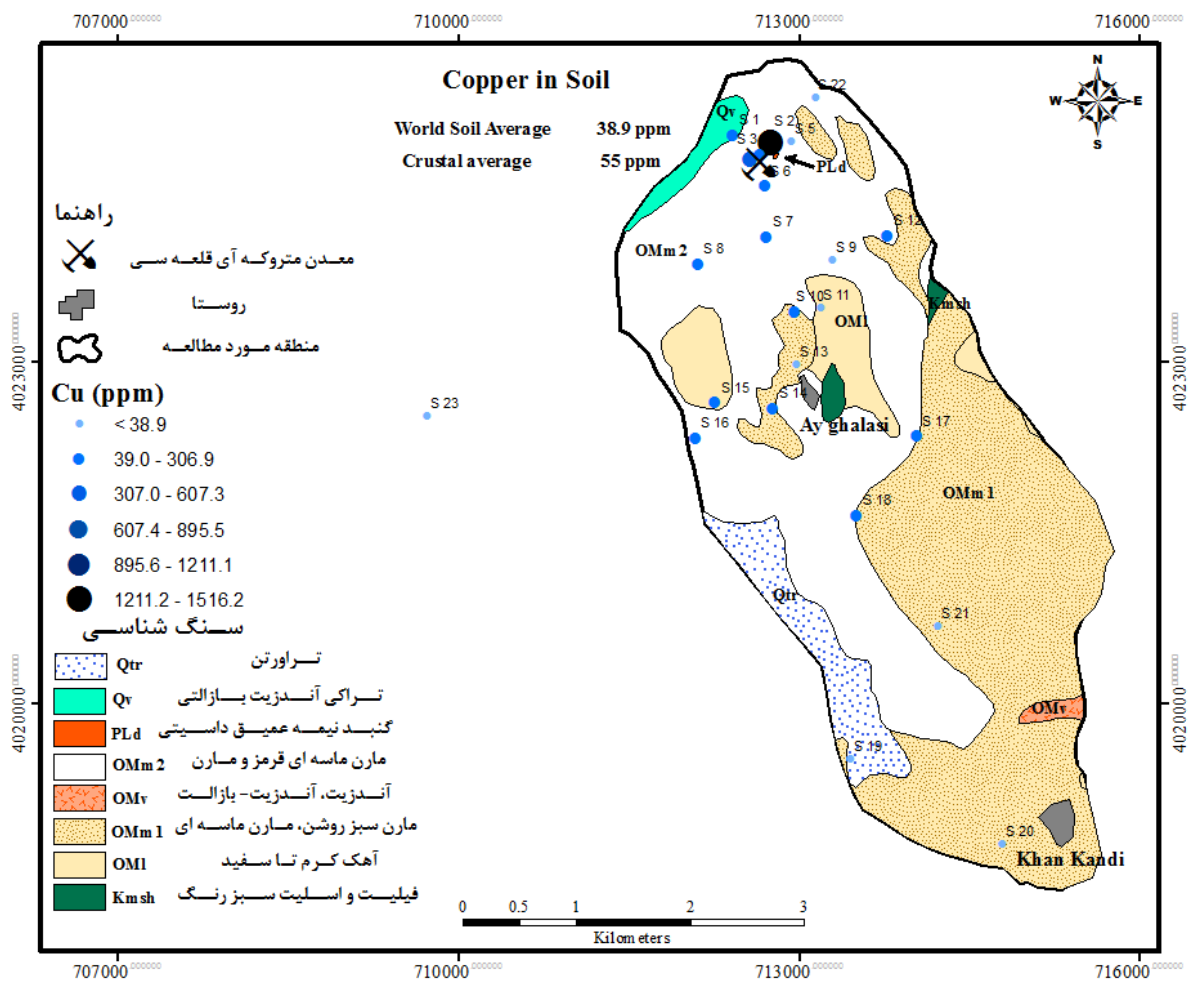
نمونه‌های اطراف زون کانه‌زایی (S_2 , S_3 و S_5) $641/2$ mg/kg می‌باشد که نسبت به میانگین غلظت این عنصر در خاک جهانی و غلظت زمینه منطقه مورد مطالعه به ترتیب حدود ۱۶ و ۲۴ برابر بوده که نشان دهنده تأثیر کانه‌زایی بر افزایش غلظت این عنصر در خاک منطقه می‌باشد.



شکل ۵-۹- نمونه دستی از کانیهای کربنات مس در منطقه مورد مطالعه

در نمونه‌های S_{17} و S_{18} نیز که احتمال آنومالی در منطقه می‌باشد غلظت این عنصر بالاتر از میانگین خاک جهانی و غلظت زمینه است. غلظت مس در خاک‌های ماسه‌ای و آهکی به ترتیب $3-30$ و $10-70$ mg/kg می‌باشد (Kabata-Pendias, 2011) که با توجه به واحدهای سنگ‌شناسی منطقه تأیید کننده غلظت مس در خاک منطقه می‌باشد.

مس با اکسید آهن ($0/743$) و اکسید منگنز ($0/845$) همبستگی بالا و مثبت نشان داده که بیانگر تأثیر این پارامترها بر جذب و نگهداشت مس در خاک منطقه می‌باشد. همبستگی بالای مس با عناصر Pb ($0/861$)، Zn ($0/905$) و As ($0/614$) هم منشأ بودن و همراهی آنها را در کانه‌زایی سرب و روی بیان می‌کند (جدول ۵-۶).



شکل ۵-۱۰- پراکنش غلظت مس در خاک بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۵-۶- ارزیابی میزان آلودگی در خاک منطقه

ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})، ضریب آلودگی (CF)، درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) و روش‌های آماری تحلیل داده‌ها (ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای) از معیارهایی هستند که می‌توانند جهت ارزیابی میزان آلودگی در خاک منطقه در نظر گرفته شوند.

۵-۶-۱- ضریب غنی‌شدگی در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

ضریب غنی‌شدگی (EF) شاخص مناسبی جهت تعیین منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی می‌باشد و به صورت نسبت غلظت عنصر مورد نظر در خاک یا رسوب به غلظت عنصر در ماده مبنا محاسبه می‌گردد. غلظت عنصر

مورد نظر را باید با یک عنصر مبنا که کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد قرار می‌گیرد، بهنجار کرد. ضریب غنی‌شدگی با استفاده از رابطه ۵-۲ محاسبه می‌شود (Loska et al, 1995):

$$EF = [C_x/C_{ref}]_{Sample} / [C_x/C_{ref}]_{Background} \quad \text{رابطه (۵-۲)}$$

در رابطه فوق، EF ضریب غنی‌شدگی، C_x غلظت عنصر مورد بررسی، C_{ref} غلظت عنصر مبنا در پوسته است. عنصر مبنا عنصری است که تغییرات اندکی در محیط داشته و غلظت آن در محیط متأثر از فعالیت‌های انسان نباشد. به طور معمول از عناصر Al، Fe، Ti، Si، Sc، Sr و K به عنوان عنصر مبنا استفاده می‌شود که در این پژوهش، Sc به عنوان عنصر مبنا در نظر گرفته شده است (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Hernandez et al, 2003؛ Bergamaschi et al, 2002)، مقادیر EF و طبقه‌بندی شدت غنی‌شدگی خاک در جدول ۵-۸ و مقادیر غنی‌شدگی محاسبه شده در نمونه‌های منطقه در جدول ۵-۹ آورده شده است.

جدول ۵-۸- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)

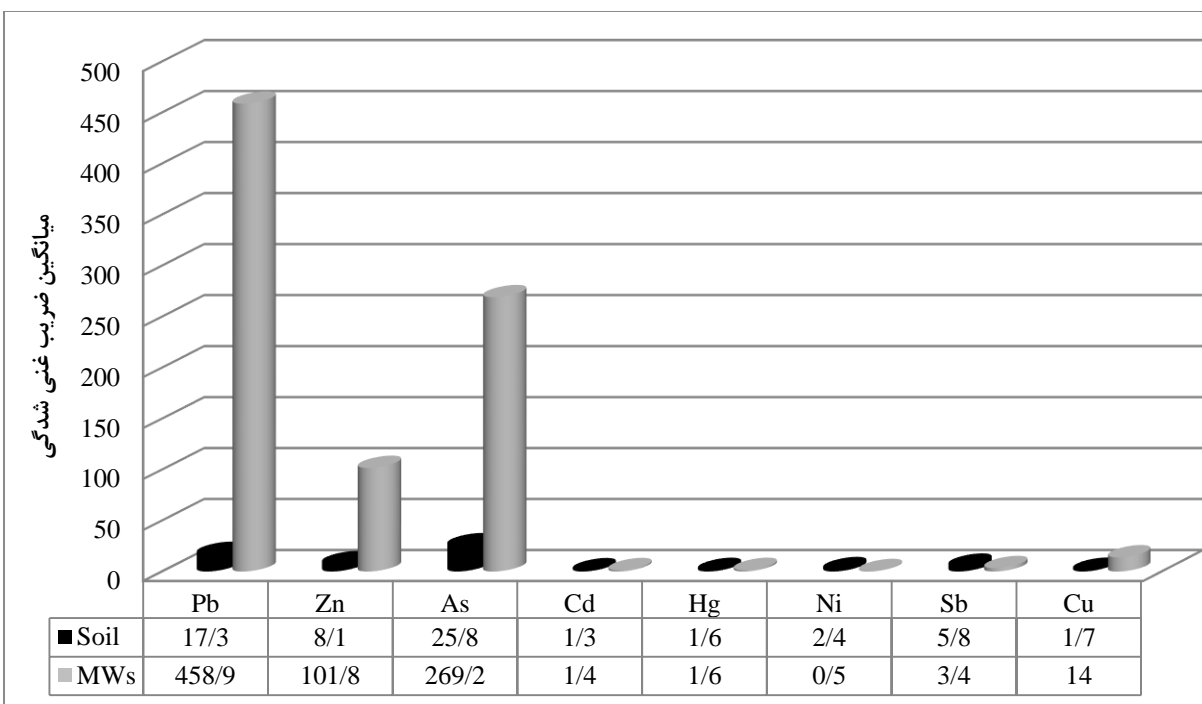
| EF | شدت غنی‌شدگی |
|----------------|--------------------------------|
| $EF < 2$ | بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک |
| $EF = 2 - 5$ | غنی‌شدگی متوسط |
| $EF = 5 - 20$ | غنی‌شدگی قابل توجه |
| $EF = 20 - 40$ | غنی‌شدگی بسیار بالا |
| $EF > 40$ | غنی‌شدگی بی‌نهایت |

متوسط ضریب غنی‌شدگی عناصر و فلزات سنگین Pb، Zn، As، Cd، Hg، Ni، Sb و Cu در خاک حاصل از باطله‌ها با توجه به شکل ۵-۱۱ به ترتیب ۴۵۸/۹، ۱۰۱/۸، ۲۶۹/۲، ۱/۴، ۱/۶، ۰/۵، ۳/۴ و ۱۴ در خاک برجای منطقه ۱۸/۸، ۸/۸، ۲۶/۸، ۱/۳، ۱/۶، ۲/۳، ۵/۶ و ۱/۸ می‌باشد. بنابراین در خاک حاصل از باطله‌ها عناصر سرب، روی و آرسنیک غنی‌شدگی بی‌نهایت، مس غنی‌شدگی قابل توجه، آنتیموان غنی‌شدگی متوسط و جیوه، نیکل و کادمیم بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک را نشان می‌دهند. در خاک برجای منطقه به ترتیب آرسنیک

غنی‌شدگی بسیار بالا، سرب، روی و آنتیموان غنی‌شدگی قابل توجه، نیکل غنی‌شدگی متوسط و جیوه، کادمیم و مس بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که کانه‌زایی و معدنکاری سرب و روی در غنی‌شدگی عناصر Pb، Zn، As و Cu مؤثر و در غنی‌شدگی عناصر Cd، Hg، Ni و Sb مؤثر نبوده است.

جدول ۵-۹- ضریب غنی‌شدگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها (MWS₁-MWS₄) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃)

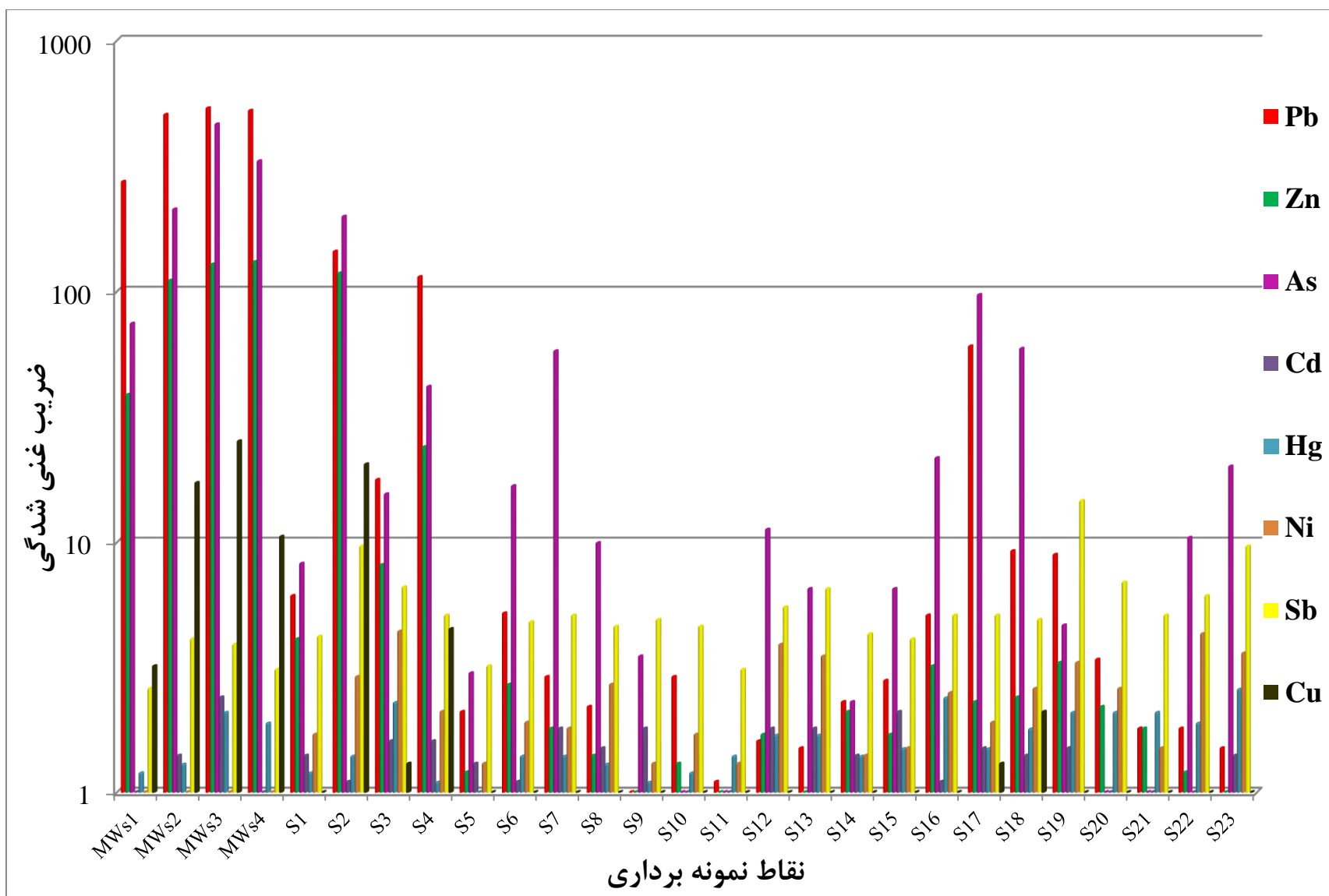
| نمونه | Pb | Zn | As | Cd | Hg | Ni | Sb | Cu |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|------|------|
| MWs1 | ۲۷۲/۷ | ۳۸/۶ | ۷۴/۲ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۰/۵ | ۲/۶ | ۳/۲ |
| MWs2 | ۵۰۴/۵ | ۱۱۰/۱ | ۲۱۱/۷ | ۱/۴ | ۱/۳ | ۰/۷ | ۴/۱ | ۱۷/۲ |
| MWs3 | ۵۳۵/۱ | ۱۲۷/۷ | ۴۶۱/۸ | ۲/۴ | ۲/۱ | ۰/۵ | ۳/۹ | ۲۵/۲ |
| MWs4 | ۵۲۳/۵ | ۱۳۰/۷ | ۳۲۹/۲ | ۰/۹ | ۱/۹ | ۰/۵ | ۳/۱ | ۱۰/۵ |
| Mean | ۴۵۸/۹ | ۱۰۱/۸ | ۲۶۹/۲ | ۱/۴ | ۱/۶ | ۰/۵ | ۳/۴ | ۱۴ |
| S1 | ۶/۱ | ۴/۱ | ۸/۲ | ۱/۴ | ۱/۲ | ۱/۷ | ۴/۲ | ۰/۶ |
| S2 | ۱۴۳/۷ | ۱۱۷/۷ | ۱۹۸ | ۱/۱ | ۱/۴ | ۲/۹ | ۹/۶ | ۲۰/۴ |
| S3 | ۱۷/۷ | ۸/۱ | ۱۵/۵ | ۱/۶ | ۲/۳ | ۴/۴ | ۶/۶ | ۱/۳ |
| S4 | ۱۱۳/۸ | ۲۳/۹ | ۴۱/۶ | ۱/۶ | ۱/۱ | ۲/۱ | ۵/۱ | ۴/۵ |
| S5 | ۲/۱ | ۱/۲ | ۳ | ۱/۳ | ۰/۸ | ۱/۳ | ۳/۲ | ۰/۴ |
| S6 | ۵/۲ | ۲/۷ | ۱۶/۷ | ۱/۱ | ۱/۴ | ۱/۹ | ۴/۸ | ۰/۷ |
| S7 | ۲/۹ | ۱/۸ | ۵۷/۶ | ۱/۸ | ۱/۴ | ۱/۸ | ۵/۱ | ۰/۶ |
| S8 | ۲/۲ | ۱/۴ | ۹/۹ | ۱/۵ | ۱/۳ | ۲/۷ | ۴/۶ | ۰/۶ |
| S9 | ۰/۷ | ۰/۴ | ۳/۵ | ۱/۸ | ۱/۱ | ۱/۳ | ۴/۹ | ۰/۲ |
| S10 | ۲/۹ | ۱/۳ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۱/۲ | ۱/۷ | ۴/۶ | ۰/۷ |
| S11 | ۱/۱ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۱/۴ | ۱/۳ | ۳/۱ | ۰/۳ |
| S12 | ۱/۶ | ۱/۷ | ۱۱/۲ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۳/۹ | ۵/۵ | ۰/۸ |
| S13 | ۱/۵ | ۰/۸ | ۶/۵ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۳/۵ | ۶/۵ | ۰/۵ |
| S14 | ۲/۳ | ۲/۱ | ۲/۳ | ۱/۴ | ۱/۴ | ۱/۴ | ۴/۳ | ۰/۶ |
| S15 | ۲/۸ | ۱/۷ | ۶/۵ | ۲/۱ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۴/۱ | ۰/۹ |
| S16 | ۵/۱ | ۳/۲ | ۲۱/۶ | ۱/۱ | ۲/۴ | ۲/۵ | ۵/۱ | ۰/۶ |
| S17 | ۶۰/۲ | ۲/۳ | ۹۶/۵ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۹ | ۵/۱ | ۱/۳ |
| S18 | ۹/۲ | ۲/۴ | ۵۸/۹ | ۱/۴ | ۱/۸ | ۲/۶ | ۴/۹ | ۲/۱ |
| S19 | ۸/۹ | ۳/۳ | ۴/۶۵ | ۱/۵ | ۲/۱ | ۳/۳ | ۱۴/۶ | ۰/۶ |
| S20 | ۳/۴ | ۱/۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۲/۱ | ۲/۶ | ۶/۹ | ۰/۴ |
| S21 | ۱/۸ | ۱/۸ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۲/۱ | ۱/۵ | ۵/۱ | ۰/۵ |
| Mean | ۱۸/۸ | ۸/۸ | ۲۶/۸ | ۱/۳ | ۱/۶ | ۲/۳ | ۵/۶ | ۱/۸ |
| S22 | ۱/۸ | ۱/۲ | ۱۰/۴ | ۱ | ۱/۹ | ۴/۳ | ۶/۱ | ۰/۶ |
| S23 | ۱/۵ | ۰/۸ | ۲۰ | ۱/۴ | ۲/۶ | ۳/۶ | ۹/۶ | ۰/۴ |



شکل ۵-۱۱- میانگین ضریب غنی‌شدگی در نمونه‌های خاک برجای و خاک حاصل از باطله‌های منطقه

در شکل ۵-۱۲ ضریب غنی‌شدگی تمام عناصر مورد بررسی نشان داده شده است. تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها نسبت به عناصر Pb، Zn و As غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا دارند و نسبت به Cu دارای غنی‌شدگی متوسط تا بسیار بالا هستند. خاک‌های برجای برداشت شده از اطراف منطقه کانه‌زایی و محدوده معدنکاری نسبت به عناصر Pb، Zn، As و Cu غنی‌شدگی بالا تا بی‌نهایت دارند.

غنی‌شدگی کادمیم و جیوه در نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه کم بوده که با توجه به غلظت کم این عناصر در خاک برجای و خاک حاصل از باطله‌ها، غنی‌شدگی نسبت به این عنصر از بالادست به سمت پایین دست حوضه تغییر نمی‌کند. نیکل در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها بدون غنی‌شدگی بوده و غنی‌شدگی آن در خاک برجای منطقه متوسط می‌باشد. آنتیموان نیز در نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها نسبت به خاک برجای منطقه غنی‌شدگی بیشتری داشته که نشان دهنده تأثیر کانه‌زایی بر غنی‌شدگی آن در خاک باطله‌ها است.



شکل ۵-۱۲- ضریب غنی شدگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

۵-۶-۲ شاخص زمین‌انباشت در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index) توسط مولر (Muller) در سال ۱۹۶۹ برای تعیین و توصیف غلظت فلزات در خاک و رسوبات معرفی شد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

در این رابطه، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه خاک یا رسوب، B_n غلظت عنصر مورد مطالعه در مقدار زمینه (شیل) و عامل $1/5$ نیز ضریب تصحیح تأثیر سنگ‌شناسی است که ناشی از تغییرات سنگ‌شناسی در منطقه می‌باشد (Muller, 1969; Luoping et al, 2007; Seshan, 2010). شاخص زمین‌انباشت به هفت رده تقسیم می‌شود (جدول ۵-۱۰) که بالاترین عدد آن ۵ است که حدوداً ۱۰۰ برابر غنی‌شدگی نسبت به زمینه را نشان می‌دهد (Habes, 2006; Luoping et al, 2007; Nikolaidis et al, 2010). مقادیر شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های برداشت شده از منطقه در جدول ۵-۱۱ آورده شده است.

جدول ۵-۱۰- رده‌بندی مولر بر مبنای مقدار شاخص زمین‌انباشت (Luoping et al, 2007)

| محدوده I_{geo} | شدت آلودگی |
|-------------------|-----------------------------|
| $0 \geq I_{geo}$ | بدون آلودگی |
| $0 < I_{geo} < 1$ | بدون آلودگی تا آلودگی متوسط |
| $1 < I_{geo} < 2$ | آلودگی متوسط |
| $2 < I_{geo} < 3$ | آلودگی متوسط تا شدید |
| $3 < I_{geo} < 4$ | آلودگی شدید |
| $4 < I_{geo} < 5$ | آلودگی شدید تا بی‌نهایت |
| $5 < I_{geo}$ | آلودگی بی‌نهایت |

شکل ۵-۱۳ میانگین شاخص زمین‌انباشت در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه را نشان می‌دهد. در خاک حاصل از باطله‌ها، عناصر Pb ، Zn ، As ، Ni و Cu دارای شاخص زمین‌انباشت بالاتر از ۵ بوده و آلودگی شدید نشان می‌دهند، و Cd ، Hg و Sb در محدوده بدون آلودگی قرار می‌گیرند. بر اساس شاخص زمین‌انباشت،

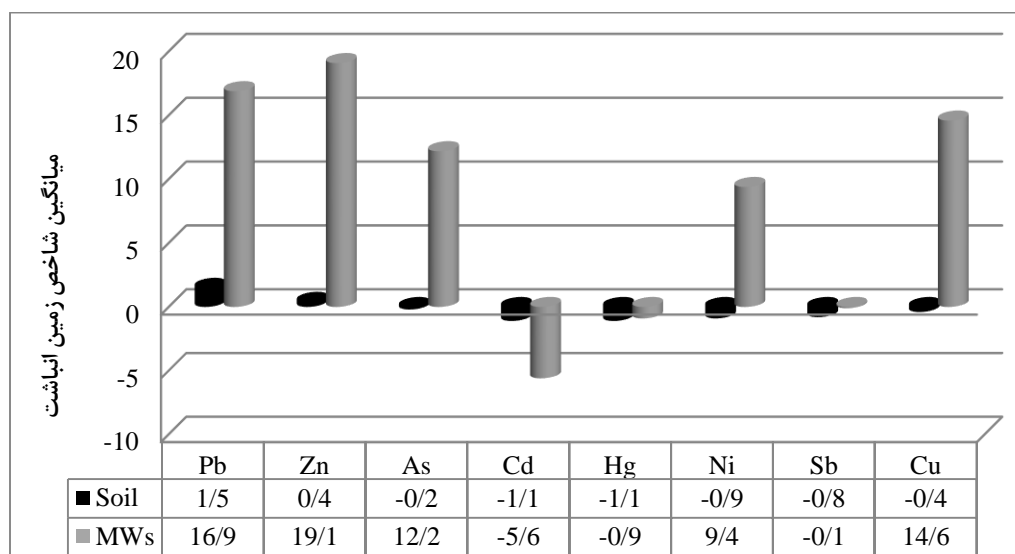
خاک برجای منطقه نسبت به Pb آلودگی متوسط، Zn بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و عناصر As, Cd, Ni, Cu و Sb بدون آلودگی می باشد.

جدول ۵-۱۱- شاخص زمین انباشت عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها (MWS₁-MWS₄) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃)

| نمونه | Pb | Zn | As | Cd | Hg | Ni | Sb | Cu |
|------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| MWS ₁ | ۱۶/۴ | ۱۸ | ۱۰/۸ | -۵/۹ | -۱ | ۹/۵ | -۰/۳ | ۱۳/۱ |
| MWS ₂ | ۱۷/۱ | ۱۹/۳ | ۱۲/۱ | -۵/۶ | -۱/۲ | ۹/۸ | ۰/۱ | ۱۵/۲ |
| MWS ₃ | ۱۷ | ۱۹/۴ | ۱۳/۱ | -۴/۹ | -۰/۶ | ۹ | -۰/۰۳ | ۱۵/۷ |
| MWS ₄ | ۱۷ | ۱۹/۵ | ۱۲/۷ | -۶/۲ | -۰/۶ | ۹/۱ | -۰/۳ | ۱۴/۴ |
| Mean | ۱۶/۹ | ۱۹/۱ | ۱۲/۲ | -۵/۶ | -۰/۹ | ۹/۴ | -۰/۱ | ۱۴/۶ |
| S ₁ | ۲/۳ | ۱/۷ | ۰/۲ | -۰/۵ | -۱/۱ | -۰/۹ | -۰/۸ | -۰/۳ |
| S ₂ | ۶/۶ | ۶/۳ | ۴/۶ | -۱/۳ | -۱ | -۰/۴ | ۰/۲ | ۴/۵ |
| S ₃ | ۳/۵ | ۲/۳ | ۰/۸ | -۰/۷ | -۰/۴ | -۰/۱ | -۰/۵ | ۰/۴ |
| S ₄ | ۶/۲ | ۳/۹ | ۲/۳ | -۰/۷ | -۱/۴ | -۰/۹ | -۰/۸ | ۲/۲ |
| S ₅ | ۰/۸ | -۰/۰۲ | -۱/۱ | -۰/۷ | -۱/۶ | -۱/۲ | -۱/۱ | -۱ |
| S ₆ | ۱/۸ | ۰/۸ | ۱/۱ | -۱/۲ | -۱/۱ | -۰/۹ | -۰/۸ | -۰/۴ |
| S ₇ | ۰/۸ | ۰/۲ | ۲/۷ | -۰/۵ | -۱/۲ | -۱/۲ | -۰/۸ | -۰/۷ |
| S ₈ | ۰/۷ | ۰/۰۲ | ۰/۴ | -۰/۶ | -۱ | -۰/۴ | -۰/۷ | -۰/۵ |
| S ₉ | -۱/۲ | -۲/۲ | -۱/۳ | -۰/۶ | -۱/۵ | -۱/۷ | -۰/۹ | -۲/۶ |
| S ₁₀ | ۰/۹ | -۰/۳ | -۵/۳ | -۱/۷ | -۱/۴ | -۱/۲ | -۰/۹ | -۰/۶ |
| S ₁₁ | -۰/۳ | -۱/۶ | -۳ | -۱/۵ | -۰/۷ | -۱/۲ | -۱/۱ | -۱/۱ |
| S ₁₂ | -۰/۰۱ | ۰/۱ | ۰/۴ | -۰/۶ | -۰/۹ | -۰/۱ | -۰/۷ | -۰/۳ |
| S ₁₃ | -۰/۱ | -۱/۲ | -۰/۵ | -۰/۶ | -۱/۱ | -۰/۳ | -۰/۵ | -۰/۹ |
| S ₁₄ | ۰/۴ | ۰/۳ | -۲/۱ | -۰/۹ | -۱/۲ | -۱/۶ | -۱/۱ | -۰/۷ |
| S ₁₅ | ۰/۹ | ۰/۲ | -۰/۳ | -۰/۲ | -۰/۹ | -۱/۳ | -۱ | ۰/۰۲ |
| S ₁₆ | ۱/۷ | ۱ | ۱/۴ | -۱/۴ | -۰/۳ | -۰/۶ | -۰/۸ | -۰/۷ |
| S ₁₇ | ۴/۹ | ۰/۲ | ۳/۲ | -۱/۲ | -۱/۳ | -۱/۴ | -۱/۱ | ۰/۱ |
| S ₁₈ | ۲/۴ | ۰/۴ | ۲/۶ | -۱/۱ | -۰/۹ | -۰/۸ | -۱ | -۰/۹ |
| S ₁₉ | ۱/۷ | ۰/۲ | -۱/۷ | -۱/۶ | -۱/۴ | -۱/۱ | -۰/۱ | -۱/۶ |
| S ₂₀ | ۰/۸ | ۰/۱ | -۵/۳ | -۲/۶ | -۰/۸ | -۱/۱ | -۰/۷ | -۱/۵ |
| S ₂₁ | ۰/۱ | ۰/۰۳ | -۵/۳ | -۲/۳ | -۰/۸ | -۱/۶ | -۱/۱ | -۱/۲ |
| Mean | ۱/۷ | ۰/۶ | -۰/۳ | -۱/۱ | -۱ | -۰/۹ | -۰/۸ | -۰/۳ |
| S ₂₂ | -۰/۲ | -۰/۷ | -۰/۱ | -۱/۷ | -۱ | -۰/۲ | -۰/۹ | -۱ |
| S ₂₃ | -۰/۶ | -۱/۶ | ۰/۶ | -۱/۵ | -۰/۸ | -۰/۷ | -۰/۵ | -۱/۸ |

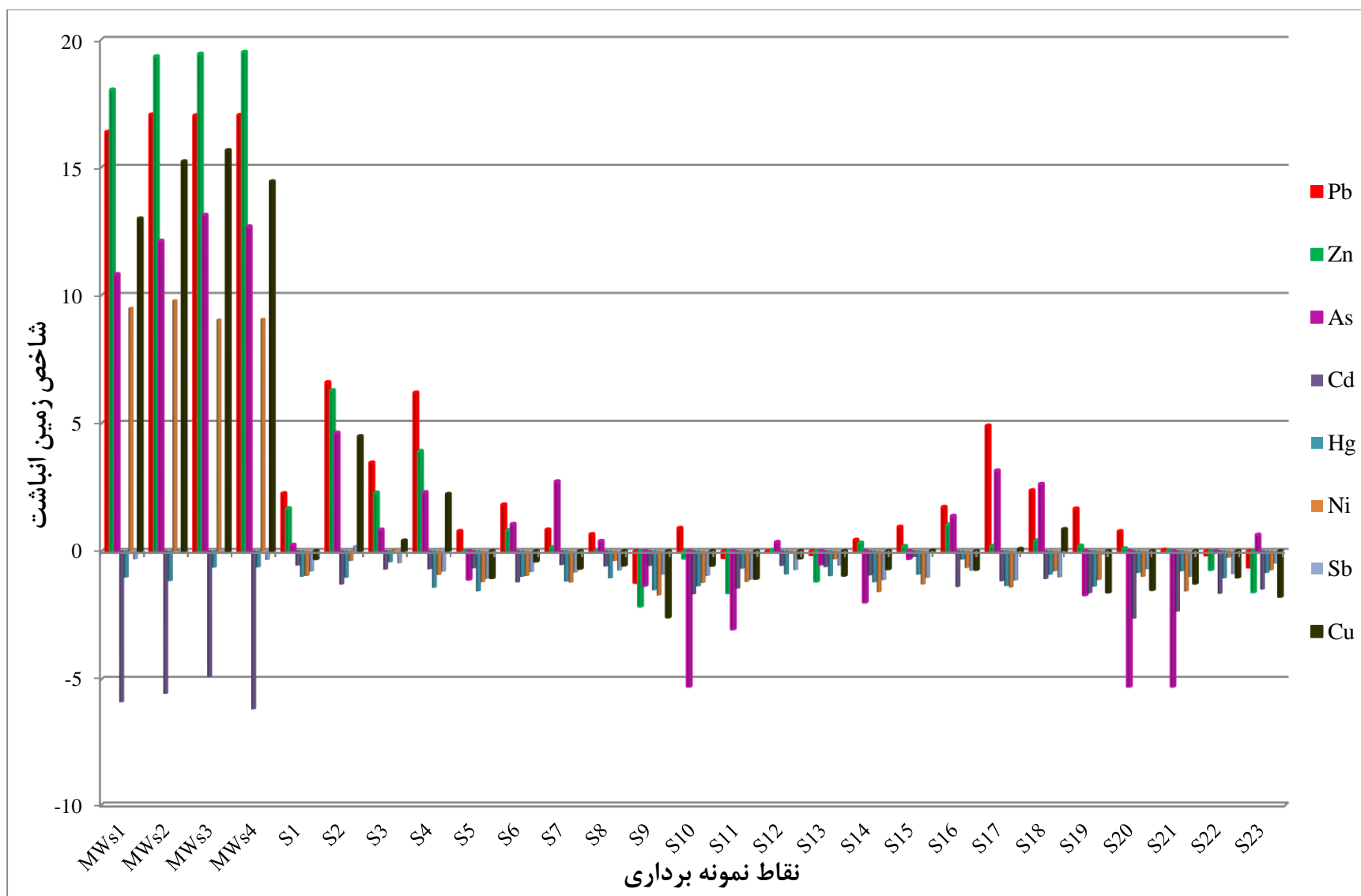
مقادیر شاخص زمین انباشت برای تمام عناصر مورد بررسی در نمونه‌های خاک برجای منطقه در شکل ۵-۱۴ آورده شده است. شاخص زمین انباشت برای عناصر سرب، روی، آرسنیک و مس در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها بالاتر از ۵ می باشد، بنابراین این نمونه نسبت به عناصر ذکر شده بی نهایت آلوده می باشند. پایین بودن

غلظت کادمیم در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه تأیید کننده شاخص زمین‌انباشت پایین و کوچک‌تر از یک در این نمونه‌ها بوده بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که خاک منطقه نسبت به کادمیم آلوده نمی‌باشد.



شکل ۵-۱۳- میانگین شاخص زمین‌انباشت خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

بیشتر نمونه‌های خاک منطقه دارای شاخص زمین‌انباشت بالاتر از یک برای عناصر Pb، Zn و As می‌باشند. مقادیر شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های اطراف معدن متروکه برای عناصر اشاره شده و Cu آلودگی متوسط تا شدید و در برخی موارد بی‌نهایت را نشان می‌دهند. نمونه‌های S17 و S18 که منطقه مشکوک به آنومالی سرب و روی می‌باشد، شاخص زمین‌انباشت بالا داشته و آلودگی نشان می‌دهند. می‌توان نتیجه گرفت که بالا بودن این شاخص در منطقه برای عناصر Pb، Zn، As و Cu، مربوط به کانه‌زایی سرب و روی و غلظت بالای این عناصر نسبت به شیل میانگین می‌باشد. در تمام نمونه‌های خاک برجای منطقه شاخص زمین‌انباشت عنصر Cd کمتر از یک بوده و خاک منطقه نسبت به کادمیم آلوده نمی‌باشد. Sb تنها در نمونه S2 که غلظت معادل، حدوداً دو برابر شیل میانگین دارد، در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد، ولی دیگر نمونه‌های خاک منطقه نسبت به آنتیموان آلوده نمی‌باشند.



شکل ۵-۱۴- مقادیر شاخص زمین‌انباشت عناصر در تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

۵-۶-۳- ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در خاک باطله‌ها و خاک برجای منطقه

به منظور بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به یک عنصر خاص، از ضریب آلودگی (Contamination Factor) و درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Degree of Contamination) می‌توان استفاده نمود. ضریب آلودگی هاکنسون (Hakanson, 1980) از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$C_f = C_0/C_n \quad \text{رابطه (۴-۵)}$$

در این رابطه C_f ، ضریب آلودگی، C_0 ، غلظت فلز در نمونه مورد بررسی و C_n میانگین غلظت فلز در شیل (به عنوان مبنا) می‌باشد.

مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه بر تعداد نمونه‌ها، درجه آلودگی اصلاح شده خاک را بیان می‌کند (Abraham, 2005). درجه آلودگی اصلاح شده خاک توسط رابطه ۵-۵ محاسبه می‌گردد:

$$mC_d = \frac{\sum C_f}{n} \quad \text{رابطه (۵-۵)}$$

در این رابطه mC_d : درجه آلودگی اصلاح شده، $\sum C_f$: مجموع ضریب آلودگی و n : تعداد عناصر مورد نظر (۸ عنصر) برای محاسبه را نشان می‌دهند. جدول ۵-۱۲ و ۵-۱۳ به ترتیب رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده را نشان می‌دهند.

جدول ۵-۱۲- رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)

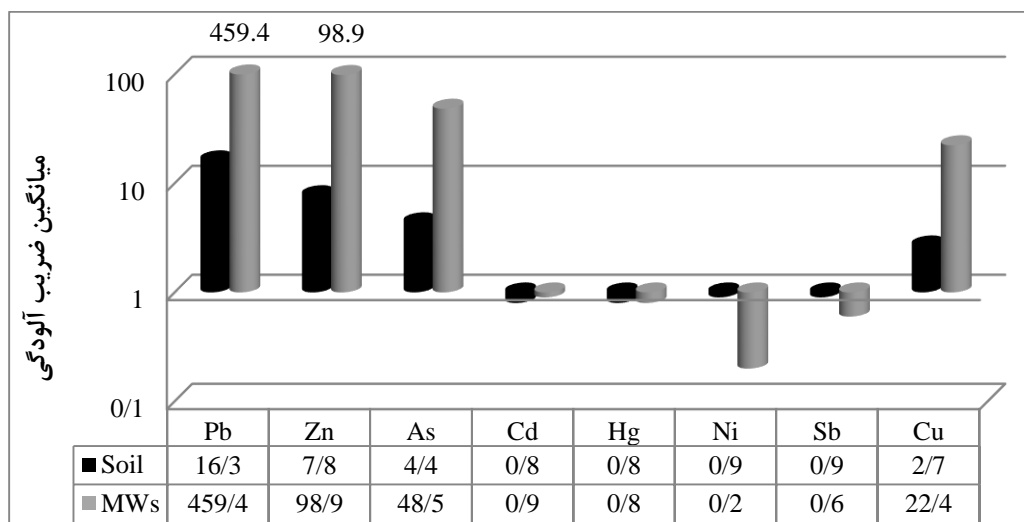
| C_f | مقدار آلودگی رسوب |
|------------------|-------------------|
| $C_f < 1$ | آلودگی پایین |
| $1 \leq C_f < 3$ | آلودگی متوسط |
| $3 \leq C_f < 6$ | آلودگی قابل توجه |
| $C_f \geq 6$ | آلودگی بسیار بالا |

جدول ۵-۱۳ رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham and Parker, 2008)

| mCd | درجه آلودگی اصلاح شده |
|-----------------|--------------------------|
| $1/5 > mCd$ | بدون آلودگی تا آلودگی کم |
| $1/5 < mCd < 2$ | درجه آلودگی کم |
| $2 < mCd < 4$ | درجه آلودگی متوسط |
| $4 < mCd < 8$ | درجه آلودگی بالا |
| $8 < mCd < 16$ | درجه آلودگی خیلی بالا |
| $16 < mCd < 32$ | درجه آلودگی بشدت بالا |
| $32 < mCd$ | درجه آلودگی بی نهایت |

میانگین ضریب آلودگی خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه در شکل ۵-۱۵ و جدول ۵-۱۴ آورده شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته میانگین ضریب آلودگی عناصر Pb، Zn، As و Cu در نمونه‌های خاک حاصل از باطله بالاتر از ۶ بوده و آلودگی بسیار بالا را نشان می‌دهند. این نمونه‌ها نسبت به عناصر Cd، Ni، Hg و Sb آلودگی پایین دارند.

به طور کلی نمونه‌های خاک برجا نسبت به عناصر Pb و Zn آلودگی بسیار بالا را نشان داده و نسبت به As آلودگی قابل توجه و نسبت به عنصر Cu آلودگی متوسط را دارد. نمونه‌های خاک برجای منطقه نسبت به Cd، Ni، Hg و Sb آلودگی پایین دارند.

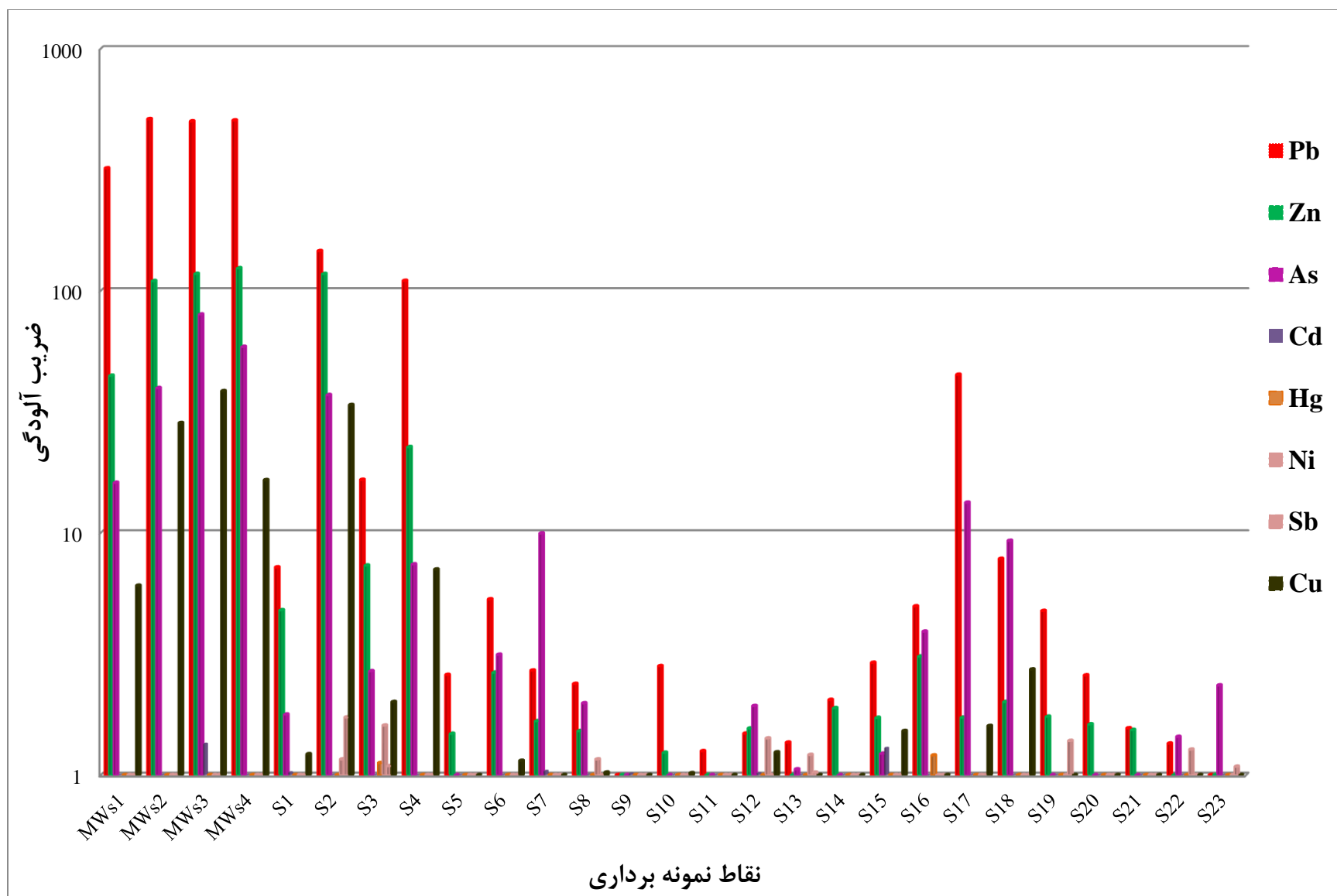


شکل ۵-۱۵- میانگین ضریب آلودگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

جدول ۵-۱۴- مقادیر ضریب آلودگی و ضریب آلودگی اصلاح شده در خاک حاصل از باطله‌ها (MWS₁-MWS₄) و خاک برجای منطقه (S₁-S₂₃)

| نمونه | Pb | Zn | As | Cd | Hg | Ni | Sb | Cu | mCa |
|------------------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| MWS ₁ | ۳۲۰/۲ | ۴۴/۵ | ۱۶/۱ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۶ | ۴۸/۶ |
| MWS ₂ | ۵۱۱/۵ | ۱۰۹/۶ | ۳۹/۶ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۳ | ۰/۷ | ۲۸/۴ | ۸۶/۵ |
| MWS ₃ | ۵۰۰/۷ | ۱۱۷/۴ | ۷۹/۸ | ۱/۳ | ۱/۱ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۳۸/۵ | ۹۲/۴ |
| MWS ₄ | ۵۰۵/۰ | ۱۲۳/۸ | ۵۸/۶ | ۰/۵ | ۱/۱ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۱۶/۵ | ۸۸/۳ |
| Mean | ۴۵۹/۴ | ۹۸/۹ | ۴۸/۵ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۲۲/۴ | ۷۸/۹ |
| S ₁ | ۷/۲ | ۴/۸ | ۱/۸ | ۱ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۲/۳ |
| S ₂ | ۱۴۵/۷ | ۱۱۷/۳ | ۳۷/۱ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۱/۲ | ۱/۱ | ۳۳/۷ | ۴۲/۲ |
| S ₃ | ۱۶/۵ | ۷/۳ | ۲/۷ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۱/۶ | ۱/۱ | ۲ | ۴/۲ |
| S ₄ | ۱۰۹/۸ | ۲۲/۶ | ۷/۴ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۷ | ۱۸/۷ |
| S ₅ | ۲/۶ | ۱/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۱ |
| S ₆ | ۵/۳ | ۲/۶ | ۳/۱ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۱/۹ |
| S ₇ | ۲/۷ | ۱/۷ | ۹/۹ | ۱/۰ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۲/۳ |
| S ₈ | ۲/۴ | ۱/۵ | ۲/۱ | ۱/۰ | ۰/۷ | ۱/۲ | ۰/۹ | ۱ | ۱/۳ |
| S ₉ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۱ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۲ | ۰/۶ |
| S ₁₀ | ۲/۸ | ۱/۲ | ۰/۰۴ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۹ |
| S ₁₁ | ۱/۲ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ |
| S ₁₂ | ۱/۵ | ۱/۶ | ۱/۹ | ۱ | ۰/۸ | ۱/۴ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۱/۳ |
| S ₁₃ | ۱/۴ | ۰/۷ | ۱/۱ | ۱/۱ | ۰/۸ | ۱/۲ | ۱ | ۰/۸ | ۱/۱ |
| S ₁₄ | ۲ | ۱/۹ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۱/۱ |
| S ₁₅ | ۲/۹ | ۱/۷ | ۱/۲ | ۱/۳ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۱/۵ | ۱/۳ |
| S ₁₆ | ۵/۱ | ۳/۱ | ۳/۹ | ۰/۶ | ۱/۲ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۲/۱ |
| S ₁₇ | ۴۵/۱ | ۱/۷ | ۱۳/۳ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۱/۶ | ۸ |
| S ₁₈ | ۷/۸ | ۲ | ۹/۳ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۰/۷ | ۲/۷ | ۳/۱ |
| S ₁₉ | ۴/۷ | ۱/۷ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۱/۴ | ۰/۵ | ۱/۳ |
| S ₂₀ | ۲/۶ | ۱/۶ | ۰/۰۴ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۰/۵ | ۰/۹ |
| S ₂₁ | ۱/۶ | ۱/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۳ | ۰/۹ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۸ |
| Mean | ۱۷/۷ | ۸/۵ | ۴/۶ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۲/۹ | ۴/۶ |
| S ₂₂ | ۱/۳ | ۰/۹ | ۱/۴ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۱/۳ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۱/۱ |
| S ₂₃ | ۱/۱ | ۰/۵ | ۲/۳ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۰/۴ | ۰/۹ |

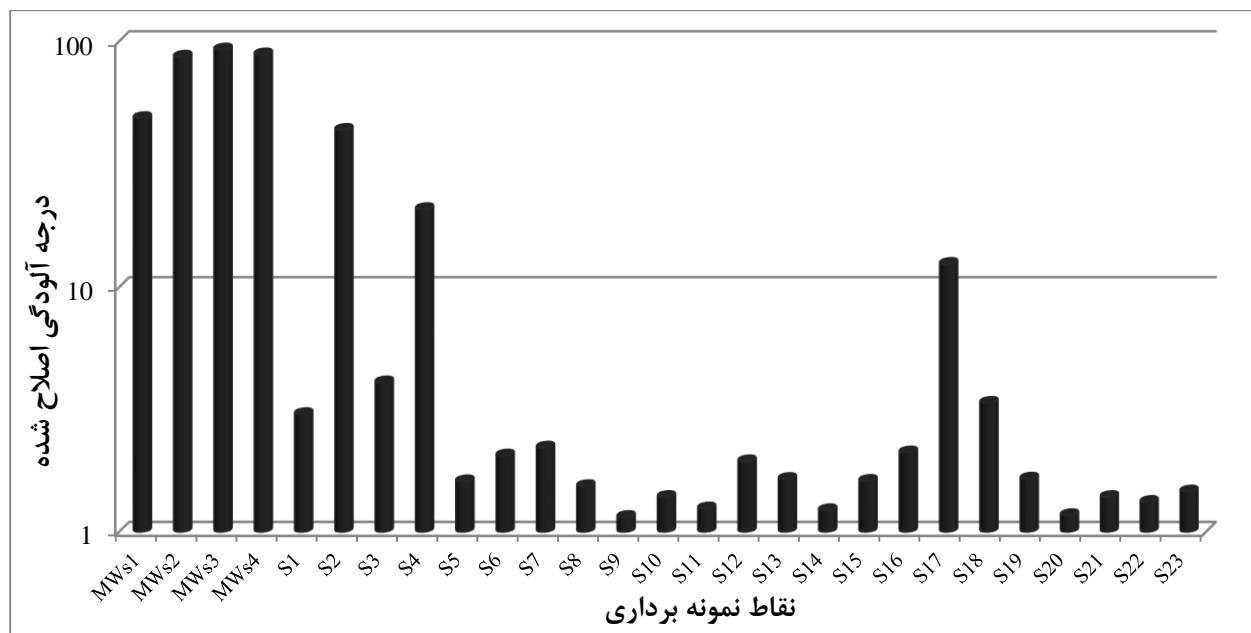
مقادیر ضریب آلودگی محاسبه شده برای تمام نمونه‌های خاک و کلیه عناصر مورد بررسی در شکل ۵-۱۶ آورده شده است. بالاترین ضریب آلودگی در نمونه‌های خاک برجا در نمونه S₂ نسبت به عناصر Pb، Zn، As و Cu مشاهده شده که در امتداد رگه معدنی و بالادست آن می‌باشد. همانطور که در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است خاک حاصل از باطله‌ها نسبت به نمونه‌های خاک برجای منطقه برای Pb، Zn، As و Cu ضریب آلودگی



شکل ۵-۱۶- ضریب آلودگی عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

بالاتری را دارا می‌باشند.

مقادیر محاسبه شده درجه آلودگی اصلاح شده برای عناصر مورد بررسی در شکل ۵-۱۷ آورده شده است. تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله‌ها درجه آلودگی بی‌نهایت را دارند. بالاترین درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های خاک برجای منطقه مربوط به نمونه S₂ می‌باشد که در امتداد رگه معدنی و در بالادست منطقه معدنکاری قرار گرفته است و بی‌نهایت آلوده می‌باشد. نمونه S₃ و S₄ که در مجاورت رگه معدنی می‌باشند به ترتیب دارای درجه آلودگی بالا و بشدت بالا بوده و S₁₇ درجه آلودگی خیلی بالا را نشان می‌دهد. درجه آلودگی دیگر نمونه‌های خاک منطقه در محدوده‌های آلودگی متوسط تا بدون آلودگی قرار می‌گیرند.



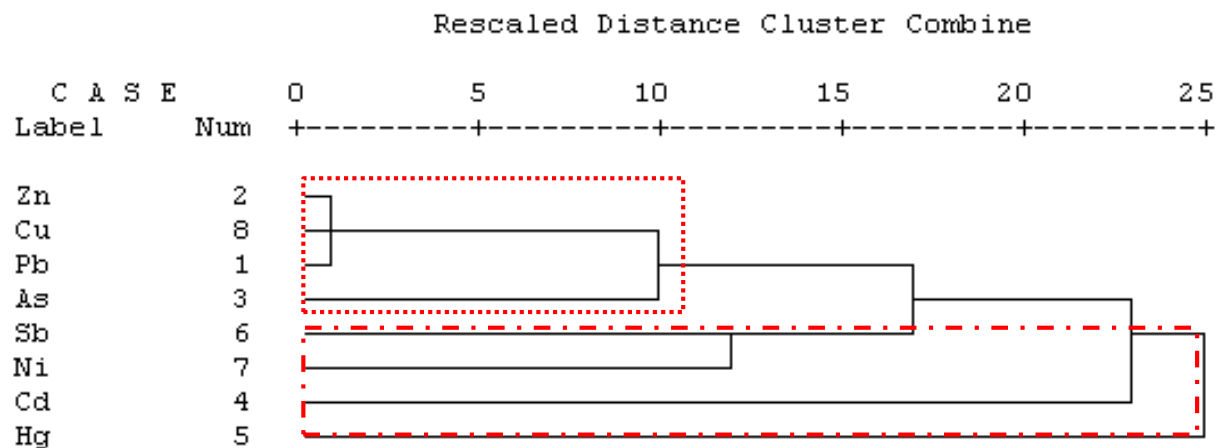
شکل ۵-۱۷- درجه آلودگی اصلاح شده خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه

۵-۷- آنالیز خوشه‌ای در خاک برجای منطقه

آنالیز خوشه‌ای روشی است چند متغیره که برای گروه‌بندی متغیرها و نمونه‌ها بر اساس شباهت در ویژگی‌ها و منشأ استفاده می‌شود. در آنالیز خوشه‌ای می‌توان عناصر را از نظر ارتباط ژئوشیمیایی با یکدیگر، بررسی توزیع آنها در یک منطقه و منشأ مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد. در شکل ۵-۱۸ آنالیز خوشه‌ای عناصر مورد بررسی در

نمونه‌های خاک برجای منطقه نشان داده شده است. در زیر گروه‌بندی عناصر با توجه به منشأ آنها آورده شده است.

- گروه اول: شامل عناصر Pb، Zn، Cu و As می‌باشند که مربوط به کانه‌زایی هستند.
- گروه دوم: شامل عناصر Sb، Ni، Cd و Hg بوده که منشأ زمین‌زاد دارند.



شکل ۵-۱۸- گروه‌بندی فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک برجای منطقه

فصل ششم

کیفیت آب و رسوب

منابع آب یکی از آسیب پذیرترین محیطها نسبت به آلودگی‌های شیمیایی و طبیعی هستند. آلاینده‌های مختلف با ورود به محیط آب به صورت یون‌های آزاد یا با ایجاد کمپلکس با مواد معلق و یون‌های موجود در آب به راحتی حمل شده و در دسترس آبزیان، گیاهان و دیگر جانوران قرار می‌گیرند. با تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی منابع آب، آلاینده‌ها ته‌نشین شده و وارد محیط رسوب می‌شوند. یکی از مهمترین اثرات مناطق کانه‌زایی و معادن متروکه زهکشی زهاب اسیدی معدن (Acid Mine Drainage) از داخل تونل‌های باز شده جهت استخراج مواد معدنی و مواد باطله ریخته شده اطراف معدن می‌باشد (Banks et al, 1997). زهاب اسیدی معادن دارای pH کمتر از ۴ بوده و غلظت بالایی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی دارد (Lee, 2003). انتقال و پیشرفت آلودگی فلزی در منابع آب بستگی به خواص فیزیکوشیمیایی آب، بار ورودی فلزات به محیط و فرایندهای رقیق‌شدگی و ته‌نشینی دارد.

در منطقه آی‌قلعه‌سی فعالیت کشاورزی وجود نداشته و تنها عامل مؤثر در آلودگی خاک، منابع آب و رسوب، زمین‌شناسی منطقه و وجود کانه‌زایی سرب و روی و به دنبال آن معدنکاری‌های قدیمی صورت گرفته در این منطقه است. در این منطقه منابع آب، عمدتاً سطحی هستند که با عبور از روی باطله‌ها و ورود زهاب معدنی تا حد زیادی در معرض ورود آلاینده‌های فلزی قرار دارند.

در این بخش ابتدا به بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات و کیفیت منابع آب منطقه پرداخته شده و همبستگی بین عناصر و پارامترهای مورد مطالعه و همچنین همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها بررسی شده است. در ادامه نقشه هم‌غلظت فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در آب و رسوبات منطقه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در نهایت آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی و مطالعات آماری ارزیابی شده است.

۶-۲- نتایج اولیه آنالیزهای فیزیکیوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات

منطقه

در جدول ۶-۱ و ۶-۲ به ترتیب غلظت فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی و پارامترهای فیزیکیوشیمیایی اندازه گیری شده در نمونه های آب و رسوب و غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی در نمونه های آب در منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۶-۱- غلظت فلزات سنگین و مقادیر پارامترهای فیزیکیوشیمیایی در منابع آب و رسوبات منطقه

| نمونه | Pb (mg/L) | Zn (mg/L) | As (µg/L) | Cd (mg/L) | Ni (mg/L) | Hg (µg/L) | Sb (mg/L) | Cu (mg/L) | pH | EC (µS/cm) | TDS (mg/L) | CEC (meq/100gr) | OM (%) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------------|------------|-----------------|--------|
| W1 | ۰/۱۹ | ۱۸۲/۰۰ | ۵۵ | ۱/۷۷ | ۰/۱۷ | ۳ | ۰/۲۷ | ۰/۱۶ | ۳/۵۰ | ۱۱۸۲ | ۶۴۸ | - | - |
| W2 | ۰/۱۷ | ۱۹۹/۰۰ | ۴۳ | ۱/۹۰ | ۰/۲۰ | ۳ | ۰/۶۹ | ۰/۷۸ | ۳/۰۲ | ۱۵۲۰ | ۸۴۰ | - | - |
| W3 | ۰/۳۶ | ۱۸۳/۰۰ | ۱۸ | ۱/۷۵ | ۰/۱۹ | ۲ | ۰/۰۵ | ۰/۶۱ | ۳/۲۰ | ۱۴۴۷ | ۸۰۳ | - | - |
| Mean | ۰/۲۴ | ۱۸۸ | ۳۸/۳۷ | ۱/۸۱ | ۰/۱۹ | ۲/۶۷ | ۰/۲۳ | ۰/۵۲ | ۳/۲۴ | ۱۲۸۳ | ۷۶۳/۶۶ | - | - |
| W4 | ۰/۳۲ | ۶۷/۰۰ | ۱۲ | ۰/۷۰ | ۰/۰۳ | ۲ | ۰/۳۵ | <۰/۰۱ | ۶/۷۶ | ۱۴۶۲ | ۸۰۲ | - | - |
| W5 | <۰/۰۱ | ۳۷/۷۸ | <۱۰ | ۰/۳۴ | ۰/۲۴ | ۲ | ۰/۱۸ | <۰/۰۱ | ۷/۲۵ | ۱۶۵۵ | ۸۹۴ | - | - |
| W6 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۲ | ۰/۱۳ | <۰/۰۱ | ۷/۹۳ | ۶۶۰ | ۳۵۲ | - | - |
| W7 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۱ | ۰/۳۹ | <۰/۰۱ | ۸/۰۵ | ۷۰۳ | ۳۷۳ | - | - |
| W8 | ۰/۰۶ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۲ | ۰/۱۱ | <۰/۰۱ | ۸/۲۸ | ۷۰۶ | ۳۷۶ | - | - |
| W9 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۲ | ۰/۱۳ | <۰/۰۱ | ۸/۱۵ | ۱۷۴۲ | ۹۵۰ | - | - |
| W10 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۲ | ۰/۱۶ | <۰/۰۱ | ۸/۳۴ | ۷۱۳ | ۳۸۲ | - | - |
| W11 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۲ | ۰/۱۶ | <۰/۰۱ | ۷/۶۳ | ۵۷۵ | ۳۰۵ | - | - |
| W12 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۲ | ۰/۱۹ | <۰/۰۱ | ۷/۷۱ | ۱۳۳۱ | ۷۲۷ | - | - |
| W13 | ۰/۰۲ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۱ | ۰/۲۶ | <۰/۰۱ | ۸/۱۴ | ۵۱۰ | ۷۳۳ | - | - |
| W14 | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۱۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | ۲ | ۰/۲۵ | <۰/۰۱ | ۷/۸۷ | ۱۴۰۲ | ۷۷۰ | - | - |
| SE1 | ۱۰۷/۰۶۶ | ۱۹۴۳/۳ | ۱۱۵/۷۱ | ۰/۲۲ | ۶۱/۸۳ | ۰/۱۱ | ۱/۴ | ۱۹۳/۱۹ | ۷/۹۰ | ۳۳۷ | ۶/۹۴ | ۰/۷۸ | - |
| SE2 | ۱۰۵۷/۲۳ | ۱۶۶۴/۴ | ۳۳۸/۱۱ | ۰/۱۱ | ۲۸/۱۶ | ۰/۱۴ | ۰/۲۸ | ۶۲۶/۱۸ | ۳/۱۵ | ۶۴۶/۱۸ | ۸/۰۷ | ۱/۱۹ | - |
| SE3 | ۱۰۰۳/۴۸ | ۵۰۰۵/۴۶ | ۲۸۲/۱۱ | ۰/۲۶ | ۱۷/۴۳ | ۰/۱۰ | ۰/۰۲ | ۳۰۰/۰۰ | ۳/۵۲ | ۵۱۹ | ۸/۰۵ | ۱/۲۸ | - |
| SE4 | ۳۵۵۲/۴۹ | ۱۷۵۹۷/۴ | ۱۵۴/۴۴ | ۰/۳۹ | ۳۳/۲۹ | ۰/۱۵ | ۰/۹۲ | ۲۵۶/۴۳ | ۳/۱۰ | ۵۲۴ | ۸/۷۰ | ۱/۶۱ | - |
| SE5 | ۱۲۳/۰۶ | ۷۶۷۸/۶۳ | ۲۴/۶۲ | ۰/۳۱ | ۸۵/۲۴ | ۰/۱۶ | ۱/۹۳ | ۹۸/۲۵ | ۶/۸۴ | ۴۵۰ | ۷/۰۶ | ۱/۰۷ | - |
| SE6 | ۲۰۳/۴۸ | ۱۰۱۴/۶۲ | ۵۶/۵۶ | ۰/۱۵ | ۹۱/۰۹ | ۰/۱۳ | ۱/۹۹ | ۱۳۱/۵۵ | ۷/۱۳ | ۳۱۱ | ۷/۴۵ | ۱/۲۴ | - |
| SE7 | ۵۶/۴ | ۲۳۲/۰۸ | ۸۸/۴۸ | ۰/۲۷ | ۵۴/۱ | ۰/۱۵ | ۲/۱۸ | ۵۱/۶۹ | ۷/۸۳ | ۱۱۲ | ۶/۱۶ | ۰/۷۳ | - |
| SE8 | ۲۲۲/۱۱ | ۲۹۵۶/۰۸ | ۷۷/۷۱ | ۰/۳۹ | ۷۱/۰۴ | ۰/۰۸ | ۱/۹۵ | ۹۴/۸۶ | ۸/۳۸ | ۱۴۳ | ۵/۹۲ | ۰/۶۴ | - |
| SE9 | ۷۵/۵۳ | ۱۰۰۶/۱۶ | ۱۰۰/۷۹ | ۰/۲۱ | ۵۲/۰۵ | ۰/۱۱ | ۱/۴۶ | ۵۶/۸۶ | ۸/۵۰ | ۱۳۰ | ۶/۱۳۳ | ۰/۷۸ | - |
| SE10 | ۱۵۶/۴۲ | ۵۶۵/۴۵ | ۸۴/۳۸ | ۰/۳۵ | ۶۱/۸ | ۰/۱۴ | ۱/۲۶ | ۵۶/۴۵ | ۸/۴۹ | ۱۳۵ | ۶/۱۰ | ۰/۷۵ | - |
| SE11 | ۷۳/۸۸ | ۱۱۹۹/۲۱ | ۹۲/۸۹ | ۰/۰۷ | ۵۳/۸۲ | ۰/۱۷ | ۱/۳۳ | ۵۲/۷۲ | ۸/۳۱ | ۱۵۴ | ۵/۸۹ | ۰/۶۸ | - |
| SE12 | ۵۰/۴۷ | ۱۷۹/۸۴ | ۲۴/۶۱ | ۰/۱۷ | ۴۰/۲۳ | ۰/۱۵ | ۱/۱۹ | ۲۴/۷۴ | ۸/۲۵ | ۱۳۷ | ۶/۲۱ | ۰/۸۲ | - |
| SE13 | ۶۲/۹۳ | ۶۶۸/۰۶ | ۴۲/۴۳ | ۰/۳۱ | ۳۶/۲۶ | ۰/۱۱ | ۱/۵۳ | ۴۳/۲۲ | ۸/۳۴ | ۳۰۷ | ۴/۹۹ | ۰/۴۶ | - |
| SE14 | ۲۱۶۰/۲۸ | ۵۱۲/۶۸ | ۱۹۷/۶ | ۰/۰۵ | ۸۸/۳۳ | ۰/۱۸ | ۱/۲ | ۱۳۶/۹۵ | ۷/۸۸ | ۹۵۰ | ۵/۵۹ | ۰/۸۴ | - |
| SE15 | ۶۳/۴۸ | ۱۰۲/۷۶ | ۴۸/۶۱ | ۰/۲۶ | ۵۲/۳۲ | ۰/۱۳ | ۱/۰۸ | ۱۸/۳۸ | ۸/۱۸ | ۱۲۳ | ۳/۹۵ | ۰/۳۸ | - |
| SE16 | ۴۲/۲۵ | ۸۱/۴۷ | ۱۶/۶۶ | ۰/۲۲ | ۵۶/۳۱ | ۰/۱۲ | ۱/۱۹ | ۳۶/۱۲ | ۸/۴۰ | ۲۴۲ | ۴/۷۶ | ۰/۵۶ | - |
| SE17 | ۶۴/۱۷۱ | ۷۹۵/۶۴ | ۳۰/۵۳ | ۰/۲۱ | ۷۲/۰۲ | ۰/۱۰ | ۱/۲۳ | ۱۴۴/۹۸ | ۸/۵۵ | ۱۶۱ | ۴/۷۴ | ۰/۶۱ | - |
| SE18 | ۱۲۷/۲۷ | ۴۲۹/۹۲ | ۹/۲۶ | ۰/۲۱ | ۴۴/۳ | ۰/۲۰ | ۱/۲۳ | ۷۲/۳۸ | ۸/۶۲ | ۳۰۰ | ۵/۶۹ | ۰/۹۰ | - |
| Mean | ۵۹۶/۸ | ۲۹۳۵/۳ | ۹۹/۲ | ۰/۲ | ۵۵/۵ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۱۴۵/۵ | ۷/۲۹ | ۳۱۳/۲۷ | ۶/۲۵ | ۰/۸۴ | - |
| میانگین | ۱۹ | ۹۵ | ۷/۷ | ۰/۱۷ | ۵۲ | ۰/۱۹ | ۱/۲ | ۳۳ | - | - | - | - | - |
| رسوبات جهانی | ۰/۰۱ ** | ۵ *** | ۱۰ ** | ۰/۰۳ ** | ۰/۰۷ ** | ۶ ** | ۰/۰۳ ** | ۲ ** | - | - | ۵۰.*** | - | - |
| STD (D.W) | ۰/۰۱ ** | ۵ *** | ۱۰ ** | ۰/۰۳ ** | ۰/۰۷ ** | ۶ ** | ۰/۰۳ ** | ۲ ** | - | - | ۵۰.*** | - | - |
| خروجی | ۱ | ۲ | ۱۰۰ | ۰/۱ | ۲ | ناچیز | - | ۱ | - | - | - | - | - |
| فاضلاب | ۱ | ۲ | ۱۰۰ | ۰/۱ | ۲ | ناچیز | - | ۱ | - | - | - | - | - |

Bowen, 1979 *

STD: استانداردهای آب آشامیدنی (WHO, 2011 ** - EPA, 2006 ***)

سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۷۳

غلظت تمام عناصر در رسوبات بر حسب mg/kg می باشد.

جدول ۶-۲- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منابع آب منطقه بر حسب mg/L

| نمونه | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| W ₁ | ۵۴ | ۱۵ | ۵ | ۰/۸۹ | <۲/۵ | ۵۸۶ | ۰ | ۰ |
| W ₂ | ۷۶ | ۱۹ | ۴ | ۰/۷۹ | <۲/۵ | ۶۸۸ | ۰ | ۰ |
| W ₃ | ۸۷ | ۲۲ | ۵ | ۰/۹۸ | <۲/۵ | ۶۹۶ | ۰ | ۰ |
| W ₄ | ۱۲۴ | ۴۷ | ۷ | ۱/۸۱ | <۲/۵ | ۸۳۹ | ۹۸ | ۰/۱ |
| W ₅ | ۱۴۴ | ۶۴ | ۸ | ۱/۵۹ | <۲/۵ | ۱۰۹۰ | ۱۷۱ | ۰/۱ |
| W ₆ | ۳۹ | ۲۷ | ۱۳ | ۱/۴۴ | <۲/۵ | ۱۶۱ | ۲۴۴ | ۰/۳ |
| W ₇ | ۴۷ | ۲۹ | ۱۳ | ۱/۳۷ | <۲/۵ | ۱۸۱ | ۲۴۴ | ۰/۱ |
| W ₈ | ۴۷ | ۳۰ | ۱۳ | ۱/۴۳ | <۲/۵ | ۱۸۱/۵ | ۲۴۴ | ۱۲ |
| W ₉ | ۱۰۸ | ۸۳ | ۲۷ | ۳۸ | ۱۹۵ | ۴۸۶ | ۳۴۲ | ۱۲ |
| W ₁₀ | ۴۷ | ۳۱ | ۱۳ | ۱/۶۵ | <۲/۵ | ۱۸۸ | ۲۶۸ | ۱۲ |
| W ₁₁ | ۴۹ | ۱۲ | ۳ | ۰/۶۰ | <۲/۵ | ۷۵ | ۲۴۴ | ۰/۱ |
| W ₁₂ | ۱۰۳ | ۵۷ | ۲۰ | ۲/۴۱ | ۴ | ۴۶۲ | ۲۹۳ | ۰/۱ |
| W ₁₃ | ۳۱ | ۱۶ | ۱۷ | ۰/۹۴ | <۲/۵ | ۱۹ | ۲۴۴ | ۰/۱ |
| W ₁₄ | ۱۰۵ | ۶۲ | ۲۳ | ۵ | ۵ | ۶۹۳ | ۲۶۸ | ۰/۱ |
| STD (D.W) | - | ۵۰ ** | ۲۰۰ | ۱۲ ** | ۲۵۰ * | ۲۵۰ * | - | - |
| *** خروجی فاضلاب | ۷۵ | ۱۰۰ | ۱ | - | ۶۰۰ | ۴۰۰ | - | - |

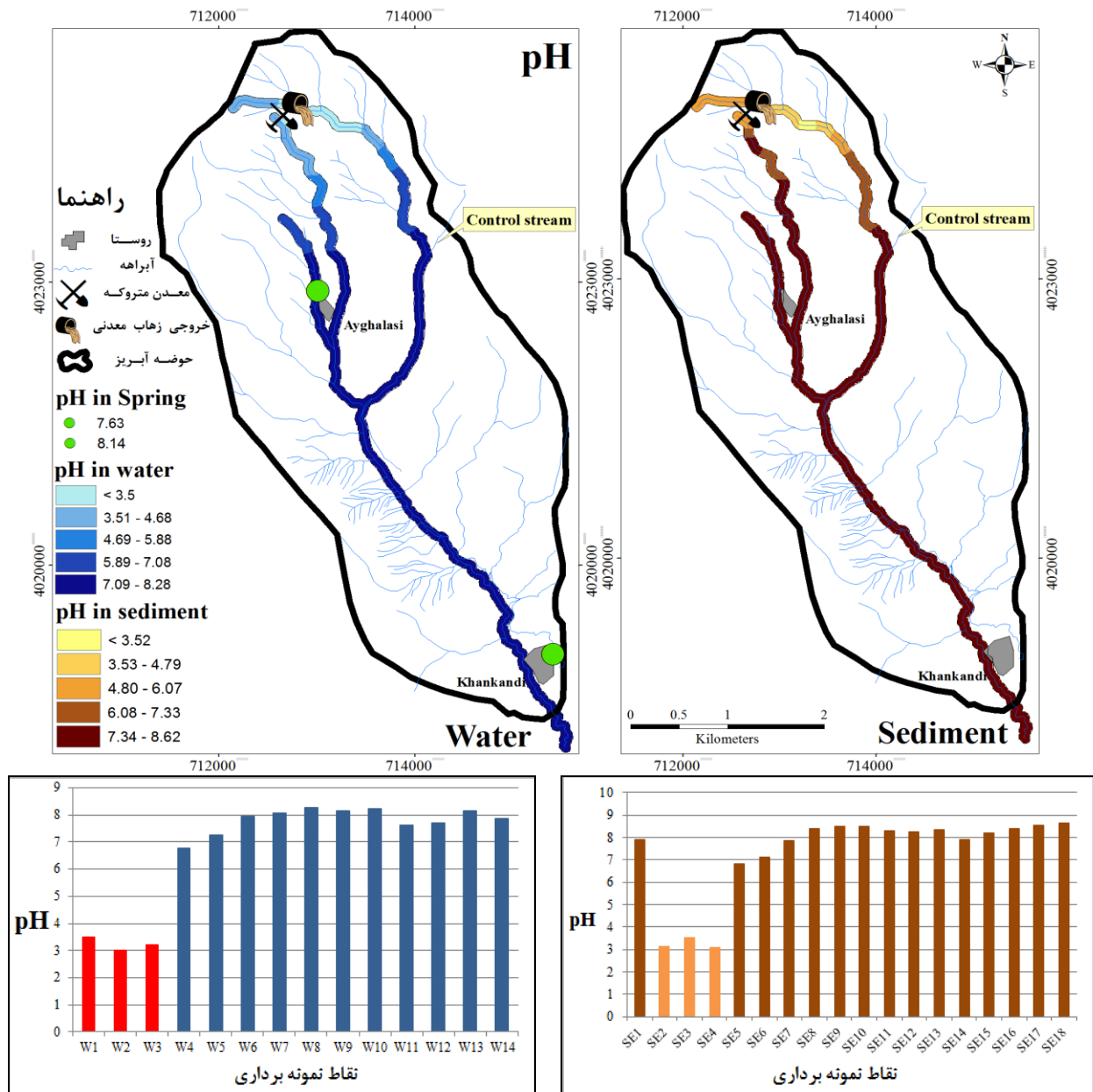
(EPA, 2006 ** -WHO, 2011 *) STD (D.W): استانداردهای آب آشامیدنی
 *** سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۷۳)

۶-۳- بررسی تغییرات pH و EC در آب و رسوبات منطقه

۶-۳-۱- pH

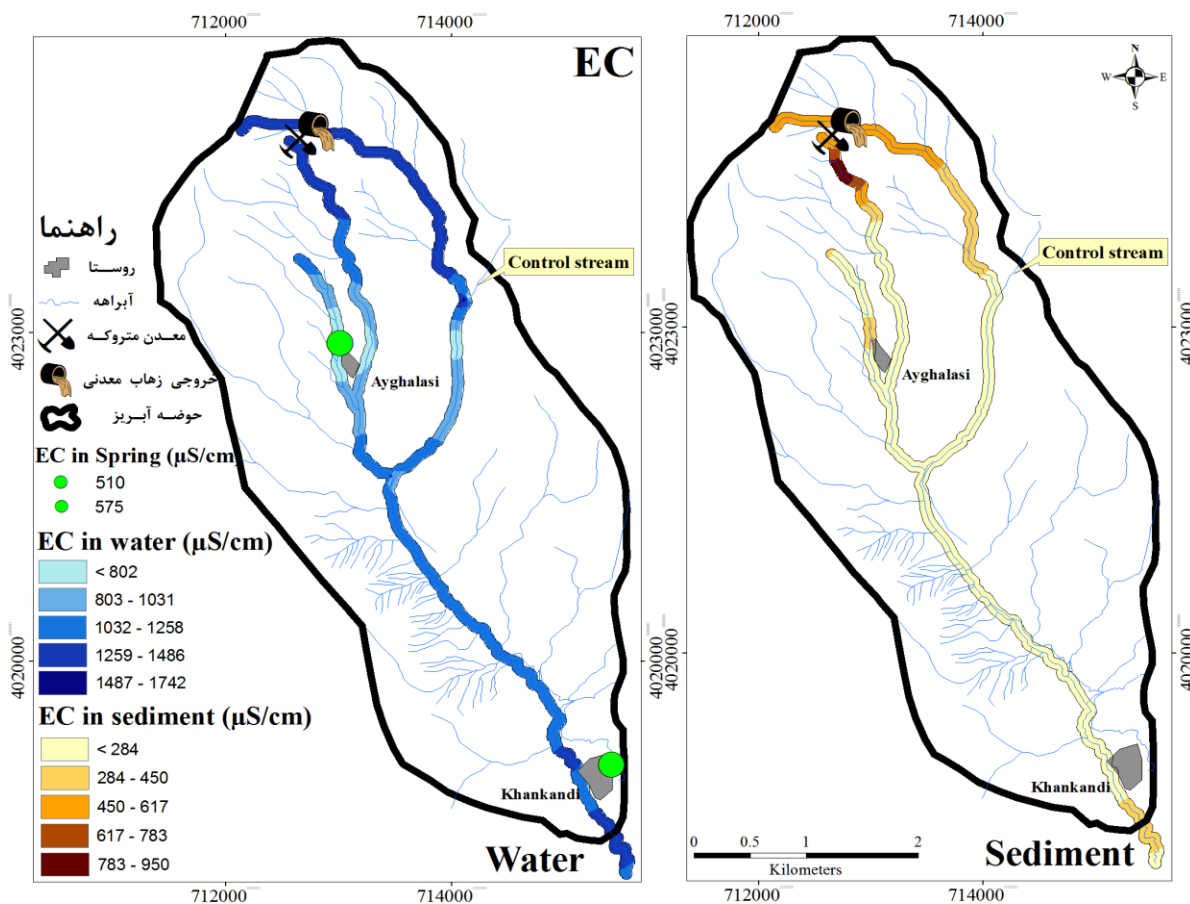
در شکل ۶-۱ نقشه هم‌غلظت و مقادیر pH نمونه‌های آب و رسوب آورده شده است. pH آب در نمونه‌های زهاب معدنی (W₁، W₂ و W₃) پایین بوده و با افزایش فاصله از معدن و رقیق‌شدگی بر اثر اختلاط آب آبراهه شاهد با آبراهه اصلی، روند افزایشی را نشان می‌دهد. رسوبات زیر زهاب معدنی نیز pH اسیدی دارند. اختلاف pH در رسوب SE₁ (۷/۹) که از آبراهه قبل از زهاب معدنی برداشت شده با رسوبات زیر زهاب معدنی (SE₂، SE₃ و SE₄) تأثیر زهاب اسیدی را در کاهش pH رسوبات منطقه روشن می‌سازد. افزایش pH در رسوبات و آب منطقه با افزایش فاصله از معدن روند مشابهی را نشان می‌دهد، بطوری‌که با افزایش فاصله در حدود ۲ کیلومتر، pH در رسوبات و آب منطقه در محدوده خنثی تا قلیایی قرار می‌گیرد. نمونه W₆ و SE₇ (نمونه آب و رسوب

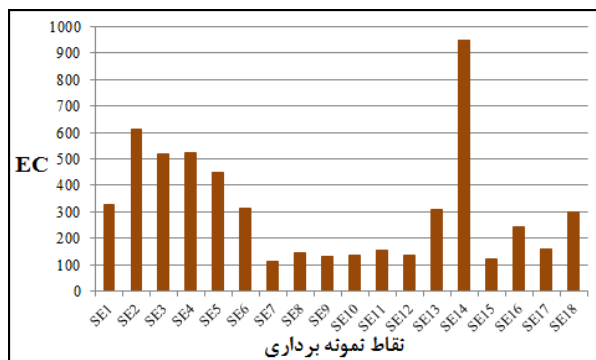
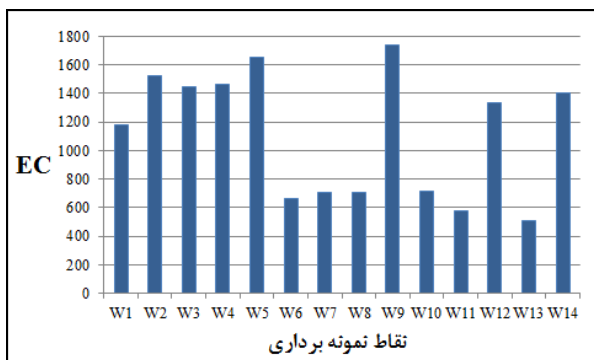
شاهد) pH بیشتر از ۷ دارند، که در محدوده pH آب‌های طبیعی ۵/۸-۶/۵ (استاندارد آب آشامیدنی ۱۰۵۳ ایران، ۱۳۸۸) و رسوبات خنثی قرار می‌گیرند. چشمه‌های آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی (به ترتیب ۷/۶۳ و ۸/۱۴) که تأمین کننده آب آشامیدنی مردم این روستاها هستند، pH خنثی تا قلیایی دارند. دلیل خنثی و قلیایی بودن pH آب و رسوبات منطقه را می‌توان به ترکیب مارنی، مارن ماسه‌ای و آهک‌های منطقه نسبت داد.



شکل ۶-۱- نقشه هم مقدار pH در آب و رسوبات منطقه

سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران حد مجازی برای مقدار EC در آب آشامیدنی و خروجی فاضلاب تعیین نکرده‌اند. نقشه هم‌غلظت و مقادیر EC برای آب و رسوبات منطقه در شکل ۲-۶ آورده شده است. هدایت الکتریکی نمونه‌های زهاب معدنی و نمونه‌های آب در امتداد آبراهه اصلی تا آبراهه شاهد w6 بالاتر از $1000 \mu\text{S/cm}$ بوده که با اتصال نمونه شاهد ($660 \mu\text{S/cm}$) مقدار EC کاهش یافته (رقیق‌شدگی) و با نزدیک شدن به پایین‌دست روستای آی‌قلعه‌سی افزایش EC قابل مشاهده است و همانطور که در شکل نشان داده شده است به طرف خروجی حوضه نیز افزایش می‌یابد، که این امر به دلیل تأثیر عوامل انسان‌زاد و ورود فاضلاب‌های خانگی می‌باشد.





شکل ۶-۲- نقشه هم مقدار EC در آب و رسوبات منطقه

EC چشمه‌های آ‌ی‌قلعه‌سی و خان‌کندی به ترتیب ۵۱۰ و ۵۷۵ $\mu\text{S}/\text{cm}$ است. به طور کلی EC آب‌های منطقه از ۵۱۰ تا ۱۷۴۲ $\mu\text{S}/\text{cm}$ تغییر می‌کند و نشان می‌دهد که در برخی نمونه‌های آب‌های منطقه، غلظت مواد معدنی بالاست. رسوبات منطقه مقادیر هدایت الکتریکی متفاوتی را نشان می‌دهند که از ۱۱۲ تا ۹۵۰ تغییر می‌کند. EC نمونه‌های رسوب زیر زهاب‌ها (SE2, SE3, SE4) نسبت به EC نمونه‌های دیگر (به جز نمونه‌ی SE4) می‌باشد که این امر روند یکسان تغییرات مقادیر EC در آب و رسوبات را نشان می‌دهد.

سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای TDS در خروجی فاضلاب‌ها حد مجازی تعیین نکرده است. مقادیر TDS در نمونه‌های آب بیش از نمونه شاهد (W_6) کاهش یافته (به دلیل رقیق‌شدگی) و در نمونه‌های W_9 ، W_{12} و W_{14} که تحت تأثیر فاضلاب روستاهای آ‌ی‌قلعه‌سی و خان‌کندی قرار دارند بالا می‌باشد. با توجه به استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ($500 \text{ mg}/\text{L}$) برای TDS، مقادیر جامدات محلول (TDS) در آب آشامیدنی روستاهای آ‌ی‌قلعه‌سی و خان‌کندی به ترتیب کمتر و بیشتر از حد مجاز استاندارد می‌باشد.

۶-۴- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفیت منابع آب منطقه

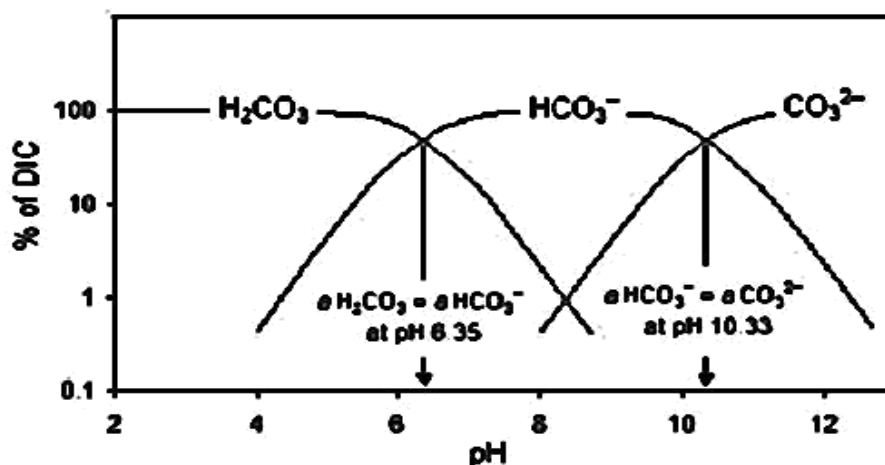
منابع آب منطقه عمدتاً سطحی بوده و به جز دو چشمه که آب آشامیدنی روستاهای آ‌ی‌قلعه‌سی و خان‌کندی از آنها تأمین می‌شود. زهاب خروجی از تونل فرو ریخته معدن متروکه آ‌ی‌قلعه‌سی در مسیر آبراهه اصلی مورد مطالعه جریان یافته و با آبراهه ناشی از ارتفاعات شمالی منطقه مخلوط می‌شود و با خروج از حوضه مورد بررسی

در فاصله خیلی دور از معدن آی‌قلعه‌سی به رودخانه قزل اوزن می‌ریزد. در واقع جهت جریان آب از شمال و شمال غرب منطقه به طرف جنوب است.

۶-۴-۱- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

- کربنات و بی‌کربنات

تغییرات غلظت کربنات و بی‌کربنات با توجه به pH آب‌های منطقه (جدول ۶-۱) مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۶-۳ محدوده پایداری کربنات و بی‌کربنات با pH نشان داده شده است. pH کلیه منابع آب منطقه کمتر از ۸/۳ بوده، بنابراین مقدار کربنات در آب منطقه بسیار کم تا صفر است. با توجه به مقادیر pH، نمونه W_1 که از محل خروج زهاب معدنی برداشت شده است، اسیدی (۳/۵) بوده و نمونه‌های W_2 و W_3 نیز که از مجاورت باطله‌ها و در مسیر آبراهه و نزدیکی سرچشمه زهاب معدنی برداشت شده‌اند، اسیدی هستند. با دور شدن از تونل و تأثیر سازندها و همچنین رقیق شدگی آب آبراهه در اثر اختلاط با دیگر آبراهه‌ها، pH افزایش یافته و به خنثی تا قلیایی تغییر می‌یابد. با توجه به شکل ۶-۳ به طور کلی در $pH = 6/35$ فراوانی HCO_3^- و H_2CO_3 برابر و کم بوده و دارای فعالیت یکسان هستند، بنابراین با کاهش pH مقدار H_2CO_3 در آب افزایش می‌یابد. برعکس با افزایش pH، HCO_3^- افزایش می‌یابد. در $pH = 10/33$ ، HCO_3^- و CO_3^{2-} فراوانی و فعالیت یکسان دارند (Eby, 2004). بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده، در نمونه‌های W_1 ، W_2 و W_3 که pH اسیدی دارند H_2CO_3 ، شکل غالب است و این نمونه‌ها فاقد کربنات و بی‌کربنات هستند. در دیگر نمونه‌های آب منطقه HCO_3^- گونه غالب می‌باشد (جدول ۶-۲).



شکل ۶-۳- فعالیت نسبی گونه‌های مختلف کربنات به‌عنوان تابعی از pH، (Eby, 2004)

کلرید -

سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز کلرید آب آشامیدنی را ۲۵۰ mg/L تعیین کرده است. حد مجاز این آنیون بر اساس سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای خروجی فاضلاب ۶۰۰ mg/L می‌باشد که در نمونه‌های زهاب معدنی (W_1 ، W_2 و W_3) مقادیر کمتر از حد مجاز را نشان می‌دهد. غلظت کلر در بیشتر نمونه‌های دیگر نمونه‌های آب با توجه به جنس واحدهای زمین‌شناسی (مارن، مارن ماسه‌ای و آهکی) منطقه نسبت به استانداردهای مورد نظر پایین بوده است. افزایش غلظت آن در نمونه W_9 که از آبراهه پایین‌دست روستای آی‌قلعه‌سی برداشت شده و نمونه‌های W_{12} و W_{14} که به ترتیب در بالادست و پایین‌دست روستای خان‌کندی قرار گرفته‌اند، می‌تواند به دلیل فعالیت‌های انسانی اطراف این روستاها می‌باشد (جدول ۶-۲).

سولفات -

یون سولفات بیشتر با کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و سدیم همراه می‌شود. سولفات بطور معمول در کانیه‌های بیشماری حضور می‌یابد و یکی از یون‌هایی است که کمترین سمیت را دارد، ولی بالا بودن مقدار زیاد سولفات در آب‌های آشامیدنی موجب تغییر مزه آن می‌شود (WHO, 2011). سازمان بهداشت جهانی (WHO,)

2011) مقدار مجاز این آنیون را در آب آشامیدنی 250 mg/L تعیین کرده است و سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای خروجی فاضلاب مقدار مجاز 400 mg/L را پیشنهاد کرده است. نمونه‌های W_1 ، W_2 و W_3 که دارای pH اسیدی می‌باشند و آلودگی آنها با توجه به استاندارد خروجی فاضلاب سنجیده می‌شود مقادیر سولفات بالاتر از استاندارد را نشان می‌دهند که به دلیل وجود کانیهای سولفیدی در محدوده کانه‌زایی می‌باشد. W_{11} (mg/L) W_{13} و W_{19} (19 mg/L) که آب آشامیدنی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی را تأمین کرده و جزء منابع آب زیرزمینی (چشمه) می‌باشند مقادیر پایین سولفات را نسبت به حد مجاز آب آشامیدنی (WHO, 2011) را دارا می‌باشند. بالا بودن غلظت سولفات در آب‌های سطحی منطقه به دلیل کانیهای سولفیدی (گالن و اسفالریت) و فاضلاب‌های خانگی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی می‌باشد، بطوریکه در نمونه‌های W_9 ، W_{12} و W_{14} که تحت تأثیر فاضلاب‌های روستایی بوده‌اند غلظت این یون بالا رفته است. آب شاهد (W_6) دارای غلظت mg/L 161 سولفات بوده و با توجه به اینکه در نمونه W_7 (181 mg/L) غلظت سولفات کمتر از W_5 (1090 mg/L) می‌باشد بنابراین رقیق‌شدگی آب آبراهه اصلی با نمونه شاهد صورت گرفته است (جدول ۶-۲).

- کلسیم و منیزیم

کلسیم و منیزیم کاتیون‌هایی هستند که به تنهایی در آب‌های طبیعی مشکل به وجود نمی‌آورند اما زمانی که با آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات همراه باشند سختی موقت و در صورت همراهی با آنیون‌های سولفات و کلرید سختی دائم آب را سبب می‌شوند (صداقت، ۱۳۸۶). حد مجاز خروجی فاضلاب‌ها برای کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با توجه به مقادیر پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست ایران به ترتیب 75 mg/L و 100 mg/L می‌باشد (جدول ۶-۲) که تنها در نمونه‌های W_2 و W_3 کلسیم مقادیر اندکی بالاتر از این مقدار را نشان می‌دهد. سازمان بهداشت جهانی حد مجازی برای این کاتیون‌ها تعیین نکرده و بر اساس استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA, 2006) مقدار مجاز منیزیم در آب‌های آشامیدنی 50 mg/L بوده که تنها در نمونه‌های W_5 ، W_9 ،

W₁₄ و W₁₂ بالاتر از این مقدار می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به جنس واحدهای (مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی) تشکیل دهنده منطقه کلسیم و منیزیم کاتیون‌های غالب می‌باشند.

- سدیم

سدیم به علت فراوانی و حلالیت زیاد در آب، در منابع آب طبیعی در غلظت‌های متفاوت یافت می‌شود. حد مجاز سدیم در آب آشامیدنی بر اساس سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011)، ۲۰۰ mg/L تعیین شده است، تمام نمونه‌های آب منطقه مقدار سدیم کم داشته که می‌تواند به دلیل مقادیر اندک کانیهای رسی و نبود واحدهای تبخیری در منطقه باشد. با توجه به غلظت پیشنهادی سدیم توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱ mg/L) نمونه‌های زهاب معدنی مقادیر بالاتر از حد مجاز سدیم را دارا می‌باشند (جدول ۶-۲).

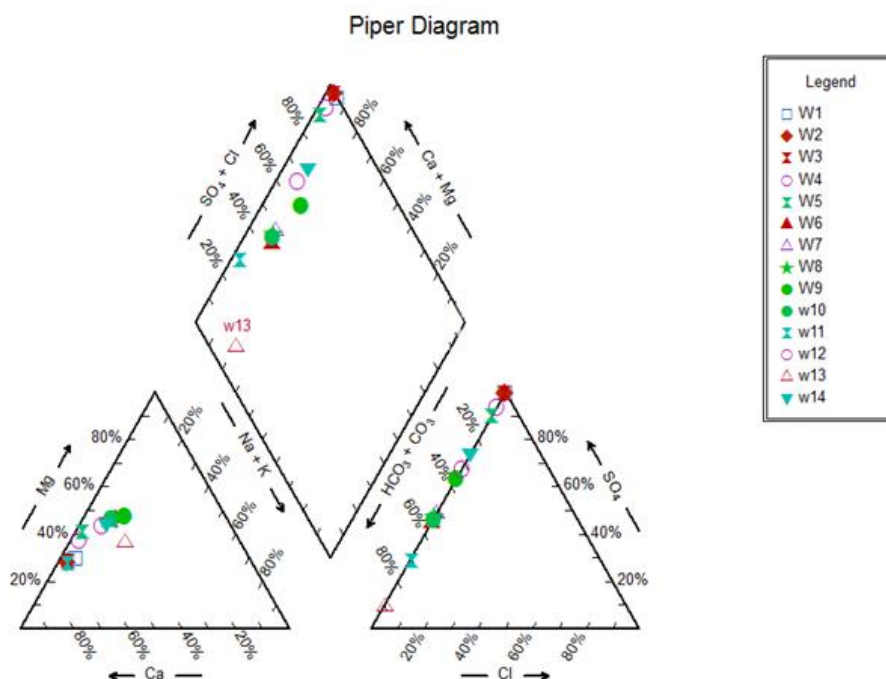
- پتاسیم

با اینکه پتاسیم یکی از عناصر فراوان طبیعت می‌باشد، غلظت آن در آب‌های طبیعی از ۲۰ mg/L افزایش نمی‌یابد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). غلظت‌های پایین K⁺ در آب‌های طبیعی به دلیل تمایل این یون به ترکیب شدن با کانیهای رسی و ته‌نشینی به شکل کانیهای ثانویه می‌باشد (Nwankwoala and Udom, 2011). سازمان بهداشت جهانی حد مجازی برای این کاتیون در آب آشامیدنی تعیین نکرده و بر اساس مقدار تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA, 2006) حد مجاز این کاتیون در آب‌های آشامیدنی ۱۲ mg/L می‌باشد. غلظت پتاسیم در نمونه‌های زهاب معدنی مقادیر کمی را دارا می‌باشد. بالاترین مقدار پتاسیم در نمونه W₉ (۳۸ mg/L) مشاهده گردید که از آبراهه پایین دست روستای آی‌قلعه‌سی برداشت شده است. در این نمونه غلظت بیشتر کاتیون‌ها و آنیون‌ها بالا بوده که این امر تأثیر فعالیت‌های انسانی را بر کیفیت آب معلوم می‌سازد (جدول ۶-۲).

۶-۴-۲- تیپ و رخساره آب

برای تعیین تیپ آب منطقه از نمودار پایپر (Piper, 1944) توسط نرم افزار Aq.Qa استفاده گردید. مزیت این نمودار نسبت به نمودارهای استیف این است که تعداد زیادی نمونه در یک نمودار قرار داده می‌شود (صداقت، ۱۳۸۶). نحوه استفاده از این دیاگرام بدین ترتیب می‌باشد که کاتیون‌ها به صورت درصدی از کل کاتیون‌ها (برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر) در مثلث سمت چپ و آنیون‌ها نیز به همان صورت در مثلث سمت راست رسم می‌شوند. سپس از نقطه کاتیونی موازی با محور منیزیم و از نقطه آنیونی موازی با محور سولفات به سطح لوزی که در وسط دو تا مثلث قرار گرفته‌اند خطوط مستقیمی، یکی برای آنیون و یکی برای کاتیون امتداد می‌یابد و تقاطع این دو خط نشان دهنده ترکیب یونی آب می‌باشد (صداقت، ۱۳۸۶).

با توجه به محل قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار پایپر (شکل ۶-۴)، می‌توان نتیجه گرفت که تیپ آب منطقه سولفات کلسیک و بی‌کربناته کلسیک می‌باشد. در جدول ۶-۳ ترتیب غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نمونه‌ها و تیپ آنها آورده شده است.



شکل ۶-۴- نمودار پایپر نمونه‌های آب منطقه

جدول ۳-۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و تیپ و رخساره منابع آب منطقه

| تیپ و رخساره آب | توالی کاتیون‌ها | توالی آنیون‌ها | نمونه |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| سولفات کلسیک | Ca > Mg Na+K | SO4 > Cl > HCO3 | W ₁ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > Cl > HCO3 | W ₂ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > Cl > HCO3 | W ₃ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > HCO3 > Cl | W ₄ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > HCO3 > Cl | W ₅ |
| بی‌کربناته کلسیک | Ca > Mg > Na+K | HCO3 > SO4 > Cl | W ₆ |
| بی‌کربناته کلسیک | Ca > Mg > Na+K | HCO3 > SO4 > Cl | W ₇ |
| بی‌کربناته کلسیک | Ca > Mg > Na+K | HCO3 > SO4 > Cl | W ₈ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > HCO3 > Cl | W ₉ |
| بی‌کربناته کلسیک | Ca > Mg > Na+K | HCO3 > SO4 > Cl | W ₁₀ |
| بی‌کربناته کلسیک | Ca > Mg > Na+K | HCO3 > SO4 > Cl | W ₁₁ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > HCO3 > Cl | W ₁₂ |
| بی‌کربناته کلسیک | Ca > Na+K > Mg | HCO3 > SO4 > Cl | W ₁₃ |
| سولفات کلسیک | Ca > Mg > Na+K | SO4 > HCO3 > Cl | W ₁₄ |

تیپ نمونه‌های زهاب معدنی (W₁، W₂ و W₃)، W₄ و W₅ با توجه به نزدیکی به کانه‌زایی و مقادیر بالای سولفات، سولفات کلسیک بوده و نمونه‌های W₆، W₇ و W₈ با توجه به رقیق‌شدگی و تأثیر واحدهای آهکی و مارنی بر آب منطقه بی‌کربناته کلسیک می‌باشد. نمونه‌های W₉، W₁₂ و W₁₄ که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی روستاهای موجود در منطقه قرار گرفته‌اند نیز سولفات کلسیک بوده و نمونه‌های آب آشامیدنی آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی که از چشمه می‌باشند و به احتمال زیاد از واحدهای آهکی، مارنی و مارن ماسه‌ای عبور می‌کنند، بی‌کربناته کلسیک هستند.

۳-۴-۶- سختی

مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب قسمت اعظم سختی را تشکیل می‌دهند (Todd, 2005). گذشته از آنها وجود کاتیون‌های آهن، منگنز، مس، آلومینیوم و استرانسیوم که با آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات، کلرید، سولفات و نیترات به صورت محلول در آب وجود دارند نیز در بالا بردن سختی آب مؤثر هستند (عودی، ۱۳۷۳). با توجه به نتایج بدست آمده و مقایسه آنها با طبقه‌بندی آب‌ها از نظر سختی (جداول ۴-۶ و ۵-۶)، ۵۰ درصد نمونه‌های آب منطقه از نظر سختی در کلاس سخت و ۵۰ درصد در کلاس کاملاً سخت قرار می‌گیرند. سختی بالای آب منطقه به دلیل گسترش واحدهای آهکی و مارنی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۴-۶- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی (Todd, 2005)

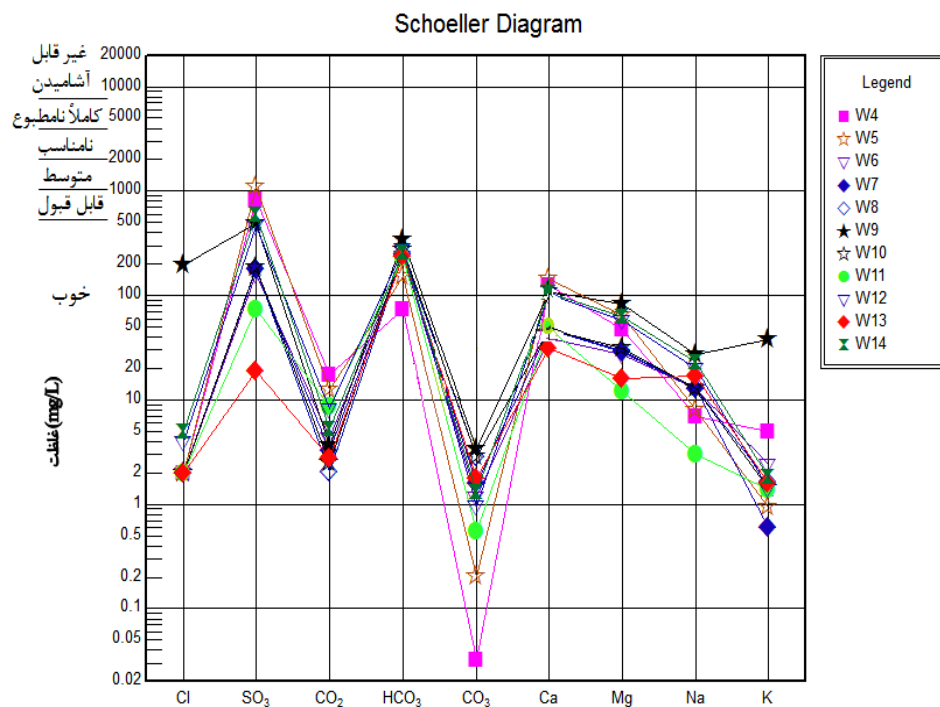
| دامنه تغییرات | سختی (میلی گرم بر لیتر) برحسب CaCO_3 |
|---------------|---|
| ۷۵ - ۰ | نرم |
| ۱۵۰ - ۷۵ | متوسط |
| ۳۰۰ - ۱۵۰ | سخت |
| ۳۰۰ < | کاملاً سخت |

جدول ۴-۵- طبقه‌بندی منابع آب منطقه از نظر سختی (mg/L as CaCO_3)

| نمونه | سختی کل | کیفیت آب بر اساس سختی کل |
|-----------------|---------|--------------------------|
| W ₁ | ۱۹۶/۵۶ | سخت |
| W ₂ | ۲۶۷/۹۶ | سخت |
| W ₃ | ۳۰۷/۷۷ | کاملاً سخت |
| W ₄ | ۵۰۳/۰۳ | کاملاً سخت |
| W ₅ | ۶۲۲/۹۳ | کاملاً سخت |
| W ₆ | ۲۰۸/۴۹ | سخت |
| W ₇ | ۲۳۶/۶۹ | سخت |
| W ₈ | ۲۴۰/۸۱ | سخت |
| W ₉ | ۶۱۱/۲۲ | کاملاً سخت |
| W ₁₀ | ۲۴۴/۹۲ | سخت |
| W ₁₁ | ۱۷۱/۷۳ | سخت |
| W ₁₂ | ۴۹۱/۷۵ | کاملاً سخت |
| W ₁₃ | ۱۴۳/۲۵ | نسبتاً سخت |
| W ₁₄ | ۵۱۷/۳۲ | کاملاً سخت |

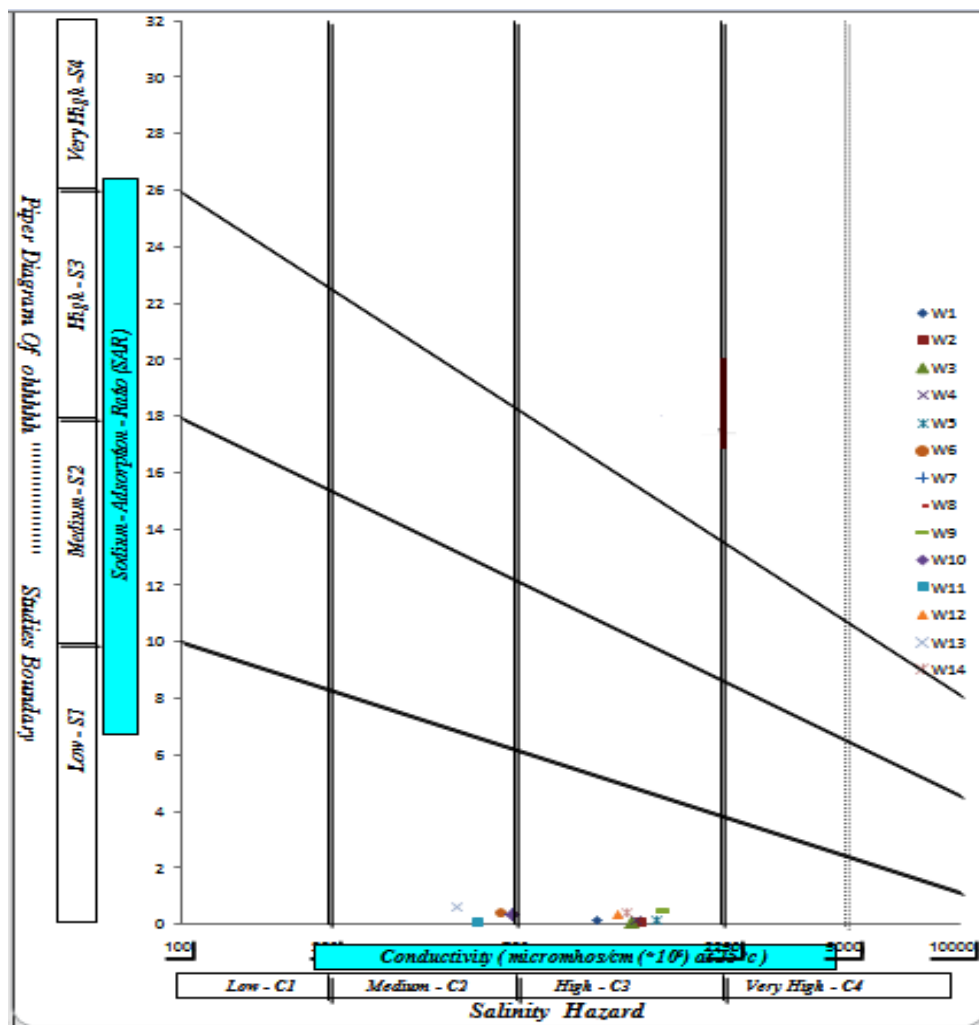
۴-۴-۶- ارزیابی کیفی آب منطقه از نظر شرب و کشاورزی

قابلیت شرب و کشاورزی منابع آب منطقه، به ترتیب براساس دیاگرام‌های شولر (Schoeller diagram) و ویلکاکس (Wilcox diagram) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه نمونه‌های زهاب معدنی از نظر آشامیدن مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. با توجه به نمودار شولر (Schoeller, 1944) که در شکل ۴-۵ آورده شده است نمونه‌های W₄ تا W₁₄ (به‌جز نمونه‌های زهاب معدنی) از نظر آشامیدن مشکل نداشته و در محدوده خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرند.



شکل ۶-۵- ارزیابی قابلیت شرب منابع آب منطقه بر اساس دیاگرام شولر

روش طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox, 1955) و استفاده از دیاگرام آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی می‌باشد. در مورد کیفیت آب‌ها از نظر کشاورزی دو نکته حائز اهمیت است که عبارتند از درجه شوری (EC) و درصد جذب سدیم (Sodium Absorbption Ratio). مصرف آب شور باعث کاهش محصولات و استفاده از آب حاوی سدیم زیاد موجب جایگزینی سدیم بجای کلسیم و سفت شدن خاک و کاهش نفوذپذیری آن می‌گردد (Todd, 2005). در دیاگرام ویلکاکس آب براساس میزان شوری (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) به ۱۲ گروه تقسیم شده است (صداقت، ۱۳۸۶). بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس آب‌های خیلی خوب دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتیمتر بوده و در کلاس C_1S_1 قرار می‌گیرند. آب‌های خوب در کلاس‌های C_1S_2 ، C_2S_1 ، C_2S_2 ، آب‌های متوسط در کلاس‌های C_1S_3 ، C_2S_3 ، C_3S_2 ، C_3S_3 قرار گرفته و بقیه‌ی آب‌ها نامناسب ارزیابی می‌شوند (شینبرگ و اوستر، ۱۳۸۳). شکل ۶-۶ موقعیت نمونه‌های آب را بر روی نمودار ویلکاکس نشان می‌دهد.



شکل ۶-۶- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب بر روی نمودار ویلکاکس

منابع آب منطقه از نظر مصارف کشاورزی با استفاده از طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox) توسط نرم‌افزار Chemistry مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نمودار ویلکاکس ترسیم شده، ۴۲/۸۶ درصد منابع آبی منطقه در کلاس C_2S_1 (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) که نشان دهنده سدیم پایین و EC متوسط در آب منطقه بوده و ۵۷/۱۴ درصد C_3S_1 (شور- قابل استفاده برای کشاورزی) که بیانگر سدیم پایین و EC بالا در آب این نقاط می‌باشد قرار می‌گیرند (شکل ۶-۶). بطور کلی با توجه به نمودار ویلکاکس نمونه‌های آب از نظر Salinity Hazard و Sodium Hazard در محدوده خوب و متوسط یعنی در کلاس‌های C_2S_1 و C_3S_1 قرار می‌گیرند و از نظر کشاورزی مشکلی نداشته و قابل استفاده می‌باشند.

۶-۴-۵- عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب منطقه

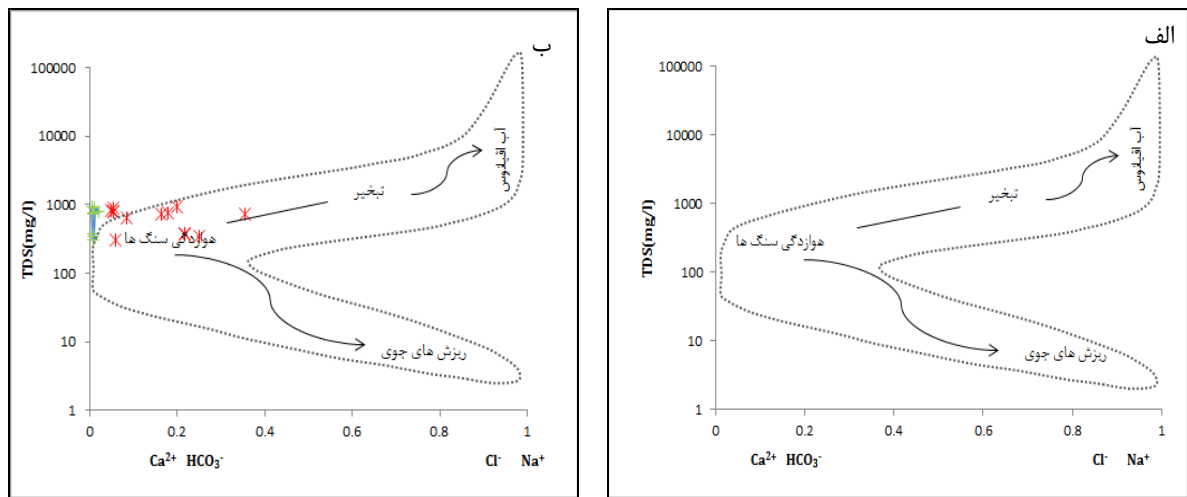
گیبس (Gibbs, 1970) برای شناسایی فرایندهای کنترل کننده شیمی آب‌های سطحی مدلی را بر مبنای

نسبت‌های فاکتورهای $\frac{Na}{Ca^{2+} + Na^{+}}$ ، $\frac{Cl^{-}}{HCO_3^{-} + Cl^{-}}$ و TDS ارائه کرد. همانطور که در شکل (۶-۷، الف) دیده

می‌شود، در این جدول با توجه به مقدار این پارامترها، عامل غالب در کنترل شیمی پهنه‌های آبی، هوازدگی

سنگها، ترکیب نزولات جوی، فرایند تبخیر و ترکیب آب اقیانوس‌ها دانست. با توجه به نتایج به دست آمده، عامل

اصلی کنترل کننده شیمی آب‌های منطقه مورد مطالعه هوازدگی سنگ‌ها می‌باشد (شکل ۶-۷، ب).



شکل ۶-۷- ارزیابی عوامل کنترل کننده شیمی آب منطقه با استفاده از مدل گیبس، الف- مدل گیبس (Gibbs, 1970)، ب- نمایش نمونه‌های آب منطقه بر روی مدل گیبس

این نتیجه‌گیری با توجه به تبخیر کم، ویژگی‌های آب و هوایی منطقه (معتدل کوهستانی) و جنس سنگهایی

که در منطقه در معرض هوازدگی قرار می‌گیرند (واحدهای مارنی و آهکی) قابل توجیه می‌باشد.

۶-۴-۶- بررسی شاخص اشباع شدگی نسبت به کانیهای اصلی

شاخص اشباع کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب، نسبت به کانیهای کلسیت، دولومیت، آراگونیت، انیدریت، ژیپس و هالیت در نمونه‌های آب منطقه با استفاده از نتایج مدل‌سازی با کد کامپیوتری PHREEQC 2.15.0 و بر اساس رابطه ۶-۱ محاسبه گردیده و در جدول ۶-۶ و شکل ۶-۸ آورده شده است.

$$SI = \text{Log} \frac{IAP}{K_{\text{sat}}} \quad \text{رابطه (۶-۱)}$$

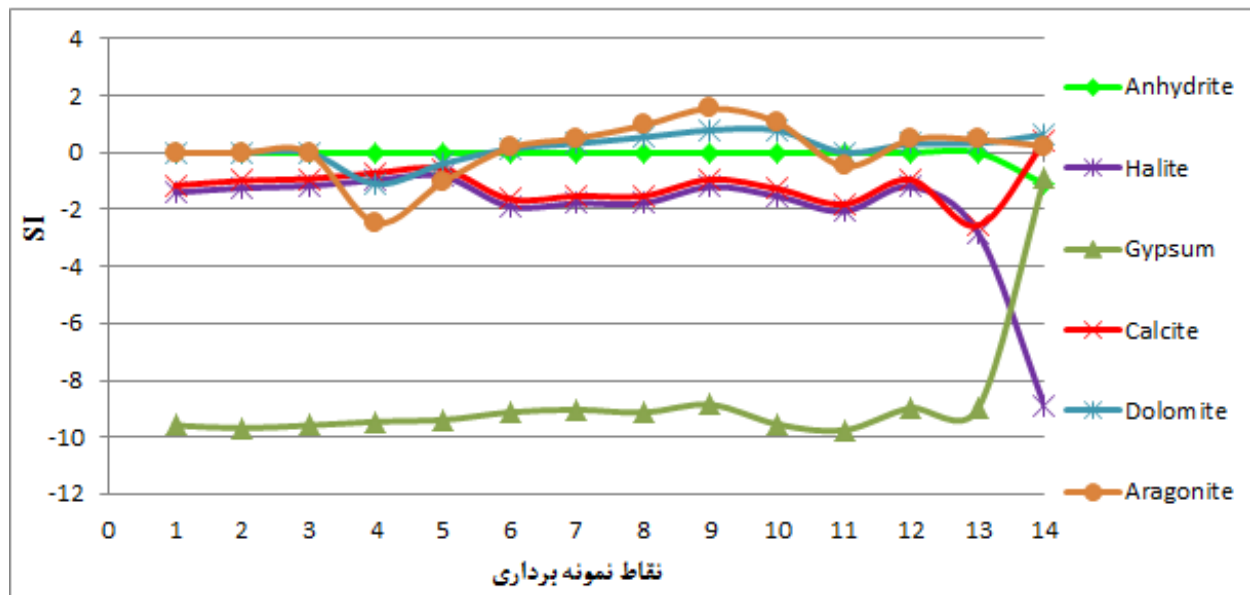
در این رابطه SI: شاخص اشباع شدگی، IAP: میزان پویایی و تحرک کانی مورد نظر، K_{sat} : ثابت انحلال‌پذیری می‌باشد. شاخص اشباع شدگی با اندازه‌گیری درجه حرارت، مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، EC و pH آب محاسبه می‌شود. چنانچه شاخص اشباع شدگی یک کانی برابر صفر باشد، آب نسبت به آن در حالت تعادل بوده و انحلال یا ته‌نشینی صورت نمی‌گیرد، و در صورتی که بزرگتر یا کوچکتر از صفر باشد به ترتیب آب نسبت به آن کانی، فوق اشباع (ته‌نشینی) و تحت اشباع (انحلال) می‌باشد.

همانطور که در جدول ۶-۶ و شکل ۶-۸ نشان داده شده است، تمام نمونه‌های آب منطقه نسبت به کانیهای سولفات (انیدریت و ژیپس) و هالیت حالت تحت اشباع داشته که این بدان معنی است که غلظت سولفات در آب‌های منطقه به حدی نرسیده است که به صورت کانی خاصی ته‌نشین شود، بنابراین سولفات به صورت محلول در آب حضور دارد. در نمونه‌های زهاب معدنی به دلیل pH اسیدی و عدم حضور کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها، نمونه‌ها کانیهای کلسیت، دولومیت و آراگونیت تشخیص داده نشده‌اند. در نمونه‌های W₄ و W₅ غلظت Ca^{2+} ، Mg^{2+} و HCO_3^- به حدی نرسیده است که به صورت کانی ته‌نشین شوند، بنابراین این نمونه‌ها نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت زیر اشباع می‌باشند. به تعادل رسیدن یا فوق اشباع بودن آب‌های منطقه نسبت به کانیهای کربنات (کلسیت، دولومیت و آراگونیت) نشان دهنده کنترل غلظت یون‌های Ca^{2+} ، Mg^{2+} و HCO_3^- به وسیله کانیهای ته‌نشین شده دولومیت، کلسیت و آراگونیت است (Lee et al, 2003)، که با بالا رفتن pH سازگار است.

دیگر نمونه‌های آب منطقه (W₇ تا W₁₄) با افزایش pH و قلیایی شدن، از نظر ترمودینامیکی به سمت تعادل و یا فوق اشباع‌شدگی از کانیهای کربناته پیش می‌روند. نمونه W₆ که نمونه شاهد آب منطقه است نسبت به کلسیت (۰/۱۳) و دولومیت (۰/۱۷) فوق اشباع بوده و نسبت به آراگونیت (۰/۰۳-) زیر اشباع می‌باشد.

جدول ۶-۶- شاخص اشباع‌شدگی نمونه‌های آب نسبت به کانیهای اصلی

| نمونه | Anhydrite (CaSO ₄) | Halite (NaCl) | Gypsum (CaSO ₄ .2H ₂ O) | Calcite (CaCO ₃) | Dolomite (CaMg(CO ₃) ₂) | Aragonite (CaCO ₃) |
|-----------------|-----------------------------------|------------------|--|---------------------------------|--|-----------------------------------|
| W ₁ | -۱/۴۰ | -۹/۵۸ | -۱/۱۵ | - | - | - |
| W ₂ | -۱/۲۴ | -۹/۶۸ | -۰/۹۸ | - | - | - |
| W ₃ | -۱/۱۷ | -۹/۵۸ | -۰/۹۲ | - | - | - |
| W ₄ | -۰/۹۶ | -۹/۴۵ | -۰/۷۱ | -۱/۱۰ | -۲/۴۷ | -۱/۲۵ |
| W ₅ | -۰/۸۳ | -۹/۳۹ | -۰/۵۷ | -۰/۳۹ | -۱/۰۳ | -۰/۵۴ |
| W ₆ | -۱/۸۹ | -۹/۱۲ | -۱/۶۳ | ۰/۱۳ | ۰/۱۷ | -۰/۰۳ |
| W ₇ | -۱/۷۸ | -۹/۰۳ | -۱/۵۲ | ۰/۳۲ | ۰/۵۰ | ۰/۱۶ |
| W ₈ | -۱/۷۸ | -۹/۱۳ | -۱/۵۲ | ۰/۵۴ | ۰/۹۶ | ۰/۳۸ |
| W ₉ | -۱/۲۰ | -۸/۸۵ | -۰/۹۴ | ۰/۷۹ | ۱/۵۵ | ۰/۶۳ |
| W ₁₀ | -۱/۵۳ | -۹/۵۴ | -۱/۲۷ | ۰/۷۹ | ۱/۰۷ | ۰/۶۴ |
| W ₁₁ | -۲/۰۶ | -۹/۷۵ | -۱/۸۱ | ۰/۰۱ | -۰/۴۸ | -۰/۱۴ |
| W ₁₂ | -۱/۲۰ | -۸/۹۷ | -۰/۹۵ | ۰/۳۱ | ۰/۴۶ | ۰/۱۵ |
| W ₁₃ | -۲/۸۱ | -۸/۹۹ | -۲/۵۶ | ۰/۳۳ | ۰/۴۶ | ۰/۱۷ |
| W ₁₄ | -۱/۱۱ | -۸/۹۱ | -۰/۸۶ | ۰/۳۹ | ۰/۶۴ | ۰/۲۳ |



شکل ۶-۸- شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب

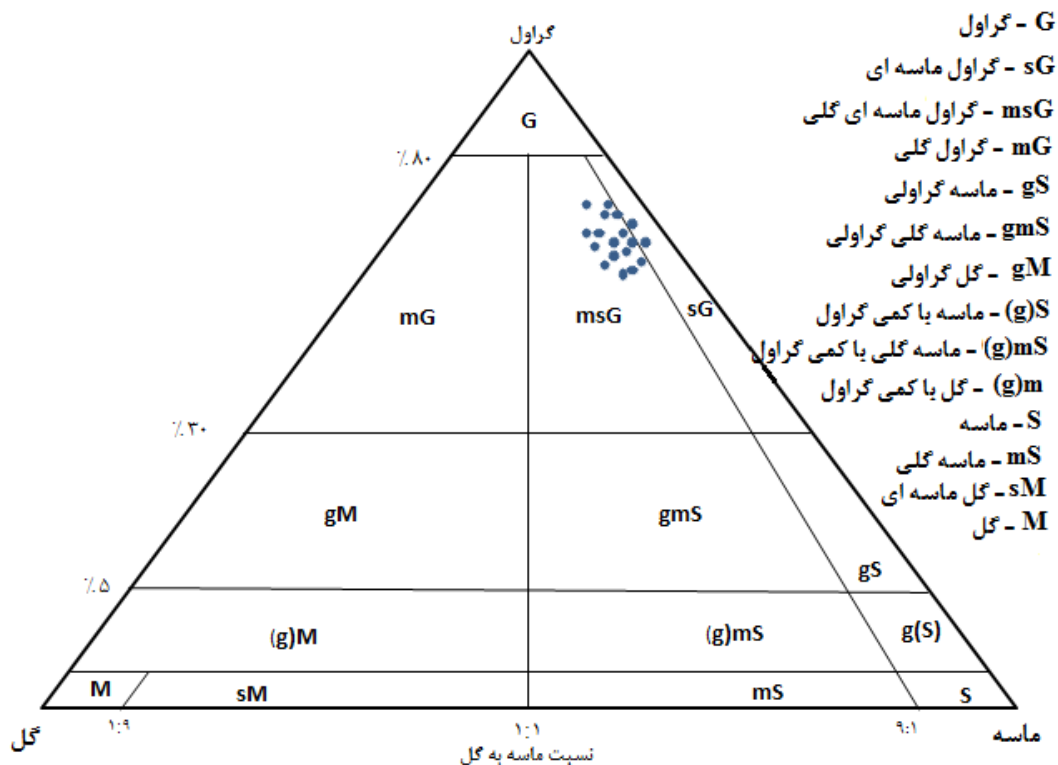
۵-۶- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه

۱-۵-۶- بافت رسوبات

در جدول ۶-۷ اجزاء مختلف و در شکل ۶-۹ طبقه‌بندی بافت رسوبات بر اساس مثلث دانه‌بندی فولک (Folk, 1954) نشان داده شده است. با توجه به حجم کم آب در آبراهه‌های منطقه و پراکندگی واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی و همچنین کوهستانی بودن منطقه رسوبات منطقه درشت دانه بوده و در گروه گراول ماسه‌ای و گراول ماسه‌ای گلی قرار می‌گیرند.

جدول ۶-۷- اجزا مختلف رسوبات منطقه مورد مطالعه برحسب درصد

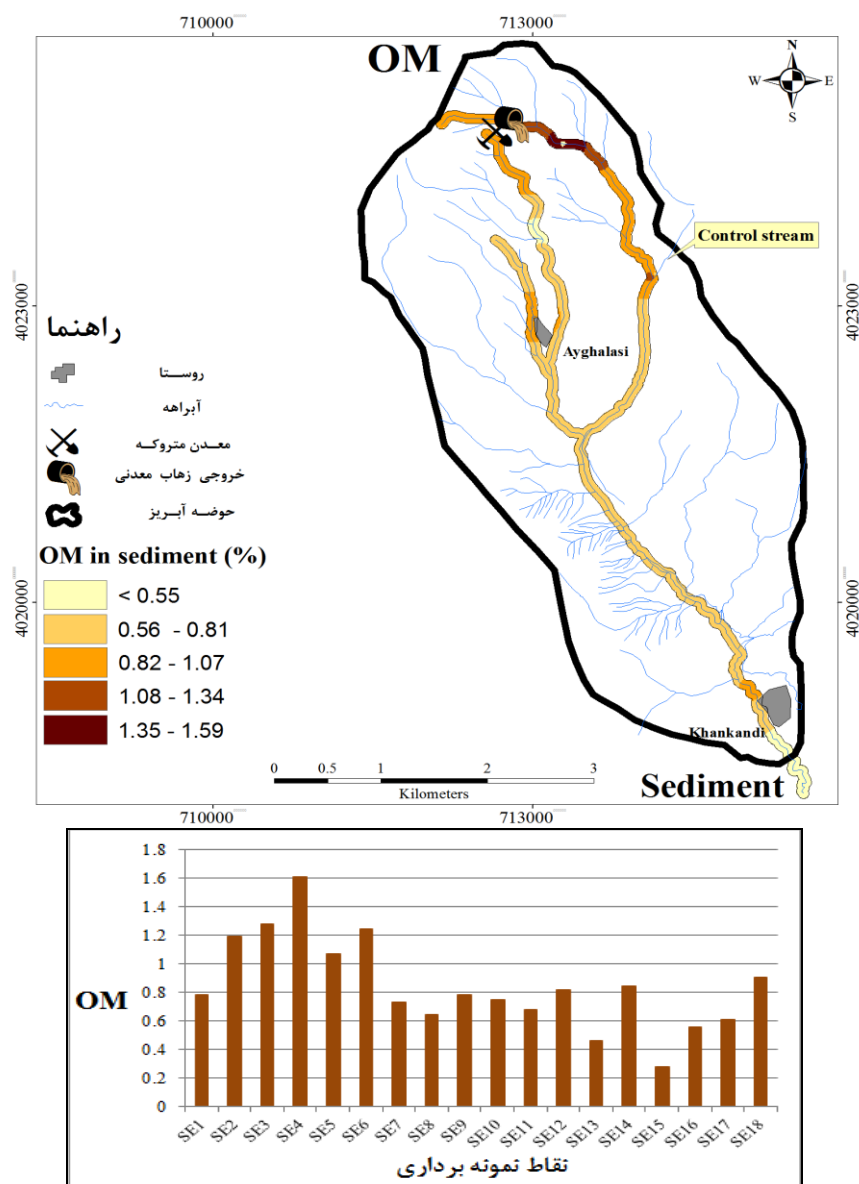
| SE ₁₈ | SE ₁₇ | SE ₁₆ | SE ₁₅ | SE ₁₄ | SE ₁₃ | SE ₁₂ | SE ₁₁ | SE ₁₀ | SE ₉ | SE ₈ | SE ₇ | SE ₆ | SE ₅ | SE ₄ | SE ₃ | SE ₂ | SE ₁ | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| ۶۵ | ۷۲ | ۵۸ | ۶۰ | ۴۲ | ۶۲ | ۵۸ | ۵۲ | ۵۳ | ۶۳ | ۶۷ | ۵۰ | ۷۴ | ۵۷ | ۶۲ | ۶۳ | ۷۰ | ۷۵ | گراول |
| ۳/۵ | ۲/۸ | ۴/۲ | ۴ | ۵/۸ | ۳/۸ | ۴/۲ | ۴/۸ | ۴/۷ | ۳/۷ | ۳/۳ | ۵ | ۲/۶ | ۴/۳ | ۳/۸ | ۳/۷ | ۲۷ | ۲۲/۵ | ماسه |
| ۳۱/۵ | ۲۵/۲ | ۳۷/۸ | ۳۶ | ۵۲/۲ | ۳۴/۲ | ۳۷/۸ | ۴۳/۲ | ۴۲/۳ | ۳۳/۳ | ۲۹/۷ | ۴۵ | ۲۳/۴ | ۳۸/۷ | ۳۴/۲ | ۳۳/۳ | ۳ | ۲/۵ | گل |



شکل ۶-۹- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۵۴)

۶-۵-۲- مواد آلی

کمترین و بیشترین غلظت مواد آلی در رسوبات به ترتیب ۰/۲۸٪ و ۱/۲۸٪ می‌باشد (جدول ۶-۱). بطور کلی مقادیر مواد آلی در خاک (جدول ۵-۲) و رسوبات با توجه به پوشش گیاهی ضعیف و عدم وجود فعالیت‌های بشرزاد در منطقه مورد مطالعه بسیار پایین می‌باشد. نقشه هم‌غلظت مواد آلی در رسوبات و مقادیر آن در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است.

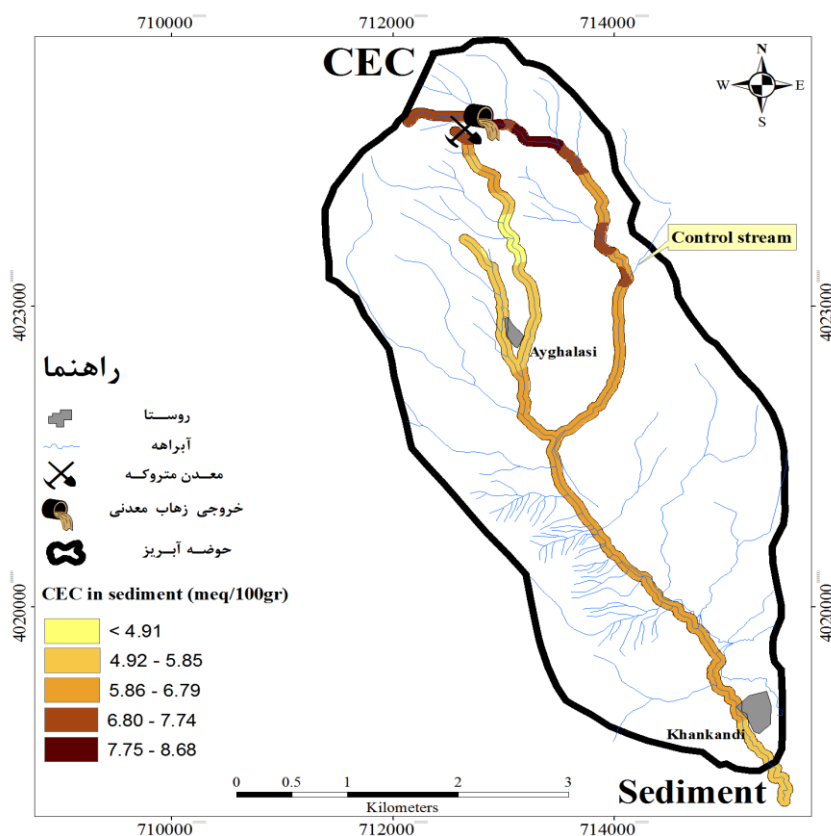


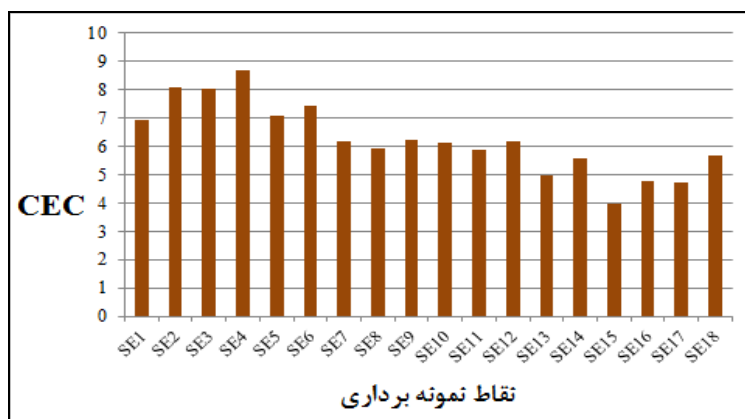
شکل ۶-۱۰- نقشه هم مقدار مواد آلی (OM) در رسوبات منطقه

بالاترین مقدار مواد آلی در رسوبات آبراهه اصلی و نزدیک معدن قابل مشاهده است که می‌تواند به دلیل فعالیت‌های بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های اکسید کننده کانیهای سولفیدی در اطراف معدن باشد که با افزایش فاصله از معدن کاهش می‌یابد.

۳-۵-۶- ظرفیت تبادل کاتیونی

یکی دیگر از پارامترهای قابل اندازه‌گیری در رسوبات ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) است. همانطور که گفته شد، هرچه میزان مواد آلی و کانیهای رسی در خاک و رسوب بیشتر باشد CEC بالاتر خواهد بود، بنابراین هرچه بافت خاک دانه ریزتر باشد مقدار کلوئیدها بالاتر بوده و CEC نیز افزایش خواهد یافت. در این تحقیق ظرفیت تبادل کاتیونی رسوبات با استفاده از رابطه ۵-۱ محاسبه گردید. در شکل ۶-۱۱ نقشه هم‌غلظت و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی رسوبات نشان داده شده است. بطور کلی تمام رسوبات منطقه CEC پایین داشته و از بالا دست به سمت پایین دست کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده می‌شود.





شکل ۶-۱۱- نقشه هم مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در رسوبات

۶-۶- همبستگی بین پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در منابع آب و رسوبات منطقه

با توجه به مطالعات صورت گرفته و نتایج بدست آمده از آنالیز نمونه‌های آب و رسوب منطقه، همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب سطحی به‌جز نمونه‌های زهاب معدنی (W_1)، W_2 و W_3 و آب آشامیدنی (W_{11} و W_{13}) و بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین مورد بررسی در نمونه‌های رسوب به‌جز نمونه‌های زیر زهاب معدنی (SE_2 ، SE_3 و SE_4) توسط نرم افزار SPSS ۱۷ برآورد شده و در جدول‌های ۶-۸ و ۶-۹ آورده شده‌اند.

- آب

جدول ۶-۸ همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی با آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آب‌های منطقه به‌جز سه نمونه زهاب معدنی و آب چشمه‌های آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی را نشان می‌دهد. pH با کربنات همبستگی بالا و مثبت ($r = 0.839, p < 0.01$) نشان می‌دهد که با توجه به pH آب‌های منطقه و نمودار پایداری کربنات و بی‌کربنات (شکل ۶-۳) مقادیر کربنات با تغییرات pH در منطقه تغییر می‌کند و وابسته به pH است. EC با سولفات، منیزیم و کلسیم همبستگی بالا و مثبت به ترتیب ($r = 0.946, p < 0.01$)، ($r = 0.833, p < 0.01$)،

0.01) و ($r = 0.966, p < 0.01$) نشان می‌دهند که می‌تواند به دلیل تأثیر بالای غلظت این یون‌ها بر تغییرات EC باشد.

جدول ۶-۸- ماتریس همبستگی بین آنیون- کاتیون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب منطقه

| pH | EC | TDS | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | pH |
|----|--------|---------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ۱ | -۰/۵۱۰ | -۰/۴۰۰ | -۰/۶۲۷ | -۰/۳۱۷ | ۰/۳۸۳ | -۰/۲۶۷ | -۰/۰۱۰ | -۰/۶۳۳ | ۰/۴۲۶ | ۰/۸۳۹** | ۱ |
| | ۱ | ۰/۹۷۹** | ۰/۹۷۰** | ۰/۹۲۹** | ۰/۰۰۰ | ۰/۶۴۴ | ۰/۴۱۸ | ۰/۹۴۶** | ۰/۰۱۷ | -۰/۲۷۱ | EC |
| | | ۱ | ۰/۹۳۲** | ۰/۹۵۰** | ۰/۱۲۲ | ۰/۷۳۳* | ۰/۵۲۵ | ۰/۹۰۰** | ۰/۱۳۶ | -۰/۱۳۰ | TDS |
| | | | ۱ | ۰/۸۴۸** | -۰/۱۴۲ | ۰/۵۴۲ | ۰/۳۱۲ | ۰/۹۶۶** | -۰/۱۶۵ | -۰/۴۱۷ | Ca ²⁺ |
| | | | | ۱ | ۰/۳۴۸ | ۰/۷۸۳* | ۰/۶۸۳* | ۰/۸۳۳** | -۰/۳۴۹ | -۰/۱۳۰ | Mg ²⁺ |
| | | | | | ۱ | ۰/۵۶۶ | ۰/۸۷۹** | -۰/۱۵۷ | ۰/۹۲۹** | ۰/۲۶۳ | Na ⁺ |
| | | | | | | ۱ | ۰/۸۴۲** | ۰/۵۸۳ | ۰/۵۸۷ | -۰/۰۱۹ | K ⁺ |
| | | | | | | | ۱ | ۰/۲۵۷ | ۰/۷۹۴* | ۰/۰۱۱ | Cl ⁻ |
| | | | | | | | | ۱ | -۰/۰۱۶۲ | -۰/۴۱۰ | SO ₄ ²⁻ |
| | | | | | | | | | ۱ | ۰/۳۷۱ | HCO ₃ ⁻ |
| | | | | | | | | | | ۱ | CO ₃ ²⁻ |

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

در آب‌های منطقه کلسیم و سولفات روندهای مشابهی را نشان می‌دهند و با هم همبستگی بالا و مثبت ($r = 0.966, p < 0.01$) نشان می‌دهند. با توجه به واحدهای زمین‌شناسی منطقه که عمدتاً کربناته هستند، کلسیم و منیزیم هم منشأ بوده و همبستگی بالا و مثبت ($r = 0.848, p < 0.01$) نشان می‌دهد. همبستگی بالا و مثبت سدیم با کلر ($r = 0.879, p < 0.01$) و پتاسیم با کلر ($r = 0.842, p < 0.01$) هم منشأ بودن آنها را نشان می‌دهد.

- رسوبات

جدول ۶-۹ ماتریس همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات را نشان می‌دهد. فاکتورهای مهمی که در انحلال و رهاسازی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در محیط خاک و رسوب مؤثر می‌باشند شامل نوع و مقدار فلزات، pH، واکنش‌های اکسایش- کاهش، اکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی می‌باشند (Harmsen, 1977). با توجه به مطالعات صورت گرفته هرچه CEC و pH خاک و رسوبات

جدول ۶-۹- مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه

| Pb | Zn | As | Cd | Hg | Ni | Sb | Cu | pH | OM | EC | CEC | Clay | Silt | Sand | Fe ₂ O ₃ | MnO | Al ₂ O ₃ | |
|----|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|--------------------------------|---------|--------------------------------|------------------------------------|
| ۱ | ۰/۵۳۹* | ۰/۴۹۴ | -۰/۱۶۰ | ۰/۱۳۷ | ۰/۱۷۱ | -۰/۳۳۸ | ۰/۹۰۱** | -۰/۶۳۱* | ۰/۵۱۶* | ۰/۶۴۴** | ۰/۳۹۴ | ۰/۰۵۸ | -۰/۲۳۳ | ۰/۱۹۶ | ۰/۶۰۰* | -۰/۱۴۴ | -۰/۰۶۶ | Pb |
| | ۱ | ۰/۳۳۰ | ۰/۱۶۷ | -۰/۰۵۳ | ۰/۲۰۷ | ۰/۲۶۳ | ۰/۶۵۶** | -۰/۶۲۷* | ۰/۷۱۷** | ۰/۴۲۰ | ۰/۷۸۶** | ۰/۶۵۴** | -۰/۷۷۴** | ۰/۷۰۱** | ۰/۷۰۲** | ۰/۴۲۷ | -۰/۱۲۹ | Zn |
| | | ۱ | -۰/۲۴۴ | -۰/۰۸۵ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۱۲ | ۰/۴۳۶ | -۰/۳۵۹ | -۰/۱۷۷ | -۰/۱۲۱ | ۰/۳۲۸ | ۰/۴۴۸ | -۰/۳۲۸ | ۰/۱۶۷ | ۰/۴۰۲ | -۰/۲۷۳ | -۰/۰۷۷ | As |
| | | | ۱ | -۰/۴۷۵ | -۰/۳۶۷ | ۰/۱۶۰ | -۰/۲۵۰ | -۰/۲۸۳ | -۰/۰۵۵ | -۰/۳۰۲ | ۰/۰۹۷ | ۰/۲۴۸ | -۰/۴۰۸ | ۰/۴۲۰ | ۰/۴۲۴ | ۰/۱۶۳ | ۰/۲۵۱ | Cd |
| | | | | ۱ | -۰/۰۸۷ | -۰/۲۴۵ | ۰/۱۴۹ | -۰/۱۸۶ | ۰/۳۵۵ | ۰/۴۳۵ | ۰/۲۳۵ | -۰/۰۲۵ | -۰/۰۲۵ | ۰/۰۵۲ | -۰/۰۴۵ | -۰/۳۳۷ | -۰/۲۸۱ | Hg |
| | | | | | ۱ | ۰/۴۷۸ | ۰/۳۹۶ | ۰/۳۱۶ | ۰/۰۹۳ | -۰/۱۸۱ | -۰/۰۰۱ | -۰/۰۸۳ | -۰/۰۵۴ | ۰/۱۶۱ | -۰/۲۷۸ | ۰/۶۳۸* | ۰/۳۸۰ | Ni |
| | | | | | | ۱ | ۰/۰۰۳ | ۰/۲۹۸ | ۰/۰۹۸ | -۰/۱۷۱ | ۰/۲۲۰ | ۰/۴۲۱ | -۰/۴۷۱ | ۰/۵۲۵* | -۰/۰۰۵ | ۰/۶۸۵** | ۰/۴۴۲ | Sb |
| | | | | | | | ۱ | -۰/۴۹۰ | ۰/۶۵۹** | ۰/۷۱۵** | ۰/۵۱۵* | ۰/۱۶۸ | -۰/۳۶۶ | ۰/۳۷۳ | ۰/۵۲۱* | -۰/۰۹۹ | ۰/۰۴۴ | Cu |
| | | | | | | | | ۱ | -۰/۶۱۴* | -۰/۴۶۶ | -۰/۶۶۴** | -۰/۴۶۴ | ۰/۶۲۶* | -۰/۴۸۵ | -۰/۸۴۸** | ۰/۲۸۲ | ۰/۴۰۳ | pH |
| | | | | | | | | | ۱ | ۰/۴۹۵ | ۰/۹۳۴** | ۰/۶۲۰* | -۰/۶۹۰** | -۰/۶۰۰* | ۰/۵۲۳* | ۰/۰۱۲ | -۰/۱۴۰ | OM |
| | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۳۳۷ | -۰/۰۳۲ | -۰/۱۲۹ | ۰/۱۲۴ | ۰/۲۱۴ | ۰/۰۲۳ | -۰/۴۰۵ | EC |
| | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۸۵۱** | -۰/۸۴۹** | -۰/۶۹۹** | ۰/۶۰۱* | ۰/۰۳۷ | -۰/۱۸۸ | CEC |
| | | | | | | | | | | | | ۱ | -۰/۸۴۶** | -۰/۶۳۹* | ۰/۴۸۴ | ۰/۰۸۳ | -۰/۱۵۲ | Clay |
| | | | | | | | | | | | | | ۱ | -۰/۹۳۵** | -۰/۶۹۹** | -۰/۲۲۶ | -۰/۰۴۵ | Silt |
| | | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۶۴۸** | ۰/۳۴۳ | ۰/۲۵۳ | Sand |
| | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | -۰/۱۳۱ | -۰/۰۲۱ | Fe₂O₃ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۰/۲۹۶ | MnO |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | Al₂O₃ |

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

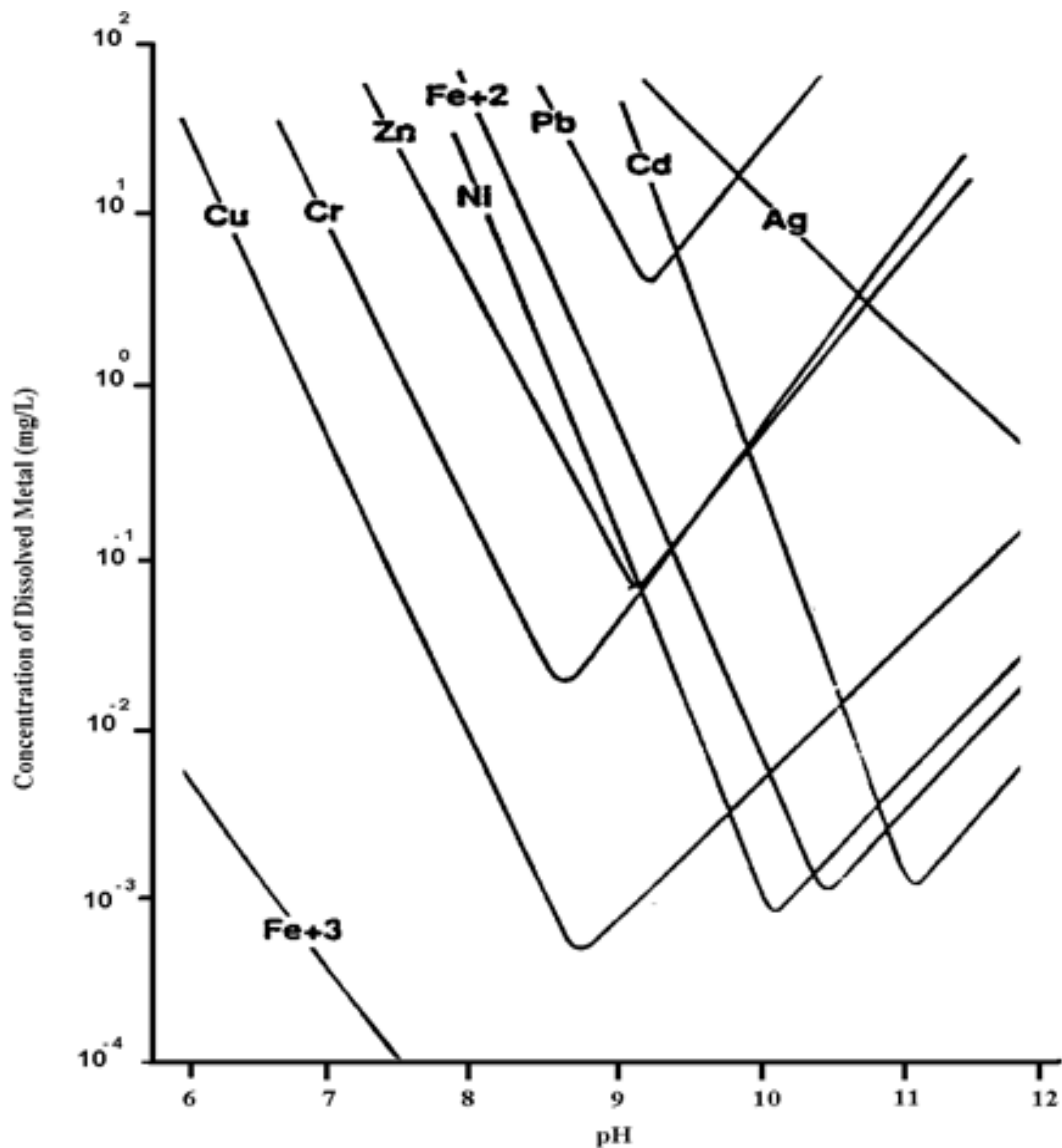
بالتر باشد تحرک فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی کمتر خواهد بود (Baker, 1993). در مناطق با کانه‌زایی سولفیدی پیریت اکسید شده و موجب کاهش pH در آب و رسوبات و تولید زهاب معدنی می‌شود، از طرفی مقادیر بالای Fe^{3+} وارد محیط می‌شود که با اکسیژن ترکیب شده و رسوبات قرمز رنگی را بر جای می‌گذارد (Banks et al, 1997)، همبستگی بالا و منفی اکسید آهن با pH ($r = -0.848, p < 0.01$) بیانگر کاهش اکسیداسیون کانیهای سولفیدی (پیریت) با افزایش pH است. اکسید آلومینیم با هیچ‌کدام از پارامترها و فلزات سنگین مورد مطالعه همبستگی نشان نمی‌دهد. اکسید منگنز با عناصر Ni ($r = 0.638, p < 0.05$) و Sb ($r = 0.685, p < 0.05$) همبستگی بالا و مثبت نشان می‌دهد، همچنین همبستگی مثبت اکسید آهن با عناصر سرب ($r = 0.600, p < 0.05$)، روی ($r = 0.702, p < 0.01$) بیانگر تأثیر آنها در جذب و نگهداشت این عناصر در رسوبات می‌باشد. عناصر سرب و روی با pH به ترتیب همبستگی منفی ($r = -0.631, p < 0.05$) و ($r = -0.627, p < 0.05$) را نشان می‌دهند.

همبستگی مثبت روی با مواد آلی، اکسید آهن، کانیهای رسی و CEC و همبستگی مثبت سرب با اکسید آهن تأثیر این پارامترها را در نگهداشت این عناصر در خاک بیان می‌کند. از بین عناصر مورد بررسی روی و سرب با مس به ترتیب همبستگی بالا و مثبت ($r = 0.656, p < 0.01$) و ($r = 0.901, p < 0.01$) نشان می‌دهند.

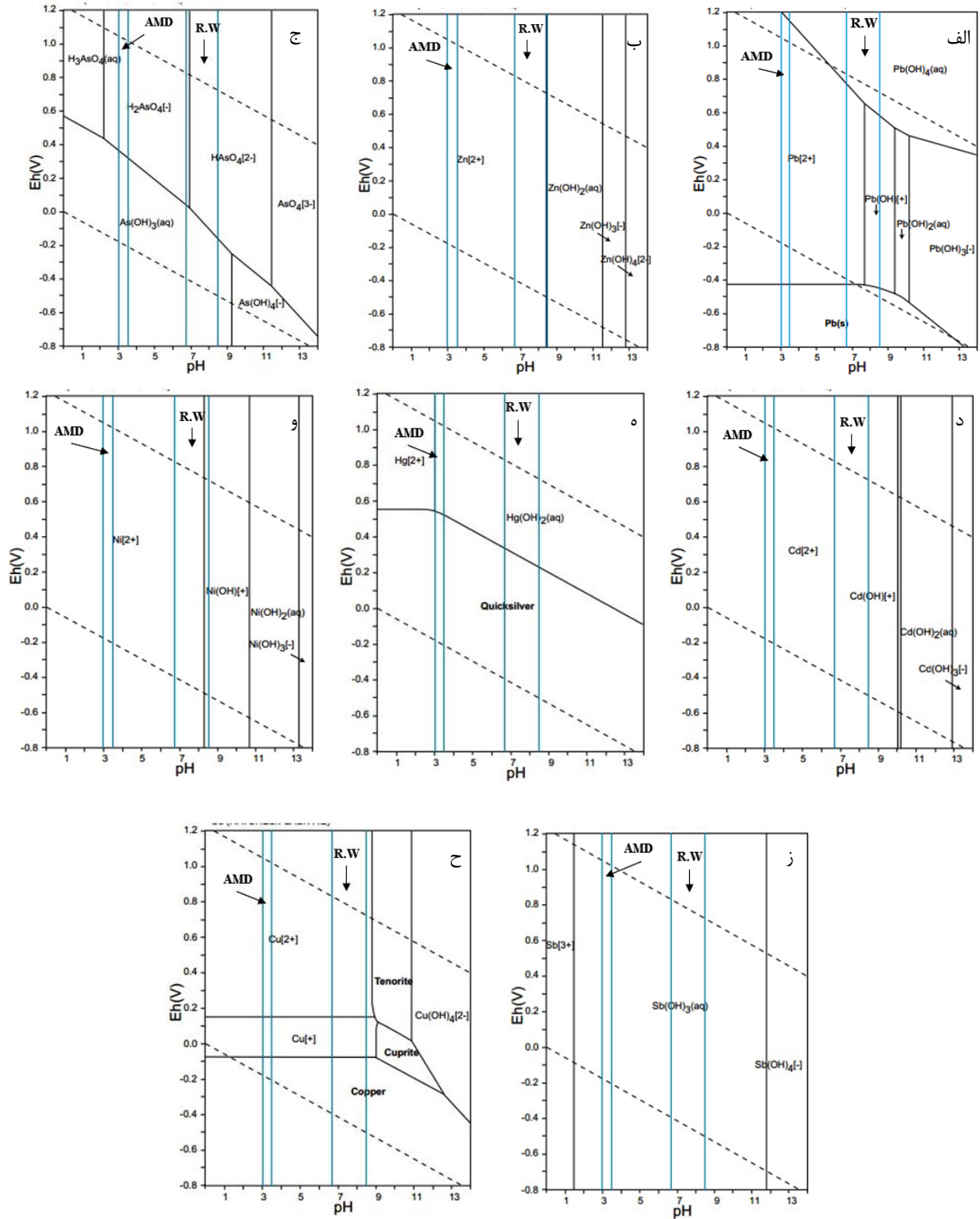
۶-۷- بررسی تأثیر کانه‌زایی بر غلظت فلزات سنگین در منابع آب و رسوبات منطقه

غلظت ۷۲ عنصر در نمونه‌های آب و ۴۶ عنصر در رسوبات با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری گردید که از میان آنها عناصر سرب، روی، آرسنیک، کادمیم، نیکل، جیوه، آنتیموان و مس با توجه به نوع کانه‌زایی (سرب و روی)، غلظت عناصر در خاک و منابع آب و اولویتهای زیست محیطی در مناطق کانه‌زایی و معادن متروکه سرب و روی، برای بررسی و ارزیابی کیفی منابع آب و آلودگی خاک و رسوبات در منطقه مورد مطالعه، انتخاب گردید.

یکی از عوامل جذب عناصر توسط رسوبات و یا انحلال آنها در فاز محلول، pH می‌باشد. در شکل ۶-۱۲ انحلال پذیری فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی بر اساس pH نشان داده شده است. برای نشان دادن توزیع و پراکنش غلظت فلزات مورد نظر در منابع آب و رسوبات منطقه، نقشه هم‌غلظت عناصر در محیط GIS 9.3 ترسیم، و نتایج با توجه به اطلاعات بدست آمده از مطالعات پیشین، پراکنش فلزات در خاک و نمودارهای Eh-pH عناصر (شکل ۶-۱۳)، مورد تفسیر و تحلیل قرار گرفت.



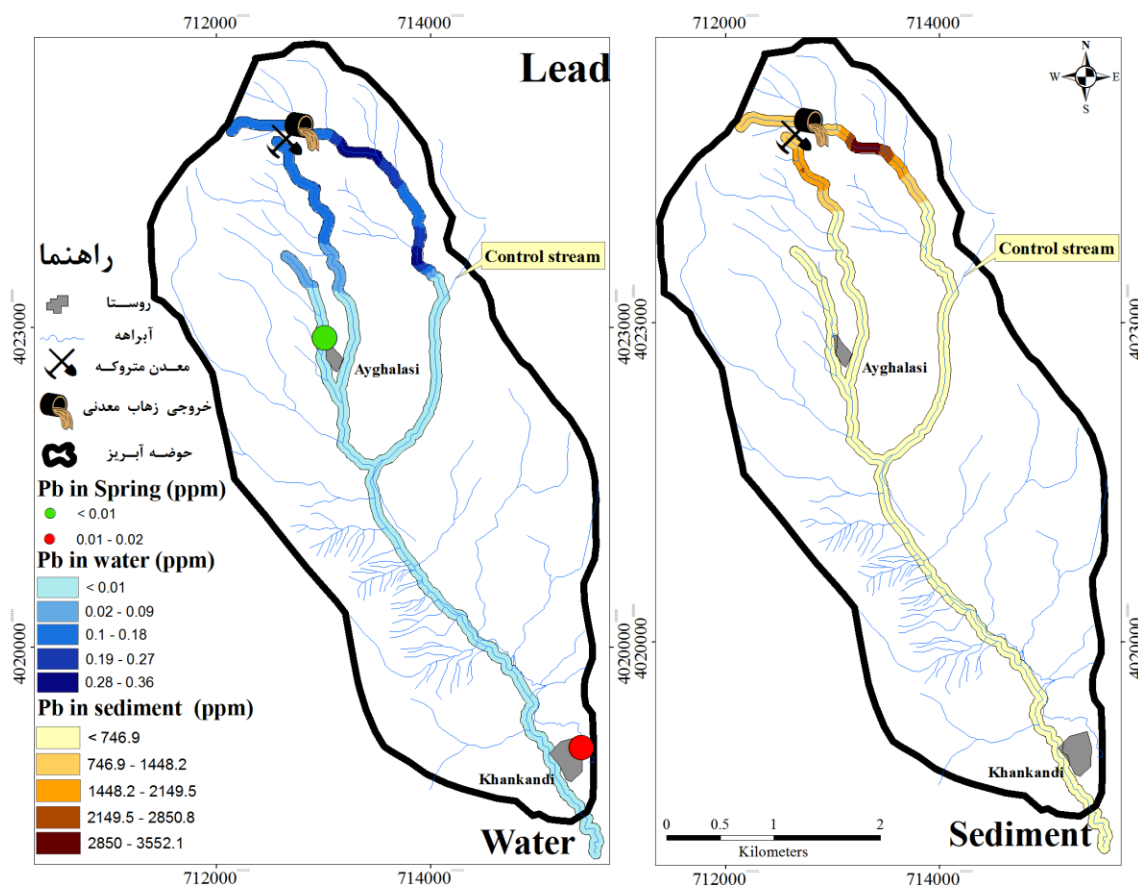
شکل ۶-۱۲- انحلال پذیری عناصر در آب بر اساس pH (Radha Krishnan, 1993)



شکل ۶-۱۳- نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh-pH در آب، الف) سرب، ب) روی، ج) آرسنیک، د) کادمیم، ه) نیکل، و) جیوه، ز) آنتیموان، ح) مس (Takeno, 2005)

مقدار مجاز سرب در آب آشامیدنی با توجه به حد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011)، 0.1 mg/L می‌باشد. سازمان حفاظت محیط زیست ایران حد مجاز سرب را در خروجی فاضلاب‌ها 1 mg/L تعیین کرده است. میانگین غلظت سرب در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، 19 mg/L تعیین شده است (جدول ۶-۱). شکل ۶-۱۲ انحلال‌پذیری سرب را در pHهای مختلف نشان می‌دهد. در آب‌های سطحی به دلیل pH خنثی تا قلیایی، ترکیبات سرب کمتر در آب یافت شده و بیشتر در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (Laxen and Harrison, 1983; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). نقشه هم‌غلظت سرب در آب و رسوبات منطقه در شکل ۶-۱۴ نشان داده شده است. نمونه‌های زهاب معدنی دارای pH اسیدی ($3-3.5$) می‌باشند که بالاترین غلظت سرب را دارا هستند. با توجه به استاندارد محیط زیست برای خروجی فاضلاب‌ها غلظت سرب در نمونه‌های زهاب معدنی پایین بوده و در حد مجاز می‌باشد. غلظت این عنصر در تمام رسوبات منطقه با توجه به میانگین غلظت سرب در رسوبات جهانی بالا می‌باشد که بالاترین غلظت سرب در رسوبات نزدیک معدن و زیر زهاب معدنی قابل مشاهده است. بطور کلی با افزایش فاصله از سرچشمه زهاب معدنی، تقریباً در فاصله ۲ کیلومتری از معدن (W_5)، غلظت سرب کاهش یافته و آب منطقه برای آشامیدن مناسب می‌باشد و غلظت آن در منابع آب علی‌رغم غلظت بالا و تغییر غلظت آن در رسوبات به دلیل انحلال‌پذیری کم Pb در محدوده pH منطقه، کم و تقریباً یکنواخت می‌شود. بر اساس پتانسیل اکسایش-کاهش، آب‌های سطحی در محدوده Eh 0.2 تا 0.6 قرار می‌گیرند، بنابراین با توجه به pH زهاب‌های معدنی، سرب در این آب‌ها به صورت یون Pb^{2+} می‌باشد. در دیگر نمونه‌ها که در محدوده pH خنثی تا کمی قلیایی قرار دارند سرب به صورت یون Pb^{2+} و $\text{Pb}(\text{OH})^+$ وجود دارد (شکل ۶-۱۳، الف). در رسوبات، سرب با اکسید آهن همبستگی بالا و مثبت نشان می‌دهد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به جز کانه‌زایی و غلظت بالای سرب در خاک منطقه و تأثیر آن بر غلظت این عنصر در رسوبات منطقه، یکی از عوامل مؤثر در جذب سرب در رسوبات اکسید آهن می‌باشد.

چشمه آی قلعه‌سی که آب آشامیدنی روستای آی قلعه‌سی را تأمین می‌کند غلظت کمتر از 0.1 mg/L را دارا می‌باشد که از نظر آشامیدن مناسب می‌باشد. اما غلظت سرب در آب آشامیدنی روستای خان‌کندی، 0.2 mg/L می‌باشد که مقادیر بالاتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی را نشان می‌دهد (WHO, 2011) و این آب به سرب آلوده می‌باشد.

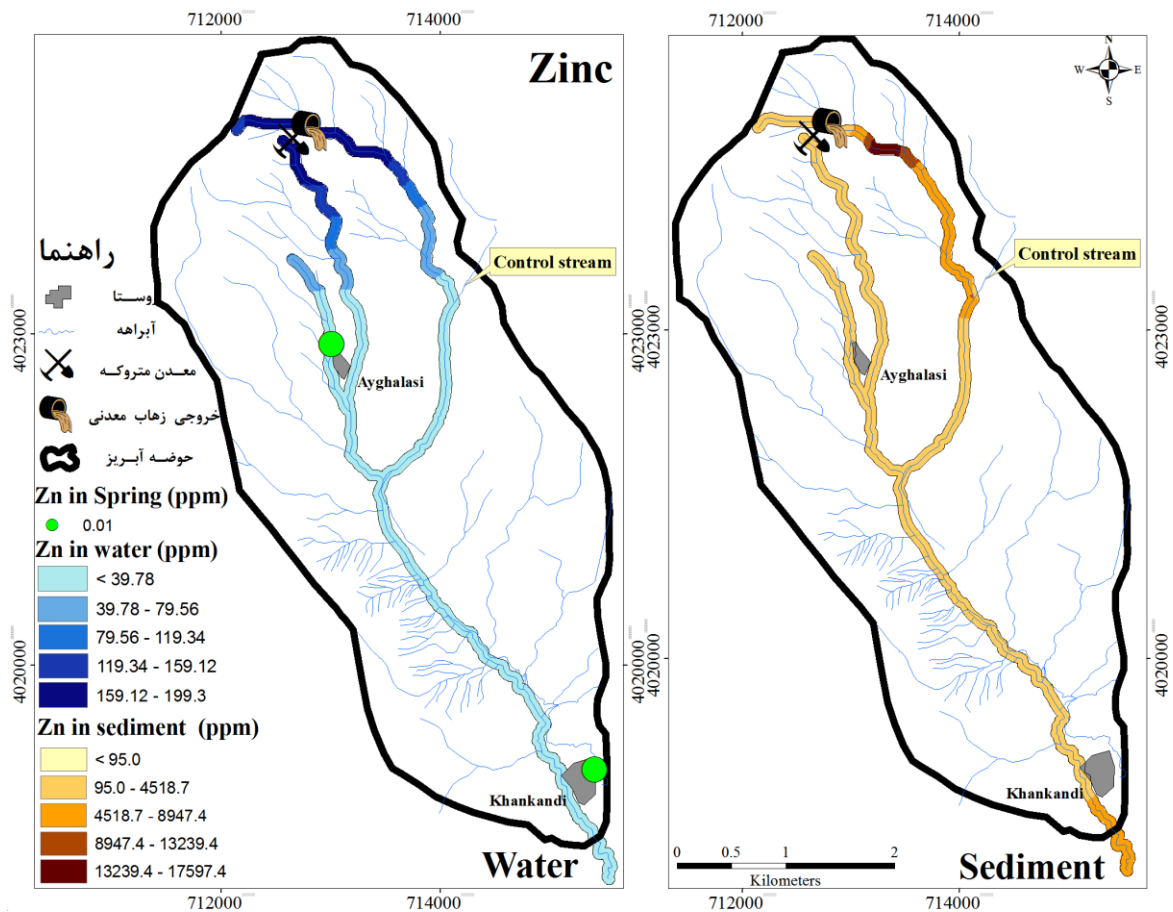


شکل ۶-۱۴- نقشه هم‌غلظت سرب در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

۶-۷-۲- روی

نقشه هم‌غلظت روی در آب و رسوبات آبراهه و همچنین در آب آشامیدنی روستاهای منطقه در شکل ۶-۱۵ نشان داده شده است. بالاترین غلظت روی در زهاب‌های معدنی (W_1 ، W_2 و W_3) مشاهده می‌شود که بسیار بیشتر از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای خروجی فاضلابها (2 mg/L) می‌باشد. با افزایش فاصله در حدود ۳ کیلومتر از معدن (W_6)، از غلظت آن در آب کاسته شده و به صورت یکنواخت تا پایین دست

حوضه ادامه می‌یابد که این امر به دلیل انحلال پذیری اندک روی (شکل ۶-۱۲)، در محدوده pH منطقه می‌باشد. گونه غالب روی در زهاب معدنی و آب منطقه با توجه به شکل ۶-۱۳، ب، Zn^{2+} می‌باشد.



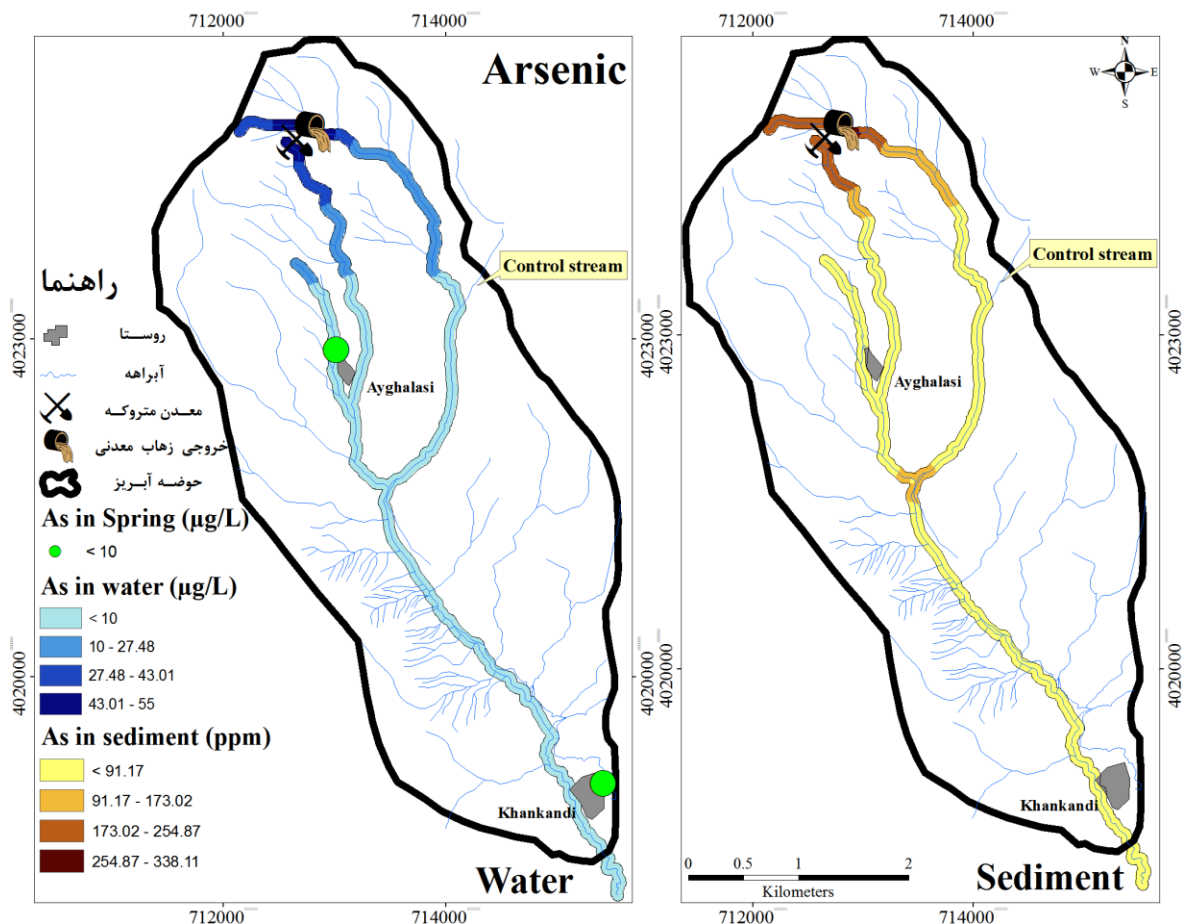
شکل ۶-۱۵- نقشه هم‌غلظت روی در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

غلظت روی در تمام رسوبات منطقه بالاتر از غلظت میانگین جهانی رسوبات (95 mg/kg) می‌باشد. بالا بودن غلظت روی در خاک برجای منطقه، بالا بودن غلظت آن در رسوبات را توجیه می‌نماید. غلظت روی در رسوبات نیز با افزایش فاصله از معدن کاهش می‌یابد. افزایش غلظت این عنصر در خروجی حوضه می‌تواند ناشی از عوامل انسان‌زاد (روستای خان‌کندی) باشد. از طرف دیگر، همبستگی بالای روی با اکسید آهن و ظرفیت تبادل کاتیونی تأثیر این پارامترها در نگهداری این عنصر در رسوبات را توجیه می‌کند. روی در آب آشامیدنی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی بسیار کم بوده و این منابع آبی به روی آلوده نمی‌باشند.

۶-۷-۳- آرسنیک

بطور کلی در تمام محیط‌های آبگین تحت شرایط اکسیدی آرسنیک به صورت آرسنات ($\text{H}_n\text{As}_4^{n-3}$) پنج ظرفیتی حضور دارد (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007)، بنابراین گونه غالب آرسنیک در شرایط اسیدی ($3-5$) و 0.2 تا 0.6 Eh (زهاب معدنی)، H_2AsO_4^- می‌باشد. در دیگر نمونه‌های آب با افزایش pH آب‌های منطقه، گونه غالب آرسنیک، HAsO_4^{2-} است (شکل ۶-۱۳، ج). حضور اکسی-هیدروکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی بیشترین تأثیر را در رفتار آرسنیک در محیط‌های آبی دارند (Smedley and Kinniburgh, 2002). بنابراین با توجه به حضور این اکسیدها در رسوبات منطقه می‌توان گفت که آرسنیک از محیط آبگین خارج شده و وارد رسوبات گردیده است. بالاترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های زهاب معدنی که دارای pH اسیدی می‌باشند قابل مشاهده است.

بطور کلی غلظت آرسنیک در رسوبات منطقه بالاتر از میانگین رسوبات جهانی ($7/7$ mg/kg) بوده اما بالاترین غلظت آن در رسوبات نزدیک معدن و باطله‌ها مشاهده گردید. با افزایش فاصله از معدن غلظت آرسنیک در رسوبات و آب‌های سطحی منطقه کاهش می‌یابد. نقشه هم‌غلظت آرسنیک در آب و رسوبات منطقه در شکل ۶-۱۶ آورده شده است. افزایش غلظت در رسوبات قبل از اتصال آبراهه اصلی با خروجی فاضلاب روستای آی‌قلعه‌سی (W_9) می‌تواند به دلیل تأثیر منطقه مشکوک به کانه‌زایی باشد که در این محل افزایش غلظت در نمونه‌های خاک برجا (S_{17} و S_{18}) نیز مشاهده گردید. به‌طرف خروجی حوضه مورد مطالعه غلظت آرسنیک در خاک برجا و بدنبال آن رسوبات کاهش می‌یابد. سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای خروجی فاضلاب‌ها مقدار مجاز آرسنیک را 100 $\mu\text{g/L}$ تعیین کرده است که نمونه‌های زهاب معدنی نسبت به حد مجاز خروجی فاضلاب غلظت کمتری را نشان می‌دهند. غلظت مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی (WHO, 2011)، معادل $\mu\text{g/L}$ 10 می‌باشد که در کلیه نمونه‌های آب منطقه به‌جز W_4 ، مقادیر آرسنیک پایین‌تر از این مقدار می‌باشد و بنابراین منابع آب منطقه به آرسنیک آلوده نمی‌باشند.

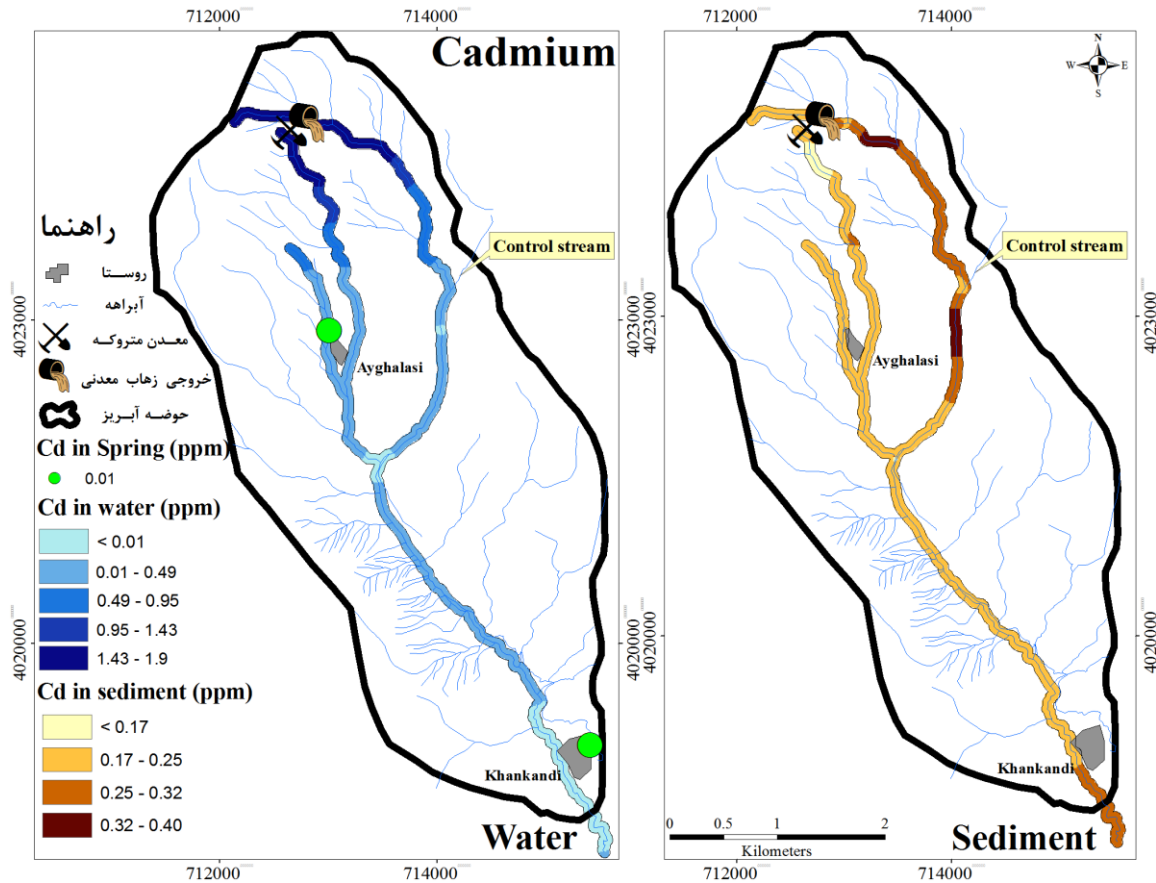


شکل ۶-۱۶- نقشه هم‌غلظت آرسنیک در آب و رسوبات منطقه

۶-۷-۴- کادمیم

حد مجاز کادمیم در آب آشامیدنی با توجه به مقادیر پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011)، 0.03 mg/L می‌باشد. سازمان حفاظت محیط زیست ایران با توجه به استاندارد خروجی فاضلاب مقدار مجاز 0.1 mg/L برای کادمیم تعیین کرده است. در شکل ۶-۱۷ نقشه هم‌غلظت کادمیم در آب و رسوبات منطقه آورده شده است. بر اساس نمودار اکسیداسیون- احیا و تغییرات pH آب‌های منطقه، گونه غالب کادمیم در زهاب معدنی و آب آبراهه Cd^{2+} می‌باشد (شکل ۶-۱۳، د). در نمونه‌های زهاب معدنی غلظت کادمیم نسبت به استاندارد خروجی فاضلاب (0.1 mg/L) بسیار بیشتر است که با توجه به pH اسیدی این زهاب‌ها مورد تأیید

می باشد (شکل ۶-۱۷)، اما با دور شدن از سرچشمه زهاب معدنی غلظت این عنصر به دلیل افزایش pH، کاهش یافته است.



شکل ۶-۱۷- نقشه هم‌غلظت کادمیم در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

غلظت کادمیم در W_6 (0.1 mg/L) و SE_7 (0.3 mg/kg) که به ترتیب نمونه‌های آب و رسوب شاهد می‌باشند که نسبت به استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) و میانگین غلظت کادمیم در رسوبات جهانی (Bowen, 1979) مقادیر بالایی را دارا می‌باشند. بالاترین غلظت این عنصر در نمونه رسوب SE_8 (0.5 mg/kg) می‌باشد که بعد از نمونه شاهد و در امتداد آبراهه اصلی برداشت شده است. افزایش غلظت این عنصر در این نمونه رسوب می‌تواند به دلیل افزایش pH در آب (8.05) و رسوبات (8.38) آبراهه و انباشتگی این عنصر در رسوبات باشد. در نمونه‌های آب بعد از نمونه SE_8 غلظت کادمیم رو به کاهش است. غلظت کادمیم در آب‌های سطحی محدوده مورد مطالعه به جز نمونه‌های شاهد، غلظت یکنواختی را نشان داده و بطور کلی می‌توان گفت که به احتمال قوی

آلوده به کادمیم می‌باشند. به طور کلی می‌توان گفت، غلظت کادمیم در خاک، آب و رسوبات منطقه یکنواخت بوده و تحت تأثیر کانه‌زایی نمی‌باشد.

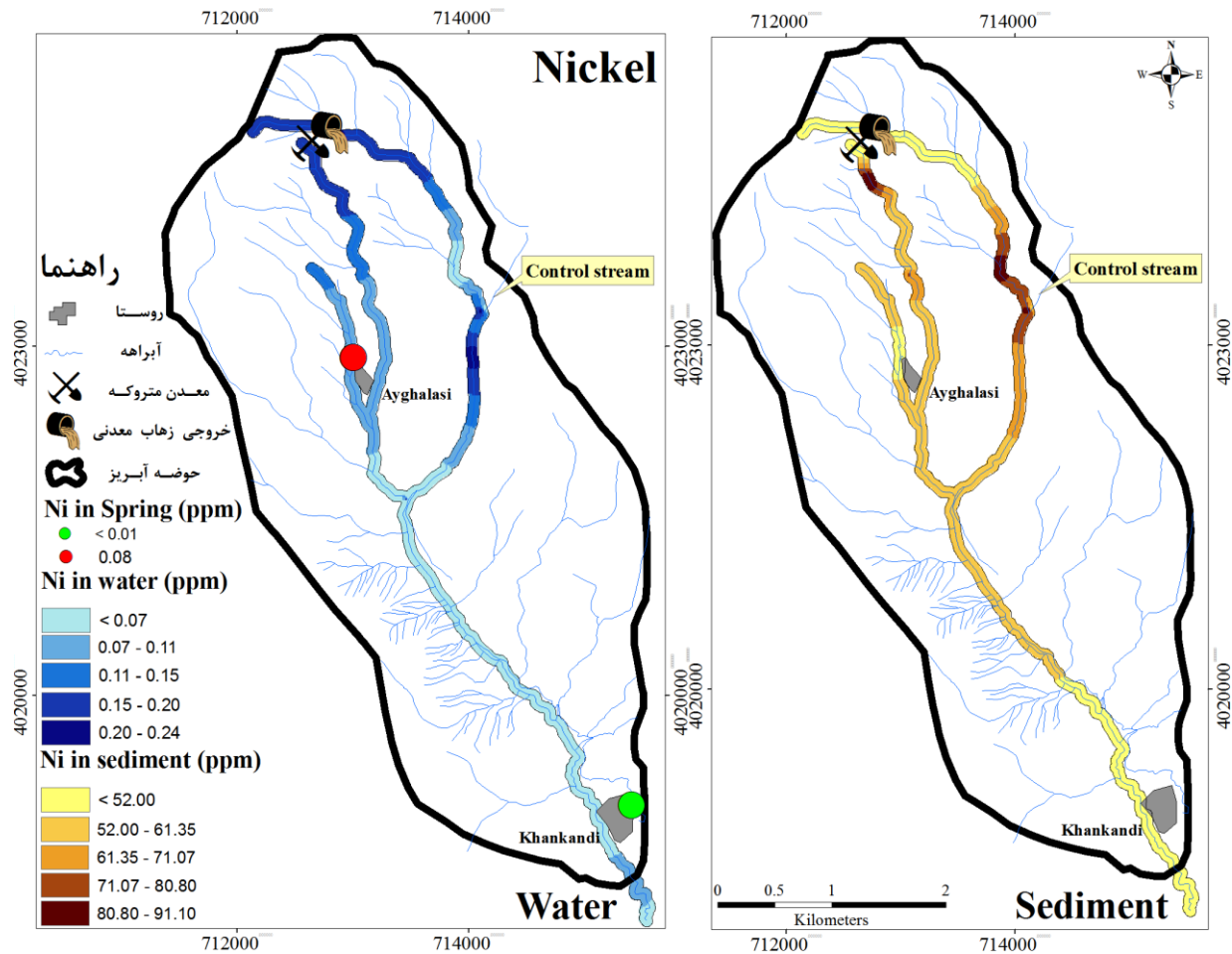
آب آشامیدنی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی غلظت کمتر از 0.01 mg/L کادمیم را دارا می‌باشند و با توجه به حد مجاز این عنصر (0.03 mg/L) در سازمان بهداشت جهانی، احتمالاً منابع آب آشامیدنی منطقه آلوده به کادمیم می‌باشند.

۶-۷-۵- نیکل

نیکل در محیط آبگین به مدت طولانی به صورت گونه محلول باقی نمی‌ماند و توسط مواد معلق و هیدروکسیدهای آهن و منگنز جذب شده و در رسوبات نهشته می‌شود (Kotliński, 1999). بنابراین آلودگی آب توسط نیکل تجمع این عنصر را در رسوبات بستر رودخانه و دریاچه باعث می‌شود (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). حد مجاز نیکل در آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011)، 0.07 mg/L تعیین شده است. سازمان حفاظت محیط زیست ایران حد مجاز این عنصر را در خروجی فاضلاب 2 mg/L تعیین کرده است. میانگین غلظت نیکل در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، 52 mg/kg می‌باشد (جدول ۶-۱). در شکل ۶-۱۸ نقشه هم‌غلظت نیکل در آب و رسوبات منطقه نشان داده شده است. با توجه به محدوده پایداری نیکل در Eh-pH های مختلف، گونه غالب نیکل در منابع آب و زهاب معدنی Ni^{2+} می‌باشد (شکل ۶-۱۳، ه). همانطور که در فصل گذشته گفته شد غلظت نیکل در تمام نمونه‌های خاک برجای منطقه بالا می‌باشد و بالا بودن غلظت آن وابسته به معدنکاری و کانه‌زایی سرب و روی نبوده و با توجه به گسترش واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی منشأ زمین‌زاد دارد. همچنین نیکل در محیط آب باقی نمانده و وارد رسوبات می‌شود. بنابراین غلظت این عنصر در نمونه‌های زهاب معدنی که دارای pH اسیدی می‌باشند به دلیل حلالیت بیشتر نیکل در محیط اسیدی، نسبت به نمونه‌های آب منطقه بالاتر می‌باشد و با افزایش pH غلظت این عنصر در آب کاهش می‌یابد. بالعکس غلظت نیکل در رسوبات زیر زهاب معدنی پایین‌تر از غلظت میانگین رسوبات جهانی می‌باشد که

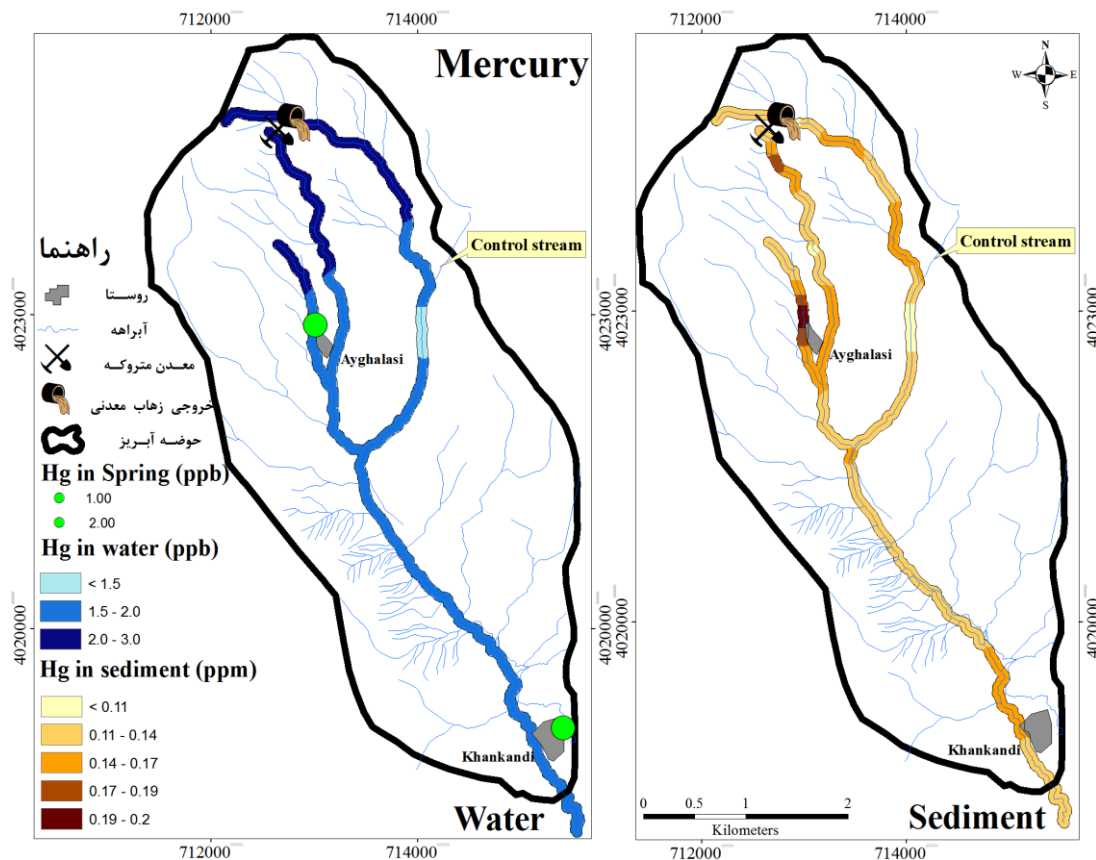
می‌تواند به دلیل pH اسیدی این رسوبات باشد که باعث رها شدن نیکل از فاز جامد و ورود آن به فاز مایع باشد. در نمونه W₇ که بعد از نمونه شاهد (W₆) می‌باشد رقیق شدگی آب با آبراهه شاهد و رسوب‌گذاری صورت گرفته و همچنین در نمونه SE₈ که رسوب زیر آن می‌باشد غلظت نیکل بالا است. تغییرات غلظت نیکل در آب‌های سطحی منطقه زیاد بوده و بسیاری از نمونه‌های آب منطقه آلوده به نیکل محسوب می‌شوند.

غلظت نیکل در چشمه آی‌قلعه‌سی (0.08 mg/L) مقدار بالاتر از حد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی را دارا می‌باشد، در واقع آب این چشمه آلوده به نیکل است. مقدار اندازه‌گیری شده نیکل در چشمه خان‌کندی کمتر از 0.01 mg/L بوده که آلوده به نیکل نمی‌باشد.



شکل ۶-۱۸- نقشه هم‌غلظت نیکل در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

جیوه در آب ممکن است تبخیر شده یا روی رسوبات نهشته شود و توسط موجودات آبی از محیط آب خارج شود (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). گونه غالب جیوه در زهاب معدنی با توجه به نمودار Eh-pH، گونه غالب جیوه، Hg^{2+} بوده و در دیگر نمونه‌های آب سطحی و آشامیدنی منطقه، $Hg(OH)_2$ محلول می‌باشد (شکل ۶-۱۳، و). حد مجاز جیوه بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) در آب آشامیدنی $6 \mu g/L$ می‌باشد. سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای غلظت جیوه در خروجی فاضلاب حد مجازی تعیین نکرده است (جدول ۶-۱). با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۶-۱ تمام نمونه‌های آب منطقه بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی ($6 \mu g/L$) غلظت مجاز این عنصر را دارا می‌باشند. نقشه هم‌غلظت جیوه در آب و رسوبات منطقه در شکل ۶-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۹- نقشه هم‌غلظت جیوه در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

شایان ذکر می‌باشد که غلظت جیوه در زهاب‌های معدنی و رسوبات زیر آنها تفاوت چندانی با غلظت آن غلظت میانگین جیوه در رسوبات جهانی (Bowen, 1979) برابر با 0.19 mg/kg می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۶-۱ و شکل ۶-۱۹، جیوه در تمام رسوبات منطقه به جز SE_{18} که از رسوبات نزدیک روستای آی‌قلعه‌سی برداشت شده پایین‌تر از میانگین رسوبات جهانی می‌باشد. در محل برداشت این نمونه رسوبات قدیمی بوده و با توجه به خاصیت انباشتگی جیوه در رسوبات غلظت این عنصر در این نقطه بالاتر می‌باشد. کم بودن غلظت جیوه در رسوبات با توجه به غلظت پایین این عنصر در خاک برجای منطقه قابل توجیه می‌باشد.

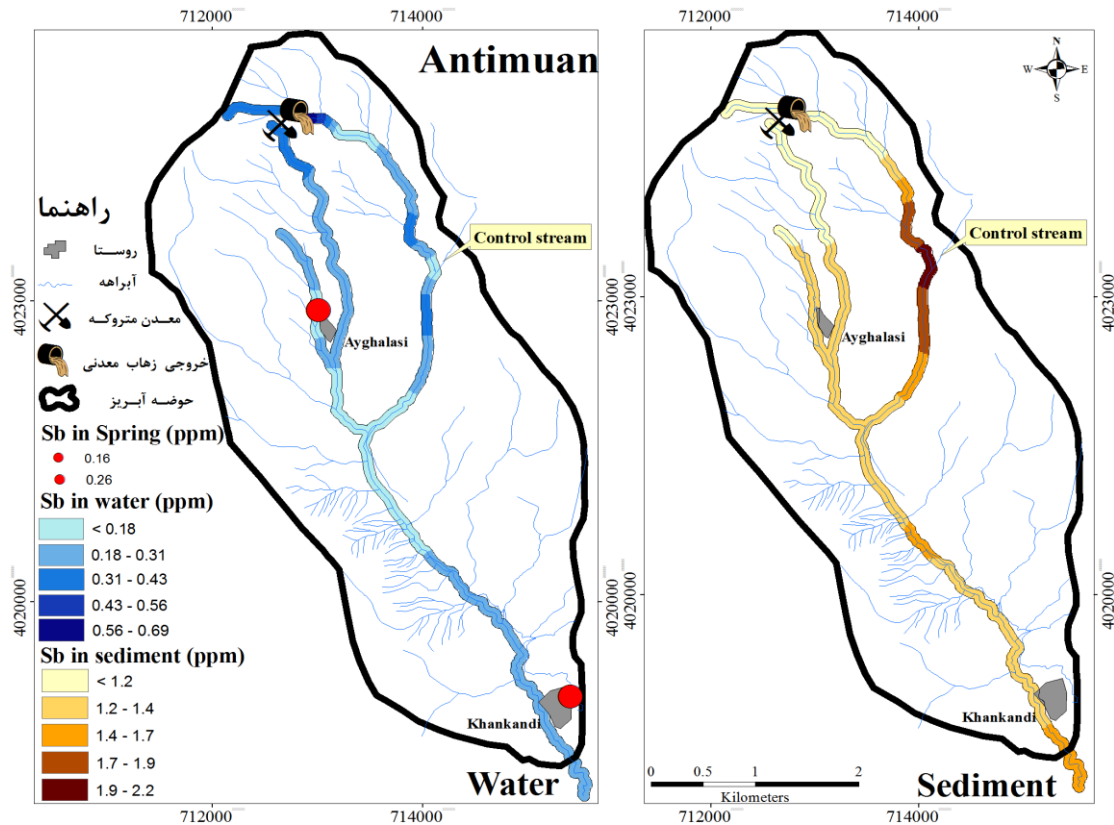
آب آشامیدنی روستاهای واقع در منطقه مورد مطالعه غلظت کم جیوه را دارا می‌باشند و به این عنصر آلودگی نمی‌باشند.

۶-۷-۷- آنتیموان

آنتیموان تحرک کمی در خاک و رسوبات دارد که می‌تواند به دلیل جذب سطحی آن توسط اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم در محیط خاک و رسوبات باشد (Bhattacharya et al, 2002; Filella et al, 2002; Smedley and Kinniburgh, 2002). غلظت این عنصر نسبت به غلظت مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) که 0.02 mg/L می‌باشد در تمام نمونه‌های آب برداشت شده از آبراهه و چشمه (آب آشامیدنی) بیشتر بوده و آب منطقه آلوده به این عنصر می‌باشد. سازمان حفاظت محیط زیست ایران حد مجاز آنتیموان را برای خروجی فاضلاب‌ها تعیین نکرده است (جدول ۶-۱). در شکل ۶-۲۰، نقشه هم‌غلظت آنتیموان در آب و رسوبات نشان داده شده است. با توجه به pH و Eh آب‌های منطقه گونه غالب آنتیموان $Sb(OH)_3$ است که در آب محلول می‌باشد (شکل ۶-۱۳، ز).

غلظت آنتیموان در نمونه W₆ (۰/۱۳ mg/L) نیز که نمونه شاهد است بالاتر از استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) می‌باشد. بالا بودن غلظت این عنصر در آب منطقه هیچگونه وابستگی با کانه‌زایی نداشته و همانطور که در مورد خاک بحث شد این عنصر در کل محدوده پراکندگی تقریباً یکنواختی دارد و با توجه به انحلال پذیری بالای این عنصر در آب، غلظت این عنصر در آب منطقه نسبت به استاندارد جهانی بالا می‌باشد.

متوسط غلظت آنتیموان در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۱/۲ mg/kg تعیین شده است. کمترین غلظت آنتیموان در رسوبات نزدیک معدن، در سه نمونه زیر زهاب معدنی قابل مشاهده می‌باشد که با توجه به pH اسیدی این آب‌ها، این عنصر حل شده و از رسوبات خارج و وارد زهاب گردیده است.



شکل ۶-۲۰- نقشه هم‌غلظت آنتیموان در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

با توجه به غلظت آنتیموان در رسوبات (جدول ۶-۲) و غلظت آن در نمونه‌های خاک (جدول ۵-۱) اختلاف زیادی بین غلظت این عنصر در خاک و رسوبات مشاهده نمی‌شود که می‌تواند به دلیل قلیایی بودن آب منطقه و

تأثیر کم آنها بر انحلال آنتیموان در رسوبات باشد. به طور کلی غلظت آنتیموان در خاک، آب و رسوبات منطقه، تحت تأثیر کانه‌زایی نبوده است.

منابع تأمین کننده آب آشامیدنی روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی مقادیر خیلی بالاتر آنتیموان به ترتیب ۸ و ۱۳ برابر نسبت به غلظت مجاز سازمان بهداشت جهانی را دارا می‌باشند و به آنتیموان آلوده هستند.

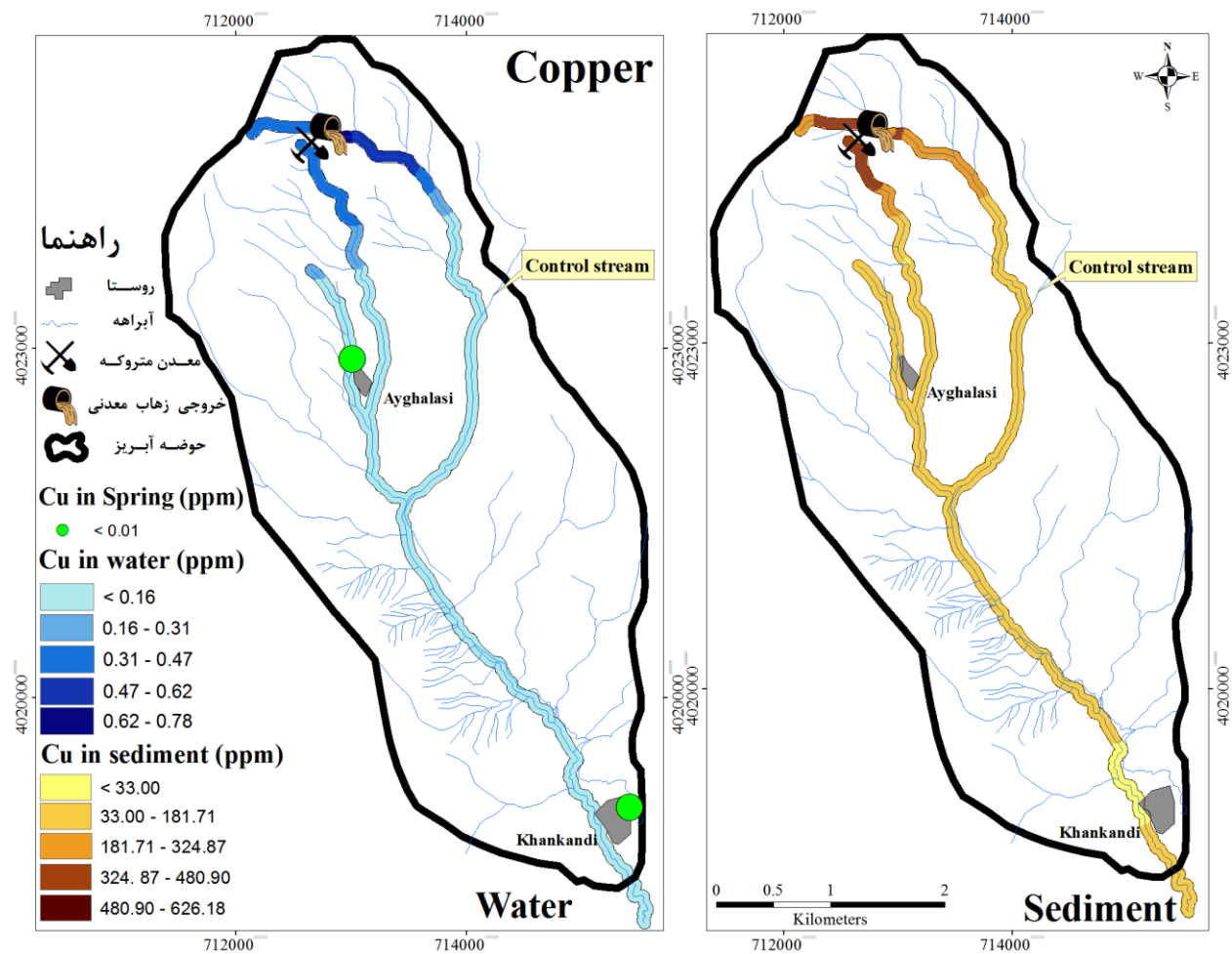
۶-۷-۸- مس

انحلال نمک‌های مس توسط فاکتورهایی همچون pH، دما، سختی و مقدار مواد معلق کنترل می‌شود (Eisler 1998; Luoma, 1983). گونه غالب مس در آب‌های سطحی با توجه به دیاگرام Eh-pH به صورت Cu^{2+} ، $\text{Cu}(\text{OH})^+$ ، CuCO_3 و CuSO_4 می‌باشد، که با توجه به پتانسیل اکسایش-کاهش و pH منابع آب منطقه مورد مطالعه، گونه غالب مس در آب‌های منطقه Cu^{2+} است (شکل ۶-۱۳، ح). حد مجاز مس در آب‌های آشامیدنی بر اساس سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) ۲ mg/L می‌باشد و سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای خروجی فاضلاب مقدار ۱ mg/L را تعیین کرده است (جدول ۶-۱). در شکل ۶-۲۱ نقشه هم‌غلظت مس در آب و رسوبات منطقه نشان داده شده است.

در هیچ یک از نمونه‌های آب منطقه غلظت مس بالاتر از استانداردهای آب آشامیدنی و خروجی فاضلاب نمی‌باشد. غلظت مس تنها در نمونه‌های W_1 ، W_2 و W_3 (زهاب معدنی) که دارای pH اسیدی هستند نسبت به دیگر نمونه‌ها بالا می‌باشد. انحلال پذیری مس با افزایش pH کاهش می‌یابد، بنابراین غلظت مس در نمونه‌های زهاب معدنی بالاتر بوده و با افزایش pH و به دلیل pH قلیایی حاکم بر منطقه و انحلال پذیری کم مس، بطور کلی غلظت مس در منابع آب منطقه بسیار کم و یکنواخت می‌باشد.

غلظت متوسط مس در رسوبات جهانی (Bowen, 1997)، ۳۳ mg/kg تعیین شده است. همانند خاک منطقه، کانه‌زایی عامل مهم توزیع مس در رسوبات منطقه می‌باشد. در رسوبات نیز همانند خاک منطقه غلظت مس با

افزایش فاصله از معدن کاهش می‌یابد. بالاترین غلظت مس در نمونه‌های SE₁ که از آبراهه خشک قبل از زهاب معدنی برداشت شده و SE₂، SE₃ و SE₄ که از رسوبات زیر زهاب معدنی و با فاصله از سرچشمه زهاب برداشت شده‌اند و SE₁₄ که از آبراهه پایین دست باطله‌های اطراف معدن برداشت شده مشاهده شده است. غلظت مس در نمونه SE₁₇ (۱۴۴/۹۸ mg/kg) که پایین تر از معدن و نرسیده به روستای آی‌قلعه‌سی و از رسوبات جمع شده در پشت بند آب که از تجمع رسوبات حاصل از آبراهه‌های نزدیک معدن و ارتفاعات دور از معدن حاصل شده است، نسبت به نمونه رسوب قبلی بالاتر می‌باشد. همبستگی بالای مس با روی بیان کننده همراهی این عناصر در مناطق با کانه‌زایی سرب و روی می‌باشد.

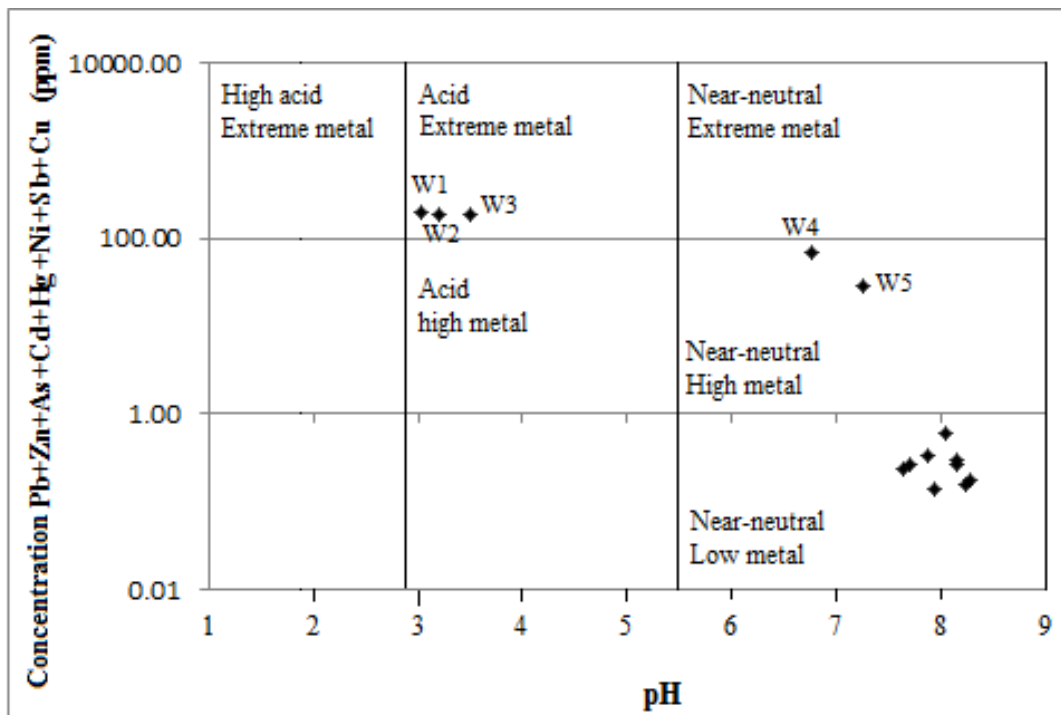


شکل ۶-۲۱- نقشه هم‌غلظت مس در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه

غلظت مس در آب آشامیدنی روستاهای آیقلعه‌سی و خان‌کندی پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) بوده و این منابع آلوده به این عنصر نمی‌باشند.

۶-۷-۹- بار فلزی منابع آب

برای تعیین رابطه بین غلظت فلزات سنگین در منابع آب و pH از نمودار فیکلین (Ficklin et al, 1992) استفاده گردید. در این مطالعه با قرار دادن نمونه‌های آب بر روی این نمودار که مجموع غلظت فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی را در برابر pH نشان می‌دهد بار فلزی در نمونه‌های آب منطقه تعیین می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده و شکل ۶-۲۲ نمونه‌های زهاب معدنی (W₁، W₂ و W₃) در محدوده اسیدی با بار فلزی خیلی زیاد قرار دارند. نمونه‌های W₄ و W₅ که در امتداد آبراهه و با افزایش فاصله از معدن و سرچشمه زهاب برداشت شده‌اند در قسمت نزدیک به خنثی با بار بالای فلزی و دیگر نمونه‌های آب منطقه (با فاصله حدود ۳ کیلومتر از معدن)، در بخش نزدیک به خنثی با بار پایین فلزی قرار گرفته‌اند.



شکل ۶-۲۲- رابطه بار فلزی (Pb+Zn+As+Cd+Ni+Hg+Sb+Cu) و pH در منابع آب منطقه بر اساس نمودار فیکلین، (Ficklin et al, 1992) اصلاح شده توسط (Cabo et al, 1999)

بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در زهاب معدنی غلظت کلی فلزات بالا بوده و با افزایش فاصله از معدن و افزایش pH غلظت فلزات در منابع آب منطقه کاهش می‌یابد و آلودگی ناشی از فلزات سنگین کم می‌شود.

۶-۸- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی

جهت تعیین آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه از شاخص‌های مختلف فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})، ضریب آلودگی (Cf) و درجه آلودگی اصلاح شده (mC_d) استفاده گردید.

۶-۸-۱- ضریب غنی‌شدگی

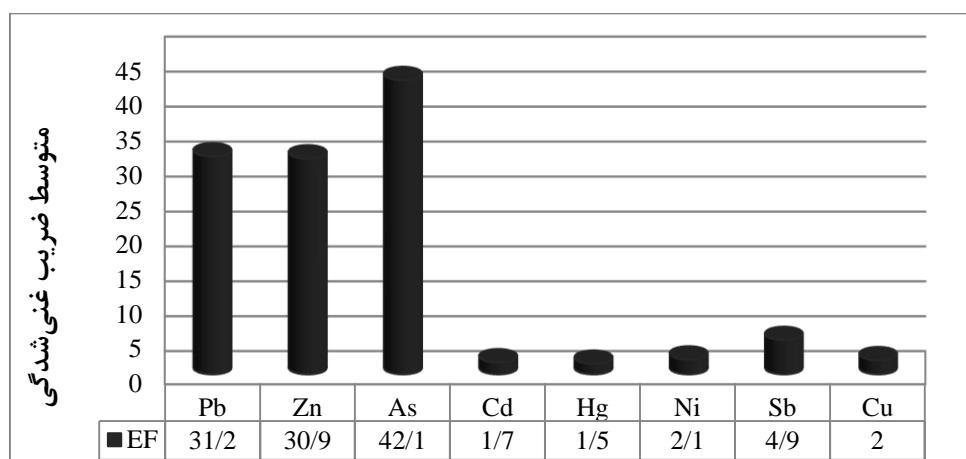
ضریب غنی‌شدگی رسوبات نیز همانند خاک‌های برجا و خاک حاصل از باطله‌ها با استفاده از رابطه (۵-۲) محاسبه گردید که این رابطه جهت ارزیابی منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی فلزات سنگین توسط Loska و همکاران (Loska et al, 1995) ارائه شده است. در جدول ۶-۱۰ ضریب غنی‌شدگی و در شکل ۶-۲۳ متوسط ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین Pb, Zn, As, Cd, Ni, Hg, Sb و Cu در رسوبات برداشت شده، نشان داده شده است. مقایسه نتایج با جدول ۵-۸ معلوم می‌سازد که رسوبات نسبت به آرسنیک غنی‌شدگی بی‌نهایت، سرب و روی، غنی‌شدگی بسیار بالا، آنتیموان، غنی‌شدگی قابل توجه و عناصر مس و نیکل، غنی‌شدگی متوسط و کادمیم و جیوه، بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک، را نشان می‌دهند.

با توجه به شکل ۶-۲۴ که ضریب غنی‌شدگی همه عناصر را در کل نمونه‌های رسوبات برداشت شده نشان می‌دهد، نمونه‌های SE_1 ، SE_2 ، SE_3 ، SE_4 ، SE_{14} و SE_{17} نسبت به سرب غنی‌شدگی بی‌نهایت نشان می‌دهند. این نمونه‌ها از رسوبات زهاب‌ها، آبراهه‌های اطراف معدن و رسوبات زیر باطله‌های ریخته شده برداشت شده‌اند.

نمونه‌های SE_3 ، SE_4 ، SE_5 و SE_6 نسبت به روی غنی‌شدگی بی‌نهایت را نشان داده‌اند که رسوبات زیر زهاب‌ها و یا رسوبات آبراهه پایین‌دست باطله‌ها در نزدیکی کانه‌زایی و معدن متروکه می‌باشند. بیشتر نمونه‌ها در محدوده غنی‌شدگی قابل توجه نسبت به روی قرار می‌گیرند.

جدول ۶-۱۰- ضریب غنی‌شدگی رسوبات منطقه مورد مطالعه

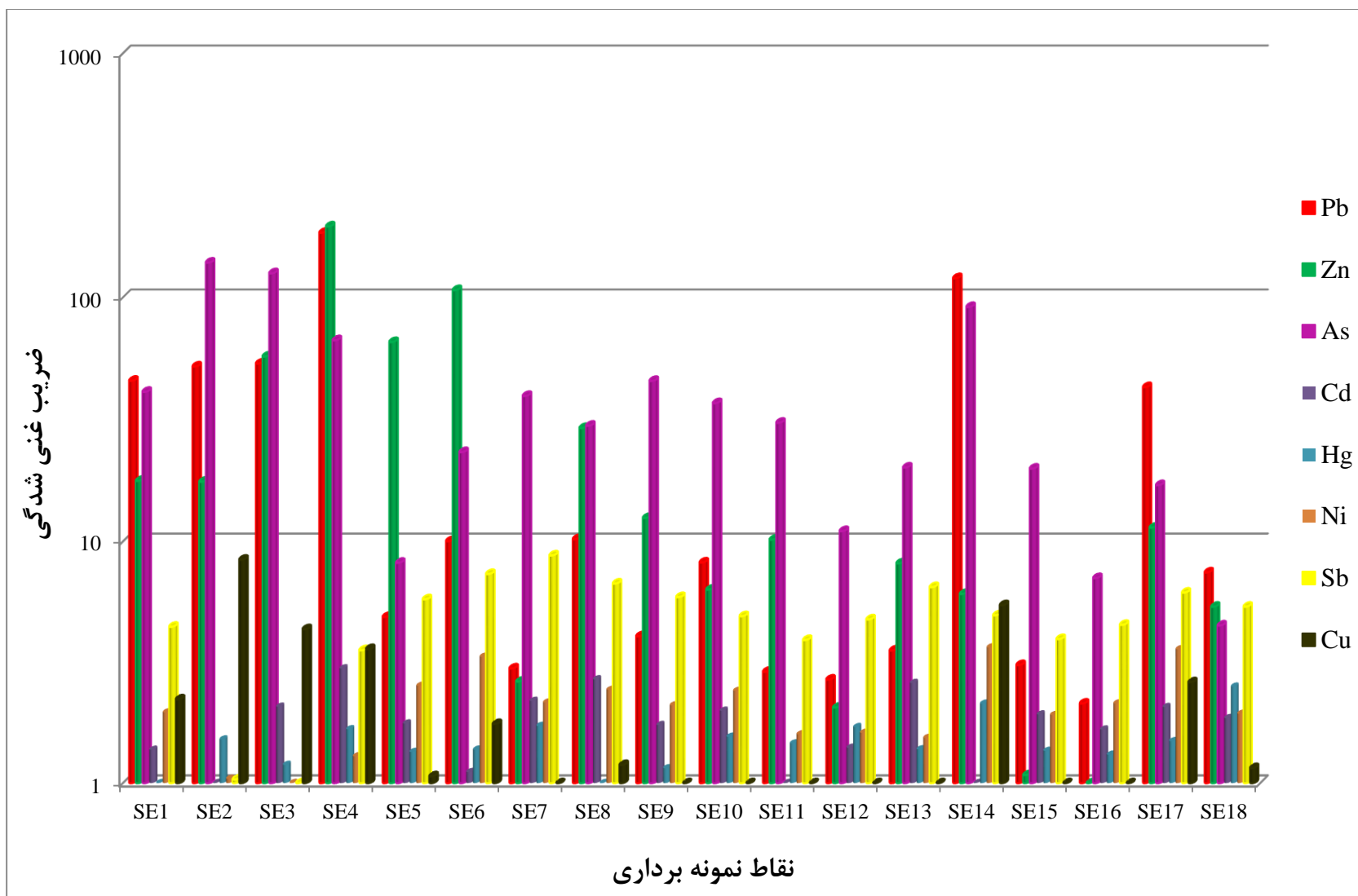
| Cu | Sb | Ni | Hg | Cd | As | Zn | Pb | |
|------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|------------------|
| ۲/۲ | ۴/۵ | ۲/۱ | ۱/۱ | ۱/۴ | ۴۱/۱ | ۱۷/۷ | ۴۵/۶ | SE ₁ |
| ۸/۴ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۵ | ۰/۷ | ۱۳۸/۹ | ۱۷/۶ | ۵۲/۱ | SE ₂ |
| ۴/۴ | ۰/۱ | ۰/۷ | ۱/۲ | ۲/۱ | ۱۲۵/۶ | ۵۷/۳ | ۵۳/۶ | SE ₃ |
| ۳/۶ | ۳/۶ | ۱/۳ | ۱/۷ | ۳/۰ | ۶۶/۸ | ۱۹۵/۴ | ۱۸۴/۱ | SE ₄ |
| ۱/۱ | ۵/۸ | ۲/۵ | ۱/۳ | ۱/۸ | ۸/۲ | ۶۵/۷ | ۴/۹ | SE ₅ |
| ۱/۸ | ۷/۴ | ۳/۴ | ۱/۴ | ۱/۱ | ۲۳/۳ | ۱۰۷/۲ | ۱۰/۰ | SE ₆ |
| ۰/۷ | ۸/۸ | ۲/۲ | ۱/۷ | ۲/۲ | ۳۹/۵ | ۲/۷ | ۳/۰ | SE ₇ |
| ۱/۲ | ۶/۷ | ۲/۴ | ۰/۸ | ۲/۷ | ۲۹/۸ | ۲۹/۲ | ۱۰/۲ | SE ₈ |
| ۰/۸ | ۵/۹ | ۲/۱ | ۱/۲ | ۱/۷ | ۴۵/۵ | ۱۲/۵ | ۴/۱ | SE ₉ |
| ۰/۸ | ۴/۹ | ۲/۴ | ۱/۶ | ۲/۰ | ۳۶/۹ | ۶/۴ | ۸/۲ | SE ₁₀ |
| ۰/۶ | ۳/۹ | ۱/۶ | ۱/۵ | ۰/۴ | ۳۰/۷ | ۱۰/۲ | ۲/۹ | SE ₁₁ |
| ۰/۴ | ۴/۸ | ۱/۶ | ۱/۷ | ۱/۴ | ۱۱/۰ | ۲/۱ | ۲/۷ | SE ₁₂ |
| ۰/۷ | ۶/۵ | ۱/۵ | ۱/۴ | ۲/۶ | ۲۰/۱ | ۸/۱ | ۳/۶ | SE ₁₃ |
| ۵/۵ | ۵/۱ | ۳/۷ | ۲/۱ | ۰/۴ | ۹۱/۴ | ۶/۱ | ۱۱۹/۹ | SE ₁₄ |
| ۰/۳ | ۴/۱ | ۱/۹ | ۱/۴ | ۱/۹ | ۱۹/۹ | ۱/۱ | ۳/۱ | SE ₁₅ |
| ۰/۵ | ۴/۶ | ۲/۱ | ۱/۳ | ۱/۷ | ۷/۱ | ۰/۹ | ۲/۲ | SE ₁₆ |
| ۲/۶ | ۶/۲ | ۳/۶ | ۱/۵ | ۲/۱ | ۱۷/۰ | ۱۱/۴ | ۴۲/۹ | SE ₁₇ |
| ۱/۲ | ۵/۴ | ۱/۹ | ۲/۵ | ۱/۹ | ۴/۵ | ۵/۴ | ۷/۵ | SE ₁₈ |
| ۲/۰۴ | ۴/۹ | ۲/۱ | ۱/۵ | ۱/۷ | ۴۲/۱ | ۳۰/۹ | ۳۱/۲ | Mean |



شکل ۶-۲۳- متوسط فاکتور غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در رسوبات

آرسنیک در اکثر نمونه‌ها غنی‌شدگی بسیار بالا داشته که ناشی از غلظت بالای این عنصر در رسوبات نسبت

به میانگین پوسته می‌باشد. این عنصر در نمونه‌های SE₂، SE₃، SE₄ که از رسوبات زهاب معدنی و در مسیر



شکل ۶-۲۴- ضریب غنی شدگی عناصر در رسوبات منطقه

آبراهه اصلی نزدیک کانه‌زایی قرار دارند و SE₉ که در پایین دست محدوده مشکوک به کانه‌زایی قرار گرفته است و SE₁₄ که از پایین دست باطله‌های نزدیک معدن برداشت شده‌اند، غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه غلظت کادمیم در خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌ها و همچنین در رسوبات کم بوده بنابراین اکثر نمونه‌ها نسبت به کادمیم بدون غنی‌شدگی می‌باشند. با توجه به غلظت پایین جیوه در خاک و رسوبات منطقه، رسوبات نسبت به این عنصر بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک بوده و تنها در نمونه SE₁₈ که بالاترین غلظت جیوه را دارد غنی‌شدگی متوسط دیده می‌شود. همانطور که در نقشه هم‌غلظت نشان داده شده است پراکندگی نیکل و آنتیموان وابسته به کانه‌زایی نبوده و با توجه به غلظت نیکل در پوسته، رسوبات نسبت به این عنصر فاقد غنی‌شدگی بالا بوده و تمام نمونه‌ها در محدوده‌های غنی‌شدگی اندک تا غنی‌شدگی متوسط قرار می‌گیرند.

آنتیموان نیز مانند نیکل غنی‌شدگی بالا نداشته و در نمونه‌های SE₅، SE₆، SE₇، SE₈، SE₉، SE₁₃، SE₁₇ و SE₁₈ غنی‌شدگی قابل توجه دارد و دیگر نمونه‌ها نسبت به آنتیموان در محدوده با غنی‌شدگی اندک تا متوسط قرار می‌گیرند. مس در نمونه‌های SE₂ که از زهاب و SE₁₄ که از پایین دست باطله‌ها برداشت شده‌اند غنی‌شدگی قابل توجه نشان داده و در دیگر نمونه‌ها و با دور شدن از معدن در محدوده بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی متوسط قرار گرفته است.

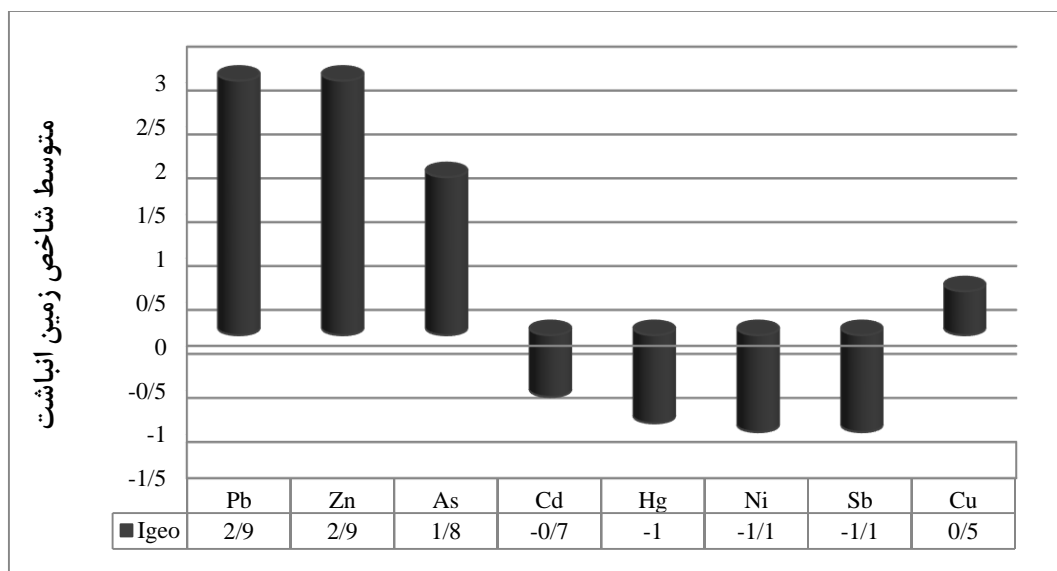
۶-۸-۲- شاخص زمین‌انباشت

شاخص زمین‌انباشت بر اساس رابطه (۵-۳) برای توصیف غلظت فلزات سنگین و شدت آلودگی در رسوبات منطقه محاسبه گردید. در جدول ۶-۱۱ شاخص زمین‌انباشت و در شکل ۶-۲۵ متوسط شاخص زمین‌انباشت عناصر مورد نظر نشان داده شده است. مقایسه مقادیر میانگین این شاخص با جدول ۵-۱۰ نشان می‌دهد که رسوبات نسبت به سرب و روی آلودگی متوسط تا شدید، آرسنیک آلودگی متوسط، کادمیم، نیکل، جیوه و آنتیموان بدون آلودگی و مس دارای آلودگی کم تا متوسط را دارا می‌باشند.

شکل ۶-۲۶ شاخص زمین‌انباشت عناصر را در رسوبات منطقه نشان می‌دهد. نمونه‌های SE₁, SE₂, SE₃, SE₄ و SE₁₄ بالاترین شاخص زمین‌انباشت را نسبت به سرب نشان داده و دارای آلودگی بی‌نهایت می‌باشند. این نمونه‌ها از سرچشمه زهاب معدنی و در امتداد آبراهه اصلی و از مجاورت باطله‌ها برداشت شده‌اند. نمونه SE₁₇ که از روی بند آب بالادست روستای آی‌قلعه‌سی برداشت شده است، آلودگی شدید تا بی‌نهایت و دیگر نمونه‌ها با افزایش فاصله از معدن آلودگی کمتری را نسبت به سرب نشان می‌دهند. نمونه‌های SE₃, SE₄, SE₅ و SE₆ آلودگی بی‌نهایت و نمونه SE₈ که بعد نمونه شاهد و در امتداد آبراهه اصلی قرار دارد، آلودگی شدید تا بی‌نهایت به روی را نشان می‌دهند.

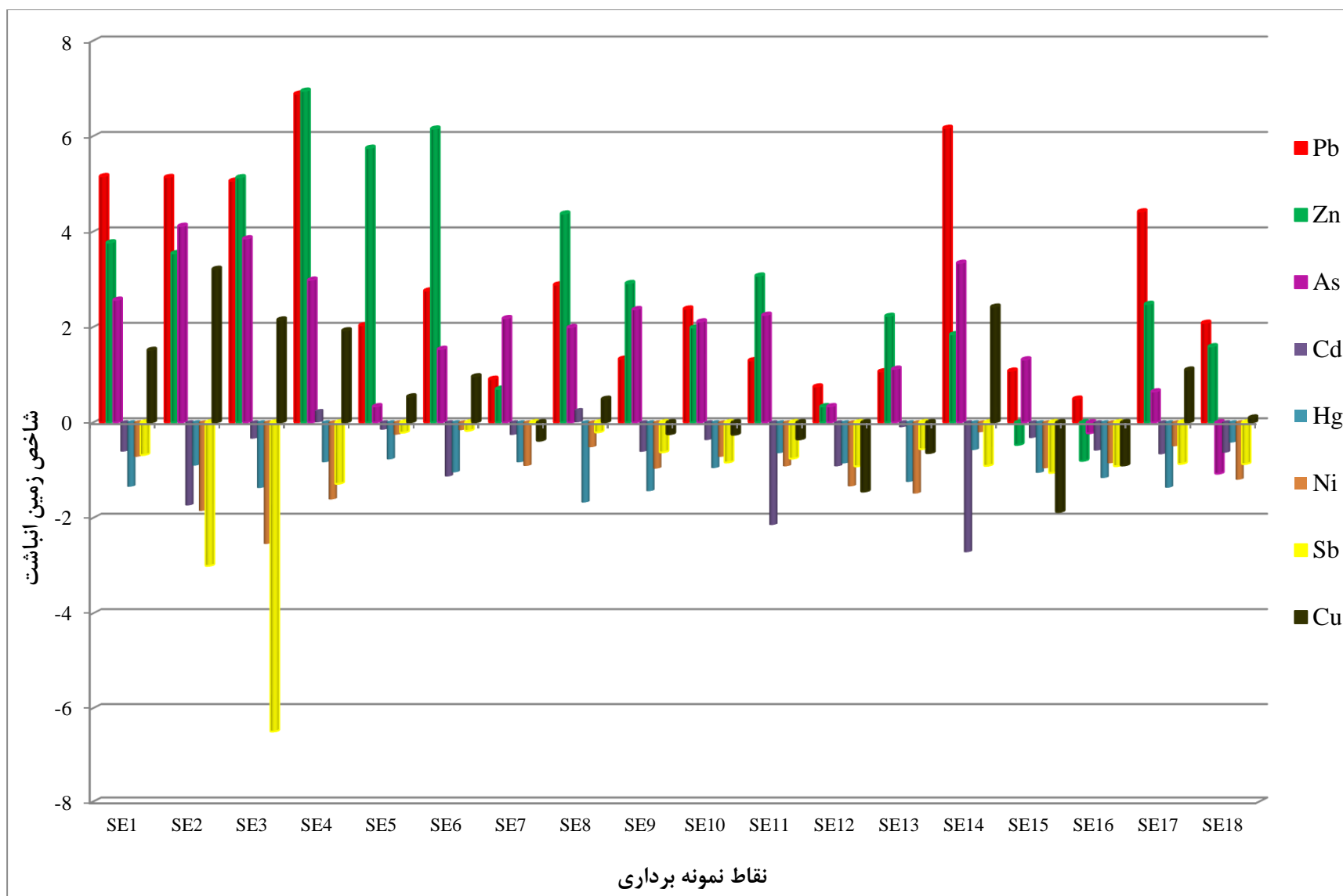
جدول ۶-۱۱- شاخص زمین‌انباشت رسوبات منطقه مورد مطالعه

| | Cu | Sb | Hg | Ni | Cd | As | Zn | Pb | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------------------|
| | ۱/۵۲ | -۰/۶۸ | -۱/۳۵ | -۰/۷۲ | -۰/۶۱ | ۲/۵۷ | ۳/۷۷ | ۵/۱۶ | SE ₁ |
| | ۳/۲۱ | -۳/۰۱ | -۰/۹۱ | -۱/۸۶ | -۱/۷۴ | ۴/۱۲ | ۳/۵۵ | ۵/۱۴ | SE ₂ |
| | ۲/۱۵ | -۶/۵۰ | -۱/۳۸ | -۲/۵۵ | -۰/۳۴ | ۳/۸۵ | ۵/۱۳ | ۵/۰۶ | SE ₃ |
| | ۱/۹۳ | -۱/۲۹ | -۰/۸۴ | -۱/۶۲ | ۰/۲۳ | ۲/۹۹ | ۶/۹۵ | ۶/۸۹ | SE ₄ |
| | ۰/۵۴ | -۰/۲۲ | -۰/۷۷ | -۰/۲۶ | -۰/۱۵ | ۰/۳۴ | ۵/۷۵ | ۲/۰۴ | SE ₅ |
| | ۰/۹۶ | -۰/۱۸ | -۱/۰۵ | -۰/۱۶ | -۱/۱۴ | ۱/۵۴ | ۶/۱۵ | ۲/۷۶ | SE ₆ |
| | -۰/۳۹ | -۰/۰۴ | -۰/۸۴ | -۰/۹۱ | -۰/۲۶ | ۲/۱۸ | ۰/۷۰ | ۰/۹۱ | SE ₇ |
| | ۰/۴۹ | -۰/۲۱ | -۱/۶۸ | -۰/۵۲ | ۰/۲۵ | ۱/۹۹ | ۴/۳۷ | ۲/۸۹ | SE ₈ |
| | -۰/۲۵ | -۰/۶۳ | -۱/۴۴ | -۰/۹۷ | -۰/۶۱ | ۲/۳۷ | ۲/۹۲ | ۱/۳۳ | SE ₉ |
| | -۰/۲۶ | -۰/۸۴ | -۰/۹۶ | -۰/۷۲ | -۰/۳۷ | ۲/۱۱ | ۱/۹۹ | ۲/۳۸ | SE ₁₀ |
| | -۰/۳۶ | -۰/۷۶ | -۰/۶۵ | -۰/۹۲ | -۲/۱۵ | ۲/۲۵ | ۳/۰۷ | ۱/۳۰ | SE ₁₁ |
| | -۱/۴۵ | -۰/۹۲ | -۰/۸۶ | -۱/۳۴ | -۰/۹۲ | ۰/۳۴ | ۰/۳۴ | ۰/۷۵ | SE ₁₂ |
| | -۰/۶۴ | -۰/۵۶ | -۱/۲۵ | -۱/۴۹ | -۰/۱۰ | ۱/۱۲ | ۲/۲۳ | ۱/۰۷ | SE ₁₃ |
| | ۲/۴۲ | -۰/۹۱ | -۰/۵۸ | -۰/۲۱ | -۲/۷۲ | ۳/۳۴ | ۱/۸۵ | ۶/۱۷ | SE ₁₄ |
| | -۱/۸۸ | -۱/۰۶ | -۱/۰۶ | -۰/۹۶ | -۰/۳۳ | ۱/۳۲ | -۰/۴۷ | ۱/۰۸ | SE ₁₅ |
| | -۰/۹۰ | -۰/۹۲ | -۱/۱۷ | -۰/۸۶ | -۰/۵۹ | -۰/۲۳ | -۰/۸۱ | ۰/۴۹ | SE ₁₆ |
| | ۱/۱۰ | -۰/۸۷ | -۱/۳۷ | -۰/۵۰ | -۰/۶۷ | ۰/۶۵ | ۲/۴۸ | ۴/۴۲ | SE ₁₇ |
| | ۰/۱۰ | -۰/۸۷ | -۰/۴۲ | -۱/۲۰ | -۰/۶۴ | -۱/۰۷ | ۱/۵۹ | ۲/۰۸ | SE ₁₈ |
| | ۰/۴۶ | -۱/۱۴ | -۱/۰۳ | -۰/۹۹ | -۰/۷۲ | ۱/۷۶ | ۲/۸۶ | ۲/۸۸ | Mean |



متوسط شاخص زمین‌انباشت در رسوبات منطقه

نمونه SE₂ آلودگی شدید تا بی‌نهایت و نمونه‌های SE₃ و SE₁₄ آلودگی شدید به آرسنیک را نشان می‌دهد. نمونه‌های SE₄ و SE₈ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و بقیه نمونه‌ها در محدوده بدون آلودگی با کادمیم می‌باشند. تمام رسوبات منطقه نسبت به نیکل، جیوه و آنتیموان براساس شاخص زمین‌انباشت فاقد آلودگی می‌باشند. نمونه SE₂ آلودگی شدید و نمونه‌های SE₃ و SE₁₄ آلودگی متوسط تا شدید به مس را نشان می‌دهند.



شکل ۶-۲۶- شاخص مقادیر زمین‌انباشت عناصر در رسوبات منطقه

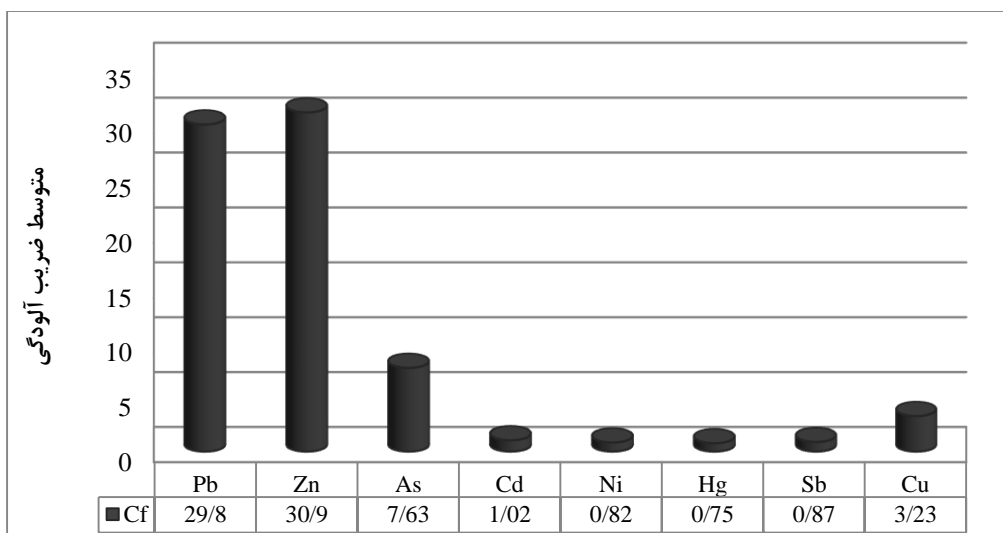
۶-۸-۳- ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده

ضریب آلودگی بر اساس رابطه ۴-۵ محاسبه گردید. در جدول ۱۲-۶ مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی عناصر مورد نظر آورده شده است. میانگین ضریب آلودگی عناصر Cu, Sb, Hg, Ni, Cd, As, Zn, Pb و رسوبات منطقه مورد مطالعه در شکل ۶-۲۷ نشان داده شده است.

جدول ۱۲-۶- مقادیر ضریب آلودگی عناصر مورد مطالعه در رسوبات منطقه

| mCd | Cu | Sb | Hg | Ni | Cd | As | Zn | Pb | |
|------|------|------|-----|-----|------|-------|--------|--------|---------|
| ۱۱/۳ | ۴/۳ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۸/۹۰ | ۲۰/۴۶ | ۵۳/۵۳ | SE1 |
| ۱۴/۱ | ۱۳/۹ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۲۶/۰۱ | ۱۷/۵۲ | ۵۲/۸۷ | SE2 |
| ۱۶/۶ | ۶/۷ | ۰/۰۲ | ۰/۶ | ۰/۱ | ۱/۲ | ۲۱/۷۰ | ۵۲/۶۹ | ۵۰/۱۷ | SE3 |
| ۴۸ | ۶/۷ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۱/۸ | ۱۱/۸۹ | ۱۸۵/۲۴ | ۱۷۷/۶۲ | SE4 |
| ۱۲/۱ | ۲/۲ | ۱/۳ | ۰/۹ | ۱/۳ | ۱/۳ | ۱/۸۹ | ۸۰/۸۳ | ۶/۱۵ | SE5 |
| ۱۶ | ۲/۹ | ۱/۳ | ۰/۷ | ۱/۳ | ۰/۷ | ۴/۳۵ | ۱۰۶/۸۰ | ۱۰/۱۷ | SE6 |
| ۲/۲ | ۱/۱ | ۱/۵ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۱/۲ | ۶/۸۱ | ۲/۴۴ | ۲/۸۲ | SE7 |
| ۶/۹ | ۲/۱ | ۱/۳ | ۰/۵ | ۱ | ۲/۲ | ۵/۹۸ | ۳۱/۱۲ | ۱۱/۱۱ | SE8 |
| ۳/۴ | ۱/۳ | ۱/۱ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱/۱ | ۷/۷۳ | ۱۱/۳۳ | ۳/۷۸ | SE9 |
| ۳/۱ | ۱/۳ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۹,۰ | ۱/۱ | ۶/۴۹ | ۵/۹۵ | ۷/۸۲ | SE10 |
| ۳/۴ | ۱/۲ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۷/۱۴ | ۱۲/۶۲ | ۳/۶۹ | SE11 |
| ۱/۲ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۱/۸۹ | ۱/۸۹ | ۲/۵۲ | SE12 |
| ۲/۲ | ۱/۱ | ۱ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۱/۴ | ۳/۲۶ | ۷/۰۳ | ۳/۱۵ | SE13 |
| ۱۷/۵ | ۸ | ۰/۸ | ۱ | ۱/۳ | ۰/۲۳ | ۱۵/۲۰ | ۵/۴۱ | ۱۰۸/۰۱ | SE14 |
| ۱/۵ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۱/۱۹ | ۳/۷۳ | ۱/۰۸ | ۳/۱۷ | SE15 |
| ۱ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹۹ | ۱/۲۸ | ۰/۸۶ | ۲/۱۱ | SE16 |
| ۶/۲ | ۳/۲ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۱/۱ | ۰/۹۴ | ۲/۳۵ | ۸/۳۷ | ۳۲/۰۸ | SE17 |
| ۲/۱ | ۱/۶ | ۰/۸ | ۱/۱ | ۰/۷ | ۰/۹۶ | ۰/۷۱ | ۴/۵۲ | ۶/۳۶ | SE18 |
| - | ۳/۲ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۱/۰۲ | ۷/۶۳ | ۳۰/۹۱ | ۲۹/۸۴ | Mean Cf |

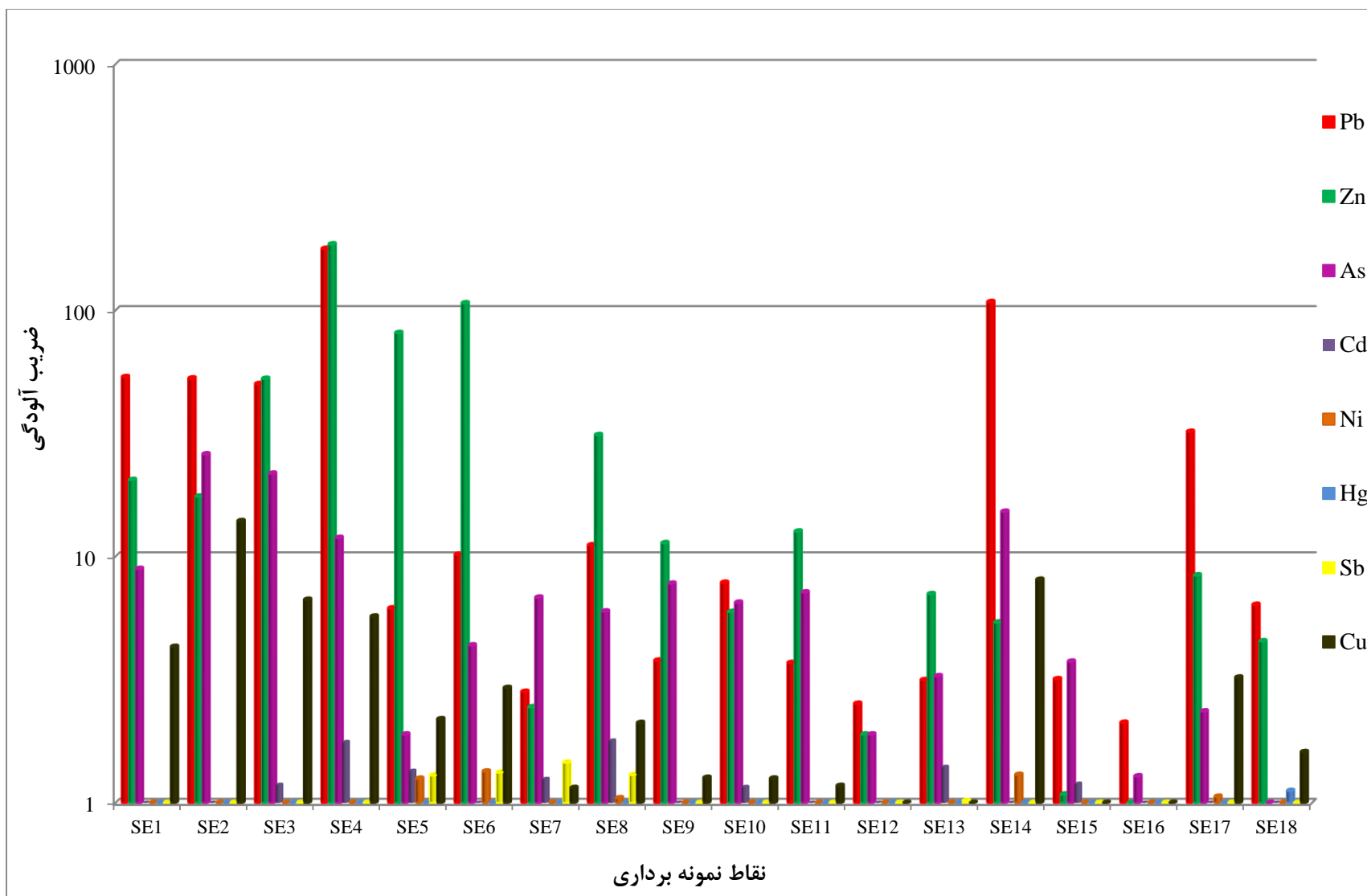
با مقایسه میانگین مقادیر ضریب‌های آلودگی محاسبه شده با طبقه‌بندی میزان آلودگی رسوبات بر اساس ضریب آلودگی (جدول ۵-۱۲) معلوم می‌شود که عناصر سرب، روی و آرسنیک در رسوبات آلودگی بسیار بالا نشان می‌دهند. همچنین رسوبات آلودگی متوسط با کادمیم، آلودگی قابل توجه با مس و آلودگی پایین با نیکل و آنتیموان را نشان می‌دهند.



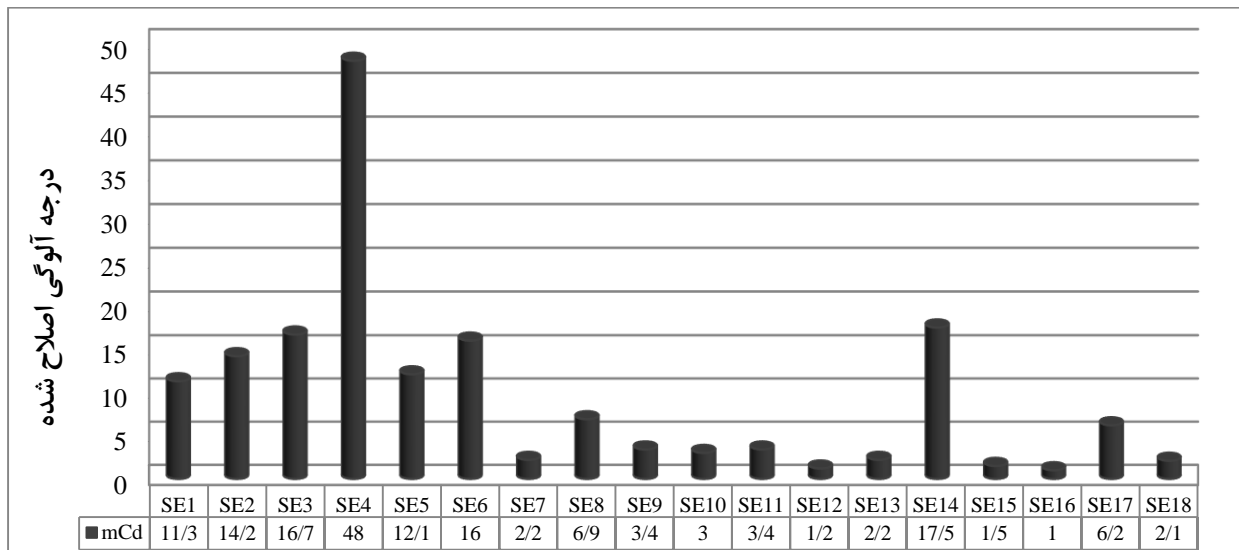
شکل ۶-۲۷- متوسط ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه

در شکل ۶-۲۸ ضریب آلودگی تک تک عناصر در رسوبات نشان داده شده است. نمونه‌های زیر زهاب معدنی و اطراف باطله‌ها نسبت به عناصر Pb، Zn و As آلودگی بسیار بالا نشان داده‌اند. بطور کلی آلودگی رسوبات با فلزات سنگین Pb، Zn، As و Cu در نمونه‌های اطراف محدوده معدنی چه در خاک و چه در رسوبات در مقایسه با مقادیر این عناصر در دیگر نمونه‌های خاک و رسوب، بالاتر بوده که ناشی از تأثیر کانه‌زایی و فعالیت‌های معدنکاری قدیمی در منطقه می‌باشد.

بر اساس نتایج محاسبه درجه آلودگی اصلاح شده (جدول ۶-۱۲) و شکل ۶-۲۹ نمونه SE₄ آلودگی بی‌نهایت بالا دارد. نمونه‌های SE₁، SE₂، SE₃، SE₅، SE₆ و SE₁₄ که از رسوبات زیر زهاب معدنی و در مسیر آبراهه اصلی نزدیک کانه‌زایی و همچنین از پایین دست باطله‌ها برداشت شده‌اند آلودگی خیلی بالا تا شدید نشان می‌دهند. نمونه SE₇ که نمونه شاهد بوده آلودگی متوسط داشته و نمونه SE₈ که از رسوب بعد از اختلاط آبراهه شاهد با آبراهه اصلی برداشت شده است آلودگی بالا دارد. SE₉ تا SE₁₃ در مسیر آبراهه اصلی تا پایین دست حوضه برداشت شده‌اند بیشتر آلودگی متوسط دارند. SE₁₇ که از بالادست روستای آی‌قلعه‌سی و بعد از نمونه‌های SE₁₅ و SE₁₆ و از رسوبات روی بند آب برداشت شده است آلودگی بالا نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲۸- ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه



شکل ۶-۲۹- درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در رسوبات منطقه

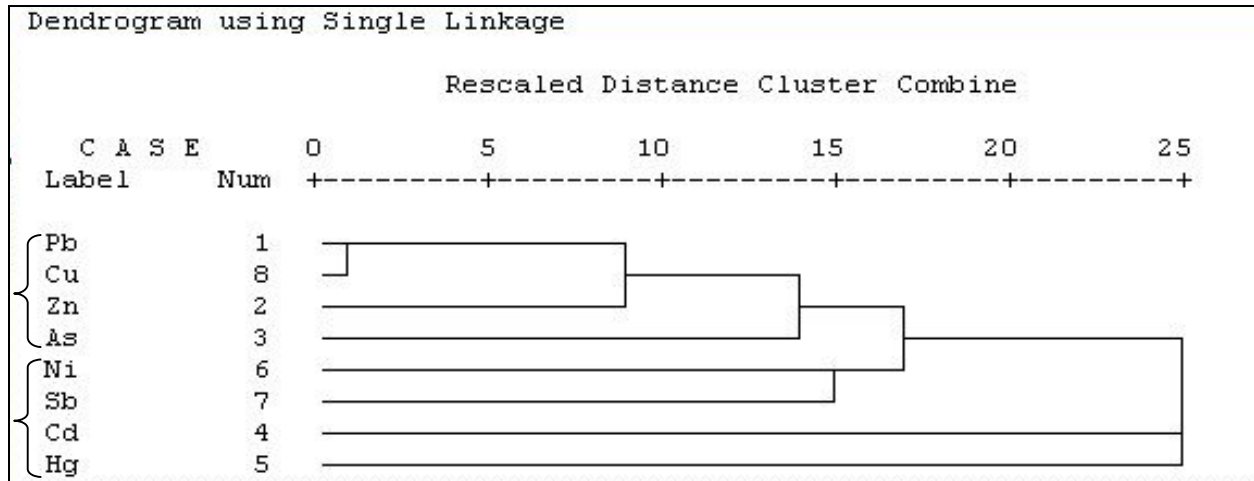
۶-۹- آنالیز خوشه‌ای در رسوبات منطقه

بر اساس نتایج آنالیز خوشه‌ای رسوبات به جز سه نمونه رسوب زیر زهاب معدنی، عناصر مورد بررسی از نظر خواص ژئوشیمیایی و منشأ در دو گروه قرار می‌گیرند. شکل ۶-۳۰ نمودار تحلیل خوشه‌ای و گروه‌بندی عناصر را در رسوبات نشان می‌دهد.

عناصر سرب و روی جزء عناصر کالکوفیل هستند که در کانه‌زایی‌های سرب و روی با هم همراه می‌باشند. با توجه به طبقه‌بندی ژئوشیمیایی عناصر بر اساس رفتار آنها (رده‌بندی گلدشمیت)، تمام عناصر مورد مطالعه به جز نیکل جزء عناصر گوگرد دوست بوده و نیکل سیدروفیل می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز خوشه‌ای عناصر در رسوبات منطقه در دو گروه قرار می‌گیرند:

- "گروه اول: Pb، Zn، Cu و As که روند تغییرات و مقادیر غلظت آنها در رسوبات وابسته به کانه‌زایی سرب و روی است.

- گروه دوم: شامل Ni، Sb، Cd و Hg می باشد که مقادیر و روند تغییرات آنها در رسوبات منطقه وابسته به کانه زایی نمی باشد. شایان ذکر می باشد که این گروه را می توان به دو زیر گروه Cd، Hg و Ni، Sb تقسیم کرد.



شکل ۶-۳۰- نمودار آنالیز خوشه‌ای بین عناصر در رسوبات

فصل ہفتم

نتیجہ گیری و پیشہ داری

۷-۱- مقدمه

مناطق کانه‌زایی و معادن متروکه سرب و روی از جمله منابعی هستند که بر روی کیفیت منابع آب و خاک تأثیر گذاشته و موجبات آلودگی این منابع را به فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی فراهم می‌کنند. کانه‌زایی سرب- روی آی‌قلعه‌سی در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق تکاب و در شمال غربی زون آتشفشانی ارومیه- دختر واقع شده است. در این پژوهش تأثیر کانه‌زایی سرب و روی بر آلودگی خاک، آب و رسوبات در منطقه آی‌قلعه‌سی مورد بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف، بازدید صحرایی از منطقه صورت گرفته، زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ۲۳ نمونه خاک برجا بطور پراکنده از منطقه، ۱۴ نمونه آب و ۱۸ نمونه از رسوبات در مسیر آبراهه متأثر از زهاب معدنی در بالادست منطقه تا خروجی حوضه برای تعیین آلودگی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در این منابع برداشت گردید. تعداد ۴ نمونه خاک حاصل از باطله و ۲ نمونه سنگ باطله از کومه‌های باطله ریخته شده در اطراف معدن متروکه برداشت گردید تا پس از تجزیه شیمیایی، توان آلاینده‌گی آنها نیز مشخص گردد.

نمونه‌های برداشت شده پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور توسط ICP-OES مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته و نتایج آنالیزها برای بررسی آلودگی زیست محیطی ناشی از کانه‌زایی و معدن متروکه در منطقه استفاده گردید. آلودگی آب منطقه در اثر خروج زهاب اسیدی معدن (AMD) برای تعیین اثر آلاینده‌گی زهاب‌ها مورد بررسی قرار گرفت، و در نهایت نقشه پراکنده‌گی فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی در محیط GIS، در منابع آب، خاک و رسوب تهیه گردید. برای تعیین و توصیف آلودگی در خاک و رسوبات منطقه از شاخص‌های ژئوشیمیایی ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، ضریب آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده و همچنین برای تعیین منشأ عناصر مورد بررسی در این منابع از آنالیز خوشه‌ای استفاده شده است.

در این پژوهش به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS 9.3, Aq.QA, Microsoft Office 2010, Chemistry, PHREEQC 2.15.0, SPSS17 استفاده گردید.

۷-۲- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

واحدهای زمین‌شناسی منطقه عمدتاً مارن، مارن ماسه‌ای و آهک‌های مربوط به الیگومیوسن می‌باشند و رخنمون‌های اندکی از واحد تراکی آندزیت بازالتی (شمال غرب محدوده)، سنگهای دگرگونی کرتاسه (شمال منطقه و نزدیک روستای آی‌قلعه‌سی) و واحد تراورتنی که در غرب روستای خان‌کندی قرار گرفته است دیده می‌شود. شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب بوده و آب‌های سطحی موجود در منطقه نیز با تبعیت از توپوگرافی منطقه از شمال به سمت جنوب حوضه جریان دارند. کانه‌زایی سرب و روی آی‌قلعه‌سی در شمال غربی روستای آی‌قلعه‌سی و بخش شمالی محدوده مورد مطالعه واقع شده و در امتداد گسل اصلی منطقه که روند آن از شمال شرق به سمت جنوب غرب می‌باشد رخ داده است. کانیهای اصلی رگه معدنی شامل اسفالریت، گالن، پیریت و کالکوپیریت بوده که با توجه به فراوانی اسفالریت در رگه معدن، عنصر روی فراوانی بیشتری در منطقه دارد.

منابع آب منطقه عمدتاً سطحی بوده و تنها دو چشمه که منبع آشامیدن روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی می‌باشند به عنوان آب زیرزمینی در منطقه وجود دارد. آبراهه پشت دره که آبراهه اصلی منطقه مورد مطالعه بوده و از کوه‌های قره‌گل واقع در بخش‌های شمالی و خارج از حوضه مورد مطالعه سرچشمه می‌گیرد. پس از اتصال شاخه‌های مختلف در داخل حوضه مورد بررسی که یکی از آنها آبراهه‌ای می‌باشد که از محل معدنکاری و زون کانه‌زایی شروع شده و زهاب معدنی در آن جریان دارد به سمت پایین‌دست منطقه جریان داشته و پس از عبور از کنار روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی، از حوضه مورد بررسی خارج می‌شود.

۷-۳- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت خاک منطقه

pH خاک حاصل از باطله‌ها در بازه ۳/۸۹ تا ۴/۴۰ قرار گرفته که می‌تواند به دلیل حضور کانیهای سولفیدی باشد. کمترین میزان pH خاک برجای منطقه ۷ و بیشترین مقدار آن ۸/۸۰ می‌باشد که با توجه به جنس واحدهای زمین‌شناسی منطقه که عمدتاً مارن، مارن ماسه‌ای و آهکی می‌باشند قابل توجیه است.

همانطور که نتایج نشان داده است مواد آلی خاک برجا و خاک حاصل از باطله‌ها کم بوده که به دلیل پوشش گیاهی کم و نبود فعالیت کشاورزی در منطقه می‌باشد. مقادیر مواد آلی خاک حاصل از باطله‌ها بیشتر از خاک برجای منطقه می‌باشد که می‌تواند به دلیل فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک حاصل از باطله‌ها باشد.

بافت خاک منطقه با توجه به گسترش واحدهای آهکی و مارنی و توپوگرافی خشن منطقه درشت دانه و از نوع ماسه‌ای و ماسه لومی می‌باشد. نمونه‌های خاک برجای منطقه، هدایت الکتریکی کم و تقریباً یکنواختی را نشان می‌دهند. EC خاک حاصل از باطله‌ها مقادیر متفاوتی داشته و میانگین هدایت الکتریکی در آنها بالاتر از میانگین EC در نمونه‌های خاک برجای منطقه می‌باشد.

CEC در خاک برجای منطقه با توجه به مقادیر اندک رس و مواد آلی در خاک کم بوده و در محدوده بین ۱۰-۱ meq/100gr (خاک‌های ماسه‌ای و ماسه لومی) تغییر می‌کند.

بیشترین همبستگی پارامترها با فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی مورد بررسی در خاک برجای منطقه، بین اکسیدهای آهن و منگنز و عناصر Cu، As، Zn، Pb و Sb مشاهده می‌شود. عناصر Zn، Pb و Cu با توجه به رفتار ژئوشیمیایی و همراهی آنها با هم در کانه‌زایی سرب و روی، همبستگی مثبت نشان می‌دهند.

در نمونه‌های سنگ باطله غلظت سرب و روی بیشتر از ۱۰۰۰۰ mg/kg و مس ۸۳۰۱/۹ mg/kg می‌باشد که با توجه به رها شدن توده‌های باطله در محیط بدون هیچ حفاظی می‌توانند اثرات مخربی از نظر آلودگی منابع

آب و خاک در منطقه برجای بگذارند. بالاترین غلظت عناصر در خاک حاصل از باطله‌ها مربوط به عناصر Pb, Zn, As و Cu می‌باشد که میانگین غلظت آنها به ترتیب برابر با ۹۱۸۷/۲، ۹۳۹۲/۳، ۶۳۰/۸ و ۱۰۰۵/۹ است.

مقادیر بالای سرب، روی، آرسنیک و مس در خاک برجای منطقه در نمونه‌ای که در امتداد رگه معدنی برداشت شده (S₂) به ترتیب (۲۹۱۴/۹، ۱۱۱۴۰/۹، ۴۸۱/۹ و ۱۵۱۶/۲ mg/kg) می‌باشد. در شرق روستای آی‌قلعه‌سی که احتمالاً آنومالی دیگر سرب و روی در منطقه می‌باشد (S₁₇ و S₁₈) غلظت‌های بالای Pb, Zn, As و Cu نسبت به متوسط خاک جهانی و زمینه منطقه قابل مشاهده است.

Cd و Hg در کل خاک‌های منطقه مقادیر یکنواخت و بالاتر از متوسط خاک جهانی دارند. غلظت Sb در کل خاک‌های منطقه بالا بوده با کانه‌زایی رخ داده در منطقه (در نمونه S₂) غلظت آن بالاتر رفته است. غلظت میانگین نیکل در خاک حاصل از باطله‌ها (۱۴/۸ mg/kg) کمتر از غلظت میانگین این عنصر در خاک برجای منطقه (۵۶/۴ mg/kg) بوده که نشان دهنده وابسته نبودن غلظت این عنصر به کانه‌زایی سرب و روی می‌باشد.

بر اساس ضریب غنی‌شدگی، خاک حاصل از باطله‌ها نسبت به Pb, Zn و As غنی‌شدگی بی‌نهایت و نسبت به Cu غنی‌شدگی متوسط تا بسیار بالا دارند. خاک برجای اطراف زون کانه‌زایی با توجه به نتایج ضریب غنی‌شدگی، نسبت به Pb, Zn, As و Cu غنی‌شدگی بالا تا بی‌نهایت دارند. Cd و Hg در خاک حاصل از باطله‌ها و خاک برجای منطقه غنی‌شدگی یکنواخت و پایین، Ni در خاک حاصل از باطله‌ها بدون غنی‌شدگی و در خاک برجای منطقه غنی‌شدگی متوسط نشان می‌دهند. Sb در خاک باطله نسبت به خاک برجای منطقه غنی‌شدگی بیشتر داشته که نشان دهنده تأثیر کانه‌زایی بر غنی‌شدگی آن می‌باشد.

بر اساس شاخص زمین‌انباشت عناصر Pb, Zn, As و Cu در خاک حاصل از باطله آلودگی بی‌نهایت را نشان می‌دهند. Cd هم در خاک حاصل از باطله‌ها و هم خاک برجای منطقه بدون آلودگی می‌باشد. نمونه‌های خاک

برجای اطراف زون کانه‌زایی برای عناصر Pb ، Zn ، As و Cu آلودگی متوسط تا شدید و در برخی موارد بی‌نهایت را نشان می‌دهند.

بالاترین ضریب آلودگی عناصر Pb ، Zn ، As و Cu در خاک برجای منطقه مربوط به نمونه‌ای می‌باشد که در امتداد رگه معدنی و بالادست آن (S_2) برداشت شده است. ضریب آلودگی خاک حاصل از باطله‌ها برای عناصر Pb ، Zn ، As و Cu بالاتر از ضریب آلودگی این عناصر در خاک برجای منطقه می‌باشد. بر اساس ضریب آلودگی اصلاح شده تمام نمونه‌های خاک حاصل از باطله آلودگی بی‌نهایت و خاک برجای منطقه در امتداد رگه معدنی (S_2) آلودگی بی‌نهایت، در نزدیکی محدوده معدنی (S_3 و S_4) آلودگی بالا تا خیلی بالا و در منطقه مشکوک به آنومالی (S_{17}) آلودگی بشدت بالا را دارا می‌باشد.

نتایج آنالیز خوشه‌ای همبستگی بین عناصر Pb ، Zn و Cu را تأیید کرده و منشأ یکسان آنها (کانه‌زایی) را در خاک تأیید می‌کند.

۷-۴- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت آب و رسوبات منطقه

pH نمونه‌های آب و رسوبات زیر زهاب معدنی (W_1 ، W_2 ، W_3 و SE_1 ، SE_2 ، SE_3 ، SE_4) در محدوده اسیدی قرار گرفته و با افزایش فاصله از معدن (حدود ۲ کیلومتر) با توجه به وجود واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی از اسیدیته آنها کاسته شده است.

EC نمونه‌های زهاب معدنی بالا بوده و با افزایش فاصله از زهاب EC کاهش یافته و تنها در نمونه‌های نزدیک روستاهای موجود در منطقه به دلیل تأثیر عوامل بشرزاد افزایش EC قابل مشاهده است.

با توجه به pH آبهای منطقه در نمونه‌های زهاب کربنات و بی‌کربنات وجود نداشته و با بالا رفتن pH آب‌های منطقه بی‌کربنات افزایش می‌یابد. کلرید آب‌های منطقه بسیار پایین بوده و تنها در نمونه‌های تحت تأثیر فاضلاب‌های روستایی مقادیر این آنیون افزایش می‌یابد که نقش فعالیت‌های انسانی را در این افزایش بیان

می‌کند. آنیون غالب در نمونه‌های زهاب معدنی سولفات بوده که دلیل آن وجود کانیهای سولفیدی گالن، اسفالریت و پیریت می‌باشد. افزایش سولفات در نمونه‌های نزدیک روستاهای آی‌قلعه‌سی و خان‌کندی تأثیر فعالیت‌های انسانی را منعکس می‌کند. کاتیون‌های غالب در آب منطقه با توجه به گسترش واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی در منطقه کلسیم و منیزیم می‌باشند.

تیپ آب‌های منطقه در نمونه‌های زهاب معدنی و نمونه‌های نزدیکی روستاهای محدوده مورد مطالعه سولفات کلسیک بوده و با کاهش سولفات، به بی‌کربناته کلسیک تبدیل می‌شود. از نظر سختی آب‌های منطقه سخت تا کاملاً سخت می‌باشند که متأثر از واحدهای مارنی، مارن ماسه‌ای و آهکی موجود در منطقه می‌باشد.

آب‌های منطقه به‌جز نمونه‌های زهاب معدنی، از نظر شرب بر اساس دیاگرام شولر خوب تا قابل قبول بوده و از نظر کشاورزی (دیاگرام ویلکاکس)، در گروه‌های خوب و متوسط قرار می‌گیرند.

بر اساس نمودار گیبس، عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب‌های منطقه، هوازدگی سنگها می‌باشد.

از نظر شاخص اشباع شدگی، تمام نمونه‌های آب منطقه نسبت به انیدریت، هالیت و ژیپس زیر اشباع بوده و با افزایش فاصله از معدن از نمونه شاهد به بعد تقریباً آب‌های منطقه نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع می‌باشند.

بافت رسوبات منطقه با توجه به مقادیر رس پایین و زمین‌شناسی منطقه گراول ماسه‌ای و گراول ماسه‌ای گلی می‌باشد.

بطور کلی به دلیل پوشش گیاهی و تأثیر کم فعالیت‌های بشرزاد (کشاورزی) مواد آلی رسوبات کم بوده و در محدوده بین ۰/۲۸ تا ۱/۶۱٪ تغییر می‌کند. بالا بودن مواد آلی رسوبات زیر زهاب معدنی نسبت به دیگر نمونه‌ها را می‌توان مانند نمونه‌های خاک به فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های مؤثر در اکسیداسیون کانیهای سولفیدی نسبت داد.

CEC با توجه به کم بودن مواد آلی و کانیهای رسی در رسوبات منطقه کم می باشد.

EC و TDS با یونهای سولفات، کلسیم و منیزیم همبستگی بالا داشته، pH با هیچکدام از پارامترها به جز کربنات همبستگی نشان نداده و سدیم و پتاسیم با کلر همبستگی بالا نشان می دهند. کلسیم با منیزیم به دلیل گسترش سازندهای کربناته در منطقه همبستگی بالا دارد.

در رسوبات سرب و روی با مس همبستگی بالا نشان می دهد. اکسید آهن با سرب و روی همبستگی بالا و اکسید منگنز با نیکل و آنتیموان همبستگی بالا نشان داده است.

بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی فلزات سنگین در نمونه های زهاب اسیدی معدن غلظت Zn و Cd با توجه به استاندارد خروجی فاضلاب بیشتر می باشد.

در آب های سطحی و آشامیدنی منطقه غلظت Sb در تمام نمونه ها بالاتر از مقادیر پیشنهادی WHO, 2011 می باشد، بنابراین این آب ها آلوده به آنتیموان می باشند. غلظت عناصر Zn, Pb, As و Cd در اغلب نمونه های نزدیک به زهاب معدن (W₄ و W₅) بالا بوده و با دور شدن از معدن غلظت این عناصر کاهش می یابد. آب های منطقه آلوده به جیوه نمی باشند.

بالاترین غلظت فلزات در رسوبات منطقه مربوط به عناصر Zn, Pb, As و Cu می باشد که در نمونه های زیر زهاب معدنی (SE₁, SE₂ و SE₃) و پایین دست باطله ها (SE₁₄) مشاهده می شود. عناصر Cd, Ni, Hg و Sb در رسوبات پراکندگی یکنواخت داشته و غلظت آنها وابسته به کانه زایی سرب و روی نمی باشد.

بر اساس نتایج مربوط به بار فلزی آب های منطقه، نمونه های زهاب معدنی در محدوده اسیدی با بار فلزی خیلی زیاد، نمونه های در امتداد آبراهه زهاب معدنی (W₄ و W₅) در بخش نزدیک به خنثی با بار بالای فلزی و دیگر نمونه های آب منطقه که شامل آب آشامیدنی روستاهای آی قلعه سی و خان کندی نیز می باشند در بخش خنثی با بار پایین فلزی قرار می گیرند.

محاسبات ضریب غنی‌شدگی رسوبات زیر زهاب معدنی و پایین‌دست باطله‌ها نسبت به Zn، Pb و As غنی‌شدگی بی‌نهایت و نسبت به Cu غنی‌شدگی قابل توجه نشان می‌دهند. این رسوبات نسبت به Ni، Hg، Cd و Sb بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک می‌باشند.

بر اساس شاخص زمین‌انباشت عناصر Zn و Pb در رسوبات زیر زهاب معدنی و پایین‌دست باطله‌ها آلودگی بی‌نهایت و As آلودگی شدید نشان می‌دهد.

ضریب آلودگی عناصر Zn، Pb و As در نمونه‌های زیر زهاب معدنی و پایین‌دست باطله‌ها بسیار بالا بوده و بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده نمونه‌های زیر زهاب معدنی، نمونه‌های در مسیر آبراهه بعد از زهاب و پایین‌دست باطله‌ها آلودگی خیلی بالا تا بی‌نهایت دارند.

با توجه به نتایج آماری در مورد رسوبات عناصر مورد بررسی از نظر منشأ در سه دسته قرار می‌گیرند. که عناصر سرب، روی، آرسنیک و مس در گروه اول بوده و وجود آنها در منطقه وابسته به کانه‌زایی می‌باشد.

۷-۵- پیشنهادها

- ایجاد حصار در اطراف زهاب خروجی معدن برای جلوگیری از استفاده دامها و حیوانات وحشی موجود در منطقه با توجه به اینکه شغل اصلی مردم منطقه دامداری می‌باشد.
- بر اساس بازدیدهای صحرایی صورت گرفته از منطقه و شروع کارهای اکتشافی از معدن به صورت روبار از تابستان ۱۳۹۱، حجم مواد باطله بیشتر شده، بنابراین لازم است که این باطله‌ها تثبیت شده تا از طریق باد در محیط پخش نگردند.
- مطالعات گسترده برای تعیین میزان آلودگی گیاهان منطقه به فلزات سنگین که مورد استفاده دامها قرار می‌گیرند صورت گیرد.
- مطالعات زمین‌پزشکی بر روی دامها که از گیاهان و آب منطقه استفاده می‌کنند صورت گیرد.
- با توجه به غلظت بالای برخی عناصر همچون Cd و Sb در منابع آب آشامیدنی و آب‌های سطحی منطقه و همچنین غلظت بیشتر از استاندارد سرب در آب آشامیدنی روستای خان‌کندی مطالعات زمین‌پزشکی بر روی اهالی روستاها صورت گیرد.

منابع

منابع فارسی

- استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، ۱۳۸۸) "آب آشامیدنی- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی" تجدید نظر پنجم، ص ۱-۲۶.
- افتخار نژاد ج، (۱۳۵۹) "تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی" نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۰.
- آقنابتی ع، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۵۸۶.
بانک اطلاعات معادن متروکه ایران، (۱۳۹۰)
- بنی آدم ف. و باباخانی ع. ر، (۱۳۸۲) "گزارش بررسی مناطق امید بخش معدنی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب(زون شاهیندژ- ماه‌نشان)" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۱۵.
- حاج علیلو ب، و وثوق ب، (۱۳۹۰) "زمین‌شناسی پزشکی" چاپ دوم، انتشارات پیام نور، ص ۲۵۵.
- حسینی پاک ع. ا، (۱۳۸۹)، "زمین‌آمار (ژئواستاتیس‌تیک)"، چاپ سوم، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۱۴.
- حسینی ی. همایی م. کریمیان ن. ع. و سعادت س. (۱۳۸۷) "اثرات فسفر و شوری بر رشد، غلظت عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در کلزا (*Brassica napus* L.) پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، شماره ۴، ص ۱-۱۸.
- حیدری ا، (۱۳۷۶) "گزارش بررسی اولیه توان معدنی در محدوده عربشاه- آی‌قلعه‌سی (تکاب)" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۴.
- زراسوندی ع. ر، و حیدری م، (۱۳۹۰) "دیباجه‌ای بر زمین‌شناسی پزشکی" انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص ۲۷۸.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۳۴) "نقشه توپوگرافی عربشاه، ۱:۵۰۰۰۰ (۲۱۶۱)".
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۷۳، "استانداردهای زیست محیطی" پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، ص ۳۶.

سلیمی م. امین م.م. ابراهیمی ا. قاضی فرد ا. نجفی پ. امینی ح. رزمجو پ. و وحید دستجردی م، (۱۳۹۰)
"تأثیر شوری بر گیاه پالایی کادمیم از خاک‌های آلوده" **مجله تحقیقات نظام سلامت**، شماره ۶، سال
۷، ص ۱۱۳۰.

شرکت معدنکاران انگوران، (۱۳۹۱) "آنالیز سه نمونه مختلف کانسنگ معدن سرب و روی آی‌قلعه‌سی"
آزمایشگاه شرکت معدنکاران انگوران.

شیرخانی م، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی روی - سرب و عناصر همراه در
کانسار آی‌قلعه‌سی، جنوب خاوری تکاب"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۶۱.

شینبرگ آی. و اوستر جی. دی، (۱۳۸۳) "کیفیت آب در آبیاری" **علیزاده**، چاپ ششم، انتشارات به نشر،
مشهد، ص ۹۳.

صداقت، م، (۱۳۸۶) "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)" چاپ، ششم، انتشارات پیام نور، تهران، ص
۳۶۸.

عباسپور م، (۱۳۸۲) "مهندسی محیط زیست" جلد اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ص ۵۵۰.
عرفان منش م. و افیونی م، (۱۳۷۹) "آلودگی محیط زیست (آب، خاک و هوا)" انتشارات ارکان، اصفهان، ص
۳۳۰.

عزیزی پ، (۱۳۸۶) "گزارش فعالیتهای اکتشافی محدوده آی‌قلعه‌سی" شرکت معدنکاران انگوران، زنجان،
ص ۱۲۲.

علیزاده ا، (۱۳۷۸) "اصول هیدرولوژی کاربردی" چاپ بیست و هفتم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد،
ص ۸۷۲.

فرهادی ر، (۱۳۹۰) "راهنمای شناسایی و اطلس کانیهای تیره" کتابهای طلایی، تهران، ص ۱۴۱.
فنوندی م. حریری ع. و باباخانی ع. ر، (۱۳۷۹) "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب" سازمان زمین‌شناسی و
اکتشافات معدنی کشور، تهران.

فوٹ اچ. دی. و الیس ب. ج، (۱۳۷۶) "حاصلخیزی خاک"، انتشارات غزل، اصفهان، ص ۳۲۷.
قربانی م، (۱۳۸۱) "دیباجه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران" وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی
و اکتشافات معدنی کشور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۶۵۹.

کرباسی ع. ر و بیاتی ا، (۱۳۸۶) "ژئوشیمی زیست محیطی"، انتشارات کاوش قلم، ص ۲۵۸.

کشاورزی، ع. خرمالی، ف. ایوبی، ش. و فتوت، ا، (۱۳۸۶)، "مطالعه جذب سطحی آلاینده‌های فلزی سرب، کادمیم و مس در دو خاک شور و غیر شور در استان گلستان"، دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، ص ۲۳۷۵، گرگان.

مدنی گیوی م. و قریب ف، (۱۳۸۱) "بررسی‌های دورسنجی به‌منظور شناسایی پتانسیل مواد معدنی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۴۲.
موسوی حرمی ر، (۱۳۸۶) "رسوب‌شناسی"، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۴۷۶.
مهرابی ب. و قاسمی سیانی م، (۱۳۸۹) "کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران" **مجله زمین‌شناسی اقتصادی**، شماره ۱، جلد ۲: ص ۱-۲۰.

مهرابی، ب. مهربانی، ش. رفیعی، ب. یعقوبی، ب. و دانشور، ن، (۱۳۹۰) "بررسی غلظت فلزات سنگین Ni، Zn، Pb، Cu و Cr در خاک‌های محدوده معدن انگوران"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، ص ۷، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نبوی م. ح، (۱۳۵۵) "دیبچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

نوگل سادات م. ع. ا، (۱۳۶۴) "منطقه‌های برشی و خمیدگی ساختاری در ایران. دستاوردهای تحلیل ساختاری ناحیه قم" گزارش شماره ۵۵ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

وهابزاده کبریا ق. براتی م. عشقی ملایری ب. و میرغفاری ن. ا، (۱۳۸۴) "اثرات زیست محیطی فرایندهای استخراج و فراوری معدن سرب و روی آهنگران" پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره سوم، ص ۵۲-۶۳.

هودجی م. و جلالیان ا، (۱۳۸۳) "پراکنش نیکل، منگنز و کادمیم در خاک و محصولات کشاورزی منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، سال هشتم، شماره سوم، ص ۵۵-۶۶.

منابع لاتین

Abraham G. M. S. and Parker R. J. (2008) "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand" **Environmental Monitoring Assessment**, 136, pp 227- 238.

Abraham G. M. S. (2005), PHD. Tesis, "Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand", University of Auckland, Auckland, New Zealand, pp 361.

Alloway B. J. (1995), "**Heavy metal in soils**", 2nd ed, Blackie Acad, London, pp 368.

- Ashley P .M. Lottermoser B. G. Collins A. J. and Grant C. D. (2004) “Environmental geochemistry of the derelict Webbs Consols mine, New South Wales, Australia” **Environmental geology**, 46, pp 591-604.
- 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 T. G., (1993), PHD. Thesis, “Mobility of heavy metal in soils and Tailings at the Hanover and Bullfrog Tailings Sites, Silver City, New Mexico”, New Mexico Institute of Mining and Tecnology Socorro, New Mexico, pp 127.
- Banks D. Younger P. L. Arnesen R. T. Iversen E. R. and Banks Sh. B. (1997) “Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly” **Environmental Geology**, 32, 3, pp 157-174.
- Bergamaschi L. Rizzio E. Valcuvia M. G. Verza G. Profumo A. and Gallorini M. (2002) “Determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in Himalayan lichens” **Environmental Pollution**, 120, 1, pp 137-144.
- Bhattacharya A. Routh J, Jacks. G. Bhattacharya P. and Mörth M. (2006) “Environmental assessment of abandoned mine tailings in Adak, Västerbotten district (northern Sweden)” **Applied Geochemistry**, 21, pp 1760-1780.
- Bowen H.J.M. (1979).”**Environmental Chemistry of the Elements**”, Academic Press, New York, pp 348.
- Caboi R. Cidu R. Fanfani L. Lattanzi P. and Zuddas P (1999) “Environmental mineralogy and Geochemistry of abandoned Pb-Zn Montevecchio-Ingurtosu mining district, Sardinia, Italy” **Chron Rech Minière**, 534, pp 21-28.
- Chon H. T. Ahn J. S. and Jung M. C. (1998) “Heavy metal contamination in the vicinity of some base-metal Mine in Korea; a review” **Geosystem**, 1, 2, pp 74-83.
- da Silva E. F. Zhang C. Pinto L. S. and Reis P. (2004) “Hazard assessment on arsenic and lead in soils of Castromil gold mining area, Portugal” **Applied Geochemistry**, 19, 6, pp 887-898.
- Dayani M. and Mohammadi J. (2010) “Geostatistical assessment of Pb, Zn and Cd contamination in near-surface soil of the urban-mining transitional region of Isfahan, Iran” **Pedosphere**, 20, 5, pp 568-577.
- Detra D. E. (1977) “Delineation of an anomalous lead-zinc area in the Philip Smith Mountains A-2 quadrangle, Alaska” United States Department of the Interior Geological Survey, pp 12.
- Eby G. N. (2004). “**Principles of environmental chemistry**”, University of Massachusetts, Lowell, THOMSON, pp 514.
- Eisler R. (1998) “Copper hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review” Biological Science Report USGS/BRD/BSR-1997-0002, pp 5-146.

- Ficklin W. H. Plumlee G. S. Smith K. S. and McHugh J. B. (1992) “Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas”. In: Kharaka Y.K. and Maest A.S. (eds), **Water-rock interaction**, Balkema, Rotterdam, 7, pp 381-384.
- Filella M. Belzile N. and Chen Y. W. (2002) “Antimony in the environment: a review focused on natural water II. Relevant solution chemistry” **Earth-Science Reviews**, 59, pp 265-285.
- Folk R.L. (1954) “The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature” **Journal of Geology**, 62, 4, pp 344-359.
- Ghildiyal H. Kumar R. and Gupta L.N. (2000) “Mineralogy and genesis of sulphide ore mineralization in the chamri area, Lesser Himalaya, Indian” **Bull. Ind. Geol. Assoc**, 33, 1, pp 23-34.
- Gibbs R. J. (1970) “Mechanisms controlling world water chemistry” **Science**, 170, 1088-1090.
- Gonzalez-Fernandez O. Queralt I. Manteca J. I. Garcia G. and Carvalho M. L. (2011) “Distribution of metals in soils and plants around mineralized zones at Cartagena-La Unión mining district (SE, Spain)” **Environmental Earth Science**, 63, pp 1227-1237.
- Habes G. and 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 approach” **Water Research**, 14, 8, pp 975-1001.
- Harmsen K., (1977), PHD. Thesis, “**Behaviour of heavy metal in soils**”, Centre for Agric. Publications and Documents, Wageningen, pp 170.
- Hedenquist J. W. Arribas A. and Gonzalez-Urien E. (2000) “Exploration for epithermal gold deposits” **Reviews in Economic Geology**, 13, pp 245-277.
- Henry D. (1923). “**Fundamental of Soil Science**”, 8rd edn, Wiley, pp 384.
- Hernandez L. Probst A. Probst J. L. and Ulrich E. (2003) “Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination” **The Science of the Total Environment**, 312, pp 195–219
- Hofmann T. and Schuwirth N. (2008) “Zn and Pb release of sphalerite (ZnS)- bearing mine waste tailings” **Journal of Soils and Sediments**, 8, pp 433-441.
- Hounslow A. W. (1995), “**Water Quality Data: Analysis and Interpretation**”, 1 ed, Lewis Publishers, pp 397.
- Ikenaka Y. Nakayama S. M. M. Muzandu K. Choongo K. Teraoka H. Mizuno N. and Ishizuka M. (2010) “Heavy metal contamination of soil and sediment in Zambia” **Africa Journal of Environmental Science and Technology**, 4, 11, pp 729-739.
- Kabata-Pendias A. (2011). “**Trace Elements in Soils and Plants**” 4rd ed, CRC Press, Boca Raton, pp 534.

- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. B. (2007). “**Trace Elements from Soil to Human**”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 561.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H. (2001). “**Trace elements in soils and plants**” 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, pp 413.
- Keskin T. and Toptaş E. (2012) “Heavy metal pollution in the surroundingg ore deposits and mining activity: a case stady from Koyulhisar (Sivas-Turkey)” **Evviron Earth Science**, 67, pp 859-866.
- Kim J.G. Ko K.S. Kim T. H. Lee G. H. Song Y. Chon C. M. and Lee J. S. (2007) “Effect of mining and geology on the chemistry of stream water and sediment in a small watershed” **Geosciences Journal**, 11, 2, pp 175-183.
- Kim K. K. Kim K. W. Kim I. S. Cheong Y. W. and Min J. S. (2001) “Characteristics of tailings from the closed metal mines as potential contamination source in South Korea” **Environmental Geology**, 41, pp 358-364.
- Kotliński R. (1999). “**Metallogenesis of the world’s ocean against background of oceanic crust eolution**”, Vol. 4, Polish Geological Institute special papers, Polish, pp 5-59.
- Kumpiene J. Lagerkvist A. and Naurice C. (2008) “Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendements- a review” **Waste Manage**, 28, pp 215-225.
- Laxen D. P. H. and Harrison R. M. (1983) “The physio-chemical speciation of selected metal in the treated effluent of a lead-acid battery manufacturer and its effect on metal speciation in the receiving water” **Water Research**, 17, pp 71-80.
- Lee C. H. (2003) “Assessment of contamination load on water, soil and sediment affected by the Kongjujeil mine drainage, Republic of Korea” **Environmental Geology**, 44, pp 501-515.
- 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.
- Lottermoser B. G. (2003). “**Mine wastes: characterization, treatment, and environmental impacts**” Springer-Verlag, pp 277.
- Luoma S. N. (19983) “Bioavailability of trace metals to aquatic organisims- a review” **Science Total Environment**, 28. pp 1-22.
- Malakouti M. and Homaie M. (1994) “**Fertility of arid region soils (Problems & solutions)**”, Tarbiat Modarres Univ.Press. pp 518.
- Miller R. W. and Donahue R. L. (1990). “**Soils: An introduction to soils and plant growth**”, 6 ed, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, pp 768.
- Mmolawa K. B. Likuku A.S. and Gaboutloeloe G. K. (2011) “Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana” **Affrica Journal of Environmental Science and Technology**, 5, 3, pp 186-196.

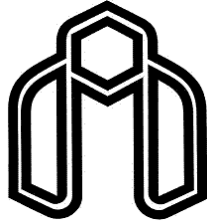
- Müller G. (1969) "Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River" **Geo Journal**, 2, pp 108–118.
- Nganje T. N. Adamu C. I. and Ukpong E. E. (2010) "Heavy metal concentrations in soil and plants in the vicinity of arufu lead-zinc mine, Middle Benue Trough, Nigeria" **Chinese Journal of Geochem**, 29, pp 167-174.
- Nikolaidis C. Zafiriadis I. Mathioudakis V. and Constantinidis T. (2010) "Heavy metal pollution Associated with an abandoned Lead-Zinc mine in the Kirki Region, NE Greece" **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, 85, 3, pp 307-312.
- Nwankwoala H. O. and Udom G. J. (2011). "Hydrochemical facies and ionic ratios of groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria" **Research Journal of Chemical Sciences**, 1, 3, pp 1-15.
- Piper A.M. (1944) "A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis" **American Geophysical Union Transactions**, 25, 914-923.
- Radha K. E. (1993). "**Recovery of method from sludge and waste water**" Noyes Data Corp, Park Ridge, NJ.
- Robert R.S. Hammarstrom J. M. Johnson A. N, Piatak N. M. and Wandless G. A. (2008) "Environmental geochemistry of a Kuroko-type massive sulfide deposit at the abandoned Valzinco mine, Virginia, USA" **Applied Geochemistry**, 23, 320-342.
- Ruiz E. Azcarate J. A Rodriguez L. and Rincon J. (2009) "Assessment of metal availability in soil from a Pb-Zn mine site of south-central Spain" **Soil and Sediment Contamination**, 18, pp 619-641.
- Schoeller D. A. Ravussin E. Schutz Y. Acheson K. I. Baertschi P. and Jequier E. (1986) "Energy expenditure by doubly labelled water: validation and proposed calculation" **American Journal of Physiology**, pp 823-830.
- Seshan B. R. R. Natesan U. and Deepthi K. (2010) "Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India" **Int. J. Environ. Sci. Tech**, 7, 2, 291-306.
- Sipos P. Nemeth T. and Mohai I. (2005) "Distribution and possible immobilization of lead in a forest soil (Luvisol) profile" **Environmental Geochemistry and Health**, 27, pp 1-10.
- Smedley P. L. and Kinniburgh D. G. (2002) "A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural water" **Applied Geochemistry**, 17, 5, pp 517-568.
- Soil Science Society of America. (1997) "Glossary of soil science terms", **Soil Sci. Soc. Am**, Madison, WI.
- Srivastava V. (2011) "Structural control of lead and zinc mineralisation in a part of Tons river valley, Uttarakhand-Himachal Lesser Himalaya" **Journal of Scientific Research**, 55, pp 1-10.

- Stanley Ch. J. and Vaughan D. J. (1981) “Native antimony and bournonite intergrowths in galena from the English Lake District” **Mineralogical Magazine**, 44, pp 257-260.
- Stocklin J, (1968) “Structural history and tectonic of Iran: A review” **Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull**, 52, 7, pp 1229-1258.
- Sutherland R. A. (2000) “Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii” **Environmental Geology**, 39, 6, 611– 627.
- Takeo N. (2005). “**Atlas of Eh-pH diagrams**”, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Research Center for Deep Geological Environments, Geological Survey of Japan Open File Report, 419.
- Todd D.K. and Mays L.W. (2005). “**Ground water hydrology**” 3rd ed, John Wiley and Sons, New York, pp 636.
- Turekian K. K. and Wedepohl K. H. (1961) “Distribution of elements in some major units of the earth's crust” **Geological Society of America Bulletin**, 72, pp 175-192.
- U.S. Dept. of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. (1951) “**Soil Survey Manual**”. U.S. Dept. of Agric. Handb. 18. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC. P. 503 , illus.
- USEPA. (2006) “**Urban storm water preliminary data summary water**” epa. Gov/ scitech/.../ 2006_10_31_ guide_ storm water_usw_b.pdf.
- Vega F. A. Covelo E. F. Andrade M. L. and Marcet P. (2004) “Relationships between heavy metals content and soil properties in minesoils” **Analytica Chimica Acta**, 524, pp 141-150.
- Vega F. A. Covelo E. F. Vazquez J. J. and Andrade L. (2007) “Influence of mineral and organic components on copper, lead, and zinc sorption by acid soils” **Environmental Science and Health**, 42, 14, pp 2167-2173.
- WHO. (2011) “**Guidelines for Drinking-Water Quality**” World Health Organization, 4rd ed, pp 564.
- Wilcox L. V. (1955). “**Classification and Use of Irrigation Waters**”, US Department of Agriculture, Issue 969, Washington D.C. USA. pp 19.
- Zabowski D. Henry C. L. Zheng Z. and Zhang X. (2001) “Mining impacts on trace metal content of water, soil, and stream sediments in the Hei river basin, China” **Water, Air, and Soil Pollution**, 131, pp 261-273.

Abstract

The present research was conducted in order to assess the water and soil contamination by heavy metals and potentially toxic elements due to Ay ghalasi mineralization and abandoned lead-zinc mine. The study area is located 30km southeast of Takab, northwest of Uromia-Dokhtar volcanic zone, Azarbayjan, Iran. Samples included 23 samples from the soil in the site, 4 samples from the tailing soil, 2 samples from the tailing rock, 14 water samples from streams (mine drainage and the Posht-dareh stream) and springs, as well as 18 sediment samples from the bottom of the main stream covering the area from upstream toward the downstream (catchment outlet). The physico-chemical parameters and the concentrations of heavy metals in the samples (using ICP-OES techniques) were determined. Based on the concentrations of elements, type of mineralization, and environmental priorities some elements namely Pb, Zn, As, Cd, Ni, Hg, Sb, and Cu were selected for further investigations. Some softwares were employed to summarize, illustrate, and analyze the collected data including Arc GIS 9.3, SPSS 17, PHREEQC 2.15, and Aq.QA. The geological studies showed that marl, sandy marl, and calcareous marl are widely spread in the region while the mineralization occurred in oligomiocene sandy marl unit along the main fault of the area (northeast-southwest), northwest of Ayghalasi Village. The geochemical studies on tailing soils showed that the concentrations of Pb, Zn, As, and Cu was high and the modified contamination degree was infinite. A comparison between tailing and site soils showed that both contained a uniform, low concentrations of Cd which indicated that the mineralization had no influence on the concentration of Cd. With the same analogy, mineralization had no effect on the concentrations of Ni and Hg. In contrary, concentration of Sb showed to be high in all samples while the mineralization increased Sb in soil samples collected from the nearby mine. In the majority of samples from situ soils, the concentrations of Pb, Zn, As, Ni, and Sb were higher than world soil average and Pb, Zn, and As concentrations had increased in nearby mining zone. The results of tests on drainages (AMD), surface water resources, and drinking water in the region showed that the concentrations of Zn and Cd in the mine drainage were higher than standards for wastewater effluent while they tend to reduce with the distance to the abandoned mining zone. The drinking water resources (springs) in the area was contaminated with Sb. The water type in the area near the mineralization zone, Ayghalasi, and Khankandi was calcic sulphate which is an indication of the effects of mineralization and anthropogenic activities. According to Schuler's diagram, the water resources in the region were in the good to acceptable level. The calculation of saturation index showed that all water samples were under-saturated with regard to anhydrite, halite, and gypsum while they were over saturated by calcite, dolomite, and aragonite. Calculating the metallic load of the water samples showed that the drainage samples were in the acidic range with high metallic load, the surface water near the ore deposit were in neutral range with high metallic load while the rest of samples were in neutral range and low metallic load. The highest concentrations of Pb, Zn, Cu, and As occurred in sediments beneath the mine drains, downstream of the tailing near the main tunnel. Calculation of the mean enrichment factor showed that the sediments in the region were highly enriched with regards to lead and zinc and infinite enrichment with As. According to the mean contamination factor, the sediment in the region are highly contaminated with lead, zinc, and arsenic.

Keywords: Soil contamination, water contamination, heavy metals, Ay ghalasi abandoned lead-zinc mine



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

**Assessment of the effects of lead and zinc mineralization on the soil
and water pollution in Ay ghalasi region, SE Takab**

A. Azarpeykan

Supervisors

Dr. B. Dahrazma

Dr. S. Modabberi

Advisor

A. R. Sayyareh

February 2013