بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات مناطق آلوده به آرسنیک کوهسرخ کاشمر: با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی

دانشجو: سمیرا طبسی

استاد راهنما:

دکتر آرزو عابدی

اساتید مشاور:

دکتر علی اصغر نجف‌پور

محبوبه پرورش

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ماه ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای [illegible] رشته [illegible] گرایش [illegible] تحت عنوان [illegible] که در تاریخ [illegible] ۱۳۸۹ با حضور هیات محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه [illegible] ـ امتیاز [illegible])	☑	دفاع مجدد ☐	مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۸)　　۲ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)

۳ـ خوب (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)　　۴ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ ـ ۱۲)

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر [illegible]	استادیار	
۲ـ استاد مشاور			
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر [illegible]	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکتر [illegible]	دانشیار	
۵ـ استاد ممتحن	دکتر [illegible]	استادیار	

تأیید رئیس دانشکده :

۱۹ /

تقدیم به

خانواده عزیزم

سپاس خدای را عزوجل که توفیق سپاس موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.

شکر و سپاس به درگاه ایزد منان که توفیق سپاس نعم و شکر نعمت و یاری خلاص در راه سپاس نعم و داشتن سبب تمکن نزد اید.

حال که به شکر خدا توفیق اتمام این پایان نامه را داشتم بر خود می دانم که از کلیه اساتید و دوستانی که در مراحل اجرای این پایان نامه مرا یاری

نموده اند، شکر و قدردانی نمایم:

در ابتدا از تمام زحمات اساتید گرانقدر شرکت خانم دکتر عابدی که به عنوان استاد راهنما مرا در مراحل اجرای این پایان نامه هدایت نمودند تمام

تشکر را دارم.

از زحمات شرکت خانم پرورش و جناب آقای دکتر جعفرپور مشاوران این پایان نامه قدردانی می نمایم.

از راهنمایی های شرکت خانم دکتر بی بی سیس پوست و موشکافانه آرم.

از همکاری صمیمانه آقای دکتر فامی، آقای مهندس سیادتی و کلیه پرسنل شبکه بهداشت و درمان شهرستان کاشمر و نوشکر تشکر آرم.

از تلاش ها و زحمات دوستان عزیزم و کلیه پرسنل داشکده مهندسی معدن که در کلیه مراحل اجرای این پایان نامه مرا یاری نموده اند تشکر

می نمایم.

در پایان اشرافی هم که تمام لحظات زندگی خود را مدیون بزرگ منشی های پدرم که طریق زندگی را به من آموخت، بت های بی دریغ

مادرانه برادر ارسدم، لطف بی شائبه خواهر مهربانم و دلگرمی های برادر نوپیم می دانم.

تعهد نامه

اینجانب ..... **سمیرا طبسی** ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته . **مهندسی اکتشاف معدن**

دانشکده **مهندسی معدن،** نشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه/ رساله **مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی نفت و ژئوفیزیک رسوبات مناطق الوده به آرسنیک کوهسرخ** تحت راهنمائی **دکتر آرزو عابدی** ..متعهد می شوم . **کاشمر با نگرشی بر زمین شناسی پزشکی**

- تحقیقات در این پایان نامه/ رساله 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/ رساله 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 / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/رساله ، 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/رساله ، 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 :

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 / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه/ رساله وجود داشته باشد .

چکیده

آرسنیک سومین عنصر سمی و خطرناک موجود در پوسته زمین است که حتی در غلظت‌های پایین تهدید جدی برای سلامت انسان محسوب می‌شود. در این پایان‌نامه آلودگی آرسنیک در منطقه کوهستانی کوهسرخ واقع در ۳۵ کیلومتری شمال کاشمر و ۹۵ کیلومتری جنوب نیشابور، با استفاده از مطالعات ژئوشیمایی، کانی‌شناسی و زمین‌شناسی پزشکی مورد مطالعه قرار گرفته است. مهم‌ترین تشکیلات زمین شناسی این منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی دوران سوم و واحدهای رسوبی متنوع بوده و وجود کانی سازی‌های As, Sb, Au, Hg منجر به بروز غلظت بالای آرسنیک در منابع آب منطقه گردیده است. دراین تحقیق نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای از محل منابع آب با غلظت بالای آرسنیک با هدف شناسایی کانی‌های حامل و یا جاذب آرسنیک و مکانیسم احتمالی آزادسازی آرسنیک در منطقه انجام شده است. مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد عمده کانی‌های موجود در این رسوبات کوارتز، کربنات، رس، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (نظیر مگنتیت، تیتانومگنتیت، هماتیت و گوتیت)، کانی‌های سولفیدی (پیریت و آرسنوپیریت) و کانی‌های سولفیدی در حال تبدیل به اکسید(هیدروکسید)آهن می‌باشد. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی حاکی از غلظت بالای آرسنیک (از ۴/۲ تا ۲۶۸/۲ ppm) در این رسوبات می‌باشد. محاسبه ضریب آلودگی عناصر فلزی نشان می‌دهد که این رسوبات دارای آلودگی آرسنیک، طلا، مس، نیکل، کبالت و جیوه می‌باشند. هم‌چنین در تمامی نمونه‌ها درجه آلودگی فلزی متوسط تا بسیار زیاد می‌باشد. با توجه به شرایط ژئوشیمیایی محیط نمونه‌برداری نظیر pH و شرایط اکسیداسیون، مکانیسم احتمالی آزادسازی آرسنیک در این رسوبات دفع سطحی تحت شرایط قلیایی می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی ، کانی‌های احتمالی جاذب و یا حامل آرسنیک در این رسوبات اکسید (هیدروکسید) های آهن، کانی‌های سولفیدی، کربنات، ژیپس و کانی‌های رسی می‌باشند. غلظت

بالای آرسنیک در آب و رسوبات دو روستای اوندر و چلپو موجب تاثیرات منفی در سلامت اهالی این روستاها شده است. . مطالعات زمین‌شناسی پزشکی نشان می‌دهد بسیاری از مردم ساکن در این دو روستا از انواع بیماری‌های پوستی نظیر کراتوسیس، پیگمنتیشن، ترک کف دست و پا و تحریکات پوستی رنج می‌برند. میزان آرسنیک در ادرار افراد دارا ی بیماری پوستی از ۱۳/۶۶ تا ۷۵/۹۲ میکروگرم در روز اندازه گیری شد که در ۶۰ درصد آن‌ها این میزان بالاتر از حد استاندارد (۵ تا ۴۰ میکروگرم در روز) می‌باشد. بنابر نتایج حاصل از این پایان‌نامه، ارائه راه حل مناسب جهت پاک‌سازی آلودگی آرسنیک از آب و خاک این منطقه و درمان افراد مشکوک به آرسنوسیس ضروری می‌باشد.

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

Tabasi .S, Abedi .A, and Parvaresh .M, (2009), Mineral-geochemical investigation in order to determinate the arsenic bearing mineral in the stream sediments at the Kuhsorkh polluted area, NE Iran, Goldschmidt 2009.Davose, Switzerland.

Tabasi .S, Abedi .A, Njafpour .A, and Parvaresh .M, (2009), Medical geology studies on the arsenic polluted area of kouhsorkh, NE Iran, the 3rd Hemispheric Conference on Medical Geology, Montevideo,Uriuguay.

Tabasi .S, Abedi .A, and Parvaresh .M, (2009), Arsenic contamination of sediments in Khouhsorkh area (North East Iran), Symposium on Mineralogy, Environment and Health, Paris, France.

Tabasi .S, Abedi .A, Banihashemi .M, (2010), Chronic exposure of arsenic and its health effect in Avandar and Chalpu villages of Kouhsorkh area, NE of Iran. The First International Symposium on Medical Geology, Tehran, Iran.

طبسی س ، عابدی آ، (۱۳۸۸)، اکسیدهای آهن (مگنتیت و هماتیت) به عنوان جاذب‌های احتمالی آرسنیک در رسوبات منطقه آلوده کوهسرخ کاشمر، هفدهمین گردهمایی انجمن کانی‌شناسی و بلور شناسی ایران، همدان.

طبسی س ، طبسی س ، (۱۳۸۸)، جلوه های زیبا از فرسایش کنگلومرا و پدیده دودکش جن در کلاته سوراخ سنگ، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

فصل دوم: نمونه‌برداری و روش مطالعه

فصل سوم: مطالعات کانی‌شناسی

فصل چهارم: مطالعات ژئوشیمیایی

فصل پنجم: تاثیرات آرسنیک برسلامت مردم منطقه: با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

منابع و ماخذ

فهرست شکل‌ها

فصل اول: کلیات

فصل سوم: مطالعات کانی‌شناسی

فصل چهارم: مطالعات ژئوشیمیایی

فصل پنجم: تاثیرات آرسنیک برسلامت مردم منطقه: با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی

فهرست جداول

فصل دوم: نمونه‌برداری و روش مطالعه

فصل سوم: مطالعات کانی‌شناسی

فصل چهارم: مطالعات ژئوشیمیایی

فصل پنجم: تاثیرات آرسنیک برسلامت مردم منطقه: با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در این فصل به معرفی منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه می‌پردازیم. در ادامه سابقه فعالیت‌های اکتشافی و زیست محیطی انجام شده در منطقه، هدف از انجام این مطالعه، روش انجام کار و زمین شناسی عمومی منطقه به طور مختصر توضیح داده می‌شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه

منطقه مورد مطالعه در ۳۵ کیلومتری شمال کاشمر و در ۹۵ کیلومتری جنوب نیشابور واقع گردیده است. محدوده مورد مطالعه شامل چندین روستا از بخش کوهسرخ شهرستان کاشمر می‌باشد. این محدوده پهنه‌ای به مختصات جغرافیایی با عرض‌های ′۲۸ °۳۵ تا ′۳۸ °۳۵ شمالی و طول‌های ′۱۸ °۵۸ تا ′۳۳ °۵۸ شرقی را شامل می‌شود که در محدوده جنوب‌شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان و جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن واقع گردیده است.

دسترسی به این منطقه از طریق جاده آسفالته کاشمر – نیشابور میسر می‌باشد. راه‌های ارتباطی بین روستاهای مختلف این ناحیه و منطقه مورد مطالعه در شکل ۱- ۱ مشاهده می‌شود. اکثر این راه‌ها از نوع درجه ۲ و۳ می‌باشد. قابل ذکر است که با توجه به ارتفاعات موجود در منطقه بیشتر مناطق صعب العبور و فاقد راه ارتباطی می‌باشند.

شکل۱-۱: نقشه راه‌های ارتباطی منطقه کوهسرخ (سایت www.ianview.ir)

۱-۳- آب و هوا، پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی منطقه

این ناحیه به علت کوهستانی بودن از نزولات جوی بیشتری نسبت به شهرستان کاشمر برخوردار است. آب و هوای آن معتدل کوهسستانی، زمستان‌های نسبتاً سرد، بارندگی زیاد و هوای مرطوب و تابستانی معتدل دارد. دمای هوا در بیشتر روزهای سال بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه در آن بسیار متغیر و به‌طور متوسط بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر است.

منطقه کوهسرخ از لحاظ پوشش گیاهی نسبتاً غنی بوده و گیاهان دارویی فراوانی به‌صورت پراکنده در آن رشد می‌کنند. در اکثر نقاط آن درختان بادام به صورت خودرو وجود دارند. مهم‌ترین محصول کشاورزی در منطقه بادام است که از نظر تولید بادام در کشور رتبه دوم را دارا می‌باشد. سایر محصولات کشاورزی عبارتند از انگور، زردآلو، انجیر و میوه های تابستانی نظیر هندوانه و طالبی. شایان ذکر است که در گذشته منبع تامین آب کشاورزی در روستاهای منطقه تعداد زیادی قنات بوده است ولی اکنون با پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق برای آبیاری استفاده می‌کنند.

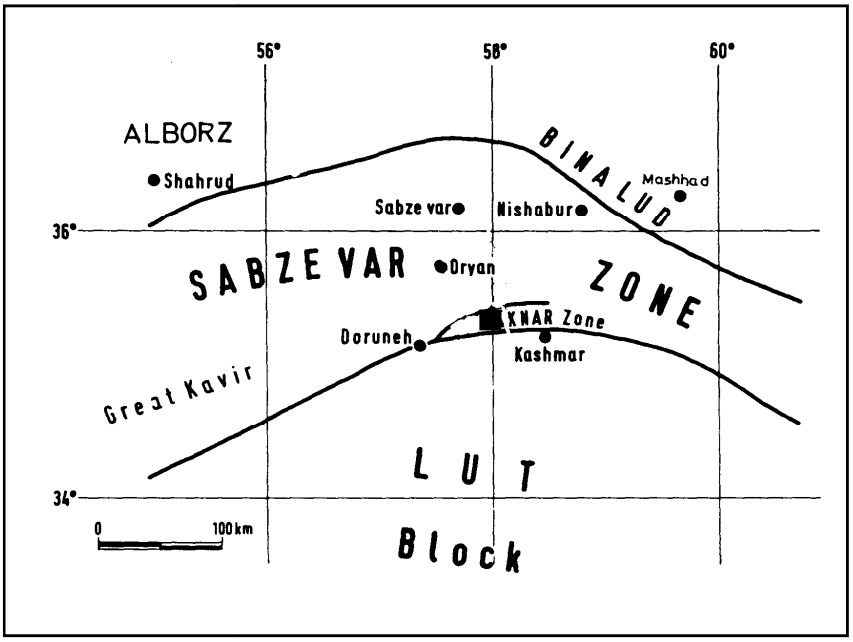
۱-۴- موقعیت زمین‌شناسی منطقه کوهسرخ

منطقه کوهستانی کوهسرخ با مرکزیت ریوش در شمال شرق شهرستان کاشمر واقع می‌باشد. رشته کوه‌های کوهسرخ بلندترین ارتفاعات ناحیه کاشمر محسوب می‌شود. این رشته‌کوه‌ها اغلب دارای سن سنوزوئیک می‌باشند که وجه تسمیه آن به دلیل رنگ قرمز واحدهای پالئوژن می‌باشد (مظلومی،۱۳۷۱).

ناحیه مورد مطالعه با توجه به تقسیم بندی پهنه رسوبی ایران در منتهی الیه شمال شرق زون ایران مرکزی واقع شده است. دو ویژگی عمده این پهنه چین‌خوردگی، دگرگونی، پلوتونیسم شدید مزوزوئیک و فعالیت شدید آتشفشانی سنوزوئیک می‌باشد. در این منطقه مجموعه‌ای از واحدهای آذرین با تنوع ولکانیک – پلوتونیک و واحدهای رسوبی وجود دارد، که تحت تاثیر تکتونیک پویای منطقه قرار گرفته و هم‌زمان با ماگماتیسم کانی‌سازی‌هایی از نوع فلزی و شبه فلزی در آن رخ داده است (آقانباتی،۱۳۸۳).

منطقه مورد مطالعه، زائده باریکی از ناحیه ساختمانی ایران مرکزی به‌شمار می‌آید که در حد فاصل دوگسل درونه و تکنار، حاشیه زون فرورانش و محل برخورد دو زون ساختاری بلوک لوت و سبزوار واقع گردیده است(شکل ۱-۲). این منطقه به‌شدت تکتونیزه بوده و عملکرد گسل‌های متعدد نرمال و معکوس موجب پدید آمدن ارتفاعات بلند و آبراهه‌هایی با شیب بسیار زیاد گشته است. مهم‌ترین گسل موجود در

منطقه، گسل ریوش با سن ائوسن می‌باشد. در نقاط متعددی از منطقه کوهسرخ، چشمه‌های آب‌گرم فعال در امتداد گسل‌های موجود در منطقه قرار دارند (مظلومی،۱۳۷۱).



شکل۱-۲: نمایش زون تکتونیکی شرق ایران، (Lidenberg et al.,1983)

۱-۵- مطالعات و بررسی‌های پیشین

منطقه کوهسرخ به دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیک فعال و کانی‌سازی‌های مختلف مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار گرفته است. چندین طرح پژوهشی و رساله کارشناسی ارشد در مورد زمین‌شناسی و ژئوشیمی منطقه انجام شده که برخی از آن‌ها به‌ترتیب زمان انجام کار به‌شرح زیر می‌باشد:

- مظلومی (۱۳۷۱) در غالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی را در منطقه طلادار چلپو – کلاته‌چوبک (کوهسرخ) انجام داد. در این تحقیق وی پس از پژوهش بر روی زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه، مهم‌ترین عامل کانی‌سازی را گسلش سنگ‌های رسوبی و

ولکانوسدیمنت مربوط به پالئوژن معرفی می‌کند. وی با تهیه نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ منطقه مینرالیزه چلپو- کلاته‌چوبک و نمونه‌برداری سیستماتیک از خاک و سنگ در این منطقه، نقشه پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر ردیاب در سیستم اپی‌ترمال را رسم کرده و بیان می‌دارد که عناصر سرب، روی، نقره و طلا مقادیر پایین، جیوه متوسط و آرسنیک و آنتیموان بالاترین مقادیر را دارا می‌باشند. در پایان کانی‌سازی در این منطقه را در سیستم اپی‌ترمال با درجه حرارت کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و pH نزدیک به خنثی تا اسیدی و تیپ دخیره طلا را مشابه ذخایر طلای تیپ کارولینا معرفی می‌کند. وی هم‌چنین مهم‌ترین کانی‌ها در مجموعه مینرالیزه را استیب‌نیت، رالگار، اورپیمنت، پیریت با گانگ ژیپس و کوارتز شناسایی تعیین است.

- در سال ۱۹۹۳ بر اساس قرداد بین وزارت صنایع و معادن ایران با وزارت تحقیقات معدنی و زمین‌شناسی چین، کمپانی چینی جیانگسی (Jiangxi) مطالعات ژئوشیمیایی بر روی رسوبات رودخانه‌ای در منطقه سمنان – کاشمر در مساحتی حدود ۴۲ هزار کیلومتر را انجام داد. هدف از این تحقیقات یافتن میزان زمینه، نسبت همبستگی ، توزیع و غلظت عناصر چندگانه در این منطقه در جهت تامین اطلاعات ژئوشیمیایی برای مطالعه ذخایر اقتصادی و تامین اطلاعات پایه ژئوشیمیایی برای مطالعات اکتشافی و ژئوشیمی محیط‌زیست بود. در طی این تحقیقات با نمونه‌برداری از رسوبات رودخانه‌ای بر اساس واحدهای زمین‌شناسی نقشه ژئوشیمیایی پراکندگی ۲۷ عنصر اصلی در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه شامکان تهیه شده است. بر این اساس برای برخی از عناصر نظیر طلا، آرسنیک ، آنتیموان، مس و کرم در این منطقه آنومالی مشاهده می‌شود (Jiangxi, 1993).
- تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان و کدکن توسط نادری در سال ۱۳۷۷
- سردباشی در سال ۱۳۸۰ در غالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی سازمان زمین‌شناسی (مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی) در محدوده کانی‌زایی چلپو و کلاته

چوبک، به اکتشافات ژئوفیزیکی پرداخته است. براساس نتایج حاصل از تحقیق وی دو آنومالی ناشی از کانی‌سازی با روند جنوب‌شرقی- شمال‌غربی در منطقه وجود دارد. بررسی رخنمون و عمق گسترش ماده معدنی با کانی‌سازی اپی‌ترمال مطابقت دارد.

- نریمانی (۱۳۸۰) در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود با استفاده از داده‌های لیتولوژیکی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی به شناسایی ساختار، بافت، کانی‌شناسی، پاراژنز و عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز کانه‌ها در کانسار آنتیموان – آرسنیک، طلای چلپو و کلاته‌چوبک پرداخته است. وی بیان می‌کند که گسل‌ها و شکستگی‌ها مهم‌ترین کنترل‌کنننده ساختاری در کانه‌سازی می‌باشند و به‌دلیل نفوذپذیری کم سنگ میزبان کانی‌سازی عمدتا در شکستگی‌ها و گسل‌خوردگی‌ها رخ داده است.

قاسم‌زاده در غالب طرح پژوهشی در دانشگاه فردوسی مشهد از سال ۲۰۰۲ تحقیقات زیست‌محیطی و اکولوژی در ناحیه کوهسرخ مخصوصا در روستای چلپو آغاز کرد. بر اساس تحقیقات وی منابع آب شرب منطقه و همچنین آب‌های سطحی نظیر رودخانه محلی و آبراهه‌ها دارای میزان بالای آرسنیک و آنتیموان (بیشترین میزان به ترتیب ۱۲۷/۱ و ۳۷۶ میکروگرم بر لیتر) می‌باشد. هم‌چنین بررسی‌ها بیان-گر تاثیرات سوئ آرسنیک در سلامت افراد منطقه می‌باشد (Ghasemzade et al., 2006). وی در ادامه تحقیقات اکولوژی خود جذب آرسنیک به‌وسیله نوعی جلبک به‌نام *Phragmites australis* را با استفاده از روش *Rhizofiltration* در منطقه کوهسرخ موفقیت‌آمیز بیان می‌دارد (Ghasemzade et al., 2008).

- در سال ۱۳۸۳ حسن کریم‌پور و سعادت در غالب طرح پژهشی، به پیشنهاد سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی پتانسیل‌های معدنی منطقه شامکان را مورد بررسی قرار داد. وی در این تحقیق با استفاده از فناوری‌های جدید ماهواره‌های اکتشافی برای تعیین مناطق آلتره و به کارگیری اطلاعات ژئوفیزیکی (سازمان زمین‌شناسی) و ژئوشیمیایی (مطالعات کمپانی جیانگسی چین) و با در نظرگرفتن معادن فعال و متروکه موجود در منطقه، اندیس‌های معدنی این ناحیه را مورد بررسی قرار

داد و اولویت‌های اکتشافی را مشخص کرد. در پایان دو نوع کانی‌سازی عمده فلزی طلا و طلا- مس با آنومالی‌های آنتیموان، آرسنیک و جیوه به عنوان مناطق امیدبخش معدنی معرفی گردید.

- پرورش (۱۳۸۶) در طی پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود پتروگرافی و ژئوشیمی ولکانیسم سنوزوئیک منطقه کوهسرخ را مورد بررسی قرار داد. مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمی در منطقه بیانگر تنوع لیتولوژیکی بالا همراه با گسترش واحدهای آذرآواری (توف، مارن و..) می‌باشد. بر این اساس مکانیسم تفریق ماگمایی مهم‌ترین فرآیند در تنوع واحدهای سنگی مورد مطالعه معرفی گردید. به‌منظور تعیین رفتار ژئوشیمیایی عناصر در محیط و تمرکز آن‌ها در منابع آب، ضریب همبستگی در نمونه‌های آب منطقه تعیین و نتایج، حاکی از ارتباط ماگماتیسم با کانه‌زایی‌های منطقه و نقش آن در آلودگی منابع آب منطقه می‌باشد. ارزیابی‌های زیست‌محیطی منابع آب، بیانگر مقادیر بالاتر از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی در خصوص عناصر سمی نظیر آرسنیک، بور، گوگرد و... در اکثر منابع آب و بالا بودن شاخص فلزی MI در برخی نمونه‌ها می‌باشد.

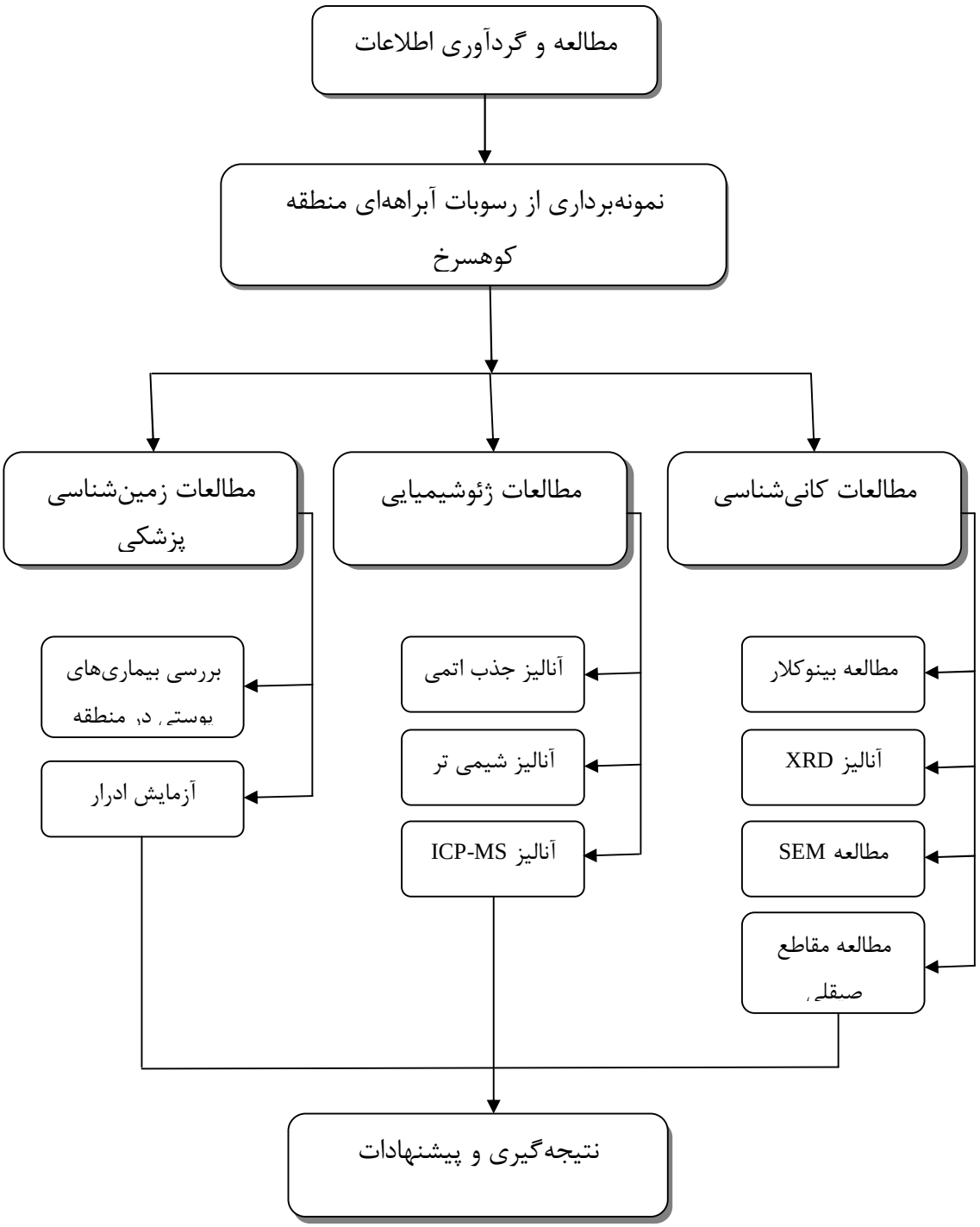
۱-۶- هدف از انجام مطالعه

با توجه به مطالعات پیشین انجام شده در منطقه اهداف عمده در اجرای این پروژه به ترتیب زیر بیان می شود:

۱. بررسی آلودگی آرسنیک و سایر فلزات در رسوبات منطقه کوهسرخ
۲. شناسایی کانی‌های حامل و یا جاذب آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای
۳. مکانیسم احتمالی آزادسازی آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای
۴. بررسی‌های زمین‌شناسی پزشکی به‌منظور شناسایی بیماری‌های احتمالی مرتبط با آرسنیک و میزان گسترش آن در بین مردم منطقه

۱-۷- روش مطالعه

شکل ۱-۳ دیاگرامی از مراحل مختلف انجام این پایان‌نامه را ارائه می‌دهد.



شکل۱-۳: دیاگرام مراحل اجرای پایان‌نامه

۱-۸- زمین‌شناسی منطقه

از آن‌جا که مهم‌ترین منبع آلودگی آرسنیک در منطقه به‌صورت ژئوژنیک (طبیعی) می‌باشد، بررسی واحدهای زمین‌شناسی منطقه بسیار ضروری می‌باشد. منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب در جنوب‌شرق و جنوب غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان و کدکن واقع شده است. مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی بر اساس شرح نقشه زمین‌شناسی (نادری، ۱۳۷۷) در این منطقه به‌شرح زیر می‌باشد:

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه، مربوط به دوره ائوسن می‌باشد. کوه زرنیخ، ناودیس اوندر و ولکانیک‌های حد واسط مربوط به این دوره می‌باشد. کوه زرنیخ که وجه تسمیه آن به‌دلیل کانی‌سازی آرسنیک است، شامل لیتیک آرکوز ریزدانه قرمز تیره تا خاکستری به‌همراه میان لایه‌هایی از توف شیشه‌ای، سیلتستون ریز قرمزدانه و مقدار کمی مارن می‌باشد. تاثیر سیال‌های گرمابی در نقاط ضعف به‌ویژه در محل گسل‌های رورانده موجب ایجاد دگرسانی‌های شدید آرژلیتی و سریسیتی در آن شده است. ازطرفی کانی‌سازی آنتیموان و زرنیخ هم روند با راستای گسل‌ها دیده می‌شود که می‌توان منشا کانی‌سازی را در ارتباط با سیال‌های گرمابی دانست.

ناودیس اوندر نیز متشکل از ماسه‌سنگ توفی نازک‌لایه تا متوسط به رنگ خاکستری سبز می‌باشد. این مجموعه دربردارنده میان لایه‌هایی از سیلتستون سبز روشن، سیلتستون خاکستری تیره متوسط لایه، شیل های سیلتی نازک لایه خاکستری رنگ، سنگ آهک ماسه‌ای بیومیکریتی، توف آهکی و سنگ آهک میکرواسپاریت ماسه‌ای فسیل‌دار می‌باشد. گسترش این رخساره در این منطقه بیش از سایر رخساره‌های توفی است. سن این تشکیلات با توجه به سنگواره‌های موجود در آن ائوسن میانی تا بالایی تخمین زده شده است.

ولکانیک‌های حدواسط شامل تراکی آندزیت تا آندزیت، پیروکسن آندزیت و داسیت تا ریوداسیت است. سیالات گرمابی ناشی از نفوذ سنگ‌های آذرین نفوذی در این رخساره باعث بروز دگرسانی‌های شدید کلریتی، آرژلیتی و سریسیتی شده است. همچنین در قسمت‌هایی از این گستره می‌توان بازالت‌های آندزیتی

خاکستری تیره با منشا حدواسط تا بازیک را مشاهده نمود که کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول می‌باشد.

بر اثر عملکرد رخداد بسیار قدیمی ارتباط حوضه‌های رسوبی با دریای آزاد محدودتر شده و رسوب‌گذاری در محیط‌های قاره‌ای صورت گرفته است. این حرکات سبب چین‌خوردگی نهشته‌های الیگوسن، پیشروی دریا و ناپیوستگی دگرشیب بر روی رخساره‌های ائوسن شده است.

واحدهای کنگلومرایی سوراخ سنگ شامل لایه‌های ستبر کنگلومرا با سیمان سخت، قرمز رنگ، جورشدگی ضعیف و اجزای گردشده می‌باشد که با میان لایه‌های ماسه‌سنگی (آرکوزلیتیکی) با لایه‌بندی متوسط قرمز تیره همراه است. اجزا پدیدآورنده این کنگلومرا از اندازه ۲ میلیمتر تا قطعات بسیار درشت نظیر قطعه‌های ولکانیکی (آندزیت)، ماسه‌سنگ‌های قرمز تیره، توف و سنگ آهک با سیمان آواری تشکیل شده است. وجود جوان‌ترین سنگ‌واره‌ها با سن الیگوسن میانی در سنگ‌های آهکی این کنگلومرا، می‌تواند تاییدی بر جوان بودن این واحدها و تخمین سن الیگوسن بالایی تا الیگوسن میانی برای آن باشد. وجود این گنکلومراها در منطقه‌ای به نام کلاته سوراخ سنگ منجر به تشکیل مناظر زیبا و جالب توجه به‌ویژه پدیده‌ی فرسایشی دودکش جن گردیده است (شکل۱-۴). این جلوه های بدیع و طبیعی به عنوان جاذبه‌های صنعت ژئوتوریسم منطقه معرفی گردیده است (طبسی و طبسی، ۱۳۸۸).

در این منطقه بسیاری از زمین‌های زراعی در نهشته‌ها و پادگان‌های کهن کواترنری واقع شده‌اند. این سازند به شکل پادگان‌های آبرفتی مرتفع می‌باشد که به‌صورت افقی بوده و هیچ رخداد تکتونیکی خاصی را تحمل نکرده است. این واحد رسوبی بیشتر در دامنه برونزدهای سنگی پدیدار شده و حاصل هوازدگی و ته نشست است.

افیولیت‌های موجود در این منطقه در نزدیکی روستای خضربیگ جزو افیولیت ملانژ سبزوار (افیولیت‌های ایران مرکزی) با سن کرتاسه بالایی می‌باشد. گسل‌خوردگی از ویژگی‌های برجسته این افیولیت‌هاست و بر

همین اساس گردش محلول‌های گرمابی بیشتر و با سرعت بالاتر در درز و شکاف آن رخ داده و در نتیجه آلتراسیون‌های مهم اپیدوتی، سریسیتی، اورالیتی، کلریتی و سرپنتینی در آن‌ها مشاهده می‌شود. این واحد زمین‌شناسی از سنگ‌های اولترابازیک به‌طور عمده هارزبورژیت، سنگ بازیک تا حد واسط و اسیدی، میکروگابرو و دایک‌بازی تشکیل شده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳). افیولیت ملانژ در مجاورت روستای خضربیگ جلوه‌های زیبایی از ژئوتوریسم را پدید آورده است.

شکل۱-۴: پدیده دودکش جن در کنگلومراهای موجود درکلاته سوراخ سنگ

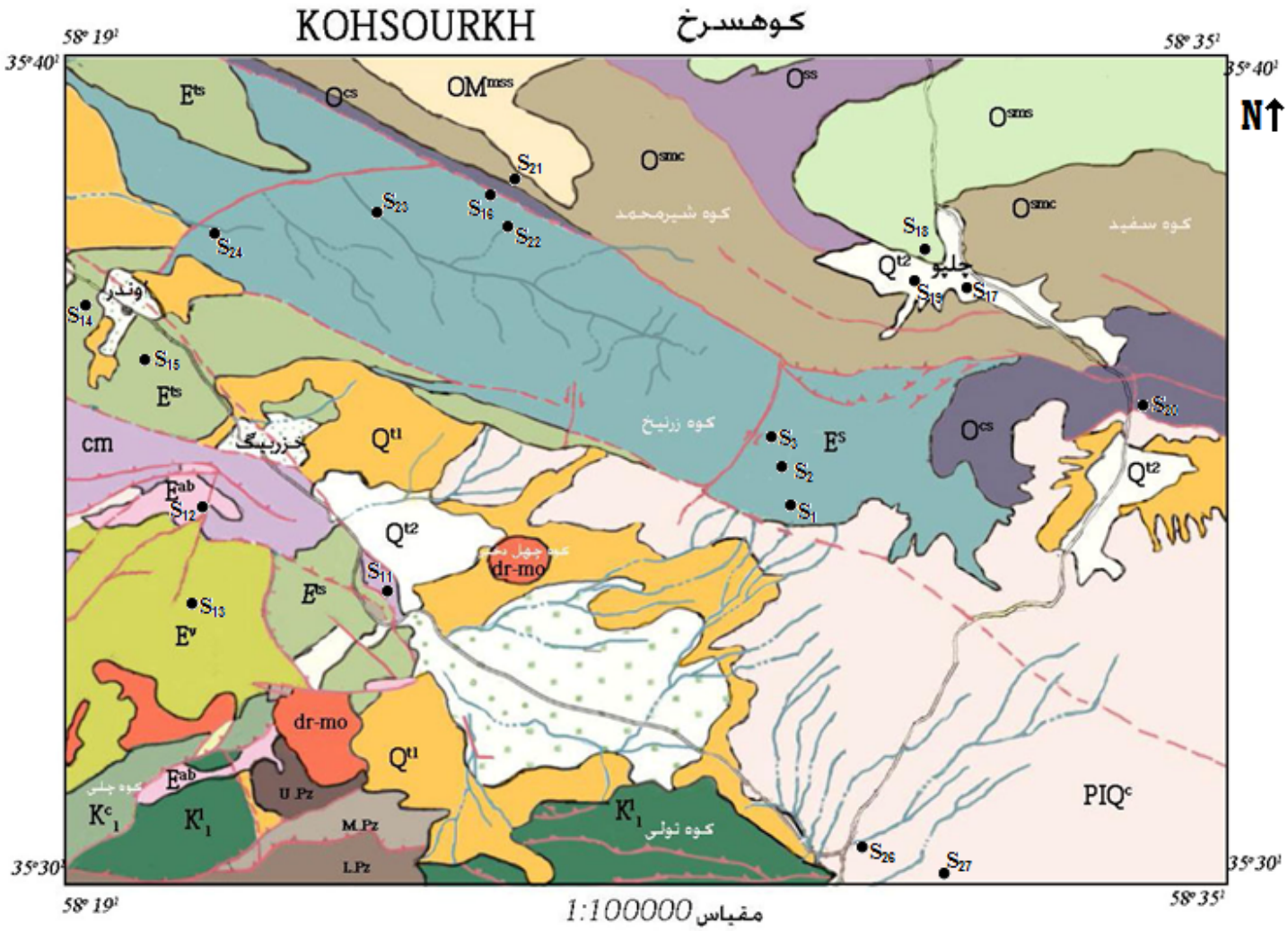
۱-۹- وضعیت ژئومورفولوژی منطقه

در منطقه کوهسرخ سنگ‌های مقاوم نظیر سنگ‌های ولکانیکی تا ساب ولکانیکی، اسیدی تا حدواسط ارتفاعات و برجستگی‌های موجود در منطقه را پدید آورده‌اند. ارتفاعات کوهسرخ روند شرقی – غربی و شمال-شرقی – جنوب‌غربی دارند (مظلومی،۱۳۷۱). که ارتفاع آن‌ها از شرق به غرب کاهش می‌یابد. این کوهستان از سمت غرب به دشت کویر منتهی می‌شود. از سمت شرقی ارتفاعات مذکور به کوه چهل‌تن کدکن تربت

حیدریه محدود است. شمال ارتفاعات کوهسرخ را سرزمین‌های پست و جلگه‌ای نیشابور و سبزوار فراگرفته و از جنوب این ارتفاعات به جلگه حاصل‌خیز و آباد حومه کاشمر ختم می‌شود.

معروف‌ترین رشته کوه منطقه، رشته‌کوه جام با امتداد شرقی – غربی در قسمت جنوبی کوهسرخ افراشته شده است. مرتفع‌ترین قله این رشته‌کوه، کوه سیاه با ۲۴۳۵ متر ارتفاع می‌باشد. رشته کوه کم زنجیره دیگری در قسمت شمالی واقع می‌باشد که بلندترین قله آن، قله باغدشت با ارتفاع ۲۵۳۵ متر می‌باشد. از دیگر ارتفاعات این ناحیه می‌توان به کوه آریا در شمال شهر ریوش با ارتفاع ۲۱۰۰ متر، کوه سرسفیدار در نامق و کوه یخدان در شمال بنده‌قرا اشاره نمود (پرورش،۱۳۸۶). عکس هوایی موجود از منطقه در شکل ۱-۷ ارتفاعات موجود در منطقه را به‌خوبی نمایش می‌دهد.

در برخی از نواحی بر اثر آلتره شدن سنگ‌های ولکانیکی و کاهش مقاومت آن‌ها در برابر فرسایش، توپوگرافی های پست پدیدار گشته است (مظلومی،۱۳۷۱). اما اغلب به دلیل وجود ناهمواری‌های فراوان، این دشت‌ها در وسعت کوچکی قرار گرفته اند. که از آن قبیل می‌توان دشت کوچک پی‌کمر در شمال کوه آریا، در امتداد جاده ریوش خضربیگ و دشت قراچه را در غرب روستای قراچه نام برد (پرورش،۱۳۸۶).



شکل۱-۵: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با تغییرات و تلفیقی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان و کدکن

راهنما

Q^{t2}	تراست های جوان	
Q^{t1}	تراست های قدیمی	
PIQ^{c}	کنگلومرای پلی میکتیک خاکستری تا قهوه ای	
OM^{mss}	تناوبی از مارن های قرمز تا قرمز تیره و سیلتستون نازک تا متوسط لایه	
O^{smc}	تناوبی از ماسه سنگ نازک تا متوسط لایه و مارن قرمز	
O^{cs}	کنگلومرای پلی میکتیک قرمز تیره	
O^{sms}	تناوبی از لایه های نازک تا متوسط آرکوز و ساب لیتارنیت	
O^{ss}	سیلتستون نازک لایه قرمز تیره همراه ماسه سنگ نازک لایه	
E^{ts}	میان لایه سیلتستون سبز روشن همراه شیل سیلتی و توف آهکی	
E^{s}	لیتیک آرکوز ریزدانه قرمز تا خاکستری، با میان لایه توف و سیلتستون	
E^{ab}	بازالت آندزیتی خاکستری تیره با منشا حد واسط تا بازیک	
E^{v}	تراکی آندزیت تا آندزیت، پیروکسن و هورنبلند آندزیت	
K_1^{c}	کنگلومرای خاکستری با پبل های آهکی	
K_1^{l}	سنگ آهک خاکستری تا خاکستری تیره ضخیم لایه	
dr-mo	دیوریت، میکرودیوریت، مونزونیت	
cm	افیولیت ملانژ	
U.Pz	سنگ آهک خاکستری تا سنگ آهک دولومیتی	
M.Pz	سنگ آهک دولومیتی خاکستری تا قهوه ای	
L.Pz	لیتارنیت فلدسپاتیک خاکستری با میان لایه سنگ آهک دولومیتی	

نشانه ها

گسل های روانده	
گسل های امتداد _ شیب لغز	
رودخانه های فصلی	
زمین های زراعی	
نقاط نمونه برداری رسوبات	S_1

ادامه شکل ۱-۵: راهنمای نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه

۱-۱۰- زمین‌شناسی اقتصادی منطقه

افیولیت‌های موجود در منطقه منجر به وقوع کانی‌زایی کرومیت در بین رخساره‌های پریدوتیت و هارزبورزیت شده است. در حاشیه گسل ریوش آنومالی کرومیت در روستای خرو نمایان می‌باشد (نادری، ۱۳۷۷). اندیس آنتیموان – طلا در مجاورت کوه زرنیخ (جنوب شرق منطقه)، اندیس‌های آنتیموان در جنوب توندر، شرق دهنو، جنوب داغی و جنوب شرق خضربیگ، مس و طلا درگوشه شمال شرق محدوده ورقه شامکان که ادامه واحدهای سنگی آن به سمت شرق (ورقه کدکن)، کانسار طلای ارغش و اندیس‌های آنتیموان و بعضاً مس را در خود جای داده است، از جمله ذخایر فلزی موجود در منطقه می‌باشند. با وجود این براساس آمار منتشر شده از سوی سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی (۱۳۸۴) هیچ‌گونه معدن فعال فلزی درمحدوده ورقه شامکان گزارش نگردیده است.

از جمله اندیس‌های غیر فلزی موجود در منطقه می‌توان به سنگ‌آهک، مرمریت، مارن، گچ، منیزیت، تالک، آزبست، سنگ‌های تزئینی و نما و ماسه سنگ (کوارتزیت) اشاره نمود. معدن مرمریت سنجدک از جمله معادن فعال منطقه است که از کیفیت و ذخیره خوبی برخوردار می‌باشد. سنگ این معدن که در سطح استان و کشور به سنگ بیژنی معروف است و بخش عمده‌ای از محصولات این معدن به خارج از کشور صادر می‌گردد (سایت سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی).

شکل ۱-۶: عکس هوایی از ارتفاعات منطقه مورد مطالعه (www.googleearth.com)

فصل دوم

نمونه‌برداری و روش مطالعه

۲-۱- مقدمه

مطالب این فصل چگونگی نمونه‌برداری از رسوبات رودخانه‌ای، مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایشات مختلف کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی و روند کار در بخش زمین‌شناسی پزشکی را در برمی‌گیرد.

۲-۲- نمونه برداری

۲-۲-۱- تعیین محل نمونه برداری رسوبات

مطالعات پرورش (۱۳۸۶) در منطقه کوهسرخ نشان‌دهنده غلظت بالای عنصر آرسنیک در آب منطقه می‌باشد. بر این اساس در منابع آب نظیر چاه آب کشاورزی، قنات، چشمه و آب شرب چندین روستا غلظت آرسنیک از ۲/۸ تا ۶۵۰ میکروگرم بر لیتر تعیین گردید. جهت تامین اهداف این تحقیق، محل دقیق این منابع آب با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان .و کدکن و نقشه ۱:۵۰۰۰۰ اوندر و موشک تعیین گردید. پس از کسب اطلاعات لازم در مورد منطقه و راه‌های دسترسی به نقاط مورد نظر، در آذر ماه ۱۳۸۷ با حضور در منطقه نمونه‌برداری انجام شد. نقاط هدف در نمونه‌برداری، رسوبات رودخانه‌ای در محل منابع آبی بود که طبق گزارش پرورش (۱۳۸۶) میزان آرسنیک در آن‌ها بالاتر از حد استاندارد جهانی می‌باشد.

۲-۲-۲- روش نمونه برداری

پس از تعیین دقیق محل‌های نمونه‌برداری، با استفاده از یک بیل تمیز گودالی به عمق تقریبی ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر حفرگردید و تقریباً ۱ کیلوگرم از رسوبات برداشت شد. نمونه رسوب برداشت شده از محیط اکسیدان و بالاتر از سطح ایستابی محل مورد نظر می‌باشد. سپس جهت جلوگیری از ورود آلودگی، هر

نمونه را درون کیسه پلاستیکی که درب آن قابلیت زیپ‌شدن داشت قرار داده و به ترتیب زمان برداشت نام‌گذاری نمونه‌ها صورت گرفت. همچنین با استقاده از GPS مختصات جغرافیایی محل نمونه‌برداری تعیین و بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مشخص گردید. تعداد ۲۸ نمونه رسوبات رودخانه‌ای از منطقه برداشت شد که ۱۹ نمونه آن در نهایت برای انجام آزمایشات انتخاب گردید، مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۲-۱ آورده شده است.

۲-۲-۳- آماده سازی نمونه‌ها

اولین مرحله از آماده‌سازی نمونه‌ها، با خشک کردن آن‌ها آغاز گردید. به این منظور هر نمونه به طور جداگانه بر روی کاغذهای تمیز پهن و در مکانی دور از گرد و غبار بدون استفاده از دستگاه خشک‌کن، در مدت ۲۴ ساعت خشک گردید.

از آنجا که در این پژوهش آزمایش‌های متعدد کانی‌شناسی – ژئوشیمیایی انجام گرفت، در هر مرحله آزمایش مقداری نمونه معرف تهیه گردید. برای تهیه نمونه معرف روش مخروط کردن و ربع کردن نمونه به‌کار گرفته شد. در این روش تمام نمونه به صورت توده ای مخروطی شکل در روی یک سطح صاف در آورده و سپس با استفاده از کاتر به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. سپس ۲ قسمت مقابل هم جدا شده و بقیه کنار گذاشته می‌شود. با تکرار این عمل برای دو قسمتی که در هر مرحله جدا می‌شوند به وزن دلخواه از نمونه دست پیدا می‌کنیم. برای هر نمونه این عمل در یک سطح جداگانه و تمیز انجام شد. پس از جدایش برای انجام آزمایش مورد نظر، آماده‌سازی بر روی نمونه معرف صورت گرفت.

جدول ۲-۱: مشخصات نقاط نمونه‌برداری

محل برداشت نمونه رسوب	ارتفاع (متر)	Y	X	نام نمونه
چشمه کوه زرنیخ	۱۸۴۹	۶۳۲۸۴۲/۸	۳۹۳۸۶۰۱/۵۵	S_1
چشمه کوه زرنیخ	۱۸۹۸	۶۳۲۷۳۰/۹	۳۹۳۸۸۴۶/۴۲	S_2
چشمه کوه زرنیخ	۱۹۸۰	۶۳۲۶۹۴/۶۵	۳۹۳۹۲۵۲/۶۸	S_3
چشمه خضربیگ	۱۷۹۷	۶۲۵۹۹۳/۷۱	۳۹۳۶۵۷۶/۱۴	S_{11}
چشمه باغ آلمالوسفلا خضربیگ	۱۷۵۸	۶۲۲۸۲۱/۲۸	۳۹۳۸۰۲۶/۵	S_{12}
چشمه باغ آلمالو علیا خضربیگ	۱۸۴۰	۶۲۲۱۶۷/۶۱	۳۹۳۶۳۰۷/۲۴	S_{13}
قنات دهنو اوندر	۱۶۷۶	۶۱۸۶۴۳/۶۸	۳۹۴۲۰۸۰/۷۷	S_{14}
قنات اوندر	۱۷۰۳	۶۲۰۷۰۷/۹۲	۳۹۴۱۰۸۸/۴۹	S_{15}
چشمه آب سرا	۱۷۹۰	۶۲۶۹۳۴/۰۳	۳۹۴۴۹۸۰/۸۸	S_{16}
چشمه چلپو	۱۸۴۰	۶۳۸۸۸۱/۶۸	۳۹۴۲۲۳۵/۸۲	S_{17}
چشمه چلپو	۱۸۲۴	۶۳۸۲۳۱/۱۲	۳۹۴۲۶۱۰/۳۲	S_{18}
چشمه چلپو	۱۸۲۵	۶۳۸۱۲۰/۳۷	۳۹۴۲۲۵۵/۴۲	S_{19}
چشمه چلپو	۱۹۴۷	۶۴۱۹۶۷/۱۴	۳۹۳۹۳۳۰/۷۷	S_{20}
گرگ چشمه	۱۸۴۰	۶۲۷۶۳۵/۸۲	۳۹۴۵۳۰۱/۵۶	S_{21}
کال اوندر	۱۸۰۸	۶۲۶۹۹۰/۶	۳۹۴۴۹۲۹/۹۲	S_{22}
کال اوندر	۱۷۷۴	۶۲۵۳۸۴/۷۵	۳۹۴۴۸۱۴/۷	S_{23}
کال اوندر	۱۷۰۵	۶۲۲۳۴۹/۲۸	۳۹۴۳۵۰۵/۹۱	S_{24}
چاه کشاورزی طرق	۱۶۴۲	۶۲۹۹۶۴/۸۱	۳۹۲۷۸۶۳/۸۴	S_{26}
چاه کشاورزی ریوش	۱۶۹۰	۶۳۳۱۸۴/۱۹	۳۹۲۷۵۸۰/۱۸	S_{27}

۲-۳- مطالعات کانی‌شناسی

به منظور شناسایی کانی‌های جاذب و یا حامل آرسنیک در رسوبات منطقه و بررسی احتمالی مکانیسم آزادسازی آرسنیک، مطالعات کانی‌شناسی در چندین مرحله بر روی رسوبات برداشت شده از

محل منابع آب منطقه صورت گرفت. در این راستا مطالعه کانی‌ها با استفاده از میکروسکوپ بینوکلار[1]، XRD[2]، میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM[3]) انجام شد.

۲-۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌های مطالعه با میکروسکوپ بینوکلار

برای شناسایی اولیه کانی‌های موجود در رسوبات منطقه با استفاده از میکروسکوپ بینوکلار، ۴ نمونه از رسوبات مربوط به مناطق با بیشترین غلظت آرسنیک در آب، (S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21}) را انتخاب نمودیم. سپس ۱۰۰ گرم از هر نمونه را با آب شستشو داده و پس از گل‌زدایی خشک نمودیم. چون هدف از انجام این مرحله مشاهده بهتر کانی‌ها بود، از مایع بروموفرم برای جدایش کانی سنگین استفاده نشد. این مطالعه با استفاده از میکروسکوپ بینوکلار در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشکده معدن دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد.

۲-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز XRD

برای انجام آنالیز XRD ، ۴ نمونه از رسوبات (S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21}) که توسط میکروسکوپ بینوکلار مطالعه شده و ۱ نمونه از آلتراسیون کوه زرنیخ (S_5) انتخاب کرده و از هر نمونه ۱۰۰ گرم با روش مخروط کردن جدا نمودیم. جهت آماده‌سازی نمونه‌ها بر روی نمونه‌های معرف به‌وسیله سنگ‌شکن فکی و آسیای گلوله‌ای عملیات خردایش و نرمایش انجام گرفت. در نهایت از هر نمونه پودرشده ۲۰ گرم برای انجام آنالیز XRD جدایش گردید. آماده سازی نمونه‌ها در این مرحله و آنالیز XRD توسط شرکت کانساران بینالود در مشهد انجام شد.

---

[1] Binocular Microscope
[2] X-Ray Diffractometry
[3] Scanning Electron Microscope

۲-۳-۳- آماده‌سازی نمونه‌های مقاطع صیقلی

در طی انجام این پروژه، مقاطع صیقلی در ۳ مرحله و با اهداف متفاوت تهیه گردید. در ذیل به شرح هر یک از آنها می‌پردازیم:

- مرحله اول

در گام نخست از مطالعه مقاطع صیقلی، ۳ نمونه رسوب S_3، S_{17}، و S_{21}که میزان آرسنیک در آب آن-ها بالاتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شده (پرورش۱۳۸۶) انتخاب گردید. برای تهیه مقطع صیقلی از هر نمونه ۱۰ گرم جدا شد (با روش مخروط کردن) و در کارگاه تهیه مقطع گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود از هر نمونه یک مقطع صیقلی تهیه گردید. لازم به ذکر است که مقاطع صیقلی در این مرحله از نمونه کلی رسوبات[۱] تهیه شد.

- مرحله دوم

معمولاً رسوبات رودخانه‌ای مخلوطی از ذرات با اندازه‌های متفاوت می‌باشد. به دلیل میزان جذب بالای عناصر فلزی توسط ذرات ریزدانه، بیشتر ناهنجاری‌های فلزی در این بخش از رسوبات اتفاق می‌افتد (Solovov, 1985). در ادامه تحقیقات ژئوشیمیایی نیازمند تعیین مناسب‌ترین اندازه ذرات رسوب با بیشترین تمرکز کانی‌های فلزی می‌باشیم. در این راستای نمونه S_3 متعلق به رسوبات چشمه کوه زرنیخ (نزدیک‌ترین نمونه به محل کانی‌سازی آرسنیک و بالاترین میزان آرسنیک در آب) انتخاب گردید. نمونه انتخابی توسط ۵ سرند در اندازه‌های ۲۰۰، ۱۰۰، ۸۰، ۵۰ و۳۰ مش سرند شده و به ۶ قسمت در اندازه ذرات متفاوت (بزرگ‌تر از۳۰ مش، بین ۳۰ و۵۰ مش، بین ۵۰ و ۸۰ مش، بین ۸۰ و۱۰۰ مش، بین ۱۰۰ و ۲۰۰مش و کوچک‌تر از ۲۰۰ مش) تقسیم گردید. سپس از ذرات رسوب در هر یک از ۶ اندازه موجود یک مقطع صیقلی تهیه شد و تمرکز کانی‌های فلزی در آن‌ها مورد مطالعه قرارگرفت.

---

[۱] نمونه رسوب قبل از جدایش و دانه‌بندی

- مرحله سوم

جهت تکمیل اطلاعات در مورد کانی‌های حاوی آرسنیک از ۱۸ نمونه رسوب (به جز نمونهS_3) انتخاب شده برای انجام آنالیز ICP-MS[1] یک مقطع صیقلی تهیه شد. برای درست کردن این مقاطع ابتدا نمونه‌ها را با سرند ۸۰ مش الک کرده و سپس ذرات زیر ۸۰ مش را با آب شستشو دادیم تا به طور کامل گل‌زدایی شود. پس از خشک کردن نمونه‌ها به وسیله دستگاه خشک‌کن (oven) از هر نمونه یک مقطع صیقلی تهیه گردید.

مطالعه مقاطع صیقلی در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشکده معدن دانشگاه صنعتی شاهرود و آزمایشگاه آنالیز تصاویر پارک علم و فناوری شاهرود انجام شد.

۲-۳-۴- آماده‌سازی نمونه میکروسکوپ الکترونی (SEM)

مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) با هدف بررسی چگونگی پراکندگی آرسنیک در انواع کانی-های موجود در رسوبات انجام شد. در اولین مرحله از مطالعات میکروسکوپ الکترونی، از مقاطع صیقلی تهیه شده برای ۳ نمونه S_3، S_{17}، و S_{21} استفاده شد. این مطالعه توسط میکروسکوپ الکترونی با مدل XL30 ساخت شرکت فیلیپس در آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام شد. در مرحله دوم از مقطع صیقلی نمونه S_3 در اندازه ذرات بین ۸۰ تا ۱۰۰ مش استفاده شد که توسط میکروسکوپ الکترونی مدل VP-1450 از شرکت LEO-Germany در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

[1] Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

۲-۴- نمونه‌های ژئوشیمیایی

مطالعات ژئوشیمی هم‌راستا با کانی‌شناسی با هدف شناسایی مکانیسم آزادسازی و انتقال آرسنیک در منطقه کوهسرخ، بر روی نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای منطقه انجام پذیرفت. این بررسی‌ها در چندین مرحله به شرح ذیل انجام پذیرفت.

۲-۴-۱- آنالیز جذب اتمی آرسنیک

در اولین گام از مطالعات ژئوشیمیایی، برای به‌دست آوردن دیدکلی از میزان آرسنیک در رسوبات منطقه ۴ نمونه (S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21}) از رسوبات برای انجام آنالیز جذب اتمی انتخاب شدند. برای آنالیز از نمونه‌های پودر شده در بخش ۲-۳-۲ استفاده گردید. آنالیز جذب اتمی در آزمایشگاه شیمی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد که در آن میزان آرسنیک موجود در نمونه کلی رسوبات بر حسب ppm اندازه-گیری گردید.

۲-۴-۲- آنالیز شیمی‌تر جهت اندازه‌گیری میزان اکسیدآهن

در بررسی رابطه بین میزان آرسنیک در نمونه‌ها و جاذب‌های احتمالی آن، میزان اکسیدآهن موجود در ۴ نمونه S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21} (نمونه کلی رسوبات) به روش شیمی‌تر اندازه‌گیری شد. این آزمایش در آزمایشگاه شیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی استان خراسان رضوی انجام شده است.

۲-۴-۳- آنالیز ICP-MS

آنالیز ICP-Ms روشی مناسب و با دقت بالا برای تعیین غلظت عناصر در نمونه رسوب، آب و سنگ می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی، در رسوبات این منطقه در اندازه ذرات زیر ۸۰ مش (کوچک‌تر از ۱۷۵ میکرومتر) بیشترین تمرکز کانی‌های فلزی وجود دارد. در نتیجه ۱۹ نمونه برای انجام آنالیز ICP-MS با استفاده از سرند ۸۰ مش الک شده و مقدار ۱۵ گرم از بخش زیر سرند جدا شد. سپس نمونه‌ها برای انجام آنالیز ۵۰ عنصری به روش ICP-Ms توسط شرکت طیف کانساران بینالود به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شدند. در ضمن برای مقایسه غلظت عناصر در ذرات کوچک‌تر از ۱۷۵ میکرون رسوبات با کل ذرات رسوب، نمونه کلی رسوب از نمونه S_{27} (با نام ۲۷) برای آنالیز انتخاب شد.

۲-۴-۴- اندازه‌گیری pH رسوبات

از جمله پارامترهای مهم و تاثیرگذار در رفتار ژئوشیمیایی عنصر آرسنیک در محیط‌های طبیعی و تحت تاثیر EHهای متفاوت pH محیط می‌باشد. pH در ۱۹ نمونه رسوبات آبراهه‌ای، در آزمایشگاه شیمی پارک علم و فناوری شهرستان شاهرود اندازه‌گیری شد.

۲-۵- مطالعات زمین‌شناسی پزشکی

در فصل زمین‌شناسی پزشکی به بررسی اثرات ناشی از سمیت آرسنیک در سلامت مردم منطقه کوهسرخ می‌پردازیم. برای انجام این تحقیقات ابتدا مجوز رسمی از معاونت آموزشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد جهت حضور در محیط اداری شبکه بهداشت و درمان شهرستان کاشمر و بخش کوهسرخ اخذ گردید. سپس شیوع احتمالی بیماری‌های ناشی از سمیت آرسنیک در بین مردم منطقه بررسی شد.

۲-۵-۱- بررسی بیماری‌های موجود در منطقه

برای دریافت آمار بیماری‌های موجود در منطقه کوه‌سرخ به شبکه بهداشت و درمان شهرستان کاشمر مراجعه شد. ولی آمار موجود در دفاتر این سازمان فقط بیماری‌های واگیر و برخی دیگر از بیماری‌های غیر مرتبط را دربرمی‌گرفت. آمار مرگ و میر موجود هم طبقه‌بندی نشده بود. در نتیجه از این طریق اطلاعات زیادی حاصل نگردید. برای کسب دیدگاه از بیماری‌های شایع در این منطقه، دو روستای چلپو و اوندر که میزان آرسنیک در آب آشامیدنی آن‌ها بالاتر از حد مجاز بود انتخاب گردیدند. در فروردین ماه ۱۳۸۸ با حضور در بین اهالی منطقه و گفتگو با آن‌ها به شیوع بیماری‌های پوستی در بین مردم این روستاها پی بردیم. اهالی منطقه علاوه بر بیماری‌ها و حساسیت‌های پوستی موجود از کیفیت پایین آب آشامیدنی روستا ناراضی بودند. قابل ذکر است که بیماری‌های پوستی جزء اولین نشانه‌های تاثیر سمیت آرسنیک بر بدن انسان می‌باشد (Yoshida et al, 2004, Rahman 2009; Whitacre, 2008).

سپس با هماهنگی‌های انجام شده با بهورزهای دو روستا، در اردیبهشت ماه۱۳۸۸ با حضور در خانه بهداشت دو روستا افرادی که دارای بیماری پوستی بودند شناسایی گردیدند. سپس با این افراد به‌صورت حضوری در خانه بهداشت روستا ملاقات صورت گرفت. در این ملاقات شرح کاملی از نوع بیماری، سابقه بیماری، منبع آب شرب مصرفی و مدت زمان حضور در روستا از هر فرد گرفته شد. با استفاده از دوربین عکاسی دیجیتال از محل بروز عارضه پوستی در بدن هر شخص عکس تهیه شد.

به دلیل عدم وجود متخصص پوست در این شهرستان، با یک متخصص پوست در مشهد هماهنگی انجام شد. بدین ترتیب وی با مشاهده عکس و شرح بیماری افراد نظر خود را در مورد بیماری‌های موجود تا حد ممکن اعلام داشت.

۲-۵-۲- نمونه‌گیری ادرار

با مشخص شدن شیوع نا متعارف بیماری‌های پوستی در منطقه، بهترین و در دسترس‌ترین روش برای تعیین میزان آرسنیک موجود در بدن افراد، انجام آزمایش ادرار ۲۴ ساعته می‌باشد. برای انجام این آزمایش با کمک بهورزهای شبکه بهداشت دو روستای اوندر و چلپو افرادی که از بیماری‌های پوستی رنج می‌بردند شناسایی شدند. از این افراد دعوت شد که در تاریخ تعیین شده (مرداد ماه ۱۳۸۸) در شبکه بهداشت روستا حضور یابند. سپس از هر فرد شرح کامل بیماری، سن، قد و وزن، منبع آب شرب مصرفی و مدت زمان حضور در روستا پرسیده شد. از بین افراد مراجعه کننده ۱۱ نفر در روستای چلپو و۱۳ نفر از روستای اوندر برای انجام آزمایش ادرار انتخاب شدند. به هر یک از این افراد یک ظرف ۲ لیتری مخصوص برای جمع آوری ادرار در مدت ۲۴ ساعت تحویل داده شد و چگونگی جمع‌آوری نمونه ادرار را برای هر یک جداگانه توضیح دادیم. پس از ۲۴ ساعت ۱۱ نمونه ادرار از چلپو و ۹ نمونه از اوندر جمع‌آوری شد (۳ نفر از روستای اوندر نمونه ادرار خود را تحویل ندادند). سپس حجم هر نمونه در آزمایشگاه شبکه بهداشت اندازه‌گیری و به میزان ۱۰ سی سی از هرنمونه درون لوله آزمایش درب‌دار مخصوص جدا شد. لوله‌های آزمایش محتوی ادرار را درون جعبه مخصوص دارای یخ (Cold box) قرار داده و به آزمایشگاه سم‌شناسی بیمارستان امام رضا مشهد منتقل گردید. میزان آرسنیک در ادرار با روش جذب اتمی توسط این آزمایشگاه با دقت ppb ۵ اندازه‌گیری شد.

فصل سوم

مطالعات کانی‌شناسی

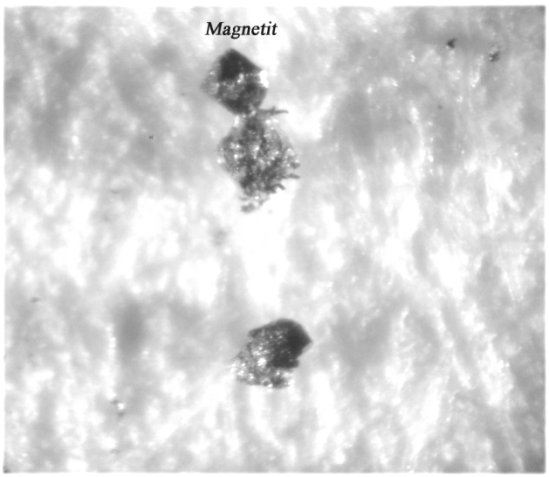
۳-۱- مقدمه

از آنجا که شناسایی فازهای حامل و یا جاذب آرسنیک نیازمند مطالعات دقیق کانی‌شناسی می‌باشد، لذا مطالعات کانی‌شناسی با امکانات موجود نظیر میکروسکوپ بینوکلار، XRD، میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی و میکروسکوپ الکترونی (SEM) بر روی رسوبات این منطقه انجام شد.

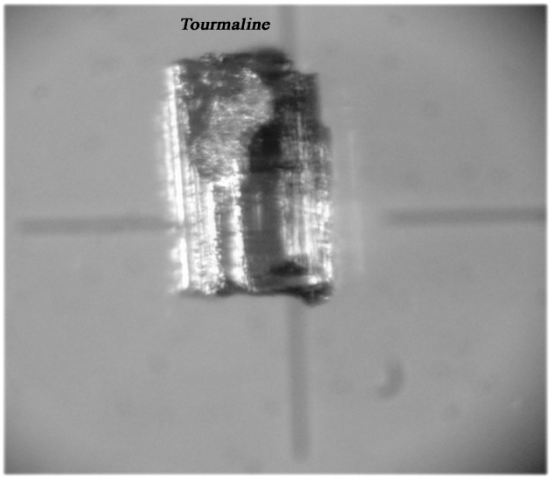
لازم به ذکر است که در مطالعه کانی‌های حاوی آرسنیک در رسوبات مناطق مختلف دنیا نظیر آرژانتین، هند، اسپانیا، بنگال غربی و حوضه گانگ، مقان و بنگال در بنگلادش از روش‌های مختلف کانی شناسی شامل مطالعات با میکروسکوپ بینوکلار، میکروسکوپ نوری، XRD، SEM، TEM، EPMA، XAFS و XRF استفاده شده است (Akai et al., 2004; Hudson-Edwards et al., 2005; Patel et al., 2005; Smedley et al., 2005; Ghosh et al., 2006; Lowers et al., 2007; Hasan et al., 2009).

۳-۲- مطالعه توسط میکروسکوپ بینوکلار

ابتدا ۴ نمونه از رسوبات برداشت شده از آبراهه‌های حاوی بالاترین میزان آرسنیک در آب انتخاب گردید. کانی‌های موجود در این رسوبات با استفاده از میکروسکوپ بینوکلار مورد مطالعه قرار گرفت. بر این اساس فراوان‌ترین کانی‌های موجود در هر ۴ نمونه کوارتز و کلسیت می‌باشد. تشخیص کوارتز به‌وسیله سختی بالای آن و شناسایی کلسیت توسط جوشش آن با اسید کلریدریک انجام شد. کربنات‌ها در نمونه S_{17} در فرمی متفاوت و به‌صورت لوله‌ای شکل مشاهده شدند. این کانی‌های کربناته نشان‌دهنده تشکیل فاز جدید کربنات‌ها در این رسوبات می‌باشد. کانی مگنتیت فراوان‌ترین کانی فلزی قابل تشخیص در این رسوبات بوده که به‌راحتی با استفاده از آهن‌ربا از سایر کانی‌ها جدا گردید(شکل ۳-۱). از دیگر کانی‌های موجود در این رسوبات می‌توان به ژیپس، موسکویت، بیوتیت، آمفیبول، اپیدوت، تورمالین و دانه‌های مشکوک به بریل نام‌برد(شکل ۳-۲).



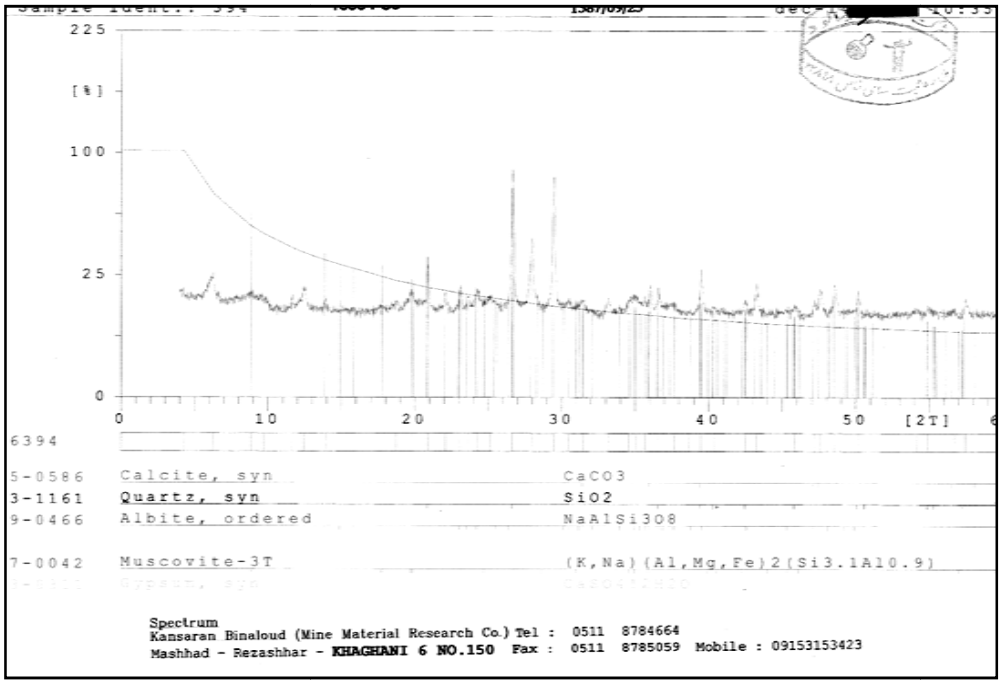
شکل ۳-۱: مشاهده کانی مگنتیت در رسوبات با استفاده از میکروسکوپ بینوکلار (درشت‌نمایی 100X)



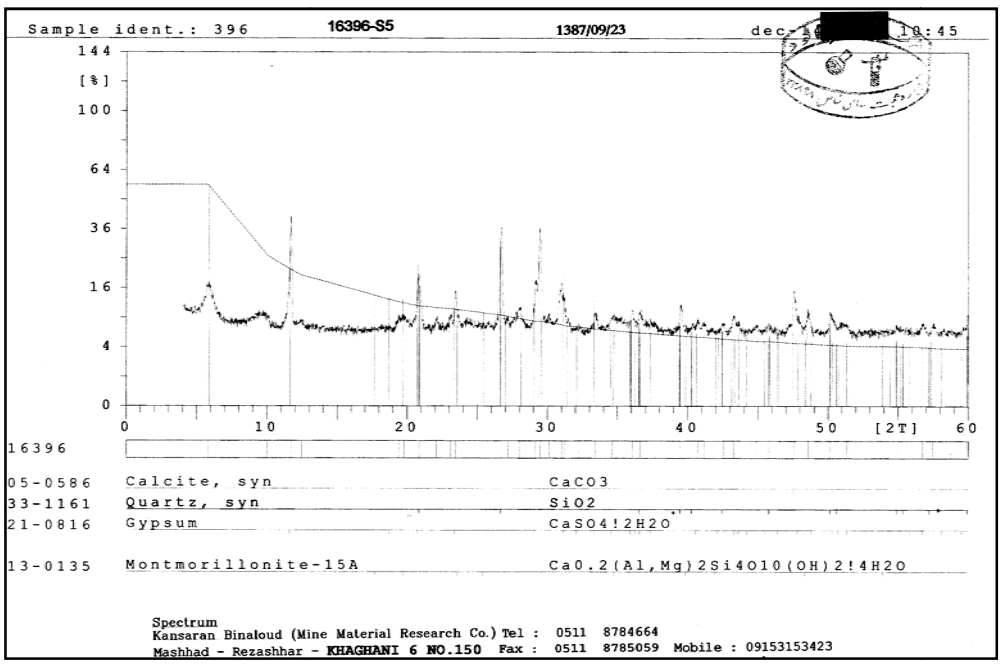
شکل ۳-۲: مشاهده کانی تورمالین در رسوبات با استفاده از میکروسکوپ بینوکلار(درشت‌نمایی70X)

۳-۳- آنالیز XRD

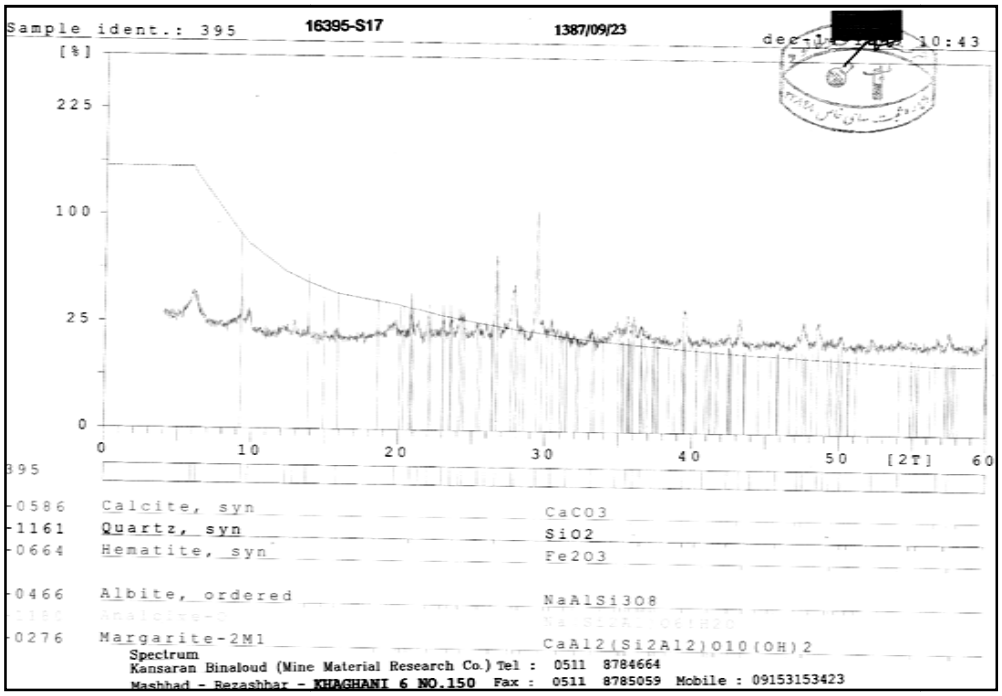
مطالعات XRD بر روی ۴ نمونه رسوب ذکر شده در بخش ۳-۲ و یک نمونه از آلتراسیون‌های منطقه انجام گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده فاز اصلی کانی‌ها در این نمونه‌ها کوارتز و کلسیت و فاز فرعی آن‌ها موسکویت، آلبیت، ژیپس، کانی‌های رسی و هماتیت می‌باشد. کانی‌های رسی تشخیص داده شده توسط XRD به‌طور عمده مونتموریونیت و کلریت هستند. در جدول ۳-۱ شرح کامل کانی‌های موجود در هر نمونه ذکر شده است. قابل ذکر است کانی‌هایی که مقدار آن‌ها کم باشد (نظیر اکسیدهای آهن) و یا درجه کریستالی شدن آن‌ها پایین باشد در XRD به سختی قابل تشخیص هستند. در شکل ۳-۳ تصاویر نمودار و فرمول کانی‌ها در آنالیز XRD آورده شده است.



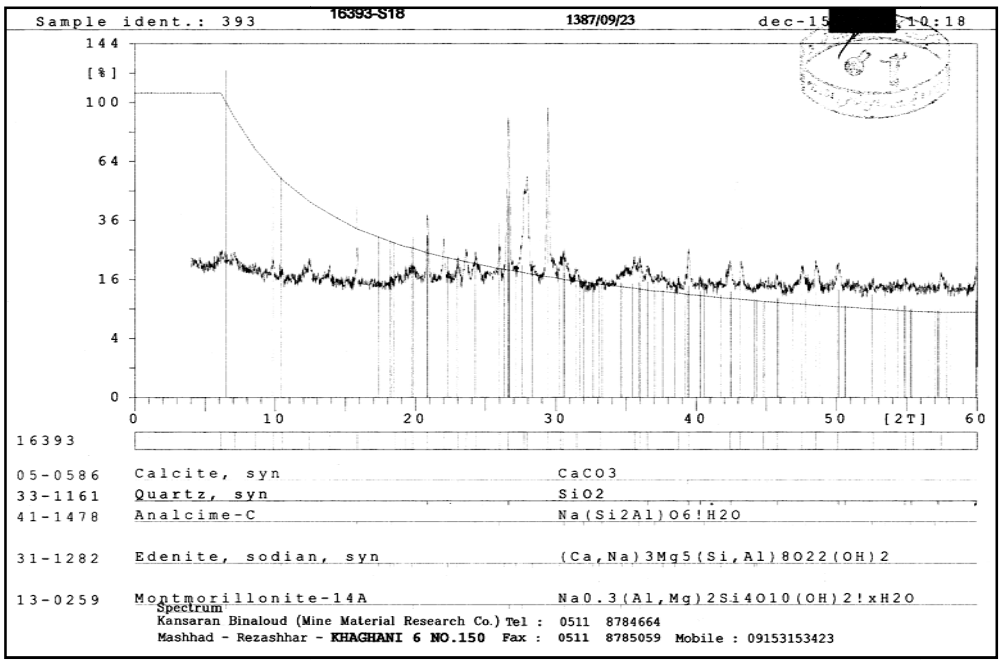
شکل ۳-۳ الف: گراف XRD در نمونه S_3



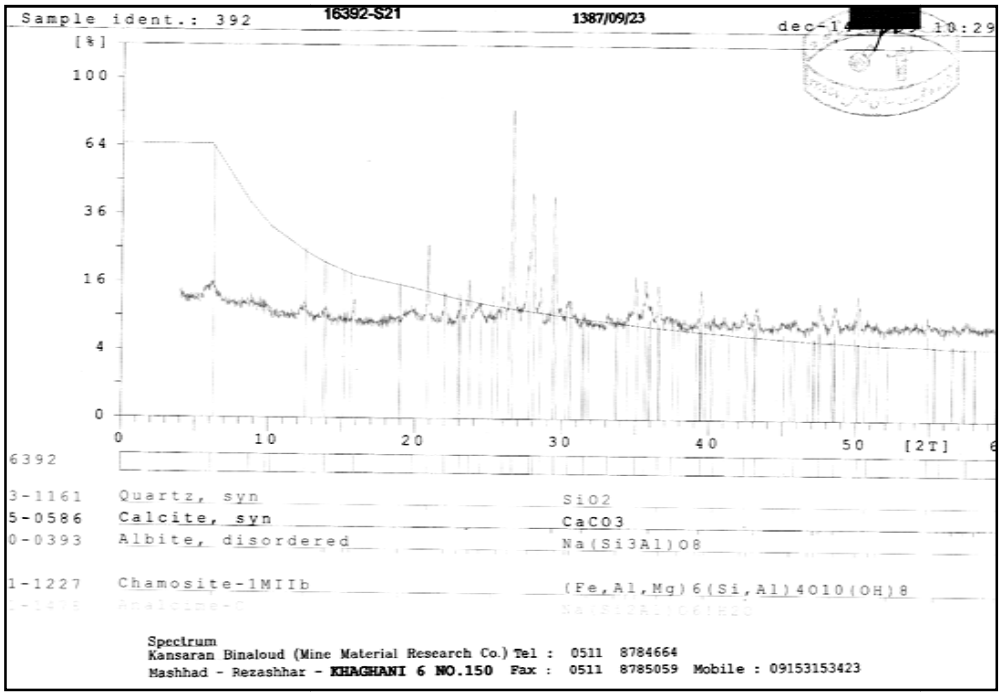
شکل ۳-۳ ب: گراف XRD در نمونه S_5



شکل ۳-۳ ج: گراف XRD در نمونه S_{17}



شکل ۳-۳ د: گراف XRD در نمونه S_{18}



شکل ۳-۳ د: گراف XRD در نمونه S_{21}

جدول۳-۱: فازهای کانی‌شناسی موجود در رسوبات با استفاده از روش XRD

شماره نمونه	مطالعات XRD	
	فاز اصلی	**فاز فرعی**
S_3	کوارتز، کلسیت	آلبیت، موسکویت، شاموزیت و ژیپس
S_{17}	کوارتز، کلسیت	مونتموریونیت، آلبیت، آنالسیم، هماتیت و مارگاریت
S_{18}	کوارتز، کلسیت	آلبیت،آنالسیم، مونتموریونیت،ادنیت و کلینوکلور
S_{21}	کوارتز، کلسیت	آلبیت، آنالسیم، موسکویت و شاموزیت
S_5	کوارتز، کلسیت	مونتموریونیت، دولومیت و ژیپس

۳-۴- مطالعه مقاطع صیقلی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی

همان‌طور که در فصل قبل اشاره شده تهیه مقاطع صیقلی در ۳ مرحله و با اهداف زیر صورت گرفت:

۱- مطالعه اولیه ۴ نمونه کلی رسوب که آنالیز XRD روی آن‌ها صورت گرفته است.

۲- مطالعه ۶ مقطع از اندازه‌ها و دانه‌بندی مختلف نمونه S_3 به منظور شناسایی بهترین اندازه از رسوبات برای انجام آنالیز شیمیایی رسوب

۳- مطالعه ۱۸ مقطع از اندازه ذرات زیر ۸۰ مش رسوباتی که آنالیز شیمیایی روی آن‌ها انجام شده است.

در نتیجه مطالعه مقاطع صیقلی، کانی‌های فلزی موجود در رسوبات با توجه به فروانی آن‌ها در کل این مقاطع عبارتند از:

۱- اکسیدهای آهن، غالبا مگنتیت، تیتانومگنتیت و هماتیت

۲- کانی‌های سولفیدی (پیریت) تبدیل شده یا در حال تبدیل به اکسید (هیدروکسید) آهن

۳- بقایای ذرات پیریت و احتمالاً آرسنوپیریت

۴- به میزان بسیار کم اکسیدهای منگنز

در ادامه هر یک از این کانی‌ها را به تفصیل شرح داده و فراوانی آن را در مقاطع مختلف مورد بحث قرار می‌دهیم.

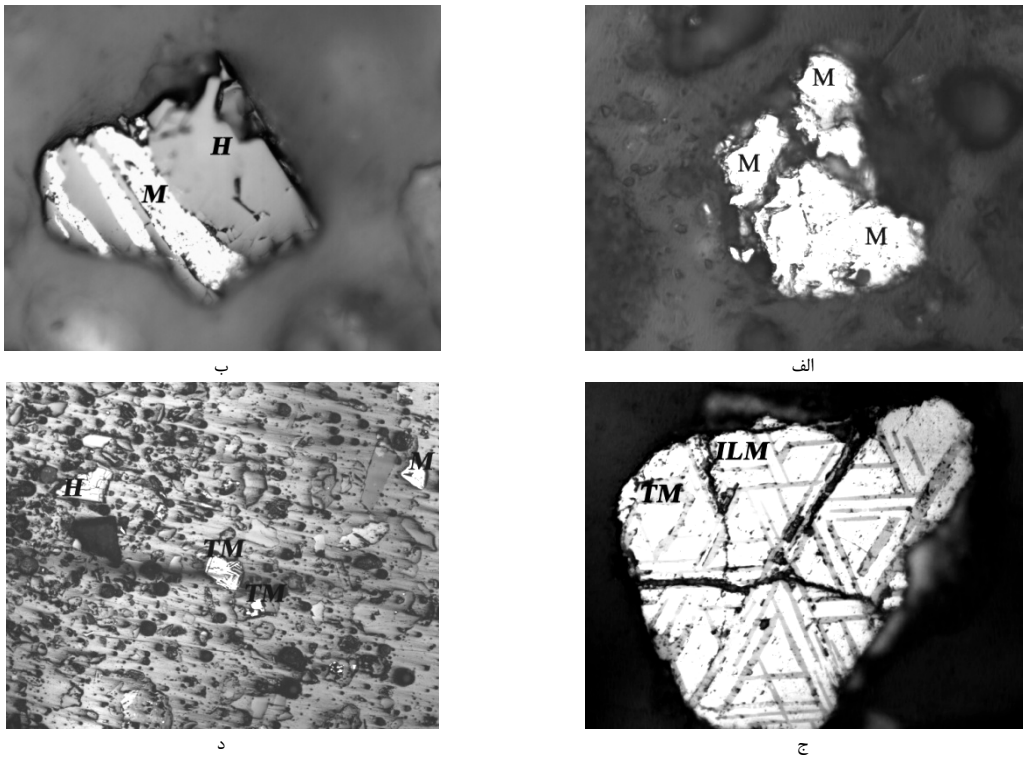
۳-۴-۱- اکسیدهای آهن

بر اساس مشاهدات انجام شده فراوان‌ترین کانی فلزی موجود در این مقاطع انواع کانی‌های اکسید آهن می‌باشدکه به ترتیب فراوانی عبارتند از: مگنتیت (حداکثر تا ۷٪)، تیتانومگنتیت (حداکثر ۲٪)، هماتیت (کمتر از ۱٪) و سایر اکسید (هیدروکسید) های آهن که به راحتی قابل تشخیص نمی‌باشند. کانی

مگنتیت در برخی از مقاطع در حال تبدیل به هماتیت و پدیده مارتیتی شدن می‌باشد. تیتانومگنتیت اغلب به صورت دانه‌هایی در ابعاد بزرگ‌تر نسبت به سایر کانی‌ها دیده شده و غالباً در زمینه بنفش تا صورتی رنگ ایلمنیت با رخ‌های واضح مثلثی شکل وجود دارد (شکل۳-۴).

۳-۴-۲- بقایای پیریت، آرسنوپیریت و پیریت تبدیل‌شده به اکسید (هیدروکسید) آهن

ذرات پیریت و آرسنوپیریت در برخی از مقاطع مشاهده می‌شوند که فراوانی این کانی‌ها در مقاطع مختلف متفاوت و از ۲درصد تا کمتر از ۱ درصد می‌باشد. همچنین در اغلب مقاطع موجود، دانه‌های پیریتی که در حال تبدیل به اکسید (هیدروکسید) آهن می‌باشد یافت می‌شود. فراوانی این کانی‌ها در مقاطع مختلف نیز از ۴ درصد تا کم‌تر از ۱ درصد می‌باشد (شکل ۳-۵).



الف

ب

ج

د

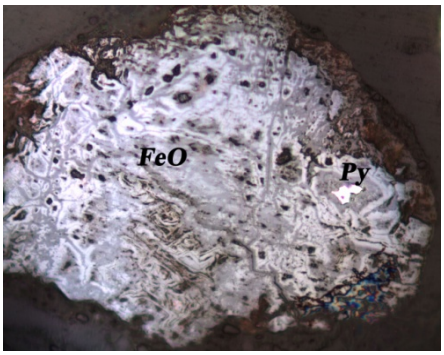
شکل ۳-۴: تصاویری از کانی‌های مشاهده شده در مقاطع صیقلی

الف: کانی مگنیتیت (500X)

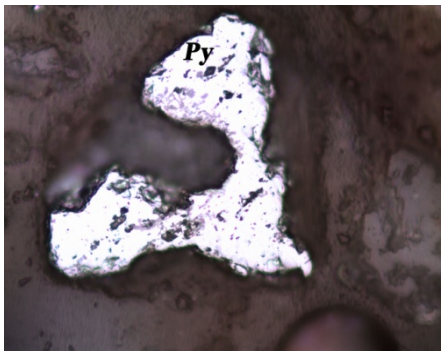
ب: کانی مگنتیت در حال تبدیل به هماتیتی (مارتیتی شدن) (500X)

ج: رخ‌های تیتانومگنتیت در داخل ایلمنیت(500X)

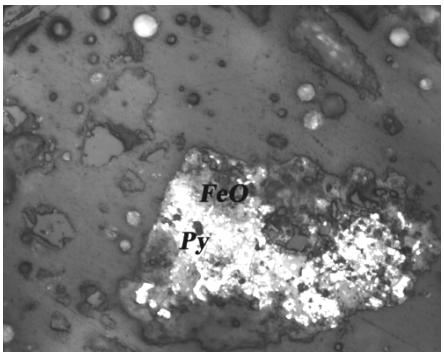
د: حضور کانی مگنتیت، تیتانومگنتیت و پیریت در مقطع(100X)



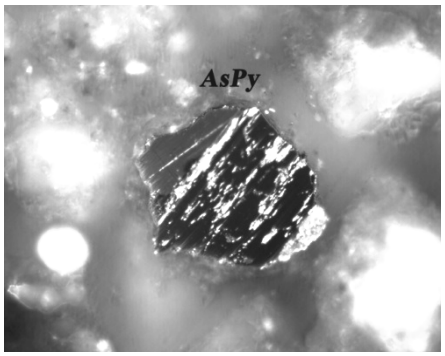
الف



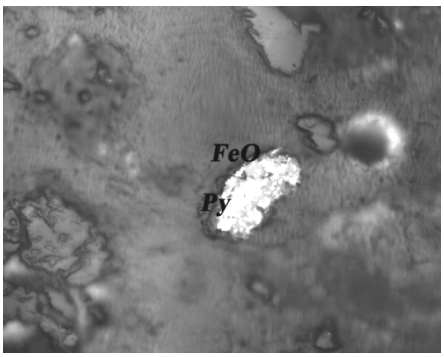
ب



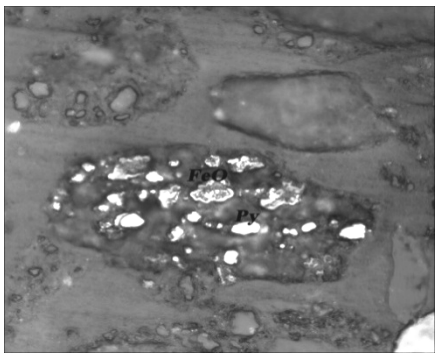
ج



د



ح



ر

شکل ۳-۵: تصاویری از کانی‌های مشاهده شده در مقاطع صیقلی

الف: اکسید (هیدورکسید) آهن حاصل از اکسایش پیریت (500X)

ب: یک دانه پیریت (500X)

ج: بقایای پیریت درحال تبدیل به اکسید (هیدورکسید) آهن(500X)

د: یک دانه آرسنوپیریت با آنیزوتروپی قوی سبز تا سیاه (500X)

ح: یک دانه پیریت در حال تبدیل به اکسید(هیدورکسید)آهن(500X)

ر: بقایای کانی پیریت تبدیل شده به اکسید(هیدورکسید)آهن(500X)

۳-۵- مطالعات SEM

مطالعه مقاطع صیقلی توسط میکروسکوپ نوری بیان‌گر فراوانی اکسیدهای آهن و به میزان کمتر کانی‌های سولفیدی در این رسوبات است. از آن‌جا که اکسید (هیدروکسید) های آهن از مهم‌ترین جاذب-های آرسنیک در محیط‌های طبیعی می‌باشد، پراکندگی احتمالی آرسنیک در سطح این کانی‌ها به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در ۲ مرحله بررسی شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) یکی از انواع میکروسکوپ‌ها می‌باشد که برای بزرگ‌نمایی بیشتر اجسام در علوم مختلف استفاده می‌شود. قدرت بزرگ‌نمایی این میکروسکوپ تا ۳۰۰۰۰۰هزار برابر می‌باشد. با تابش الکترون بر روی نمونه گذاشته شده در دستگاه، تصاویری از آن حاصل می‌شود که به آن تصاویر Back Scattered Electron (BSE) گفته می‌شود. یکی از آشکارسازهای اصلی این دستگاه Energy Dispersive Spectrometer (EDS)می‌باشد که به‌وسیله آن ترکیب شیمیایی (عناصر) هر نقطه از نمونه مورد نظر به‌صورت کیفی و نیمه کمی مشخص می‌شود. برای انجام آنالیز با استفاده از این میکروسکوپ بر روی نمونه‌ها پوشش‌دهی[6] با لایه نازکی از طلا، کربن، پلاتین و یا آلیاژ طلا داده می‌شود. این عمل برای هدایت جریان الکترون روی سطح نمونه و دست‌یابی به تصاویر و آنالیز مناسب ضروری می‌باشد (مرعشی و همکاران، ۱۳۸۳).

۳-۵-۱- مرحله اول

در اولین مرحله از این قسمت از تحقیقات، سه نمونه S_3، S_{17}، و S_{21}که از مناطق با غلظت بالای آرسنیک در آب و رسوب برداشت شده بود انتخاب گردید. از آنجا که فراوانی اکسید(هیدروکسید) های آهن در این مقاطع زیاد است، برای انجام این مطالعه کانی‌های مگنتیت و تیتانومگنتیت (که توسط

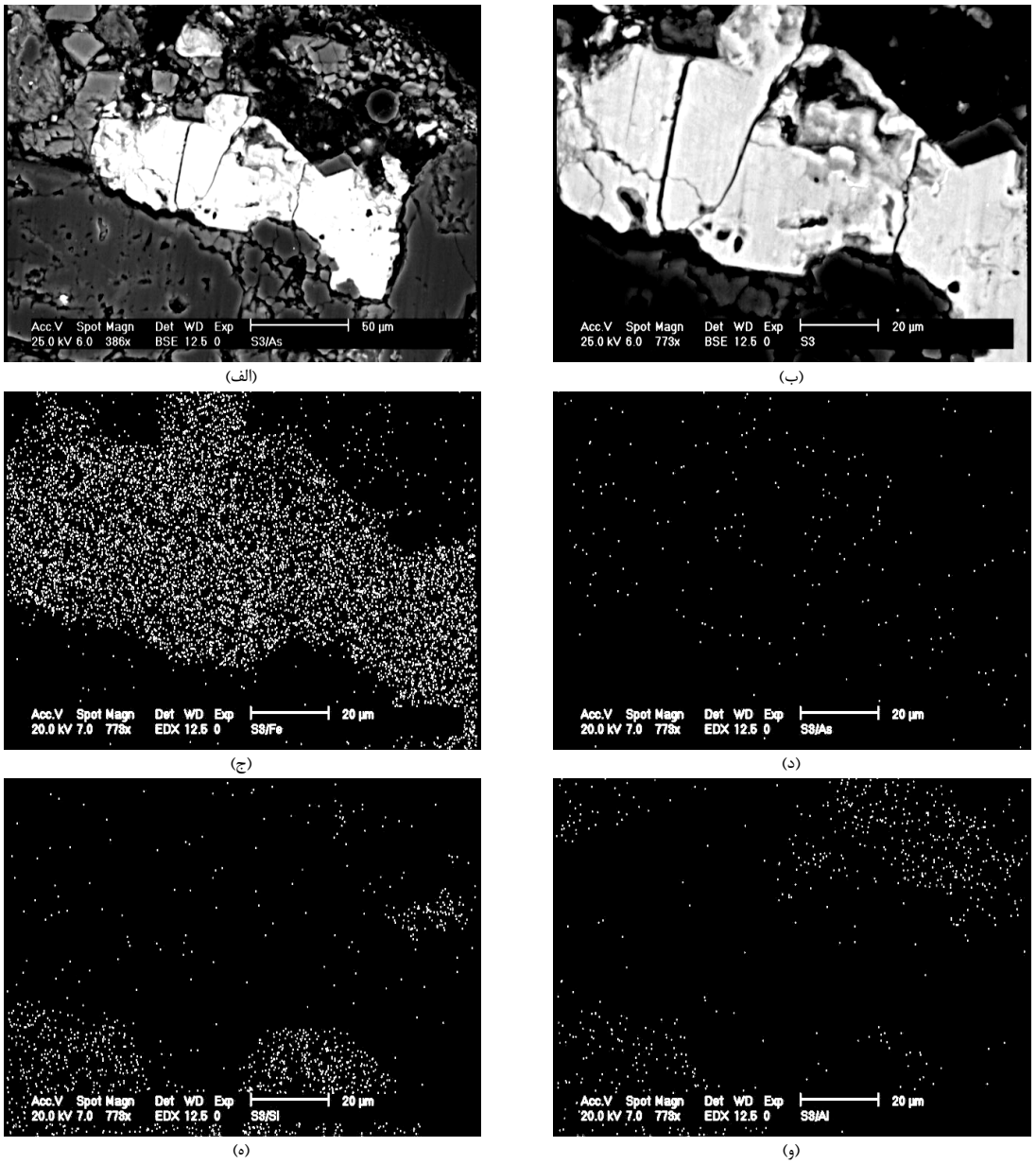
[6] Coating

میکروسکوپ نوری مگنتیت تشخیص داده شده) در این مقاطع انتخاب شد و پراکندگی عناصر آرسنیک، آهن، سیلیسیوم، آلومینیوم و تیتانیوم در نقاط انتخابی مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۳-۶ تصاویر EDS پراکندگی عناصر آهن، آرسنیک، آلومینیوم و سیلیسیوم را درکانی اکسیدآهن و پیرامون آن از نمونه S_3 نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان پراکندگی آهن در این کانی بیشتر از اطرافش می‌باشد و در مقابل پراکندگی سیلیسیوم و آلومینیوم در زمینه اطراف بیشتر و احتمالاً نشان‌گر بخشی از یک کانی رسی می‌باشد. با توجه به تصویر EDS مربوط به آرسنیک، میزان پراکندگی آن در محدوده کانی آهن‌دار بیشتر از اطراف آن می‌باشد. و از تلفیق این تصاویر شاید بتوان نتیجه گرفت احتمالاً جذب سطحی آرسنیک توسط کانی‌آهن‌دار بیشتر از کانی‌های رسی است.

در شکل ۳-۷ تصاویر BSE نمایان‌گر یک کانی تیتانومگنتیت با رخ‌های واضح مثلثی می‌باشد. تصاویر EDS پراکندگی سه عنصر آهن، تیتانیوم و آرسنیک را در این کانی نشان‌می‌دهد.

همان‌طور که در تصاویر EDS (شکل۳-۶) نشان داده شده پراکندگی عنصر آرسنیک تا حدودی با محدوده کانی‌های اکسیدآهن تطابق دارد. به علت حد تشخیص پایین دستگاه و نقص فنی آن در تولید آنالیز EDS، نتایج به‌دست آمده چندان قابل اعتماد نمی‌باشد، برای به‌دست آوردن نتایج بهتر مرحله دوم آزمایش میکروسکوپ الکترونی بر روی ذرات زیر ۸۰ مش رسوبات در آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشگاه فردوسی انجام شد.



شکل ۳-۶: تصاویر BSE و EDS حاصل از مطالعات SEM در نمونه S_3

الف: تصویر BSE از کانی اکسیدآهن در زمینه اطراف

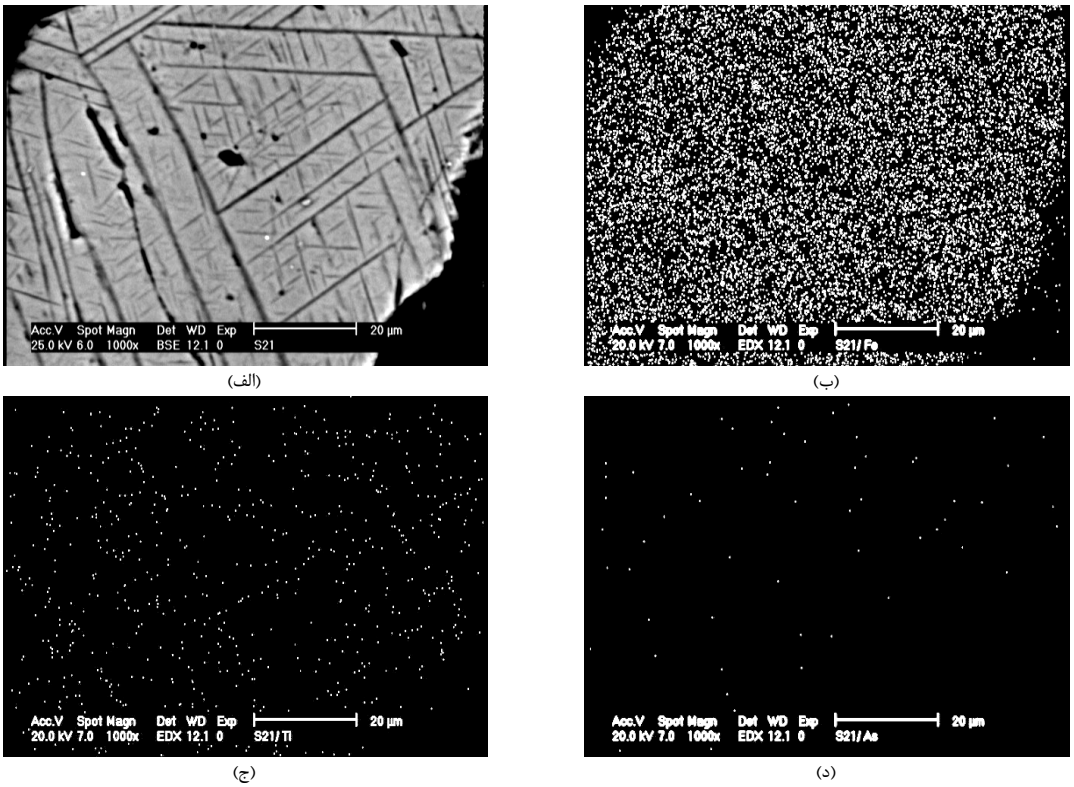
ب: تصویر BSE از کانی اکسیدآهن

ج: تصویر EDS عنصر آهن در کانی اکسیدآهن

د: تصویر EDS عنصر آرسنیک در کانی اکسیدآهن و زمینه اطراف

ه: تصویر EDS عنصر سیلیسیم در کانی اکسیدآهن و زمینه

و: تصویر EDS عنصر آلومینیوم در کانی اکسیدآهن و زمینه



شکل۳-۷: تصاویر BSE و EDS حاصل از مطالعات SEM یک کانی تیتانومگنتیت در نمونهS_{21}

الف: تصویر BSE از کانی تیتانومگنتیت با رخ‌های مثلثی
ب: تصویر EDS از عنصر آهن در کانی تیتانومگنتیت
ج: تصویر EDS از عنصر تیتانیوم در کانی تیتانومگنتیت
د: تصویر EDS از عنصر آرسنیک در کانی تیتانومگنتیت

۳-۵-۲- مرحله دوم

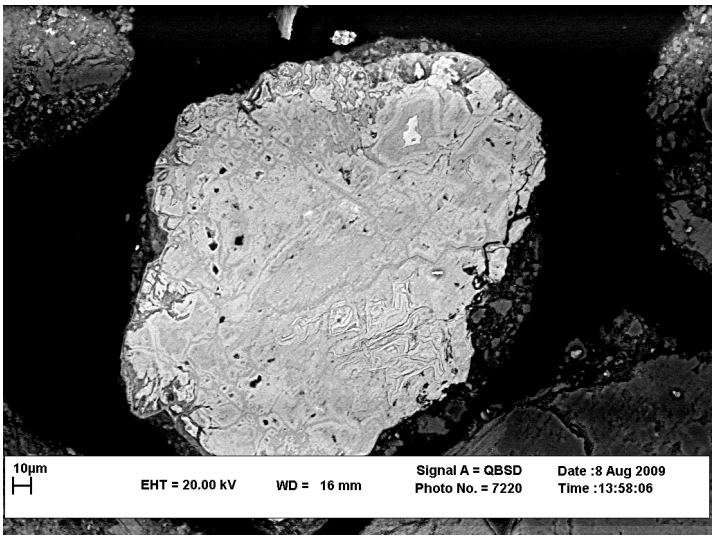
نتایج مطالعات مقاطع صیقلی نشان می‌دهد که مقطع شماره ۴ از نمونه S_3 با دانه‌بندی ۸۰ تا ۱۰۰ مش در بین کلیه مقاطع موجود دارای بالاترین درصد کانی‌های فلزی و بالاترین غلظت آرسنیک در رسوبات می‌باشد. برای انجام دومین مرحله از مطالعات میکروسکوپ الکترونی، این مقطع انتخاب گردید. ابتدا محل چند کانی مورد نظر در مقطع تعیین شد و سپس تصویر BSE به همراه آنالیز EDS از نقاط

تعیین شده تهیه شد. در این روش سطح مقطع با استفاده از پلاتین و طلا پوشش‌دهی شد. به همین دلیل همواره در آنالیز EDS عناصر Au, Pd دیده می‌شوند.

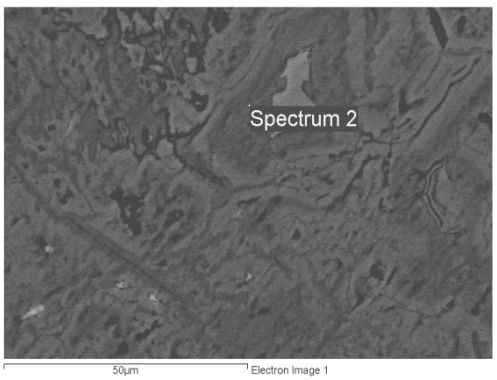
در شکل ۳-۸ (الف) یک دانه پیریت تبدیل شده به اکسید(هیدروکسید) آهن مشاهده می‌شود. آنالیز EDS در شکل ۳-۸ (ب) دو عنصر گوگرد با پیک بلند و آهن با پیک کوتاه را در نقاط روشن موجود در سطح این دانه نشان می‌دهد که نشان‌دهنده بقایای کانی پیریت می‌باشد. در شکل ۳-۸ (ج) آنالیز EDS از سطح دانه اکسیدشده گرفته شده و بیان‌گر وجود FeO به همراه سیلیسیوم و کربن می‌باشد.

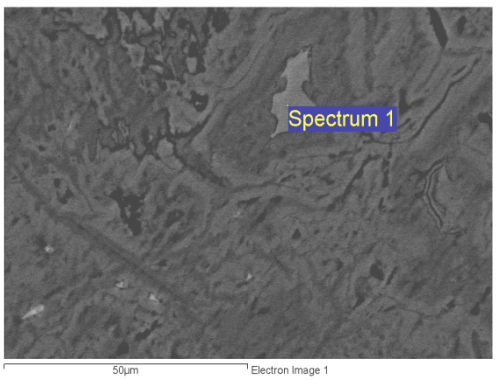
تصویر ۳-۹ (الف) متعلق به یک دانه پیریت می‌باشد که از حاشیه‌ها در حال تبدیل به اکسید(هیدروکسید) آهن است. آنالیز EDS در مرکز این دانه پیک بلندی از گوگرد به‌همراه آرسنیک، آهن و کربن را نشان می‌دهد (شکل ۳-۹-ب). در شکل ۳-۹ (ج) آنالیز EDS از حواشی دانه پیریت، عنصر آرسنیک را همراه با کلسیم، کربن، اکسیدآهن، و گوگرد مشخص می‌کند.

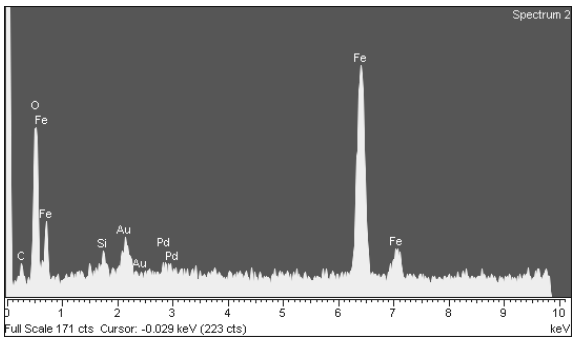
از یک کانی دیگر که ذرات باقی‌مانده فلزی در سطح آن به صورت پراکنده مشاهده می‌شود نیز تصاویر BSE و آنالیز EDS گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۳-۱۰ (الف) مشاهده می‌شود آنالیز EDS در سطح این کانی پیک بلند عنصر آرسنیک را به‌همراه عناصر دیگر نظیر کربن، سیلیسیوم، آلومینیوم، باریم و اکسیدآهن نشان می‌دهد. در حالی که در نقاط روشن‌تر باقی‌مانده در سطح کانی عنصر آرسنیک همراه با گوگرد، کربن، استرنسیوم، باریم و اکسیدآهن وجود دارد.



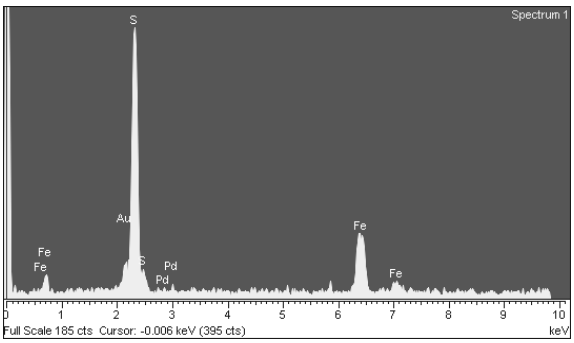
الف







ج



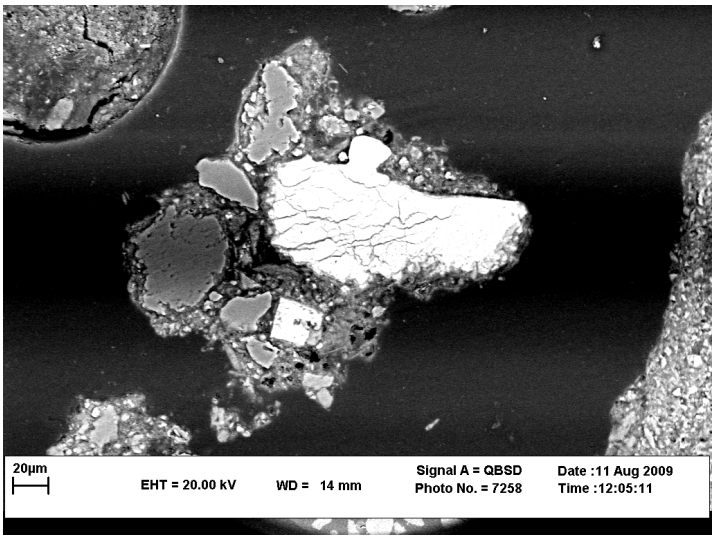
ب

شکل۳-۸: تصاویر BSE و آنالیز EDS مطالعه SEM کانی اکسید(هیدروکسید) آهن حاصل از اکسیداسیون پیریت

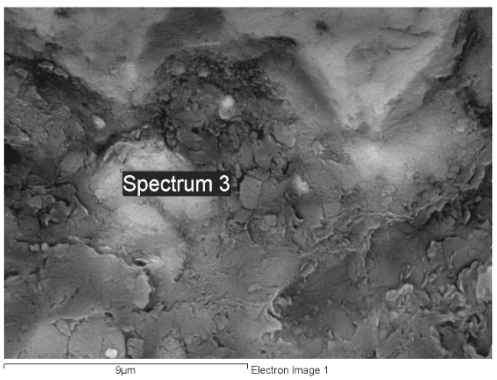
الف: تصویرBSEاز کانی اکسید(هیدروکسید) آهن حاصل اکسیداسیون پیریت

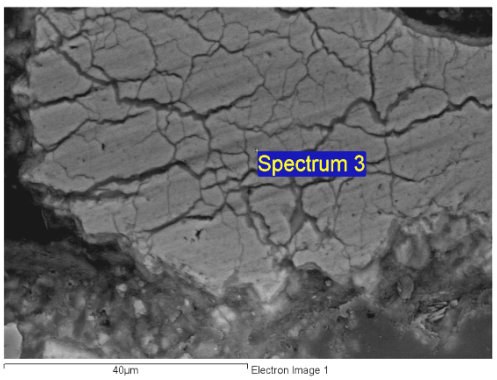
ب: آنالیزEDS از بقایای کانی پیریت در اکسید(هیدروکسید) آهن (نقطه روشن)

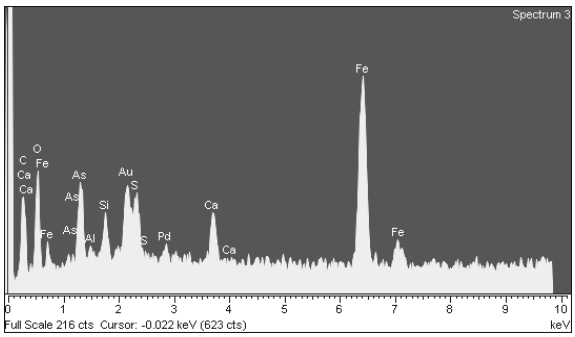
ج: آنالیزEDS از اکسید(هیدروکسید) آهن حاصل اکسیداسیون پیریت (نقطه تیره)



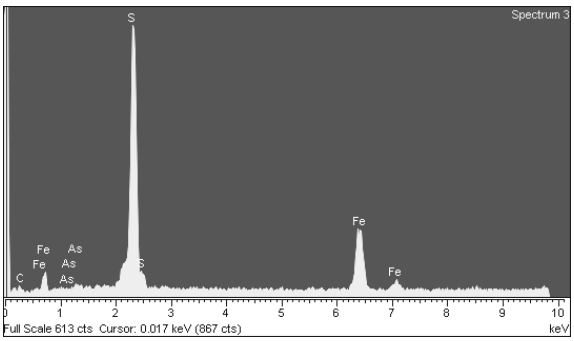
الف







ج



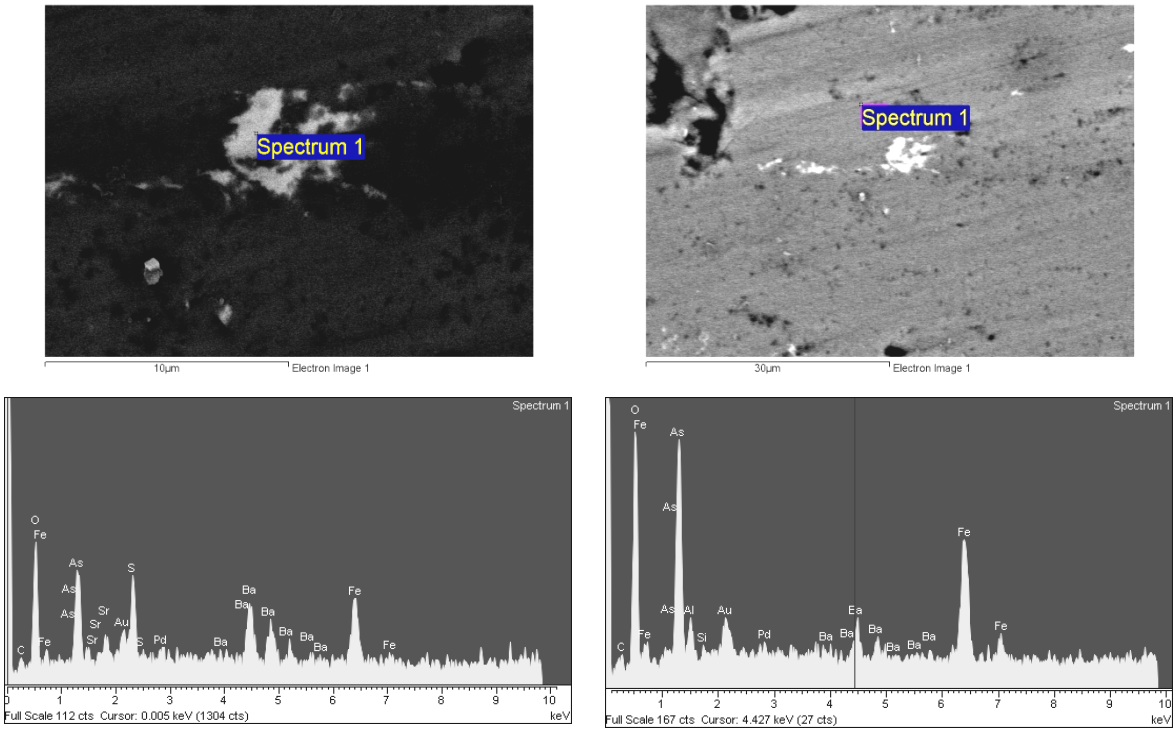
ب

شکل ۳-۹ : تصاویر BSE و آنالیز EDS مطالعه SEM یک کانی سولفیدی (پیریت یا آرسنوپیریت)

الف: تصویر BSE از یک کانی سولفیدی

ب: تصویرBSE و آنالیز EDS از کانی سولفیدی مذکور

ج: تصویرBSE و آنالیز EDS از حاشیه کانی سولفیدی که در حال اکسیداسیون می‌باشد.



الف ب

شکل ۳-۱۰ : تصاویر BSE و آنالیز EDS مطالعه SEM یک کانی فلزی

الف: تصویرBSE و آنالیز EDS در زمینه کانی مشخص شده

ب: تصویرBSE و آنالیز EDS و نقاط روشن درون کانی

فصل چهارم

مطالعات ژئوشیمیایی

۴-۱- مقدمه

غلظت بالای آرسنیک با منشا طبیعی در آب‌های آشامیدنی از مهم‌ترین دلایل آلودگی آرسنیک در دنیا می‌باشد (Sharma and Sohn, 2009). فرآیندهای طبیعی نظیر هوازدگی و فرسایش، فعالیت های بیولوژیکی، فوران آتشفشانی و همچنین فعالیت‌های انسانی منجر به آزادسازی آرسنیک در طبیعت می‌گردد. بیشترین مشکلات آرسنیک در طبیعت ناشی از تحرک آن تحت شرایط طبیعی می باشد (Smedley and Kinniburgh and Kinniburgh, 2002; Selinus, 2006). آرسنیک در بین فلزات سنگین و کانی‌های تشکیل‌دهنده اکسی‌آنیون‌ها (As، Se، Sb و ...) تنها عنصری است که تحت شرایط گسترده‌ای ازpH و شرایط اکسیداسیون - احیا[1] (اکسایش[2] و کاهش[3]) در آب‌های زیر زمینی متحرک می‌باشد (Smedley and Kinniburgh and Kinniburgh, 2002).

در آب‌های طبیعی آرسنیک معمولاً به دو شکل $AS(\mathrm{III})$ و $AS(\mathbb{V})$ غیرآلی وجود دارد (Mandal and Suzuki, 2002; Smedley and Kinniburgh and Kinniburgh,2002). انواع گونه‌های محلول آرسنیک در آب وابسته به pH، شرایط اکسیداسیون - احیا، شیمی سایر گونه‌های آبی و فعالیت‌های بیولوژیکی می‌باشد (Shih, 2005). تحت شرایط احیایی آرسنیک به شکل AS(III) گونه غالب بوده و در آب‌های اکسایشی به‌صورت $AS(\mathbb{V})$ می‌باشد (Smedley and Kinniburgh, 2002; Henke,2009).

مکانیسم آزادسازی[4]آرسنیک در آب‌های طبیعی بر اثر ۴ فرآیند اصلی اتفاق می‌افتد که عبارتند از: ۱- دفع سطحی[5] آرسنیک از کانی‌های جاذب آن تحت شرایط قلیایی (AD)[6] ۲- انحلال کانی‌های جاذب آرسنیک در شرایط احیایی (RD)[7] ۳- اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی شامل آرسنیک (SO)[8]

[1] Redox condition
[2]Oxidation
[3]Redaction
[4]Mobilisation
[5]Desorption
[6]Alkali desorption
[7]Reductive dissolution

(SO)[1] ۴- آزادسازی آرسنیک حاصل از آب‌های ژئوترمال (GT)[2] (Welch et al., 2000; Ravenscrofte at al., 2009).

بر همین اساس در این فصل با انجام مطالعات ژئوشیمیایی بر روی رسوبات رودخانه‌ای و پیدا کردن روابط بین عناصر موجود در آن و اندازه گیری pHرسوبات، با توجه به کانی‌های جاذب و حامل موجود در آن در پی شناسایی مکانیسم آزادسازی آرسنیک و ایجاد آلودگی در آب منطقه کوهسرخ می‌باشیم.

لازم به ذکر است که دو فرآیند جذب سطحی[3] آرسنیک به اکسیدهای فلزی و سایر کانی‌ها همچنین جذب سطحی به وسیله کانی‌های سولفیدی در آب‌های احیایی منجر به انتقال آرسنیک از آب و عدم تحرک[4] آن می‌گردد (Ravenscrofte et al., 2009).

۴-۲- مطالعات ژئوشیمیایی اولیه بر روی رسوبات کلی

۴-۲-۱- آنالیز جذب اتمی آرسنیک

در نخستین مرحله از مطالعات ژئوشیمیایی، برای درک بهتر از میزان آرسنیک احتمالی موجود در رسوبات منطقه، ۴ نمونه S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21} برای انجام آنالیز جذب اتمی انتخاب گردید. این ۴ نمونه رسوب متعلق به منابع آبی است که مطابق تحقیقات پرورش (۱۳۸۶) غلظت آرسنیک آن بالاتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. غلظت آرسنیک در این نمونه‌ها از ۸/۸۷۹ ppm تا ۶۵/۱۳ با میانگین ۲۶/۳۹ ppm اندازه‌گیری شد. بیشترین غلظت آرسنیک مربوط به نمونه S_3 از رسوبات چشمه کوه زرنیخ در نزدیکی محل کانی‌سازی آرسنیک – آنتیموان می‌باشد.

[1]Sulphide oxidation
[2]Geothermal
[3]Adsorption
[4]Immobilisation

۴-۲-۲- آزمایش شیمی‌تر در اندازه‌گیری میزان اکسیدآهن

اکسیدهای فلزی نظیر آهن، منگنز و آلومینیوم از مهم‌ترین جاذب‌های آرسنیک محسوب می‌شوند (Stollenwerk, 2003; Smedley and Kinniburgh, 2002) با توجه به این‌که اکسیدهای آهن فراوان‌ترین کانی فلزی شناخته شده در این رسوبات می‌باشد، ۴ نمونه S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21} برای تعیین میزان اکسیدآهن به‌روش شیمی‌ترآنالیز گردید. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش میزان اکسیدآهن در این ۴ نمونه از ۵/۴۲ تا ۶/۰۴ درصد متغیر می‌باشد. بیشترین میزان اکسیدآهن متعلق به نمونه S_{21} می‌باشد. غلظت آرسنیک در رسوب و آب و هم‌چنین میزان اکسیدآهن در ۴ نمونه S_3، S_{17}، S_{18} و S_{21} جدول۴-۱ نشان داده شده است.

جدول۴-۱: غلظت آرسنیک و اکسیدآهن در ۴ نمونهS_3 ، S_{17}، S_{18} و S_{21}

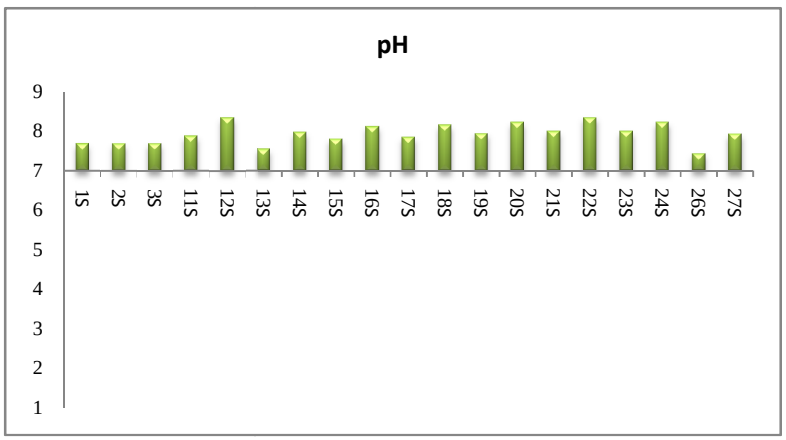
شماره نمونه	غلظت آرسنیک در آب (ppb)(پرورش۱۳۸۶)	غلظت آرسنیک در رسوب (ppm)	میزان اکسید آهن (٪)
S_3	۶۲۰/۵	۶۵/۱۳۰	۶/۰۰
S_{17}	۵۲/۲	۱۴/۳۱۰	۵/۷۳
S_{18}	۵۲/۲	۸/۹۷۹	۵/۴۲
S_{21}	۱۸/۸	۱۷/۱۵۵	۶/۰۴

۴-۳- pH رسوبات منطقه

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در تحرک آرسنیک در آب و رسوب، pH محیط می‌باشد (Smedley and Kinniburgh, 2002). این پارامتر در نمونه رسوبات این منطقه اندازه‌گیری شده و نشان می‌دهد pH در این نمونه‌ها از ۷/۵۴ تا ۸/۴۶ با میانگین ۸ می‌باشد. بر این اساس در تمام نمونه‌ها pH بالاتر از حد خنثی و در محدوده قلیایی می‌باشد. مقدار pH در هر نمونه در جدول ۴-۲ مشاهده می‌شود.

جدول۴-۲: مقدار pH در هر نمونه از رسوبات رودخانه‌ای

نمونه	pH	نمونه	pH
S_1	۷/۶۷	S_{18}	۸/۱۵
S_2	۷/۶۸	S_{19}	۷/۹۴
S_3	۷/۶۹	S_{20}	۸/۲۲
S_{11}	۷/۸۶	S_{21}	۷/۹۹
S_{12}	۸/۳۴	S_{22}	۸/۳۳
S_{13}	۷/۵۴	S_{23}	۷/۹۹
S_{14}	۷/۹۷	S_{24}	۸/۲۲
S_{15}	۷/۸	S_{26}	۷/۴۳
S_{16}	۸/۱۱	S_{27}	۷/۹۳
S_{17}	۷/۸۳		



شکل۴-۱: نمودار تغییرات pH نسبت به خط خنثی

۴-۴- آنالیز ICP-MS

روش ICP-MS به دلیل حد آشکارسازی بسیار پایین، درستی و دقت بالا، برای تجزیه عناصر جزئی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این روش می‌توان از مقدار اندکی نمونه، گستره وسیعی از عناصر موجود در آن را تعیین نمود (Rollinson, 1993). از طرفی این روش به دلیل حد

آشکارسازی بسیار پایین (کم‌تر از نانوگرم تا کم‌تر از پیکوگرم) برای آرسنیک، مناسب‌ترین روش در اندازه‌گیری آرسنیک می‌باشد (WHO,2001).

برای انجام آنالیز ICP-MS تعداد ۱۹ نمونه از رسوبات برداشت شده با ذرات کوچک‌تر از ۸۰ مش (۱۷۰ میکرون) انتخاب گردید. بیستمین نمونه هم از نمونه کلی رسوبات S_{27} انتخاب شد که با استفاده از آن بتوان تفاوت بین غلظت عناصر در ذرات زیر ۸۰ مش و نمونه کلی رسوبات تعیین گردد. در این آنالیز غلظت ۵۰ عنصر در هر یک از نمونه‌ها تعیین شد. در جدول ۴-۳ نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS در ۲۰ نمونه ذکر شده مشاهده می‌شود. در ادامه درباره غلظت برخی از عناصر مهم و موثر در مکانیسم انتقال، جذب و دفع سطحی آرسنیک و ارتباط بین آن‌ها بحث می‌شود.

جدول۴-۳: غلظت عناصر در نمونه رسوبات با استفاده از ICP-MS

	Method	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F
	Analyte	**Mo**	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ag**	**Ni**	**Co**	**Mn**	**Fe**	**As**	**U**	**Au**	**Th**	**Sr**	**Cd**	**Sb**	**Bi**	**V**	**Ca**
	Unit	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%
	MDL	0/01	0/01	0/01	0/1	2	0/1	0/1	1	0/01	0/1	0/1	0/2	0/1	0/5	0/01	0/02	0/02	2	0/01
Sample	Type																			
S1	Rock Pulp	0/6	50/35	7/08	58/2	21	233/1	24/1	787	3/04	129	0/4	2/2	1/9	263/2	0/16	0/61	0/12	67	7/09
S2	Rock Pulp	0/54	49/48	7/53	56/5	24	200/5	22	753	2/86	187/8	0/4	2/5	1/7	475/6	0/16	0/76	0/12	60	8/37
S3	Rock Pulp	0/78	52/95	10/05	55	31	181	21/6	798	2/89	268/2	0/5	5/3	2	467/1	0/15	1/13	0/14	58	7/97
S11	Rock Pulp	0/44	57/2	14/92	73/8	43	326/2	36/8	1036	3/8	12/4	0/4	2/4	2/1	119/1	0/18	0/19	0/18	84	2/98
S12	Rock Pulp	0/44	68/42	8/98	85/6	41	297/1	29/1	795	3/54	7/6	0/4	47/6	1/4	421/6	0/21	0/16	0/09	92	6/28
S13	Rock Pulp	0/54	75/43	10/69	67/7	48	85/7	23/2	917	3/81	9/3	0/4	16/7	1/5	186/9	0/23	0/12	0/13	108	5/3
S14	Rock Pulp	0/29	39/18	7/08	48/3	17	511/6	34/7	699	3/31	4/2	0/3	2/4	1/5	146	0/12	0/07	0/1	67	3/79
S15	Rock Pulp	0/29	47/48	8/15	53/4	21	425/5	31/9	758	3/59	5/2	0/3	3/1	1/4	135/5	0/14	0/11	0/09	86	3/28
S16	Rock Pulp	0/29	36/7	9/24	49/4	19	187/5	21/4	730	3	7/1	0/4	0/5	1/8	191/2	0/32	0/12	0/11	84	5/35
S17	Rock Pulp	0/42	43/7	7/36	45/2	28	126/3	20	1251	2/78	8/2	0/4	0/8	1/5	442/8	0/13	0/13	0/11	69	7/95
S18	Rock Pulp	0/67	37/55	8/66	48	33	108/1	15/7	666	2/66	7/1	0/4	1/2	1/8	331/1	0/13	0/14	0/1	76	5/69
S19	Rock Pulp	0/48	29/26	8/67	46	18	127	15/9	607	2/53	11/7	0/4	2/3	2/2	182/6	0/08	0/23	0/11	68	4/81
S20	Rock Pulp	0/65	31/37	10/19	42/3	22	175/8	18/4	589	2/97	10/9	0/6	1/7	1/7	179/7	0/13	0/22	0/11	101	5/1
S21	Rock Pulp	0/64	33/58	10/03	52/6	21	147/2	20/9	755	3/37	11/2	0/5	0/5	2/1	172/5	0/11	0/21	0/14	110	5/1
S22	Rock Pulp	0/42	27/06	8/38	45/3	17	159/7	21/6	749	3/49	9/3	0/4	<0/2	1/8	168/4	0/13	0/19	0/13	117	5/01
S23	Rock Pulp	0/35	37/06	6/08	39/4	23	203/6	24	716	3/06	10	0/4	<0/2	1/4	167/2	0/12	0/14	0/11	82	4/74
S24	Rock Pulp	0/45	37/03	7/79	48/6	25	156/9	23/6	755	3/62	8/9	0/5	0/2	1/5	167/9	0/14	0/19	0/13	114	4/74
S26	Rock Pulp	0/47	22/89	9/45	33/5	11	87/4	12/7	415	2/01	13/4	0/7	8	1/5	387/3	0/22	0/23	0/1	64	16/32
S27	Rock Pulp	0/59	38/85	14/64	64/5	23	131/8	18/3	615	3/63	14/2	0/8	8/9	2/2	189/5	0/15	0/3	0/16	124	2/17
27	Rock Pulp	0/84	30/07	10/87	52/2	40	122	17/4	532	3/42	12/5	0/6	8/3	2/2	169/6	0/09	0/3	0/13	112	1/12

ادامه جدول۴-۳: غلظت عناصر در نمونه رسوبات با استفاده از ICP-MS

	Method	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F
	Analyte	**P**	**La**	**Cr**	**Mg**	**Ba**	**Ti**	**B**	**Al**	**Na**	**K**	**W**	**Sc**	**Tl**	**S**	**Hg**	**Se**	**Te**	**Ga**
	Unit	%	PPM	PPM	%	PPM	%	PPM	%	%	%	PPM	PPM	PPM	%	PPB	PPM	PPM	PPM
	MDL	0/001	0/5	0/5	0/01	0/5	0/001	20	0/01	0/001	0/01	0/1	0/1	0/02	0/02	5	0/1	0/02	0/1
Sample	Type																		
S1	Rock Pulp	0/043	9/3	124/9	3/74	153/6	0/071	21	2/09	0/058	0/26	<0/1	8/7	0/14	0/09	48	0/3	0/05	5/8
S2	Rock Pulp	0/044	7/8	102/3	3/22	125/2	0/05	39	2/03	0/113	0/27	<0/1	8/6	0/22	1/3	53	0/5	0/03	5/9
S3	Rock Pulp	0/049	10/1	94/8	2/89	156/5	0/027	30	2/14	0/091	0/35	<0/1	8/6	0/3	0/74	35	0/4	0/05	5/7
S11	Rock Pulp	0/081	10/4	119/8	4/15	79	0/077	<20	2/6	0/07	0/32	<0/1	9/3	0/08	<0/02	18	0/5	0/04	7
S12	Rock Pulp	0/35	6/9	149/3	4/82	82/2	0/101	35	2/21	0/243	0/56	<0/1	8/9	0/02	0/04	14	0/6	0/03	6
S13	Rock Pulp	0/066	8/4	69	2/64	49/2	0/114	<20	3/45	0/367	0/25	<0/1	13/5	0/06	0/03	30	0/8	0/06	7/9
S14	Rock Pulp	0/044	6/6	217/7	6/8	61/4	0/077	<20	2/02	0/1	0/16	<0/1	7/4	0/04	<0/02	10	0/3	<0/02	5/1
S15	Rock Pulp	0/048	6/9	185/6	6/14	57/3	0/103	<20	2/12	0/159	0/2	<0/1	8/9	0/03	<0/02	9	0/2	0/03	5/3
S16	Rock Pulp	0/045	8/1	108/3	3/26	80/3	0/067	<20	2/16	0/315	0/23	<0/1	9/7	0/07	<0/02	5	0/1	0/03	5/3
S17	Rock Pulp	0/037	6/6	85/8	2/74	67/8	0/163	<20	3/15	0/421	0/2	<0/1	8/8	0/04	0/07	7	0/3	0/03	6/9
S18	Rock Pulp	0/049	8/1	84/2	2/3	95/1	0/084	22	2/1	0/672	0/26	<0/1	7/5	0/05	0/05	<5	0/4	<0/02	5/1
S19	Rock Pulp	0/05	8/1	77/2	2/35	87/1	0/055	22	1/86	0/672	0/21	<0/1	6/4	0/05	0/36	5	0/2	<0/02	4/5
S20	Rock Pulp	0/047	8/2	137/8	2/41	134/2	0/076	<20	1/37	0/305	0/13	<0/1	5	<0/02	<0/02	7	0/3	<0/02	4
S21	Rock Pulp	0/06	9/9	89/6	2/66	105/7	0/081	<20	1/97	0/318	0/35	<0/1	7/1	0/05	0/02	<5	0/3	<0/02	5/2
S22	Rock Pulp	0/043	8/3	100/6	2/5	108/4	0/083	<20	1/9	0/538	0/19	<0/1	8/1	0/04	0/03	<5	0/2	0/02	5
S23	Rock Pulp	0/037	6/9	110/2	3/56	71/5	0/112	<20	2/42	0/656	0/18	<0/1	9/6	0/04	0/08	5	0/2	<0/02	5/3
S24	Rock Pulp	0/039	7/8	93/2	2/7	93/5	0/123	<20	2/14	0/464	0/16	<0/1	8/5	0/04	<0/02	<5	0/2	0/02	5/2
S26	Rock Pulp	0/043	10/5	69/4	1/39	119	0/039	<20	1/5	0/07	0/18	<0/1	4/5	0/05	0/02	9	0/3	0/04	3/7
S27	Rock Pulp	0/054	10/9	181/2	1/91	122	0/091	<20	1/63	0/095	0/22	<0/1	5/5	0/05	<0/02	6	0/4	<0/02	5/1
27	Rock Pulp	0/048	10	163/2	1/78	155/8	0/092	<20	1/52	0/111	0/17	<0/1	5/5	0/02	<0/02	<5	0/2	<0/02	4/8

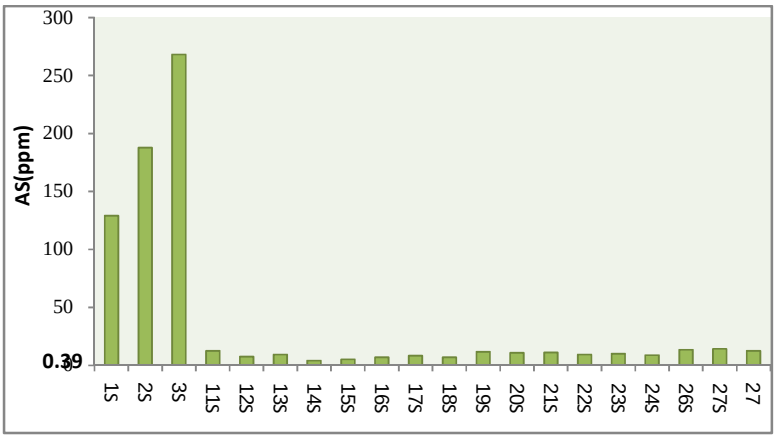
ادامه جدول۴-۳: غلظت عناصر در نمونه رسوبات با استفاده از ICP-MS

	Method	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F	1F
	Analyte	**Cs**	**Ge**	**Hf**	**Nb**	**Rb**	**Sn**	**Ta**	**Zr**	**Y**	**Ce**	**In**	**Re**	**Be**	**Li**	**Pd**	**Pt**
	Unit	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPB	PPB
	MDL	0/02	0/1	0/02	0	0/1	0/1	0/05	0/1	0/01	0/1	0	1	0/1	0/1	10	2
Sample	Type																
S1	Rock Pulp	1/37	<0/1	0/21	0	11/5	0/5	<0/05	6/4	7/67	17	0	<1	0/4	19	15	3
S2	Rock Pulp	1/12	<0/1	0/18	0/1	10/9	0/5	<0/05	6/1	7/52	15	0	<1	0/3	19	<10	<2
S3	Rock Pulp	1/65	<0/1	0/17	0/1	14/6	1/2	<0/05	4/9	8/14	19	0	<1	0/3	21	<10	2
S11	Rock Pulp	1/25	<0/1	0/12	0/3	14/1	4/7	<0/05	5/1	9/4	22	0	<1	0/6	29	<10	5
S12	Rock Pulp	0/59	0/1	0/12	0/3	8/7	2/3	<0/05	5/8	8/2	13	0	2	0/3	15	15	4
S13	Rock Pulp	0/8	0/1	0/18	0/4	10/3	1/3	<0/05	8/4	10/7	16	0	<1	0/4	18	18	5
S14	Rock Pulp	0/68	0/1	0/14	0/1	7/6	0/7	<0/05	6/5	6/59	13	<0/02	<1	0/3	14	<10	2
S15	Rock Pulp	0/63	<0/1	0/19	0/1	7/4	1/5	<0/05	9/1	7/88	13	0	<1	0/3	16	12	5
S16	Rock Pulp	0/77	<0/1	0/28	0	8/9	0/5	<0/05	11/7	8/71	15	0	<1	0/3	25	<10	4
S17	Rock Pulp	1/08	<0/1	0/41	0/1	7/7	0/7	<0/05	21	7/95	13	0	<1	0/3	15	24	5
S18	Rock Pulp	1/01	<0/1	0/24	0/1	9/5	0/9	<0/05	10/7	8/56	15	0	<1	0/3	22	17	<2
S19	Rock Pulp	1/57	<0/1	0/24	0/1	9/9	0/5	<0/05	10/8	7/59	15	0	<1	0/4	20	<10	<2
S20	Rock Pulp	0/94	<0/1	0/14	0/1	6/6	1	<0/05	6/1	6/68	14	<0/02	<1	0/3	12	<10	5
S21	Rock Pulp	0/95	<0/1	0/19	0/1	11/8	1/3	<0/05	8/5	7/89	19	0	<1	0/4	28	<10	<2
S22	Rock Pulp	0/79	<0/1	0/31	0	7/7	0/5	<0/05	12/1	7/95	15	0	<1	0/4	20	<10	5
S23	Rock Pulp	0/7	<0/1	0/39	0	7/7	0/6	<0/05	17/1	8/21	13	0	<1	0/2	19	<10	<2
S24	Rock Pulp	0/68	<0/1	0/37	0	7	0/6	<0/05	16/9	8/68	14	0	<1	0/3	17	<10	5
S26	Rock Pulp	1/12	<0/1	0/04	0/2	9/3	1	<0/05	2	9/03	16	<0/02	<1	0/3	14	<10	4
S27	Rock Pulp	1/15	<0/1	0/07	0/3	11/4	1/1	<0/05	3/8	7/87	21	0	<1	0/5	17	<10	2
27	Rock Pulp	0/79	<0/1	0/12	0/1	7/4	0/6	<0/05	5/2	7/24	19	0	<1	0/3	15	<10	<2

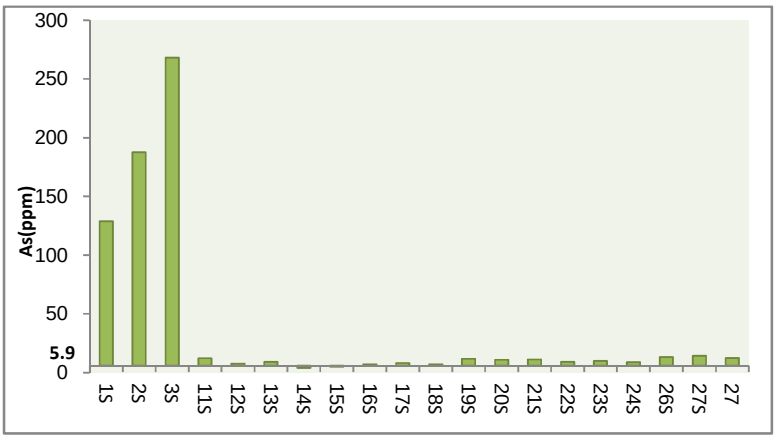
۴-۴-۱- آرسنیک

غلظت آرسنیک در رسوبات با استفاده از ICP-MS با دقت ppm ۰/۱ اندازه‌گیری شده است. غلظت این عنصر در رسوبات منطقه کوهسرخ از ppm ۴/۲ تا ppm ۲۶۸/۲ با میانگین ppm ۳۸/۷۲ و میانه ppm ۹/۳ متغیر می‌باشد. با توجه به این‌که غلظت آرسنیک در پوسته زمین۰/۵ppm تا ppm ۲/۵ است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007)، در تمامی نمونه‌ها غلظت آرسنیک بالاتر از حد متوسط پوسته زمین می‌باشد. بالاترین غلظت آرسنیک ppm ۲۶۸/۲، ۱۸۷/۸و۱۲۹ مربوط به نمونه‌های S_1، S_2 و S_3 است. این ۳ نمونه از امتداد آبراهه چشمه‌ای در کوه زرنیخ (محل کانی‌سازی آرسنیک- آنتیموان) برداشت شده است. کم‌ترین میزان آن هم باppm ۴/۲ متعلق به نمونه S_{14} که از قنات دهنو در اوندر برداشت شده می‌باشد. بر اساس گزارش US EPA (2004)[1]حد استاندارد آرسنیک در خاک و رسوبات مناطق مسکونی ppm ۰/۳۹ و در مناطق صنعتی ppm ۱/۶ است. بر اساس این استاندارد همان‌طور که در نمودار ۴-۲ مشاهده می‌شود در تمام نمونه‌ها غلظت آرسنیک بالاتر از این حد می‌باشد و در نتیجه برای مناطق مسکونی مطلوب نمی‌باشد. همچنین بر اساس استاندارد کانادا غلظت مجاز آرسنیک در رسوبات آب‌های شیرین (ISQG)[2] ppm ۵/۹ و سطح تاثیر احتمالی آرسنیک (PEL)[3] در این رسوبات ppm ۱۷ می‌باشد (Canadian Environmental Quality Guidelines, 2003). نمودار ۴-۳ و ۴-۴ تغییرات آرسنیک را نسبت به این دو استاندارد کانادا نشان می‌دهد. چنان‌چه مشاهده می‌شود در تمام نمونه‌ها به جز دو نمونه S_{14} و S_{15} غلظت آرسنیک بالاتر از ISQG و در ۳ نمونه S_1، S_2 و S_3 بالاتر از PEL می‌باشد.

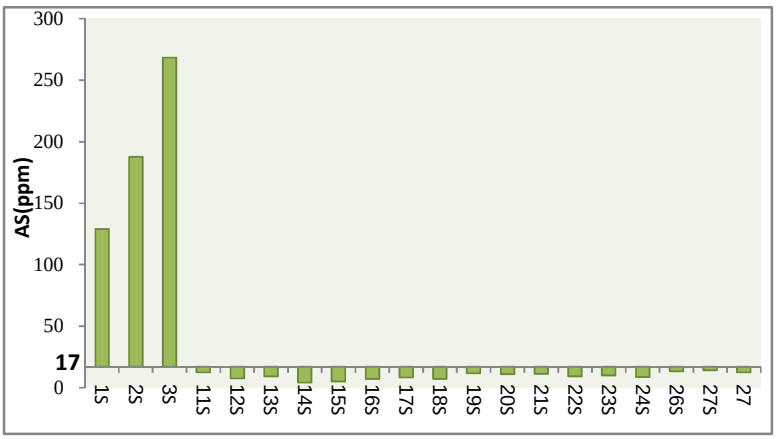
[1]U.S. Environmental Protection Agency
[2]Interim Sediment Quality Guidelines
[3] Probable Effect Levels



شکل۴-۲: تغییرات آرسنیک نسبت به استانداردUS EPA



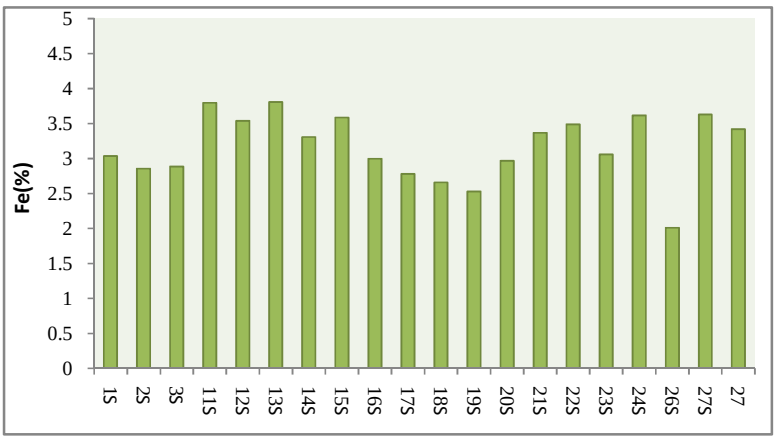
شکل۴-۳: تغییرات آرسنیک نسبت به استاندارد ISQG



شکل۴-۴: تغییرات آرسنیک نسبت به استاندارد PEL

۴-۴-۲- آهن (Fe)

اکسید (هیدروکسید) های آهن از مهم‌ترین جاذب‌های آرسنیک در محیط‌های طبیعی می‌باشند (Stollenwerk, 2003; Smedley and Kinniburgh, 2002). در نتیجه میزان آن در محیط و رابطه آن با آرسنیک در تعیین های آلودگی بسیار مهم می‌باشد. میزان آهن در رسوبات منطقه از ۲/۰۱ تا ۳/۸۱ درصد با میانگین ۳/۱۵ درصد متغیر می‌باشد. مقدار متوسط آهن در پوسته زمین ۵ درصد است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). با توجه به نمودار ۴-۵ در تمامی نمونه‌های موجود مقدار آهن کمتر از مقدار متوسط آن در پوسته زمین است. بیشترین میزان آهن با ۳/۸۱ درصد مربوط به نمونه S_{13} و کم‌ترین آن با ۲/۰۱ درصد متعلق به نمونه S_{26} می‌باشد.



شکل۴-۵: تغییرات Fe در رسوبات منطقه کوهسرخ نسبت به مقدار متوسط آن در پوسته زمین

۴-۴-۳- کلسیم (Ca)

از مهم‌ترین جاذب‌های آرسنیک در آبخوان‌ها و رسوبات، کربنات‌ها هستند (Goldberg and Glaubig, 1988). کربنات‌ها در تغییرات غلظت آرسنیک در آب و رسوب بسیار موثر می‌باشند. کربنات کلسیم از فراوان‌ترین کانی‌ها در رسوبات منطقه به‌شمار می‌آید. میزان کلسیم در این رسوبات از ۲/۱۷ تا ۱۶/۳۲ درصد متغیر است. میانگین مقدار آن در رسوبات ۵/۸۹ درصد است (Kabata-Pendias and

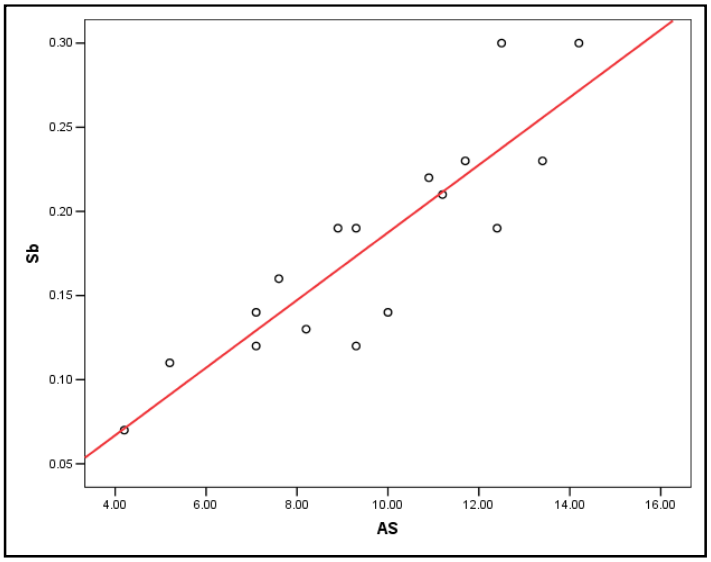
Mukherjee,2007). بالاترین و کم‌ترین مقدار کلسیم در این منطقه به‌ترتیب متعلق به نمونه S_{26} و S_{27} می‌باشد.

۴-۴-۴- منگنز (Mn)

از دیگر جاذب‌های آرسنیک می‌توان به اکسیدهای منگنز اشاره نمود (Smedley and Kinniburgh, 2002; Stollenwerk, 2003). بیشترین و کم‌ترین میزان منگنز در این رسوبات ppm ۴۱۵ و ppm ۱۲۵۱ است که به‌ترتیب متعلق به نمونه‌های S_{17} و S_{27} می‌باشد. غلظت متوسط منگنز در پوسته زمین بین ppm ۷۱۶ تا ppm ۱۴۰۰ است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). در حالی که در تمام نمونه‌ها غلظت منگنز کم‌تر یا بین این دو مقدار است.

۴-۴-۵- آنتیموان (Sb)

در منطقه کوهسرخ کانی‌سازی آرسنیک همراه آنتیموان می‌باشد. غلظت آنتیموان در رسوبات منطقه از ppm ۰/۰۷ تا ppm ۱/۱۳ متغیر بوده و بالاترین در نمونه S_3 وکم‌ترین در نمونه S_{14} دیده می‌شود. کلارک این عنصر در پوسته زمین ppm ۰/۱ تا ppm ۰/۹ می‌باشد (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). مطابق نمودار ۴-۹ ضریب همبستگی بین آرسنیک و آنتیموان r =۰/۹۷۹ مثبت و نزدیک یک می‌باشد که نشان‌دهنده همبستگی مثبت و نسبتاً کامل بین این دو عنصر است. بنابراین تغییرات آرسنیک و آنیموان در رسوبات منطقه کوهسرخ هم‌جهت و وابسته به‌هم می‌باشد.



شکل۴-۶: تغییرات آرسنیک نسبت به آنتیموان در رسوبات منطقه کوهسرخ

۴-۴-۶- فسفر (P)

عنصر فسفر و کانی‌های حاوی آن در روند جذب سطحی و دفع سطحی آرسنیک به اکسیدهای فلزی بسیار تاثیر گذار می‌باشند (Jain and Loeppert, 2000). غلظت فسفر در این رسوبات از ۰/۰۳۷٪ تا ۰/۳۵٪ با میانگین ۰/۰۶۳٪ متغیر می‌باشد. بیشترین مقدار در نمونه S_{23} و کم‌ترین آن در نمونه S_{12} مشاهده می‌شود.

۴-۴-۷- گوگرد (S)

خواص و رفتارهای شیمیایی آرسنیک به دلیل پتانسیل یونی مشابه، بسیار نزدیک به گوگرد می‌باشد. کانی‌های سولفیدی (همانند پیریت و آرسنوپیریت) از مهم‌ترین کانی‌های حامل آرسنیک هستند که تحت شرایط مخصوص محیط با اکسیداسیون آن‌ها آرسنیک موجود در آن وارد محیط اطراف می‌شود. غلظت گوگرد در رسوبات هم می‌تواند کلیدی به سمت شناسایی مکانیسم آزادسازی

آرسنیک باشد. مقدار گوگرد در رسوبات رودخانه‌ای این منطقه از ۰/۰۲ > تا ۱/۳ درصد متغیر می باشد. غلظت گوگرد در این رسوبات نسبت به مناطق کانی‌سازی سولفیدی بسیار کمتر می‌باشد.

۴-۴-۸- طلا (Au)، جیوه (Hg) و مس (Cu)

همان طور که در بخش کلیات ذکر شد، علاوه بر کانی‌سازی آرسنیک و آنتیموان در منطقه کوهسرخ، آنومالی طلا، جیوه و مس هم مشاهده می‌شد (کریم‌پور،۱۳۸۳). غلظت طلا در رسوبات منطقه بین ۰/۲ ppb> تا ۴۷/۶ ppb ، غلظت جیوه از ۵ ppb > تا ۵۳ ppb و غلظت مس از ۲۲/۸۹ ppm تا ۷۵/۴۳ ppm اندازه‌گیری شده است.

۴-۴-۹- کبالت (Co)، کرم (Cr)، نیکل (Ni)

از دیگر عناصر فلزی مهم موجود در رسوبات می‌توان به سه عنصر کبالت، کرم و نیکل اشاره نمودند. در رسوبات رودخانه‌ای منطقه کوهسرخ غلظت کبالت، کرم و نیکل به ترتیب ۱۲.۷ ppm تا ۳۹.۸ ، ۶۹ ppm تا ۲۱۷.۷ و ۸۵.۷ ppm تا ۵۱۱.۶ می‌باشد. غلظت متوسط این عناصر در پوسته زمین به ترتیب ۱۲-۱۰ ppm، ۱۸۵ ppm- ۱۲۶ و ۲۰ ppm است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). در نتیجه در رسوبات این منطقه غنی‌شدگی بالایی از این سه عنصر دیده می شود.

۴-۵- ضریب آلودگی[1] و درجه آلودگی[2]

برای تعیین میزان آلودگی فلزات در رسوبات از ضریب آلودگی استفاده می‌شود. این ضریب از تقسیم غلظت عنصر در نمونه اندازه‌گیری شده به غلظت آن در نمونه زمینه ضریب آلودگی حاصل می‌شود.

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}} \quad (۱-۴)$$

در این فرمولCFبیانگر ضریب آلودگی، C_{sample} نشان دهنده غلظت عنصر در نمونه و $C_{background}$ نشان‌دهنده غلظت عنصر در نمونه زمینه است. ضریب آلودگی بیانگر میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین نسبت به حد زمینه آن می‌باشد. با توجه به مقدار ضریب آلودگی برای هر فلز در هر نمونه می‌توان درجه آلودگی را تعیین نمود (Hakanson, 1980):

- $CF < 1$ ضریب آلودگی پایین
- $1 \leq CF < 3$ ضریب آلودگی متوسط
- $3 \leq CF < 6$ ضریب آلودگی قابل توجه
- $CF \geq 6$ ضریب آلودگی بسیار بالا

از مجموع ضرایب آلودگی عناصر فلزی برای هر نمونه درجه آلودگی در نمونه مورد نظر به‌دست می‌آید.

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} CF_i \quad (۲-۴)$$

در این فرمول CF_i ضریب آلودگی فلزات در هر نمونه و n تعداد فلزات اندازه‌گیری شده در هر نمونه از رسوبات می‌باشد. با توجه به مقدار درجه آلودگی، هر نمونه به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود (Hakanson, 1980):

- $C_d < 8$ درجه آلودگی پایین
- $8 \leq C_d < 16$ درجه آلودگی متوسط

[1] Contamination Factor
[2] Degree of Contamination

- $16 \leq C_d < 32$ درجه آلودگی قابل توجه
- $32 \leq C_d$ درجه آلودگی بسیار بالا

در محاسبه این ضریب برای فلزات در رسوبات منطقه از غلظت زمینه این فلزات حاصل از تحقیقات کمپانی جیانگسی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان استفاده کردیم. در جدول ۴-۴ مقادیر زمینه برای هر فلز ، میزان ضریب آلودگی محاسبه شده برای هر فلز در هر نمونه و درجه آلودگی برای هر نمونه نشان داده شده است. با توجه به داده‌های جدول ۴-۴ برای فلزات Cr, Cs, Nb, Ag, Ba ضریب آلودگی در تمام نمونه‌ها پایین است. ضریب آلودگی برای فلزات Li, Bi, Sr, Mo, Zn, Cu, Co در بعضی از نمونه‌ها پایین و به‌ترتیب در تعداد نمونه‌های بیشتری ضریب آلودگی متوسط می‌باشد. در سه عنصر Au, Hg, As ضریب آلودگی در چندین نمونه بسیار بالاست. با توجه به ضرایب موجود، تعداد نمونه‌های دارای ضریب آلودگی بالا برای فلز طلا نسبت به سایر عناصر بیشتر می‌باشد.

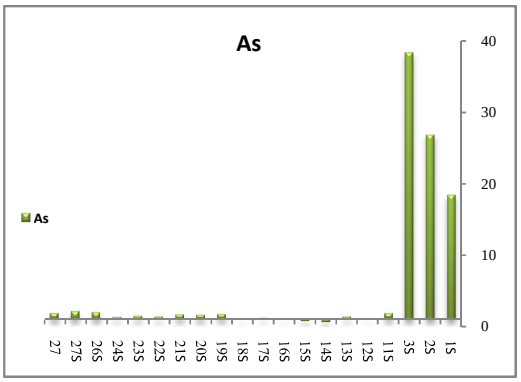
درجه آلودگی در پنج نمونه $S_1, S_2, S_3, S_{12}, S_{13}$ بسیار بالا، در چهار نمونه $S_{11}, S_{26}, S_{27}, 27$ قابل توجه و در سایر نمونه‌ها متوسط می‌باشد. در نتیجه پنج نمونه $S_1, S_2, S_3, S_{12}, S_{13}$ از آلودگی فلزی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار می‌باشند.

در شکل ۴-۷ تا ۴-۲۲ نمودار تغییرات ضریب آلودگی برای هر عنصر در رسوبات نسبت به عدد یک نشان داده شده است.

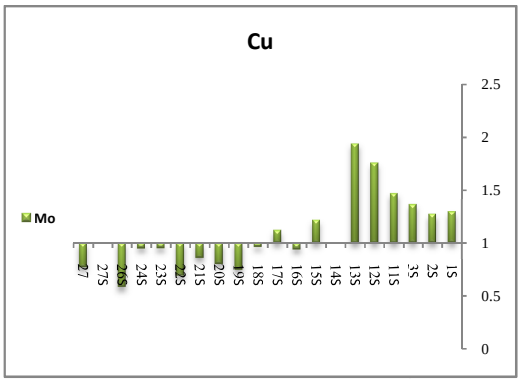
جدول۴-۴: محاسبه ضریب آلودگی برای هر عنصر در هر نمونه و درجه آلودگی برای هر نمونه از رسوبات

	Mo	***Cu***	***Zn***	***Ni***	***Co***	***As***	***Au***	***Hg***	***Sr***	***Cr***	***Cs***	***Nb***	***Ag***	***Bi***	***Ba***	***Li***	C_d
مقدار زمینه (ppm)	0/62	39	57	127	21	7	0/98	6/80	346	511	4/20	7/40	61	0/14	246	23	
نمونه																	
S1	0/97	1/29	1/02	1/84	1/15	18/43	2/24	7/06	0/76	0/24	0/33	0/00	0/34	0/86	0/62	0/83	37.99
S2	0/87	1/27	0/99	1/58	1/05	26/83	2/55	7/79	1/37	0/20	0/27	0/01	0/39	0/86	0/51	0/84	47.38
S3	1/26	1/36	0/96	1/43	1/03	38/31	5/41	5/15	1/35	0/19	0/39	0/01	0/51	1/00	0/64	0/90	59.89
S11	0/71	1/47	1/29	2/57	1/75	1/77	2/45	2/65	0/34	0/23	0/30	0/04	0/70	1/29	0/32	1/26	19.14
S12	0/71	1/75	1/50	2/34	1/39	1/09	48/57	2/06	1/22	0/29	0/14	0/04	0/67	0/64	0/33	0/67	63.42
S13	0/87	1/93	1/19	0/67	1/10	1/33	17/04	4/41	0/54	0/14	0/19	0/05	0/79	0/93	0/20	0/78	32.17
S14	0/47	1/00	0/85	4/03	1/65	0/60	2/45	1/47	0/42	0/43	0/16	0/01	0/28	0/71	0/25	0/61	15.39
S15	0/47	1/22	0/94	3/35	1/52	0/74	3/16	1/32	0/39	0/36	0/15	0/01	0/34	0/64	0/23	0/68	15.54
S16	0/47	0/94	0/87	1/48	1/02	1/01	0/51	0/74	0/55	0/21	0/18	0/01	0/31	0/79	0/33	1/10	10.51
S17	0/68	1/12	0/79	0/99	0/95	1/17	0/82	1/03	1/28	0/17	0/26	0/02	0/46	0/79	0/28	0/66	11.46
S18	1/08	0/96	0/84	0/85	0/75	1/01	1/22		0/96	0/16	0/24	0/02	0/54	0/71	0/39	0/97	11.72
S19	0/77	0/75	0/81	1/00	0/76	1/67	2/35	0/74	0/53	0/15	0/37	0/01	0/30	0/79	0/35	0/87	12.21
S20	1/05	0/80	0/74	1/38	0/88	1/56	1/73	1/03	0/52	0/27	0/22	0/02	0/36	0/79	0/55	0/53	12.43
S21	1/03	0/86	0/92	1/16	1/00	1/60	0/51		0/50	0/18	0/23	0/02	0/34	1/00	0/43	1/21	11.98
S22	0/68	0/69	0/79	1/26	1/03	1/33			0/49	0/20	0/19	0/00	0/28	0/93	0/44	0/87	11.18
S23	0/56	0/95	0/69	1/60	1/14	1/43		0/74	0/48	0/22	0/17	0/00	0/38	0/79	0/29	0/82	11.25
S24	0/73	0/95	0/85	1/24	1/12	1/27	0/20		0/49	0/18	0/16	0/00	0/41	0/93	0/38	0/73	10.64
S26	0/76	0/59	0/59	0/69	0/60	1/91	8/16	1/32	1/12	0/14	0/27	0/03	0/18	0/71	0/48	0/63	18.18
S27	0/95	1/00	1/13	1/04	0/87	2/03	9/08	0/88	0/55	0/35	0/27	0/04	0/38	1/14	0/50	0/74	20.95
27	1/35	0/77	0/92	0/96	0/83	1/79	8/47		0/49	0/32	0/19	0/02	0/66	0/93	0/63	0/64	19.96

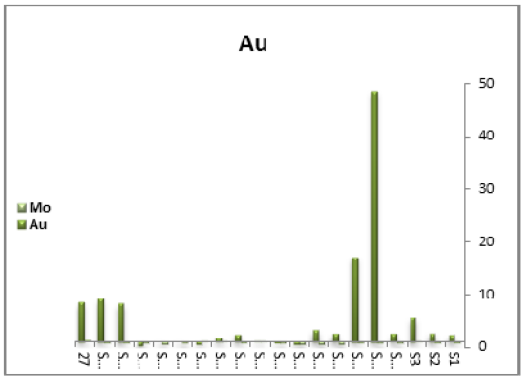
$CF < 1$	$C_d < 8$
$1 \leq CF < 3$	$8 \leq C_d < 16$
$3 \leq CF < 6$	$16 \leq C_d < 32$
$CF \geq 6$	$32 \leq C_d$
غیرقابل تشخیص	



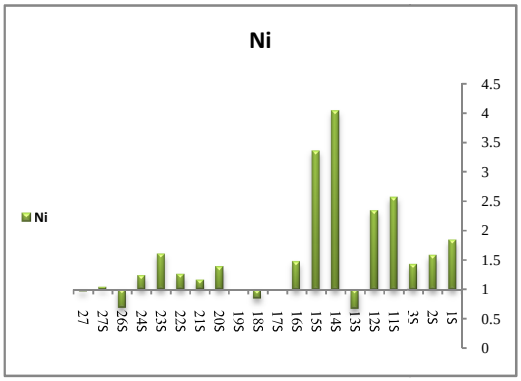
شکل۴-۷: ضریب آلودگی عنصر ارسنیک در رسوبات



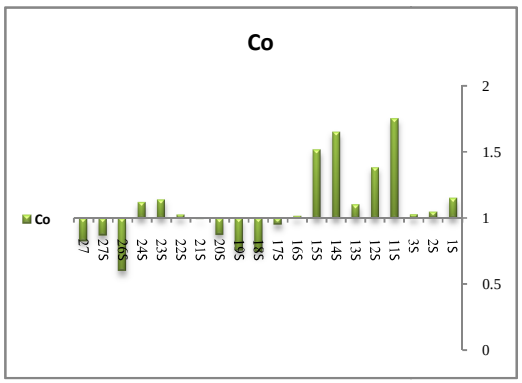
شکل۴-۸: ضریب آلودگی عنصر مس در رسوبات



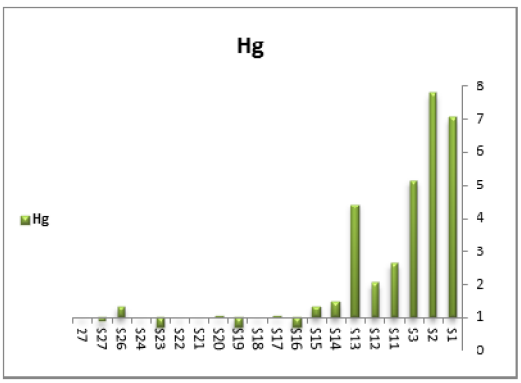
شکل۴-۹: ضریب آلودگی عنصرطلا در رسوبات



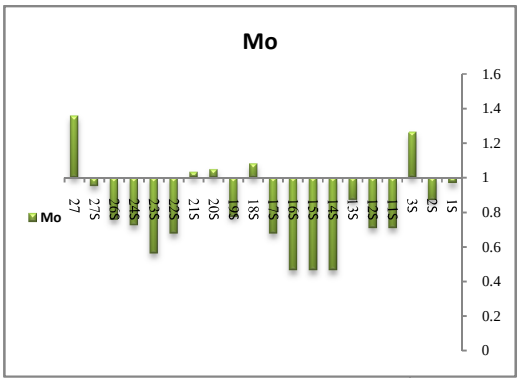
شکل۴-۱۰:ضریب آلودگی عنصر نیکل در رسوبات



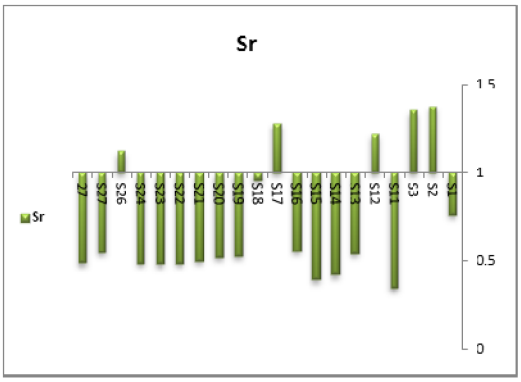
شکل۴-۱۱: ضریب آلودگی عنصر کبالت در رسوبات



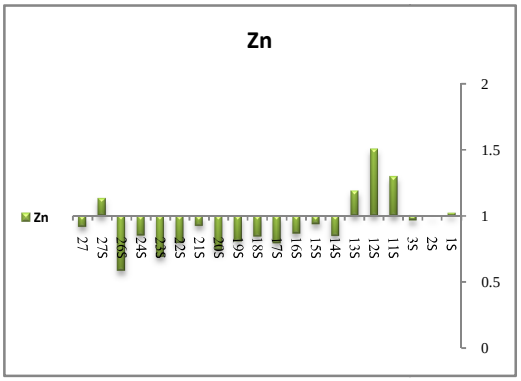
شکل۴-۱۲: ضریب آلودگی عنصر جیوه در رسوبات



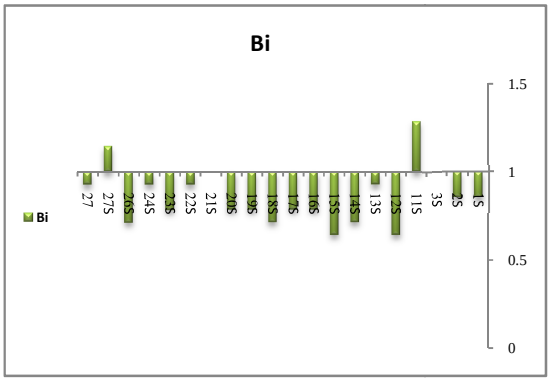
شکل۴-۱۳: ضریب آلودگی عنصرمولیبدن در رسوبات



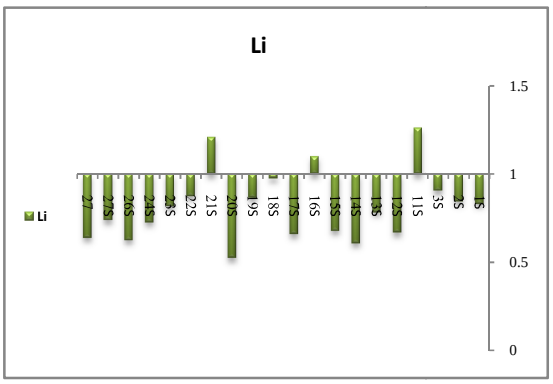
شکل۴-۱۴: ضریب آلودگی عنصر استرنسیم در رسوبات



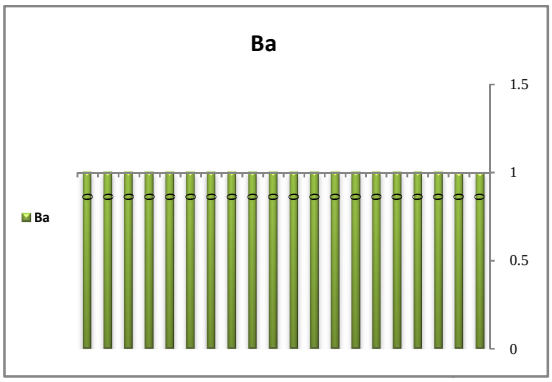
شکل۴-۱۵:ضریب آلودگی عنصر روی در رسوبات



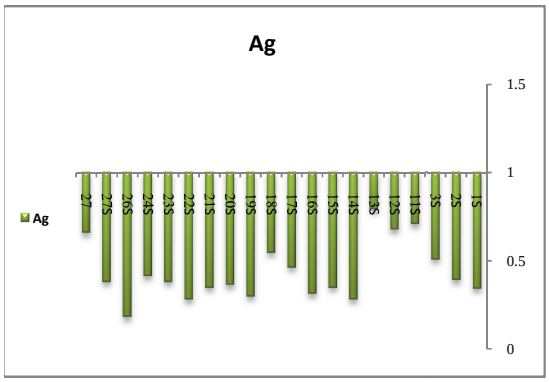
شکل۴-۱۶: ضریب آلودگی عنصر بیسموت در رسوبات



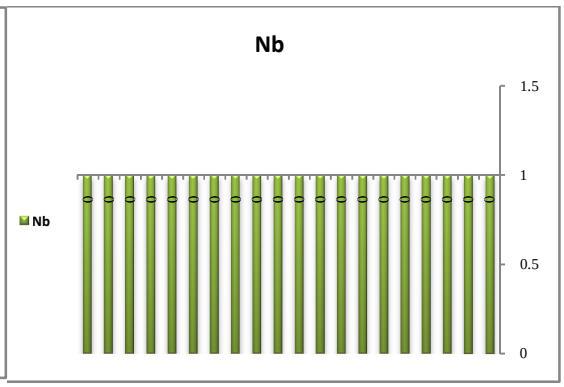
شکل۴-۱۷: ضریب آلودگی عنصر لیتیم در رسوبات



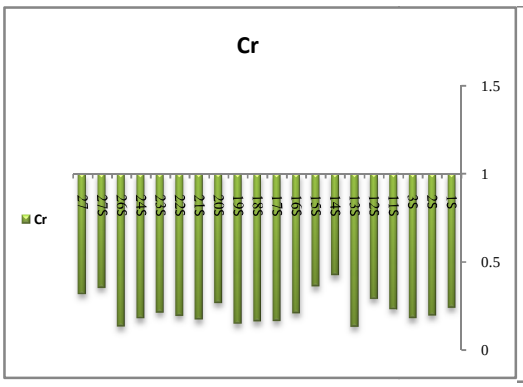
شکل۴-۱۸: ضریب آلودگی عنصر باریم در رسوبات



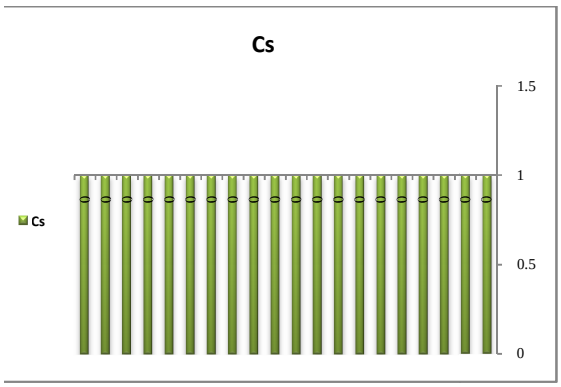
شکل۴-۱۹: ضریب آلودگی عنصر نقره در رسوبات



شکل۴-۲۰: ضریب آلودگی عنصر نیوبیم در رسوبات



شکل۴-۲۱: ضریب آلودگی عنصر کرم در رسوبات



شکل۴-۲۲: ضریب آلودگی عنصر سزیم در رسوبات

۴-۶- ضریب زمین‌انباشت[1]

از دیگر معیارهای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات، ضریب زمین‌انباشت می‌باشد. این معیار که اولین بار در سال ۱۹۷۹ توسط مولر[2] مطرح گردید (و به همین دلیل اندیس مولر نامیده می شود.) به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات نسبت به میزان زمینه در منطقه استفاده می‌شود. فرمول محاسبه ضریب زمین‌انباشت به‌صورت زیر می‌باشد:

$$I_{geo} = log_2(\frac{C_n}{1.5 \times B_n}) \quad (۳-۴)$$

در این فرمول I_{geo} ضریب زمین‌انباشت (اندیس مولر)، C_n غلظت عنصر در هر نمونه، B_n غلظت زمینه هر عنصر و ضریب ۱/۵ جهت حذف تغییرات احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین شناختی می‌باشد (Mullre, 1979). مولر (۱۹۸۱) ضریب زمین‌انباشت را به ۷ کلاس از کلاس ۰ (بدون آلودگی) تا کلاس ۶ (به شدت آلوده) طبقه‌بندی کرده است (Mullre, 1981).

جهت تعیین آلودگی‌های موجود در رسوبات منطقه، اندیس زمین‌انباشت برای فلزات سنگین در هر نمونه محاسبه شد. غلظت زمینه در این محاسبات از مقدار زمینه تعیین شده توسط تحقیقات شرکت جیانگسی استفاده شد. در جدول ۴-۵ اندیس زمین‌انباشت برای عناصر در هر نمونه محاسبه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در رسوبات این منطقه برای عناصر Li, Ba, Bi, Ag, Nb, Cs, Cr, Sr آلودگی وجود ندارد. برای عناصر Mo,Cu, Zn, Ni, Co در برخی از نمونه‌ها آلودگی متوسط دیده می‌شود. ولی برای سه عنصر As, Hg, Au بیشترین میزان آلودگی در رسوبات دیده می‌شود. بر اساس محاسبات انجام شده برای عنصر آرسنیک در سه نمونه S_1, S_2, S_3 و برای عنصر طلا در S_{12}, S_{13}, S_{27}, 27 آلودگی متوسط تا شدید دیده می‌شود.

[1]Geoaccumulation Index
[2]Muller

جدول۴-۵: محاسبه ضریب زمین انباشت برای هر عنصر در رسوبات منطقه کوهسرخ

	MO	*Cu*	*Zn*	*Ni*	*Co*	*As*	*Au*	*Hg*	*Sr*	*Cr*	*Cs*	*Nb*	*Ag*	*Bi*	*Ba*	*Li*
Sample	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*	*I*
S1	0/057	-0/216	-0/555	0/291	-0/386	3/619	0/582	2/234	-0/980	-2/618	-2/201	-8/531	-2/123	-0/807	-1/264	-0/853
S2	-0/095	-0/242	-0/598	0/074	-0/518	4/161	0/766	2/377	-0/126	-2/905	-2/492	-7/309	-1/931	-0/807	-1/559	-0/831
S3	0/436	-0/144	-0/636	-0/074	-0/544	4/675	1/850	1/779	-0/152	-3/015	-1/933	-7/794	-1/562	-0/585	-1/237	-0/730
S11	-0/390	-0/032	-0/212	0/776	0/224	0/240	0/707	0/819	-2/124	-2/678	-2/333	-5/416	-1/089	-0/222	-2/224	-0/251
S12	-0/390	0/226	0/002	0/641	-0/114	-0/466	5/017	0/457	-0/300	-2/360	-3/417	-5/258	-1/158	-1/222	-2/166	-1/164
S13	-0/095	0/367	-0/337	-1/152	-0/441	-0/175	3/506	1/556	-1/473	-3/474	-2/977	-4/831	-0/931	-0/692	-2/907	-0/939
S14	-0/992	-0/578	-0/824	1/425	0/140	-1/322	0/707	-0/029	-1/830	-1/816	-3/212	-7/309	-2/428	-1/070	-2/587	-1/301
S15	-0/992	-0/301	-0/679	1/159	0/018	-1/014	1/076	-0/181	-1/937	-2/046	-3/322	-6/946	-2/123	-1/222	-2/687	-1/145
S16	-0/992	-0/673	-0/791	-0/023	-0/558	-0/564	-1/556	-1/029	-1/441	-2/823	-3/032	-8/116	-2/268	-0/933	-2/200	-0/447
S17	-0/457	-0/421	-0/920	-0/593	-0/655	-0/357	-0/878	-0/543	-0/229	-3/159	-2/544	-6/416	-1/708	-0/933	-2/444	-1/183
S18	0/217	-0/640	-0/833	-0/817	-1/005	-0/564	-0/293		-0/648	-3/186	-2/641	-6/309	-1/471	-1/070	-1/956	-0/623
S19	-0/265	-1/000	-0/894	-0/585	-0/986	0/156	0/646	-1/029	-1/507	-3/312	-2/005	-7/116	-2/346	-0/933	-2/083	-0/794
S20	0/173	-0/899	-1/015	-0/116	-0/776	0/054	0/210	-0/543	-1/530	-2/476	-2/745	-6/309	-2/056	-0/933	-1/459	-1/512
S21	0/151	-0/801	-0/701	-0/372	-0/592	0/093	-1/556		-1/589	-3/097	-2/729	-6/309	-2/123	-0/585	-1/804	-0/312
S22	-0/457	-1/112	-0/916	-0/254	-0/544	-0/175			-1/624	-2/930	-2/995	-9/116	-2/428	-0/692	-1/767	-0/779
S23	-0/720	-0/659	-1/118	0/096	-0/392	-0/070		-1/029	-1/634	-2/798	-3/170	-9/116	-1/992	-0/933	-2/368	-0/876
S24	-0/358	-0/660	-0/815	-0/280	-0/417	-0/239	-2/878		-1/628	-3/040	-3/212	-8/531	-1/872	-0/692	-1/981	-1/047
S26	-0/295	-1/354	-1/352	-1/124	-1/311	0/352	2/444	-0/181	-0/422	-3/465	-2/492	-5/724	-3/056	-1/070	-1/633	-1/261
S27	0/033	-0/591	-0/407	-0/531	-0/784	0/436	2/598	-0/766	-1/454	-2/081	-2/454	-5/258	-1/992	-0/392	-1/597	-1/021
27	0/543	-0/960	-0/712	-0/643	-0/856	0/252	2/497		-1/614	-2/232	-2/995	-6/531	-1/194	-0/692	-1/244	-1/231

<0	بدون آلودگی	3,4	آلودگی شدید
0-1	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط	4,5	آلودگی شدید تا وسیع
1,2	آلودگی متوسط	>5	آلودگی وسیع
2,3	آلودگی متوسط تا شدید		غیر قابل تشخیص

۴-۷- محاسبه ماتریس همبستگی (ماتریس پیرسون)

همبستگی مقیاسی جهت سنجش قدرت ارتباط بین دو متغییر می‌باشد که به صورت کمی با استفاده از ضریب گشتاور حاصل ضربی همبستگی پیرسون به‌دست می‌آید و ضریب همبستگی نامیده می‌شود. ضریب همبستگی برای هر جفت متغیر محاسبه شده و داده‌ها به‌صورت یک ماتریس (ماتریس همبستگی پیرسون) ارائه می‌گردد. از ماتریس همبستگی می‌توان در تعیین همبستگی‌های معنی‌دار بین عناصر استفاده نمود و داده‌های ژئوشیمیایی را مورد پردازش قرار داد (Rollinson, 1993). جهت تعیین ارتباط بین عناصر مختلف موجود در رسوبات منطقه، ماتریس همبستگی پیرسون با استفاده از نرم افزار Mirosoft Office Excel 2007 محاسبه گردید. رابطه بین این عناصر در تعیین روابط ژئوشیمیایی موجود در منطقه مخصوصاً در چگونگی آزادسازی و انتقال آرسنیک نقش مهمی می‌توان داشته باشد.

در جدول ۴-۶ ماتریس همبستگی بین عناصر فلزی موجود در رسوبات رسم گردید. داده‌های این جدول روابط ژئوشیمیایی بین عناصر فلزی را در این رسوبات بیان می‌دارد. بر اساس آن بین عنصر As و فلزات Sr, Sb, Ba, Hg همبستگی مثبت و با فلزات Fe, Au, V, Tiهمبستگی منفی وجود دارد. در این بین می‌توان به رابطه مثبت بین دسته فلزات Zn, Ag, Au, Cu ، Ni, Co, Cr ، Sb,Ba, Hg و Fe, V, Co,Ti نیز اشاره نمود.

همبستگی مثبت بین عناصر آرسنیک، جیوه، طلا، آنتیموان و گوگرد نشان‌دهنده کانی‌سازی این عناصر در منطقه می‌باشد. همبستگی مثبت بین طلا و مس هم نشانی از کانی‌سازی این دو فلز در منطقه دارد که توسط کریم‌پور وسعادت (۱۳۸۳) و نریمانی (۱۳۸۰) آنومالی‌های آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین همبستگی بین وانادیم و آهن تاییدی بر جانشینی‌های ماگمایی وانادیم در مانتیت‌ها و سایر کانی‌ها به جای آهن می‌باشد (Mason, 1966). تیتانیوم هم می‌تواند به صورت ایلمنیت در ماگما حضور داشته باشد (Mason, 1966)، بررسی‌های کانی شناسی موید حضور کانی تیتانومگنتیت در زمینه ایلمنیت در این رسوبات می‌باشد که همبستگی مثبت بین آهن و تیتانیوم را

توجیه می‌کند. کرم، کبالت و نیکل سه عنصر پاراژنز و همراه هم می‌باشند، همبستگی مثبت بین آن‌ها توجیه پذیر می‌باشد.

در جدول ۴-۷ ماتریس همبستگی بین عناصر اصلی در رسوبات به نمایش گذاشته شده است. نتایج حاصل از این ماتریس تا اندازه‌ای قابل تامل می‌باشد. همبستگی منفی بین آرسنیک با فسفر، منگنز، آلومینیوم و از طرفی همبستگی مثبت با کلسیم و پتاسیم در توضیح و تفسیر کانی‌های جاذب آرسنیک و روند آزادسازی آن از رسوبات بسیار موثر می‌باشد. تنها ضریب همبستگی دیگری که تا اندازه مهم جلوه می‌کند ضریب همبستگی بین فسفر و پتاسیم می‌باشد.

ارتباط بین سایر عناصر کمیاب نیز در جدول ۴-۸ نشان داده شده است. از میان این عناصر روبیدیم با عناصر بیشتری شامل La, Tl, Te, Cs, Ce همبستگی مثبت و بالایی دارد. ضریب همبستگی بین هافنیوم و زیرکونیوم نشان دهنده رابطه آن‌ها در تفریق ماگمایی و استتار هافنیوم در کانی‌های زیرکونیوم می‌باشد (Mason, 1966).

جدول۴-۶: ماتریس همبستگی بین عناصر فلزی و آرسنیک در رسوبات منطقه کوهسرخ

	Mo	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ag**	**Ni**	**Co**	**Mn**	**Fe**	**As**	**U**	**Au**	**Sr**	**Cd**	**Sb**	**V**	**Cr**	**Mg**	**Ba**	**Ti**	**Hg**
Mo	1																				
Cu	-0/036	1																			
Pb	0/342	0/154	1																		
Zn	0/074	**0/813**	0/471	1																	
Ag	0/345	**0/724**	0/414	**0/703**	1																
Ni	-0/524	0/248	-0/154	0/258	-0/079	1															
Co	-0/503	0/534	0/033	0/516	0/262	**0/872**	1														
Mn	-0/243	0/578	-0/013	0/373	0/431	0/149	0/463	1													
Fe	-0/097	0/482	0/376	0/637	0/507	0/348	**0/630**	0/336	1												
As	0/424	0/261	-0/101	0/097	0/014	-0/026	-0/044	0/070	-0/227	1											
U	0/510	-0/375	0/547	-0/127	-0/115	-0/541	-0/590	-0/501	-0/151	-0/015	1										
Au	-0/022	0/559	0/097	**0/689**	0/481	0/075	0/166	0/004	0/266	-0/105	0/015	1									
Sr	0/246	0/233	-0/234	0/073	0/073	-0/243	-0/297	0/167	-0/531	**0/592**	0/056	0/290	1								
Cd	-0/329	0/374	0/160	0/282	0/119	-0/034	0/092	0/100	0/012	-0/002	-0/015	0/290	0/165	1							
Sb	0/546	0/172	0/013	0/092	0/013	-0/124	-0/146	-0/027	-0/226	**0/979**	0/150	-0/098	0/556	-0/066	1						
V	0/148	-0/081	0/425	0/203	0/217	-0/243	-0/059	-0/115	**0/678**	-0/502	0/384	0/182	-0/564	-0/072	-0/401	1					
Cr	-0/166	0/028	0/119	0/244	-0/051	**0/730**	0/521	-0/171	0/436	-0/152	-0/009	0/143	-0/341	-0/177	-0/144	0/168	1				
Mg	-0/586	0/390	-0/284	0/305	-0/005	0/963	**0/876**	0/270	0/362	-0/032	-0/684	0/156	-0/179	0/035	-0/162	-0/271	0/629	1			
Ba	0/769	-0/301	0/168	-0/112	-0/126	-0/351	-0/467	-0/430	-0/270	**0/578**	0/570	-0/131	0/285	-0/209	**0/705**	-0/010	-0/020	-0/490	1		
Ti	-0/281	0/202	-0/158	0/102	0/311	-0/010	0/184	0/555	0/433	-0/545	-0/192	0/133	-0/187	-0/132	-0/579	0/407	0/080	0/114	-0/535	1	
Hg	0/513	0/493	-0/124	0/306	0/258	-0/052	0/075	0/174	0/042	**0/788**	-0/182	-0/025	0/441	0/056	**0/738**	-0/353	-0/221	-0/010	0/486	-0/337	1/000

جدول۴-۷: ماتریس همبستگی بین عناصر اصلی و آرسنیک در رسوبات منطقه کوهسرخ

	As	**Ca**	**P**	**Mg**	**B**	**Al**	**Na**	**K**	**S**	**Li**
As	1									
Ca	0/297	1								
P	-0/111	0/000	1							
Mg	-0/032	-0/271	0/277	1						
B	0/360	**0/623**	0/429	0/482	1					
Al	-0/032	-0/034	0/081	0/209	0/353	1				
Na	-0/385	-0/126	-0/090	-0/254	-0/510	0/213	1			
K	0/261	0/075	**0/817**	0/196	0/541	0/214	-0/175	1		
S	**0/781**	0/100	-0/164	0/084	**0/648**	-0/171	-0/355	0/059	1	
Li	0/112	-0/144	-0/088	-0/066	-0/493	0/219	0/121	0/359	0/079	1

جدول ۴-۸: ماتریس همبستگی بین عناصر کمیاب در رسوبات منطقه کوهسرخ

	La	**Tl**	**Te**	**Ga**	**Cs**	**Hf**	**Nb**	**Rb**	**Zr**	**Y**	**Ce**	**In**	**Pd**
La	1/000												
Tl	0/266	1/000											
Te	0/526	0/401	1/000										
Ga	-0/145	0/173	0/441	1/000									
Cs	0/525	**0/639**	0/539	-0/003	1/000								
Hf	-0/574	-0/119	-0/491	0/198	-0/179	1/000							
Nb	0/297	-0/244	0/481	0/411	-0/052	-0/552	1/000						
Rb	**0/641**	**0/678**	**0/663**	0/365	**0/718**	-0/359	0/252	1/000					
Zr	-0/617	-0/297	-0/508	0/210	-0/267	**0/966**	-0/405	-0/452	1/000				
Y	0/205	-0/048	0/500	0/558	-0/026	0/048	0/531	0/321	0/074	1/000			
Ce	**0/925**	0/300	0/517	0/094	0/525	-0/510	0/318	**0/759**	-0/556	0/184	1/000		
In	-0/180	0/229	-0/173	0/288	-0/156	0/524	-0/370	-0/034	0/431	0/298	-0/177	1/000	
Pd	-0/212	-0/083	0/000	0/570	0/364	**0/827**	0/142	-0/126	**0/845**	0/162	-0/259	0/159	1/000

۴-۸- شرایط ژئوشیمیایی محیط

از آن‌جا که تمام نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح زمین و بالاتر از سطح ایستابی منطقه برداشت شده در نتیجه محیط مورد بررسی در شرایط هوازی و اکسیدان می‌باشد.

اندازه گیری pH رسوبات (بین ۷/۵ تا ۸/۵) نشان‌دهنده قلیایی بودن محیط است. طبق تحقیقات پرورش (۱۳۸۶)،pH آب‌ها منطقه قلیایی می‌باشد. بر این اساس تیپ آب در مناطق کانی‌سازی شده سولفاته و در سایر مناطق کربناته می‌باشد. در منابع آب منطقه غلظت برخی از عناصر نظیر بور، سدیم، گوگرد و کلر بالاتر از حد استاندارد جهانی گزارش شده است. هم‌چنین در تحقیقات وی غلظت آهن در آب منطفه بسیار پایین و در اکثر نمونه‌ها غیر قابل تشخیص گزارش شده است.

بر اساس گزارش قاسم‌زاده (۲۰۰۲) آرسنیک در آب‌های منطقه کوهسرخ غالباً به فرم $AS(\mathbb{V})$ ظرفیتی می‌باشد. جذب سطحی $AS(\mathbb{V})$ تحت شرایط اکسیدی در pH های اسیدی بسیار بالا است این در حالی است که در pH های قلیایی جذب سطحی آن کاهش می‌یابد در نتیجه غلظت آن در محلول افزایش می‌یابد(Henke, 2009). شواهد موجود در منطقه، نشان‌دهنده وجود شرایط دفع سطحی تحت شرایط قلیایی (AD) دارد که با نظر راونزکرافت و همکارانش (Ravenscroft et al., 2009) در مورد مکانیسم آلودگی آرسنیک در ایران و ترکیه مطابقت دارد.

فصل پنجم

تاثیرات آرسنیک برسلامت مردم منطقه:
با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی

۵-۱- مقدمه

محیط‌زیست را می توان به عنوان خاستگاه اثرات متقابل زمین‌شناسی و زیست‌محیطی درنظر گرفت. مشکلات، چالش‌ها و مسائل زیست‌محیطی همواره در حال گسترش هستند. عناصر اصلی و غیر اصلی سنگ بستر یا خاک ممکن است تحت شرایط خاصی به تهدیدی مستقیم برای سلامتی انسان‌ها یا حیوانات تبدیل شوند و دلیل اساسی ناهنجاری ارگانیسم‌ها و مسمومیت‌ها باشند. همراه با پیشرفت علم بسیاری از روابط ناشناخته میان زمین شناسی و سلامتی کشف شد و باعث به وجود آمدن رشته علمی جدیدی به نام زمین شناسی پزشکی[۱] گردید. زمین شناسی پزشکی به عنوان علمی شناخته می‌شود که به بررسی ارتباط بین فاکتورهای زمین شناسی و سلامتی، و شناخت تأثیر عوامل زیست محیطی بر پراکندگی بیماری ها می پردازد (Selinus, 2006).

هدف از این فصل بررسی‌های زمین‌شناسی پزشکی آرسنیک در منطقه است، لذا ابتدا مختصری از سمیت آرسنیک و تاثیر آن بر انسان در نقاط مختلف دنیا و ایران را بیان نموده و سپس به مطالعات اولیه زمین‌شناسی پزشکی در منطقه کوهسرخ با غلظت بالای آرسنیک در آب و رسوب می‌پردازیم.

۵-۱-۱- آرسنیک و بیماری‌های ناشی از سمیت آن در انسان

وجود عناصر سمی نظیر As، F، Cd، Hg، Pb، Ni، Sn و ... در خاک و سنگ، چه بر اثر واکنش های ژئوشیمیایی طبیعی[۲] چه بر اثر فعالیت‌های انسانی[۳]، معمولاً به‌طور غیرمستقیم بر سلامتی انسان اثر می‌گذارد. در سال‌های اخیر آرسنیک به عنوان یکی از سمی‌ترین عناصر موجود در پوسته زمین شناخته شده است. بر اساس اعلام سازمان بیماری‌ها و موادسمی آمریکا[۴] آرسنیک بعد از جیوه و سرب سمی‌ترین و خطرناک‌ترین عنصر موجود در طبیعت می باشد (Naidu et al., 2006). بیش از

---

[۱] Medical Geology
[۲] Geogenic
[۳] Anthropogenic
[۴] Toxic Substances and Disease Registry

۲۵۰۰ سال از آرسنیک در درمان بسیاری از بیماری‌ها نظیر رماتیسم، التهاب مفاصل، مالاریا و... استفاده می‌شد (Ravenscroft et al., 2009). در قرن ۱۹ میلادی بر اثر بکارگیری فراوان آرسنیک در مواد مختلف نظیر رنگدانه نقاشی، کاغذدیواری، پارچه، صابون و ... و آزادشدن گاز سمی آرسین (H_3As) از این مواد منجر به کشته شدن افراد زیادی در اروپا گشت (Ravenscroft et al., 2009).

تماس بدن انسان با آرسنیک از راه های مختلف مانند آب، غذا، هوا و پوست امکان پذیر می‌باشد که منجر به بروز سمیت حاد یا مزمن در انسان می‌شود. آرسنیک وارد شده به بدن در نقاط مختلف بدن نظیر پوست، مو، ناخن، ماهیچه‌ها و مقدار اندکی هم در استخوان‌ها و دندان‌ها انباشت می‌گردد (Ishinishi et al., 1986; ATSDR, 1990). مصرف طولانی مدت (حداقل به مدت ۶ ماه) آب آلوده به آرسنیک با غلظتی بالاتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۱۰ میکروگرم بر لیتر) منجر به بروز نوعی بیماری مزمن به نام آرسنوسیس[۱] می‌شود (WHO, 2005). بیماری‌های پوستی اولین و معمول ترین نشانه آرسنوسیس در افراد در معرض آرسنیک مزمن می‌باشد (Yoshida et al, 2004; Whitacre, 2008; Rahman et al., 2009). این بیماری‌های پوستی شامل پیگمنتیشن[۲] (رنگی شدن پوست)، کراتوسیس[۳] (فلسی شدن)، سوزش، خارش و تحریکات پوستی[۴]، ترک‌های پوستی و در نهایت سرطان پوست[۵] می‌باشد (NRC, 1999; Mukherjee et al., 2005; WHO, 2005). مصرف طولانی مدت آرسنیک علاوه بر بیماری‌های پوستی منجر به برخی دیگر از بیماری‌ها نظیر بیماری‌های مزمن ریوی، تنفسی، کبد، قلب و عروق، گوارش، اعصاب و روان، سقط جنین و بیماری‌های مادرزادی، دیابت، فشارخون و... می‌گردد (Ahmad et al. 2001; Milton et al. 2001; Guha Mazumder et al. 2000; Mukherjee et al. 2003; Wang et al. 2007). هم‌چنین مصرف طولانی مدت آرسنیک منجر به آسیب جدی ارگان‌های داخلی بدن و در نهایت سرطان ریه، کبد، مثانه، معده و کلیه نیز می گردد

[۱] arsenosis
[۲] pigmantation
[۳] keratosis
[۴] skin irritation
[۵] Skin cancer

Chen et al. 1992; Bates et al. 1992; Chiou et al. 1995; Smith et al. 1998; NRC 1999;)
.(WHO 2001; ATSDR, 2007

۵-۱-۲- آلودگی آرسنیک در دنیا

یکی از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین منابع آلودگی آرسنیک آب‌های زیرزمینی با غلظت بالاتر از حد استاندارد جهانی (WHO)[۱] کمتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر در آب آشامیدنی می‌باشد. تا قبل از سال ۲۰۰۰ فقط در پنج کشور بنگلادش، هند، بنگال غربی و قسمت‌هایی از کشور چین آلودگی آرسنیک در آب زیرزمینی کشف شده بود (Mukherjee et al, 2006). اما درحال حاضردر بیش از ۴۰ کشور در سراسر دنیا نظیر آمریکا، کانادا، شیلی، آرژانتین، مکزیک، برزیل، ایتالیا، روسیه، قبرس، یونان، میانمار، مغولستان، تایوان، ویتنام، افغانستان، پاکستان، ترکیه و حتی ایران این آلودگی مطرح می‌باشد (Loring et al., 1998; Smedley and Kinniburgh , 2002; Mukherjee et al., 2006; Naidu et al., 2006; Kouras, 2007; Varejao et al., 2010). اکنون این سناریوی جهانی تهدید جدی برای سلامت بیش از ۱۵۰ میلیون نفر در سراسر دنیا به‌شمار می‌آید (Nriagu, 2002). جدول۵-۱ برخی از این بیماری‌ها در کشورهای مختلف و جدول ۵-۲ رابطه بین چگونگی تماس با آرسنیک و میزان آن با انواع سرطان‌ها در برخی نقاط دنیا نشان می‌دهد.

[۱] World Health Organization

جدول ۵-۱: پراکندگی انواع بیماری‌ها در مناطق مختلف دنیا با غلظت بالا آرسنیک در آب آشامیدنی

ردیف	مکان (کشور)	آرسنیک در آب(ppb)	انواع بیماریهای موجود	منابع
۱	۳۰ روستا در آمریکا	۵<	بیماری قلبی، عروقی	Engel and Smith 1994
۲	تایوان		بیماری مغزی عروقی	Chiou et al., 1997
۳	تایوان		بیماری بلک فوت، فشار خون بالا	Chen et al., 1995
۴	بنگال غربی Parganas	۳۰ - ۳۴۰۰>	بیماری تنفسی نظیر سرفه، خس خس سینه، کوتاهی نفس ها	Guha Mazumder et al., 2000
۵	بنگلادش	۱۳۶- ۱۰۰۰	برونشیت مزمن، سرفه مزمن	Milton and Rahman 2002
۶	بنگلادش	متوسط ۲۱۶	خس خس سینه، برونشیت، آسم، سرفه	Islam et al 2007
۷	روستاهای بنگال غربی	۵۰<	آسیب های کبدی	Guha Mazumder et al., 1988
۸	مغولستان داخلی	۵۰<	بیماری های پوستی	Guo et al., 2001
۹	۱۴ روستا از بنگال غربی	۵۰ - ۸۰۰<	بیماری های پوستی نظیر ملانوسیس، کراتوسیس، هایپرپیگمنتیشن	Chakrabory and Saha 1987
۱۰	مغولستان داخلی	۵۰>	کراتوسیس، پیگمنتیشن،	Guo et al., 2006
۱۱	بنگال غربی	۲۰۰-۲۰۰۰	بیماری های عصبی چندگانه	Basu et al., 1996
۱۲	بنگلادش	۳۰۰- ۱۵۸۴	بیماری های عصبی	Ahamed et al., 2006b
۱۳	تایوان	۰- ۳۵۹۰	تاثیرات عصبی در دوران جوانی، تولد زوررس نوزادان	Tsai et al., 2003 ; Yang et al2003
۱۴	شرق ماساچوست	۱/۴- ۱/۹	سقط جنین خود به خودی	Aschengrau et al., 1989
۱۵	مجارستان	۱۰۰<	سقط جنین خود به خودی، مرده زایی، مرگ قبل از تولد	Rudnai and Gulyas 1998

ادامه جدول ۵-۱: پراکندگی انواع بیماری‌ها در مناطق مختلف دنیا با غلظت بالا آرسنیک در آب آشامیدنی

ردیف	مکان (کشور)	آرسنیک در آب(ppb)	انواع بیماریهای موجود	منابع
۱۶	جنوب تایوان	۲۵۰ - ۱۱۴۰	مرگ ومیر بر اثر دیابت	Tsai et al., 1999
۱۷	شمال مکزیک	۲۰ -۴۰۰	دیابت نوع ۲	Coronado Gonzalez et al., 2007
۱۸	بنگال غربی	<۳ - ۳۴۰۰	ضعف، کم خونی، اسهال، هپاتومگالی، بیماری های ریوی	Guha Mazumder et al. (2000)
۱۹	مایان و گوپوز در آذربایجان ایران	حداکثر ۱۱۰۳	بروز بیماری‌های پوستی نظیر پیگمنتیشن وکراتوسیس، فشارخون و نارسایی‌های کروموزومی	Dastgiri et al., 2010
۲۰	بیجار در کردستان ایران	<۱۰-۱۴۸۰	بیماری‌های پوستی نظیر هایپرپیگمنتیشن و هایپرکراتوسیس	Mosaferi et al., 2008

جدول۵-۲: رابطه بین آرسنیک مزمن با انواع سرطان در نقاط مختلف جهان (Rahman et al., 2009)

موقعیت	چگونگی تماس با آرسنیک	آرسنیک در آب µg/L	نوع سرطان
آمریکا، یوتا	مدت زمان طولانی	<۱۹-۵۳	مثانه
فنلاند	آرسنیک در آب آشامیدنی	<۰/۱ – ۰/۵<	مثانه
شیلی	آرسنیک در منابع آب عمومی	۰-۴۰۰	ریه
ژاپن، نیگاتا	آرسنیک در آب آشامیدنی	<۰/۰۵ – ۰/۱<	ریه، مثانه
شیلی	آرسنیک در آب آشامیدنی	میانگین ۴۲۰	مثانه، ریه
آرژانتین	آرسنیک در آب آشامیدنی	<۴۰- ۱۷۸<	مثانه، کلیه، ریه

۵-۱-۳- آلودگی آرسنیک در ایران

کانی‌سازی آرسنیک در جنوب غرب آسیا منجر به بروز آلودگی طبیعی در آب‌های زیرزمینی کشور ترکیه، افغانستان، پاکستان و ایران شده است (Ravenscrofte et al., 2009). آلودگی آرسنیک در چندین منطقه از کشور ایران منجربه بروز مشکلاتی در سلامت مردم گردیده است، که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۵-۱-۳-۱- بیجار (استان کردستان)

در تحقیقات مسافری و همکارانش (۲۰۰۳) غلظت آرسنیک در آب آشامیدنی چندین روستا در شهرستان بیجار از استان کردستان بالاتر از حد مجاز جهانی (از ۱۰> تا ۱۴۸۰ میکروگرم بر لیتر) گزارش شده است. مقدار متوسط آرسنیک در موی افراد تحت تاثیر آرسنیک از ۰.۰۱۲تا ۳.۱۴میلی گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. این در حالی است که این افراد از بیماری‌های پوستی نظیر هایپرپیگمنتیشن و هایپرکراتوسیس رنج می‌برند. هم‌چنین قطع عضو بر اثر قانقاریا (بیماری پای سیاه)[۱]نیز گزارش شده است (Mosaferi et al., 2005 and 2008).

۵-۱-۳-۲- استان آذربایجان غربی

در شمال غرب ایران در ۲ روستا مایان و گوپوز از آذربایجان غلظت آرسنیک در آب‌های زیر زمینی تا ۱۱۰۳ میکروگرم بر لیتر گزارش شده است. مصرف طولانی مدت آرسنیک منجربه بروز بیماری‌های پوستی نظیر پیگمنتیشن وکراتوسیس، فشارخون و نارسایی‌های کروموزومی در مردم ساکن در منطقه شده است (Dastgiri et al., 2010).

[۱] Black foot

۵-۱-۳-۳- موته در استان اصفهان

در مرکز ایران در منطقه موته (غرب استان اصفهان) که دارای آلودگی طبیعی و انسانی ناشی از فعالیت معدن‌کاری است، میزان آرسنیک در منابع آب بالاتر از حد مجاز و از ۸ تا ۱۰۶۱ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. مردم این منطقه تحت تاثیر آرسنیک از بیماری‌های پوستی رنج می‌برند. میزان آرسنیک در مو افراد تحت تاثیر آرسنیک از.< ۱ تا ۵/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش گردیده است (کشاورز و مر، ۱۳۸۸).

۵-۱-۳-۴- اطراف معدن زرشوران زنجان

معدن زرشوران مهم‌ترین و معروف‌ترین معدن طلا- آرسنیک در ایران است. در اطراف این معدن آلودگی آرسنیک به دو صورت طبیعی و انسان‌ساز مشاهده می‌شود. غلظت آرسنیک در رسوبات رودخانه‌ای این منطقه از ۱۸۲ تا ۳۶۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در آب‌های سطحی ۰/۰۲۸ تا ۴۰ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است(Modabberi and Moore, 2004).

۵-۱-۳-۵- کوهسرخ در استان خراسان رضوی

در منطقه کوهسرخ کاشمر، بر اثر کانی‌سازی‌های آرسنیک، طلا و آنتیموان در آب‌های زیرزمینی و سطحی غلظت بالایی از آرسنیک و آنتیموان مشاهده شده است. در تحقیقات قاسم‌زاده و همکاران غلظت متوسط آرسنیک و آنتیموان در آب‌های آشامیدنی منطقه به ترتیب ۷۱/۷۵ و ۱۹۱/۹۲ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین بر اساس گزارش وی ۱۰ درصد از افراد انتخابی از اهالی این منطقه از بیماری‌های پوستی نظیر کراتوسیس و ۵۵ درصد از بیماری‌های ریوی رنج می‌برند(Ghasemzadeh et al.,

2006). در این تحقیق به بررسی دقیق‌تر بیماری‌های پوستی موجود در منطقه و میزان آرسنیک موجود در بدن این افراد می‌پردازیم.

۵-۲- انواع بیماری‌های پوستی موجود در منطقه

در اولین مرحله از مطالعات پزشکی با حضور در بین اهالی دو روستا اوندر و چلپو و گفتگو با آن‌ها برخی از بیماری‌های پوستی که مردم از آن رنج می‌برند بررسی شد. سپس از طریق مشورت با متخصص پوست انواع ضایعات پوستی در ارتباط با سمیت آرسنیک به شرح ذیل شناسایی گردید:

۵-۲-۱- کراتوسیس

کراتوسیس جزء اولین نشانه‌های بیماری آرسنوسیس می‌باشد (Whitacre, 2008). ضخیم شدن کف دست و پا گاهی همراه با دانه‌های گره مانند که معمولاً به‌طور متقارن گسترش می‌یابد معمول‌ترین نشانه کراتوسیس می‌باشد. این گره‌ها معمولاً در کف دست‌ها، در کناره‌های جانبی دست، در بین انگشتان و درسطوح کناری آن‌ها، در کف پا و انگشتان پا تشکیل می‌شود. در نمونه‌های وخیم، کراتوسیس به‌صورت شکاف و ترک در کف دست و پا ایجاد می‌شود. کراتوسیس به سه فرم خفیف[1]، متوسط[2] و شدید[3] طبقه بندی می‌شود. در فرم خفیف دارای ضخامت کم (کمتر از ۲میلی‌متر) و همانند جوش‌های نوک تیز می باشد. در کف دست و پا بافتی شن مانند دارد که با معاینه لمسی می‌توان تشخیص داد. در حالت متوسط ضخامت دانه‌ها حدود ۲.۵ میلی‌متر و در نمونه‌های شدید ضخامت آن به بیش از ۵ میلی‌متر می‌رسد و گره‌ها همانند زگیل سفت و شاخی به‌نظر می‌رسند (WHO ,2005; NRC, 1999).

[1] Mild form
[2] Moderate form
[3] severe form

در این منطقه انواع متفاوتی از کراتوسیس مشاهده می‌شود. کراتوسیس در کف دست و پا به صورت بافت زخیم، به‌همراه زخم‌های شدید و خارش‌زا دیده می‌شود (شکل۵-۱ و ۵-۲). ترک شدید در کف دست و کف پا مخصوصا در بین زنان روستا به‌وفور یافت می‌شود (شکل۵-۳.

شکل۵-۱: کراتوسیس فرم متوسط با بافت شن مانند در انگشتان پا پسربچه‌ای از روستای اوندر

شکل۵-۲: کراتوسیس در گردن و کف دست از اهالی روستای اوندر

شکل۵-۳: کراتوسیس در کف پا و کف دست و ایجاد ترک و شکاف عمیق در کف پا زنان در دو روستای اوندر و چلپو

۵-۲-۲- پیگمنتیشن

یکی دیگر از اولین نشانه‌های آرسنوسیس پیگمنتیشن یا رنگی شدن پوست می‌باشد (Whitacre, 2008). این بیماری به صورت لکه‌های ریز همانند قطرات باران در بالاتنه با توزیع متقارن و در دو طرف بدن می‌باشد. در پیگمنتیشن با درجه بالا این لکه‌ها در اندام زیرین هم مشاهده می‌گردد. در برخی مواقع این لکه‌ها می‌توانند حاوی مخاط هم باشد (WHO, 2005; Majumdar et al., 2009). اگر لکه‌ها به صورت نقطه‌های قهوه‌ای کم‌رنگ تا تیره باشند هایپرپیگمنتیشن[۱] و اگر به صورت لکه‌های کم‌رنگ و رنگ پریده باشد هایپوپیگمنتیشن[۲] نامیده می‌شود (Ravenscroft et al., 2009).

در برخی از اهالی روستا پیگمنتیشن در بالاتنه، دست و صورت قابل رویت می‌باشد. تصاویر ۵-۴ و ۵-۵ نشان‌دهنده این حالت است.

[۱] hyperpigmentation
[۲] hypopigmentation

شکل۵-۴: هایپوپیگمنتیشن بر روی بالاتنه شخصی از اهالی روستای اوندر

شکل۵-۵: هایپرپیگمنتیشن بر روی دست خانمی از روستای چلپو

۵-۲-۳- تحریکات پوستی

در دو روستای اوندر و چلپو خارش در قسمت‌های تحتانی بدن افراد مخصوصاً در بین زنان و کودکان و به نسبت کم‌تر در بالاتنه بسیار شایع می باشد. در شکل ۵-۶ کودکی مشاهده می‌شود که در تمام نواحی بدن او جوش‌های خارش‌زا دیده می‌شود.

شکل۵-۶: تحریکات پوستی شدید در بدن با ایجاد جوش‌های خاش‌زا در پسربچه‌ای از اهالی اوندر

۵-۲-۴- مو و ناخن

از دیگر نواحی متاثر از سمیت آرسنیک مو و ناخن در بدن می‌باشد. در برخی افراد در تماس با آرسنیک ریزش مو و ایجاد زخم در پوست سر دیده شده است (Zaloga et al., 1985). در اوایل تماس مزمن با آرسنیک لکه های سفید بر روی ناخن انگشتان به صورت موازی با جهت رویش ناخن قابل مشاهده است. همچنین آرسنیک بر روی رشد ناخن و موی سر هم اثرات منفی دارد.

در تصویر۵-۷ زخم در موی سر شخصی که همواره از آب آلوده روستا مصرف می‌کند مشاهده می شود. هم‌چنین تصویر ناخن‌های یکی از زنان روستا که دارای فرم غیر عادی است نشان داده شده است.

شکل۵-۷: ایجاد زخم در سر و تغییر در فرم اصلی ناخن زنان روستای اوندر

۵-۳- تاثیر آرسنیک بر روی کودکان

مطابق اطلاعات موجود کودکان هم مانند بزرگسالان تاثیرات مشابهی از تماس با آرسنیک دارند. در کودکان علاوه بر بیماری‌های ذکر شده تماس مزمن با آرسنیک تاثیرات منفی بر روی حافظه و ضریب هوشی(IQ) آن‌ها دارد (Wasserman et al, 2004; Guha Mazumder, 2007). طبق تحقیقات به‌عمل آمده در چندین کشور نظیر بنگلادش و بنگال غربی در مناطقی که میزان آرسنیک در آب آشامیدنی بالا تر از ppb ۵۰ بوده است، ضریب هوشی کودکان بر اساس تست هوشی WISC[۱] بسیار کمتر از مناطق دیگر است (Wasserman, 2004). در منطقه کوهسرخ به دلیل محدودیت‌های موجود (نظیر عدم دسترسی به افراد متخصص) امکان انجام تست WISC در بین کودکان وجود نداشت. ولی انواع بیماری های پوستی ذکر شده نظیر کراتوسیس در بین کودکان منطقه رواج دارد. در تصویر ۵-۶ تحریکات پوستی در بدن یک کودک ۴ ساله و درتصویر ۵-۸ کراتوسیس در پای یک کودک ۳ ساله و در دست کودک ۹ ساله مشاهده می‌شود.

[۱] Wechsler Intelligence Scale test for Children

بروز آرسنوسیس در کودکان منجر به تاثیرات منفی در روحیه آن‌ها می‌شود. پیگمنتیشن و کراتوسیس در کودکان باعث دلسردی از مدرسه به خاطر ترس از تمسخر دیگران می‌گردد. جلوه ناخوشایند آرسنوسیس می‌تواند منجر به جدایی جوامع روستایی گردد در نتیجه آرسنوسیس به عنوان یک مشکل عمومی در جامعه مطرح می‌باشد (Guha Mazumder, 2007).

شکل۵-۸: کراتوسیس در دست و پای کودکان در دو روستای اوندر و چلپو

۵-۴- عوامل مختلف موثر بر آرسنوسیس

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی بروز نشانه‌های تاثیر سمیت آرسنیک در بدن افراد در معرض آرسنیک مزمن بین ۵ تا ۱۰ سال طول می‌کشد (WHO, 1996). این در حالی است که راونزکرافت (Ravensceraft et al., 2009) بر این عقیده است که مدت زمان این دوره از ۲ تا ۱۰ سال می‌باشد. در واقع این زمان (دوره) از شخصی تا شخص دیگر متفاوت بوده و به عوامل زیادی نظیر کمیت و حجم آرسنیک مصرف شده، نوع آرسنیک، تغذیه فرد، سطح ایمنی و مقاومت شخص و مدت زمان تماس با آرسنیک وابسته می‌باشد (Guha Mazumder et al., 2000; Caussy et al., 2003; Fatmi et al.,

2009; Rahman et al., 2009). ارتباط بین تاثیر آرسنیک و جنسیت فرد هنوز به‌طور کامل مشخص نیست (Fatmi et al., 2009).

۵-۵- تعیین میزان آرسنیک موجود در بدن افراد

از سال‌ها قبل دانشمندان برای تشخیص میزان آرسنیک جذب شده در بدن انسان از نمونه‌های بیولوژیک مو، ناخن، خون و ادرار استفاده می‌کنند (Mercedes Meza, 2004; Uchino, 2006). آرسنیک از راه غذا، آب، نوشیدنی‌ها، دارو و حتی تنفس وارد بدن می‌شود(WHO, 2001). آرسنیک پس از ورود به بدن به سرعت به‌وسیله خون به تمام اعضای اصلی بدن انتقال می‌یابد. ۹۰ درصد آرسنیک موجود در خون با نیمه عمر ۱ تا ۲ ساعت انتقال می‌یابد. به همین دلیل نمونه خون یک فاکتور مفید برای اندازه‌گیری آرسنیک در تماس‌های زیاد و مستمر با آن می‌باشد (Cohen et al., 2006; Henk, 2009). مقدار زیادی از آرسنیک وارد شده به بدن، به‌وسیله خون به کلیه‌ها انتقال می‌یابد. ۴۵ تا ۷۵ درصد آرسنیک در طی ۱ تا ۳ روز از طریق ادرار از بدن خارج می‌گردد (Caceres, 2005; Henk, 2009). در نتیجه ادرار نمونه بیولوژیک بسیار مناسب برای تعیین میزان آرسنیک وارد شده به بدن در آخرین تماس می‌باشد (Rahman et al., 2005). استفاده از نمونه ادرار به‌دلیل کاهش در خطای طبقه‌بندی تماس موجب افزایش توانایی و قدرت مطالعات می‌شود (Caceres, 2005). آرسنیک به‌وسیله خون به ریشه مو انتقال می‌یابد و سپس با اتصال به گروه‌های سولفوهیدریل در کراتین ذخیره شده و به ساقه مو انتقال می‌یابد. میزان آرسنیک در مقطع طولی مو نشان‌دهنده میزان آرسنیک در تماس طولانی مدت و مزمن می‌باشد و اطلاعات مهمی از سمیت مزمن آرسنیک را تامین می‌کند (Kazia et al., 2009; Henke, 2009). علاوه بر مو، آرسنیک با سرعت پایین در ناخن هم تجمع می‌یابد در نتیجه نمونه های ناخن برای تخمین آرسنیک وارد شده به بدن در تماس طولانی مدت مفید می‌باشد (Karagas et al., 2000; Mandal et al.,

2003; Rahman et al., 2005). جدول ۵-۳ میزان نرمال آرسنیک در هر یک از قسمت‌های بدن را بیان می‌کند.

جدول ۵-۳: میزان نرمال آرسنیک در مو، ادرار و ناخن

میزان نرمال آرسنیک	بخش‌های مختلف بدن
۵-۴۰ µg/L	ادرار (Farmer and Johnson, 1990)
۸۰-۲۵۰ µg/kg	مو (Arnold et al., 1990)
۸۰-۴۳۰ µg/kg	ناخن (Ioanid et al., 1961)

در این پایان‌نامه برای تعیین میزان آرسنیک جذب شده در بدن افراد مشکوک به آرسنوسیس از نمونه بیولوژیک ادرار استفاده گردید. زیرا برای آنالیز مو و ناخن امکانات آزمایشگاهی کافی در اختیار نبود. و از طرفی چون تمام افراد مورد نظر به‌طور مستمر از منابع آب آشامیدنی روستا استفاده می‌کنند، نمونه ادرار ۲۴ ساعته برای تعیین میزان آرسنیک وارد شده از طریق آب آشامیدنی به بدن بسیار مناسب می‌باشد.

۵-۵-۱- انتخاب افراد جهت آزمایش ادرار

بعد از معاینات اولیه از بین افراد مبتلا به بیماری‌های پوستی، افراد مشکوک به آرسنوسیس انتخاب شدند. تعداد ۲۰ نمونه ادرار ۲۴ ساعته از افراد دارای بیماری‌های پوستی مشکوک به آرسنوسیس جمع آوری شد (مطابق ۲-۵-۲). متوسط سن افراد در این آزمایش ۲۲ سال با تعداد ۴ مرد و ۱۶ زن می‌باشد. با توجه به اینکه این مرحله از تحقیقات در فصل تابستان انجام شد و اغلب مردان روستا در این فصل از سال در مزارع و چراگاه‌ها مشغول کشاورزی و دامداری می‌باشند، دسترسی به آن‌ها مشکل بود. درنتیجه اغلب شرکت کنندگان در این آزمایش زنان ساکن در این دو روستا می‌باشند

۵-۵-۲- نتایج حاصل از آزمایش ادرار

در این آزمایش کل آرسنیک موجود در ادرار شامل آرسنیک آلی و آرسنیک غیرآلی اندازه‌گیری گردید. بر این اساس غلظت آرسنیک در ادرار افراد در روستای اوندر از ۲۵/۳ µg/L تا ۸۴/۲ µg/L با میانگین ۵۵/۷ µg/L تعیین گردید. در نمونه‌های ادرار مربوط به روستای چلپو غلظت آرسنیک از ۳۹/۴ µg/L تا ۶۸/۵ µg/L با میانگین ۵۰/۷۷ µg/L متغیر می‌باشد.

غلظت آرسنیک در ادرار با استفاده از دستگاه جذب اتمی بر حسب میکروگرم بر لیتر (ppb) اندازه‌گیری شده است. میزان آرسنیک دفع شده در طی ۲۴ ساعت از فرمول زیر به‌دست می‌آید.

غلظت آرسنیک در ادرار ۲۴ ساعته = غلظت آرسنیک در ادرار × حجم ادرار در مدت ۲۴ ساعت

$$(L/day) \times (\mu g/L) = (\mu g/day)$$

در جدول ۵-۴ مشخصات هر فرد، سن، جنس، حجم ادرار و میزان آرسنیک در ادرار و میزان دفع آرسنیک در ادرار ۲۴ ساعته مشخص شده است. نمونه‌هایی که با حرف A نشان داده شده اند مربوط به روستای اوند و نمونه‌هایی که با حرف Ch نمایش داده شده‌اند مربوط به روستای چلپو می‌باشند.

با توجه به داده‌های جدول زیر میزان دفع آرسنیک در مدت ۲۴ ساعت در افراد مشکوک به آرسنوسیس در روستای اوندر بین ۱۳/۶۶ تا ۶۸/۵۴ میکروگرم در روز با میانگین ۴۳/۹۳ µg/day می‌باشد. این مقدار در نمونه‌های مربوط به روستا چلپو از ۲۷/۸۱ µg/day تا ۷۵/۹۲۲ µg/day متغیر و میانگین آن ۴۲/۴۸ µg/day می‌باشد.

میزان نرمال دفع آرسنیک از بدن انسان به وسیله ادرار بین ۵ تا ۴۰ میکروگرم در روز می‌باشد (Farmer and Johnson, 1990). بنابراین در روستای اوندر در بیش از ۵۵/۵ درصد افراد میزان دفع آرسنیک از طریق ادرار بیش از حد نرمال می‌باشد، این میزان در روستای چلپو بیش از ۶۳/۶ درصد افراد را به خود اختصاص می‌دهد. هر فرد در یک روز حدوداً بین ۰/۵ تا ۴ لیتر آب مصرف می‌کند که مقدار

جدول ۵-۴: میزان آرسنیک در ادرار افراد به همراه مشخصات هر فرد

نمونه	جنسیت	سن	حجم ادرار در ۲۴ ساعت (lit)	غلظت آرسنیک در ادرار	
				µg/L	µg/day
A1	زن	۱۷	۴۶۰	۶۵/۳	۳۰/۰۳۸
A2	مرد	۴۲	۱۴۲۲	۴۸/۲	۶۸/۵۴
A3	زن	۴۸	۷۶۰	۸۴/۲	۶۳/۹۹۲
A4	زن	۳۵	۶۴۰	۶۳/۸	۴۰/۸۳۲
A5	زن	۷	۵۴۰	۲۵/۳	۱۳/۶۶۲
A6	مرد	۱۴	۱۰۳۰	۵۵/۵	۵۷/۱۶۵
A7	زن	۲۲	۹۲۰	۴۳/۳	۶۷/۴۳۶
A8	زن	۱۶	۴۵۰	۵۹/۸	۲۶/۹۱
A9	مرد	۳	۴۸۰	۵۵/۹	۲۶/۸۳۲
Ch1	زن	۴۵	۷۷۰	۵۴/۱	۴۱/۶۵۷
Ch2	زن	۳۰	۹۷۵	۴۱/۵	۴۰/۴۶۲
Ch3	مرد	۸	۴۲۰	۶۸/۵	۲۸/۷۷
Ch4	زن	۲۵	۱۱۴۰	۴۰/۵	۴۶/۱۷
Ch5	زن	۱۴	۱۰۷۰	۴۴/۳	۴۷/۴۰۱
Ch6	زن	۱۰	۱۳۲۵	۳۹/۴	۵۲/۲۰۵
Ch7	زن	۵	۶۰۰	۵۲/۱	۳۱/۲۶
Ch8	زن	۲۳	۵۸۰	۴۹/۳	۲۸/۵۹۴
Ch9	زن	۲۱	۵۴۰	۵۱/۵	۲۷/۸۱
Ch10	زن	۳۳	۱۱۹۰	۶۳/۸	۷۵/۹۲۲
Ch11	زن	۲۱	۸۸۰	۵۳/۵	۴۷/۰۸

متوسط آن ۱/۸۶ لیتر در روز می‌باشد. معمولاً بین میزان آرسنیک جذب شده به وسیله آب و غذا با میزان آرسنیک دفع شده از ادرار همبستگی مثبت وجود دارد (Mercedes Meza and Kopplin 2004; Uchino et al., 2006; Fatmi et al., 2009). در جدول ۵-۵ میزان آرسنیک در آب‌های آشامیدنی با میزان آن در ناخن، مو و ادرار افراد در معرض آرسنیک در نقاط مختلف دنیا با برخی از مناطق آلوده در ایران مقایسه شده است.

قابل ذکر است حجم ادرار یک انسان سالم در یک شبانه روز بیش از یک لیتر می‌باشد. ولی حجم بعضی از نمونه‌های جمع‌آوری شده کمتر از یک لیتر می‌باشد. کم بودن حجم ادرار در این افراد می‌تواند به دو دلیل باشد یکی اینکه در جمع‌آوری ادرار دقت کافی به‌عمل نیامده و مقداری از آن دور ریخته شده است که نشان‌دهنده خطای نمونه‌برداری است، و دلیل دیگر اینکه شاید این افراد دچار نارسایی کلیه می‌باشند که خود می‌تواند یکی از نشانه‌های مصرف آرسنیک به صورت مزمن باشد.

جدول ۵-۵- مقایسه میزان آرسنیک در آب آشامیدنی و نمونه‌های بیولوژیک مو، ناخن و ادرار در نقاط مختلف دنیا

	منطقه(کشور)	آرسنیک در آب (µg/L)	آرسنیک در مو (µg/kg)	آرسنیک در ناخن(µg/L)	آرسنیک در ادرار (µg/L)	منابع
۱	بنگال غربی	۱۱۸ - ۱۰۰۳	۱۸۰ - ۲۰۳۴۰	۳۸۰ - ۴۴۸۹۰	۱۰ - ۳۱۴۷	Chakraborti et al., 2004
۲	بنگلادش		۲۸۰ - ۲۸۰۶۰	۲۶۰ - ۷۹۴۹۰	۲۴ - ۳۰۸۶	Chakraborti et al., 2004
۳	ایالت Uttar Pradesh هند	۱۰ - ۳۰۰>	۱۳۷ - ۱۰۹۰۰	۷۶۴ - ۱۹۷۰۰	۲۳ - ۴۰۳۰	Ahamed et al., 2006a
۴	جنوب غربی فنلاند	۱۷ - ۹۸۰	۶۰-۱۲۵۰۰		میانگین ۵۸	Kurttio et al., 1998
۵	شمال آرژانتین	۱۴۰ - ۲۲۰	۲۰ - ۱۵۰۰		۳ - ۹۰۰	Concha et al., 2006
۶	روستا های Mushidabad بنگال غربی	۰/۶۴ – ۷/۳	۰ - ۱۳۴۵		متوسط ۴۳/۱	Uchino et al., 2006
۷	روستا های Mushidabad بنگال غربی	۱۶ – ۴۸/۱	۱۲۲ - ۵۶۰۷		متوسط ۲۴۴	Uchino et al., 2006
۸	روستا های Mushidabad بنگال غربی	۷۲/۶ - ۱۷۰	۱۱۳۹ - ۱۵۸۶۴		متوسط ۳۳۶	Uchino et al., 2006
۹	شهر Esperanza مکزیک	۴۳/۳۳			۴۶ – ۹۰/۶	Mercedes meza et al., 2004
۱۰	شهر Cocorit مکزیک	۱۹/۳۳			۲۰/۸ -۴۱/۹	Mercedes meza et al., 2004
۱۱	شهر Pueloyagui مکزیک	۹/۶۵			۲۶ – ۵۶/۷	Mercedes meza et al., 2004
۱۲	شهر Col. Aiiende مکزیک	۵/۵			۲۳/۶ – ۵۵/۳	Mercedes meza et al., 2004
۱۳	در شهر Antofagasta شیلی	۳۰ -۴۰			۴ - ۳۶۳	Caceres et al., 2005
۱۴	شهر Santiago شیلی	۰/۶ – ۲/۵			۲/۴ - ۱۷۰	Caceres et al., 2005
۱۵	مجارستان	۵۰ - ۱۰۰	متوسط ۳۰۰۰			Borzsonyi et al., 1992
۱۶	ایالت Kondal کامبودیا	۵ - ۱۵۴۳	۶۰ - ۳۰۰۰۰			Sthiannopkao et al., 2009
۱۷	روستای بیجار در کردستان ایران	<۱۰-۱۴۸۰	۱۲ - ۳۱۴۰			Mosaferi et al, 2008
۱۸	موته در اصفهان ایران	۸ -۱۰۶۱	<۱۰ – ۵۸۲۰			کشاورز و مر، ۱۳۸۸
۱۹	کوهسرخ در خراسان رضوی، ایران				۲۵/۳ – ۸۴/۲	تحقیق حاضر

فصل ششم

خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- خلاصه

کانی‌زایی آرسنیک در جنوب غرب آسیا در کشورهای ترکیه، ایران و افغانستان، جزیی از کمربند آلپ – هیمالیاست که در ادامه ایالت کانه‌زایی آرسنیک از زون ژئوترمال Shiquanhe–Yarlung– Zangbo در چین می‌باشد. (Mianpiang, 1997). راونزکرافت و همکارانش (Ravenscraft et al., 2009) مکانیسم اصلی آزادسازی آرسنیک در ایران و ترکیه را دفع سطحی در شرایط قلیایی (AD) و وجود آب‌های ژئوترمال بیان می‌کنند. غلظت بالای آرسنیک با منشا طبیعی در آب‌های آشامیدنی از مهم‌ترین دلایل آلودگی آرسنیک در دنیا می‌باشد (Sharma and Sohn, 2009). آلودگی آرسنیک تا کنون در آب‌های مناطق مختلف ایران از جمله بیجار کردستان، آذربایجان غربی، موته اصفهان و کوهسرخ کاشمر گزارش شده است. در این پژوهش مطالعه بر روی آلودگی آرسنیک در رسوبات منطقه کوهسرخ صورت گرفته است.

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق شهرستان کاشمر در حد فاصل دو گسل اصلی درونه و تکنار قرارگرفته و به‌شدت تکتونیزه می‌باشد.. کانی‌سازی‌های موجود در این منطقه جوان و از نوع As، Sb، Au، Hg و Cu می‌باشد. وجود چندین چشمه آب‌گرم در این محدوده تاییدی بر تاثیر آب‌های ژئوترمال در غلظت آرسنیک در آب و رسوبات منطقه می‌باشد.

بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در منطقه غلظت آرسنیک در رسوبات رودخانه‌ای از ۲/۶ ppm تا ۴۸۲ (Jiangxi, 1996) ودر آب زیرزمینی (چشمه، چاه و قنات) بین ۲/۸ ppb تا ۶۵۰ گزارش شده است (پرورش، ۱۳۸۶). همچنین قاسم زاده و همکارانش(۲۰۰۶) غلظت آرسنیک در آب های سطحی کوهسرخ را ۳۷/۴ ppb تا ۳۷۶ و در آب آشامیدنی ۲۵/۵ ppb تا ۱۰۴/۹ اندازه گیری کرده است (Ghassemzadeh et al., 2006). همچنین وی در مطالعات اکولوژی خود موفق به جذب آرسنیک توسط جلبک

Phragmites australis به روش *Rhizofiltration* در روستای چلپو شده است (Ghassemzadeh et al., 2008).

۶-۲- نتیجه‌گیری

بر پایه مطالعات پیشین ذکرشده، به‌منظور شناسایی کانی‌های جاذب و یا حامل آرسنیک در رسوبات و مکانیسم آزادسازی آرسنیک در آب‌های سطحی مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی بر روی رسوبات رودخانه‌ای منطقه انجام گرفت. با توجه به شرایط ژئوشیمیایی حاکم بر این رسوبات(pH قلیایی و شرایط اکسیداسیون) و مطالعات کانی‌شناسی نتایج ذیل به‌دست آمد.

- با مشاهده فراوانی اکسید (هیدروکسید) های آهن در رسوبات (با استفاده ازبینوکلار و مقاطع صیقلی و XRD)، پراکندگی ضعیف آرسنیک در کانی‌های آهن‌دار (با توجه به مطالعات SEM) و همبستگی منفی بین غلظت آهن و آرسنیک موجود در رسوبات می‌توان چنین نتیجه گرفت:

الف: رابطه منفی بین آرسنیک و آهن در رسوبات می‌تواند نشان‌دهنده دفع سطحی آرسنیک از اکسید (هیدروکسید) های آهن باشد. آرسنیک جذب شده به اکسید (هیدروکسید) های آهن تحت شرایط اکسیداسیون و pH قلیایی طی فرآیند دفع سطحی از اکسید (هیدروکسید) های آهن خارج شده است در نتیجه منجربه افزایش غلظت آن در آب‌های سطحی گردیده است (Smedley and Kinniburgh, 2002; Stollenwerk, 2003).

ب: وجود همبستگی منفی بین As/P و As/Fe از یک طرف و همبستگی مثبت بین Fe/ P از طرف دیگر، شاید نشان‌دهنده برنده شدن فسفر در رقابت جذب سطحی به اکسید (هیدروکسید) آهن در این رسوبات است (Xie et al., 2008). وجود عامل رقیب در جذب سطحی به اکسید (هیدروکسید) های آهن منجر به دفع سطحی آرسنیک از آن می‌شود (Ravenscroft et al.,

2009). فسفر هم از مهم‌ترین رقیب‌های آرسنیک در جذب سطحی به اکسید (هیدروکسید) آهن می‌باشد. با افزایش غلظت فسفر در محیط، جذب سطحی آرسنیک به اکسید (هیدروکسید) های آهن و برخی دیگر از کانی‌های جاذب کم می‌شود و منجر به افزایش تحرک آرسنیک در محیط می‌گردد (Manning and Golerg, 1996; Jain and loeppert, 2000;). جذب سطحی آنیون‌های فسفات به اکسید (هیدروکسید) های آهن موجب آزادشدن آنیون‌های آرسنیک به محلول می‌شود (Sadiq, 1997).

- مشاهده کانی‌های سولفیدی (پیریت و آرسنوپیریت) در مقاطع صیقلی، همراهی آرسنیک با گوگرد می‌تواند نشان از این باشد که بخشی از آرسنیک در اثر هوازدگی کانی‌های سولفیدی وارد محیط شده است.
- ضریب همبستگی بین As/Mn و As/Al در این رسوبات منفی می‌باشد. در نتیجه احتمالا آرسنیک جذب شده به این کانی‌ها تحت شرایط AD دفع سطحی شده است زیرا جذب سطحی $AS(\mathbb{V})$ توسط اکسید آلومینیوم در pH حدود ۷ افزایش می‌یابد اما با افزایش pH جذب سطحی کاهش می‌یابد (Anderson et al., 1976).در حالی که جذب آرسنیک توسط منگنز بر خلاف آهن و آلومینیوم با افزایش pH کاهش می‌یابد (Chiu and Hering, 2000).
- بر اساس نتایج حاصل از XRD تنوعی از کانی‌های رسی شامل مونتموریونیت، کلریت، ایلیت، شاموزیت در رسوبات دیده می‌شود. در کانی‌های رسی یون‌های آلومینیوم در گوشه ذرات رس، قادر به جذب آنیون آرسنیک می‌باشد (Davis and Kent, 1990). بیشترین جذب $AS(\mathbb{V})$ توسط این کانی‌ها در pH نزدیک ۷ می‌باشد و با افزایش PH کاهش می‌یابد (Frost and Griffin, 1977). همبستگی منفی بین As, Al که از عناصر اصلی کانی‌های رسی است و همچنین افزایش

pH در این رسوبات منجر به کاهش جذب سطحی آرسنیک در نتیجه افزایش دفع سطحی آن به محیط شده است.

- مطالعات XRD و میکروسکوپی (بینوکلار) نشان از وجود مقادیر بالای کلسیت در این رسوبات دارد. بر اساس آنالیز ICP-MS بین As, Ca همبستگی مثبت مشاهده می‌شود. با توجه به شرایط موجود احتمالاً کربنات‌ها (کلسیت) از جاذب‌های اصلی آرسنیک در منطقه می‌باشد. تحت شرایط pH قلیایی جذب سطحی آرسنیک توسط کربنات افزایش یافته در نتیجه کربنات‌ها می‌تواند عاملی برای بالا بودن غلظت آرسنیک در این رسوبات باشد (Goldberg and Glaubig, 1988). از طرفی آرسنیک قادر به جانشینی در راستای محور C کربن در کلسیت و یا جذب سطحی به آن می‌باشد (Martinez et al.,.2006).
- کانی ژیپس در این رسوبات توسط مطالعات XRD، بینوکلار و در نمونه‌های سنگی منطقه مشاهده شده است. ژیپس از دیگر کانی‌های جاذب آرسنیک است که علاوه بر جذب سطحی آرسنیک، به دلیل شباهت آرسنات (AsO_4^{3-}) با سولفات (So_4^{2-}) هنگام رسوب ژیپس امکان جانشینی آرسنات به جای سولفات در pHهای بالا وجود دارد (Martinez et al., 2006). با وجود همبستگی مثبت بین As, Ca فرضیه جذب سطحی آرسنیک توسط ژیپس و یا جانشینی در آن قوت می‌گیرد.
- علاوه بر کلسیت، کوارتز نیز توسط آنالیز XRD به عنوان فاز اصلی کانی‌سازی در این رسوبات مشخص شده است. از طرفی در آنالیز ICP-MS غلظت Si در رسوبات اندازه‌گیری نشده و رابطه ای بین آن و آرسنیک تعیین نگردید. ولیکن مطابق تئوری‌های موجود کوارتز جاذب بسیار ضعیفی برای آرسنیک می‌باشد (Stumm and Morgan, 1981) و با وجود میزان بالای آن در این رسوبات، در جذب سطحی آرسنیک از درجه اهمیت پایین‌تری برخوردار می‌باشد.

- علاوه‌بر مکانیسم آزادسازی دفع سطحی آرسنیک در شرایط قلیایی، وجود چندین چشمه آب گرم در منطقه کوهسرخ نشان از تاثیر آب‌های ژئوترمال در ورود آرسنیک به آب‌های سطحی و زیر زمینی دارد. از طرف دیگر کانی‌سازی سولفیدی در منطقه مینرالیزه به‌صورت پیریت و آرسنوپیریت و درنتیجه اکسیداسیون آن در محل کانی‌سازی از عوامل احتمالی دیگر آزادسازی آرسنیک در منطقه کوهسرخ می‌باشد.
- با وجود تمام شواهد موجود (ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی) شناسایی دقیق مکانیسم حمل و نقل آرسنیک بسیار پیچیده می‌باشد و در بسیاری از مناطق دنیا هنوز به‌طور دقیق این مکانیسم شناسایی نشده است (Schreiber et al., 2003).
- با توجه به محاسبه ضریب آلودگی و ضریب زمین انباشت، رسوبات منطقه دارای آلودگی شدید برای سه عنصرAu، Hg و As آلودگی متوسط برای عناصر Co، Ni، Zn و Cu می‌باشد. همچنین کلیه نمونه‌های رسوب دارای درجه آلودگی متوسط تا بسیار بالا می‌باشند.

غلظت بالای آرسنیک در آب آشامیدنی و زیرزمینی منطقه (پرورش،۱۳۸۶؛ Ghasemzadeh et al., 2006) منجربه بروز بیماری آرسنوسیس در بین مردم ساکن در دو روستای چلپو و اوندر شده است. نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی پزشکی به شرح زیر می‌باشد:

- مشاهده انواع بیماری‌های پوستی نظیر کراتوسیس در کف دست و پا و سایر نقاط بدن، پیگمنتیشن در نقاط مختلف بدن، ایجاد ترک و شکاف شدید در کف پا و دست و وجود حساسیت‌های پوستی نظیر سوزش و خارش در نقاط مختلف نشان‌دهنده تاثیر سمیت آرسنیک در مردم ساکن در این دو روستا می‌باشد.
- آزمایش ادرار ۲۴ ساعته، نشان‌دهنده غلظت بالا و بیش از حد مجاز آرسنیک در ادرار ۶۰ درصد از افراد تحت آزمایش که از بیماری پوستی رنج می‌برند، می‌باشد. این آزمایش نشان

دهنده رابطه مثبت بین آرسنیک دفع شده از ادرار با شیوع بیماری‌های پوستی در این افراد می-باشد (Fatmi et al.,2009).

۶-۳- پیشنهادات

با توجه به آلودگی بالای آب و رسوب در منطقه و وجود بیماری‌های مختلف پوستی در بین اهالی ساکن در منطقه کوهسرخ، انجام مطالعات تکمیلی زمین‌شناسی پزشکی و پاکسازی آلودگی شامل مراحل زیر پیشنهاد می‌شود.

۱. اندازه گیری آرسنیک در پوست، مو و ناخن افراد در معرض آرسنیک در منطقه کوهسرخ (دارای بیماری پوستی و بدون بیماری پوستی)
۲. اندازه‌گیری غلظت آرسنیک در گیاهان بومی منطقه و محصولات کشاورزی نظیر گندم
۳. اندازه‌گیری غلظت آرسنیک در خاک باغ‌های کشاورزی و زمین‌های زراعی منطقه
۴. اندازه‌گیری غلظت آرسنیک در مو، گوشت و شیر دام‌های منطقه
۵. افزایش مطالعات در جهت شناسایی روش مناسب برای پاک‌سازی آب‌های زیرزمینی و سطحی منطقه (به‌ویژه آب آشامیدنی) از آلودگی آرسنیک

هم‌چنین با افزایش سطح آگاهی مردم منطقه در مورد آلودگی آرسنیک و تاثیر آن بر سلامتی و مصرف آب‌های سالم از راه‌کارهای مناسب جهت کنترل آلودگی و پیشگیری از بیماری‌های مربوط به آرسنیک است.

منابع و مآخذ

مراجع

آقانباتی س.ع.، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.

اطلس راه‌های کشور، سایت www.ianview.ir

پرورش م.، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: پترولوژی و ژئوشیمی ولکانیسم سنوزوئیک کوهسرخ (کاشمر) با نگرشی بر ژئوشیمی و آلودگی منابع آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

درویش‌زاده ع.، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، امیرکبیر ندا، ۹۰۱ص.

سایت www.googleearth.com

سایت سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی،www.kindmine.ir، ۱۳۸۹/۳/۱۰

سردباشی ا. ح.، (۱۳۸۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: اکتشاف ژئوفیزیکی تفضیلی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی برای اکتشاف کانسار آنتیموان چلپو منطقه کوهسرخ کاشمر، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

طبسی س.، طبسی س.، (۱۳۸۸)، جلوه های زیبا از فرسایش کنگلومرا و پدیده دودکش جن در کلاته سوراخ سنگ، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین-شناسی ایران، تهران.

کریم‌پور م. ح.، سعادت س.، (۱۳۸۳)، طرح پژهشی: مطالعه و بررسی پتانسیل معدنی . تعیین اولویت‌های اکتشافی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، آلتراسیون، ژئوشیمی و ژئوفیزیک در محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی.

کشاورز ب.، مر ف.، (۱۳۸۸)، زمین‌شناسی پزشکی آرسنیک در منطقه معدنی طلای موته اصفهان، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

مرعشی پ.، کاویانی س.، سرپولکی ح.، ذوالفقاری ع.، (۱۳۸۳)، اصول و کاربرد میکروسکوپ الکترونی و روش‌های نوین آنالیز، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۳۵۳ص.

مظلومی ع.، (۱۳۷۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمی نواحی طلادار علی‌آباد و آلترشده گردنه کوهسرخ در شمال کاشمر (استان خراسان)، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

نادری ن.، (۱۳۷۷)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

نادری ن.، (۱۳۷۷)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

نریمانی ا.، (۱۳۸۰) پایان‌نامه کارشناسی ارشد: ساخت، بافت و پاراژنز کانسار آنتیموان – آرسنیک طلای چلپو و کلاته‌چوبک (کوهسرخ کاشمر) و عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز آن، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس.

Ahamed, S., Sengupta, M. K., Mukherjee, A., Hossain, M. A., Das, B., Nayak, B., et al. (2006a), "Arsenic groundwater contamination and its health effects in the state of Uttar Pradesh (UP) in upper and middle Ganga plain, India: A severe danger" **Science of the Total Environment**, 370, 310–322.

Ahamed, S., Sengupta, M. K., Mukherjee, S. C., Pati, S., Mukherjee, A., Rahman, M. M., et al, (2006b), "An eight year study report on arsenic contamination in groundwater and health effects in Eruani village, Bangladesh and an approach for its mitigation" **Journal of health, population and Nutrition**, 24, 129–141.

Ahmad, S., Sayed, MH., Barua, S., Khan, MH., Faruquee, MH., Jalil, A., et al. (2001), "Arsenic in drinking water and pregnancy outcome", **Journal of Environmental Health Perspectives**, 109, 629–631.

Akaia, J., Izumia, K., Fukuhara, H., Masuda, H., Nakano, S., Yoshimura, T., et al., (2004), "Mineralogical and geomicrobiological investigations on groundwater arsenic enrichment in Bangladesh", **Applied Geochemistry**, 19, 215‑230.

Anderson, M. A., Ferguson, H. F., and Gavis, J., (1976), "Arsenate adsorption on amorphous aluminum hydroxide", **Journal of Colloid and Interface Science**, 54, 391-399.

Arnold, H. L., Odam, R. B., James WD., (1990), "Disease of the skin. Clinical dermatology", In: Arsenic groundwater contamination and its health effects in the state of Uttar Pradesh (UP) in upper and middle Ganga plain, India: A severe danger, (Ahamed, S., Sengupta, M. K., et al,), **Science of the Total Environment**, 370, 310–322.

Aschengrau, A., Zeiler, S., and Cohen, A. (1989), "Quality of community drinking water and the occurrence of spontaneous abortion", In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease), (1990), "ATSDR case studies in environmental medicine" In: Arsenic geochemistry and health, (Duker, A. A., Carranza, E. J. M., Hale M.), **Environment International**, 31, 631– 641.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), (2007), "Toxicological Profile for Arsenic", U.S. Department of Health and Human Services.

Basu, D., Dasgupta, J., Mukherjee, A., Guha Mazumder, D.N., (1996), "Chronic neuropathy due to arsenic intoxication from geo-chemical source - a five year follow up", In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Bates, M. N., Smith, A. H., Hopenhayn-Rich, C., (1992), "Arsenic ingestion and internal cancers: a review", **American Journal of Epidemiology**, 135, 462–476.

Borzsonyi, M., Bereczky, A., Rudnai, P., Csanady, M., Horvath, A., (1992), "Epidemiological studies on human subjects exposed to arsenic in drinking water in southeast Hungary", In: The correlation of arsenic levels in drinking water with the biological samples of skin disorders, (Kazia, T. G., Araina, M. B., et al.), **Journal of Science of The Total Environment**,407, 1019–1026.

Caceres, D. D., Pinoa, P., Montesinosc, N., Atalahd, E., Amigod, H., Loomis, D., (2005), "Exposure to inorganic arsenic in drinking water and total urinary arsenic concentration in a Chilean population", **Environmental Research**, 98, 151–159.

Canadian Environmental Quality Guidelines, (2003). Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines.

Caussy. D., Kumar. P. and Than Sein, U., (2003), "Health impact needs in South-East Asian countries", **International Journal of Public and Health**, 81: 439–443.

Chakraborty, A. K., and Saha, K. C. (1987), "Arsenical dermatosis from tubewell water in West Bengal", In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Chakraborti, D., Sengupta, M. K., Rahman, M. M., Ahamed S, Chowdhury, U. K., Hossain, Md. A., et al., (2004), "Groundwater arsenic contamination and its health effects in the Ganga-Meghna- Brahmaputra plain" In: Groundwater Arsenic Contamination, Its Health Effects and Approach for Mitigation in West Bengal, India and Bangladesh, (Das, B., Rahman M. M., et al.), **Water Quality, Exposure and Health**, 1, 5–21.

Chen, C. J., Chen, C. W., Wu, M. M., Kuo, & T. L., (1992). "Cancer potential in liver, lung, bladder and kidney due to ingested inorganic arsenic in drinking water", **British Journal of Cancer**, 66, 888–892.

Chen, C. J., Hsueh, Y. M. Lai, M. S., Shyu, M. P., Chen, S. Y., Wu, M. M., Kuo, T. L., and Tai, T. Y., (1995), "Increased prevalence of hypertension and long term arsenic exposure" In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Chiou, H. Y., Hsueh, Y. M., Liaw, K. F., Horng, S. F., Chiang, M. H., Pu, Y. S., et al. (1995). "Incidence of internal cancers and ingested inorganic arsenic: Asevenyear follow-up-study in Taiwan", **Jurnal of Cancer Research**, 55, 1296–1300.

Chiou, H. Y., Huang W. I., Su C. L., Su, C. L., Chang, S. F., Hsu, Y. H., and Chen, C. J., (1997). "Dose response relation between prevalence of cerebrovascular diseases and ingested inorganic arsenic", In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.,), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Chiu, V. Q., and Hering, J. G., (2000), "Arsenic adsorption and oxidation at manganite surfaces: 1. Method for simultaneous determination of adsorbed and dissolved arsenic species", **Environmental Science & Technology**, 34, 2029-2034.

Cohen, S. M., Arnold, L. L., Eldan, M., Lewis, A. S., Beck, B. D., (2006), "Methylatedarsenicals the implications of metabolism and carcinogenicitystudies in rodents to human risk assessment" In: The correlation of arsenic levels in drinking

water with the biological samples of skin disorders, (Kazia, T. G., Araina, M. B., et al.), **Journal of Science of The Total Environment**.407, 1019–1026.

Concha, G., Nermell, B. and Vahter, M., (2006), "Spatial and Temporal Variations in Arsenic Exposure via Drinking-water in Northern Argentina" **Journal of health, population and Nutrition**, 3, 317-326.

Coronado Gonzalez, J. A., Del Razo, L. M., Garcia-Vargas, G., Sanmiguel-Salazar, F., Escobedo-de, J., (2007), "Inorganic arsenic exposure and type 2 diabetes mellitus in Mexico", **Environmental Research**, 104, 383–389.

Dastgiri, S., et al., (2010), "Arsenic exposure, dermatological lesions, hypertension, and chromosomal abnormalities among people in a rural community of northwest Iran", **Journal of health, population and Nutrition**, 28, 1, 14-22.

Davis, J. A., and Kent, D. B., 1990, Surface complexation modeling in aqueous geochemistry, In: **Arsenic in groundwater**, (weich A. H., Stollenwerk K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America, chap 3.

Engel, R. R., and Smith, A. H. (1994), "Arsenic in drinking water and mortality from vascular disease: An ecological analysis in 30 counties in the United States", In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman M. M., Ng J. C., Naidu R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

EPA (US Environmental protection Agency, Region 9), (2004), "Preliminary remediation goals for superfund sites, PRGs 2002 Table", http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/files/04prgtable.pdf.

Farmer, J.G., Johnson, L. R., (1990) "Assessment of occupational exposure toinorganic arsenic based on urinary concentrations and speciation of arsenic", In: Arsenic groundwater contamination and its health effects in the state of Uttar Pradesh (UP) in upper and middle Ganga plain, India: A severe danger, (Ahamed, S., Sengupta, M. K., et al,), **Science of the Total Environment**, 370, 310–322.

Fatmi, Z., Azam, I., Ahmed, F., Kazi, A., Gill, A. B., Kadir, M. M., (2009), "Health burden of skin lesions at low arsenic exposure through groundwater in Pakistan. Is river the source?", **Environmental Research**, 109, 575–581.

Fernandez-Martinez, A., Roman-Ross, G., Cullo, G. J.,Turrillas, X., (2006), "Arsenic uptake by gypsum and calcite: Modelling and probing by neutron and X-ray scattering", **Physica**, 385-386, 935-937.

Frost, R. R., and Griffin, R. A., (1977), "Effect of pH on adsorption of arsenic and selenium from landfill leachate by clay minerals", In: **Arsenic in groundwater**, (weich A. H., Stollenwerk K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America, chap 3.

Ghasemzadeh, F., Arbab-zavar, M. H., & McLennan, G., (2006), "Arsenic and antimony in drinking water in kohsorkh area, northeast Iran possible risks for the puplic heaith", **Jornal of Applied Sciences**, 6, 13, 2705-2714.

Ghasemzadeh, F., Yousefzadeh, Z. H., Arbab-zavar, M. H., (2008), "Removing Arsenic and Antimony by Phragmites australis: Rhizofiltration Technology", **Jornal of Applied Sciences**, 8, 9, 1668-1675.

Ghosh A. K., Sarkar D., Bhattacharyya, P., Maurya, U. K., and Nayak, D. C., (2006): "Mineralogical study of some arsenic contaminated soils of West Bengal, India", **Geoderma**, 136, 300–309.

Goldberg, S., and Glaubig, R. A., (1988), "Anion sorption on a calcareous, montmorillonitic soil – selenium", In: **Arsenic in groundwater**, (weich, A. H., Stollenwerk, K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America.

Guha Mazumder, D. N., Chakraborty, A. K., Ghosh, A., Chakraborty, D. P., Dey, S. B., Chattopadhyay, N., (1988), "Chronic arsenic toxicity from drinking tubewell water in rural West Bengal", In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Guha Mazumder, D. N., Haque, R., Ghosh, N., Dey, B. K., Santra, A., Chakraborti, D., et al. (2000), "Arsenic in drinking water and the prevalence of respiratory effects in West Bengal, India", **International Journal of Epidemiology**, 29, 1047–1052.

Guha Mazumder, D. N., (2007), "Effect of Drinking Arsenic Contaminated Water in Children", **INDIAN PEDIATRICS**, 44.

Guo, X., Fujino, Y., Kaneko, S., Wu, K., Xia, Y., Yoshimura, T., (2001), "Arsenic contamination of groundwater and prevalence of arsenical dermatosis in the Hetao plain area, Inner Mongolia, China" **Molecular and Cellular Biochemistry**, 222, 137–140.

Guo, X., Liu, Z., Huang, C. and You, L. G., (2006). "Levels of arsenic in drinking water and cutaneous lesions in Inner Mongolia", **Journal of health, population and Nutrition**, 24, 214–220.

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

Hasan, M. A., Bromssen, M. V., Bhattacharya, P., Ahmed, K. M., Sikder, A. M., Jacks, G., Sracek, O., (2009), "Geochemistry and mineralogy of shallow alluvial aquifers in Daudkandi upazila in the Meghna flood plain, Bangladesh", **Environmental Geology**, 57, 499–511.

Henke, K. R., (2009). "**Arsenic: environmental chemistry, health threats, and waste treatment**", Wiley, United Kingdom.

Hudson-Edwardsa, K. A., Jamieson, H. E., Charnockc, J. M., Macklin, M. G., (2005), "Arsenic speciation in waters and sediment of ephemeral floodplain pools, Rios Agrio–Guadiamar, Aznalco llar, Spain", **Chemical Geology**, 219, 175– 192.

Ishinishi, N., Tsuchiya, K., Vahter, M., Fowler, B. A., (1986), "Arsenic", In: Arsenic geochemistry and health, (Duker, A. A., Carranza, E. J. M., Hale, M.), **Environment International**, 31, 631– 641.

Islam, L. N., Nabi, A. N., Rahman, M. M. and Zahid, M.S.H., (2007), "Association of respiratory complications and elevated serum immunoglobulins with drinking water arsenic toxicity in human", **Journal of Environmental Science and Health**, 42, 1807–1814.

Jain, A., and Loeppert, R. H., (2000), "Effect of competing anions on the adsorption of arsenate and arsenite by ferrihydrite", **Journal of Environmental Quality**, 29, 1422-1430.

Jiangxi Company., (1996). Report No.19:P Explanatory Text Of Geochemical Mao of Shamkan(7661),Stream Sediment Survey Scale 1:100000.

Kabata-Pendias, A., and Mukherjee, A.B., (2007), "**Trace Elements from Soil to Human**", Springer, New York.

Karagas, M. R., Tosteson, T. D., Blum, J., Klaue, B., Weiss, J. E., Stannard, V., et al., (2000), "Measurement of low levels of arsenic exposure: a comparison of water and toenail concentrations". **American Journal of Epidemiogyl**, 152, 84–90.

Kazia, T. G., Araina, M. B., Baig, J. A., Jamali, M. K., Afridi, H. I., Jalbani, N., et al., (2009), "The correlation of arsenic levels in drinking water with the biological samples of skin disorders", **Journal of Science of The Total Environmen,**.407, 1019–1026.

Kouras, A., Katsoyiannis, I., Voutsa, D., (2007), "Distribution of arsenic in groundwater in the area of Chalkidiki, Northern Greece", **Journal of Hazardous Materials**, 147, 890–899.

Kurttio, P., Komulainen, H., Hakala, E., Kahelin, H., Pekkanen, J., (1998), "Urinary Excretion of Arsenic Species After Exposure to Arsenic Present in Drinking Water", **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 34, 297–305.

Lindenberg, H. G., Gorler, K., Ibbeken, H., (1983), "Stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the Sabzevar zone in the area of Oryan (Khorasan , NE Iran) ", Geological survey of Iran, Report No. 51.

Loring, D. H., Dahle, S., Naes, K., Dos Santos, J., Skei, J., Matishov, G., (1998), "Arsenic and other Trace Metals in Sediments from the Kara Sea and the Ob and Yenisey Estuaries, Russia", **Aquatic Geochemistry**, 4, 233–252.

Lowers, H. A., Breit, G. N., Foster, A. L., Whitney, J., Yount, J., Uddin, M. N., Muneem, A., (2007), "Arsenic incorporation into authigenic pyrite, Bengal Basin sediment, Bangladesh",**Geochimica et Cosmochimica Acta**, 71, 2699–2717.

Majumdar, K. K., Guha Mazumder, D. N., Ghose, N., Ghose, A., and Lahiri, S., (2009), "Systemic manifestations in chronic arsenic toxicity in absence of skinlesions in West Bengal", **Indian Journal of Medicin Research**, 129, 75-82.

Mandal, B. M., Suzuki, K. T., (2002), "Arsenic round the world: a review", **Talanta**, 58, 201–235.

Mandal, B. K., Ogra Y., Suzuki, K. T., (2003), "Speciation of arsenic in human nail and hair from arsenic-affected area by HPLC-inductively coupled argon plasma mass spectrometry". **Toxicology and Applied Pharmacology**, 189, 73–83.

Manning, B. A., and Goldberg, S., (1996), "Modeling arsenate competitive adsorption on kaolinite, montmorillonite and illite: Clays and Clay Minerals", **Soil Science Society of America Journal**, 44, 609-623.

Mason, B. J.: 1966, "**Introduction to Geochemistry**", 3rd (ed), John Wiley, New York, Moor. F., (1371), 320 p.

Mercedes Meza, M., Kopplin, M. J., Burgess, J. L., & Gandolfi, A. J., (2004), "Arsenic drinking water exposure and urinary excretion among adults in the Yaqui Valley Sonora Mexico", **Journal of Environmental Research**, 96, 119–26.

Mianpiang, Z., (1997), "**An Introduction to Saline-alkaline Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau**", In: Arsenic Pollution: A Global Synthesis, (Ravenscrofte, P., Brammer, H., Richards, K.,), Wiley, United Kingdom.

Milton, A. H., Hasan, Z., & Rahman, A., (2001), "Chronic arsenic poisoning and respiratory effects in Bangladesh", **Journal of Occupational Health**, 43, 136–140.

Milton A. H., and Rahman,M., (2002), "Respiratory effects and arsenic contaminated well water in Bangladesh" In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Modabberi, S., Moore, F., (2004), "Environmental geochemistry of Zarshuran Au-As deposit, NWIran", **Journal of Environmental Geology** , 46, 796–807.

Mosaferi, M. Yunesian, M., Mesdaghinia, A., Nadim, A., Nasseri, S., & Mahvi, A. H., (2003), "Arsenic Occurrence in Drinking Water of I.R of Iran: The Case of Kurdistan Province", BUET-UNU International Symposium Fate of Arsenic In The Environment, Dhaka, Bangladesh.

Mosaferi, M., Yunesian, M., Mesdaghinia, A. R., Nasseri, S., Mahvi, A. H., Nadim, H., (2005), "Correlation between Arsenic Concentration in Drinking Water and Human Hair", **Iranian Journal of Environment Health Science Engineering**, 2, 1, 13-21.

Mosaferi, M., Yunesian, M., Dastgiric, S., Mesdaghiniad, A., Esmailnasab, N., (2008), "Prevalence of skin lesions and exposure to arsenic in drinking water in Iran", **Science of the Total Environment**, 390, 69 –76.

Muller, G., (1979), "Heavy metals in the sediment of the Rhine-Changes seity", In: Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea,(Ahdy, H. H., and Khaled, A.,), **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 3(4), 3330-3336.

Muller, G., (1981), "The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary", In: Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea,(Ahdy, H. H., and Khaled, A.,), **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 3(4), 3330-3336.

Mukherjee, S. C., Rahman, M. M., Chowdhury, U. K., Sengupta, M. K., Lodh, D., Chanda, C. R., Saha, K. C., & Chakraborti, D., (2003), "Neuropathy in arsenic toxicity from groundwater arsenic contamination in West Bengal-India", **Journal of Environmental Science and Health**, 38, 165–183.

Mukherjee, S. C., Saha, K. C., Pati, S., Dutta, R. N., Rahman, M. M., Sengupta, M. K., et al., (2005), "Murshidabad—one of the nine groundwater arsenic-affected districts of West Bengal, India. Part II: dermatological, neurological, and obstetric findings", **Clinical Toxicology**, 43, 835–48.

Mukherjee, A., Sengupta, M. K., Hossain, M. A., Ahamed, S., Das, B., Nayak, B., et al. (2006), "Arsenic contamination in groundwater: A global perspective with emphasis on the Asian scenario", **Journal of Health, Population and Nutrition**, 24, 142–163.

Naidu, R., Smith, E., Owens, G., Bhattacharya, P., Nadebaum,P., (2006), "**Managing arsenic in the environment : from soil to human health**", CSRIO, Melbourne.

NRC (Natioanl Research Council), (1999). **Arsenic in drinking water.** In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Nriagu, J.O., (2002), "Arsenic poisoning through the ages", In: **Arsenic: environmental chemistry, health threats, and waste treatment**,(Henke, K. R., Ed.),Wiley, United Kingdom

Patel1, K. S, Shrivas, K., Brandt, R., (2005), "Arsenic contamination in water, soil, sediment and rice of central India", **Environmental Geochemistry and Health**, 27, 131‑145.

Rahman, M. M., Naidu, R., Bhattacharya, R., (2009), "Arsenic contamination in groundwater in the Southeast Asia region", **Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Rahman, M. M., Sengupta, M. K., Ahameda, S., Chowdhurya, U. K., Hossaina, A. H., Dasa, B., et al., (2005), "The magnitude of arsenic contamination in groundwater and its health effects to the inhabitants of the Jalangi, one of the 85 arsenic affected blocks in West Bengal India", **Science of the Total Environment,** 338, 3, 189–200.

Ravenscrofte, P., Brammer, H., Richards, K., (2009), "**Arsenic Pollution: A Global Synthesis**", Wiley, United Kingdom.

Rollinson, H. R., (1993), "**Using Geochemical Data**", longman Scientific & technical, Moore, F., (1384), 422p.

Rudnai, P., and Gulyas, E., (1998), "Adverse effects of drinking water related arsenic exposure on some pregnancy outcomes in Karcag, Hungary" In: Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans, (Rahman, M. M., Ng, J. C., Naidu, R.), **Journal of Environmental Geochemistry and Health**, 31, 9–21.

Sadiq, M., (1997), "Arsenic chemistry in soils: an overview of the thermodynamic predictions and field observations", **Water Air Soil Pollut,** 93, 117–136.

Schreiber, M. E., Gotkowitz, M. B., Simo, J. A., and Freiberg, P. G., (2003), Mechanisms of Arsenic Release to Ground Water from Naturally Occurring Sources, Eastern Wisconsin, In: **Arsenic in groundwater**, (weich A. H., Stollenwerk K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America, chap 9.

Selinus, O.,(2006): "**Asentioale of medical geology, Impacts of the Natural Environment on Public Health"**, Elsevier, USA.

Sharma, V. K., and Sohn, M., (2009), " Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation", **Environment International**, 35, 743–759.

Shih, M. C., (2005), "An overview of arsenic removal by pressure-driven membrane processes" In: **Arsenic: environmental chemistry, health threats, and waste treatment**, (Henke, K. R., Ed.), Wiley, United Kingdom.85–97.

Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.G., (2002), "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters". **Applied Geochemistry**, 17, 5, 517–68.

Smedley, P. L., Kinniburgh, D. G., Macdonald, D. M. J., Nicolli, H.B., Barros, A.J., Tullio, J.O., et al., (2005), "Arsenic associations in sediments from the loess aquifer of La Pampa, Argentina", **Applied Geochemistry**, 20, 989‑1016.

Smith, A. H., Goycolea, M., Haque, R., & Biggs, M. L., (1998), "Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of northern Chile due to arsenic in drinking water", **American Journal of Epidemiology**, 147, 660–669.

Solovov, A. P., (1985), "**Geochemical prospecting for mineral deposits**", MIR Pub.

Sthiannopkao, S., Kim, K. W., Cho, K. H., Wantala, K., Sotham, S., Sokuntheara, C., Kim, J. H., (2009), "Arsenic levels in human hair, Kandal Province, Cambodia: The influences of groundwater arsenic, consumption period, age and gender" **Applied Geochemistry**, 24, 2342-2361.

Stollenwerk, K. G., (2003), " Geochemical Processes Controlling Transport of Arsenic in Groundwater: A Review of Adsorption", In: **Arsenic in groundwater**, (weich A. H., Stollenwerk K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America, chap 3.

Stumm, W., and Morgan, J. J., (1981), "**Aquatic Chemistry**", In: **Arsenic in groundwater**, (weich A. H., Stollenwerk K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America, chap 3.

Tsai, S.M., Wang, T.N., and Ko,Y. C., (1999), "Mortality for certain diseases in areas with high level of arsenic in drinkingwater", **Archives of Environmental Health**, 54, 186–193.

Tsai, S. Y., Chou, H. Y., The, H. W., Chen, C. M., Chen, C. J., (2003), "The effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the eurobehavioral development in adolescence", **Neuro Toxicology**, 24, 747–753.

Uchino, T., Roychowdhury, T., Ando, M., Tokunaga, H., (2006), "Intake of arsenic from water food composites and excretion through urine hair from a studied population in West Bengal India", **Journal of Food and Chemical Toxicology**, 44, 455–61.

Varejao, E. V. V., Bellato, C.R., Fontes, M. P. F., Mello, J. W. V., (2010), "Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil". **Environmental Monitoring and Assessment,** DOI: 10.1007/s10661-010-1361-3

Wang, C. H., Hsiao, C. K., Chen, C. L., Hsu, L., Chiou, H. Y., Chen, S. Y., Hsueh, U. M., et al., (2007), "A review of the epidemiologic literature on the role of environmental arsenic exposure and cardiovascular diseases", **Toxicology and Applied Pharmacology**, 222, 315–326.

Wasserman, G. A., Liu, X., Parvez, F., Ahsan, H., Levy, D., Factor-Litvak, P., et al., (2004), "Water arsenic exposure and children's intellectual function in Araihazar, Bangladesh", **Environmental Health Perspectives**,112, 1329-33..

Webster, J. G., and Nordstrom, D. K., (2003): "Geothermal Arsenic: The source, transport and fate of arsenic in geothermal systems", In: **Arsenic in groundwater**, (weich A. H., Stollenwerk, K. G., Ed.), Kluwer Academic Publishers, United States of America, chap4.

Welch, A.H., Westjohn, D.B., Helsel, D.R. and Wanty, R.B. (2000), "Arsenic in ground water of the United States: occurrence and geochemistry". **Ground Water**, 38, 4, 589–604.

Whitacre, D., (2008). "**Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Arsenic Pollution and Remediation: An International Perspective**", Speringer, New York.

WHO (World Health Organization), (1996). Guidelines for drinking-water quality. second ed. Geneva: WHO.

WHO (World Health Organization), (2001), "**Environmental Health Criteria 224: Arsenic and Arsenic compounds"**, Second edition.

WHO (World Health Organization), (2005), "A field guide for detection, management and surveillance of arsenicosis cases" Caussy D, editor. Technical Publication No 30. New Delhi: WHO, SEARO; p. 5- 18.

Xie, X., Wang, Y., Duan, M., Xie, Z., (2008), "Geochemical and environmental magnetic characteristics of high arsenic aquifer sediments from Datong Basin, northern China", **Environmental Geology**, www.springer.com

Yang, C. H., Chang, C. C., Tsai, S. S., Chuang, H. Y., Ho, C. K., Wu, T. N., (2003), "Arsenic in drinking water and adverse pregnancy outcome in an arseniasis-endemic area in northeastern Taiwan", **Environmental Research**, 91, 29–34

Yoshida, T., Yamauchi, H., Fan Sun, G., (2004). "Chronic health effects in people exposed to arsenic via the drinking water: Dose-response relationships in review", **Journal of Toxicology and Applied Pharmacology**, 198(3), 243–52.

Zaloga, G. P., Deal, J., Spurling, T., Richter, J., Chernow, B., (1985), "Case report: unusual manifestations of arsenic intoxication" In: Arsenic geochemistry and health, (Duker A. A., Carranza E.J.M., Hale M.,), **Environment International**, 31, 631–641.

Abstract

Arsenic (As) is the third most toxic and dangerous substance in earth crust that recognized as a serious threat for human healthy. In this thesis, we investigated arsenic pollution in The Kouhsorkh area located 56 km north of Kashmar and 95 km south of Nishaboor, Khorasan province, NE Iran by used of Geochemical, Mineralogical and Medical geology methods. The main rock formations in the area consist of Tertiary volcanic and various sedimentary rocks. It seems that occurrence of As- Sb- Au- Hg mineralization is one of the most important factors for arsenic contamination in this area. Realizing adsorbent minerals of arsenic and mechanism of arsenic release to water, sediment samples were collected from polluted water sources at the study area. Mineralogical investigation showed the most important minerals in the sediments are Quartz, clay, carbonates, Iron oxyhydroxides (Magnetite, Titano Magnetite, Hematite, Goethite), sulphide minerals (pyrite, Arsenopyrite) and oxidation sulphide minerals. Based on the results of ICP-MS analyses the concentration of arsenic was determined between 8.2 to 268.2 ppm in the sediments. Contaminations of As, Au, Cu, Ni, Co and Hg in this area were detected by means of calculated of Contamination Factor. Also Degree of Contamination was defined moderate to high in total samples. According to geochemical conditions such as pH and redox conditions predicted that Alkali-Desorption (AD) is the most important mechanism of arsenic release in this area. Iron oxyhydroxides, sulphide minerals, carbonates, gypsum and clay minerals were found to be the most important sorbents for Arsenic. High arsenic concentration affected health of people in Chalpoo and Avandar villages in Kohsourkh area. Medical geology study showed people in this residential area suffer from skin diseases including: hyperpigmentation, hypopigmentation, keratosis on head, hands and feet. The 24 hour urine specimens were tested for arsenic, the level of total arsenic in urine was 13.66-75.92 µg/L per day that 60 percent of them are higher than permissible limits from 5 to 40 µg/day. More systematic studies are needed to removal of arsenic from water and sediments and cure arsenicosis patients.

Shahrood University of Technology
Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

Mineralogical and geochemical investigations of the sediments polluted by arsenic at the Kouhsorkh area, Kashmar: emphasis on medical geology

Samira Tabasi

Supervisor:
Dr Arezoo Abedi

Consultants:
Dr Ali Asghar Najafpour
Mahboubeh Parvaresh

July 2010