



دانشکده علوم زمین

رشته زمین‌شناسی گرایش ژئوشیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

اثر اندازه ذرات بر توزیع ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های در محدوده کانسار مس
_ طلای کوه زر، جنوب دامغان

نگارنده :

زهرا ماروسی

استاد راهنما

دکتر مسعود علی‌پور اصل

دکتر رضا قوامی ریابی

اردیبهشت ۱۳۹۷

شماره: ۱۲۹۸۸
تاریخ: ۹۷/۴/۲۵

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم زهرا ماروسی با شماره دانشجویی ۹۴۱۵۵۷۴ رشته زمین شناسی گرایش زمین شیمی تحت عنوان اثر اندازه ذرات بر توزیع ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در محدوده کانسار مس - حلالی کوه زر - جنوب دامغان که در تاریخ ۱۳۹۷/۳/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u>)
<input type="checkbox"/> عملی	<input type="checkbox"/> نظری

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد یار	دکتر مسعود علی پور اصل	۱- استاد راهنمای اول
	دانشیار	دکتر سید رضا قوامی ریایی	۲- استاد راهنمای دوم
	-	-	۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر حبیب ا. قاسمی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استاد یار	دکتر فرج ا. فردوست	۵- استاد ممتحن اول
	دانشیار	دکتر بهزاد تخم چی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز لاریجانی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود)



اثری کوچک است، خیلی کوچک و شاید هیچ، اما به رسم، تقدیم می‌کنم به:

اسطوره‌های زندگیم؛ پدر و مادر عزیزم

پناه حستگیم و امید بودنم؛ همسر

و

ساحت مقدس یوسف زهرا (ع)

که چشم‌های زیارت صبحش بیدارند...

و آن صنوبرهای سرخی که چون لاله زاده شدند

و چون شقایق ایستاده مردند...

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را به دستش سپرده‌اند، بسی شایسته است؛

از استاد راهنمای فرهیخته و بزرگوار و دلسوزم جناب آقای دکتر علی‌پوراصل که با راهنمایی‌های ارزنده و دانش و دلسوزی ایشان، این تحقیق به سرانجام رسید نهایت تشکر و قدردانی را عرضه کنم. استادی که در بسیاری از جنبه‌های علمی، اخلاقی و اجتماعی الگو و راهنمای این حقیر بودند.

همچنین دیگر استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر قوامی که در این تحقیق از راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار بردم در رفع تقایص و مشکلات علمی از هیچ کوششی فروگذار نکردند تشکر می‌نمایم. با تشکر و سپاس فراوان از اساتید شایسته و فریخته‌ام؛ جناب آقای دکتر صادقیان، آقای دکتر قاسمی، آقای دکتر فردوست، آقای دکتر قشلاقی که از محضر پر فیض تدریستان، بهره‌ها برده‌ام.

همچنین از پدر و مادر عزیز و دلسوزم که آرامش روحی و آسایش فکری حقیر را فراهم نمودند و برادرم، که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بود و همسر مهربانم که مسیح وار با صبرش در تمامی لحظات رفیق راهم بود سپاسگزاری می‌نمایم.

و از دوستان شفیق و دلسوزم که در تمام مسیر همراه و یاورم بودند بسیار متشکرم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید...

تعهدنامه

اینجانب **زهرا ماروسی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شیمی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه اثر اندازه ذرات بر توزیع ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در محدوده کانسار مس – طلای کوه زر، جنوب دامغان تحت راهنمایی دکتر مسعود علی‌پور اصل و دکتر سید رضا قوامی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

مقالات استخراج شده از این پایان نامه

- اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای در محدوده‌ی کان‌زایی مس-طلای کوه زر، جنوب دامغان، نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، اردیبهشت ماه (۱۳۹۷).
- مورفولوژی و اندازه کان‌ه طلا در آبرفت‌های محدوده کوه زر-جنوب دامغان، نشریه پژوهش‌های دانش زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

چکیده

کانسار مس- طلای کوه زر در استان سمنان، ۹۵ کیلومتری جنوب دامغان قرار دارد، و به لحاظ زمین‌شناختی بخشی از کمربند ماگمایی تروند- چاه‌شیرین محسوب می‌گردد. واحدهای سنگی منطقه با سن ائوسن- اولیگوسن شامل مجموعه سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، تراکی آندزیت و بازالت)، توده‌های نفوذی (گرانودیوریت، کوارتز دیوریت و مونزودیوریت)، و رگه‌های کوارتز است. نفوذ توده‌های فلسیک تا حدواسط و سیالات گرمابی در سری سنگی ائوسن سبب دگرسانی و کانه‌زایی در این محدوده شده است. فرآیندهای هوازگی و فرسایش نیز با آزادسازی طلا و سایر کانی‌ها از سنگ‌های منشاء، پلاسرهای طلا دار کوه‌زر را به وجود آورده است.

نوع کانه‌زایی و توان معدنی بالای محدوده کوه زر از عوامل اصلی انتخاب این محدوده برای مطالعه اثر اندازه ذرات بر توزیع ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای بوده است. در این تحقیق به موازات بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، مطالعات کانی‌های سنگین، سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی نیز انجام شده است. کانسنگ‌های منطقه کوه زر طیف وسیعی از کانه‌ها از قبیل پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت، و لیمونیت را در بر می‌گیرند. سیستم رگه‌ها دارای ترکیب کوارتز، کوارتز- اکسیدهای آهن و کوارتز- فلدسپات هستند. الگوی ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب رگه‌های مختلف مشابه یکدیگر بوده و از منشاء واحد آن‌ها حکایت می‌کند. عناصر Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, Sb, و S در رگه‌ها دارای غلظتی بیش از مقدار آن‌ها در پوسته قاره ای بالایی هستند، و رگه‌های کوارتز تمرکز اقتصادی از طلا در حدود ۸۰۰ میلی‌گرم در تن دارند.

برای مطالعه توزیع اندازه ذرات و ارتباط آن با تمرکز فلزات تعداد ۶ ایستگاه نمونه‌برداری برای برداشت نمونه‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای و کانی سنگین بر اساس معیارهای سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، تکتونیکی و حوضه‌های آبریز انتخاب گردید. نمونه‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای به ۵ محدوده قطری (۲-۰/۴۲۵، ۰/۴۲۵-۰/۱۸۰، ۰/۱۸۰-۰/۱۲۵، ۰/۱۸۰-۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵-۰/۰۶۳، و ۰/۰۶۳ < میلی‌متر)

دانه‌بندی شد. هر بخش برای طلا بوسیله اسپکترومتری جذب اتمی سیستم کوره گرافیتی (FAAS) و ۳۴ عنصر بوسیله اسپکترومتری پلاسمای جفت شده القایی نشر نوری (ICP-OES) تجزیه گردید. مطالعه توزیع اندازه ذرات نشان می‌دهد که ذرات با اندازه‌های ۰/۴۲۵ تا ۲ و ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین درصد وزنی رسوبات آبراهه‌ای را تشکیل می‌دهند. بررسی داده‌های ژئوشیمیایی ثابت می‌کند که عنصر Au، Ag، As، Cu، Pb، Sb، Mo، و S در فاصله حدود ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از کانسنگ‌های منشاء غنی‌شدگی قابل‌ملاحظه‌ای دارند. مقادیر غلظت عناصر مذکور در مش‌های ۰/۴۲۵ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر بیشتر از سایر مش‌ها است.

بر اساس مطالعه کانی‌های سنگین، اغلب دانه‌های طلا در آبرفت‌های کوه زر به شکل‌های لامپی و فیلم، از منظر گردشگری زاویه‌دار (Angular) تا نیمه‌زاویه‌دار (Sub-angular) و به لحاظ کرویت قرص‌مانند (Discoidal) تا نیمه‌قرص‌مانند (Sub-discoidal) هستند. اندازه دانه‌های طلا از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر تغییر می‌کند و بیشتر ذرات در دامنه قطری از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر قرار دارند. مرفولوژی و ابعاد ذرات طلای در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر نشان می‌دهد که این ذرات مسافت زیادی را از سنگ منشاء خود طی نکرده‌اند. نمونه‌هایی که محتوی تعداد قابل توجهی ذرات طلای آزاد هستند، در فاصله حدود ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متری رگه‌های سیلیسی طلادار برداشت شده‌اند. طلا تنها کانه اقتصادی آبرفت‌های کوه زر است که همراه با کانی‌های سنگین مهم از قبیل پیریت، گالن، کالکوپیریت، کالکوسیت، رء‌آلگار، اورپیمنت، ولفنیت، میمتیت، سینابر، سروسیت، پیرومورفیت، وانادینیت، سرب خالص، مالاکیت، بروشانیت، جاروسیت، و اکسیدهای آهن است.

انطباق بسیار خوبی میان نتایج مطالعات کانی سنگین و ژئوشیمیایی مشاهده می‌شود، و تکنیک کانی سنگین همانند ژئوشیمیایی مش ۰/۴۲۵ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر رسوبات آبراهه‌ای را برای اکتشاف طلا و عناصر همراه در محدوده کوه زر پیشنهاد می‌نماید.

کلمات کلیدی: رسوب آبراهه‌ای، اندازه ذرات، اکتشاف ژئوشیمیایی، مس-طلای کوه زر، دامغان.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ت.....	تشکر و قدردانی.....
ح.....	لیست مقالات مستخرج از این پایان نامه.....
خ.....	چکیده.....
ذ.....	فهرست مطالب
ش.....	فهرست شکل ها
ط.....	فهرست جدول ها.....
ظ.....	پیوست.....

فصل اول: کلیات

۲.....	۱-۱- مقدمه.....
۳.....	۱-۲- ژئوشیمی.....
۴.....	۱-۳- موقعیت جغرافیایی و راه های ارتباطی منطقه.....
۵.....	۱-۴- آب و هوا و پوشش گیاهی.....
۶.....	۱-۵- پیشینه مطالعات منطقه.....
۱۱.....	۱-۶- ضرورت تحقیق.....
۱۲.....	۱-۷- ساختار پژوهش
۱۳.....	۱-۸- ساختار پایان نامه.....
۱۴.....	۱-۹- معرفی علائم اختصاری

فصل دوم: زمین شناسی

۱۶.....	۲-۱- مقدمه
۱۷.....	۲-۲- زمین شناسی ناحیه ای.....
۱۸.....	۲-۲-۱- چینه شناسی ناحیه ای.....
۱۸.....	۲-۲-۲- ۱-۱-۲- پرکامبرین.....

۱۹	۲-۱-۲-۲- پالئوزوئیک
۲۰	۳-۱-۲-۲- مزوزوئیک
۲۲	۴-۱-۲-۲- سنوزوئیک
۲۶	۲-۲-۲- توده‌های نفوذی
۲۶	۳-۲-۲- مجموعه‌های دگرگونی
۲۸	۴-۲-۲- تکتونیک ترود-چاه‌شیرین
۳۴	۵-۲-۲- زمین‌شناسی اقتصادی ترود-چاه‌شیرین
۳۸	۳-۲-۲- زمین‌شناسی منطقه‌ای
۴۰	۱-۳-۲- سنگ‌های آتشفشانی
۴۴	۲-۳-۲- توده‌های نفوذی
۴۸	۳-۳-۲- رگه‌های سیلیسی
۵۱	۴-۳-۲- ژئوشیمی رگه‌های سیلیسی
۵۵	۵-۳-۲- دگرسانی
۵۶	۱-۵-۳-۲- دگرسانی سربستی و آرژلیک
۵۷	۲-۵-۳-۲- دگرسانی گرایزی
۵۸	۳-۵-۳-۲- دگرسانی سیلیسی
۵۹	۴-۵-۳-۲- دگرسانی پروپلیتیک
۶۰	۵-۵-۳-۲- دگرسانی کلریتی
۶۱	۶-۳-۲- کانه‌نگاری

فصل سوم: مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌سنگین

۶۶	۱-۳- مقدمه
۶۸	۱-۲-۳- هوازدگی
۶۹	۲-۲-۳- فرایند انحلال و تشکیل هاله‌های ژئوشیمیایی
۷۲	۳-۲-۳- پایداری کانی‌ها
۷۴	۳-۳- مطالعات توجیهی اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای

- ۴-۳- برداشت، تجزیه و مطالعه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای.....۷۶
- ۵-۳- مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای در محدوده کوه زر.....۷۸
- ۱-۵-۳- مقدمه۷۸
- ۲-۵-۳- برداشت نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای.....۸۱
- ۳-۵-۳- آماده سازی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای.....۸۲
- ۴-۵-۳- تجزیه شیمیایی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای.....۸۴
- ۱-۴-۵-۳- حد حساسیت دستگاه‌ها.....۸۷
- ۵-۵-۳- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی.....۸۹
- ۱-۵-۵-۳- برآورد مقادیر سنسورد.....۸۹
- ۲-۵-۵-۳- توزیع اندازه ذرات.....۹۰
- ۳-۵-۵-۳- تحلیل آماری تک متغیره داده‌های ژئوشیمیایی.....۹۲
- ۴-۵-۵-۳- بررسی آماری دو متغیره (محاسبه ضرایب همبستگی).....۱۰۵
- ۵-۵-۵-۳- تجزیه تحلیل مولفه‌های اصلی (تحلیل عاملی).....۱۰۷
- ۶-۳- مطالعه کانی‌های سنگین۱۱۴
- ۱-۶-۳- مقدمه.....۱۱۴
- ۲-۶-۳- نمونه‌برداری کانی سنگین.....۱۱۵
- ۳-۶-۳- آماده‌سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین.....۱۱۶
- ۱-۳-۶-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها.....۱۱۶
- ۲-۳-۶-۳- مطالعه نمونه‌های کانی سنگین.....۱۱۹
- ۴-۶-۳- پردازش داده‌های کانی سنگین۱۲۱
- ۱-۴-۶-۳- توزیع و انتشار کانی‌های سنگین در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر.....۱۲۱
- ۲-۴-۶-۳- کانه طلا.....۱۲۵
- ۳-۴-۶-۳- بررسی توزیع کانه طلا در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر.....۱۲۷

فصل چهارم : بحث و نتیجه گیری

- ۱-۴- مقدمه..... ۱۳۳
- ۲-۴- زمین شناسی محدوده کوه زر..... ۱۳۴
- ۳-۴- توزیع اندازه ذرات..... ۱۳۵
- ۴-۴- ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای..... ۱۳۵
- ۵-۴- مطالعه کانی‌های سنگین..... ۱۴۲
- ۶-۴- تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌های سنگین..... ۱۴۳
- ۷-۴- نتیجه‌گیری..... ۱۴۵
- ۸-۴- پیشنهادها..... ۱۴۷
- منابع فارسی..... ۱۴۸
- منابع لاتین..... ۱۵۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- نقشه موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه (اقتباس از اطلس راه‌های کشور)..... ۵
- شکل ۱-۲- نمایی از پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی..... ۶
- شکل ۱-۲- گسترش کمربندهای آتشفشانی- نفوذی عمده ایران و موقعیت تروود- چاه ۱۶
- شکل ۲-۲- الف) نقشه ساختاری منطقه تروود (خادمی و شهریار، ۱۳۸۶)، و ب) گسل‌های فعال منطقه تروود (مرکز زلزله‌نگاری کشور، حسامی و همکاران، ۱۳۸۲)..... ۳۳
- شکل ۲-۳- نقشه گسل‌های اصلی انجیلو و تروود و چگونگی ایجاد چین‌های مارپیچی ۳۴
- شکل ۲-۴- نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده کمر بند تروود - چاه شیرین (بر اساس هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)..... ۳۵
- شکل ۲-۵- نقشه زمین‌شناسی بازنگری شده حوضه آبریز پازو منطقه کوه..... ۴۰
- شکل ۲-۶- الف) تصویر نمونه دستی واحد آندزیتی، و ب) تصویر میکروسکوپی از نمونه آندزیت دگرسان شده (T2) که بافت پورفیری و زمینه میکروکریستالین دارد..... ۴۲
- شکل ۲-۷- الف) نمونه دستی تراکی آندزیت که بافت پورفیری به‌وضوح مشاهده می‌شود، ب) تصور میکروسکوپی تراکی آندزیت که در آن دگرسانی فلدسپارها، پیروکسن و هورنبلند مشهود است. این سنگ دارای بافت پورفیری با زمینه میکروولیتی است..... ۴۲
- شکل ۲-۸- الف) تصویر نمونه دستی از بازالت به رنگ خاکستری تیره و بافت پورفیری، و ب) تصویر میکروسکوپی از بازالت با بافت پورفیریتیک که در آن بلورهای درشت پلاژیوکلاز، اولیوین و پیروکسن در زمینه ای از پلاژیوکلازهای و کانی‌های مافیک ریز دانه قرار گرفته اند. ۴۳
- شکل ۲-۹- الف) نمونه دستی از سنگ گرانودیوریت، ب) تصویر میکروسکوپی از گرانودیوریت که سریسیتی، کلریتی و اپیدوتی شدن نمایان است، و پ) رخنمون گرانودیوریت ۴۵
- شکل ۲-۱۰- الف) تصویر نمونه دستی از سنگ گرانودیوریت، ب) تصویر میکروسکوپی گرانودیوریت پ) تصویر صحرایی از توده گرانودیوریت..... ۴۶
- شکل ۲-۱۱- الف و ب) تصاویر میکروسکوپی در حالت‌های xpl و ppl که در آن کانی‌های حاصل از دگرسانی از قبیل تورمالین، سریسیت، کانی‌های رسی و کوارتز و درشت بلورهای اولیه فلدسپار پتاسیم‌دار مشاهده می‌شوند، و پ) تصویر نمونه دستی گرانودیوریت تورمالین‌دار..... ۴۷
- شکل ۲-۱۲- الف) نمونه دستی سنگ مونزودیوریتی، ب) تصویر میکروسکوپی از سنگ مونزودیوریتی با بافت گرانولار که در قسمت‌هایی پلاژیوکلاز به سریسیت دگرسان شده اند. پ) تصویر صحرایی از توده مونزودیوریتی..... ۴۸
- شکل ۲-۱۳- برونزد رگه سیلیسی در سنگ میزبان تراکی آندزیتی..... ۴۹
- شکل ۲-۱۴- نمایی از رگه‌های سیلیسی - اکسید آهنی ۵۰

- شکل ۲-۱۵- نمایی از تصویر رگه سیلیسی - فلدسپاتی..... ۵۱
- شکل ۲-۱۶- مراحل خردایش و نرمایش نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی..... ۵۲
- شکل ۲-۱۷- نمودار غلظت عناصر در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی با داده خام..... ۵۴
- شکل ۲-۱۸- نمودار نرمالایز شده غلظت عناصر در ۳ نمونه سنگ ژئوشیمیایی نسبت به غلظت در پوسته قاره‌ای..... ۵۴
- شکل ۲-۱۹- الف، ب، پ) تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های سریسیتی و آرژیلیتی. بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت دگرسان شده به همراه کانی‌های ثانویه سریسیت، کانی‌های تیره و اکسیدهای آهن، و ت) تصویر صحرای از دگرسانی آرژیلیتی..... ۵۷
- شکل ۲-۲۰- الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از جانشینی بخش سریسیت‌های زمینه به تورمالین بوته‌ای شکل و پراکنده در نمونه T4..... ۵۸
- شکل ۲-۲۱- تصویری از رگه‌های سیلیسی به همراه اکسیدهای آهن در نمونه T4..... ۵۹
- شکل ۲-۲۲- دگرسانی پروپیلک با حضور اپیدوت و کلریت در سنگ به شدت دگرسان شده‌ی گرانودیوریتی T4..... ۶۰
- شکل ۲-۲۳- دگرسانی کانی‌های مافیک به کلریت، سریسیت، اپیدوت و کانی‌های تیره در نمونه T5..... ۶۰
- شکل ۲-۲۴- تصاویر میکروسکوپی الف) پیریت بصورت پراکنده در سنگ، ب) پیریت پرکننده فضای خالی رگچه‌ها. پ) گوتیت، پیریت، کالکوپیریت، که کالکوپیریت از حاشیه در حال تبدیل به کالکوسیت و کوولیت می‌باشد، ت) مالاکیت بصورت پرکننده فضای خالی با حاشیه‌ای از هیدرواکسیدهای آهن، ث) نمونه‌های دستی آזורیت و کریزوکولا، و ج) تصویر پرشدگی فضای درزها توسط کوارتز و پیریت..... ۶۴
- شکل ۳-۱- نقشه آبراهه‌ای با اقتباس از نقشه هوایی کوه‌زر..... ۸۱
- شکل ۳-۲- تصویر شماتیک تجزیه‌سرندی به وسیله شیکر..... ۸۳
- شکل ۳-۳- نمودار جریان‌ی تجزیه‌سرندی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای و انتخاب نمونه معرف هر جزء برای تجزیه شیمیایی..... ۸۴
- شکل ۳-۴- مراحل آماده‌سازی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای برای عیارسنجی طلا در تکنیک غال‌گذاری..... ۸۶
- شکل ۳-۵- درصد وزنی هر جزء مش در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر: الف) نمودار دایره‌ای و ب) نمودار ستونی..... ۹۲
- شکل ۳-۶- نمودار خطی توزیع عناصر در جزء مش‌های مختلف نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر..... ۹۵
- شکل ۳-۷- نمودار به‌هنجار شده به ترکیب پوسته قاره‌ای بالای غلظت عناصر مختلف در جزء مش‌های مختلف رسوب در هر ایستگاه نمونه‌برداری..... ۱۰۰

- شکل ۳-۸ - نمودار به‌هنجار شده به ترکیب پوسته قاره‌ای بالای غلظت ۸ عنصر کانسارساز در جزء مش‌های مختلف رسوب در هر ایستگاه نمونه‌برداری..... ۱۰۰
- شکل ۳-۹ - نمودار ستونی توزیع عناصر Ag, Au, As, Cu, Pb, Sb, Mo و S در جزء مش‌های مختلف ۶ نمونه رسوب آبراهه‌ای..... ۱۰۴
- شکل ۳-۱۰ - نمودار صخره‌ای برای جداسازی عامل‌های اصلی و معتبر در تجزیه عاملی داده‌های ژئوشیمیایی..... ۱۰۹
- شکل ۳-۱۱ - شکل سه بعدی از بستگی میان عامل‌های یک، دو و سه بر پایه مقادیر مولفه‌های چرخش یافته..... ۱۱۳
- شکل ۳-۱۲ - نمونه‌برداری و سرند نمونه‌های کانی سنگین با استفاده از الک ۱۰ مش در صحرا..... ۱۱۶
- شکل ۳-۱۳ - مراحل چندگانه گل‌شویی و لاک‌شویی نمونه‌های کانی سنگین..... ۱۱۷
- شکل ۳-۱۴ - جداسازی بخش‌های سبک و سنگین نمونه‌های کانی سنگین با استفاده از مایع سنگین (بروموفرم)..... ۱۱۸
- شکل ۳-۱۵ - جدایش مغناطیسی بخش سنگین نمونه‌ها با استفاده از آهنرباهای ویژه ۱۱۹
- شکل ۳-۱۶ - نمودار جریان‌ی آماده‌سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین محدوده کوه‌زر..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۷ - تصاویر پاره‌ای از کانی‌های سنگین مشاهده شده در رسوبات آبراهه کوه زر..... ۱۲۴
- شکل ۳-۱۸ - مقایسه پاره‌ای از کانی‌های سنگین مهم در ایستگاه‌های نمونه برداری محدوده کوه زر..... ۱۲۵
- شکل ۳-۱۹ - (a) نمودار پراکندگی ذرات طلا در ۶ ایستگاه نمونه برداری کانی سنگین، (b) مقایسه تعداد ذرات طلا در اندازه‌های مختلف..... ۱۳۰
- شکل ۳-۲۰ - بررسی طلای موجود در نمونه‌های کانی سنگین کوه زر از نظر گردشگری و کرویت..... ۱۳۰
- شکل ۳-۲۱ - تصاویر طلای موجود در نمونه‌های شماره‌های ۴ و ۵ کانی سنگین کوه زر..... ۱۳۰
- شکل ۳-۲۲ - (a) شکل‌های معمول و میزان گردشگری ذرات طلای آزاد در رسوبات آبراهه‌ای، و (b) اشکال معمول میزان گردشگری و کرویت ذرات طلای آزاد در رسوبات آبراهه‌ای..... ۱۳۱
- شکل ۴-۱ - مقایسه مقادیر غلظت برخی از عناصر در جزء مش‌های درشت (۲۰/۴۲۵ میلی‌متر) و ریز دانه (۰/۰۶۳ < میلی‌متر) رسوبات آبراهه‌ای: (a) مقادیر غلظت Al, Fe, K, Na در جزئی مش درشت بیشتر از ریز است، (b) مقادیر غلظت Ni, Cr, Zr, Ti و در جزئی مش ریز بیشتر از درشت است..... ۱۳۷
- شکل ۴-۲ - الگوی ژئوشیمیایی به‌هنجار شده میانگین غلظت عناصر در هر جزء مش از رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (Taylor and McLennan, 1995)..... ۱۳۸
- شکل ۴-۳ - تغییرات مقادیر غلظت عناصر در جزئی مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای در ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده کوه زر: (a) طلا، (b) مولیبدنوم، (c) نقره، (d) سرب، (e) آرسنیک، (f) آنتیموان، (g) مس، و (h) گوگرد..... ۱۴۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲- مقادیر غلظت عناصر مختلف در ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی از رگه‌های سیلیسی محدوده کوه زر..... ۵۲
- جدول ۱-۳- تمرکز عناصر در واحدهای زمین شناسی و سنگ شناسی گوناگون (یزدی، ۱۳۸۱)..... ۷۱
- جدول ۲-۳- طبقه بندی تعدادی از کانی‌ها بر اساس وزن مخصوص..... ۷۴
- جدول ۳-۳- مختصات جغرافیایی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برداشت شده از محدوده کوه زر..... ۸۰
- جدول ۳-۴- مقادیر غلظت عناصر (گرم در تن) در جزء مش‌های مختلف نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر (طلا بر حسب میلی‌گرم در تن)..... ۸۷
- جدول ۳-۵- حد حساسیت ICP-OES و غال‌گذاری برای تجزیه عناصر در نمونه‌های رسوب آبره‌ای کوه زر..... ۸۸
- جدول ۳-۶- طبقه‌بندی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر برحسب اندازه و درصد وزنی ذرات..... ۹۱
- جدول ۳-۷- پارامترهای آماری مقادیر غلظت عناصر در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر..... ۹۳
- جدول ۳-۸- ماتریس ضرایب همبستگی عناصر در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به روش پیرسون بر پایه لگاریتم داده‌های خام ۱۰۶
- جدول ۳-۹- مقدار KMO برای ارزیابی اعتبار تجزیه عاملی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای کوه زر..... ۱۰۸
- جدول ۳-۱۰- میزان مشارکت عناصر در تحلیل عاملی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای کوه زر..... ۱۰۹
- جدول ۳-۱۱- مقادیر ویژه درصد واریانس، درصد تجمعی واریانس و واریانس کل در تحلیل عاملی داده‌ها..... ۱۱۰
- جدول ۳-۱۲- مقادیر عاملی خام و چرخش یافته بر پایه تحلیل مولفه‌های اصلی در محدوده کوه زر..... ۱۱۱
- جدول ۳-۱۳- مقدار گرم در تن کانی‌های سنگین در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر..... ۱۲۲
- جدول ۳-۱۴- تعداد ذرات طلای موجود در جزء مش‌های مختلف ۶ نمونه کانی سنگین کوه زر..... ۱۲۹

پیوست

- جدول پیوست ۱- غلظت متوسط (گرم در تن) برخی عناصر در پوسته قاره‌ای بالایی..... ۱۵۸

جدول پیوست ۲- مشخصات نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه.....۱۵۹

جدول پیوست ۳- نتایج داده‌های خام مطالعه نمونه‌های کانی سنگین.....۱۶۰

فصل اول

کلیات

ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای می‌تواند به جهت اکتشاف نواحی مستعد و پتانسیل‌های کانساری استفاده گردد. تلفیق یافته‌های ژئوشیمیایی با اطلاعات پایه‌ای زمین‌شناسی، زمین‌ساختاری، ژئوفیزیکی و ماهواره‌ای در انتخاب مناطق امیدبخش برای مراحل بعدی اکتشاف بسیار مفید می‌باشد. پیش فرض بنیادی در مطالعات ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای این است که رسوبات آبراهه‌ای معرف سنگ‌ها در محیط بالادست محل نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای هستند. با مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای از منظر غنی‌شدگی عناصر و اندازه دانه‌ها زمینه بسیار خوبی برای تشخیص فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی و معدنی و تفسیرهای ژئوشیمیایی فراهم می‌شود (Grunsky et al., 2009). مطالعه ژئوشیمی جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای نشان می‌دهد که میان غلظت برخی از عناصر با اندازه ذرات رسوب بستگی شدیدی وجود دارد (Horowitz and Elrick 1987; Moore and Brook 1989; Stone and Droppo 1996; Singh and Hasnain 1999). کانی‌شناسی، اندازه ذرات و ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای انعکاسی از ترکیب سنگ‌های منشاء، هوازگی مکانیکی و شیمیایی، ویژگی‌های مرفولوژیکی و هیدرولوژی حوضه، جورشدگی، آب و هوا و چندین عامل مهم دیگر می‌باشد (Pratt and Lottermoser 2007; Grunsky et al. 2009; Ranasinghe et al. 2009; Singh 2010; Pietron

محدوده اکتشافی کوه زر بخشی از کمربند تروود-چاه شیرین است که درحاشیه شمالی کویر بزرگ یا کویر نمک واقع شده است. ارتفاعات این منطقه به طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن و سنگ‌های نفوذی متعدد ائوسن پایانی-اولیگوسن تشکیل یافته است، و به‌دلیل کانی‌سازی عناصر فلزی و غیرفلزی از دیرباز مورد توجه بسیاری از معدن‌کاران بوده است که این نیز خود یکی از دلایل اهمیت بالای این منطقه و انتخاب آن جهت هدف پژوهش است.

مطالعه‌ی اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای در کمر بند ترود چاه شیرین از اهمیت اکتشافی بالایی برخوردار می‌باشد، برای اینکه تعیین اندازه مش مناسب و بهینه‌ی رسوبات آبراهه‌ای در اکتشافات ژئوشیمیایی آتی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ حائز اهمیت است. نتایج این بررسی‌ها علاوه بر تعیین مش مناسب رسوب آبراهه‌ای در طراحی تعداد نمونه‌ها در واحد سطح نیز مفید خواهد بود. محور ترود- چاه شیرین از نظر کانسارهای پلاستی نیز مورد توجه می‌باشد که پلاستر طلا دار کوه زر از آن جمله می‌باشد. مطالعه دانه‌بندی رسوبات و بررسی ژئوشیمی هر بخش از دانه‌بندی‌ها اطلاعات سودمندی درباره‌ی اندازه ذرات طلای آزاد در آبرفت‌ها در دسترس قرار می‌دهد، که برای اکتشاف آبرفت‌های طلا دار و نیز مطالعه فرآوری طلا از آبرفت‌ها ارزشمند خواهد بود. از آنجایی که محدوده مس-طلای کوه زر در ناحیه ترود-چاه شیرین از نظر عناصر کانسار ساز مورد توجه است، در پژوهش حاضر به بررسی رسوبات آبراهه‌ای از دیدگاه ژئوشیمیایی و کانی‌های سنگین، مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگای سنگ‌ها و کانسنگ‌های بالادست و لیتوژئوشیمی رگه‌های سیلیسی طلا دار پرداخته شده است، که در ادامه با جزئیات بیشتر توصیف گردیده است.

۱-۲- ژئوشیمی

علم ژئوشیمی با شیمی کل زمین، اجزای تشکیل‌دهنده آن، توزیع، مهاجرت و تمرکز عناصر شیمیایی در ابعاد زمانی و مکانی سروکار دارد. در یک تعریف ساده‌تر، ژئوشیمی عبارت است از مطالعه توزیع و مقدار فراوانی عناصر موجود در سطح زمین می‌باشد. بر مبنای نظر کلارک (1924) هر سنگ را می‌توان یک سیستم شیمیایی به حساب آورد که تغییرات شیمیایی در آن به وسیله عوامل مختلف صورت می‌پذیرد. از نظر زمین‌شناسی، پوسته‌ی جامد زمین موضوع اصلی این مطالعه می‌باشد. واکنش‌هایی که در پوسته رخ می‌دهد شامل موردهای زیر است: (۱) واکنش‌هایی که بین اجزای اصلی خود زمین صورت می‌گیرد، (۲) واکنش‌هایی که ناشی از اثر سیالات گرمایی بر روی سنگ‌ها هستند، و (۳) واکنش‌هایی که در نتیجه اثر عوامل جوی بر سنگ‌های پوسته صورت می‌گیرد. ترکیب میانگین پوسته

اساساً همان ترکیب سنگ‌های آذرین است، زیرا مقدار کل سنگ‌های رسوبی و دگرگونی پوخته در مقایسه با سنگ‌های آذرین آن ناچیز است (مر و شرفی، ۱۳۹۰). داده‌های مربوط به میانگین فراوانی عناصر در پوخته زمین (Taylor & McLennan, 1995) در جدول (۱) پیوست آمده است. اعداد ارائه شده در این جدول غلظت‌های قابل اعتمادی را برای بیشتر این عناصر فراهم آورده است و بنابراین این امکان را به وجود می‌آورد که غنی‌شدگی یا فقیرشدگی غیرعادی در سنگ‌ها و رسوبات تشخیص داده شود. اگرچه داده‌های بسیاری در مورد فراوانی و توزیع عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های آذرین و تا حد کمتری در مورد سنگ‌های رسوبی در دسترس می‌باشد، اما این گونه داده‌ها در مورد سنگ‌های دگرگونی و رسوبات ناچیز است (مر و شرفی، ۱۳۹۰).

۱-۳- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه

محدوده کانسار مس-طلای کوه زر، در زیرپهنه ترود-چاه شیرین و در فاصله ۴۰۰ کیلومتری تهران و ۹۵ کیلومتری جنوب دامغان واقع شده است. این محدوده با مختصات طول‌های جغرافیایی $54^{\circ}33'$ تا $54^{\circ}42'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}24'$ تا $35^{\circ}29'$ شمالی، در چهارگوش $1/100000$ معلمان و چهارگوش $1/250000$ ترود و در رشته کوه‌های ترود-چاه شیرین قرار دارد. آبادی باغو در بخش کوهپایه‌ای و دامنه شمالی رشته کوه است و همچنین روستای کوه زر که دارای بیشترین جمعیت انسانی نزدیک به محدوده مورد پژوهش است در فاصله ۷ کیلومتری باغو واقع شده است.

منطقه مورد مطالعه در مجاورت شرق سمنان، جنوب شهرستان دامغان و جنوب غربی شاهرود واقع شده است (شکل ۱-۱) که از سمت دامغان، از طریق جاده آسفالتی دامغان-معلمان قابل دسترسی می‌باشد. ابتدای این مسیر تا حدود ۹۰ کیلومتر، جاده آسفالت است این مسیر به روستای کوه زر می‌رسد و در ادامه به سوی رشم و سرکویر ادامه دارد. روستای کوه زر با راه فرعی به کانسار باغو مرتبط بوده و مسیرخاکی دیگری هم قبل روستای کوه زر، به سمت معدن کوه زر ادامه دارد، همچنین این منطقه از طریق جاده معلمان-ترود نیز قابل دسترسی است.



شکل ۱-۱- نقشه موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه (اقتباس از اطلس راه‌های کشور، ۱۳۸۹)

۴-۱- آب و هوا و پوشش گیاهی

استان سمنان به دلیل همجواری با کویر مرکزی ایران و دامنه جنوبی البرز دارای آب و هوای متنوعی است. ناحیه مورد مطالعه بخشی از استان سمنان را در بر گرفته و با حدود ۴۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا، از پست‌ترین نقاط فلات داخلی ایران محسوب می‌شود. این ناحیه با داشتن تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌های سرد، از لحاظ دسته بندی اقلیمی در گروه گرم و خشک بیابانی و نیمه بیابانی قرار می‌گیرد. منطقه تحت تأثیر دو نوع آب و هوای کوهستانی و کویری است و معمولاً بادهای غربی، مرطوب و باران‌زا بوده و بادهای کویری، خشک و گرم می‌باشد و به دلیل کمبود بارندگی و زمین‌های نامناسب کشاورزی، طوفان‌های شن ساکنین کمی دارد. بیشینه بارندگی سالیانه در این منطقه ۲۰۰ میلی‌متر است که میانگین آن از ۱۴۷ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند و اغلب این میزان بارندگی کوتاه مدت و بصورت پراکنده و تند و بصورت سیلابی می‌باشد که برای زمین‌های کشاورزی سودی ندارد. پوشش گیاهی این ناحیه را بیشتر از نوع پوشش مناطق کویری شامل بوته، درختچه و تک درختان پراکنده تشکیل می‌دهند (امام جمعه، ۱۳۸۵).



شکل ۱-۲- نمایی از پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی

۱-۵- پیشینه مطالعات منطقه

در کانسار طلای کوه زر، وجود آثار پراکنده‌ای از انباشت سرباره‌های ذوب و همچنین آثار باز مانده‌ی زرشویی قدیمی حاکی از قدمت معدنکاری منطقه است. در محور ترود چاه شیرین و بویژه محدوده کوه زر و باغو مطالعات زمین‌شناسی، اکتشافی و تحقیقات پژوهشی فراوانی انجام شده است، در اینجا به اهم آن‌ها که در ارتباط با موضوع پژوهش می‌باشد، پرداخته شده است:

- احمدی شاد (۱۳۷۶)، کانی‌شناسی، آلتراسیون و مطالعات لیتوژئوشیمیایی طلای منطقه باغو (کوه زر دامغان) را انجام داده است. نتایج این مطالعات گویای آن است که دگرسانی‌های آرژیلیتی، سیلیسی، پتاسیک، سرسیتی و پروپیلیتی در ناحیه اکتشافی موثر بوده و در ارتباط با کانی‌سازی می‌باشند. دگرسانی تورمالینی و پیریتی به صورت محلی نیز وجود دارد. با توجه به مشخصات زمین‌شناسی، محیط پیدایش و وضعیت کانسار، کانسار طلای باغو یک کانسار نوع مس - طلای پرفیری در نظر گرفته است.

- اشتوکلین^۱ (۱۹۵۶) و هوبر^۲ (۱۹۵۷) از شرکت ملی نفت ایران، زمین‌شناسی منطقه ترود - معلمان را به تصویر کشیدند که توسط علوی (۱۳۷۰) مورد تجدید نظر قرار گرفت.

1. Stocklin
2. Huber

- اشراقی و جلالی (۱۳۸۵)، ضمن تهیه نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان، در محدوده کوه زر توالی آتشفشانی-رسوبی با ترکیب توف، توفیت، ماسه سنگ توفی، مارن، تراکی آندزیتی، تراکی بازالتی و کمی آندزیت-داسیت به سن ائوسن و سنگ‌های نفوذی با ترکیب ریو-داسیتی، دیوریتی و گاهاً گرانودیوریت و آثار معدنکاری شدادی و رگه‌های سیلیسی مس-طلا و فیروزه گزارش کردند.

- آصفی و تقی زاده (۱۳۴۷) پلاسر طلادار و کانه‌زایی مس و فیروزه شمال باغو را مورد بررسی قرار دادند.

- آقاجانی (۱۳۷۵)، در رساله کارشناسی ارشد خود به مطالعه اکتشاف ژئوشیمیایی کانسار طلای کوه زر دامغان پرداخته است. ایشان با توجه به شواهد زمین‌شناسی، نوع سنگ‌های دربرگیرنده کانسار و همچنین دگرسانی‌های موجود در منطقه، نواحی امید بخشی را برای عناصر طلا، مس، نقره، مولیبدن، و آرسنیک معرفی کرد.

- تاج‌الدین (۱۳۷۸) به بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز آثار معدنی طلای دارستان (جنوب دامغان) پرداخته است که به ارتباط کانی‌سازی طلا و مس با سیالات سیلیسی تاخیری مرتبط با نفوذی‌های نیمه عمیق در محدوده پی برد.

- تقی‌پور و مکی‌زاده (۱۳۹۴)، منشاء تورمالین و فیروزه را در سنگ‌های دگرسان یافته کوه زر بررسی کردند و پیدایش آن‌ها را سیالات گرمابی مرتبط با توده‌های نفوذی می‌دانند.

- جعفریان (۱۳۶۸)، سنگ‌های آتشفشانی منطقه را عمدتاً آندزیتی و توده‌های نفوذی را از نوع گرانودیوریت I معرفی کرده‌اند و جایگاه فعالیت‌های ماگمایی منطقه را کمان آتشفشانی قاره‌ای می‌دانند.

- حسن زاده و همکاران (۱۳۸۱)، سنگ‌های آذرین منطقه ترود - چاه شیرین را بخشی از کمان ماگمایی آذربایجان - البرز دانسته‌اند.

- حلم‌هاکر^۱ (۱۸۹۸) و هن‌میک^۲ (۱۸۹۹) اولین محققانی بودند که به هدف پی‌جویی طلا این منطقه را مورد مطالعه قرار دادند.

- خادمی (۱۳۶۸)، ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی منطقه ترود را مورد بررسی قرار داده است و تکوین ژئودینامیک منطقه ترود را یک سیمای ساختاری اصلی، یعنی گسل امتداد لغز ترود با روند شمال شرق - جنوب غرب، عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری این منطقه می‌داند.

- دمشقیه (۱۳۱۰) پس از بازدید از کوه زر گزارشی را با محتوی بررسی آبرفت طلا دار منطقه برای شرکت اکتشاف و بهره برداری طلا در محدوده کوه زر نوشته است.

- دیچل^۳ (۱۹۴۴) درباره ذخایر طلا، عیار آن و خاستگاه آن مطالعاتی انجام داده است. وی به این نتیجه رسید که پیدایش طلا با رگه‌های سیلیسی موجود در منطقه و توده‌های گرانیتی شرق کوه زر مرتبط است.

- ذوالفقاری (۱۳۷۷)، در رساله کارشناسی خود به بررسی پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در محدوده معلمان پرداخته است. بر پایه تحقیق ایشان، سنگ‌های آتشفشانی این منطقه از نوع آلکان و کالکوآلکان بیشتر با گرایش پتاسیک است.

- رشید نژاد عمران و تاج الدین (۱۳۷۶) پاراژنز، آلتراسیون و چگونگی گسترش کانه‌زایی طلا در رگه‌های سیلیسی سولفیددار سنگ‌های ولکانو - پیروکلاستیک ائوسن میانی در جنوب دامغان (بخشی از کمربند ترود - چاه شیرین) را مورد بررسی قرار دادند.

1. Helm Hacker

2. Hen Macke

3. Dichal

- زیگلر^۱ و همکاران (1971) احتمال وجود مس پرفیری را در منطقه کوه‌زر مورد ارزیابی قرار دادند. مساله مس پورفیری پیش از این بوسیله موحد اول (۱۳۴۷) نیز در منطقه کوه‌زر مطرح شده بود.
- سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۸۴)، گزارش و نقشه ژئوشیمیایی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان را ارائه کردند، که در محدوده کوه زر ناهنجاری درجه یک مس، طلا، نقره، سرب ثبت گردیده است.
- شرکت طلای ایران (۱۳۷۶)، برای محدوده اکتشافی طلای باغو نقشه‌های زمین شناسی-معدنی در مقیاس های ۱/۲۰۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰ تهیه کرده است.
- شمعیان (۱۳۸۱) ضمن مطالعه ژنز کانسارهای طلای گندی و ابوالحسنی (شمال معلمان) سنگ-های نیمه عمیق را به کمان ماگمایی درون قاره‌ای نسبت داده و معتقد است که این کمان هم زمان با فرورانش پوسته اقیانوسی تیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی پدید آمده است. وی بالا بودن نسبت LILE/HFSE در سنگ‌های آذرین منطقه را به عنوان یک ویژگی بارز سنگ‌های وابسته به محیط‌های فرورانش معرفی نموده است.
- علوی و همکاران (۱۳۵۷)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود را تهیه کردند، که در محدوده کوه زر برش ولکانیکی با ترکیب داسیتی به سن ائوسن میانی، توده نفوذی دیوریتی به سن اولیگوسن و اثرات معدنی مس و فیروزه گزارش کرده‌اند.
- قربانی (۱۳۸۴)، به مطالعه پترولوژی سنگ‌های ماگمایی جنوب دامغان پرداخته است. ایشان همچنین متذکر شده‌اند که ماگماتیسیم منطقه در جنوب ترود بازیک‌تر و در شمال آن اسیدی‌تر بوده و یک منشا درون قاره‌ای برا آن قائل است. او معتقد است که ماهیت کالکوالکالن سنگ‌های شمال گسل ترود حاصل اختلاط ماگمای آلکالن مشتق شده از گوشته با ماگمای کالکوالکالن ناشی از ذوب سنگ-های پوسته می‌باشد. وی با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده‌های گرانیتوئیدی منطقه را از نوع I

1.ziegler

متآلومین تا پرآلومین دانسته و ولکانیسم و پلوتونیسم این منطقه را بر اساس یافته‌های ژئوشیمیایی و صحرایی بیشتر در ارتباط با سیستم های کششی منطبق می داند.

- کهنسال (۱۳۷۷)، توده‌های نفوذی نیمه عمیق در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان را مورد بررسی قرار داده است و سنگ‌های نفوذی این منطقه را به سه گروه : ۱- سنگ‌های اسیدی (میکروگرانیت تا میکروگرانودیوریت) و ۲- سنگ‌های حدواسط (کوارتز مونزونیت تا میکروکوارتزیدیوریت) و ۳- سنگ‌های بازیک (دولریت و میکروگابرو) طبقه‌بندی نموده است. همچنین بر پایه نمودارهای ژئوشیمیایی محیط تکتونیکی تشکیل سنگ‌های نفوذی را از نوع پس از برخورد می‌داند.

- مرادی (۱۳۹۰)، کانی زایی طلا در منطقه باغو، جنوب شرق دامغان را مطالعه نمود و کانی‌زائی را در ارتباط با فاز تاخیری سیالات سیلیسی- سولفیددار مشتق از توده‌های نفوذی اسیدی دانست که در سنگ میزبان گرانودیوریتی واقع شده است.

- نیکلاس^۱ (1964) محدوده باغو را باروش‌های پلاریزاسیون القایی (IP) و پتانسیل خودزا (SP) تحت اکتشافات ژئوفیزیکی برد و در پایان دو محدوده آنومالی اصلی را برای عنصر مس در دره بازارها (جنوب باغو) معرفی کرد.

- وثوق زاده و همکاران (۱۳۴۹) بر مبنای داده‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی قبلی، محدوده باغو را زیر پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی تفصیلی قرار داده‌اند. این بررسی وجود آنومالی‌های مس را همراه با سرب و روی تأیید کرده است.

- هولتز^۲ و همکاران (1970) زمین شناسی محور تروود-ستوه-باغو را بررسی کرده‌اند.

1.Nickolas
1.Holtz

۱-۶- ضرورت تحقیق

طلا از عناصر قیمتی بسیار مهم است که همواره پشتوانه اقتصادی کشورها و تمدن‌ها بوده است و ناحیه ترود-چاه شیرین نیز بدلائل موقعیت خاص زمین‌شناختی و سنگ‌شناسی مستعد کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها از جمله طلا است.

اگرچه اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای گسترده‌ای در سطح کشور انجام شده است (چهارگوش‌های ۱۱۰۰۰۰۰/ژئوشیمیایی)، ولی در بسیاری از این مناطق لازم است مطالعات ژئوشیمی اکتشافی توجیهی دقیق‌تری نیز صورت گیرد. در ناحیه ترود-چاه شیرین نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای از تکنیک‌های کارآمد در شناسایی موقعیت کانی‌سازی‌ها و به‌ویژه کانی‌سازی‌های پنهان فلزات پایه و گرانبها به حساب می‌آید. مطالعه رسوبات آبراهه‌ای از منظر اندازه دانه‌ها برای تشخیص فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی می‌تواند بسیار سودمند باشد. زیرا توزیع برخی از عناصر بیشترین بستگی را با اندازه دانه‌ها دارند. کانی‌شناسی، اندازه ذرات و ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای در رودخانه‌ها، انعکاسی از ترکیب سنگ‌های منشاء، هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، ویژگی‌های هیدرولوژی و مورفولوژی حوضه، آب و هوا و چندین فاکتور مهم دیگر هستند (Pratt et al., 2007; Grunsky et al., 2009; Ranasinghe et al., 2009; Singh, 2010). بسیار مهم است که اثر کنترل‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی بر توزیع اندازه دانه‌های رسوبات آبراهه‌ای در نظر گرفته شود (Ranasinghe et al., 2002). از اینرو، مطالعه اثر اندازه ذرات روی توزیع ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در محدوده کانسار مس-طلای کوه زر در جنوب دامغان برای هدف تحقیق انتخاب گردیده است.

نتایج حاصله از پژوهش حاضر به سوالات اساسی زیر پاسخ خواهد داد:

- چه جزئی از رسوب آبراهه‌ای برای بررسی‌های ژئوشیمیایی در ناحیه ترود-چاه شیرین مناسب است؟

- عناصر در چه فاصله‌ای از منبع کانی‌سازی در محیط ثانویه پراکنده می‌شوند؟

- چگالی بهینه نمونه برداری برای ثبت ناهنجاری ژئوشیمیایی چگونه است؟

- چه عناصری برای ردیابی کانی سازی ها در ناحیه ترو-چاه شیرین مهم هستند؟

- آیا میان نتایج نمونه های ژئوشیمی آبراهه ای و کانی های سنگین در معرفی منشاء ناهنجاری ها انطباق وجود دارد؟

- منبع ناهنجاری های ژئوشیمیایی و کانی سنگین در محدوده کوه زر کدامیک از سنگ ها و واحدهای زمین شناسی هستند؟

۱-۷- ساختار پژوهش

➤ مطالعات کتابخانه ای برای جمع آوری گزارش ها، نقشه ها و مقالات محدوده مورد مطالعه، گردآوری اطلاعات در ارتباط با روش انجام پژوهش در ایران و جهان و هر گونه داده ای که با موضوع تحقیق مرتبط است.

➤ طراحی موقعیت برداشت نمونه های رسوب آبراهه ای بر روی شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه

➤ عملیات صحرائی برای برداشت نمونه ها

➤ تهیه نقشه زمین شناسی منطقه

➤ آماده سازی نمونه های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه ای (الک کردن نمونه ها با سرندهای مختلف، نرمایش و بسته بندی آنها)

➤ ارسال نمونه های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه ای برای تجزیه شیمیایی چندعنصری به شرکت

مطالعات مواد معدنی زرآزما. تعداد ۳۵ عنصر شامل Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co,

Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sr, Sc, Ti, Th, U, V, Y, Yb,

Zr, Zn، به روش انحلال در مخلوط چهار اسید و با دستگاه‌های ICP-OES و طلا به روش

غال‌گذاری (Fire Assay) تجزیه شده است.

- آماده‌سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین
- تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌های سنگین
- تهیه ۸ نمونه مقطع نازک از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی
- تهیه ۳ نمونه مقطع صیقلی از رگه‌های سیلیسی و مطالعه آن‌ها.
- نمونه‌برداری، آماده‌سازی، خردایش و نرمایش ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی و ارسال آن‌ها به شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما. روش تجزیه این نمونه‌ها همانند نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای بوده است.
- پردازش، تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی
- با تلفیق نتایج حاصل از مراحل قبلی با استفاده از مراجع و مقالات، استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری، پردازش و در نهایت نتیجه‌گیری، ارائه پیشنهادها و تدوین پایان‌نامه صورت گرفته است.

۱-۸- ساختار پایان‌نامه

فصل اول کلیاتی در مورد منطقه و پروژه ذکر شده است، در فصل دوم زمین‌شناسی ناحیه‌ای و زمین‌شناسی منطقه‌ای مورد بحث بوده است و در فصل سوم نیز رسوبات آبراهه مورد مطالعه قرار گرفته و این فصل نیز به دو بخش مطالعات ژئوشیمیایی و رسوبات آبراهه‌ای کانی‌های سنگین مجزا شده است و در هر بخش ابتدا در مورد رسوبات آبراهه (ژئوشیمیایی و یا کانی سنگین) و سپس نحوه نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها، آنالیز و مطالعه آن‌ها شرح داده شده است. در فصل چهارم بحث و جمع‌بندی و نتیجه‌گیری آمده است.

۹-۱- معرفی علائم اختصاری

در این پایان نامه به منظور سهولت و کوتاه‌تر شدن متن از علائم اختصار زیر استفاده شده است:

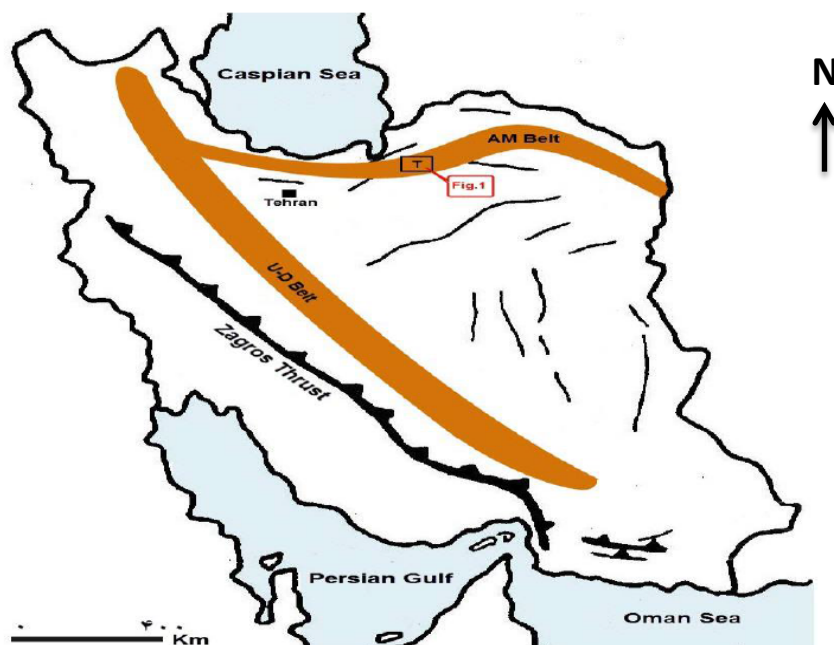
Afs: Alkalifeldspar; Amp: Amphibole; Az: Azurite; Bt: Biotite; Cct: Chalcocite; Ccp: Chalcopyrite; Chl: Chlorite; Cv: Covellite; Ep: Epidote; Hbl: Hornblende; Ms: Muscovite; Mlc: Malachite; Ol: Olivine; Pl: Plagioclase; Py: Pyrite; Px: Pyroxene; Qz: Quartz; Ser: Sericite; Tur: Tourmaline (Whitney & Evans, 2010).

فصل دوم

زمین شناسی

۲-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی و بخشی از کمان آتشفشانی - نفوذی دامنه شمالی کوه ترود - چاه شیرین واقع شده است (شکل ۲-۱). رشته کوه ترود - چاه شیرین بصورت یک برآمدگی بین گسل‌های ترود در جنوب و انجیلو در شمال محدود است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰)، شکل و الگوی ساختاری منطقه توسط این دوگسل امتداد لغز انجیلو و ترود کنترل می‌شود. رشته کوه ترود - چاه شیرین به طور عمده از سنگ‌های آذرین مزوزوئیک پسین تا ترشیری تشکیل شده است. اوج فعالیت ماگمایی این ناحیه از زمان ائوسن میانی تا پسین بوده است (هوشمندزاده، ۱۳۵۷). محدوده کوه زر در تقسیم‌بندی‌های چهارگوش‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ در ورقه ترود و تقسیم‌بندی‌های چهارگوش‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ در ورقه معلمان قرار می‌گیرد. در این فصل به طور جداگانه زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای محدوده مورد مطالعه توصیف شده است.



شکل ۲-۱- گسترش کمربندهای آتشفشانی - نفوذی عمده ایران و موقعیت ترود- چاه شیرین به صورت کادر مشخص شده است.

۲-۲- زمین شناسی ناحیه‌ای

کمر بند ترود - چاه شیرین در بخش شرقی و جنوب شرق استان سمنان واقع است، و پاره‌ای از خصوصیات ساختاری-چینه‌شناسی البرز و ایران مرکزی را دارا می‌باشد. بخش شرقی این کمر بند که بیشتر از سنگ‌های دگرگونی و نفوذی تشکیل شده است از بخش‌های مرکزی و غربی آن که اکثراً از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازالت‌اندزیتی تشکیل شده متمایز می‌شود. بیشترین مساحت ورقه چهار گوش ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود را زمین‌های کویری و گسسته و زمین‌های پست و هموار می‌پوشاند. تنها ارتفاعات مهم آن کوه‌های چاه شیرین در غرب، کوه‌های ترود -رشم در مرکز و کوه‌های شتر و کفتری در شرق است که با روند تقریباً شرقی -غربی این ناحیه را به دو نیمه تقسیم نموده‌اند و کویر چاه جام را در شمال از دشت کویر در جنوب جدا می‌سازد.

منطقه مورد مطالعه به صورت یک نوار ماگمایی در بخش شمالی زون ایران مرکزی و در تقسیم بندی نوگل‌سادات و الماسیان (۱۳۷۱) در زیر بخش ماگمایی شمالی ایران مرکزی قرار دارد. در ناحیه ترود واحدهای سنگ‌های دگرگونی منسوب به پرکامبرین، نهشته‌های سخت شده مزوزوییک و سنوزوییک رخنمون دارند. چین خوردگی شدید رسوبات پیش از کرتاسه احتمالاً حاصل فعالیت گسل‌های انجیلو و ترود بوده است (رحیمی، ۱۳۷۴). حرکت این گسل‌ها نسبت به هم گاه باعث قاره‌زایی و گاهی منجر به جنبش‌های کوهزایی شده است.

منطقه ترود -چاه شیرین میزبان تعداد زیادی رخداد معدنی بویژه رگه‌های فلزات پایه و گرانبها است، که از بین این رخدادهای معدنی می‌توان به کانسارهای گندی (Au-Cu-Zn-Pb)، ابوالحسنی (Zn- Au-Cu-Pb)، چشمه حافظ (Zn-Pb-Au)، چاه موسی (Cu)، دارستان (Au-Cu) و باغو (فیروزه، Au-Cu) و کوه زر (Au-Cu) اشاره کرد (رشیدنژاد عمران، ۱۳۷۱؛ عابدیان و دری، ۱۳۷۵؛ برنا و عشق آبادی، ۱۳۷۶؛ تاج الدین، ۱۳۷۷؛ فرد، ۱۳۸۰؛ مهرابی، ۱۳۸۹؛ شمعیان اصفهانی، ۱۳۸۳).

۲-۲-۱- چینه شناسی ناحیه‌ای

در محور ترود- چاه شیرین واحدهای سنگ‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر رخنمون دارد. سنگ‌های پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین متشکل از شیست، گنیس، آمفیبولیت است. نهشته‌های پالئوزوئیک در منطقه گسترش کمی داشته و شامل سنگ آهک، آهک دولومیتی و شیست با سن سیلورین بالایی تا پرمین می‌باشد. نهشته‌های دوران مزوزوئیک در گستره‌ی مورد مطالعه تنها شامل رسوبات آهکی- شیلی و ماسه سنگ کرتاسه‌ی پایانی است که در یک محیط رسوب‌گذاری دریایی با ژرفای میانه پدید آمده‌اند و در قسمت‌های شمال باختری تا باختر ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان رخنمون یافته‌اند. نهشته‌های دوران سنوزوئیک با بیشترین فعالیت ماگمایی در منطقه توأم یافته و در طی دوره‌ی ترشیری آغازی (ائوسن- الیگوسن) حجم زیادی از سنگ‌های آذرین را برجا گذاشته است - (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

نهشته‌های دوره نئوژن در زیر پهنه ترود- چاه شیرین نمودی نداشته‌اند و تنها در پایان نئوژن و آغاز کواترنری نهشته‌های تخریبی سخت نشده و کوهپایه‌ای دیده می‌شود، لیکن زیر پهنه رسوبی‌های جندق در طی دوره نئوژن ستبرای زیادی از نهشته‌های بسیار کم ژرف مارنی و ماسه‌سنگی ژیبس‌دار را برجا گذاشته است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۱-۱- پرکامبرین

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی شناخته شده در این منطقه را سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین تشکیل می‌دهند که در کوه‌های شمال‌شرق ترود در کوه‌های کوه‌ستر و سیاه پشته، دارای رخنمون هستند. این واحد متشکل از شیست، گنیس و آمفیبولیت است که در زیر سنگ‌های پالئوزوئیک قرار دارند. با توجه به موقعیت چینه‌ای و سنگی، واحدهای دگرگونی منطقه ترود با سنگ‌های دگرگونی رباط پشت بادام و مجموعه دگرگونی پتیار در ناحیه انارک قابل مقایسه هستند و احتمالاً زمان تشکیل آن‌ها

پرکامبرین پسین تا کامبرین آغازی بوده است (جعفریان، ۱۳۸۰). پس از پرکامبرین و با شروع پالئوزوئیک، منطقه تحت تاثیر دو گسل اصلی انجیلو و ترود با روند شمال شرقی- جنوب غربی قرار گرفته است.

۲-۱-۲-۲- پالئوزوئیک

واحدهای سنگی پالئوزوئیک بیشتر با همبری تکتونیکی و بصورت سفره‌های رورانده ظاهر شده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی دوران پالئوزوئیک در زیر پهنه ترود-چاه شیرین با شدت بسیار کمتر از سنوزوئیک انجام گرفته است. واحدهای سنگی پالئوزوئیک در منطقه گسترش کمی داشته و شامل سنگ آهک، آهک دولومیتی، دولومیت و شیست است که بر اثر فشارهای تکتونیکی و گسل تغییر شکل یافته و یک رویداد دگرگونی فشار- حرارتی با درجه‌ی پایین (درحد رخساره‌ی شیست سبز) را نیز پذیرا شده‌اند. این سنگ‌های تبلور مجددیافته، حداقل یک فولیاسیون دگرگونی بر آن‌ها تأثیر کرده است که آن‌ها بصورت دگرگونی و با مرز همشیب در کوه سیاه‌پشته بر روی سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین قرار دارند، این مجموعه دگرگونی را از لحاظ موقعیت چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی می‌توان با سازند جمال هم ارز دانست (جعفریان، ۱۳۸۰). به طور کلی نهشته‌های پالئوزوئیک در این مجموعه تنها در سیلورین و پرمین مشاهده شده‌اند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

الف) سیلورین بالایی : این واحد در غرب ورقه معلمان و در دره‌انجیر و کوه انارو رخنمون دارد و دارای ستبرائی حدود ۳۰۰ متر است که با همبری تکتونیکی بر روی نهشته‌های کرتاسه و ائوسن رانده شده است. لیتولوژی آن شامل سنگ‌آهک دگرگون‌شده با تبلورمجدد، آهک دولومیتی شده و دولومیت است که به صورت ستبر لایه تا توده‌ای، با رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای دیده می‌شود. از آنجا که دایک‌ها و توده‌های نفوذی کم عمق ائوسن -الیگوسن در این سنگ‌ها تزریق شده، لذا در مواردی سنگ‌های آهک اسپاریتی با ناخالصی‌های کوارتز، اکسید آهن، کانی‌های اپک و به ندرت بلورهای ریز سرسیت و مسکویت همراه است. درون این سنگ‌ها کم و بیش رگه‌های اکسید آهن

ثانویه بصورت هماتیت، گوتیت و ندرتاً سولفورها و اکسیدهای سرب، روی و مس در درزه‌ها و شکستگی‌ها دیده می‌شود. اکسید آهن ناخالص و کم عیار در پاره‌ای از موارد تا ضخامت ۱ متر نیز دیده می‌شود (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

ب) سیلورین بالایی تا پرمین : چشم‌اندازهای این واحد در دره‌انجیر و کوه انارو، شامل اسلیت‌ها و شیست‌های خاکستری و نقره‌ای رنگ می‌باشد که به ندرت سنگ‌های آذرین سبز رنگ و دگرگون شده در بین آن‌ها وجود دارد. رگه‌های کوچک و رگچه‌های کوارتز در بین این سنگ‌ها تشکیل شده که حاصل دگرگونی است. سازنده‌های این واحد همه‌جا دارای جهت یافتگی دگرگونی از گونه برگوارگی و ریزچین‌های فراوان است. سنگ‌شناسی اولیه آن‌ها شامل شیل، ماسه‌سنگ و کمی سنگ‌های آتشفشانی بازیک بوده که تا حد رخساره دگرگونی شیست سبز دگرگون شده است. این شیست‌ها دارای ترکیب میکاشیستی و میکاشیست گرافیت‌دار بوده که در حد رخساره شیست سبز تا رخساره آمفیبولیت و زون بیوتیت و زون گارنت دگرگون شده‌اند. کوارتز فراوان‌ترین کانی این سنگ‌ها است که به گونه ریز بلور و جهت یافته و گاه با کانی‌های رسی دیده می‌شود. کانی‌های فیلوسیلیکاتی که دارای کلیواژ اسلیتی هستند، بیشتر شامل سرسیت، مسکویت و کلریت است که در بخش‌هایی با اکسید آهن آغشتگی یافته است. کانی‌های کدر و اکسیدهای آهن ریز دانه به میزان قابل توجهی در این سنگ‌ها پدید آمده است. رگچه‌های فراوان کوارتزی در این سنگ‌ها درشت بلورتر از بقیه بوده و شیستوزیته سنگ را نیز بریده‌اند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۱-۲-۳- مزوزوئیک

نهمین دوره‌های دوران مزوزوئیک در گستره مورد مطالعه تنها شامل رسوبات آهکی-شیلی و ماسه سنگ کرتاسه پایینی است که در یک محیط رسوبگذاری دریایی با عمق متوسط پدید آمده‌اند. سنگ‌های کرتاسه با طیف ترکیبی سنگ‌آهک‌های میکریتی فسیل‌دار، شیل و مارن‌های مدادی خاکستری رنگ در غرب و جنوب غرب ترود دارای رخنمون‌هایی با ضخامت قابل توجهی هستند. سنگ‌های کرتاسه با

سنگ‌های قدیم‌تر منطقه از خود مرز عادی ندارند. این سنگ‌ها دارای رنگ خاکستری روشن و لایه-بندی بوده که حاوی فسیل‌های متعددی مثل براکیوپود و دوکفه‌ای (آپسین -آلبین) می‌باشند. شیل و مارن‌ها از حجم کمتری برخوردار هستند و در اثر تحمل تنش‌های تکتونیکی منطقه خرد شده و بصورت مدادی در آمده‌اند. (شمال شرق سوسنوار) نهشته‌های کرتاسه آغازین و پایانی اغلب بدون دگرگونی و با مرز دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر مشاهده می‌شوند. سنگ‌های کرتاسه توسط تعداد زیادی از دایک‌های آندزیتی (میکرودیوریتی) قطع گردیده و متحمل دگرگونی مجاورتی شده‌اند. همچنین تزریق توده‌های نفوذی به درون سنگ‌های کرتاسه با کانی‌زایی باریت، مگنتیت، گالن، مالاکیت و آزوریت همراه است. در دره رباعی سنگ‌های کرتاسه پایانی شامل تناوبی از شیل سبزرنگ، سنگ‌آهک نازک لایه و ماسه‌سنگ نمایان است. این ترادف حدود ۳۰۰ متر ضخامت، برپایه وجود فسیل‌های فراوانی از شکم‌پایان، آمونیت و خارپوستان زمان تشکیل سنومانین - سنونین به آن نسبت داده شده است (جعفریان، ۱۳۸۰).

در دره بیل و در هسته یک ناودیس بزرگ حدود ۷۰۰ متر ماسه‌سنگ دگرگون و شیست سیاه رنگ با میان لایه‌هایی از زغال سنگ بر روی واحدهای فوق‌الذکر رخنمون دارد که به لحاظ ترکیب سنگی و جایگاه چینه‌ای با سازند شمشک قابل مقایسه است (قربانی، ۱۳۸۴). در نواحی جنوب منطقه و شرق ورقه معلمان در کوه‌های کم‌انجیر، بابا احمد و خانجار نهشته‌های دریائی کرتاسه پسین رخنمون یافته است و شامل تناوب نامنظمی از سنگ آهک خاکستری روشن، شیل سبز رنگ، آهک مارنی، آهک‌های نازک تا ستر لایه به رنگ‌های خاکستری تا خاکستری متمایل به سبز با ستر برای بیش از ۵۰۰ متر است که میان لایه‌های از ماسه سنگ، سنگ آهک ماسه‌ای و عدسی‌هایی از ماسه سنگ کنگلومرا و کنگلومرا در آن‌ها دیده می‌شود. در این سنگ‌های نادگرگونه سنگواره‌های بزرگ از آمونیت‌ها، مرجان‌ها، خارپوستان و آگ‌ها پدید آمده است. مطالعه سنگ‌شناسی و فسیل‌شناسی بر روی این سنگ‌ها نشان داده که در محیط دریایی آزاد و پیرانرژی تشکیل شده و سن آن‌ها کرتاسه پایانی (اشکوب‌های سنومانین تا کامپانین) تعیین شده است. سنگ‌های آهکی این واحد در موارد

زیادی با توده‌های نفوذی کم‌ژرف بویژه کوارتز دیوریت‌ها بریده شده‌اند و در همبری آن‌ها دگرگونی مجاورتی بسیار ضعیفی دیده می‌شود. تنها در شمال دره چالو هاله دگرگونی با درجه حرارت بالا بوجود آمده و تشکیل سنگ‌های اسکارن را در پی داشته است. در پیرامون معدن خانجار بر روی این سنگ آهک‌ها ستبرای کمی از ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل یافته است که در آن‌ها سنگواره‌های کمی با سن احتمالی پالئوسن یافت می‌شود (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۱-۲- سنوزوئیک

نهمین دوره‌های دوران سنوزوئیک با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن زیرین آغاز می‌شود و در طی دوره پالئوژن حجم بسیار زیادی از مواد آذرآواری را پدید آورده است. واحدهای آتشفشانی رسوبی ائوسن گسترش زیادی در منطقه دارند. این مجموعه با ضخامت حدود ۳۰۰ متر با دگرشیبی واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند. قاعده واحدهای ائوسن تخریبی بوده و از ماسه سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا و توفیت تشکیل شده و فسیل‌های ائوسن در آن یافت می‌شود. ترکیب بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه ترود- چاه شیرین آندزیتی است و چهار بخش گدازه قاعده‌ای یا آندزیت سطوه، برش آتشفشانی زیرین، برش‌های آتشفشانی میانی که در بین آن‌ها گنبد‌های نیمه عمیق وجود دارد و سرانجام برش‌های آتشفشانی بالایی شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ، گدازه و برش آتشفشانی می‌باشند. این مجموعه آتشفشانی-رسوبی در تمام کوه‌های شمال ترود تا سوسنوار و زمین‌های ناهموار بین کوه‌های غار و چاه شیرین نمایان است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). این توالی در ورقه معلمان شامل :

الف) ائوسن پائینی : این واحد در حقیقت مجموعه سنگی متنوعی را در بر می‌گیرد که با ستبرای زیاد از باختر (رشم و سوسن وار) تا خاور (سرتخت و سرخه) در پهنه وسیعی رخنمون‌های آن دیده می‌شود. ترکیب سنگ‌شناسی آن در جاهای مختلف تغییراتی را نشان می‌دهد و شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های توف، توفیت، مارن و مادستون‌های توفی، ماسه سنگ، عدسی‌های بزرگ سنگ‌های

آگلومرانی و کنگلومرانی است که به رنگ‌های قرمز صورتی، قرمز، قهوه‌ای تیره، خاکستری و کرم تا سبز روشن مشاهده می‌شوند. افق‌های کم ستبرائی از توف، توف‌های ریولیتی-ریوداسیتی بنتونیت‌دار به رنگ سفید تا کرم متمایل به سبز خیلی روشن در بین نهشته‌های این واحد وجود دارد که در برخی مناطق به عنوان خاک صنعتی بنتونیت‌دار بهره‌برداری می‌شوند. دیگر سازنده‌های این مجموعه را سنگ‌های آتشفشانی کلاستیکی و برش‌های آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا حدواسط و به‌ندرت همراه با کلاستیک‌های بازی می‌سازد که به شدت دگرسان شده‌اند. در قسمت‌هایی این واحد به‌صورت توف‌های جوش‌خورده همراه با برش‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذر آواری قرمز (آجری) رنگ، لیتیک توف و توف‌های شیشه‌ای با ستبرایی بیش از ۵۰۰ متر رخمون یافته است. واحدهای سنگی ائوسن بیشتر از توف و خاکسترهای آتشفشانی با ترکیب اسیدی تشکیل شده که ذرات حمل شده آن به‌صورت ماسه سنگ و عدسی‌های کنگلومرا ماسه‌سنگی آتشفشان‌زاد رخمون دارد. رنگ این سنگ‌ها بیانگر تبلور آن‌ها در محیط آبی بسیار کم ژرفی است که شرایط اکسیداسیونی بر حوضه حاکم بوده است. سنگ‌های آذرآواری از قبیل برش‌های توفی و لیتیک توف‌ها عموماً ترکیب داسیت و آندزیتی دارند. به‌دلیل همبندی تکتونیکی این واحدها با نهشته‌های قدیمی‌تر مرز زیرین آن‌ها در ورقه معلمان مشاهده نشده است و به‌طور عادی با نهشته‌های آتشفشانی زیردریایی با ترکیب بازیک تا حدواسط پوشیده شده‌اند. افق‌های توف ریولیتی-داسیتی سفید تا کرم متمایل به سبز خیلی روشن دارای دگرسانی آرژیلیتی است و در شکل‌گیری رگه‌های کانه‌دار فلزی سرب، روی، مس، باریم و طلا به‌گونه‌ای موثر بوده است. در مجموع سن این واحد ائوسن پائینی در نظر گرفته شده است و در بخش‌هایی جدایش‌پذیر به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شود که این واحدها در جاهای مختلف ترکیب سنگ‌شناسی متفاوتی دارند که بیشتر از گدازه‌های برشی شده، توف، ماسه‌سنگ کنگلومرایی آتشفشان‌زاد، آگلومرا، توف‌های برشی داسیتی-آندزیتی و در مواردی توف گدازه‌هایی تراکی آندزیتی غنی از اکسید آهن و کربنات ثانوی تغییر می‌کند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

ب) ائوسن میانی تا بالائی: دومین مرحله از فعالیت‌های ماگمایی دارای سن ائوسن- الیگوسن است، که با فوران‌های آتشفشانی زیردریایی با ترکیب بازیک تا حد واسط توام است. در طی این مرحله حجم زیادی از مواد آذرین از طریق دایک‌های تغذیه‌کننده به کف دریا ریخته شده که نسبت به محیط سنگ‌های ائوسن پائینی ژرفای بیشتری داشته و کم و بیش شرایط احيائی در محیط زایش آن‌ها حاکم بوده است. در نتیجه این فعالیت‌های ماگمایی این مجموعه سنگی با ستبرای زیاد از سنگ‌های گدازه‌های برشی شده، گدازه‌های اسپیلیتی شده، هیالوکلاستیک‌های بازیک تا حدواسط، توف پیروکلاستیک‌های زیر دریائی و کراتوفیری ساخته شده است. این مجموعه در برگیرنده سنگ‌های آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت‌بازالت، بازالت‌های آلکالن دریائی و آندزیت‌داسیت‌های پورفیری است. این واحد به سمت بخش‌های میانی و بالائی از تناوب‌های نامنظم و متغیر از سنگ‌های گدازه‌ای و پیروکلاستیک و اپی‌کلاستیک‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی، داسیتی آندزیتی و ندرتاً توف‌های آلتزه داسیت پورفیری ساخته شده‌اند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

پ) ائوسن بالائی : از جنوب باختری تا باختر معدن چهار سنگی و تا خاور امامزاده پیرمردان ترکیباتی از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی با ستبرای کم (حدود ۱۰۰ تا ۱۳۰ متر) است که بیشتر از توف و برش‌های آتشفشانی پورفیری دگرسان شده با ترکیب اولیه داسیتی، داسیت آندزیت و ندرتاً کوارتز تراکی آندزیت (لاتیت) تشکیل شده است. در پاره‌ای نقاط در معادن چهارسنگی و حافظ، واحد یاد شده به‌وسیله رگه‌های سیلیسی با بافت ریز تا نهان بلور قطع شده، و در بردارنده کانی‌های کوارتز، کلریت، کانی‌های رسی، اکسید آهن و کانی‌های اپاک می باشند.

در قسمت‌های میانی رشته کوه ترود- چاه‌شیرین سنگ‌های تراکی آندزیت- بازالتی مشاهده می‌شود که پذیرای دگرسانی شدیدی شده و در آن‌ها کانی‌های اولیه سالمی را نمی‌توان دید. همه یا بخش زیادی از این سنگ‌ها به کانی‌های ثانویه مانند سرسیت، کلسیت، کلریت و غیره تغییر یافته‌اند و تنها غالب بلوری آن‌ها بجا مانده است. این سنگ‌ها ضمن ترکیب تراکی آندزیتی در محدوده سنگ‌های

اسپلیتی - کراتوفیری شده نیز جای می‌گیرند. در این سنگ‌ها بافت اولیه به سبب دگرسانی شدید در حال از بین رفتن است و از آلتراسیون آن‌ها کانی‌های ثانویه مانند کربنات، کلریت و اکسید آهن به مقدار قابل توجهی ایجاد شده است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

ت) پلیوسن : کنگلومرای پلیوسن عمدتاً بصورت مخروطه افکنه‌های بزرگ در دامنه‌های شمالی منطقه ترود و در حوالی روستاهای شیمی و کوه زر و کلاته جعفر در ورقه معلمان رخنمون دارد و قسمت‌های شمالی حوضه رسوبی جندق را می‌سازد. سن نهشته‌های این زیر پهنه بر روی هم از میوسن تا پلیوسن است و به واحدهای سنگی با گسترش و ستبرائی مختلف رخنمون یافته و شامل مارن‌های ژئوپس‌دار به‌رنگ‌های سبز و قرمز قهوه‌ای، گچ با ستبرای لایه‌ای ناهمسان و میان لایه‌هایی از ماسه میکا دار به رنگ خاکستری تا سبز می‌باشد. (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

ث) کواترنری: تشکیلات این بازه زمان در منطقه عمدتاً شامل رسوبات تبخیری و آبرفت‌های عهد حاضر بوده که از گسترش قابل توجهی در منطقه معلمان برخوردار است. نهشته‌های جوان پلیو - کواترنری منطقه به صورت کنگلومرا و مارن و به گونه دگرشیب واحدهای قدیمی‌تر منطقه را می‌پوشانند (قربانی، ۱۳۸۴) که به ترتیب عبارتند از:

الف- تراس‌های آبرفتی قدیمی: بیشتر در حاشیه ارتفاعات توسعه دارند و پهنه‌های وسیع و گسترده- ای بوجود آورده‌اند که توسط رودخانه‌های خشک و متعدد قطع گردیده‌اند.

ب- تراس‌های آبرفتی جوان و دشت‌ها: شامل تراس‌های آبرفتی جوانتر و دشت‌های پهناور آبرفتی می- گردند. این رسوبات اغلب نهشته‌های تراس‌های قدیمی را قطع می‌نمایند.

ج- رسوبات رودخانه‌ای و آبرفتی جدید: این رسوبات منحصراً مواد رسوبی کف رودخانه‌های خشک منطقه را تشکیل داده و در نقاط مختلف مشاهده می‌شوند.

د- کفه‌های خشک نمکی یا کویرها: این بخش شامل زمین‌های مسطح و کفه مانند است که در جنوب منطقه گسترش دارند.

ه - تپه ماهورهای ماسه‌ای و متحرک: این تپه‌های ماسه‌ای در جنوب منطقه ارتفاع چند متر تا ده‌ها متر قرار دارند، که شیب آن‌ها در خلاف جهت وزش باد می‌باشد (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۲- توده‌های نفوذی

برای این ناحیه توده‌های نفوذی با قدمت پرکامبرین تشخیص داده نشده است. در سیلورین یک سری آندزیت‌های پورفیری، اسپیلیت و بازالت در شمال و مرکز منطقه مشخص شده است. از دیگر پدیده‌های آذرین می‌توان به سنگ‌های آتشفشانی عمدتاً بازالتی در ژوراسیک، توده‌های آندزیتی سبز رنگ کرتاسه، سنگ‌های نیمه عمیق ریوداسیتی بعد از ائوسن و سنگ‌های آتشفشانی اپیدوتی الیگوسن اشاره کرد. بطور کلی قبل از ائوسن فعالیت ماگمایی کم بوده است و در کمربند ماگمایی سنوزوییک ایران مرکزی سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن تا کواترنری یافت می‌شود. به دنبال فاز فشارشی کرتاسه پایانی که با دگرگونی، چین‌خوردگی، بالا آمدگی و جابه‌جایی افیولیت‌ها همراه بوده است، فاز کششی مهمی در ایران مرکزی بوقوع پیوست که ماگماتیسم شدید ائوسن را در پی داشته است (امامی، ۱۳۷۹).

مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن توسط تعداد زیادی استوک و دایک با ترکیبی متغیر از گابرو تا گرانیت قطع می‌شود. با توجه به شواهد وقایع زمین‌شناسی در این محل و به دلیل نفوذ آن‌ها در سنگ‌های ائوسن بالایی به نظر می‌رسد این توده‌ها دارای سن الیگومیوسن و یا ائوسن پایانی - الیگوسن باشد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷ و جعفریان، ۱۳۸۰). این دایک‌ها تقریباً در تمام منطقه از جمله در جنوب کوه زر، ده نو، جنوب و جنوب شرق علی‌خان، شمال ترود و گندی گسترش دارند. بیشتر دایک‌های منطقه روند شمال شرقی - جنوب غربی دارند (قربانی، ۱۳۸۴). نفوذ این توده‌ها به درون سنگ‌های میزبان با دگرگونی مجاورتی و دگرسانی‌های گرمایی بویژه از نوع آرژیلیتی همراه بوده است.

۲-۲-۳- مجموعه‌های دگرگونه

در گستره ترود- چاه شیرین سنگ‌های دگرگونه‌ای رخنمون یافته است که در سه گروه زیر جدا شدنی است.

الف - گروه سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای با درجه حرارت و فشار پایین (رخساره شیست سبز) که در واحدهای پالئوزوئیک دیده می‌شوند، در این سنگ‌ها جهت یافتگی دگرگونی عمومیت دارد.

ب- سنگ‌های دگرگونی مجاورتی در همبری توده‌های نفوذی به‌ویژه واحدهای مزوزوئیک تشکیل شده که بارزترین آن‌ها در دره چالو سنگ‌های آهکی تیپ اسکارن را پدید آورده‌اند. این سنگ‌ها گسترش کمی دارند و ترکیب سنگ‌شناسی آن‌ها در ردیف کالک‌سیلیکات هورنفلس یا اسکارن محسوب می‌شوند. بافت این سنگ‌ها بیشتر پلاستیک بهم ریخته است و در آن‌ها کانی‌هایی مانند گرونا، کوارتز، ولاستونیت، دیوپسید، مسکویت، سرسیت تشکیل شده و در کناره این سنگ‌ها کانی-سازی آهن نیز صورت گرفته است.

ج - در راستای پهنه‌های گسلی (از جمله دره حسن امروز و گسل‌های جدا کننده واحدهای آتشفشانی ائوسن) یک سری از سنگ‌های بسیار تکتونیزه و در هم مشاهده می‌شوند. ضمن لیتولوژی ناهمسان و غالباً نابرجا، این سنگ‌ها تحت حرکات تکتونیکی و بالا آمدگی ناشی از نفوذ ماگما، نوعی دگرگونی کاتاکلاستیکی را پذیرا شده‌اند. در یک نگاه کلی این سنگ‌ها شامل ماسه‌سنگ و شیل، سنگ‌های آتشفشانی دگرگونه، رگه‌های کواتز فلدسپاتی دگرگونه، دایک‌های آندزیت-بازالت اسپیلیتی کراتوفیری شده، کنگلومرا، رگه‌های کوارتزی و بخش‌های آهکی نابرجاست (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

بطور کلی از شمال شرق ترود تا جنوب عباس آباد، در یک روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری باریکه-ای از سنگ‌های دگرگونه از جنس شیست، گنایس، آمفیبولیت و مرمر برونزد دارد اگرچه این دگرگونه‌ها عمدتاً به سن پرکامبرین نسبت داده‌اند ولی مقایسه‌های منطقه‌ای نشان می‌دهد که در دگرگونی سنگ‌ها رویداد تکتونیکی تریاس بالایی (سیمرین پیشین) نقش بیشتری داشته است. سنگ‌های جوان‌تر از این ناحیه از نوع گدازه‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی به سن ائوسن -

الیگوسن هستند. جایگیری توده‌های الیگوسن به درون گدازه‌ها و پیروکلاستیک‌های ائوسن بطور عموم همراه با ایجاد هاله دگرگونی به ویژه کانی‌سازی از نوع سرب، روی و مس بوده که گاهی همراه آن‌ها طلا در حد قابل توجهی مشاهده شده است.

۲-۲-۴- تکتونیک ترود-چاه شیرین

تکوین ژئودینامیکی منطقه ترود متناسب با رویدادهای مختلف زمین‌ساختی ایران زمین دستخوش تغییر و تحولات فراوانی شده است. با این وجود، در تمام مراحل و در همه فازهای دگرریختی، یک سیمای ساختاری مهم و اصلی یعنی گسل امتداد لغز ترود و انجیلو با روند شمال شرقی - جنوب غربی (N60-70E) عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری است که قدمت آن به زمان پرکامبرین نیز می‌رسد (علوی نایینی و حقی‌پور، ۱۳۵۷ و خادمی، ۱۳۸۶). این گسل امتداد لغز، تحت تأثیر رژیم-های دگرشکلی مختلف ناحیه‌ای در طول زمان حرکات متفاوتی داشته است و لذا می‌توان از لحاظ تکتونیک این کمربند را به دو زیر پهنه تقسیم کرد:

الف) زیرپهنه ترود - چاه شیرین

این بخش، نواحی میان گسل انجیلو و گسل ترود را دربر می‌گیرد که در آن نواری از سنگ‌های دگرگونی و آتشفشانی ائوسن-الیگوسن و توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف گسترش دارد.

ب) زیرپهنه حوضه رسوبی نئوژن

این حوضه شمالی‌ترین بخش پهنه ساختاری رسوبی میوسن و پلیوسن جندق را می‌سازد که حوضه-ای فرو افتاده در جنوب گسل ترود می‌باشد. این پهنه، دریای میوسن را تشکیل داده است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

واحدهای سنگی در طول زمان و از نظر ساختاری در پرکامبرین رخنمونی بسیار کمی داشته‌اند. چگونگی رخدادهای زمین‌ساختی دوران اول به سبب رخنمون‌هایی با گسترش کم و همبری

تکتونیک، بارز نیست، بدین سبب در این ورقه تنها می‌توان بدین بسنده کرد که واحدهای سنگی پالئوزوئیک در آغاز مزوزوئیک پذیرای کوهزائی و دگرگونی شده‌اند. بنابراین نخستین رویداد کوهزائی بارز و فرآیند دگرگونی ناحیه‌ای در منطقه منطبق با رخداد زمین‌ساختی کیمبرین پیشین، در پایان تریاس میانی به‌وقوع پیوسته است. رخداد کیمبرین میانی و پسین و فعالیت‌های تکتونیک کراتاسه زیرین در ناحیه به‌دلیل عدم رخنمون نهشته‌های آن‌ها گویا نیستند. در ادامه ته نشست‌های کربناتی-شیلی کراتاسه پایانی، نشانه‌ای از پیشروی دریای کراتاسه پایانی در منطقه دارد. در این زمان نهشته‌های دریائی با ژرفای کم تا میانه برجای گذاشته شده است. در اواخر کراتاسه پسروی دریا صورت گرفته و ضمن برجا گذاشتن کنگلومرای پسرونده، منطقه از آب خارج شده است که وقوع رخداد لارامید را به‌طور مستقیم تأیید می‌کند. این رویداد با بودن نهشته‌های ائوسن بر روی نهشته‌های چین خورده کراتاسه با دگرشیبی زاویه‌ای آشکار می‌گردد. به‌دنبال آن در ترشیری پیشروی دوباره دریا انجام گرفته که با فعالیت‌های شدید ماگمائی همراه بوده است. بیشترین فعالیت‌های دینامیکی و ماگمائی در دوره پالئوژن رخ داده است و گامه‌های دینامیکی پس از ائوسن (فاز پیرنه‌ای) سبب پدید آمدن زیر پهنه‌های ناهمسانی در منطقه شده است، که در شمال گسل ترود کوه‌های ترود-چاه شیرین و در جنوب آن حوضه رسوبی نئوژن را پدید آورده است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

بالآمدگی کف دریای الیگوسن میانی، پیش درآمد حرکاتی است که سبب یک چین خوردگی ضعیف در نهشته‌ها گردیده و بالآمدگی حوضه را در پی داشته است. به‌نظر می‌رسد که در الیگوسن پایانی فرو افتادگی بخش جنوبی گسل ترود ایجاد شده است. بار دیگر پیشروی دریا لایه‌های ستبری از نهشته‌های دریایی کم ژرف با سن الیگوسن پایانی با فروافتادگی تا پلیوسن را بجای گذاشته است. در این زمان زیرپهنه کوه‌های ترود-چاه شیرین از آب خارج شده است. در میوسن پسین-الیگوسن پیشین دوباره ژرفای حوضه رسوب گذاری کم و حرکات دینامیکی شدت می‌یابد و چین خوردگی طبقات انجام گرفته، بطوری که منطقه به کلی از آب خارج شده است، سرانجام نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیوسن پسین- پلیستوسن با دگرشیبی زاویه‌دار روی واحدهای کهن تر را پوشانده است.

تکاپوی دینامیکی، پس از پلیستوسن ادامه یافته بطوری که تراس‌های کهن و مخروط افکنه‌های بلند، نهشته‌های پلیستوسن را بطور ناپیوسته دگرشیب پوشانیده است. دامنه فعالیت‌های تکتونیکی ناحیه تا زمان حاضر نیز ادامه دارد و پلایای نمکدار معلمان-جندق حاصل این فعالیت‌ها است. خاستگاه و جایگاه تکتونیکی سنگ‌های ماگمایی ناحیه معلمان و پیرامون آن را بدین گونه می‌توان توجیه کرد که در طی ائوسن زیرین-میانی ناحیه در شرایط کششی بوده است و امکان بالا آمدن ماگمای بازالتی از گوشته زیرین به سوی پوسته فراهم شده است. ماگمای بازالتی حین بالا آمدن در بخش‌های بالائی پوسته جای گرفته، در این زمان در بخش‌های فوقانی آن نیز گازها و بخارات گردآمده و در نخستین گام فعالیت‌های آتشفشانی انفجاری را در پی داشته است. در دومین گام ماگمای بازالتی به سطح زمین رسیده و از مجاری و گذرگاه‌های بی‌شماری که به شکل دایک‌های تغذیه کننده می‌باشند، ماگمای بازیک را به کف دریا ریخته‌اند. این مواد در ابتدا ترکیب بازالتی داشته که به سبب جدایش کانی‌های مافیک به سوی ماگمای حدواسط (آندزیتی) گرایش یافته است. در طی گذر از دو پدیده ماگمایی یاد شده یک تحول در ناحیه رخ داده و آن نشست کف حوضه و پیشروی ژرفای دریای لوتسین بوده، که تغییر محیط، بلورین شدن سنگ‌های ماگمایی را از یک شرایط اکسیدان به یک محیط احیا کننده در پی داشته است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵). در پایان ائوسن کاهش نسبی در ژرفای حوضه پدید آمده و مواد آذرآواری دوباره تشکیل شده است. و در پایان ائوسن تا آغاز الیگوسن وضعیت کششی حاکم بر منطقه تغییر یافته، شرایط فشارشی پدید آمده و فعالیت‌های ماگمایی به صورت دایک و توده‌های نفوذی نیمه ژرف با ترکیب سنگ‌شناسی در مرز حدواسط تا اسیدی تشکیل شده است. تراوش‌های تأخیری ماگماتیسم یاد شده دگرسانی‌های گرمایی و کانه‌زایی‌هایی را در منطقه پدید آورده است. فاز کوهزایی پیرنه‌ای پس از ائوسن بر روی سنگ‌ها اثر کرده و در نهایت به چین خوردگی و گسلش منجر شده است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

به‌طور کلی، دگر شکلی در حوضه فرونشستی جنوب رشته کوه ترود نیز تابعی از دینامیک غالب منطقه بوده است، که حداقل از اوایل ائوسن آغاز شده است. ابتدای این تکوین ژئودینامیکی، کشیدگی

یا کشش لغزشی بوده که در برگیرنده کل منطقه کویر بزرگ بوده است. فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن و متعاقب آن رسوبگذاری ائوسن تا الیگوسن پیامد این رخدادها بوده است (خادمی، ۱۳۸۶). گسل‌های معکوس منطقه در اثر پیشرفت جبهه راندگی به سمت جنوب گسل ترود به وجود آمده‌اند در نتیجه رشد گسل‌های جبهه‌ای اصلی (گسل ترود)، کوه‌های کم ارتفاعی در فاصله اندکی از پیشانی کوه‌های اصلی ایجاد شده‌اند و در آن‌ها آثار گسلش معکوس و چین‌خوردگی به‌وفور به چشم می‌خورد. این گسل‌ها دارای گرایش به سمت جنوب‌شرق و شمال‌غرب هستند و احتمالاً گسل‌های عادی قدیمی بوده‌اند، زیرا این حوضه رسوبی نئوژن قبلاً یک حوضه پیش‌ژرفا برای بالافتادگی ترود بوده و در آن گسل‌های عادی عمل کرده است. خادمی و شهریاری (۱۳۸۶) نیز در بررسی ویژگی‌های ساختاری ناحیه ترود آخرین حرکت گسل ترود را راستگرد معکوس که سبب جابجایی در سنگ‌های ائوسن و نیز آبرفت‌های کوتاه‌تر شده، در نظر گرفته‌اند. افزون بر گسل ترود تعدادی گسل دیگر که بطور عمده موازی آن و یا برخی عمود بر آن‌ها هستند در منطقه به چشم می‌خورند (شکل ۲-۲) که برخی گسل‌های مهم موجود منطقه عبارتند از :

گسل سرکویر: گسل دیگری به موازات گسل ترود است که از جنوب معلمان تا کوه کاهوان گسترش آن دیده می‌شود، این گسل به طور عمده در مناطق آبرفتی پوشیده است. ساز و کاری مشابه با گسل ترود دارد و به احتمال زیاد در اعماق با زون گسله ترود یکی می‌شود.

گسل باغو : در شمال ورقه با راستای N70-90E شیب نزدیک به قائم دارد و پائین‌افتادگی بخش شمالی گسل را در پی داشته است. در طولی حدود ۲۰ کیلومتر در ورقه معلمان قابل ردیابی است. سیستم گسلی باغو پس از ائوسن پدید آمده و جای‌گیری رگه‌های در بر دارنده مواد کانه‌دار در این شکستگی‌ها تقریباً هم زمان انجام گرفته است.

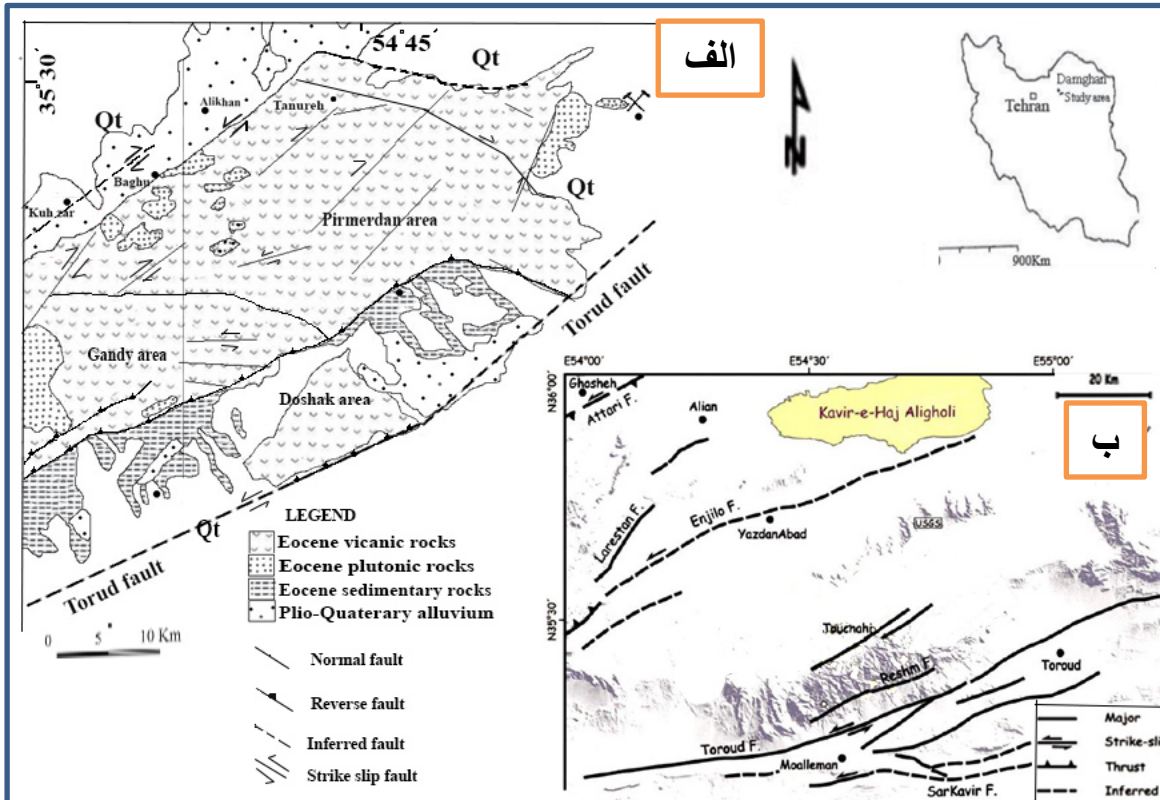
گسل رشم پیرمردان: این گسل نیز راستائی تقریباً موازی با گسل اصلی ترود دارد و از غرب ورقه تا امام زاده پیرمردان و شرق آن گسترش یافته است. این گسل سازوکاری معکوس با شیب رورانده به

شمال دارد که واحدهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و حتی مجموعه سنگی ائوسن بالائی و توده‌های نفوذی را روی واحدهای ائوسن پائینی رانده است. در مجاورت گسل مذکور در پاره‌ای نقاط سنگ‌های میلونیتی شده نیز در سطح زمین رخنمون کمی یافته است.

پهنه گسلی دره حسن امروزه ظاهراً سازکاری معکوس داشته و توده‌های نفوذی، سنگ‌آهک کرتاسه و سنگ‌های میلونیتی شده را در پهنای گسله خود در سطح زمین نمایان کرده است. این گسل در جنوب ده جعفر و امروزه شیب ۸۰ درجه به جنوب نشان داده است.

گسل‌های فرعی دیگری نیز در این زیر پهنه پدید آمده است که نهشته‌های کرتاسه و ائوسن را جابجا کرده‌اند و نشان دهنده آن است که منطقه در زمان انجام این حرکات زیر اثر نیروهای کششی قرار داشته است. به جز راستای N70-90E که همسو با گسل اصلی ترود است گسل‌های دیگری با راستای N40-50E و N40-50W به صورت دو سری شکستگی مزدوج عمل کرده‌اند. پس از آن پاره‌ای از شکستگی‌ها دارای امتداد کلی نزدیک به شمالی-جنوبی دارند که در آن‌ها کانه‌زایی انجام گرفته است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵). بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، کهنسال (۱۳۷۷)، قربانی (۱۳۸۴)، و خادمی (۱۳۸۶) مشخص شده که سنگ‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی منطقه در زون‌های کششی و با عملکرد گسل‌های بزرگ منطقه جایگزین شده‌اند. این شکستگی‌ها نیز محیط‌هایی برای ته نشست کانه‌ها می‌باشند به گونه‌ای که کانی‌زایی‌های طلا، مس، سرب و روی و حتی فیروزه در برخی از این درزه و شکاف‌ها دیده می‌شود.

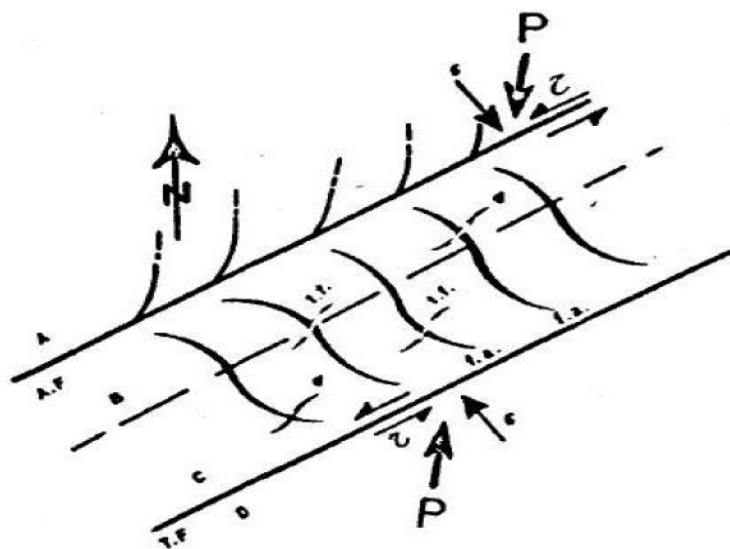
روند چین‌ها در منطقه ترود -چاه‌شیرین، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و در جنوب منطقه بیشتر شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است (قربانی، ۱۳۸۴). هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) عامل تشکیل و عملکرد سامانه برشی انجیلو- ترود را نیروی فشارشی شمال- شمال‌شرقی و جنوب- جنوب‌غربی دانسته‌اند. درزه‌های منطقه مورد مطالعه را می‌توان بر اساس مطالعه ساختاری و بافتی به دو نوع درزه های تکتونیکی منظم و نامنظم تقسیم کرد. به دلیل اینکه سنگ‌های منطقه، آذرین نفوذی می‌باشند و



شکل ۲-۲-الف) نقشه ساختاری منطقه ترود (خادمی و شهریاری، ۱۳۸۶)، و ب) گسل‌های فعال منطقه ترود (حسامی و

همکاران، ۱۳۸۲)

این سنگ‌ها در واکنش به نیروهای زمین‌ساختی دارای مقاومت ژئومکانیکی بالایی هستند، دچار شکستگی‌های فراوان گردیده‌اند که از نظم تکتونیک بر خوردار می‌باشند. به علاوه بر اثر انقباض ناشی از سرد شدن این سنگ‌ها، شکستگی‌های نامنظمی به وجود آمده است. نجاران (۱۳۷۹) با بررسی درزه‌های منظم بر روی نمودار گلسرخی آثار دو تمرکز عمده به مختصات N58E, 75SE, N65E& 55SE تشخیص داده است. در محدوده گسل ترود جهت تنش‌ها به تقریب شمالی-جنوبی بوده است و جهت محور چین‌خوردگی‌ها شمال تا شمال‌شرق بوده و تنش‌های وارده هم به‌نوبه خود به دو دسته عمودی و مماسی تقسیم شده است (شکل ۲-۳).

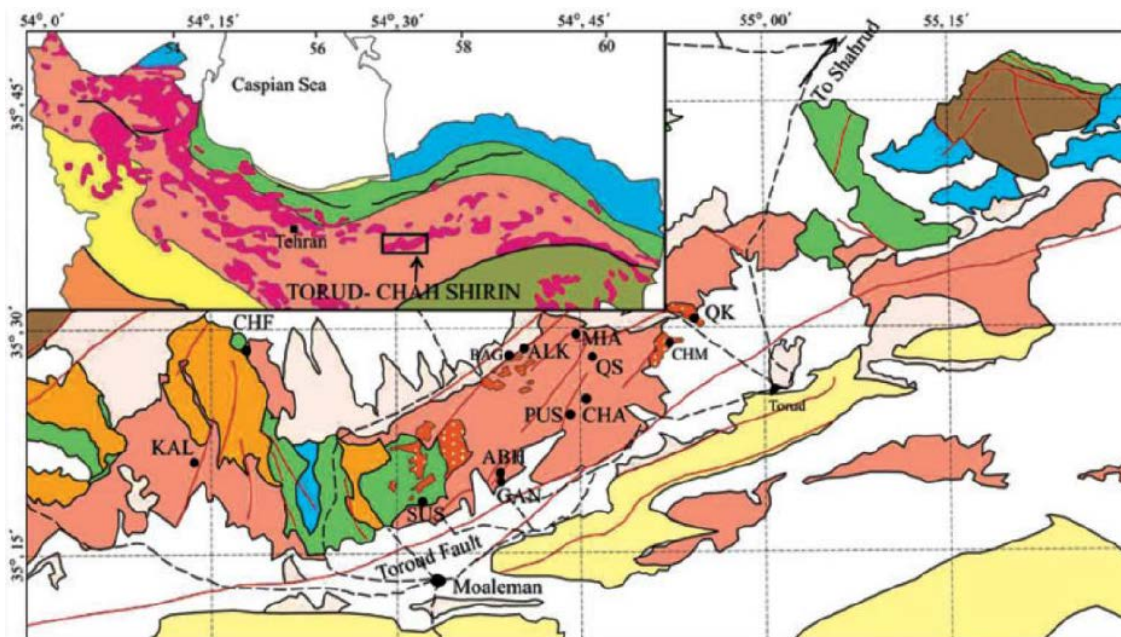


شکل ۲-۳- نقشه گسل‌های اصلی انجیلو و ترود و چگونگی ایجاد چین‌های مارپیچی (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

علاوه بر گسل‌ها، چین خوردگی و سیستم‌های درزه و شکاف یاد شده در فوق، دایک‌ها نیز از عناصر ساختاری قابل توجه و مهم در مجموعه ترود - چاه شیرین می باشند. این دایک‌ها به صورت کلی دارای دو دامنه ترکیبی شامل دایک‌های آندزیتی، آندزیت - بازالت با فراوانی بالا و روند شمال غرب - جنوب شرق، دایک‌های داسیت - ریوداسیتی با فراوانی کمتر و روند شمال شرق - جنوب غرب می باشند.

۲-۲-۵- زمین‌شناسی اقتصادی ترود-چاه شیرین

مجموعه ترود-چاه شیرین میزبان تعداد زیادی ذخیره فلزات پایه و گرانبها است، که نشانگر پتانسیل بالای کانی‌سازی و اهمیت اقتصادی این رشته کوه می باشد. در این منطقه از دیرباز فعالیت‌های معدنی رونق داشته و آثار و شواهد آن به صورت کوره‌های ذوب قدیمی، سرباره‌های باقیمانده ذوب، تونل‌های حفاری و استخراج قدیمی در منطقه، انواع متفاوت اندیس‌های معدنی و معادن فعال در گستره ترود - چاه شیرین نشان‌دهنده اهمیت این زون از نظر زمین‌شناسی اقتصادی می باشد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- نقشه زمین‌شناسی ساده شده کمر بند تورود - چاه شیرین (بر اساس هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷)

بر اساس اطلاعات نقشه شکل (۲-۴) تعدادی از ذخایر فلزی این رشته کوه عبارتند از:

ABH: Abolhassani Pb-Cu; ALK: Alikhan Cu; BAG: Baghou Cu-Au-Trq; CHA: Cheshme Hafez Cu-Pb; CHM: Chah Mossa Cu; CHF: Chah Farakh Cu; GAN: Gandi - Pb-Zn-Cu-Au-Kaol; KAL: Kalut Cu; LAR: Larestan Pb; MIA: Mirali Cu-Au; PUS: Pusideh Pb-Cu; QK: Qoleh Kaftaran Pb- Zn; QS: Qoleh Sokhteh Cu, SUS: Susanvar Pb-Zn

از جمله معادن، کانسارها و اندیس‌های معدنی در ناحیه تورود-چاه شیرین، می‌توان به کوه زر (Au-Cu)، کوه بابا احمد (Pb-Cu)، کوه خنجر (Pb)، کوه انارون (Zn-Pb)، سوسن وار (Pb-Zn)، گندی (Pb-Au-Zn-Cu)، چال (Cu)، زرشکوه (Cu-Pb)، آستانه (Cu-Pb)، باغو (Au-Cu) و فیروزه، کلاته میرعلی (Cu)، کوه دارستان (Au-Cu)، پوسیده (Cu-Pb)، خراسانی (Cu)، خانجار (Pb-Zn)، دهنه سنگاب (Cu)، معدن حافظ (Pb-Zn-Cu)، کوه شاخ (Cu)، کوه ونرگ (Cu)، شرق پیرمردان (Cu-Ba)، کوه توتو (Cu)، جنوب سالاران (Ba)، قله سوخته (Cu)، چاه موسی (Cu)، شرق دره گز (Cu-Ba)، ابوالحسنی (Zn-Pb-Cu)، علیخان (Cu)، چاه فرخ (Cu)، کلوت (Cu)، لارستان (Pb)، قله کفتران (Pb-Zn)، دره بید محمد حسن (Au-Cu)، دیده بان (Au-

(Cu)، دامنه جنوبی گردنه پیه (Au-Cu)، معدن متروکه تنگه (Pb)، چهارسنگ (Pb) اشاره کرد (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷).

به طور کلی انواعی مواد معدنی از قبیل مس، سرب، روی، طلا، فیروزه، آهن، کائولن و سنگ‌های نیمه‌قیمتی از ناحیه ترود-چاه‌شیرین استخراج شده یا در حال استخراج می‌باشد. در زیر اختصاصات چند کانسار مهم از ناحیه ترود-چاه‌شیرین ارائه شده است:

کانسار چند فلزی چشمه حافظ: کانسار چشمه حافظ شامل کانی‌سازی رگه‌ای پلی‌متال (Zn، Pb، Cu، Ag، Au) در سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک با ترکیب غالب آندزیت-بازالتی و داسیت می‌باشد. دگرسانی‌های بارز موجود در کانسار چشمه حافظ شامل کلریتی، کربناتی (معادل پروپیلیتی دما پایین)، سریسیتی، آرژیلیک و سیلیسی می‌باشد. دمای همگن شدگی سیالات کانه‌دار و شوری آن‌ها در منطقه چشمه حافظ ۳۰-۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۴/۷ تا ۱۸ معادل درصد وزنی NaCl (مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹) می‌باشد. ترکیب ایزوتوپی گوگرد در این کانسار در کانی‌های گالن و کالکوپیریت به ترتیب ۰/۲۵ تا ۱/۳۱- و ۰/۰۶ تا ۱/۳۵- بوده است. در این کانسار سیال کانه‌دار احیایی با منشا ماگمایی و دارای ترکیب ایزوتوپی گوگرد ماگمایی و بدون شواهد اصلی جوشش در سیال می‌باشد (حقیقی و همکاران، ۱۳۹۲).

کانی‌شناسی کانسنگ در چشمه حافظ شامل گالن، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت و پیریت می‌باشد. در واقع کانی‌های هیپوزن این کانسار شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، دیژنیت و تتراهدریت بوده در حالیکه کانی‌های سوپرژن این کانسار شامل کوولیت، کالکوسیت، سروزیت، مالاکیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد (مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹). محتوای فلزی این کانسار مشتمل بر Pb، Zn، Cu، Ag، Au بوده و نسبت Ag/Au برابر با ۱۶ تا ۲۵ می‌باشد. بافت و ساخت کانسنگ از نوع پرکننده فضای خالی، نوارهای قشرگون، بافت شانه‌ای در کوارتز، درهم رشدی کانی‌ها و بافت‌های کلوپوم می‌باشد (حقیقی و همکاران، ۱۳۹۲). از نظر تیپ کانی‌سازی چشمه حافظ

از نوع کانسارهای پلی متال اپی ترمال با سولفیداسیون بالا (حقیقی و همکاران، ۱۳۹۲) و اپی ترمال با سولفیداسیون متوسط (مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹) در نظر گرفته شده است.

کانسارچند فلزی طلا- مس - فیروزه باغو-دارستان: در این کانسار، کانی سازی طلا در راستای گسل نرمال دارستان و در سنگهای میزبان توف- برش آندزیتی، داسیت و آندزیت همراه با آلتراسیون سیلیسی، آرژیلیتی و پروپلیتی دیده می شود. روند غالب کانی سازی طلا شمالی-جنوبی بوده که این کانی سازی متاثر از سیالات سیلیسی تاخیری مرتبط با نفوذی های نیمه عمیق می باشد (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹). در کانسار باغو، فیروزه نیز در سنگهای گرانودیوریتی و داسیتی تشکیل شده است. نهشته شدن فیروزه در شکستگی های دارای مولفه فشارشی P و شکستگی های برشی آخرین فاز کانی زایی را تشکیل داده است. تشکیل فیروزه در نتیجه خرج آلونیت و گرهمک های آلومین دار می باشد (لیاقت و همکاران، ۱۳۸۷). دمای همگن شدن سیال کانه دار ۲۷۵-۲۵۲ درجه سانتی گراد و درجه شوری ۹/۵ تا ۲۴/۳ درصد وزنی NaCl در منطقه دارستان بوده در حالیکه در رگه های سیلیسی طلا دار باغو دمای همگن شدن سیالات درگیر ۲۴۰-۲۹۰ درجه سانتی گراد و شوری معادل ۵ تا ۲۵ درصد وزنی بوده است (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹).

کانسار چند فلزی طلا - مس و فیروزه کوه زر: کانی سازی کوه زر با کانی زایی Cu - Au و فیروزه مشخص است. دگرسانی های شاخص در این کانسار پروپلیتیک، فیلک و آرژیلیک پیشرفته می باشد. دگرسانی پروپلیتیک به صورت پراکنده در سنگهای آندزیتی دیده می شود. دگرسانی فیلک گسترده ترین دگرسانی در این کانسار بوده که در سنگهای آذرین درونی و بیرونی دیده می شود. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته درون زون دگرسانی فیلک به صورت رگه ای یا پراکنده دیده می شود. این رگه ها تمام زون های دگرسان شده قبلی را قطع می کنند. در این کانسار سوسوریتی شدن پلاژیوکلاز، کلریتی شدن بیوتیت و آمفیبول، اپیدوتی و کربناته شدن سنگها، جانشینی بلورهای فلدسپار آلکالن توسط سریسیت، جانشینی کانی های فرومنیزین توسط مسکویت نیز دیده می شود.

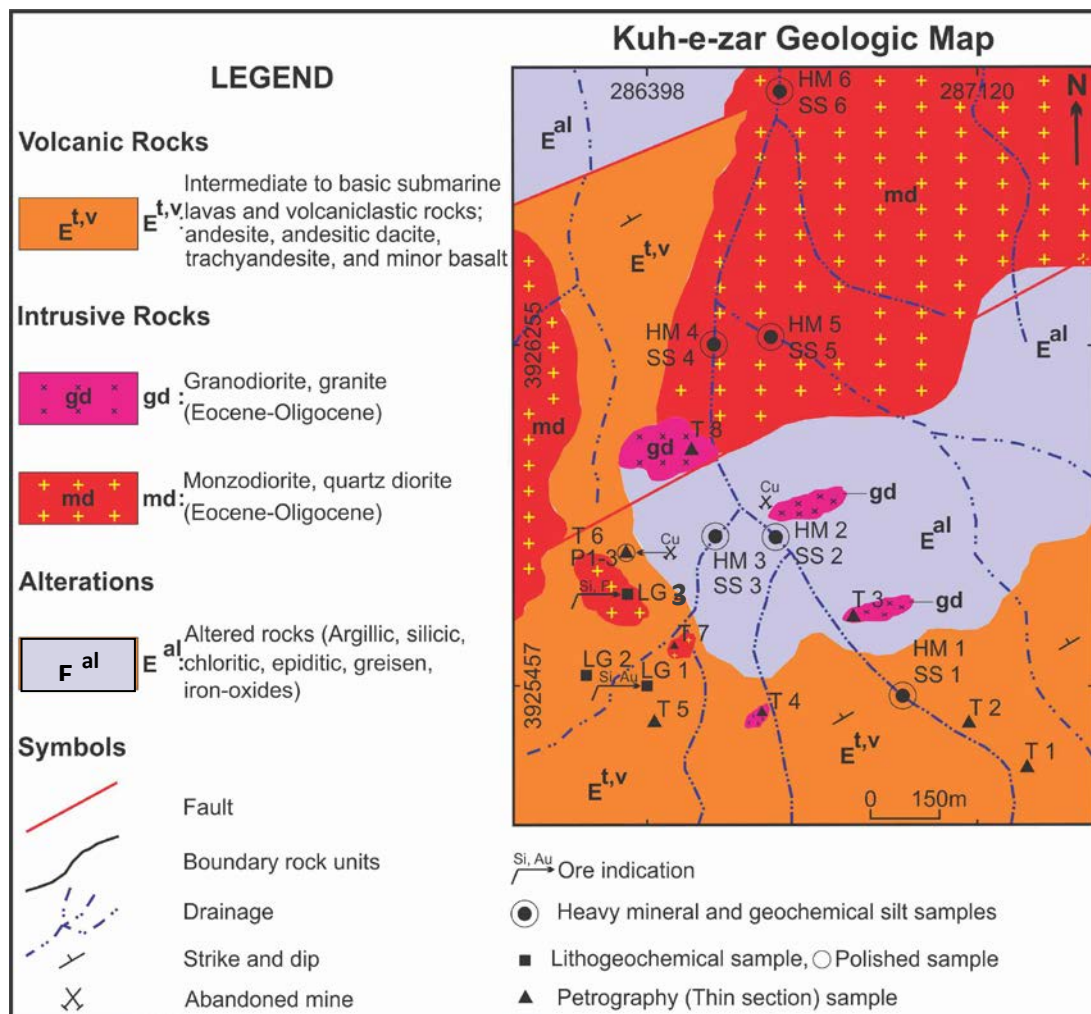
همچنین فیروزه به خرج آلونیت تشکیل شده است. تشکیل فیروزه و کانی‌زایی Cu-Au در این کانسار از نظر دمای همگن‌شدگی سیالات و درجات شوری معادل NaCl بوده است (تقی‌پور و مکی-زاده، ۱۳۹۴).

کانسار چاه موسی و قله کفتران: محدوده معدنی چاه موسی، کلاته چاه موسی و قله کفتران متشکل از سنگ‌های ساب ولکانیک بیوتیت-هورنبلند آندزیت پرفیری (چاه موسی) و بیوتیت-هورنبلند داسیت پرفیری (قله کفتران) با ماهیت کالک آلکالن و معادل گرانیتهای تیپ I بوده که توالی‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های ائوسن را قطع کرده‌اند. کانی‌زایی نوع افشان-رگچه‌ای مس در معدن چاه موسی همراه با دگرسانی‌های فیلیک و پروپلیتیک در توده ساب ولکانیک پرفیری رخ داده است. کانی‌های هیپوژن در این کانسار مشتمل بر پیریت کالکوپیریت و بورنیت بوده و کانی‌های سوپرژن شامل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و نئوتوسیت می باشد. کانی‌زایی افشان-رگچه‌ای مس، سرب، روی محدود به زون گسلی در کلاته چاه موسی با کانی‌شناسی پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، گالن، باریت (کانی‌های هیپوژن و اولیه) و کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، نئوتوسیت (کانی‌های سوپرژن و ثانویه) همراه با دگرسانی فیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی در میزبان بیوتیت-هورنبلند آندزیت پرفیری رخ داده است. در معدن قله کفتران جنوبی رگه‌های سیلیسی کالکوسیت، مالاکیت‌دار در میزبان بیوتیت-هورنبلند داسیت پرفیری مشاهده می‌شود. در معدن متروکه سرب قله کفتران شمالی رگه‌های سرب، روی و مس با کانی‌شناسی گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوسیت، کلسیت و باریت در میزبان بیوتیت-هورنبلند داسیت پرفیری رخ داده است (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۳- زمین‌شناسی منطقه‌ای

منطقه کوه زر در چهارگوش‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود و ۱/۱۰۰۰۰۰۰ معلمان واقع شده است. در این پژوهش بر پایه اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و معدنی پیشین، محدوده‌ی آبراهه‌های پازو و بازارها برای مطالعه‌ی اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای انتخاب

گردید. در بخش زمین‌شناسی منطقه‌ای برای بررسی اثر سنگ‌شناسی و کانه‌زایی بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، واحدهای سنگی رخنمون‌دار در محدوده کوه زر با جزئیات بیشتری مطالعه شده است. اطلاعات زمین‌شناسی این بخش بر پایه داده‌های زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵) و برداشت‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و معدنی تحقیق حاضر می‌باشد (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- نقشه زمین‌شناسی بازنگری شده محدوده کوه زر (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵)).

بخش اعظم رخنمون‌های سنگی محدوده مورد بررسی را سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت و داسیت تشکیل می‌دهند که قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه معدنی هستند. این مجموعه تحت تاثیر تزریق توده‌های نفوذی عمیق تا نیمه عمیق با ترکیب غالب

گرانودیوریت، گرانیت، مونزودیوریت و کوارتز دیوریت قرار گرفته است. بر اساس مورفولوژی و عملکرد گسل باغو منطقه کوه زر- باغو به دو بخش قابل تقسیم است:

۱- بخش شمال غربی منطقه (دشت باغو) که عمدتاً از تراس‌های آبرفتی قدیمی رسوبات پهنه دشت-ها و آبرفت‌های جوان رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند، که گاه‌گاه نهشته‌های مارنی، ماسه‌سنگی و تبخیری میوپلیوسن در داخل آن‌ها رخنمون دارند. لازم به ذکر است که تراس‌های آبرفتی قدیمی و آبرفت‌های جوان رودخانه‌ای به لحاظ کانه طلا حائز اهمیت هستند و به عنوان پلاسره‌های طلا دار کوه زر معروف می‌باشند.

۲- بخش جنوب گسل باغو که منطقه‌ای کوهستانی با شکستگی‌ها و گسلش فراوان می‌باشد و رخنمون‌ها عمدتاً سنگ‌های ولکانیکی ائوسن میانی با ترکیب غالب حدواسط می‌باشند و توده‌های نفوذی گرانودیوریتی، گرانیتی، مونزودیوریتی و کوارتز دیوریتی قطع‌کننده آن‌ها هستند که برونزدهای مرتفعی را با روند شمال شرق- جنوب غرب به نمایش می‌گذارند. بیشتر معدنکاری قدیمی روی این واحدهای سنگی صورت پذیرفته است. دایک‌های پورفیری نیز در منطقه قطع‌کننده این واحدهای سنگی می‌باشند. رگه‌های کوارتز و کوارتز-تورمالین نیز در این منطقه دیده می‌شوند. روند عمومی ساختمانی منطقه مورد مطالعه در بخش‌های جنوبی محدوده هم روند با گسل باغو می‌باشند.

برپایه شواهد زمین‌شناسی صحرایی و مطالعات پتروگرافی، رخنمون‌های سنگی در محدوده کوه زر (حوضه آبریز پازو) شامل سنگ‌های آتشفشانی، توده نفوذی و رگه‌های سیلیسی می‌باشد. در ادامه هر یک از رخنمون‌های سنگی از قدیم به جدید توصیف می‌گردد.

۲-۳-۱- سنگ‌های آتشفشانی

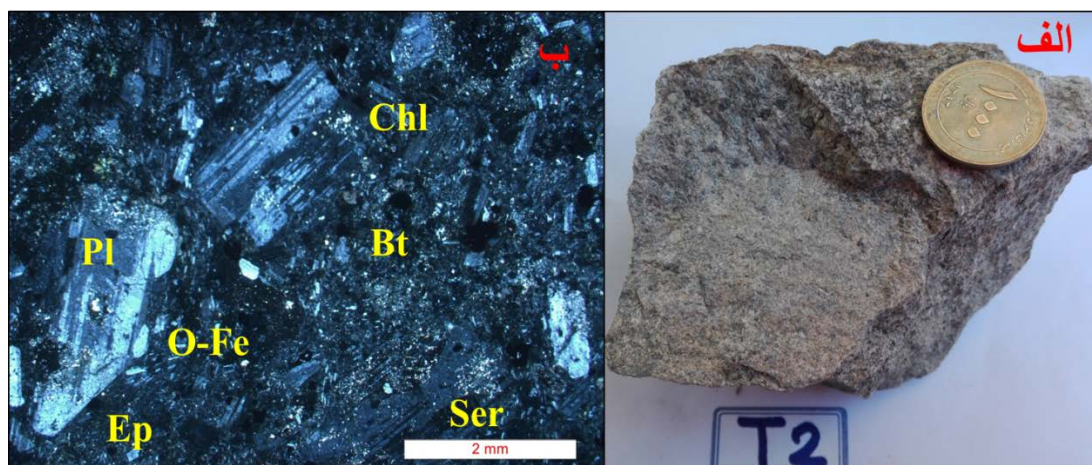
بر پایه مشاهدات صحرایی، سنگ‌های آتشفشانی در محدوده کوه زر شامل تناوبی از گدازه و سنگ‌های آذرآوری با ترکیب آندزیت، تراکی‌آندزیتی، آندزیت بازالتی و بازالت می‌باشد. در نقشه زمین‌شناسی

محدوده کوه زر این واحدسنگی با علامت $E^{t,v}$ نشان داده شده است، و دارای سن احتمالی ائوسن می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی به‌صورت تناوبی از گدازه و توف آندزیتی تا بازالتی است و تفکیک آن‌ها به‌عنوان یک واحد زمین‌شناسی مستقل بر روی نقشه امکان‌پذیر نمی‌باشد (شکل ۲-۵). در پژوهش حاضر تعداد ۴ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی برای مطالعات سنگ‌نگاری انتخاب گردید و نتایج مطالعات جنس سنگ‌ها را آندزیت، تراکی آندزیت و بازالت تایید می‌نماید. در ادامه هر یک از واحدهای سنگی آتشفشانی بطور جداگانه شرح داده شده است :

آندزیت : آندزیت جزء سنگ‌های آذرین بیرونی حدواسط هستند، که مانند بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی بصورت گدازه و به شکل سیل و دایک دیده می‌شوند. آندزیت در نمونه‌های دستی به‌رنگ خاکستری تا سبز مشاهده می‌شود. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها درشت بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و به‌ندرت پیروکسن است. بر اساس خصوصیات نوری پلاژیوکلازها دارای ماکل-های تکراری ضخیم، منطقه‌بندی، خردشدگی هستند، و در قسمت‌هایی هم به سریسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. همچنین دارای فنوکریست‌های پیروکسن با ماکل و مقاطع هشت وجهی بوده است. آمفیبول، بیوتیت و به‌ندرت پیروکسن به‌صورت بلورهای درشت در این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند، که در برخی از نمونه‌ها تبدیل شدگی به کلریت و اکسیدهای آهن نشان می‌دهند علاوه بر آن مقداری کانی اپاک نیز در زمینه سنگ دیده می‌شوند. کانی‌های هورنبلند بیشتر تبدیل به کلریت و اپیدوت گردیده‌اند. کلسیت، کلریت، اکسیدهای آهن و سریسیت حاصل دگرسانی کانی‌های اولیه می‌باشند. موقعیت نمونه شماره T2 در نقشه شکل (۲-۵) ، تصاویر نمونه دستی و مقطع نازک نمونه T2 ترکیب آندزیتی در شکل (۲-۶) آورده شده است.

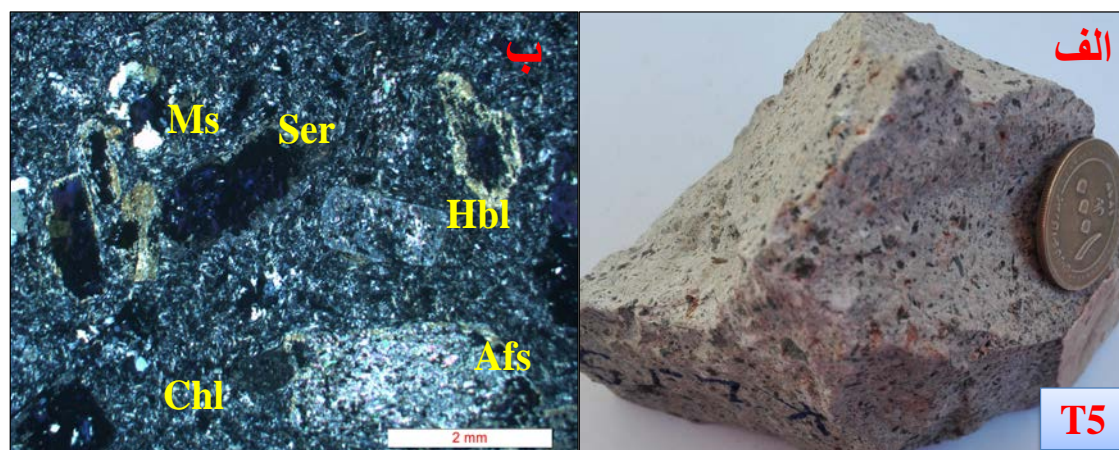
تراکی آندزیت: این واحد سنگی آتشفشانی در محدوده کوه زر گسترش زیادی دارد، و در قسمت-هایی به‌شدت دگرسان شده است. گدازه‌های تراکی آندزیت بافت پورفیری دارند و رنگ آن‌ها در

نمونه‌های دستی از خاکستری تا سبز تیره در تغییر می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها درشت بلورهای دگرسان شده پلاژیوکلاز، فلدسپات آکالن و هورنبلند است.



شکل ۲-۶- الف) تصویر نمونه دستی واحد آندزیتی، و ب) تصویر میکروسکوپی از نمونه آندزیت دگرسان شده (T2) که بافت پورفیری و زمینه میکروکریستالین دارد.

پلاژیوکلاز دانه درشت دارای ماکل‌های تکراری بوده و هم به صورت میکروولیت در زمینه پراکنده است. پیروکسن، فلدسپار پتاسیم‌دار، آمفیبول، کانی‌های اپاک و کوارتز نیز در این نمونه مشاهده می‌شود. کلریت، کلسیت، سریسیت و اپیدوت کانی‌های ثانویه سنگ هستند (شکل ۲-۷).



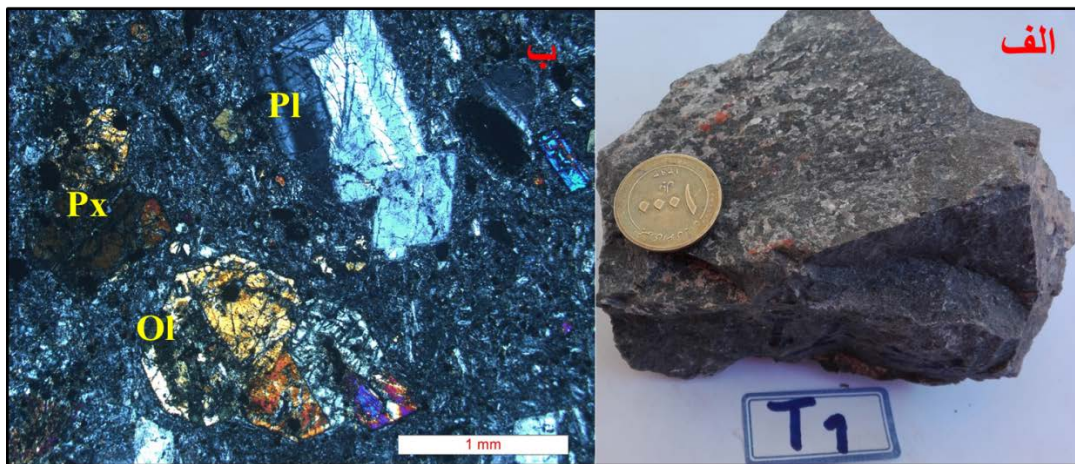
شکل ۲-۷- الف) نمونه دستی تراکی آندزیت که بافت پورفیری به‌وضوح مشاهده می‌شود، ب) تصور میکروسکوپی تراکی

آندزیت که در آن دگرسانی فلدسپارها، پیروکسن و هورنبلند مشهود است. این سنگ دارای بافت پورفیری با زمینه

میکروولیتی است.

موقعیت نمونه شماره T5 در نقشه شکل (۲-۵) و تصاویر نمونه دستی و مقطع نازک آن با ترکیب تراکی آندزیتی در شکل (۲-۷) آورده شده است.

بازالت: گدازه‌های بازالت در مشاهدات صحرایی به رنگ سیاه تا خاکستری دیده شده‌اند. این نمونه سنگ با دانه‌بندی متوسط، بافت پورفیریتیک دارد، و از لحاظ ویژگی پتروگرافی دارای بلورهای درشت پلاژیوکلاز، پیروکسن و اولیوین است، که در زمینه‌ای از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول، الیوین و کانی‌های تیره قرار دارند. این سنگ متحمل دگرسانی خفیفی شده است و از کانی‌های ثانویه و دگرسانی می‌توان به کلریت، سریسیت، اپیدوت، کلسیت، اکسید آهن و کانی‌های تیره اشاره نمود. حفرات و شکستگی‌های سنگ توسط کلسیت پر شده است (شکل ۲-۸). موقعیت نمونه شماره T1 در نقشه شکل (۲-۵) نشان داده شده است، و ترکیب بازالتی دارد. تصاویر نمونه دستی و مقطع نازک نمونه T1 در شکل (۲-۸) آورده شده است.



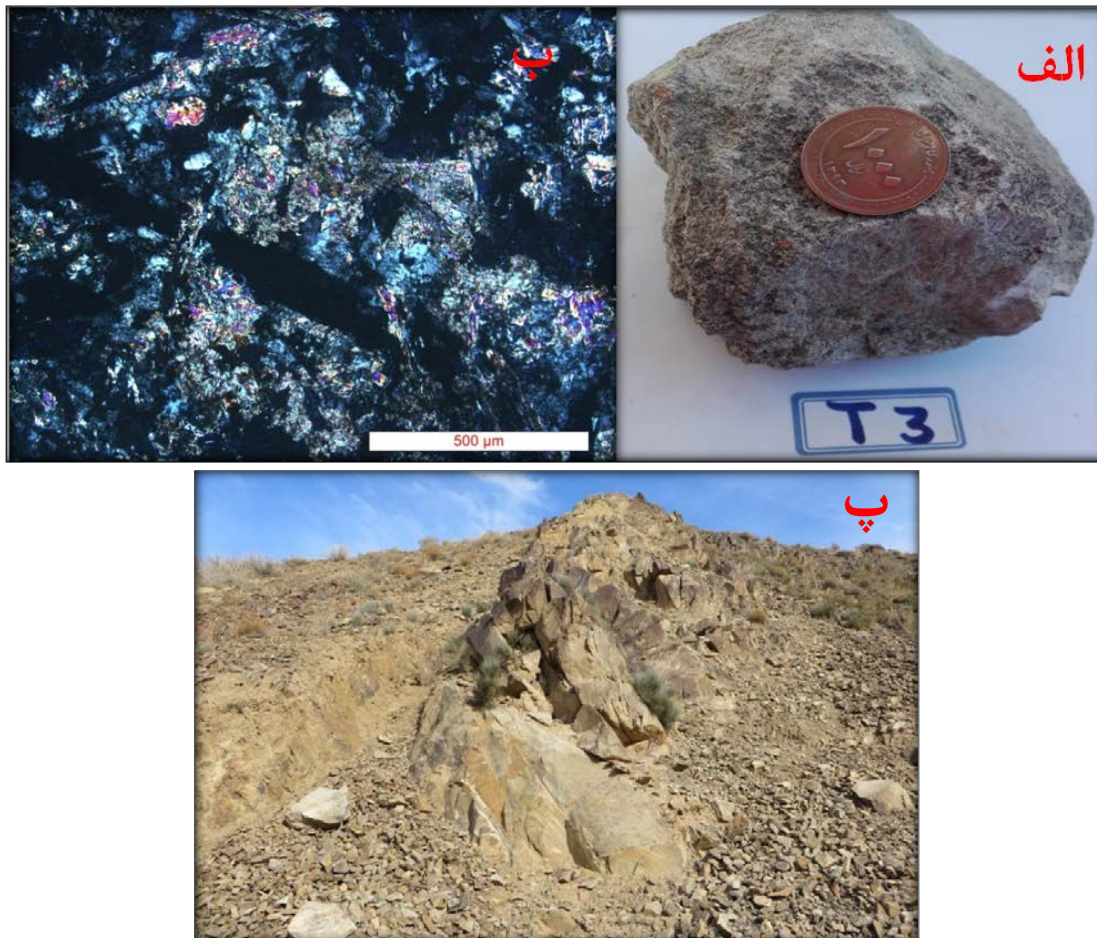
شکل ۲-۸-الف) تصویر نمونه دستی از بازالت به رنگ خاکستری تیره و بافت پورفیری، و ب) تصویر میکروسکوپی از بازالت با بافت پورفیریتیک که در آن بلورهای درشت پلاژیوکلاز، اولیوین و پیروکسن در زمینه‌ای از پلاژیوکلازهای کانی‌های مافیک ریز دانه قرار گرفته‌اند.

۲-۳-۲- توده‌های نفوذی

فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن که پدیدآورنده سنگ‌های گدازه‌ای و آذرآواری محدوده کوه زر ($E^{t.v}$) بوده است، به وسیله توده‌های نفوذی ائوسن- اولیگوسن قطع شده‌اند. بر پایه شواهد صحرایی و نقشه

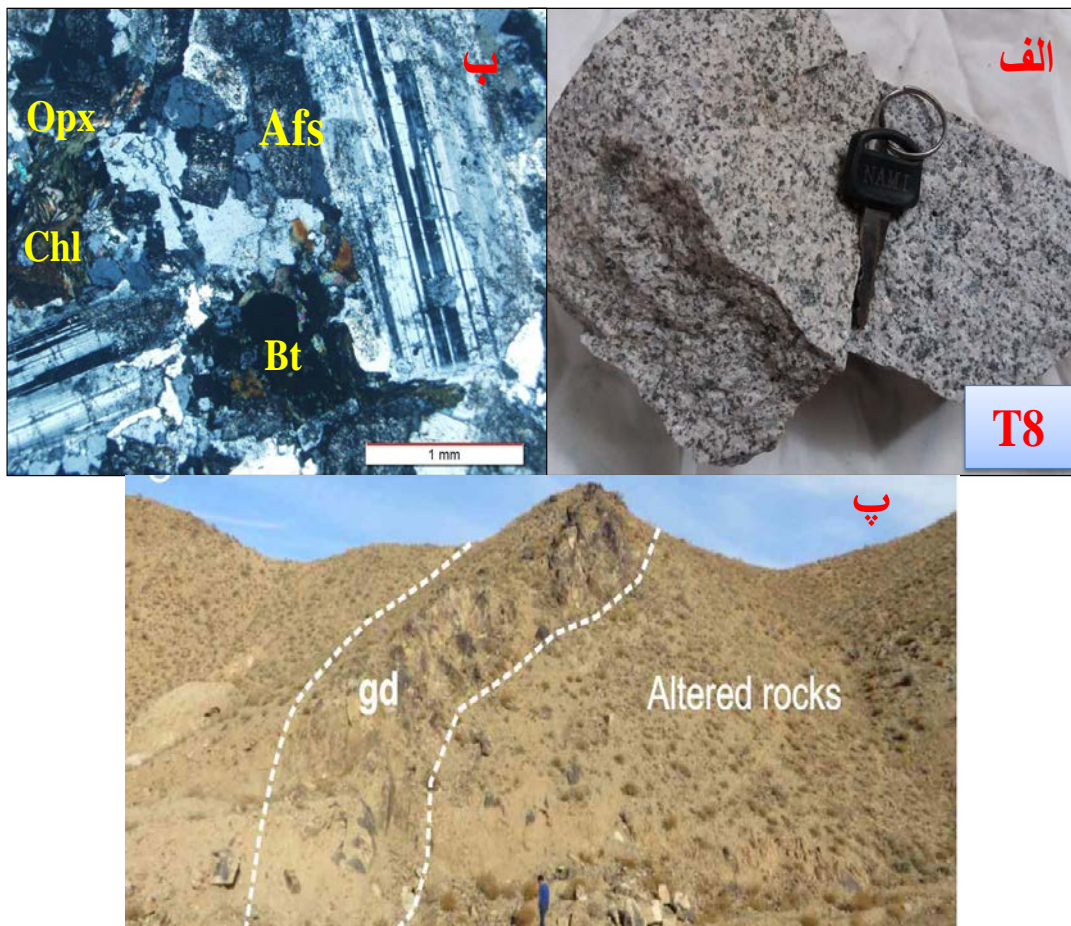
زمین‌شناسی محدوده کوه زر (شکل ۲-۵)، توده‌های نفوذی در منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های گرانودیوریت (gd)، کوارتز دیوریت و مونزودیوریت (md) است (شکل ۲-۵). این سنگ‌ها در ناحیه معلمان اغلب در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها رخنمون یافته، و سنگ‌های آتشفشانی و واحدهای گوناگون پالئوزوئیک تا اواخر ائوسن را قطع کرده‌اند، لذا پیدایش آن‌ها را به اواخر ائوسن و الیگوسن نسبت داده‌اند. در این پژوهش، تعداد ۴ نمونه از سنگ‌های نفوذی برای مطالعات سنگ‌نگاری انتخاب گردید، و نتایج مطالعات سنگ‌نگاری جنس آن‌ها را گرانودیوریت، گرانودیوریت تومالین‌دار دگرسان شده، کوارتز دیوریت و مونزودیوریت نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از سنگ‌های نفوذی به‌طور جداگانه بررسی شده است:

گرانودیوریت: گرانودیوریت‌ها سنگ‌های آذرین درونی اسیدی تمام بلورین دانه درشت تا دانه متوسط هستند، که در محدوده کوه زر به‌صورت رخنمون‌های کوچک مشاهده می‌شوند. این سنگ‌های نفوذی با نماد gd در نقشه زمین‌شناسی کوه زر نشان داده شده است (شکل ۲-۵). گرانودیوریت به‌صورت توده‌های کوچک و دایک در منطقه مشاهده می‌شوند و در همیافتی نزدیک با توده‌های مونزونیتی-کوارتز دیوریتی هستند. بافت این سنگ‌ها در مطالعات میکروسکوپی گرانولار بوده و بلورهای درشت آن را پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و کم و بیش آرژیلیتی شده، کوارتز درشت بلور و شکل‌دار و فلدسپات آلکالن پدید آورده‌اند. بیوتیت به کلریت و اپاک تجزیه شده و زمینه سنگ از کانی‌های ثانویه رسی، کلریت، کلسیت و اکسیدهای آهن ساخته شده است (شکل‌های ۲-۹ و ۲-۱۰). کانی‌های اپاک، آپاتیت و زیرکن به‌عنوان کانی‌های فرعی در سنگ مشاهده می‌شود. سن این توده در حدود ائوسن پسین تا الیگوسن آغازین در نظر گرفته می‌شود (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵). موقعیت نمونه‌های شماره‌های T3 و T8 در نقشه شکل (۲-۵) نشان داده شده است، و ترکیب گرانودیوریتی دارند. تصاویر نمونه‌های دستی و مقاطع نازک نمونه‌های شماره‌های T3 و T8 در شکل‌های (۲-۹) و (۲-۱۰) آورده شده است.



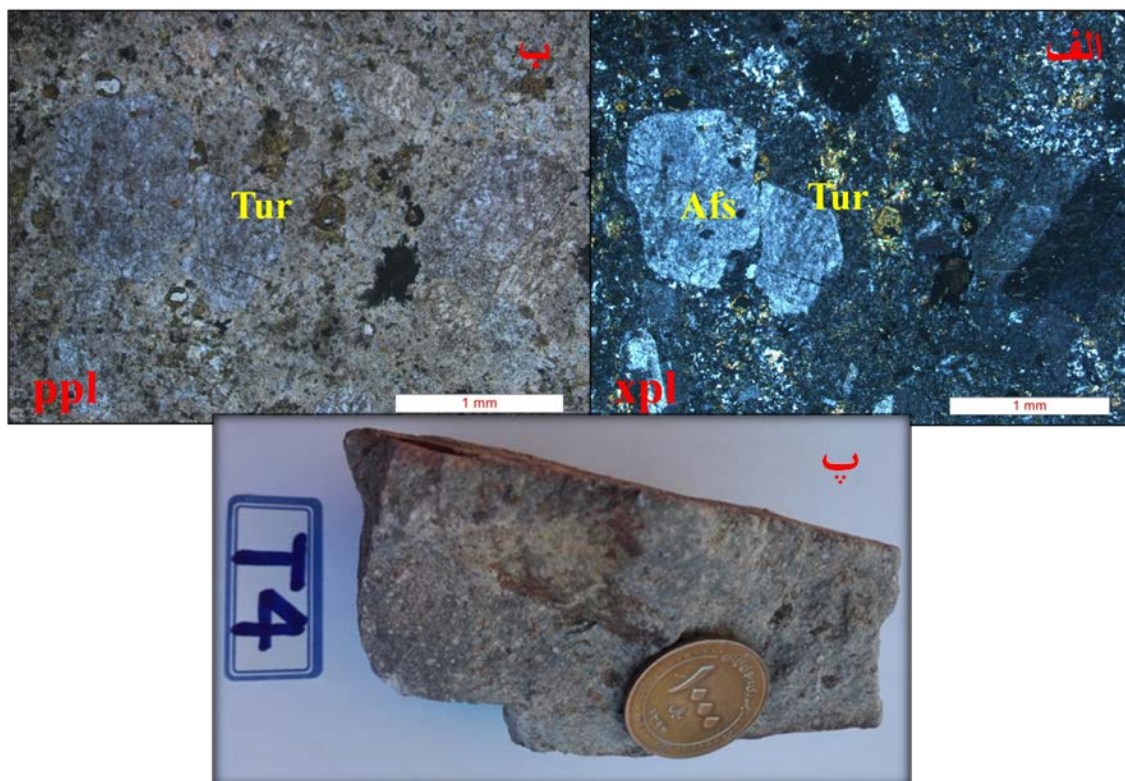
شکل ۲-۹- الف) نمونه دستی از سنگ گرانودیوریت، ب) تصویر میکروسکوپی از گرانودیوریت که سریسیتی، کلریتی و اپیدوتی شدن نمایان است، و پ) رخنمون گرانودیوریت که نمونه T3 از این مکان برداشت شده است (دید به سمت شمال شرق).

گرانودیوریت تورمالین دار دگرسان شده: این سنگ با سن احتمالی الیگوسن به شدت دگرسان شده است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ عبارتند از پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات، آمفیبول، کوارتز و به ندرت پیروکسن است. در این نمونه رگه-رگچه‌های کوارتز-تورمالین به وفور مشاهده می‌شود. کانی تورمالین از بارزترین کانی‌های سیلیکاته در سنگ‌های گرانیتی است (Slack et al., 1984). این کانی به علت داشتن دامنه پایداری وسیع در شرایط T-P در انواع سنگ‌های آذرین اسیدی به عنوان کانی فرعی در شناخت محیط و شرایط تشکیل سنگ میزبان خود استفاده می‌شود (Nicholson, 1980).



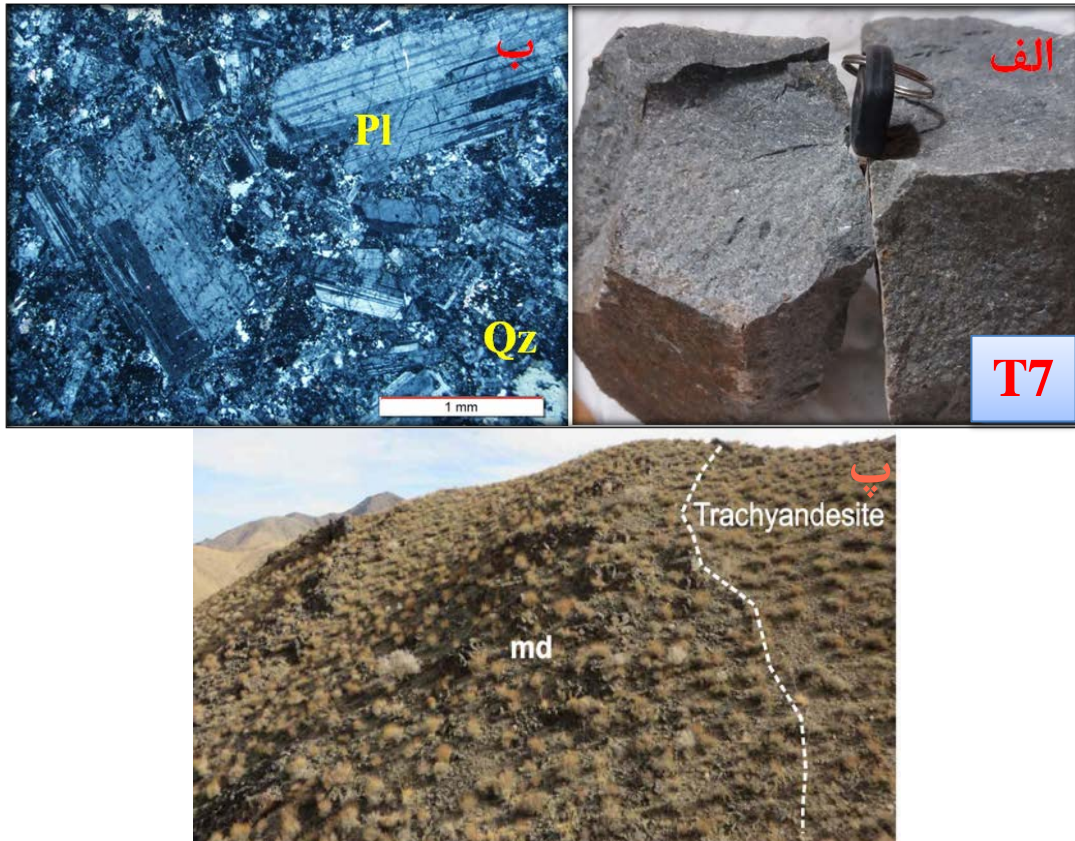
شکل ۲-۱۰-الف) تصویر نمونه دستی از سنگ گرانودیوریت، ب) تصویر میکروسکوپی گرانودیوریت که کانی‌های فلدسپار پتاسیم‌دار، پلاژیوکلاز، و بیوتیت و نیز کلریتی شدن کانی‌های مافیک مشهود است. پ) تصویر صحرایی از توده گرانودیوریت در سنگ‌های التره (دید به سمت جنوب غرب).

ولی کانی‌های اولیه سنگ به کانی‌های ثانویه تبدیل گردیده‌اند. کانی‌های دگرسانی شامل مسکویت، سرسیت، کلریت، اکسیدهای آهن، کلسیت، کوارتز و تورمالین می‌باشد. موقعیت نمونه شماره T4 در نقشه شکل (۲-۵) نشان داده شده است، و ترکیب گرانودیوریت تورمالین‌دار دارد. تصاویر نمونه دستی و مقطع نازک نمونه شماره T4 در شکل (۲-۱۱) آورده شده است.



شکل ۲-۱۱- الف و ب) تصاویر میکروسکوپی در حالت‌های ppl و xpl که در آن کانی‌های حاصل از دگرسانی از قبیل تورمالین، سریسیت، کانی‌های رسی و کوارتز و درشت بلورهای اولیه فلدسپار پتاسیم‌دار مشاهده می‌شوند، و پ) تصویر نمونه دستی گرانودیوریت تورمالین‌دار.

مونزودیوریت-کوارتز دیوریت: مونزودیوریت‌ها سنگ‌های آذرین درونی حدواسط تمام بلورین دانه متوسط هستند و به رنگ‌های خاکستری روشن تا سبز خاکستری در منطقه به مقدار زیادی برونزد دارند (شکل ۲-۵). بافت این سنگ‌ها در مطالعات میکروسکوپی گرانولار تا پورفیری تشخیص داده شده است که غالباً از بلورهای درشت پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار و کانی‌های مافیک از جمله هورنبلند و بیوتیت تشکیل شده است (شکل ۲-۱۲). زمینه سنگ را کانی‌های ریز فلدسپار و کوارتز تشکیل می‌دهند. از دیگر کانی‌های زمینه سنگ می‌توان به کلریت، اپیدوت، سریسیت، مسکویت و کانی‌های اوپاک اشاره کرد. این سنگ متحمل دگرسانی شده، و دگرسانی آن بیشتر از نوع سریسیتی است. موقعیت نمونه شماره T7 در نقشه شکل (۲-۵) نشان داده شده است، و ترکیب مونزودیوریت دارد. تصاویر نمونه دستی و مقطع نازک نمونه شماره T7 در شکل (۲-۱۲) آورده شده است.



شکل ۲-۱۲- الف) نمونه دستی سنگ مونزودیوریتی، ب) تصویر میکروسکوپی از سنگ مونزودیوریتی با بافت گرانولار که در قسمت‌هایی پلاژیوکلاز به سریسیت دگرسان شده اند. پ) تصویر صحرایی از توده مونزودیوریتی در سنگ‌های تراکی اندزیت (دید به سمت شمال شرق).

۲-۳-۳- رگه‌های سیلیسی

در محدوده کوه زر و حوضه آبریز پازو تعدادی رگه سیلیسی و سیلیسی-اکسید آهنی در سنگ‌های میزبان آتشفشانی و نفوذی مشاهده می‌گردد، که در ارتباط با فعالیت‌های پسین ماگمایی هستند. این رگه‌ها از سامانه‌ی شکستگی‌ها و درزه‌ها تبعیت کرده و دارای جهت امتداد عمومی N46E و شیب 75 درجه به سمت غرب و شمال‌غرب می‌باشند. وجود این رگه‌ها یکی از عوامل انتخاب آبراهه پازو برای هدف مطالعه بوده است، و در گزارشات اکتشافی پیشین مستعد کانه‌زایی طلا معرفی شده‌اند (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱؛ صفری و همکاران، ۱۳۷۵). بر پایه مشاهدات صحرایی تحقیق حاضر این رگه‌ها به سه دسته سیلیسی، سیلیسی-اکسید آهنی و سیلیسی-فلدسپاتی تقسیم شده‌اند.

رگه‌های سیلیسی: این رگه‌ها عمدتاً از کانی کوارتز تشکیل شده‌اند، که به صورت لایه‌بندی قشر گونه، توده‌ای و ژئود شکستگی‌های سنگ‌های میزبان را پر کرده‌اند. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری میزبان رگه‌های سیلیسی گدازه‌های تراکی‌اندزیتی و توده‌های مونزودیوریتی بوده (شکل ۲-۱۳) و دارای امتداد عمومی $N46^{\circ}E$ و شیب 75° درجه به سمت غرب و شمال‌غرب می‌باشند. از نظر کانه-زائی آثار پراکنده‌ای از پیریت، کالکوپیریت و مالاکیت در رگه‌ها مشاهده گردیده است. ضخامت رگه‌ها از حدود ۳۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر متغیر است و متوسط ضخامت آن‌ها در حدود ۸۰ سانتی‌متر است. طول رخنمون این رگه‌ها در محل برداشت به بیش از ۳۰۰ متر می‌رسد. از این رگه یک نمونه لیتوژئوشیمی معرف به شماره KZ-LG01 در موقعیت مکانی $X=286398$ و $Y=3925457$ به روش چپ یا خرده سنگی برداشت گردید به عبارتی تعداد بیش از ۵۰ قطعه کوچک سنگ به ابعاد تقریبی ۳ تا ۵ سانتی‌متر از قسمت‌های مختلف رگه اخذ شد به‌طوری‌که وزن کلی نمونه معرف در حدود ۷ کیلوگرم بود. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه مربوط به این رگه در جدول ۲-۱ آمده است.



شکل ۲-۱۳- برونزد رگه سیلیسی در سنگ میزبان تراکی‌اندزیتی (دید به سمت شرق).

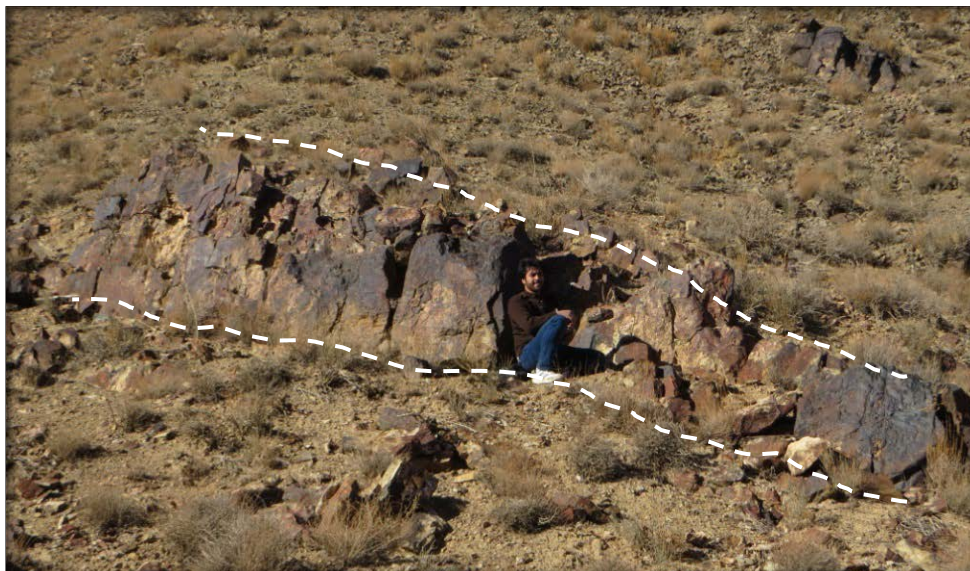
رگه‌های سیلیسی-اکسید آهنی: علاوه بر رگه‌های سیلیسی که توصیف گردید، رگه‌های سیلیسی-اکسید آهنی هم در منطقه مشاهده می‌گردد (شکل ۲-۱۴). این رگه‌ها از کانی‌های کوارتز، هماتیت،

گوتیت، لیمونیت، تشکیل یافته و دارای امتداد و شیب همانند رگه‌های سیلیسی می‌باشند. سنگ میزبان این رگه‌ها گدازه‌های تراکی آندزیت و توده‌های مونزودیوریتی است طول رخنمون این رگه‌ها در حدود ۶۵ متر و متوسط ضخامت آنها از ۵۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند. آثاری از کانی‌زائی مس در این رگه‌ها مشاهده نگردید. از این رگه‌ها نمونه لیتوژئوشیمیایی KZ-LG02 با موقعیت مکانی $X=286384$ و $Y=3925483$ به روش چپ یا خرده سنگی برداشت شده است.

رگه‌های سیلیسی-فلدسپاتی: برخی از رگه‌ها در محدوده کوه زر ماهیت کوارتز-فلدسپاتی دارند (شکل ۲-۱۵) و از نظر سنگ میزبان و مشخصات تکتونیکی مشابه رگه‌های قبلی بوده و همچنین دارای ضخامت متوسط ۲متر و دارای ۴۰متر طول رخنمون هستند. از این رگه‌ها با موقعیت مکانی $X=286442$ و $Y=3925625$ نمونه لیتوژئوشیمیایی KZ-LG03 به روش قطعه سنگی برداشت شده است.



شکل ۲-۱۴- نمایی از رگه‌های سیلیسی-اکسید آهنی (نگاه به سمت شمال غرب).



شکل ۲-۱۵- نمایی از تصویر رگه سیلیسی- فلدسپاتی (نگاه به سمت غرب).

۲-۳-۴- ژئوشیمی رگه‌های سیلیسی

به منظور مطالعه بیشتر و بررسی توزیع ژئوشیمیایی طلا در سیستم‌های مختلف رگه‌ای تعداد ۳ نمونه معرف به روش لپبری یا قطعه سنگی برداشت شد. موقعیت برداشت نمونه‌ها در نقشه زمین‌شناسی محدوده کوه زر مشخص شده است (شکل ۲-۵). وزن اولیه هر نمونه در حدود ۷ کیلوگرم بوده است و نمونه مربوط به هر ایستگاه نمونه‌برداری به صورت مجزا بسته‌بندی شد و شماره‌ی آن روی کیسه نمونه ثبت گردید. کلیه نمونه‌ها جهت آماده‌سازی به آزمایشگاه نمونه‌کوبی ارسال شد. نمونه‌ها، ابتدا به وسیله دستگاه سنگ شکن فکی، یک‌بار با فک باز و بار دیگر با فک بسته، خردایش شده و به ذرات ریزتر (با قطر حدود ۵ میلی‌متر) تبدیل شدند. سپس نمونه چند بار از تقسیم‌کن عبور داده شده و مقدار حدود ۵۰۰ گرم آن برای دستگاه آسیاب (مرحله نرمایش) انتخاب شد (در تقسیم کردن نمونه اصلی به نحوی بایستی عمل شود که نمونه نهایی معرف واقعی از نمونه برداشت شده روی زمین باشد). نمونه در دستگاه آسیاب برای مدت ۹۰ دقیقه تا حدود ۲۰۰- مش آسیاب می‌گردد تا کاملاً هموزن شود (شکل ۲-۱۶).



شکل ۲-۱۶- مراحل خردایش و نمایش نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی.

هر نمونه پس از مرحله نمایش به دو قسمت تقسیم شده است، یک قسمت آن برای آنالیز به آزمایشگاه زرآما ارسال گردید و قسمت دیگر آن در بایگانی نگهداری شده است. روش تجزیه نمونه‌ها برای طلا غال‌گذاری (Fire Assay) و برای سایر عناصر ICP-OES بوده است. نتایج تجزیه شیمیایی ۳ نمونه برای عناصر مختلف در جدول (۲-۱) آمده است.

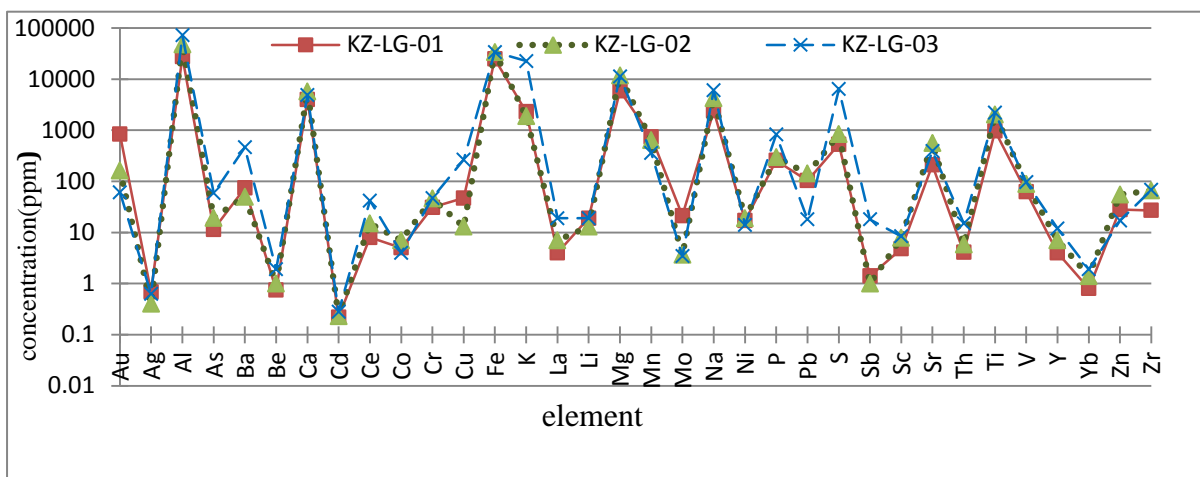
جدول ۲-۱- مقادیر غلظت عناصر مختلف در ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی از رگه‌های سیلیسی محدوده کوه زر.

Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg
Unit	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	5	0.1	100	0.5	5	1	100	0.1	1	1	1	1	100	100	1	1	100
Method	F.A	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP
KZ-LG-01	834	0.69	27316	11.5	74	<1	3951	0.22	8	5	31	47	24795	2291	4	19	5897
KZ-LG-02	162	0.4	47347	19.3	50	1	5739	0.23	15	7	46	13	33747	1877	7	13	11766
KZ-LG-03	61	0.63	71915	58.8	461	1.9	4837	0.28	42	4	47	265	33663	22531	19	19	11277
Element	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	U	V	Y	Yb	Zn	Zr
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	0.5	100	1	10	1	50	0.5	0.5	2	0.5	10	5	1	0.5	0.2	1	5
Method	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP
KZ-LG-01	21.3	2394	17	256	103	530	1.41	4.8	209	4.1	968	<5	63	4	0.8	28	27
KZ-LG-02	3.65	4234	19	296	142	836	1	7.8	557	5.8	2029	<5	89	7	1.4	55	66
KZ-LG-03	3.43	6028	14	826	18	6370	18	8.4	390	15.1	2188	<5	97	12	1.9	17	68

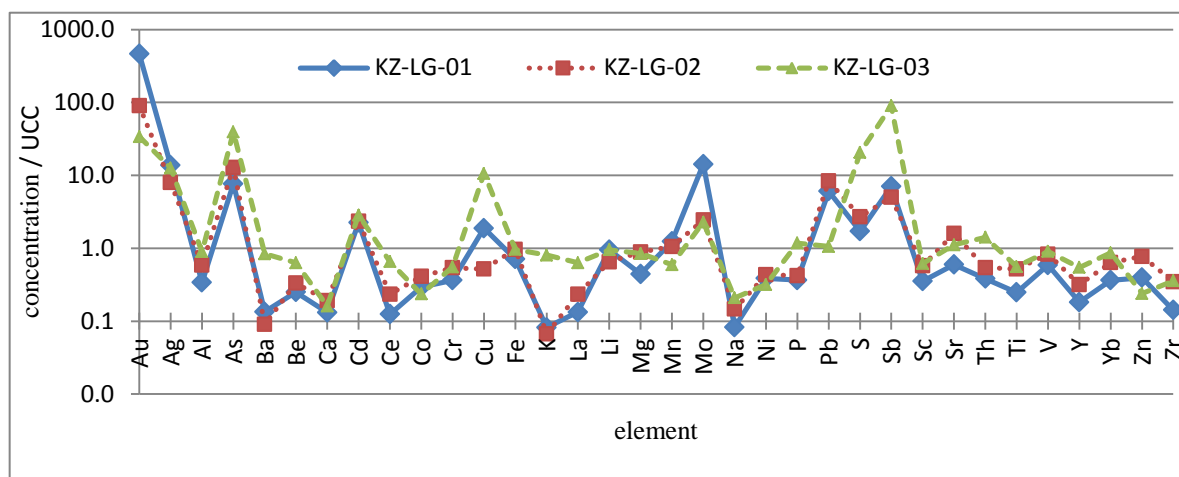
برای سهولت تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی، مقادیر غلظت ۳۲ عنصر برای ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی به صورت نمودار خطی ترسیم شده است (شکل ۲-۱۷). علاوه بر این، برای ارزیابی میزان غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در رگه‌های سیلیسی، مقادیر خام غلظت عناصر در ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی به مقادیر غلظت آن‌ها در پوسته قاره‌ای بالایی (Taylor and McLennan, 1995) نرمالیزه شده است (شکل ۲-۱۸).

مطالعه‌ی توزیع ژئوشیمیایی عناصر در ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی از رگه‌های سیلیسی نشان می‌دهد که الگوی ژئوشیمیایی برای نمونه‌های هر ۳ رگه مشابه یکدیگر است. بنابراین فرآیند موثر در تشکیل این رگه‌ها یکسان بوده است. اگرچه روند تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر در کلیات مثل هم می‌باشد ولی در پاره‌ای از نمونه‌ها میزان غنی‌شدگی برخی از عناصر قابل ملاحظه است. برای مثال عناصر طلا (۸۳۴ میلی‌گرم در تن)، مولیبدن، نقره و سرب در نمونه رگه سیلیسی (KZ-LG01) بیشترین عیار و غنی‌شدگی را دارند و پتانسیل این تیپ رگه‌ها را برای کانه‌زایی طلا نشان می‌دهد. عناصر مذکور در نمونه KZ-LG03 که مربوط رگه‌های کوارتز-فلدسپاتی دارای کمترین غلظت هستند (شکل ۲-۱۷، ۲-۱۸). عناصری مانند آنتیموان، گوگرد، آرسنیک، مس و به میزان اندکی کادمیم در ایستگاه KZ-LG03 دارای غنی‌شدگی هستند، ولی این عناصر در رگه‌های سیلیسی-اکسیدآهنی (KZ-LG02) عیار کمی دارند (شکل ۲-۱۷، ۲-۱۸). عناصر باریوم، کلسیم، سلنیم، سدیم، پتاسیم، زیرکونیم، اسکاندیم در رگه‌های مذکور دارای غلظت کمتر از میانگین پوسته قاره‌ای هستند.

به‌طور کلی عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدنوم، سرب، گوگرد و آنتیموان در سه ایستگاه غلظتی بیش از مقدار زمینه پوسته قاره‌ای دارند (شکل ۲-۱۷، ۲-۱۸).



شکل ۲-۱۷- نمودار غلظت عناصر در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی با داده خام



شکل ۲-۱۸- نمودار نرمالایز غلظت عناصر در ۳ نمونه لیتوژئوشیمیایی نسبت به غلظت عناصر در پوسته قاره‌ای بالایی (UCC)

۲-۳-۵- دگرسانی

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تاثیر سیالات ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود، دگرسانی می‌گویند. از میان کانی‌های مختلف سنگ‌های آذرین، فلدسپات‌ها، میکاها، آمفیبول‌ها و پیروکسن‌ها مقاومت کمتری در مقابل سیالات گرمایی داشته و بیشتر تحت تاثیر آن‌ها قرار می‌گیرند و شرایط را برای تجزیه سنگ مهیا می‌نمایند. مجموعه‌های دگرسانی گرمایی پیرامون پهنه‌های برشی، گسلی و سیستم‌های شکستگی، نتیجه واکنش‌های متاسوماتیکی سیالات و سنگ دیواره برای رسیدن به تعادل شیمیایی، ایزوتوپی و حرارتی هستند (McCuaig & Kerrich, 1998). بنابراین، دگرسانی را می‌توان حاصل واکنش سیالات هیدروترمالی با سنگ‌های دیواره و تشکیل کانی-

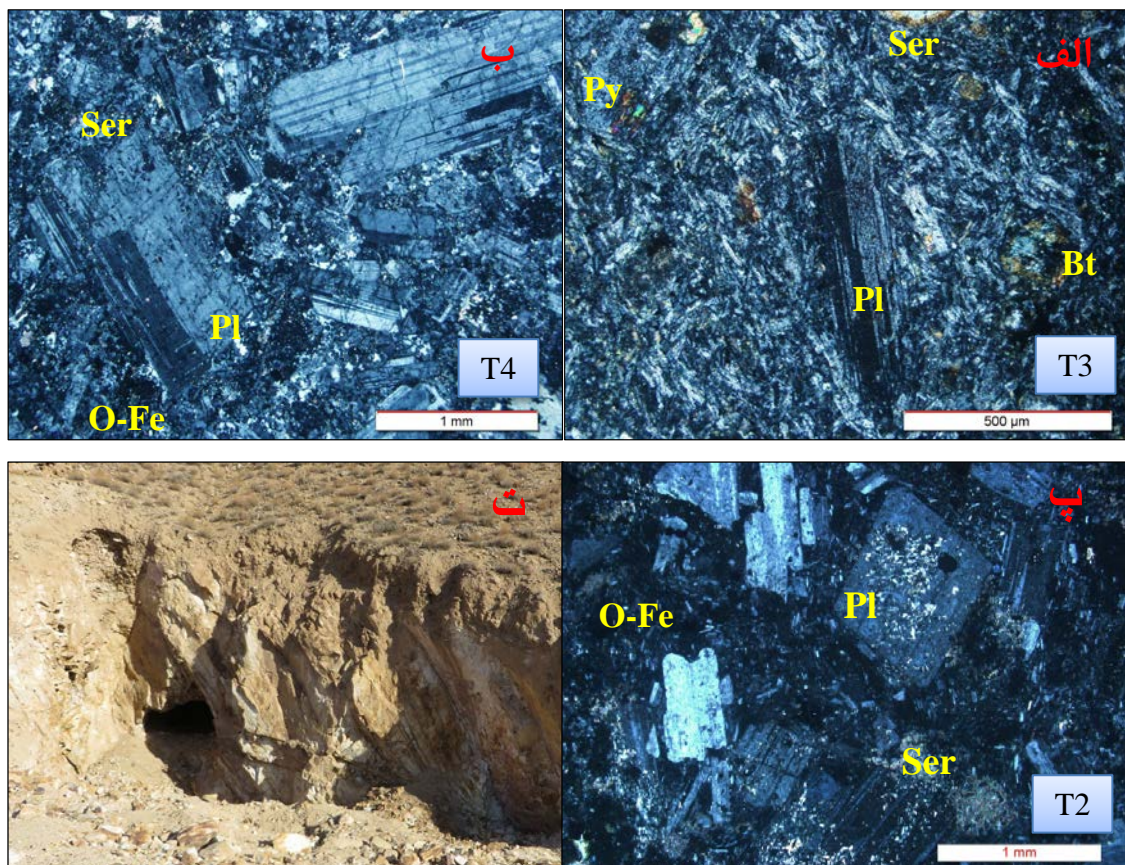
های جدید از طریق واکنش سنگ-سیال دانست (Mikucki, 1998). شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی، که همراه با کانی‌زایی دیده می‌شوند، بنیان شناسایی فرآیندهای مربوط به تشکیل کانسار است و موجب پیشرفت در روش‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, 1994). در بسیاری از کانسارهای گرمابی، نهشت مواد معدنی همراه با دگرسانی صورت می‌گیرد، زیرا تا زمانی که سیال گرمابی و سنگ درونگیر در موازنه شیمیایی باشند، مواد معدنی نمی‌توانند تشکیل شوند (Barnes, 1993)، از اینرو شناسایی مناطق دگرسانی کمک زیادی به شناخت شیمی و شرایط نهشت سیال گرمابی و نیز اکتشاف مواد معدنی خواهد کرد. دگرسانی سنگ دیواره به واسطه دو عامل ماهیت سنگ میزبان (شامل شیمی، اندازه دانه‌ها، حالت فیزیکی و تراوایی سنگ میزبان) و ماهیت محلول‌های کانه‌ساز (شامل فشار، دما، PH و Eh) کنترل می‌گردد (Evans, 1992). دگرسانی در کانسارهای رگه‌ای محدود به رگه است، که در منطقه کوه زر به دلیل وجود شکستگی‌های فراوان و درزه‌ها دگرسانی‌ها گسترش فراوانی دارند. نفوذ توده‌های آذرین و سیالات سیلیسی تاخیری در سنگ‌های آتشفشانی منجر به دگرسانی شدید و کانه‌سازی در محدوده کوه زر شده است. رشید نژاد عمران (۱۳۷۱) دگرسانی‌های منطقه کوه زر را به بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی آبادی باغو محدود کرده است. کریم پور (۱۳۹۵) باور دارد که نفوذ توده‌های درونی اسیدی تا حد واسط در منطقه کوه زر باعث ایجاد دگرسانی‌های سیلیسی، تورمالینی و پروپلیتیک شده است. نظر به اینکه کانه‌سازی در رگه‌های سیلیسی سولفیددار با مناطق دگرسانی مرتبط است، به همین خاطر بررسی دگرسانی‌ها در منطقه مورد مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دگرسانی‌ها در محدوده کوه زر را به اختصار می‌توان به انواع سریسیتی، آرژلیک، گرایزنی (تورمالینی)، پروپلیتیک، سیلیسی و کلریتی تقسیم کرد.

۲-۳-۵-۱- دگرسانی سریسیتی و آرژلیک

دگرسانی سریسیتی از تأثیر محلول‌های اسیدی بر روی سنگ‌های آذرین (به‌ویژه غنی از Al) و رسوبی (نظیر شیل‌ها و مارن‌ها) و هیدرولیز آن‌ها تشکیل می‌شود. در طی دگرسانی سریسیتی، فلدسپات‌های

اولیه هیدرولیز شده و بجای آن‌ها مسکوویت ریزبلور (سریسیت) می‌نشینند که ممکن است بصورت لکه‌لکه یا کامل باشند (Shelley, 1993) همچنین در طی این دگرسانی کانی‌هایی نظیر بیوتیت و پلاژیوکلاز و H_2O و K^+ افزایش و Ca و Fe کاهش یافته و کانی‌های مسکوویت، کوارتز و سریسیت حاصل شوند (Zhou & Wang, 1999). در مقیاس صحرایی گسترش این نوع دگرسانی اغلب در ارتباط با واحدهای گدازه‌ای و نفوذی بوده است که با رنگ‌های روشن (کرم تا قهوه‌ای و گاه سفید) براحتی از فواصل دور قابل شناسایی هستند. دگرسانی سریسیتی نه تنها در طی فرآیند دگرسانی گرمایی رخ می‌دهد بلکه در طی فرآیندهای هوازدگی و دگرگونی نیز بوجود می‌آید (نجف زاده، ۱۳۹۰). براساس مطالعات میکروسکوپی سریسیتی‌شدن گسترش زیادی در منطقه داشته و پلاژیوکلازها مهمترین کانی‌هایی هستند که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۲-۱۹).

دگرسانی آرژیلیتی نیز شبیه دگرسانی سریسیتی بوده و بر اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و فلدسپات‌های پتاسیک با توسعه کانی‌های رسی همراه است (خاکزاد، ۱۳۶۷). کانی‌های شاخص این دگرسانی کائولینیت، دیکتیت، دیاسپور، پیروفیلیت و گاهی سریسیت است که در اثر هیدرولیز سیلیکات‌های آلومینیم‌دار توسط سیالات اسیدی بوجود می‌آیند (کریم پور، ۱۳۸۸). از جمله کانی‌های سولفیدی که با دگرسانی رسی یافت می‌شود، پیریت است (یعقوب پور، ۱۳۶۶؛ کریم پور، ۱۳۶۸ و شهاب‌پور، ۱۳۹۰). این نوع دگرسانی، ویژه کانسارهای گرمایی می‌باشد (Pirajno, 2009) و بیشتر تحت تأثیر سیال‌های ماگمایی - گرمایی، بخارات اسیدی حاصل از سرد شدن سریع و یا آب‌های جوی، در دمای بین ۱۰۰ و ۳۰۰ درجه‌ی سانتیگراد ایجاد می‌شود (Sillitoe, 1993). زمینه شیشه‌ای این سنگ‌ها نیز به طور کامل به مجموعه‌ای از سریسیت، کانی‌های رسی و گاه اپیدوت تبدیل شده است (تاج‌الدین، ۱۳۷۸).

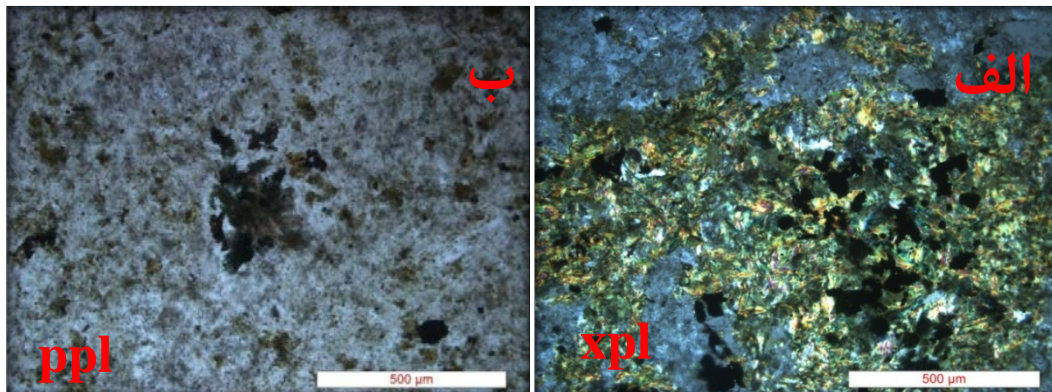


شکل ۲-۱۹-الف، ب، پ) تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های سریسیتی و آرژیلیکی، بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت دگرسان شده به همراه کانی‌های ثانویه سریسیت، کانی‌های تیره و اکسیدهای آهن، و ت) تصویر صحرای از دگرسانی آرژیلیتی (نگاه به سمت شمال شرق).

۲-۳-۵-۲- دگرسانی گرایزنی

فرآیند تورمالینی شدن به صورت گسترده‌ای در غالب رگه و رگچه‌های سیلیسی که عموماً با تورمالین و کانی‌سازی مس همراه است، دیده می‌شوند. در طی دگرسانی سنگ‌های منطقه، شستشوی اسیدی باعث خروج عناصر متحرک Na، K، Ca شده و سپس با افزایش Si، Al در سنگ‌های باقی مانده شرایط برای تشکیل تورمالین-کوارتز فراهم می‌شود. حضور تورمالین پراکنده نقش سیالات سیلیسی در کانی‌سازی را که از توده‌های نفوذی نشأت گرفته‌اند، تایید می‌کند. زیرا محققین رخداد تورمالین را به سیالات با منشاء ماگمایی مرتبط می‌دانند (McInnes et al., 1990). در محدوده کوه زر، این

دگرسانی به صورت حضور لکه‌های شعاعی شورلیت به همراه سیلیس در متن سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی بشدت دگرسان شده، مشاهده می‌گردد (تاج الدین، ۱۳۷۸) (شکل ۲-۲۰).

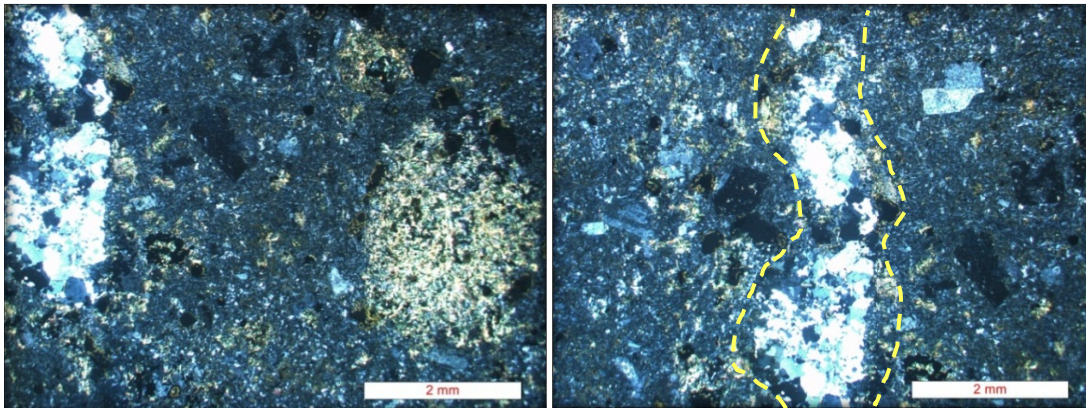


شکل ۲-۲۰- الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از جانشینی بخش سربسیت‌های زمینه به تورمالین بوته‌ای شکل و پراکنده در نمونه T4.

۲-۳-۵-۳- دگرسانی سیلیسی

شاید یکی از متداولترین و معروفترین انواع دگرسانی هیدروترمال، سیلیسی شدن باشد که با افزایش درصد کوارتز و یا اکسیدهای سیلیس (چرت، اوپال و کالسدون) در سنگ همراه است (pirajno, 1992). قابلیت انحلال سیلیس با افزایش دما و فشار افزایش می‌یابد. این دگرسانی در گستره وسیعی از دما رخ می‌دهد (Lagast, 2009). محصولات اصلی دگرسانی سیلیسی شامل کوارتز بصورت توده‌ای، دانه پراکنده تا رگه‌ای و نیز به صورت سیلیس نهان بلور می‌باشد، که در نواحی با فشار و حرارت پایین ته نشست می‌یابد (Ferkus and Leblanc, 1995). فرآیند سیلیسی شدن و تشکیل زون سیلیسی در سنگ میزبان منطقه به صورت رگه و رگچه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت در امتداد روندهای ساختاری دیده می‌شوند. علاوه بر روند شکستگی‌ها ماهیت سنگ میزبان نیز حجم و گستره سیلیسی شدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (تاج الدین، ۱۳۷۸). کانی‌شناسی این زون تقریباً ساده بوده و از بیش از ۹۰ درصد کوارتز و مقادیر کم سربسیت و کانی‌های رسی تشکیل شده است. مشاهده کانی‌های تیره مانند پیریت و اکسیدهای آهن نیز معمول می‌باشد. این دگرسانی به طور گسترده رگه‌ها و یا فضاهای خالی

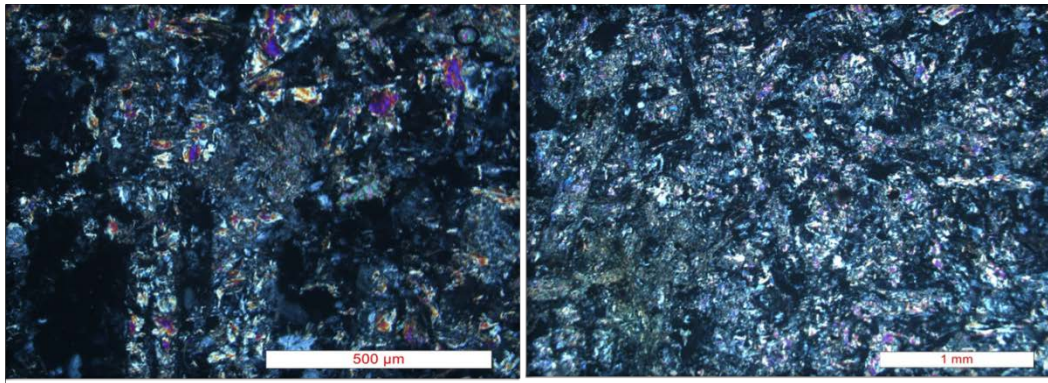
نظیر درزه‌ها، شکاف‌ها، شکستگی‌ها و حفره‌ها بین قطعات یک سنگ را پر می‌کنند (شکل‌های ۲-۲۱، و شکل‌های ۲-۱۳ تا ۲-۱۵).



۲-۲۱- تصویری از رگه-رگچه‌های سیلیسی به همراه اکسیدهای آهن در نمونه T4.

۲-۳-۵-۴- دگرسانی پروپلیتیک

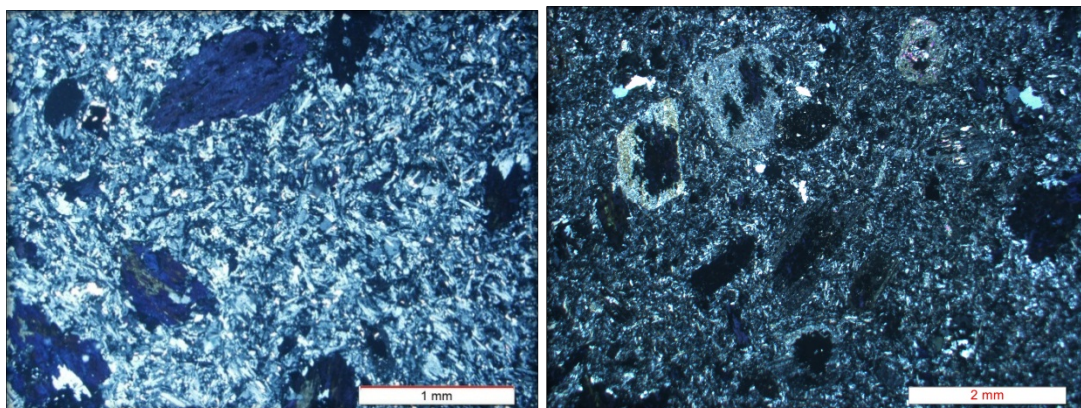
دگرسانی پروپلیتیک به مجموعه‌ای از دگرسانی‌های کلریتی، اپیدوتی، زوئیزیتی و آلبیتی اطلاق می‌شود (کریم‌پور، ۱۳۸۸). عموماً این دگرسانی در دورترین بخش‌های دگرسان شده دیده می‌شود و با ظهور مجموعه کانی‌های کلسیم و منیزیم‌دار شناخته می‌شود. این نوع دگرسانی در درجه حرارت ۲۰۰-۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و از واکنش سیال‌های ماگمایی یا گرمابی غنی از منیزیم، آهن، کلسیم، سدیم و یا بی‌کربنات با سنگ‌های آذرین ایجاد می‌شود (Giggenbach, 1997؛ نجف زاده، ۱۳۹۰). کانی‌های شاخص این نوع دگرسانی شامل کلریت، اپیدوت، کربنات (کلسیت و دولومیت) و آلبیت بعلاوه سریسیت و پیریت و در مقادیر اندک کانی‌های رسی و هماتیت (کانی‌های تیره) است. در منطقه کوه زر این نوع دگرسانی در سنگ‌های نفوذی منطقه دیده شده است که دارای کانی‌های اپیدوت، کربنات (کلسیت)، کلریت، سریسیت و کانی‌های تیره می‌باشد (شکل ۲-۲۲).



شکل ۲-۲۲- دگرسانی پروپلیتیک با حضور اپیدوت و کلریت در سنگ به شدت دگرسان شده گرانودیوریتی در نمونه T3.

۲-۳-۵-۵- دگرسانی کلریتی

این نوع آلتراسیون حالت خاصی از دگرسانی پروپلیتیک است که به دلیل درصد بالای کلریت به نام دگرسانی کلریتی معرفی می‌شود. محلول‌های ماگمایی و یا گرمایی غنی از Mg, Fe, Al در سنگ‌های آذرین در دمای مناسب موجب تشکیل کلریت می‌شوند، این آلتراسیون مخصوص ذخایر، سولفید توده‌ای بوده که در قسمت داخل سیستم قرار دارد. در بخش‌های متحمل دگرسانی کلریتی رنگ سنگ به سبز متمایل می‌باشد. در محدوده کوه زر کانی‌های مافیک اغلب به صورت جزئی به مجموعه‌ای از کلریت، کانی‌های تیره و مقادیر کمتر سریسیت و اپیدوت تبدیل شده‌اند. در بعضی از نمونه‌ها شدت دگرسانی بقدری است که شناسایی ترکیب سنگ اولیه را نیز مشکل کرده است (شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۳- دگرسانی کانی‌های مافیک به کلریت، سریسیت، اپیدوت و کانی‌های تیره در نمونه T5.

۲-۳-۶- کانه نگاری

بررسی‌های چکشی در محدوده کوه زر و به‌ویژه در حوضه آبریز پازو، وجود آثاری از کانه‌زائی پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، کریزوکلا، آزوریت، فیروزه و اکسیدهای آهن را نشان می‌دهد. در این مطالعه جهت شناسایی بیشتر کانه‌ها و روابط بافتی آن‌ها تعداد ۳ نمونه برای تهیه و مطالعه مقاطع صیقلی از منطقه برداشت شده است.

پیریت: فراوان‌ترین کانه سولفیدی در کانسنگ‌های محدوده کوه زر پیریت (FeS_2) است که در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی به‌صورت شکلدار تا بی‌شکل و با اندازه‌های متفاوت و به رنگ زرد روشن دیده می‌شود. این کانه با بلورهای درشت، هم‌بصورت پراکنده و هم‌بصورت رگه‌ای در سیستم درزه‌ها وجود دارد (شکل ۲-۲۴ الف و ب).

کالکوپیریت: کالکوپیریت (CuFeS_2) به صورت لکه‌های بی‌شکل و پراکنده در متن کانسنگ در مقادیر بمراتب کمتر از پیریت دیده می‌شود که از حاشیه به سولفیدهای غنی شده ثانویه مس (کالکوسیت و کولیت) در حال تبدیل شدن است. پیریت و کالکوپیریت معمولاً در حضور آب و اکسیژن و در محیط‌های کم‌عمق ناپایدارند و توسط محلول‌های اکسیدان به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل می‌شوند (شکل ۲-۲۴ پ).

کولیت و کالکوسیت: کولیت (CuS) دارای رنگ آبی پررنگ در نور عادی و قرمز آتشین یا نارنجی در نور پلاریزه است و به عنوان سولفیدهای ثانویه، از تجزیه کانه‌های سولفیدی اولیه مس (مانند کالکوپیریت و پیریت) ایجاد می‌شود و در حاشیه کانه‌های سولفیدی مشاهده می‌شود. در بعضی موارد با پیشرفت غنی‌سازی سوپرژن کولیت تماماً جانشین کالکوپیریت شده و بصورت منفرد مشاهده می‌شود. در مراحل اولیه فرآیند جانشینی، ممکن است جانشینی به راحتی شناسایی شود زیرا بسیاری از بقایای فاز اصلی و مرزهای دانه‌ی اصلی یا کلیواژها هنوز قابل مشاهده هستند (Craig and

Vaughan, 1981) حضور کوولیت در منطقه می‌تواند نشانه‌ای از تاثیر آبگون‌های اکسیدی و آبشویی در منطقه باشد. کالکوسیت (Cu_2S) کانی سولفیدی ثانویه با رنگ آبی کمرنگ‌تر از کوولیت می‌باشد که بندرت در حاشیه کالکوپیریت و به‌مراه کوولیت مشاهده شده، مبین فرآیند غنی‌سازی سوپرژن است (شکل ۲-۲۴ پ).

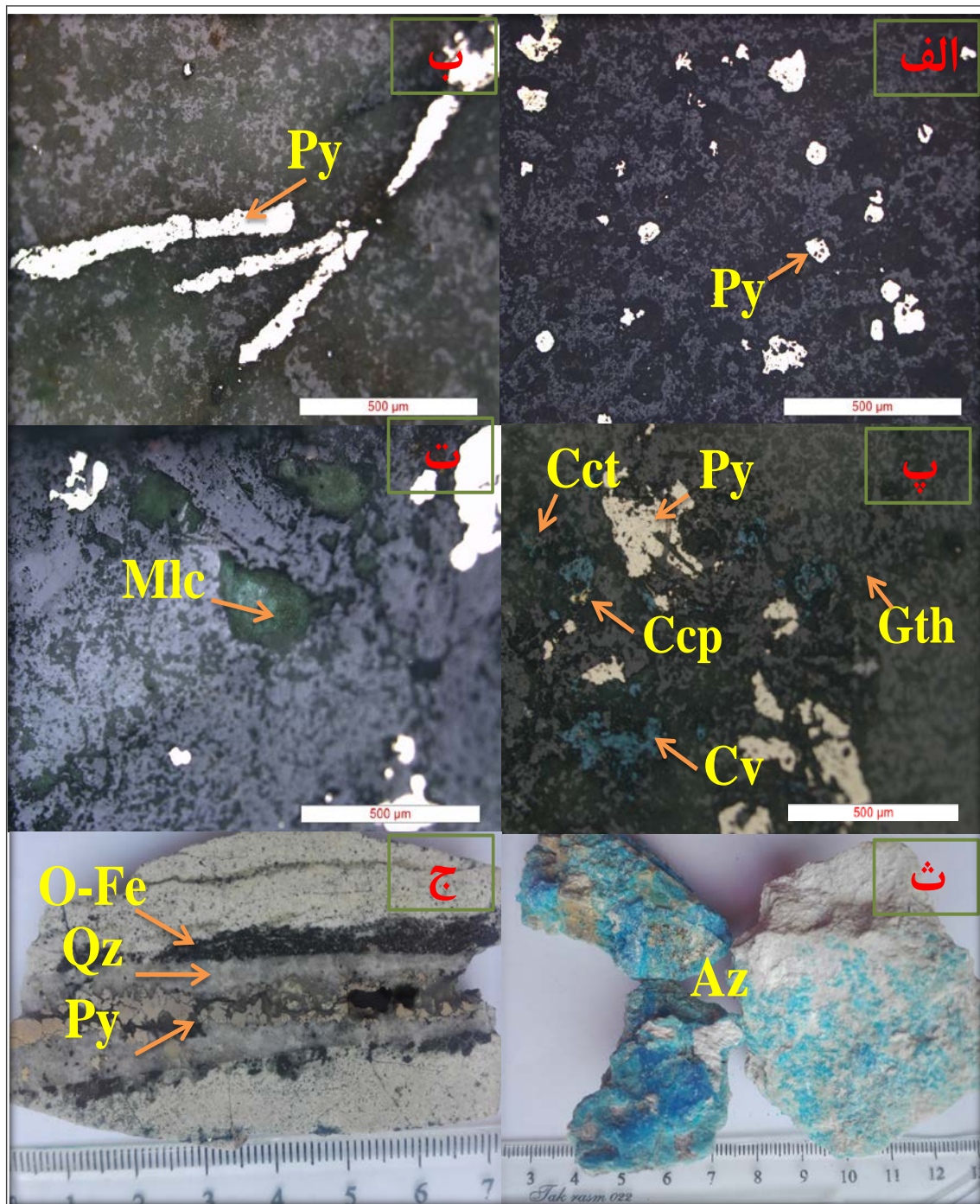
کانه‌های اکسید و هیدروکسید آهن: اکسید و هیدروکسیدهای آهن شامل مگنتیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشند. عملکرد آب‌های جوی از خلال درزه‌ها و شکستگی‌ها موجب اکسید شدن کان‌های سولفیدی و تشکیل اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن می‌شود. در واقع در اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت سطحی دچار انحلال می‌شوند و در نتیجه یون گوگرد آن‌ها از محیط خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای می‌ماند (Ramdhor, 1969) هیدروکسیدهای آهن می‌تواند نشانگر محصولات هوازدگی و عملکرد محلول‌های جوی و فوگاسیته بالای اکسیژن باشد. در مقاطع منطقه کوه زر گوتیت (FeOOH) فراوان‌ترین نوع اکسید آهن آبدار می‌باشد و عمدتاً از جانشینی کالکوپیریت ایجاد می‌شوند. حضور گوتیت نشان‌دهنده نسبت اندک پیریت به کالکوپیریت، میزان اسیدیته پایین و میزان سولفید کل پایین می‌باشد (Sillitone and Perello, 2005) (شکل ۲-۲۴ پ)

کربنات هاو سیلیکات‌های مس: از جمله این کربنات‌ها می‌توان مالاکیت و آزوریت را نام برد که پس از کانی‌زایی سولفیدی، در طی فرآیند سوپرژن اکسیداسیون به همراه اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در شکستگی‌ها و فضای کم فشار به شکل رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی تشکیل می‌گردند. در نمونه‌های مقاطع صیقلی مالاکیت به خوبی قابل رویت است (شکل ۲-۳۵ ت). همچنین آزوریت، کریزوکلا و بعضاً فیروزه در منطقه سوپرژن و هوازده مشاهده می‌شود، آزوریت در بخش‌های اکسیدی کانسارهای مس‌دار، کان‌ها بسیار مهمی در ذخایر هوازده سوپرژن می‌باشد

(DanMarshal, 2004)، که اغلب به صورت پراکنده وجود دارد. در مناطق هوازده، مالاکیت و آزوریت با اکسید و هیدروکسیدهای آهن (بوپژه گوتیت و لیمونیت) همراهی می‌شود (شکل ۲-۲۴ ث). در اغلب نمونه‌های مطالعه شده اطراف مالاکیت‌ها توسط قشری از هیدروکسیدهای آهن احاطه گردیده است و علاوه بر آن رگچه‌های مالاکیت معمولاً ممتد نبوده و در ادامه فضای رگچه‌ها توسط دیگر کانی‌های اپک از جمله هیدروکسیدهای آهن اشغال می‌شود.

کوارتز: کوارتز به عنوان یک کانی باطله دارای بیشترین فراوانی در رخساره‌های توده‌ای، رگه رگچه-ای و لایه‌ای می‌باشد که بر حسب اندازه می‌توان بر دو دسته درشت دانه و ریز دانه تقسیم‌بندی شود. کوارتز درشت دانه توسط سیالات گرمابی، در شکستگی‌ها و حفرات و درزها جای می‌گیرند. کوارتز ریز دانه در متن سنگ و در نتیجه دگرسانی کانی‌های اولیه سنگ شکل گرفته‌اند (شکل ۲-۲۴ ج) (Dong et al., 1995; Kouhestani et al., 2012).

طبق مطالعات کانسنگ منطقه کوه زر طیف وسیعی از کانی‌های سولفیدی از قبیل کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، کالکوسیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت، لیمونیت مشاهده شده است. کانی باطله در این مقاطع عموماً کوارتز می‌باشد.



شکل ۲-۲۴- تصاویر میکروسکوپی الف) پیریت بصورت پراکنده در سنگ، ب) پیریت پرکننده فضای خالی رگچه‌ها. پ) گوتیت، پیریت، کالکوپیریت، که کالکوپیریت از حاشیه در حال تبدیل به کالکوسیت و کولیت می‌باشد، ت) ملاکیت بصورت پرکننده فضای خالی با حاشیه‌ای از هیدرواکسیدهای آهن، ث) نمونه‌های دستی آزوریت و کریزوکولا، و ج) تصویر پرشدگی فضای درزها توسط کوارتز و پیریت.

فصل سوم

مطالعات ژئوشیمیایی

و کانی سنگین

امروزه یکی از موثرترین تکنیک‌های اکتشافی در مقیاس‌های شناسایی، پی‌جویی، اکتشافات عمومی و تفصیلی مواد معدنی، روش‌های ژئوشیمیایی است. در اکتشافات ناحیه‌ای، تکنیک ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای در مناطق با توپوگرافی و حوضه زهکشی مناسب جهت تعیین نواحی مستعد معدنی بکار گرفته می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۹۱). مطالعه و تجزیه نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای، مهمترین شیوه جهت شناسایی و توصیف ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و الگوی توزیع عناصر شیمیایی جهت اکتشاف ژئوشیمیایی می‌باشد (Reimam et al., 2005). لازم به ذکر است که از اطلاعات پایه زمین‌شناسی، تکتونیکی، ژئوفیزیکی، دگرسانی و زمین‌شناسی اقتصادی در تفسیر نتایج ژئوشیمی استفاده می‌شود.

بنیادی‌ترین پیش فرض در مطالعات آبراهه‌ای این است که رسوبات آبراهه‌ای معرف محصول هوازده و فرسایش سنگ‌های بالادست محل برداشت نمونه‌ها می‌باشند، که با مطالعه آن‌ها می‌توان سنگ‌های بالادست هر نمونه را از نظر غنی‌شدگی عناصر بررسی نمود. از مزایای دیگر محیط‌های آبرفتی، شرایط اکسیدان آن‌ها است که موجب تحرک عناصر کانساری و وسعت زیاد هاله‌های ژئوشیمیایی در این محیط‌ها می‌شود. همچنین بزرگی شعاع تاثیر نمونه‌ها از دیگر مزایای اصلی این روش است. البته تأثیر عواملی همچون طراحی اصولی، نمونه‌برداری بهینه، آنالیزهای با حد تشخیص مناسب و دقت بالا و پردازش اطلاعات نیز نایبستی از نظر دور بماند (یزدی، ۱۳۸۱).

روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای و کانی‌سنگین روش‌هایی مناسب، ارزان، سریع در مراحل شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی رخنمون‌دار و پنهان هستند. انطباق زون‌های تمرکز یافته از کانی‌های سنگین با ناهنجاری‌های عنصری در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای تاییدی بر حضور کانی‌سازی در سنگ‌های در برگرنده حوضه آبریز می‌باشند. در استفاده بهینه از روش‌های مذکور در امر اکتشاف، داشتن شناخت کافی از رفتار کانی‌ها و همچنین عناصر در محیط‌های زمین‌شیمیایی ثانویه یعنی محیط‌های رسوبی ضروری است. رسوبات آبراهه‌ای در واقع یک نمونه ترکیبی از مواد فرسایش یافته از

سنگ‌های بالادست حوضه آبریز هستند. بنابراین وجود ناهنجاری در این رسوبات از وجود یک منبع پرعیار در بالادست آن حکایت می‌کند. اساس روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای بر مبنای هاله‌های ثانویه انتقال یافته (بر مبنای طبقه بندی Solovov, 1987)، مهاجرت عناصر در رسوبات آبراهه‌ای است (Solovov, 1987). معمولاً عناصر کمیاب نشانه (عناصر سازنده هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه) در رسوبات آبراهه‌ای را می‌توان به ۵ گروه طبقه بندی کرد (Kuzvart and Bohmer 1986):

- عناصری که به هنگام تشکیل کانی‌های رسی در شبکه آن‌ها جای می‌گیرند. برای مثال رس‌های ناشی از هوازگی فلدسپات‌ها، عناصر کمیاب را به صورت‌های کلوئیدی و یا جذب سطحی انتقال می‌دهند.

- جذب سطحی عناصر کمیاب توسط هیدروکسیدهای آهن و منگنز.

- جذب سطحی توسط مواد آلی به خصوص جذب عنصری مانند Ni, Co, Cu, U, Zn, Mo.

- عناصر کمیابی که توسط چرخه بیوژئوشیمیایی مهاجرت می‌کنند و یا بر اثر تجزیه مواد آلی آزاد می‌شوند.

- عناصری که به صورت محلول در محیط‌های سیال مانند آب‌های جوی یا مواد آلی محلول (نفت و گاز) مهاجرت می‌کنند (عناصری مانند Ni, Co, Cu, Sb, Zn, Pb).

روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی برای اکتشاف کانسارهای چندفلزی و پی‌جوئی عناصر ردیاب کانسارها از قبیل Mo, Bi, As نتایج امیدوارکننده‌ای ارائه نموده است (یزدی، ۱۳۸۱). به منظور تشخیص آنومالی‌های ژئوشیمیایی واقعی و تمایز انواع مرتبط با ذخایر معدنی از سایر انواع، در هر ناحیه‌ای لازم است تا جزء ثابتی از رسوبات آبراهه‌ای (برای مثال جزء ۸۰- مش و یا جزء مش‌های دیگر) و یا کانی سنگین (جزء ۱۰- مش) مورد آزمایش قرار گیرد. اندازه این جزء ثابت تابع شرایط آب و هوایی، توپوگرافی و فاصله از منشأ کانی‌سازی، نوع کانه‌زائی و ... می‌باشد. بطور کلی چگالی نمونه- برداری از رسوبات آبراهه‌ای تابع چگالی آبراهه‌ها، مقیاس مطالعه، نوع ماده معدنی و شرایط آب و هوایی می‌باشد. یکی از مطالعات اساسی برای تعیین مش بهینه‌ی رسوبات آبراهه‌ای و تراکم نمونه

برداری انجام مطالعات ژئوشیمیایی توجیهی می‌باشد. در این مطالعات بسته به شرایط زمین‌شناسی، معدنی و دگرسانی ایستگاه‌های نمونه برداری محدودی طبق استانداردهای موجود انتخاب شده و در هر ایستگاه نمونه‌های رسوب با مش‌های مختلف برداشت و برای عناصر مختلف تجزیه می‌شود نتایج این مطالعات اطلاعات با ارزشی را درباره مش مناسب رسوب آبراهه‌ای و نیز چگالی طرح نمونه‌ها، و عناصر مورد اکتشاف در اکتشافات ژئوشیمیایی آتی در اختیار می‌گذارند. اساس مطالعه پژوهش حاضر هم در این ارتباط می‌باشد.

۳-۲-۱- هوازدگی

این پدیده در حد فاصل زمین و هواکره صورت می‌پذیرد. در این شرایط کانی‌ها در مجاورت اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر قرار می‌گیرند. این امر تغییراتی در حالت‌های تخریبی یا پلاستیکی آن‌ها ایجاد کرده و سبب افزایش حجم و کم شدن وزن مخصوص و اندازه ذرات آن‌ها می‌شود و در نتیجه به پیدایش کانی‌های جدیدی که در این شرایط دارای پایداری بیشتری نسبت به کانی‌های اولیه هستند منجر می‌شود.

هوازدگی فیزیکی

این نوع از هوازدگی شامل تنش‌های زمین‌شناسی، فشارهای همه جانبه تکتونیک، تنش‌های ناشی از تابش خورشید و یخ زدن سریع آب می‌باشد. تنش‌های زمین‌شناسی وقتی به وجود می‌آیند که سنگ‌های کریستالی (مثل گرانیت‌ها و مرمرها) متبلور شوند یا تبلور دوباره یابند یا سنگ‌های رسوبی (مثل ماسه سنگ‌های توده‌ای سست و به هم پیوسته، آركوزها و آهک‌ها) تحت فشارهای همه جانبه تکتونیک و یا تحت فشار فوق العاده لایه‌های بالایی قرار گرفته و فرایندهای دیاژنز یا سنگ شدگی را پشت سر می‌گذارند.

فرسایش سطحی و کم شدن بار باعث کم شدن فشار بر آن و باعث ایجاد شبکه‌ای از درزها و ترک‌ها می‌شود. گرادیان‌های حرارتی نیز باعث انبساط خطی و توده‌ای سنگ‌ها می‌شود. تنش‌های به وجود آمده، بر اثر رشد بلورها در هوازدگی عمدتاً دو منبع بلورهای یخ و بلورهای نمک دارند. تنش‌های

بیولوژیکی که هوازگی فیزیکی را افزایش می‌دهند در دو دسته اصلی گیاهی و جانوری می‌باشند که شامل کرم‌ها و گل سنگ می‌باشد.

هوازگی شیمیایی

مکانیسم هوازگی شیمیایی نمایانگر ترکیب پیچیده‌ای از واکنش‌های شیمیایی است. قابلیت حلالیت کانی‌های مورد نظر به مقدار تفکیک یون‌های H^+ و OH^- در آب بستگی دارد، و با نماد pH نشان داده می‌شود. به این واکنش که بین کاتیون‌ها و یون‌های OH^- صورت می‌گیرد اصطلاحاً "هیدرولیز" گویند. آب می‌تواند توسط پدیده آبگیری، داخل شبکه کانی‌ها شود و این پدیده راه را برای هوازگی به وسیله اکسیداسیون و کربناسیون هموار می‌کند. کربنی شدن بر اثر عمل اسیدکربنیک بر روی کلسیت حادث می‌شود. سرعت هوازگی با عواملی همچون میزان آب وارد شده به توده هوازده و آبی که از آن خارج می‌گردد، ترکیب شیمیایی آب، مواد آلی یا ارگانیک تنظیم می‌شود. افزایش درجه حرارت (به میزان ۱۰ درجه) سرعت واکنش‌های شیمیایی را دو برابر می‌کند. در مناطق خشک که آب بر اساس خاصیت موئینگی به طرف بالا حرکت می‌کند و در نقاطی با شرایط آب اشباعی مونت-موریونیت، ایلیت و کلریت محصولات رسی حاصل از تجزیه را تشکیل می‌دهند و در مناطق مرطوب با شرایطی همچون زهکشی خوب، شستشوی شدید و فراوانی پوشش گیاهی، سبب هوازگی عمقی و گسترده می‌شود و این امر منجر به تولید کائولینیت شده و یا در مناطق استوائی گیبسیت و گوتیت حاصل می‌شود. در حالتی که درجه حلالیت پایین و جریان آب تند است، سرعت هوازگی بوسیله شدت جریان و سرعت انحلال آن کنترل می‌شود (یزدی، ۱۳۸۱).

هوازگی شیمیایی سه نوع محصول را تولید می‌کند که عبارتند از:

- محلول‌هایی از سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، استرانسیم، به همراه مقداری سیلیس به ویژه در مناطق مرطوب استوائی که دریاچه‌ها و دریاها را پر می‌کنند، به صورت ماسه سنگ، دولومیت و دیگر سنگ‌های رسوبی شیمیایی مجدداً رسوب می‌کنند.

- رس‌ها و هیدروسلیکات‌های آلومین به شکل ورقه‌های ظریف و ریزبلوری که اغلب از هوازگی فلدسپات‌ها و کانی‌های فرومنیزین حاصل شده‌اند. این رس‌ها تولید کننده بخش عظیمی از شیل‌ها و دیگر سنگ‌های رسوبی دانه ریز هستند.

- باقیمانده مواد که عمدتاً شامل سیلیس، فلدسپات‌ها و میکای تجزیه نشده همراه با مقدار کمی از کانی‌های سنگین است. این مواد عمدتاً شامل ماسه سنگ‌ها و دیگر سنگ‌های تخریبی هستند و هوازگی به ندرت به تجزیه کامل آن‌ها منتهی می‌شود (یزدی، ۱۳۸۱).

۳-۲-۱- فرآیند انحلال و تشکیل هاله‌های ژئوشیمیایی

وقتی سنگ‌ها در معرض تماس با آب قرار می‌گیرند، شروع به واکنش شیمیایی با آب می‌کنند. عواملی مانند pH آب، شدت حرکت آب و مقدار یون H^+ تأثیر مهمی در فرآیند این واکنش‌های شیمیایی دارد، به خصوص اگر کانسار از نوع سولفیدی باشد. بر اثر این واکنش‌ها کانی‌ها شروع به تجزیه می‌کنند و برخی از عناصر همراه آن‌ها که به آسانی حل می‌شوند، وارد محیط آب می‌گردند. مثلاً وقتی آب در معرض تماس بخش سولفیدی کانسار قرار می‌گیرد، عناصر فلزی موجود در سولفیدها را تجزیه می‌کند و هاله ثانویه‌ای در اطراف کانسار تشکیل می‌دهد.

حلالیت کانی‌های سولفیدی حاوی این عناصر (Ag, Cu, Pb, Zn, Cd)، در هنگام کاهش pH محیط افزایش می‌یابد. هرچه از محل کانسار دور شویم میزان pH افزایش می‌یابد و بنابراین میزان حلالیت آن کم می‌شود. بخصوص وقتی که آب‌ها با محیط‌های سنگی کربناته و سیلیکاته در تماس قرار می‌گیرند، به سمت خنثی شدن میل می‌کند. در محیط‌های آبی ممکن است برخی از عناصر مانند هیدروکسیدهای Ni, Co, Mo, Al, Fe, Mn به مقدار کمتری به صورت کلوئیدی حمل شود.

به طور کلی میزان انحلال و سپس تمرکز عناصر به فرآیندهایی نظیر اکسایش، آبدهی، تجزیه، جذب یونی، شسته شدن (رقیق شدن)، تبادل‌های یونی در محیط و ته نشست‌های هیدرولیکی بستگی دارد (یزدی، ۱۳۸۱).

عناصر تمرکز یافته در واحدهای زمین‌شناسی و سنگ‌های مختلف را می‌توان به صورت گروه‌های مشابه در جدول (۱-۳) دسته بندی کرد :

جدول ۱-۳- تمرکز عناصر در واحدهای زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی گوناگون (یزدی، ۱۳۸۱)

نوع واحد زمین‌شناسی یا سنگ‌شناسی	نوع عناصر
سنگ‌های آذرین اسیدی مانند گرانیت	Li, Be, B, Sn, Nb, Ta, Cs, Zr, Hf, W, Sc, Th, U, Mo, Re, F
اسکارنها و کانسارهای پورفیری	Ag, Au, Pb, Zn, Hg, Cd, Ga, As, Sb, Bi, Cu, Se, Ba
سنگ‌های آذرین بازی مانند کرومات‌ها	Cr, V, Ni, Co, Pt
سنگ‌های رسوبی	Co, Cr, V, B, Li, Ga, Se, Mo, Ca, Mg
سنگ‌های بوکسیتی	Al, Ni, Fe
سنگ‌های تبخیری	Sr, K, Na
سنگ‌هایی با منشاء آلی	U, V, B

روش‌های ژئوشیمیایی اکتشافی غالباً شامل مراحل طراحی، نمونه‌برداری و آماده‌سازی، تجزیه نمونه‌ها و تفسیر و پردازش داده‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه هر ناحیه اکتشافی با ناحیه دیگر تفاوت دارد، بنابراین نحوه مطالعه آن‌ها نیز ممکن است نسبت به هم تفاوت داشته باشد. ولی قبل از انتخاب روش مناسب نمونه برداری و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها توجه به موارد زیر ضروری است :

- ۱- ویژگی‌های زمین‌شناختی کانسار مورد اکتشاف
- ۲- میزان حلالیت اجزاء کانسار
- ۳- انتخاب عناصر مناسب ردیاب کانی‌سازی
- ۴- نوع پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر موجود در محل مورد بررسی
- ۵- فاز اکتشافات (اکتشاف تفصیلی یا پی‌جوئی عمومی)
- ۶- بهترین و موثرترین روش نمونه برداری
- ۷- مناسب‌ترین فاصله نمونه‌برداری (طراحی شبکه نمونه برداری)

۸- عناصر مورد تجزیه و روش‌های مناسب تجزیه

۹- حد غلظت زمینه عناصر در منطقه مورد بررسی

۱۰- هزینه روش مورد استفاده

پس از بررسی موارد ضروری، می‌توان در مورد تعداد نمونه‌ها (فواصل نمونه‌برداری) و حجم (وزن) نمونه‌ها تصمیم مناسبی گرفت. پس دانستن مبانی مانند کانی در برگیرنده عنصر مورد اکتشاف، سنگ حاوی این کانی‌ها، چینه‌شناسی و زمین‌شناسی، میزان مقاومت سنگ‌ها در برابر هوازدگی، فرسایش و انحلال، خواص فیزیکی- شیمیایی، قدرت تحرک و میزان مهاجرت عنصر ضروری است. معمولاً هرچه وزن اتمی و شعاع اتمی یک عنصر زیاد باشد، تحرک کمتری دارد و از کانسار دور نمی‌شود. در صورت متحرک بودن، عناصر می‌توانند فاصله زیادی را از منبع طی کنند و دور شوند (یزدی، ۱۳۸۱).

۳-۲-۳- پایداری کانی‌ها

هنگام هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها، کانی‌های غیرمقاوم به راحتی تجزیه شده و از بین می‌روند و کانی‌های مقاوم باقی می‌مانند. از آنجا که شدت هوازدگی سنگ مادر و پایداری کانی‌ها در آزاد شدن کانی‌های سنگین اثر دارد، بنابراین کانی‌ها را از نظر پایداری نسبت به یکدیگر به چهار گروه زیر تقسیم می‌کنند (Pacal, 1977).

- کانی‌های خیلی پایدار: اسپینل کروم‌دار، هماتیت، لیمونیت، توپاز، تورمالین، بروکیت، آناتاز، لوکوکسن، روتیل، اسپینل، پلاتین، طلا، زیرکن و کوندوم.

- کانی‌های پایدار: آلماندیت، مگنتیت، تیتانومگنتیت، تیتانیت، ایلمنیت، تانتالیت، سیلیمانیت، کیانیت، باریت، توریانیت (اکسید توریم)، بروکسیت، زنونیم، موناژیت، کاسیتريت و آندالوزیت.

- کانی‌های کمی پایدار: ولفرامیت، شیلیت، آپاتیت، آندرادیت، گروسولار، اورتیت، دیوپسید، آکتینولیت، زوئیزیت، اپیدوت، استارولیت و کلریت.

- کانی‌های غیر پایدار: پیروتیت، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، سینابر، اولیوین، اژرین، پیروکسن، آمفیبول آلکالی، ملانیت (سیلیکات آهن و کلسیم)، اوژیت، بیوتیت و آمفیبول.

گاهی کانی‌های سنگین را از نظر پایداری با کانی‌های دیگر مانند کوارتز مقایسه می‌کنند. معمولاً پایداری کانی‌های سنگین و وزن مخصوص آن‌ها از کوارتز بیشتر است. ولی سختی کوارتز از آن‌ها بیشتر است. با توجه به این ویژگی‌ها به هنگام حمل و نقل رسوبات کانی‌های سنگین باید زودتر از کوارتز رسوب کنند، مگر آنکه اندازه کانی‌های سنگین کوچکتر از کوارتز باشند که در آن صورت با همدیگر رسوب خواهند کرد. به این فرآیند رسوبی، نسبت هیدرولیکی کانی‌ها می‌گویند (یزدی، ۱۳۸۱). کانی‌های سنگین به بخشی از رسوبات تخریبی که وزن مخصوص آن‌ها بیش از ۲/۹۷ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد، اطلاق می‌شود. این کانی‌ها از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی دامنه گسترده‌ای را در میادین هوازدگی فیزیکی، مقاومت فرسایشی در اثر حمل و نقل، وزن مخصوص، خواص مغناطیسی، رنگ نشان می‌دهند و اغلب کانی‌هایی با وزن مخصوص بالا و مقاوم در برابر فرسایش که در محیط‌های آبرفتی و تحت تأثیر سدهای مکانیکی متمرکز شده‌اند، شامل می‌شوند (جدول ۳-۲).

مطالعات کانی سنگین می‌تواند نقش مهمی در اکتشاف کانسارهای اولیه و کانسارهای پلاستی داشته باشد (Dill, 1998).

اصولاً روش اکتشافی کانی‌های سنگین بر مبنای نمونه برداری مستقیم از این کانی‌ها قرار دارد که اغلب خود تشکیل دهنده کانسارهای اقتصادی هستند و یا به نحوی با آن‌ها در ارتباط می‌باشند. این روش اصولاً برای اکتشاف کانی‌هایی مفید است که نسبت به تجزیه شیمیایی یا مکانیکی مقاوم هستند (یزدی، ۱۳۸۱).

جدول ۳-۲- طبقه بندی تعدادی از کانی‌ها بر اساس وزن مخصوص (یزدی، ۱۳۸۱).

وزن مخصوص (gr/cm^3)	نام کانی‌ها
۲/۹-۳/۳	آندالوزیت، آپاتیت، فلوریت و تورمالین
۳/۳-۴/۲	آاناتاز، کزندوم، الماس، کیانیت، اسفن، توپاز، اوژیت، گارنت، اسپینل
بیش از ۴/۲	باریت، سینابر، کاسیتريت، روتیل، شیثلیت، زیرکن، کرومیت، مونازیت، ولفرامیت، زنوتایم

از نظر کانی‌شناسی کانی‌هایی مانند پلاتین، طلا، کاسیتريت، شیثلیت، باریت، سلسستین، زیرکن، مونازیت و جواهرات از جمله کانی‌های سنگین معروف محسوب می‌شوند. کانی‌های سنگین یا خود مانند طلا و پلاتین مهم هستند و یا عناصر همراه آن‌ها (مانند عناصر خاکی کمیاب، توریم و ایتريوم در مونازیت) اهمیت دارد. کوارتز و فلدسپات جزء کانی‌های سبک محسوب می‌شوند و تشکیل دهنده اصلی ماسه‌ها هستند، کانی‌های سنگین در حدود ۱ درصد و یا کمی بیش از ۱ درصد حجم ماسه‌ها را تشکیل می‌دهند. البته در موارد خاص این تمرکز گاهی به ده‌ها درصد نیز می‌رسد و کانسار اقتصادی پلاستی تشکیل می‌گردد. عواملی مانند آب، باد و عامل ثقل می‌توانند باعث جابجایی و جداسازی این کانی‌ها در رسوبات شود. تمرکز کانی‌های سنگین در یک محل به اندازه ذرات و چگالی آن‌ها نیز بستگی دارد و فهمیدن این پارامترها در رسوبات یک منطقه به درک بهتر ما در پیدا کردن محل تمرکز این کانی‌ها کمک می‌کند (یزدی، ۱۳۸۱).

۳-۳- مطالعات توجیهی اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای

انجام مطالعات توجیهی در اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در مناطقی که قبلاً این گونه مطالعات به منظور تعیین مناسب‌ترین ابعاد رسوبات و تراکم نمونه برداری انجام نشده است، الزامی است.

مطالعات توجیهی، یک تحقیق اولیه فنی برای برنامه‌ریزی بهینه یک پروژه اکتشافی است. این مطالعات باید در نواحی فاقد اطلاعات ژئوشیمیایی قبلی انجام شود. در این نواحی، نمونه‌های توجیهی

رسوبات آبراهه‌ای باید از مجاورت کانسارهای شناخته شده، رگه‌ها و شواهد معدنی و همچنین از مناطق غیر کانی‌سازی به فواصل ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری و یا بیشتر در امتداد آبراهه‌ها برداشت شوند. به طوری که نمونه‌های برداشت شده نمایانگر محدوده کانی‌سازی شده و فاقد کانی‌سازی باشند تا وضعیت پراکنش ژئوشیمیایی طبیعی برای طراحی بهینه مشخص شود. اطلاعات پایه‌ای مانند مناسب‌ترین اندازه ذرات، مناسب‌ترین فاصله نمونه‌برداری و شناخت ماهیت ژئوشیمیایی پراکنش عناصر در منطقه بر اساس نتایج مطالعات توجیهی تعیین می‌گردد (کوثری، ۱۳۸۹).

رعایت موارد زیر در مطالعات توجیهی توصیه می‌شود:

الف - آماده‌سازی نمونه‌های توجیهی: با رعایت تمام موارد و دستورالعمل‌های نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای و با قرار دادن الک‌ها با اندازه مش‌های مختلف بر روی یکدیگر و قرار دادن زیر الکی در بخش تحتانی، باید آماده‌سازی نمونه‌های توجیهی انجام شود. برای این منظور استفاده از حداقل ۴ و حداکثر ۷ الک توصیه می‌شود. در نمونه‌های درصد وزنی، رسوب عبور کرده از هر الک و باقیمانده بر روی الک تعیین خواهد شد. به‌عنوان مثال اگر ۴ الک انتخاب شود، ابعاد انتخابی عبارتند از (ضوابط و معیارهای معدن، نشریه شماره ۵۴۰، ۱۳۸۹):

محدوده ابعادی الف	محدوده ابعادی ب	محدوده ابعادی پ	محدوده ابعادی ت
۴۰مش	۸۰مش	۱۲۰مش	۲۳۰مش

بنابراین از هرایستگاه نمونه‌برداری پنج محدوده ابعادی الف تا ت تجزیه و با پردازش‌های داده‌ها، اندازه بهینه نمونه‌ها مشخص می‌شود. نمونه‌های هر محدوده ابعادی تا زیر ۲۰۰ مش آسیاب و برای تجزیه شیمیایی عناصر مورد نظر و هم‌پاراژنز به آزمایشگاه ارسال می‌شود.

ب - پردازش داده‌ها: داده‌های حاصل از مطالعات توجیهی باید در یک محیط مناسب نرم‌افزاری (ترجیحا Excel) مرتب و اطلاعات مربوط به تمامی عناصر مورد بررسی قرار گیرند. استفاده از سه روش زیر برای داده‌پردازی توصیه می‌شود:

-ترسیم نمودار خطی عناصر در محیط Excel

-ترسیم نمودار جعبه‌ای عناصر در محیط SPSS

-امتیازدهی بر مبنای تمایز قابل توجه در هر محدوده ابعادی توسط کارشناس خبره

این سه روش باید در دو مرحله، شامل مرحله اول برای تمامی عناصر و مرحله دوم برای گروه خاصی از عناصر مورد نظر بسته به اهداف اکتشافی انجام و ابعاد مناسب تعیین شود. نمونه‌های اصلی باید بر مبنای محدوده ابعادی بهینه این مرحله برداشت شود.

۳-۴- برداشت، تجزیه و مطالعه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای

نمونه‌ها باید از بستر آبراهه‌ها و با استفاده از بخش عبور کرده از الک با مش تعیین شده در مرحله مطالعات توجیهی برداشت شوند. وزن نمونه‌های برداشت شده باید از ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم باشد. محل برداشت نمونه‌ها باید طوری انتخاب شود که نمونه برداشت شده نمایانگر رسوبات تخریبی حوضه آبرگیر بالادست خود باشد. نمونه‌ها معمولاً از بخش رس و سیلت و از وسط آبراهه‌ها برداشت می‌شوند. در صورتی که عرض آبراهه بیش از ۵ متر باشد، بهتر است که در امتداد عرضی آبراهه از چندین نقطه نمونه برداری شده و پس از اختلاط با یکدیگر یک نمونه معرف تهیه و مشخصات نمونه‌های تلفیقی در کارت نمونه برداری ثبت شود. در هر ایستگاه نمونه‌برداری برداشت حداقل ۲۵ جزء نمونه الزامی است. فاصله نمونه‌ها از یکدیگر بر اساس درجه‌بندی آبراهه‌ها انتخاب می‌شود، به طوری که آبراهه‌های درجه یک (آبراهه‌های سرشاخه) دارای اهمیت بیشتری هستند. معمولاً محل برداشت هر نمونه باید در منتهی‌الیه آبراهه و قبل از پیوستن به آبراهه‌های بعدی انتخاب شود. برداشت نمونه‌های کانی سنگین از آبراهه‌های درجه ۴ و ۵ (آبراهه‌های عریض که چندین آبراهه فرعی به آن می‌پیوندند)، با هدف اکتشاف کانسارهای آبرفتی انجام می‌شود. نمونه کانی سنگین باید از نقاطی برداشت شود که ضمن نشان دادن رابطه تمرکز کانی‌های سنگین با حوضه بالادست خود، بیشترین تمرکز کانی‌ها را نیز داشته باشد.

الف - کدگذاری و ثبت اطلاعات صحرائی نمونه‌ها: کارشناس نمونه بردار، باید علاوه بر برداشت

نمونه، کارت نمونه‌برداری را برای هر نمونه تکمیل کند. اطلاعات مورد نیاز برای تکمیل این کارت

عبارت است از:

-اطلاعات کلی شامل شماره نمونه، نام پروژه، نام محل، سیستم مختصات جغرافیایی مورد استفاده،

مشخصات نمونه و نام نمونه بردار.

-ویژگی‌های محیط نمونه‌برداری شامل عمق، ابعاد، افق‌ها، رطوبت، رنگ و ساختار نمونه رسوب الک

نشده.

-وضعیت مورفولوژی و شیب منطقه

-اطلاعات مربوط به وجود کانی‌سازی و دگرسانی

-سنگ‌شناسی محدوده به صورت برجا و نابرجا

-اطلاعات مربوط به آلودگی‌های احتمالی که با توجه به ماهیت و اهداف اکتشافی ویژه هر منطقه

می‌توان مواردی را بر حسب مورد به اطلاعات کارت نمونه‌برداری اضافه کرد.

تمامی اطلاعات فوق باید توسط شخص نمونه‌بردار و در هنگام نمونه‌برداری تکمیل شود.

ب- آماده‌سازی نمونه‌ها: اولین مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها با انتخاب ابعاد بهینه رسوبات به وسیله

الک مورد نظر در صحرا انجام می‌شود. سپس در آزمایشگاه، نمونه‌ها طی مراحل خردایش و نرمایش تا

ابعاد ۲۰۰- پودر می‌شوند. ۵۰ گرم از هر نمونه پس از همگن‌سازی برای تجزیه شیمیایی انتخاب و

مابقی نمونه، بایگانی می‌شود. در این مرحله باید ۱۰ درصد کل نمونه‌ها و یا حداکثر ۳۰ نمونه تکراری

برای بررسی دقت نتایج آزمایشگاهی انتخاب شود. نمونه‌های کانی سنگین باید از بخش ناهمگن و

درشت دانه (قلوه سنگی) رسوبات آبراهه‌ای و از عمق ۲۰ الی ۴۰ سانتی‌متری رسوبات برداشت شود.

مقدار حجم رسوبات پس از عبور از الک ۱۰ مش حدود ۳ الی ۷ لیتر (وزن تقریبی نمونه ۳ تا ۷

کیلوگرم پس از عبور از الک ۱۰ مش) است. آماده‌سازی نمونه‌های کانی سنگین پس از برداشت و

ثبت اطلاعات مربوط به موقعیت رسوبات آبراهه‌ای، سنگ دربرگیرنده و نظایر آن در کارت نمونه-

برداری ثبت و طی مراحل گل‌شویی، لاوک‌شویی، بروموفرم‌گیری، جدایش مغناطیسی، مطالعات میکروسکوپی، و محاسبات انجام می‌گیرد.

آماده‌سازی نمونه‌های سنگی شامل مراحل خردایش و نمایش است. به طوری که کلیه نمونه‌های برداشت شده به ابعاد کمتر از ۵ میلیمتر خردایش و با استفاده از تقسیم‌کن مقدار ۲۰۰ گرم از آن تا حد ۲۰۰- مش نمایش می‌شوند. باید از آلودگی در طی عملیات آماده‌سازی جلوگیری به عمل آید.

ج- تجزیه نمونه‌ها

تجزیه نمونه‌ها در اکتشاف ژئوشیمیایی نقش اساسی دارد و در موفقیت و یا عدم موفقیت آن موثر است. به طوری که اگر تجزیه‌های شیمیایی از صحت و دقت لازم برخوردار نباشند، اهداف اکتشاف محقق نخواهد شد. در انتخاب روش‌های تجزیه شیمیایی آزمایشگاهی عوامل زیر نقش اساسی دارند: -مقیاس عملیات اکتشافی: در مرحله شناسایی مطالعات اکتشافی که مناطق وسیعی را در بر می‌گیرد. استفاده از روش‌های ICP-MS، ICP-OES و XRF توصیه می‌شود. زیرا این روش‌ها به دلیل امکان اندازه‌گیری تعداد بسیار زیاد عناصر (حداقل ۵۰ عنصر) کاربرد مناسبی دارند.

-حد تشخیص اندازه‌گیری عناصر: انتخاب روش تجزیه شیمیایی بستگی مستقیم به حداقل و حداکثر عیار قابل اندازه‌گیری دارد. اگر اندازه‌گیری عیار اقتصادی عناصر و مواد معدنی مورد توجه باشد، حد بالای اندازه‌گیری و در صورتی که هدف شناسایی پتانسیل عناصر در محدوده اکتشافی باشد، حد پایین اندازه‌گیری مورد نیاز است.

در ادامه در دو بخش مجزا به تشریح کامل مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌ای و کانی سنگین در محدوده کوه زر پرداخته می‌شود:

۳-۵- مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراه‌ای در محدوده کوه زر

۳-۵-۱- مقدمه

در ژئوشیمی اکتشافی سه بخش اساسی وجود دارد که شامل طراحی و برداشت نمونه‌ها، تجزیه نمونه‌ها و تفسیر نتایج می‌باشد. در صورتی که خطایی در نمونه‌برداری صورت گرفته باشد نه تنها باید

بار دیگر آن را تکرار کرد، بلکه باید تجزیه نمونه‌ها و تفسیر داده‌ها را نیز دوباره انجام داد که در مجموع مخارج زیادی را دربرمی‌گیرد. بنابراین نمونه‌برداری صحیح از اهمیت خاصی برخوردار است. در نمونه‌برداری حداقل دو پارامتر اساسی زیر را بایستی در نظر داشت، که عبارتند از :

- تعیین بهترین و مناسب‌ترین محیط نمونه‌برداری برای عناصر مورد جستجو.

- رعایت نکات فنی نمونه‌برداری به‌منظور برداشت معرف‌ترین آن‌ها.

در ایران اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در سطح گسترده‌ای در مقیاس‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ انجام شده است، ولی غالب این مطالعات بدون انجام بررسی ژئوشیمیایی توجیهی برای کسب اطلاع از جزء مش بهینه رسوب، تراکم نمونه‌ها و ... انجام پذیرفته است با توجه به اهمیت و جایگاهی که مطالعات ژئوشیمی توجیهی در اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای دارا است، انجام این مطالعات از الزامات می‌باشد.

کمربند آتشفشانی- نفوذی ترود-چاه شیرین از گذشته‌های دور به لحاظ کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبها مطرح بوده است و محدوده اکتشافی کوه زر از معروف‌ترین پتانسیل‌های معدنی مس و طلا در این کمربند به حساب می‌آید. برای انجام مطالعات ژئوشیمی توجیهی و یا به‌عبارتی برای بررسی اثر اندازه ذرات روی توزیع ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای محدوده مس-طلای کوه زر انتخاب شده است. در محدوده کوه زر سه حوضه آبریز به نام‌های دره بازارها، دره پازو و دره خانی وجود دارد که دره پازو و بازارها از نظر پتانسیل کانی زائی مس و طلاحائز اهمیت هستند. با توجه به گسترش رگه‌های سیلیسی طلادار و توده‌های نفوذی و التره، شواهد صحرایی و اثرات معدنکاری قدیمی در حوضه دره‌ی پازو، این دره برای طراحی و برداشت نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای در تحقیق حاضر انتخاب شده است (شکل ۳-۱). محدوده حوضه آبریز پازو مساحتی در حدود یک کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد.

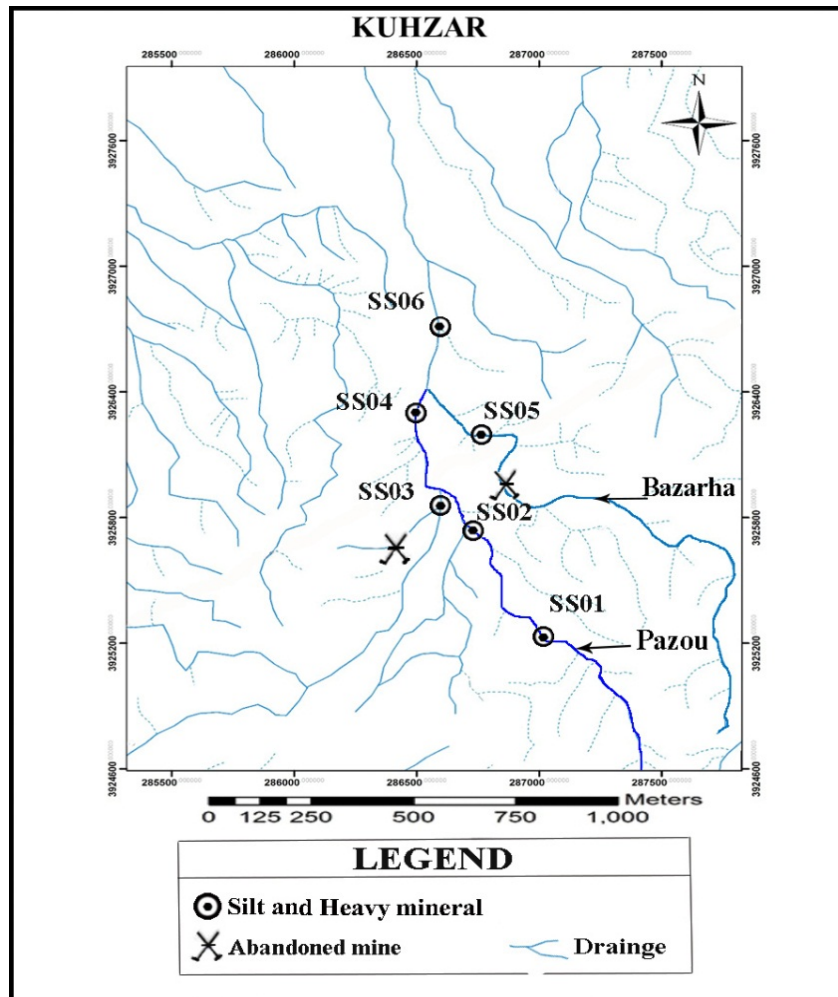
در این پژوهش، برای طراحی موقعیت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، ابتدا طرح کلی آبراهه‌های ناحیه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و عکس‌های ماهواره‌ای محدوده کوه زر رسم شد (شکل ۳-۱). سپس نقشه زمین‌شناسی منطقه به صورت یک لایه اطلاعاتی بر روی آن قرار گرفت و بر اساس معیارهای سنگ‌شناختی، حوضه آبریز، اثر معادن شدادی، دگرسانی، تکتونیک و مرکز ثقل توپولوژیکی، تعداد ۵ نمونه ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای و ۵ نمونه کانی سنگین در مسیر دره‌ی پازو و ۱ نمونه ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای و ۱ نمونه کانی سنگین در مسیر دره‌ی بازارها طراحی گردید، مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری (UTM, wgs 1984) در جدول ۳-۳ آمده است.

جدول ۳-۳- مختصات جغرافیایی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برداشت شده از محدوده کوه زر.

TYPE	SAMPLE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE(m)
Geochemical sample	KZ-SS01	286960	3925418	1818
	KZ-SS02	286730	3925737	1770
	KZ-SS03	286612	3925811	1766
	KZ-SS04	286557	3926255	1722
	KZ-SS05	286739	3926155	1728
	KZ-SS06	286687	3926661	1685
Heavy mineral sample	KZ-HM01	286960	3925418	1818
	KZ-HM02	286730	3925737	1770
	KZ-HM03	286612	3925811	1766
	KZ-HM04	286557	3926255	1722
	KZ-HM05	286739	3926155	1728
	KZ-HM06	286687	3926661	1685

برای استفاده بهینه از داده‌های حاصل از هر نمونه سعی شد تا در توزیع نمونه‌ها و طراحی شبکه نمونه‌برداری روندهای ساختاری، زون‌های تکتونیک، واحدهای چینه‌شناسی و لیتولوژیکی، گسل‌های پنهان، توده‌های نفوذی فاقد رخنمون، واحدهای حاوی دگرسانی، پراکندگی معادن فعال و متروک و سایر یافته‌های حاصل از نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی و زمین‌شناسی در نظر گرفته شده و تا آنجا که

ممکن بود همه حوضه‌های آبراه‌های در نزدیکترین فاصله به‌رخمون‌های سنگی و رگه‌های سیلیسی با برداشت دست کم یک نمونه شناسایی شود.



شکل ۳-۱- نقشه آبراه‌های با اقتباس از نقشه هوایی کوه‌ز

۳-۵-۲- برداشت نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراه‌های

در هر ایستگاه نمونه‌برداری، نمونه‌های ژئوشیمیایی سیلت آبراه‌های بصورت زیر برداشت شده‌اند:
 در هر ایستگاه نمونه‌برداری از محل نمونه تا حدود ۵۰ متر به سمت بالادست آبراهه ۲۵ جزء نمونه به‌صورت الک نشده برداشت گردید. برای هر نمونه، تمامی جزء نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط شده و در یک پاکت پلاستیکی بسته‌بندی و کد گذاری می‌گردد. وزن نمونه اولیه خشک در هر ایستگاه با توجه به دانه‌بندی و جنس رسوبات از ۱۰ تا ۱۵ کیلوگرم تغییر می‌نماید. در این مرحله تعداد ۶ نمونه

ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای برداشت شد، که آماده تجزیه سرندي بر اساس هدف پژوهش هستند. برخی معيارهای مهم در برداشت نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای به شرح زیر هستند:

- نمونه‌ها از بخش سطحی رسوبات و از مکان‌های مناسب در داخل بستر آبراهه‌ها و دور از کرانه‌های آبراهه‌ای برداشت شده‌اند.

- از برداشت مواد آلی اجتناب شد، چرا که بدلیل پدیده جذب، غلظت فلزات در مواد آلی بالاست و خطای تحلیل داده‌ها را ایجاد خواهد کرد.

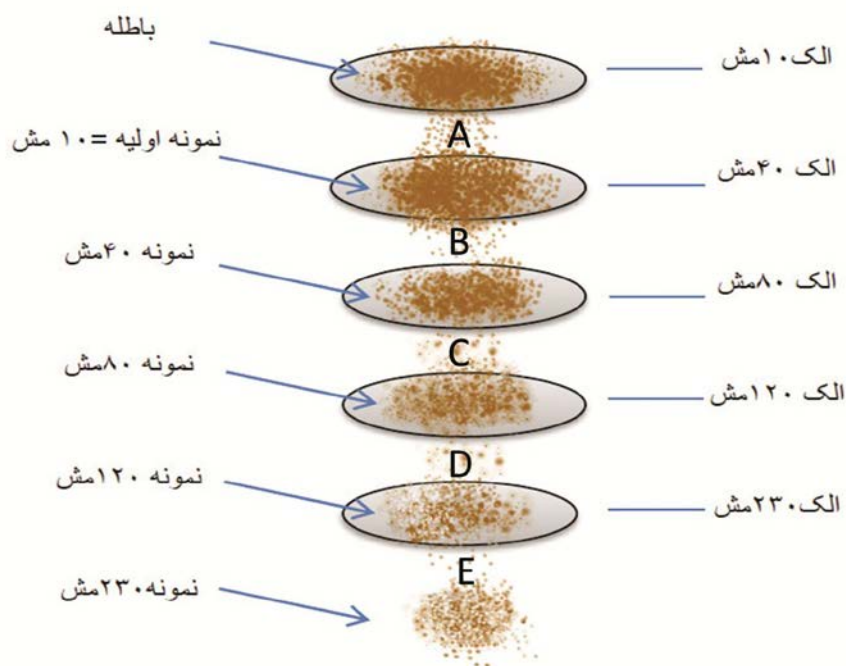
- ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی محل نمونه‌برداری از قبیل جنس قطعات، علائم معدنی، دگرسانی‌ها، مختصات جغرافیایی و ... برای هر نمونه ثبت شدند.

۳-۵-۳- آماده سازی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای

باتوجه به هدف مطالعه که بررسی اندازه ذرات روی توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای است، لذا بر روی نمونه‌ها بایستی تجزیه سرندي انجام شود. از آنجایی که اجزای بزرگتر از ۲ میلی‌متر رسوبات آبراهه‌ای دارای قطعات سنگ بوده و کانی‌ها در این بخش از رسوب به‌صورت آزاد نمی‌باشد، از اینرو جزء بزرگتر از ۲ میلی‌متر از بررسی‌های ژئوشیمیایی کنار گذاشته می‌شود. انجمن زمین‌شناسی اروپا (FOREGS) بخش کوچکتر از ۱۵۰ میکرون ($150\mu m$) رسوب را به‌عنوان مش استاندارد معرفی کرده است. در این تحقیق با توجه به اهداف آن جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای برای بررسی احتمال وابستگی غلظت برخی از عناصر به اندازه دانه‌ها و انتخاب مش بهینه مورد مطالعه قرار گرفته است. براین اساس الک‌هایی با سایز مش‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، و ۲۳۰ مش برای تجزیه سرندي نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر انتخاب شده است.

برای تجزیه سرندي نمونه، ابتدا نمونه با الک ۱۰ مش سرندي شده، تا بخش بزرگتر از ۲ میلی‌متر نمونه جدا شود. از آنجایی برای انتخاب نمونه معرف از رسوبات آبراهه‌ای، وزن اولیه و الک نشده نمونه‌ها زیاد

بوده است (در حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلوگرم برای هر نمونه ژئوشیمی رسوب)، از اینرو پس از سرد کردن نمونه با الک ۱۰ مش، بخش کوچکتر از ۱۰ مش نمونه‌ها زیادتراً از حجم معمول آن‌ها برای آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی می‌باشد. بنابراین برای هر نمونه‌ی زیر ۲ میلی‌متر بوسیله دستگاه تقسیم‌کن، تا رسیدن به وزن حدود ۱/۵ کیلوگرم در چند مرحله تقسیم بخشی صورت گرفت و مقدار اضافی و باقیمانده نمونه تا انتهای پروژّه بایگانی شد. پس از ثبت دقیق وزن انتخابی، هر نمونه رسوب به داخل دستگاه لرزان (شیکر) منتقل شده و شیکر برای مدت ۴۰ دقیقه تنظیم شد. پس از آن زمان نمونه رسوب آبراهه‌ای به‌طور کامل به جزء $A = 2 - 0/425 \text{ mm}$ ، $B = 0/425 - 0/180 \text{ mm}$ ، $C = 0/180 - 0/125 \text{ mm}$ ، $D = 0/125 - 0/63 \text{ mm}$ ، $E < 0/63 \text{ mm}$ تفکیک گردید (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- تصویر شماتیک تجزیه سردی به وسیله شیکر

قسمت‌های تفکیک‌شده هر نمونه (A, B, C, D, E)، به‌دلیل اینکه جز کوچکی از هر نمونه (حدود چند گرم تا میلی‌گرم) جهت آنالیز انتخاب می‌گردد و همچنین به جهت همگن‌سازی، نمونه‌ها توسط



شکل ۳-۳- نمودار جریان‌ی تجزیه سرنده‌ی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای و انتخاب نمونه معرف هر جزء برای تجزیه شیمیایی.

آسیاب گلوله‌ای تا زیر ۲۰۰ مش پودر شدند. بعد از این مرحله جزء نمونه‌ها وزن می‌شوند و درصد وزنی هر جزء نمونه محاسبه می‌گردد (شکل ۳-۷ و توضیح اندازه ذرات) و در نهایت نمونه‌ها کدگذاری شده و به همراه لیستی از نام و کد آن، نوع آنالیز و مشخصات لازم (جدول ۲ بخش پیوست) به صورت بسته-بندی مطمئن جهت تجزیه به روش‌های Fire Assay و ICP-OES به آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زر آزما ارسال شده است.

۳-۵-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای

بعد از تجزیه سرنندی نمونه‌ها و پشت سر گذاشتن مراحل آماده‌سازی جزءهای مختلف رسوب، نمونه‌ها تا حد زیر ۲۰۰ مش آسیاب و کاملاً همگن شده و جهت تجزیه طلا و عناصر مورد نظر به آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زر آزما ارسال گردید. در این آزمایشگاه طلا به روش غال‌گذاری (Fire Assay) و عناصر دیگر به روش انحلال در مخلوط چهار اسید و با ICP-OES تجزیه شدند. لازم به ذکر است که همه جزء نمونه‌ها برای عناصر Li, La, K, Fe, Cu, Cr, Co, Ce, Cd, Ca, Be, Ba, As, Al, Ag, Au, Zr, Zn, Yb, Y, V, U, Ti, Th, Sr, Sc, Sb, S, Pb, P, Ni, Na, Mo, Mn, Mg تجزیه شده‌اند، و مقادیر غلظت آن‌ها در جدول ۳-۴ آورده شده است.

در شرکت زرآزما نمونه‌ها برای عنصر طلا به روش غال‌گذاری آماده‌سازی می‌شوند. این روش در اصل روش تجزیه طلا با بازیابی کامل است. در این روش، ۳۰ گرم از نمونه تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حضور کمک ذوب‌ها ذوب می‌شود. در این حالت طلا و فلزات گرانبها از سرباره جدا شده و جذب ملغمه سربی می‌گردد. سرب در مرحله کوپلاسیون حذف و فلزات گرانبها جدا می‌شود. در پایان ملغمه حاصله در مخلوط اسیدنیتریک و اسیدکلریدریک (آکوارجیا) حل شده و با استفاده از AAS و یا ICPOES تعیین عیار می‌شود (شکل ۳-۴). ذکر این نکته ضروری است که برخی از ترکیبات مانند کرومات‌ها، سولفیدهای فلزی، سلنیدها و تلوریدها ممکن است در این روش مزاحمت ایجاد کنند و بازیابی طلا را کاهش دهند. در صورت اطلاع از وجود کانی‌های فوق در نمونه، می‌توان با تغییر در اجزا متشکله کمک ذوب و افزایش نسبت کمک ذوب‌ها به نمونه درصد بازیابی را افزایش داد. در بیشتر مواقع کاهش وزن نمونه می‌تواند باعث آزادسازی درصد بیشتری از فلزات پایه بویژه در موارد مذکور گردد.



شکل ۳-۴- مراحل آماده‌سازی نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای برای عیارسنجی طلا در تکنیک غال‌گذاری.

جدول ۳-۴- مقادیر غلظت عناصر (گرم در تن) در جزء مش‌های مختلف نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر (طلا بر حسب میلی‌گرم در تن).

Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	U	V	Y	Yb	Zn	Zr
KZ-SS01-A	66	0.53	80928	21.2	485	2	27287	0.34	58	24	59	164	47662	27458	30	27	19007	1329	1.61	23444	32	1214	126	553	1.15	17	475	16.6	3802	<5	176	20	2.5	166	99
KZ-SS01-B	83	0.49	72339	16.8	424	1.7	38136	0.34	60	29	69	144	45579	22431	30	31	18834	1618	1.6	16716	48	1157	104	568	1.03	15.6	357	15.4	3713	<5	155	20	2.4	133	88
KZ-SS01-C	28	0.33	63452	11.5	391	1.5	42763	0.29	55	25	70	97	38514	18963	27	28	16352	1359	1.42	14039	50	984	63	454	0.96	12.6	304	14.1	3540	<5	123	19	2.2	105	82
KZ-SS01-D	12	0.33	57561	10.9	340	1.3	48541	0.26	48	17	70	65	32417	16851	24	25	14682	999	1.36	14083	47	855	37	377	0.9	10.7	281	12.8	3505	<5	101	17	2	88	78
KZ-SS01-E	19	0.33	57922	8.4	313	1.3	52063	0.26	53	16	85	57	31500	16319	27	27	16129	852	1.18	13465	57	909	30	395	0.92	11.1	256	12.7	3742	<5	97	19	2.2	90	83
KZ-SS02-A	38	0.31	65496	23.1	658	2	17168	0.29	43	25	30	227	49809	35963	23	23	12864	951	1.97	18123	24	1083	73	1432	1.12	12.1	463	17.7	3130	<5	155	15	2	111	39
KZ-SS02-B	36	0.43	70977	28.4	684	2.1	22220	0.32	53	37	41	266	56046	32223	26	27	14263	1538	2.53	17640	33	1150	113	1505	1.03	13.4	468	18.9	3199	<5	165	17	2.1	130	42
KZ-SS02-C	44	0.37	68843	20	532	1.7	33878	0.32	58	32	55	188	49236	24427	28	28	14661	1499	2.14	15300	40	1031	95	1051	1.08	13.2	385	16.4	3595	<5	147	19	2.3	119	78
KZ-SS02-D	18	0.4	58052	11.3	415	1.3	40896	0.28	51	21	57	116	38345	18439	25	23	13028	1066	1.55	14272	36	864	61	700	1.03	10.7	324	14.3	3406	<5	116	17	2.1	94	70
KZ-SS02-E	17	0.37	60835	9.1	363	1.3	49730	0.26	56	17	85	92	36138	18117	28	27	16146	867	1.38	13289	53	964	45	618	1.42	11.7	280	14.1	3941	<5	109	19	2.2	99	82
KZ-SS03-A	36	0.43	81552	25.7	541	1.9	26185	0.32	49	27	31	321	47330	28202	26	23	13273	994	2.06	19582	25	1068	71	629	9.6	13.9	515	17.3	3319	<5	158	19	2.4	103	69
KZ-SS03-B	28	0.35	75372	22.8	492	1.8	30388	0.31	57	35	46	308	47958	24660	29	27	14593	1382	2.15	17470	38	1010	86	610	1.05	13.9	457	16.1	3426	5.1	152	20	2.4	111	67
KZ-SS03-C	34	0.36	72443	18.5	472	1.7	35316	0.3	58	32	47	265	44783	22506	28	27	14301	1427	2.04	15960	42	942	87	555	1.09	13.1	412	15.8	3392	<5	140	19	2.3	105	70
KZ-SS03-D	14	0.4	60190	11.2	385	1.3	45023	0.26	50	20	52	147	35342	17770	25	24	13254	1011	1.69	14573	41	801	51	414	0.93	10.3	321	14.2	3311	<5	108	17	2	86	65
KZ-SS03-E	14	0.43	60082	10.3	345	1.3	51466	0.31	53	16	83	105	32669	16569	26	27	15790	796	1.27	13627	56	890	36	369	0.92	11	267	14	3893	<5	99	18	2.2	89	82
KZ-SS04-A	37	0.38	73785	24.3	586	2	20094	0.31	46	26	32	266	49750	31398	25	20	11593	848	2.44	21355	22	1004	77	1017	1.1	10.8	508	17.8	2768	<5	137	15	1.9	93	30
KZ-SS04-B	5566	0.41	68896	25.2	561	2	23283	0.33	50	38	40	319	59845	28216	26	24	12969	1301	3	19290	34	1043	109	1102	1.03	11.8	477	17.1	3163	5.2	167	17	2.2	106	36
KZ-SS04-C	1236	0.39	69305	20.9	541	1.9	26905	0.32	59	36	53	292	60141	25672	30	26	13742	1424	2.83	17185	38	1057	113	1154	1.05	12.9	437	16.9	3516	<5	180	18	2.4	111	43
KZ-SS04-D	1100	0.42	59844	13.9	419	1.4	39325	0.31	52	21	55	155	42211	19724	27	24	13277	1024	1.72	15158	38	896	62	715	0.96	11	336	14.3	3664	<5	131	17	2.2	92	66
KZ-SS04-E	32	0.33	63179	8.2	362	1.4	48402	0.26	54	17	78	107	35962	18508	27	27	16200	859	1.57	13991	53	977	43	516	0.9	11.9	288	13.8	4035	5.2	110	19	2.3	94	82
KZ-SS05-A	139	0.59	77127	11.8	607	1.7	18825	0.25	44	15	24	316	33724	29345	25	16	8629	565	2.56	24238	18	966	224	1231	1.13	7.9	525	18.6	2232	<5	96	12	1.6	76	32
KZ-SS05-B	613	1	73312	37.7	638	1.7	23042	0.38	52	26	41	521	48865	24668	27	22	12031	962	10.4	20614	31	1186	603	1978	34.6	10.9	515	19.1	2996	<5	140	16	2.1	122	45
KZ-SS05-C	965	1.2	69495	50.8	604	1.6	24778	0.42	53	27	50	535	53704	23681	28	24	13290	1064	20.6	17670	36	1210	760	2151	44.4	12.4	455	18.2	3319	<5	163	18	2.3	132	53
KZ-SS05-D	665	1.2	64921	40	495	1.4	32953	0.35	51	20	54	330	44017	20138	26	24	13376	890	31.4	15783	37	1072	572	1586	26.4	11.6	378	16.2	3518	<5	140	17	2.1	111	58
KZ-SS05-E	368	0.73	64764	21.6	400	1.4	42896	0.32	55	16	78	234	37567	18812	27	28	16624	801	12.8	13999	53	1091	318	1043	1.52	12.5	309	15	3984	<5	116	19	2.3	109	76
KZ-SS06-A	84	0.41	68018	10.8	544	1.7	18042	0.25	39	14	21	233	33361	31115	22	16	8764	552	2.13	23920	17	834	75	731	0.94	6.8	497	16.9	2210	<5	98	11	1.4	69	23
KZ-SS06-B	227	0.52	76903	25.9	594	1.8	21141	0.3	50	28	44	406	51030	27835	27	20	11590	982	3.42	21432	26	1051	248	1390	12.6	10.7	517	18	2881	<5	146	15	1.9	101	29
KZ-SS06-C	779	0.57	66166	31.9	571	1.7	23768	0.33	53	31	65	423	59545	23632	28	23	12389	1173	12.1	18622	32	1107	373	1661	17.6	11.6	459	17.7	3315	<5	187	16	2.2	113	33
KZ-SS06-D	508	0.51	51043	23	448	1.4	32574	0.3	42	22	54	240	43718	18965	23	22	12016	905	14.6	15846	32	946	271	1113	11	9.8	341	14.8	3462	5.2	141	16	2	92	48
KZ-SS06-E	219	0.35	64006	14.3	389	1.3	45846	0.29	53	17	79	158	36842	18306	27	27	15896	805	3.14	14173	49	1050	146	880	1.27	11.9	316	14.4	4013	<5	118	18	2.2	97	74

۳-۵-۴-۱- حد حساسیت دستگاه‌ها

مهمترین پارامتر در انتخاب روش تجزیه شیمیایی نمونه‌ها، حد حساسیت آن‌ها می‌باشد. اصولاً در تجزیه و تحلیل‌های آماری مقادیر سنسورد یک عنصر اختلال ایجاد می‌کند. علاوه بر این، از آنجا که در اکتشافات ژئوشیمیایی اهمیت و کاربرد مقادیر عددی مربوط به هر یک از عناصر صرفاً به‌منظور مقایسه نسبی آن‌ها با یکدیگر برای تعیین مقادیر آنومالی می‌باشد، لذا حصول مقادیر غیرسنسورد برای یک عنصر در ارتباط با مقدار زمینه آن‌ها انتخاب می‌گردد. با توجه به توضیحات فوق مقادیر حد حساسیت برای عناصر مورد نظر با توجه به تکنیک‌های آزمایشگاهی موجود و مقدار زمینه عناصر تعیین شده تا با توجه به فراوانی کم عناصر در برخی از سنگ‌ها و رسوبات تا حد امکان مقادیر غیرسنسورد حاصل شود. با توجه به توضیحات فوق کمترین حد حساسیت عناصر برای روش‌های غال‌گذاری و ICP-OES در پژوهش حاضر در جدول ۳-۵ ارائه شده است.

جدول ۳-۵- حد حساسیت ICP-OES و غال‌گذاری برای تجزیه عناصر در نمونه‌های رسوب آبره‌ای کوه زر.

Element	DL	Unit	Method	Element	DL	Unit	Method
Au	5	ppb	F. A	Mo	0.5	ppm	ICP-OES
Ag	0.1	ppm	ICP-OES	Na	100	ppm	ICP-OES
Al	100	ppm	ICP-OES	Ni	1	ppm	ICP-OES
As	0.5	ppm	ICP-OES	P	10	ppm	ICP-OES
Ba	5	ppm	ICP-OES	Pb	1	ppm	ICP-OES
Be	1	ppm	ICP-OES	S	50	ppm	ICP-OES
Ca	100	ppm	ICP-OES	Sb	0.5	ppm	ICP-OES
Cd	0.1	ppm	ICP-OES	Sc	0.5	ppm	ICP-OES
Ce	1	ppm	ICP-OES	Sr	2	ppm	ICP-OES
Co	1	ppm	ICP-OES	Th	0.5	ppm	ICP-OES
Cr	1	ppm	ICP-OES	Ti	10	ppm	ICP-OES
Cu	1	ppm	ICP-OES	U	5	ppm	ICP-OES
Fe	100	ppm	ICP-OES	V	1	ppm	ICP-OES
K	100	ppm	ICP-OES	Y	0.5	ppm	ICP-OES
La	1	ppm	ICP-OES	Yb	0.2	ppm	ICP-OES
Li	1	ppm	ICP-OES	Zn	1	ppm	ICP-OES
Mg	100	ppm	ICP-OES	Zr	5	ppm	ICP-OES
Mn	5	ppm	ICP-OES				

۳-۵-۵- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

منظور از پردازش داده‌ها، طبقه‌بندی و تبدیل آن‌ها به یک شکل قابل تفسیر است. این کار با تنظیم اطلاعات در بانک‌های اطلاعاتی آغاز و با اعمال محاسبات مختلف آماری و زمین‌آماری و یا رسم انواع نمودارها و نقشه‌ها اطلاعات قابل فهمی تولید می‌کند. نکته مهم این است که در هر مرحله باید با کنترل‌های مداوم از میزان خطاهای احتمالی کاست. در این تحقیق همانطور که در بخش‌های قبلی گفته شد تعداد ۶ نمونه ژئوشیمی رسوب آبراه‌ای در ۵ مش برداشت و برای ۳۵ عنصر تجزیه گردید (جدول ۳-۴). اولین گام در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی آماده سازی داده‌ها برای ورود به یک محیط نرم افزاری مناسب است. در این مرحله مقادیری که از حدود قابل ثبت دستگاه کمتر و یا بیشتر هستند (مقادیر سنسورد) شناسایی و با مقادیر مناسب جایگزین شود. در مرحله بعدی بسته به هدف تحقیق، پردازش‌های لازم بر روی داده‌های ژئوشیمیایی انجام شده است.

۳-۵-۵-۱- برآورد مقادیر سنسورد

داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که به دلیل حساسیت دستگاه‌های آنالیز بصورت مقادیر کوچکتر و یا بزرگتر از حد قابل ثبت دستگاه گزارش می‌شود. چنین اعدادی می‌تواند بررسی‌های آماری را مختل کند زیرا اولاً روش‌های آماری نیاز به مجموعه کاملی از داده‌های غیرسنسورد دارد و ثانیاً در مواردی، نظیر جداسازی زمینه از آنومالی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد، داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیردقیق می‌شود، در نتیجه عناصری که مقادیر سنسورد آن‌ها بسیار زیاد است از پردازش حذف می‌شوند ولی اگر تعداد داده‌های سنسورد در حد قابل قبول باشد، مقادیر آن باید توسط روش‌های مختلف مثل روش جایگزینی ساده یا روش بیشترین درست‌نمایی کوهن محاسبه و جایگزین شود. شرط لازم جهت پردازش‌های آماری داده‌ها، حضور داده‌های عددی و غیر-سنسورد است. در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی عموماً عناصر دارای بیش از ۵۰ درصد مقادیر سنسورد از بررسی‌های آماری حذف می‌شود. همچنانکه در داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌های

ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر مشاهده می‌شود از بین ۳۵ عنصر، فقط عنصر U دارای مقادیر سنسورد کمتر از حد قابل ثبت دستگاه (۵ گرم در تن) بوده است. از ۳۰ نمونه تعداد ۲۵ نمونه دارای مقادیر کمتر از ۵ گرم در تن است، که ۸۳ درصد کل نمونه‌ها را شامل می‌شود با توجه به تعداد زیاد نمونه‌ی سنسورد، عنصر U از روند پردازش حذف گردید.

۳-۵-۲- توزیع اندازه ذرات

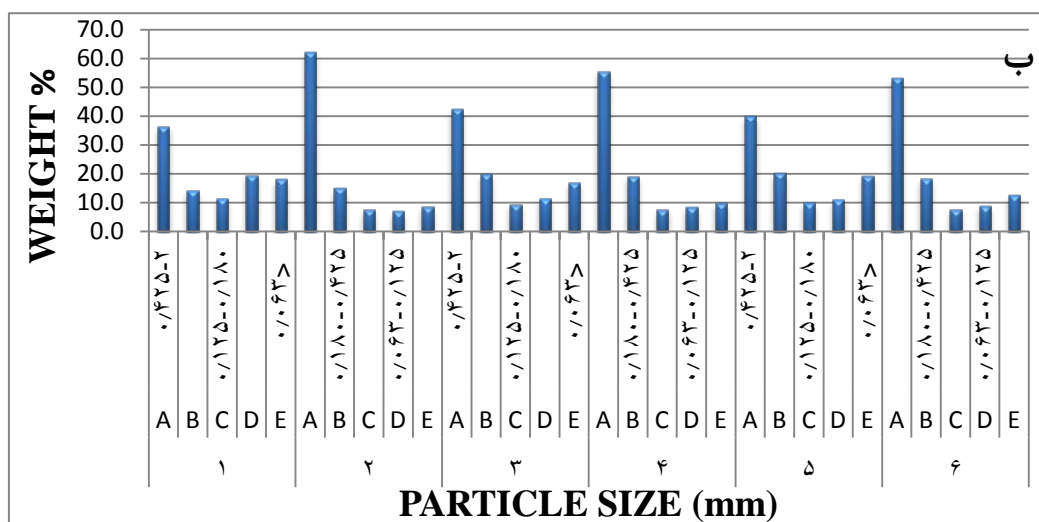
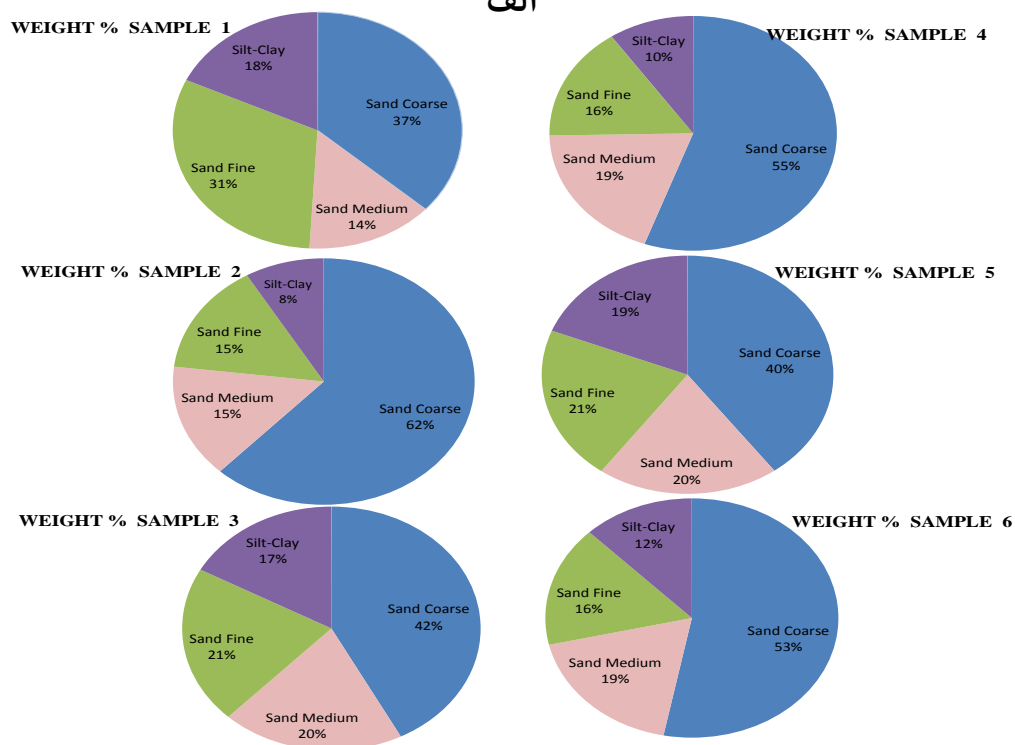
مطالعه نحوه توزیع ذرات در رسوبات آبراهه‌ای از این نظر که دارای خصوصیات و مشخصه سنگ منشاء هستند، حائز اهمیت است. همانطور که در بخش آماده‌سازی نمونه‌ها اشاره شد، نمونه‌های هر ایستگاه توسط ۴ الک با مش‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ مش توسط دستگاه لرزان (شیکر) تجزیه سرندی شدند در نتیجه هر نمونه به ۵ بخش با اندازه‌های $A= 2-0/425 \text{ mm}$ ، $0/180 \text{ mm}$ ، $B= 0/425$ ، $C= 0/180-0/125 \text{ mm}$ ، $D= 0/125-0/63 \text{ mm}$ ، $E < 0/63 \text{ mm}$ تفکیک گردید. هر جزء نمونه توسط ترازوی الکتریکی توزین شده، و درصد وزنی هر جزء نمونه برای تعداد ۶ نمونه رسوب آبراهه‌ای محاسبه گردید (جدول ۳-۶). بخش کوچکتر از ۲ میلی‌متر رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به‌طور متوسط شامل ۸۷ درصد ماسه (ذرات با ابعاد $2-0/63$ میلی‌متر) و ۱۳ درصد سیلت و رس (ذرات کوچکتر از $0/63$ میلی‌متر) تشکیل شده است، و به بیانی دیگر بطور میانگین ۵۰ درصد ذرات A (با اندازه $2-0/425 \text{ mm}$)، ۱۸ درصد B ($0/425-0/180 \text{ mm}$)، ۹ درصد C ($0/125 \text{ mm}$)، $0/180$ ، ۱۰ درصد D ($0/125-0/63 \text{ mm}$) و ۱۳ درصد E ($< 0/63 \text{ mm}$) تشکیل می‌دهد (جدول ۳-۶ و شکل ۳-۵).

نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر به‌تقریب دارای درصد توزیع دانه‌ای مشابهی هستند، در این میان میزان مشابهت در نمونه‌های ۴ و ۶ قابل ملاحظه است. ذرات $0/180-0/125 \text{ mm}$ (C) در تمام نمونه‌ها دارای کمترین درصد وزنی است (جدول ۳-۶ و شکل ۳-۵).

جدول ۳-۶- طبقه‌بندی نمونه‌های رسوب آبراه‌های محدوده کوه زر برحسب اندازه و درصد وزنی ذرات.

نوع ذره	وزن (درصد)	وزن (گرم)	سایز ذره (میلی‌متر)	نمونه
-	۱۰۰	۱۴۸۰	۲ <	KZ-SS-1
ماسه درشت	۴۲/۶	۵۴۱	۰/۴۲۵-۲	KZ-SS-1A
ماسه متوسط	۱۴/۳	۲۱۲	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	KZ-SS-1B
ماسه ریز	۱۱/۶	۱۷۱	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	KZ-SS-1C
	۱۹/۵	۲۸۹	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	KZ-SS-1D
گل - رس	۱۸	۲۶۷	۰/۰۶۳ <	KZ-SS-1E
-	۱۰۰	۱۸۲۶	۲ <	KZ-SS-2
ماسه درشت	۶۲/۱	۱۱۳۴	۰/۴۲۵-۲	KZ-SS-2A
ماسه متوسط	۱۴/۹	۲۷۲	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	KZ-SS-2B
ماسه ریز	۷/۶	۱۳۸	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	KZ-SS-02C
	۷	۱۲۷	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	KZ-SS-2D
گل - رس	۸/۵	۱۵۵	۰/۰۶۳ <	KZ-SS-2E
-	۱۰۰	۱۷۴۵	۲ <	KZ-SS-3
ماسه درشت	۴۲/۳	۷۳۹	۰/۴۲۵-۲	KZ-SS-3A
ماسه متوسط	۱۹/۸	۳۴۵	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	KZ-SS-3B
ماسه ریز	۹/۴	۱۶۴	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	KZ-SS-3C
	۱۱/۵	۲۰۱	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	KZ-SS-3D
گل - رس	۱۷	۲۹۶	۰/۰۶۳ <	KZ-SS-3E
-	۱۰۰	۱۷۹۴	۲ <	KZ-SS-4
ماسه درشت	۵۵/۵	۹۹۵	۰/۴۲۵-۲	KZ-SS-4A
ماسه متوسط	۱۹/۲	۳۴۵	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	KZ-SS-4B
ماسه ریز	۷/۵	۱۳۴	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	KZ-SS-4C
	۸/۲	۱۴۷	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	KZ-SS-4D
گل - رس	۹/۶	۱۷۳	۰/۰۶۳ <	KZ-SS-4E
-	۱۰۰	۲۳۷۸	۲ <	KZ-SS-5
ماسه درشت	۳۹/۹	۹۴۸	۰/۴۲۵-۲	KZ-SS-5A
ماسه متوسط	۲۰/۲	۴۸۰	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	KZ-SS-5B
ماسه ریز	۹/۹	۲۳۵	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	KZ-SS-5C
	۱۱/۱	۲۶۳	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	KZ-SS-5D
گل - رس	۱۹	۴۵۲	۰/۰۶۳ <	KZ-SS-5E
-	۱۰۰	۱۹۵۵	۲ <	KZ-SS-6
ماسه درشت	۵۳/۱	۱۰۳۸	۰/۴۲۵-۲	KZ-SS-6A
ماسه متوسط	۱۸/۳	۳۵۸	۰/۱۸۰-۰/۴۲۵	KZ-SS-6B
ماسه ریز	۷/۶	۱۴۹	۰/۱۲۵-۰/۱۸۰	KZ-SS-6C
	۸/۷	۱۷۰	۰/۰۶۳-۰/۱۲۵	KZ-SS-6D
گل - رس	۱۲/۳	۲۴۰	۰/۰۶۳ <	KZ-SS-6E

الف



شکل ۳-۵- در صد وزنی هر جزء مش در رسوبات آبراهه‌های محدوده کوه زر: الف) نمودار دایره‌ای و ب) نمودار ستونی.

۳-۵-۵-۳- تحلیل آماری تک متغیره داده‌های ژئوشیمیایی

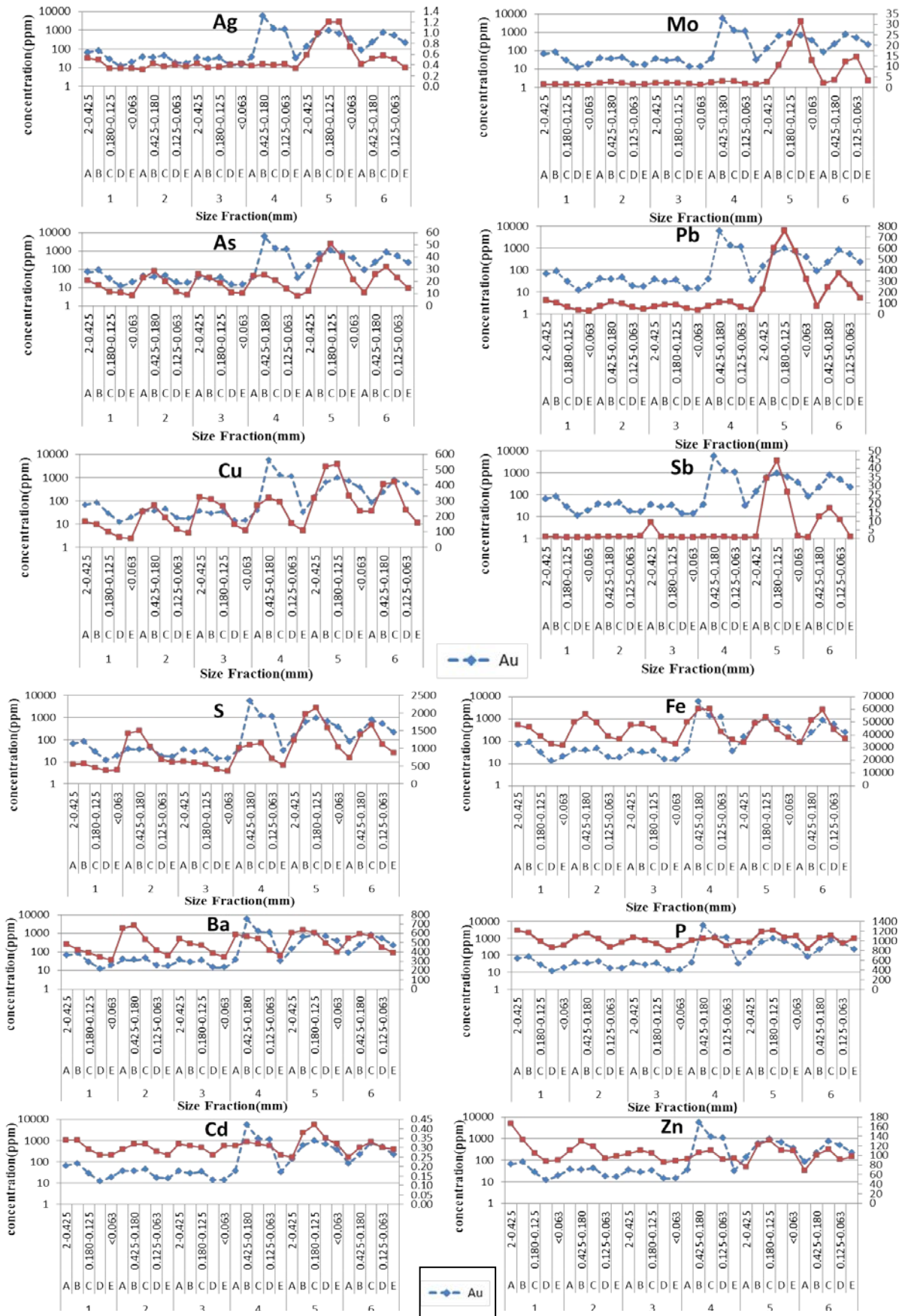
در این قسمت برای بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر در هر یک از جزء مش‌های رسوبات آبراهه‌ای تحلیل‌های آماری تک‌متغیره در محیط نرم افزار SPSS انجام گرفته است. مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار برای عناصر در هر جزء مش رسوب در جدول (۳-۷) ارائه شده است.

جدول ۳-۷- پارامترهای آماری مقادیر غلظت عناصر در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر (طلا بر حسب میلی‌گرم در تن و عناصر دیگر بر حسب گرم در تن).

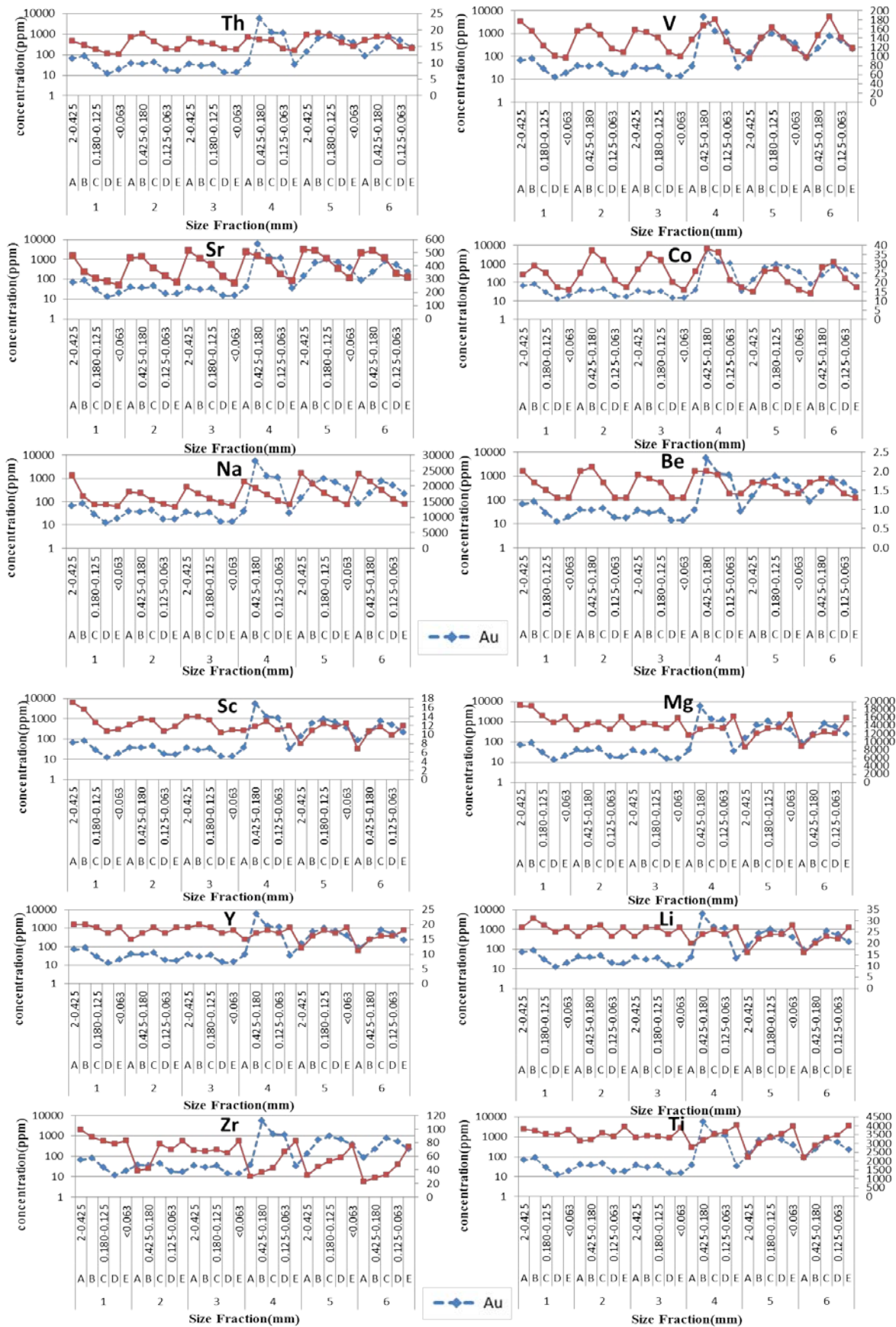
PARTICLE SIZE	2-0.425mm(A)				0.425-0.180mm(B)				0.180-0.125mm(C)				0.125-0.063mm(D)				<0.063mm(E)			
	Min	Max	Mean	St.Dev.	Min	Max	Mean	St.Dev.	Min	Max	Mean	St.Dev.	Min	Max	Mean	St.Dev.	Min	Max	Mean	St.Dev.
Au	36	139	67	40	28	5566	1092	2203	28	1236	514	545	12	1100	386	451	14	368	112	149
Ag	0.3	0.6	0.4	0.1	0.4	1.0	0.5	0.2	0.3	1.2	0.5	0.3	0.3	1.2	0.5	0.3	0.3	0.7	0.4	0.2
Al	65496	81552	74484	6657	68896	76903	72967	2909	63452	72443	68284	3097	51043	64921	58602	4528	57922	64764	61798	2626
As	11	26	19	7	17	38	26	7	12	51	26	14	11	40	18	12	8	22	12	5
Ba	485	658	570	60	424	684	566	95	391	604	519	76	340	495	417	53	313	400	362	31
Be	1.7	2.0	1.9	0.1	1.7	2.1	1.9	0.2	1.5	1.9	1.7	0.1	1.3	1.4	1.4	0.1	1.3	1.4	1.3	0.1
Ca	17168	27287	21267	4358	21141	38136	26368	6630	23768	42763	31235	7386	32574	48541	39885	6390	42896	52063	48401	3504
Cd	0.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0
Ce	39	58	47	7	50	60	54	4	53	59	56	3	42	52	49	4	53	56	54	1.3
Co	14	27	22	6	26	38	32	5	25	36	31	4	17	22	20	2	16	17	17	0.5
Cr	21	59	33	14	40	69	47	11	47	70	57	9	52	70	57	7	78	85	81	3
Cu	164	321	255	60	144	521	327	128	97	535	300	158	65	330	176	95	57	234	126	62
Fe	33361	49809	43606	7863	45579	59845	51554	5386	38514	60141	50987	8504	32417	44017	39342	4779	31500	37567	35113	2442
K	27458	35963	30580	3061	22431	32223	26672	3481	18963	25672	23147	2300	16851	20138	18648	1227	16319	18812	17772	1057
La	22	30	25	3	26	30	28	2	27	30	28	1	23	27	25	1.4	26	28	27	0.6
Li	16	27	21	4	20	31	25	4	23	28	26	2	22	25	24	1	27	28	27	0.4
Mg	8629	19007	12355	3813	11590	18834	14047	2628	12389	16352	14123	1352	12016	14682	13272	853	15790	16624	16131	290
Mn	552	1329	873	292	962	1618	1297	276	1064	1499	1324	169	890	1066	983	70	796	867	830	33
Mo	1.6	2.6	2.1	0.3	1.6	10.4	3.9	3.3	1.4	20.6	6.9	7.8	1.4	31.4	8.7	12.3	1.2	12.8	3.6	4.6
Na	18123	24238	21777	2521	16716	21432	18860	1892	14039	18622	16463	1681	14083	15846	14953	761	13289	14173	13757	349
Ni	17	32	23	5	26	48	35	7	32	50	40	6	32	47	39	5	49	57	54	3
P	834	1214	1028	127	1010	1186	1100	73	942	1210	1055	95	801	1072	906	94	890	1091	980	78
Pb	71	224	108	61	86	603	211	201	63	760	249	276	37	572	176	213	30	318	103	114
S	553	1432	932	353	568	1978	1192	546	454	2151	1171	649	377	1586	818	460	369	1043	637	272
Sb	0.9	9.6	2.5	3.5	1.0	34.6	8.6	13.6	1.0	44.4	11.0	17.6	0.9	26.4	6.9	10.4	0.9	1.5	1.2	0.3
Sc	6.8	17.0	11.4	3.8	10.7	15.6	12.7	1.9	11.6	13.2	12.6	0.6	9.8	11.6	10.7	0.6	11.0	12.5	11.7	0.6
Sr	463	525	497	24	357	517	465	58	304	459	409	58	281	378	330	32	256	316	286	23
Th	17	19	17	0.7	15	19	17	2	14	18	17	1.5	13	16	14	1.1	13	15	14	0.8
Ti	2210	3802	2910	629	2881	3713	3230	301	3315	3595	3446	120	3311	3664	3478	119	3742	4035	3935	107
V	96	176	137	33	140	167	154	11	123	187	157	25	101	141	123	17	97	118	108	9
Y	11	20	15	4	15	20	18	2	16	19	18	1.2	16	17	17	0.4	18	19	19	0.5
Yb	1.4	2.5	2.0	0.4	1.9	2.4	2.2	0.2	2.2	2.4	2.3	0.1	2.0	2.2	2.1	0.1	2.2	2.3	2.2	0.1
Zn	69	166	103	35	101	133	117	13	105	112	114	10	86	111	94	9	89	109	96	7.3
Zr	23	99	49	29	29	88	51	22	33	82	60	20	48	78	64	10	74	83	80	3.8

در جدول فوق مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار ^{34}E عنصر در اندازه 2mm تا 0.063mm محاسبه شده است در این بررسی طلا در جزء D و E ($0.120 - 0.063\text{mm}$) دارای کمترین مقدار خود (12ppb) و در قسمت B بیشترین مقدار خود (5566ppb) رسیده است. علاوه بر آن در قسمت B دارای بیشترین مقدار انحراف معیار و میانگین می باشد که می تواند نشان دهندهی آنومالی و پرعیاری طلا در این اندازه از رسوبات آبراهه ژئوشیمیایی باشد و بالعکس آن در قسمت A حادث شده که دارای کمترین مقدار میانگین و همچنین کمترین مقدار انحراف معیار می باشد و نشاندهنده عدم تمرکز طلا در این اندازه از ذرات است.

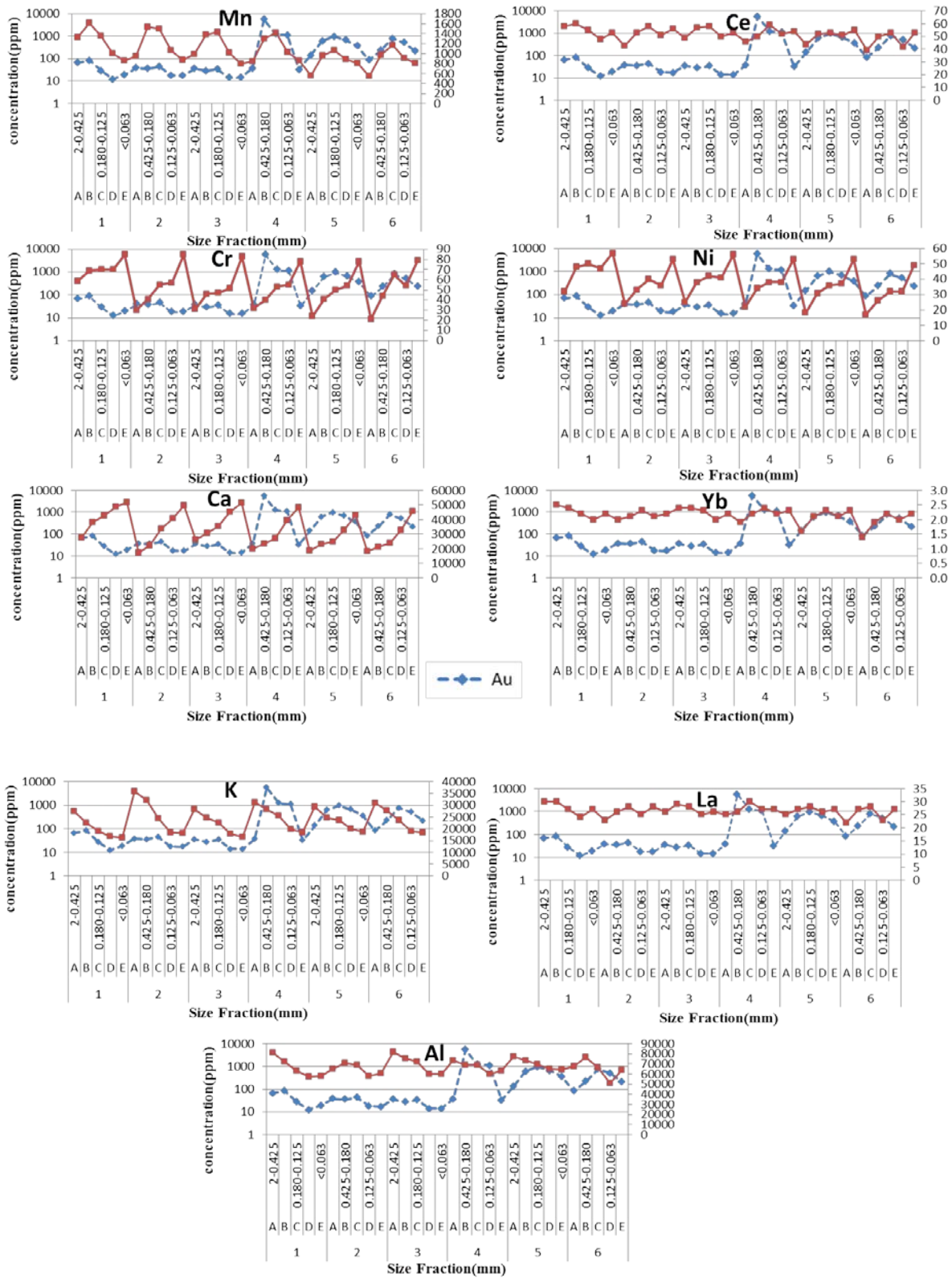
در ادامه برای توصیف آسان تر توزیع مقادیر غلظت عناصر و بررسی روابط ژئوشیمیایی آن ها با یکدیگر و به ویژه با عنصر طلا در ۶ ایستگاه نمونه برداری، نمودارهای فراوانی برای هر عنصر به طور جداگانه رسم شده است (شکل های ۳-۶). با بررسی پارامترهای آماری و نمودارهای توزیع داده ها می توان نتیجه گرفت که عناصری مانند $\text{S, Mo, Sb, Pb, Cu, As, Ag}$ پراکنندگی غلظتی نزدیک با طلا نشان می دهند به طوری که در جزء مش های B و C میانگین و انحراف معیار این عناصر افزایش چشمگیری داشته، و کمترین میانگین و انحراف معیار آن ها در A و E می باشد، و عناصر Fe, Cd, Zn نیز به میزان اندکی از این روند تبعیت می کنند (شکل ۳-۶). اما عناصری مانند Mn, Be, Co بر خلاف عناصر قبلی و طلا در ایستگاه های ۵ و ۶ غلظت پایین تری را نسبت به ایستگاه های ۱ تا ۴ نشان می دهند (شکل ۳-۶). عناصر Na, K, Sr و در جزء مش درشت دانه (A) غلظت های بالاتری را نسبت به بخش ریز دانه (E) رسوب نشان می دهند، در مقابل میانگین غلظت عناصر Ti, Ni, Cr ، $\text{Yb, Li, Y, Sc, Ca, Mg, Zr}$ از جزء مش درشت دانه (A) به جزء مش های ریزدانه تر (E) افزایش می یابد، و در جزء مش E رسوب دارای ماکزیمم مقادیر هستند. برخی عناصر دیگر مانند La, Cd و V تغییرات غلظت چندانی در جزء مش ها مختلف ندارند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- نمودار خطی توزیع عناصر نقره تا روی در جزء مش‌های مختلف نمونه‌های رسوب آبراه‌ای محدوده کوه زر.



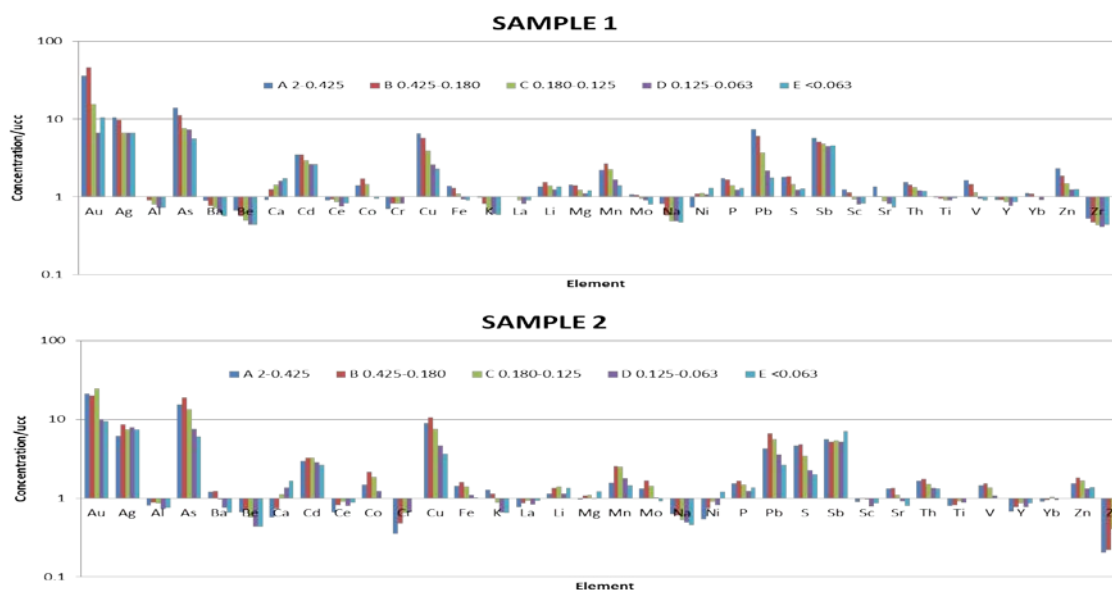
شکل ۳-۶- نمودار خطی توزیع عناصر توریم تا تیتانیوم در جزء مش‌های مختلف نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه



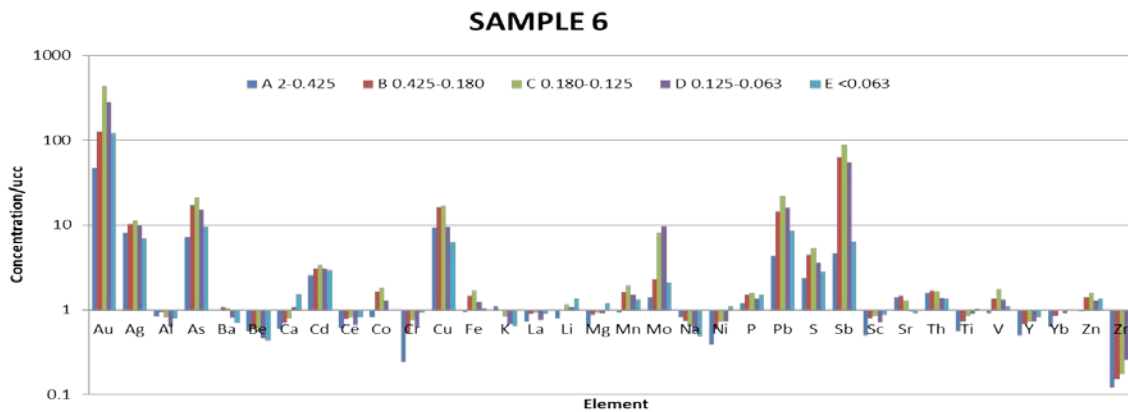
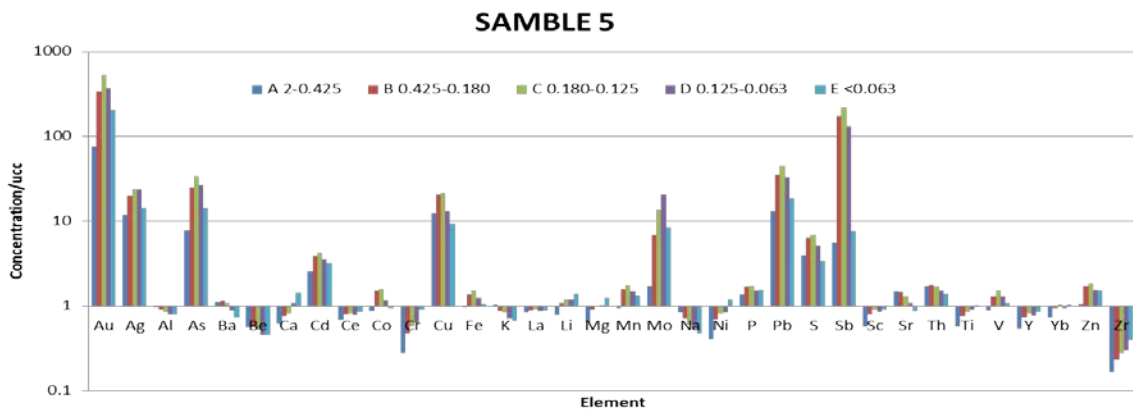
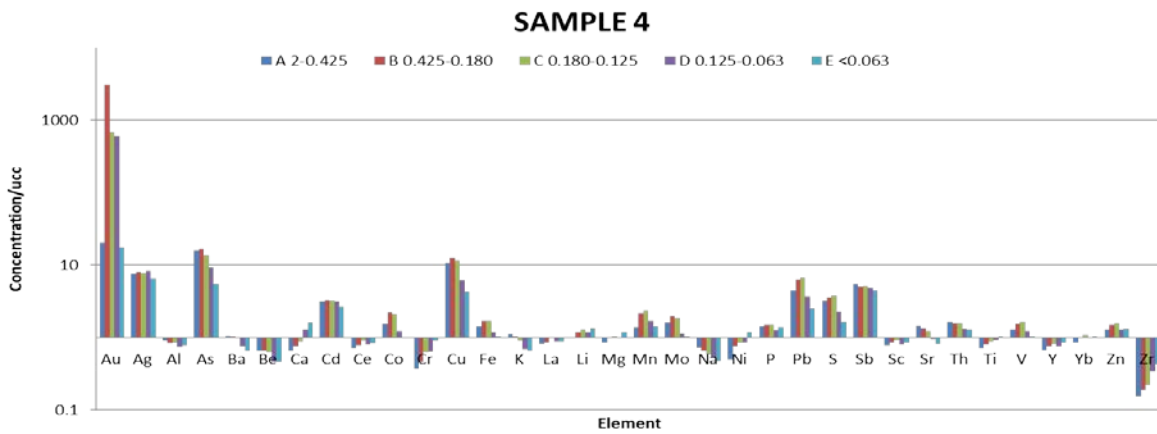
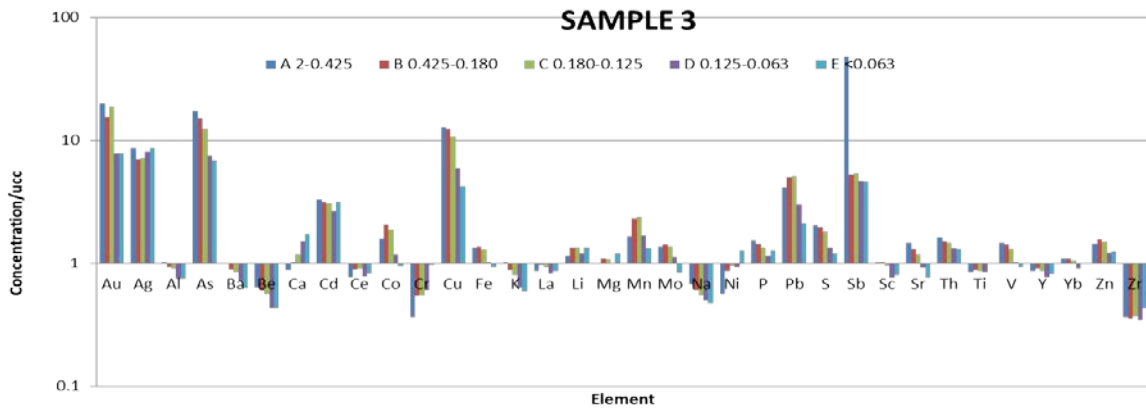
شکل ۳-۶- نمودار خطی توزیع عناصر منگنز تا آلومینیم در جزء مش‌های مختلف نمونه‌های رسوب آبراه‌های محدود

کوه زر.

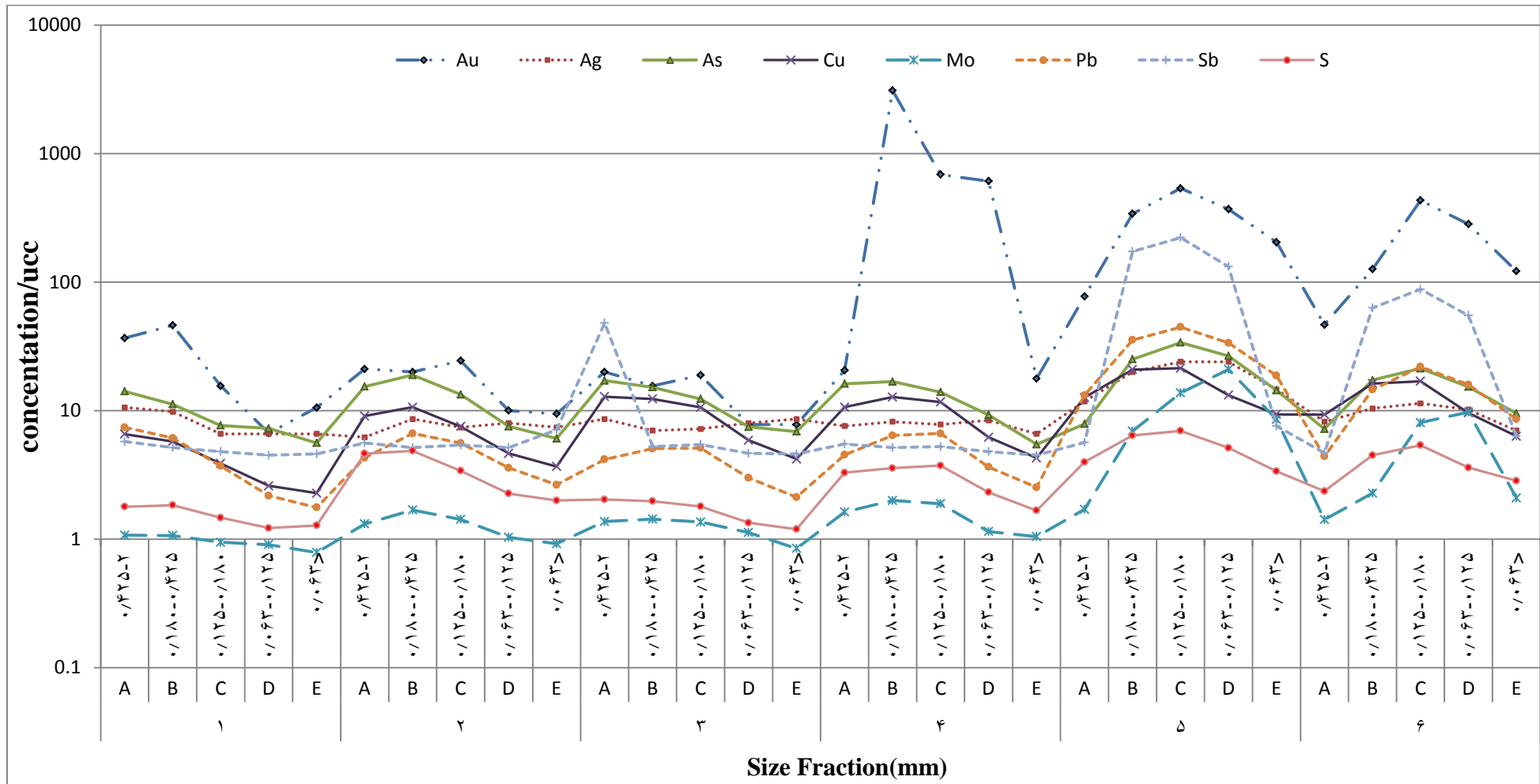
به منظور بررسی میزان غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در دانه‌بندی‌های مختلف رسوب در هر ایستگاه مقادیر غلظت عناصر در نمونه‌ها به مقادیر آن‌ها در پوسته‌ی قاره‌ای بالایی (Taylor and McLennan, 1995) نرمالیز شده است. همانطور که در نمودارهای مربوط به ۶ ایستگاه ملاحظه می‌شود (شکل ۳-۷)، عناصر Co , Mn , Th , Fe , p , V , Au , Ce , Sc , Zn , Cd , Mo , S , Sb , Pb , Cu , As , Ag در همه ایستگاه‌ها مقادیری بالاتر از حد زمینه پوسته قاره‌ای دارند اما در این بین عناصر Pb , Cu , As , Ag در ایستگاه‌های ۵ و ۶ و همچنین مقادیر عنصر طلا در سه ایستگاه ۴، ۵ و ۶ غنی‌شدگی قابل توجهی را دارا می‌باشند. بقیه عناصر دارای غلظت به تقریب ثابتی در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری هستند. عناصری که در محدوده کوه زر دارای غنی‌شدگی مشهودی هستند، در گروه عناصر کانسار ساز قرار می‌گیرند. نتایج بدست آمده از این مطالعات در انطباق کامل با زمین‌شناسی و کانه‌زائی منطقه کوه زر است. ایستگاه‌های شماره ۴، ۵، و ۶ در پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار، مناطق کانه‌زایی و دگرسانی طراحی و برداشت شده‌اند. این مناطق عامل اصلی ناهنجاری عناصر در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر می‌باشند. عناصر Mo , S , Sb , Pb , Cu , As , Ag به عنوان عناصر مهم انتخاب شده و رفتار ژئوشیمیایی آن‌ها در ۶ ایستگاه برای جزء مش‌های مختلف ترسیم شده است (شکل ۳-۸ و ۳-۷).



شکل ۳-۷- نمودار به‌هنجار شده به ترکیب پوسته قاره‌ای بالای غلظت عناصر مختلف در جزء مش‌های مختلف رسوب در هر ایستگاه نمونه‌برداری.



ادامه شکل ۳-۷ نمودار به‌هنگار شده به ترکیب پوسته قاره‌ای بالای غلظت عناصر مختلف در جزء‌های مختلف رسوب در هر ایستگاه نمونه‌برداری.



شکل ۳-۸- نمودار به‌هم‌نگار شده به ترکیب پوسته قاره‌ای بالای غلظت ۸ عنصر کانسارساز در جزء مش‌های مختلف رسوب در هر ایستگاه نمونه‌برداری.

با توجه به نمودارهای فوق می‌توان به طور کلی به این نتایج رسید که عنصر طلا در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ دارای توزیع ثابت و کمی بیشتر از مقدار زمینه است و از نظر توزیع در مش‌های مختلف، در بخش دانه درشت و تا ماسه دانه متوسط بیشترین تمرکز را دارا می‌باشد، دلیل این امر می‌تواند فرصت ناکافی ناگت‌های طلا برای جدایش از خرده سنگ‌ها مربوط با سنگ منشا باشد. از ایستگاه ۴ به بعد عیار طلا به میزان قابل توجهی بالا رفته است که می‌تواند علل مختلف زمین‌شناختی و وجود رگه‌های سیلیسی باشد که در بالا دست ایستگاه ۴ وجود دارند. در نمونه‌ی ۴، بخش B و در ماسه‌هایی با اندازه متوسط، بیشترین میزان طلا را در مقایسه با دیگر نمونه‌ها دارد. در ایستگاه‌های ۵ و ۶ بیشترین عیار طلا در ذرات ماسه ریز (جزء‌های D و C) و کمترین آن در ماسه‌های درشت دانه (جزء A) مشاهده شده است.

علاوه بر طلا عناصری مانند Ag، As، Cu، Pb، Sb، S، Mo، Zn، Sc، Ce نیز در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بیشترین غلظت‌ها را در بخش درشت تا متوسط ذرات ماسه‌ای رسوب (A>B>C>D.E) و کمترین غلظت‌ها را در بخش ریزدانه (E) دارا می‌باشند. در بین عناصر ذکر شده Mo، S، Sb، Pb، Cu، As، Ag از ایستگاه ۵ به بعد غنی‌شدگی در ذرات ماسه متوسط تا ریز (C>B>D) نشان می‌دهند که علت این امر وجود ذراتی است که مسافت و فرصت کافی و شرایط آزاد سازی برای کانی‌های حامل این عناصر را متحمل نشده‌اند و در نتیجه بخش درشت دانه رسوب نسبت به بخش ریز دانه این ایستگاه‌های نمونه‌برداری غنی‌شدگی بیشتری را نشان داده است (شکل ۳-۶ ب). عناصر Ti، Zr، Mg، Ni، Cr، Ca در رسوبات دانه‌ریز تجمع زیادی دارند و در دانه درشت-ها، تهی هستند و بالعکس آن، در مش‌های درشت رسوب عناصر Sr، Na، Th، Be، K غنی‌شدگی بیشتری دارند (شکل‌های ۳-۶).

بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی پیشینیان، کانسار کوه زر از نوع تیپ هیدروترمال (اپی-ترمال) است (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۷۶؛ قربانی، ۱۳۸۷)، که تحت تاثیر فعالیت‌های گرمایی پس از

تزریق توده نفوذی و دایک‌های پورفیری تشکیل شده است. عناصر معرف و نشانه در این تیپ کانسار شامل Ag، Au، As، Cu، Pb، Sb، Mo است و بعضی عناصر مانند Se، Te، Hg بصورت موضعی وجود دارند. همچنین با توجه به جدول پارامترهای آماری و تحلیل و بررسی نمودارهای مربوط به عناصر مختلف و رابطه آنها با طلا در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر می‌توان نتیجه گرفت که عناصر Ag، Au، As، Cu، Pb، Sb، Mo از اهمیت ویژه‌ای در این منطقه برخوردار بوده و با فرایندهای تشکیل کانسار مرتبط هستند، همچنین به میزان زیادی در ایستگاه‌های ۴، ۵ و ۶ غنی‌شدگی دارند. از اینرو پردازش و تفسیرهای بعدی بر روی رفتار ژئوشیمیایی این عناصر بنا شده است. نمودار ستونی مقادیر غلظت ۸ عنصر مهم به‌طور جداگانه در جزء مش‌های مختلف رسوب ۶ نمونه در شکل ۳-۹ داده شده است. در نمودارهای شکل (۳-۹) عناصر مس، گوگرد و آرسنیک توزیع نزدیکی را نسبت به هم نشان می‌دهند، سه عنصر به‌ترتیب در بخش‌های درشت دانه (A) و ریز دانه رسوب (E) در نمونه‌های ۱ تا ۴ بیشترین و کمترین غلظت را دارند. در ایستگاه‌های ۵ و ۶ هم به‌ترتیب کمترین عیار در جزء نمونه A و بیشترین عیار در جزء C و بعد از آن در جزء‌های B و D مشاهده می‌شود.

عناصر آنتیموان، نقره، مولیبدن و سرب توزیع کمی متفاوت‌تر نسبت به سه عنصر قبلی داشته‌اند و در نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ توزیع یکسانی داشته‌اند به استثنای آنتیموان که در بخش درشت دانه نمونه ۳ غنی‌شدگی نشان می‌دهد، که به احتمال زیاد ناشی از خطای آنالیز است، برای اینکه جزء درشت دانه رسوب برای تمرکز عناصر کانسار ساز بویژه کانه استینیت مناسب نیست. عناصر آنتیموان و نقره در نمونه‌های ۵ و ۶ رفتاری مانند طلا داشته و به ترتیب در جزء‌های C و A دارای بالاترین و کمترین غلظت هستند. مولیبدن نیز در نمونه ۵ و ۶ بیشترین غلظت را در جزء‌های D و C رسوب نشان می‌دهد. هر دوی D و C در طبقه‌بندی اندازه رسوبات در طبقه ماسه ریز قرار می‌گیرند. طلا در سه ایستگاه نخست (۱، ۲ و ۳) در جزء مش B نمونه ۱ کمی افزایش عیار داشته است، اما بیشترین میزان غلظت آن مربوط به نمونه ۴ و در جزء B می‌باشد و در ایستگاه‌های ۵ و ۶ نیز عیار بالایی را نشان می‌دهند.

پس در نتیجه می‌توان گفت که عناصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Sb, S, Mo بطور کلی در ایستگاه‌های ۵ و ۶ در جزء مش‌های C, B و D (رسوبات ماسه‌ای ریز) دارای غنی‌شدگی هستند و در بزرگترین (A) و کوچکترین (E) جزء مش‌های رسوبات آبراهه‌ای تهی‌شدگی نشان می‌دهند. همانطور که اشاره شد در نمونه ۴ طلا بیشترین غلظت را در ذرات ماسه‌ای دانه متوسط (B) و در سایزهای ۰/۴۲۵-۰/۱۸۰ mm دارد، که این عیار بالای طلا در نمونه ۴ با نتایج حاصل از مطالعات کانی سنگین و وجود ناگت‌های درشت طلا در نمونه کانی سنگین شماره ۴ کاملاً همخوانی دارد (بخش ۳-۶).

۳-۵-۴- بررسی آماری دو متغیره (محاسبه ضرایب همبستگی)

تحلیل‌های آماری دو متغیره جهت بررسی نزدیکی و ارتباط دو متغیر به‌کار می‌رود. در بررسی‌های ژئوشیمیایی بعضی عناصر نسبت به یکسری از شرایط محیطی رفتار مشابهی دارند و می‌توان آن را در علت‌های خاص جستجو کرد. بنابراین شناخت روابط و همبستگی ژنتیکی مستقیم و معکوس بین عناصر می‌تواند در درک این شرایط کمک شایانی بنماید و تفسیر دقیق‌تری را از محیط‌های ژئوشیمیایی در اختیار ما قرار دهد. به ویژه بعنوان ابزار قدرتمندی جهت درک بهتر کانه‌زایی منطقه و حتی در معرفی مناطق نهایی می‌توان بهره جست. ضریب همبستگی می‌تواند نشانگر ارتباط همسوی دو متغیر a و b (افزایش یا کاهش همسوی دو متغیر a و b) و یا ارتباط غیرهمسوی آن دو (افزایش متغیر a همراه با کاهش متغیر b یا برعکس) باشد. در حالت اول همبستگی مستقیم و در حالت دوم همبستگی معکوس است. ضریب همبستگی عددی بین -۱ و +۱ است که عدد +۱ بیانگر همبستگی

کامل مستقیم، عدد -۱ بیانگر همبستگی کامل معکوس و عدد صفر بیانگر عدم همبستگی می‌باشد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). هرچه تعداد نمونه‌ها بیشتر باشد ضرایب همبستگی از درجه اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشند. تحلیل‌های آماری دو متغیره همانند تحلیل‌های چندمتغیره بر روی داده‌های نرمال استاندارد انجام می‌پذیرد. از آنجایی که داده‌های ژئوشیمیایی خیلی کم ماهیت نرمال



شکل ۳-۹- نمودار ستونی توزیع عناصر S و Mo, Sb, Pb, Cu, As, Au, Ag در جزء مش‌های مختلف ۶ نمونه نمونه رسوب آبراه‌ای.

دارند لذا برای پردازش دومتغیره بایستی نرمال شوند. روش‌های گوناگونی برای محاسبه ضرایب همبستگی وجود دارد که در این پروژه از روش ضریب همبستگی پیرسون بر پایه داده‌های نرمال در

محیط نرم افزاری SPSS استفاده شده است. برای بررسی میزان همبستگی و قرابت ژئوشیمیایی عناصر در هر جزء مش رسوب آبراهه‌ای، جدول‌های ضرایب همبستگی به‌طور جداگانه برای جزء مش‌های A, B, C, D, E محاسبه شده است (جدول ۳-۸).

در جزء مش A که درشت‌دانه‌ترین بخش نمونه‌های رسوب می‌باشد طلا با عناصر Pb و Ag رابطه مستقیم و با As رابطه معکوس داشته و همچنین Ag-Pb و As-Sb و Cu, Mo, Sb و S-Mo رابطه مثبت و مستقیمی داشته‌اند. دلیل همبستگی منفی آرسنیک با طلا در این جزء مش بدلیل پایداری مکانیکی کم کانه‌های آرسنیک‌دار مانند رالگار و اورپیمنت نسبت به طلا می‌باشد به طوری که کانه‌های آرسنیک سریع‌تر ریز شده و از مقدار غلظت آن‌ها در جزء درشت‌دانه کاهش پیدا می‌کند. در جزء مش B تمام ۷ عنصر با طلا رابطه ضعیف و حدود صفر داشته‌اند اما باهمدیگر رابطه بالایی نشان می‌دهند، به‌ویژه Pb با Sb و Ag رابطه قوی و نزدیک به عدد ۱ دارند. این می‌تواند دلیل بر غنی‌شدگی ناگهانی این جز رسوب از طلا باشد که حالت غیر عادی پیدا کرده است. چنین همبستگی از طلا با عناصر پارائز در رسوبات آبراهه‌ای کمتر انتظار می‌رود دلیل پیدایش چنین بستگی در این جزء مش بخاطر وجود مقادیر خارج از ردیف مقدار طلا در برخی از نمونه‌ها است. اگر مقادیر خارج از ردیف شناسایی و با روش‌های رایج جایگزین شود، ارتباط طلا با سایر عناصر معنی‌دار و مثبت خواهد شد. وجود مقادیر بالای طلا در این جزء مش به دلیل وجود ذرات درشت کانه طلا است که مطالعات کانی‌سنگین نیز این موضوع را تایید می‌کند. در جزء مش C رسوب، عناصر کانه‌ساز رابطه مثبتی با یکدیگر داشته که در این بین Au بیشترین همبستگی خود را با S داشته و رابطه کمی ضعیف‌تر با Sb دارد. عناصر Ag-Pb-Sb رابطه خوب و بالایی با هم نشان می‌دهند. در جزء مش D رسوب Au با Cu و S رابطه به نسبت خوب و مثبت داشته و با Sb کمترین ارتباط را نشان می‌دهد و بقیه عناصر نیز همانند جزء مش C رابطه مثبت قوی با یکدیگر دارند. در ریزدانه‌ترین بخش نمونه رسوب E که حاوی سیلت و رس است نیز تمام عناصر ضریب همبستگی مثبت داشته‌اند. عنصر Au با Pb بیشترین ارتباط و با Sb ضعیف‌ترین ارتباط مثبت را دارد.

جدول ۳-۸- ماتریس ضرایب همبستگی عناصر در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به روش پیرسون بر پایه لگاریتم داده‌های خام.

All size fraction N=36	Correlation between Vectors of Values							
	Au	Ag	As	Cu	Mo	Pb	S	Sb
2-0.425mm fraction								
Au	1							
Ag	0.779	1						
As	-0.869	-0.469	1					
Cu	0.211	0.13	-0.037	1				
Mo	0.42	0.118	-0.334	0.756				
Pb	0.885	0.865	-0.546	0.241	0.378	1		
S	0.152	-0.279	-0.076	0.229	0.487	0.239	1	
Sb	-0.373	-0.05	0.478	0.546	-0.101	-0.287	-0.415	1
0.425-0.180mm								
Au	1							
Ag	-0.16	1						
As	0.014	0.772	1					
Cu	0.051	0.717	0.878	1				
Mo	-0.03	0.96	0.889	0.847	1			
Pb	-0.15	0.979	0.838	0.839	0.979	1		
S	-0.005	0.739	0.934	0.789	0.797	0.79	1	
Sb	-0.175	0.967	0.823	0.855	0.968	0.997	0.773	1
0.180-0.125mm								
Au	1							
Ag	0.509	1						
As	0.592	0.967	1					
Cu	0.698	0.857	0.946	1				
Mo	0.555	0.96	0.977	0.919	1			
Pb	0.541	0.985	0.983	0.903	0.994	1		
S	0.713	0.867	0.948	0.916	0.924	0.912	1	
Sb	0.498	0.989	0.971	0.876	0.987	0.998	0.884	1
0.125-0.063mm								
Au	1							
Ag	0.376	1						
As	0.441	0.966	1					
Cu	0.515	0.89	0.946	1				
Mo	0.363	0.956	0.995	0.939	1			
Pb	0.378	0.962	0.997	0.944	0.999	1		
S	0.516	0.899	0.958	0.948	0.949	0.957	1	
Sb	0.356	0.966	0.996	0.931	0.999	0.999	0.944	1
<0.063mm								
Au	1							
Ag	0.792	1						
As	0.975	0.894	1					
Cu	0.956	0.844	0.963	1				
Mo	0.918	0.951	0.953	0.916	1			
Pb	0.983	0.883	0.988	0.963	0.973	1		
S	0.941	0.665	0.888	0.908	0.822	0.916	1	
Sb	0.7	0.616	0.714	0.689	0.678	0.729	0.846	1

۳-۵-۵- تجزیه تحلیل مولفه‌های اصلی (تحلیل عاملی)

به تجزیه و تحلیل‌های آماری که بر روی بیش از دو متغیر صورت گیرد، بررسی‌های چندمتغیره می‌گویند. این بررسی‌ها در واقع بسط و توسعه بررسی‌هایی تک متغیره و دو متغیره می‌باشد. از آنجا که اساس پردازش‌های آماری چندمتغیره داده‌های ژئوشیمیایی نرمال است، و اینکه طبیعت داده‌های ژئوشیمیایی نرمال نیست از اینرو قبل از پردازش‌های آماری چندمتغیره ابتدا داده‌ها نرمال شده و پس از آن پردازش شده‌اند. در این تحقیق از روش لگاریتمی ساده برای نرمال‌سازی داده‌ها برای تحلیل عاملی استفاده شده است.

تجزیه عاملی نامی عمومی است که به گروهی از روش‌های آماری چند متغیره اطلاق می‌شود و هدف اولیه آن تفسیر ساختار ماتریس واریانس-کواریانس مجموعه‌ای از داده‌های ژئوشیمیایی است. تجزیه عاملی تکنیکی است که بین مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. اساس بکارگیری این روش، وجود الگوی خطی در تعیین روابط پیچیده میان متغیرها است. فرق میان این تکنیک و رگرسیون چندگانه در اینست که در روش تجزیه عاملی متغیرها بطور مستقیم در ساختار مدل ارتباطی ظاهر نمی‌شوند و شمار عامل‌ها به مراتب کمتر از شمار متغیرها است (Davice, 2002). تکنیک تجزیه عاملی اهداف اصلی زیر را دنبال می‌کند: الف) تعیین متغیرهای کنترل کننده اصلی در بین یک سری داده ژئوشیمیایی (کاهش ابعاد داده‌ها)، به عبارتی یافتن کمترین تعداد متغیرهایی که بیشتر مشاهدات را در بین سری داده‌ها نشان بدهند، ب) تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرها در بوجود آوردن تغییرات توزیع عناصر.

در پردازش‌های آماری چندمتغیره داده‌های ژئوشیمیایی دو روش کلی محاسباتی وجود دارد: روش تحلیل نوع R، هدف از این تحلیل تعیین و ارزیابی روابط میان متغیرها (عناصر) بر پایه مقادیر غلظت آن‌ها است. روش تحلیل نوع Q، هدف از این تحلیل تعیین و ارزیابی روابط میان مشاهدات (نمونه‌ها) بر حسب تغییر ویژگی‌هایی مانند ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و موقعیت مکانی نمونه‌ها است. فرض

اساسی در بکارگیری تکنیک‌های چند متغیره در تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌های ژئوشیمیایی می‌باشد. در محدوده اکتشافی کوه زر، تجزیه عاملی بر روی ۳۴ متغیر (عنصر) در ۳۰ مشاهده (جزء مش‌های مختلف نمونه‌های سیلت آبراه‌های) و بر اساس لگاریتم داده‌ها در محیط نرم افزار IBM SPSS Statistics 21 انجام شده و نتایج زیر حاصل گردیده است:

الف) برای مشخص نمودن صحت و تایید تجزیه عاملی، ضریب KMO همراه با آزمون مربع کای (خی) محاسبه شده است. مقادیر بزرگ KMO دلالت بر تایید تجزیه عاملی و مقادیر کوچک آن دلالت بر عدم تایید تجزیه عاملی است. مقادیر حدود ۰/۹ این کمیت تجزیه عاملی را بسیار مناسب، مقادیر حدود ۰/۸ مناسب، مقادیر حدود ۰/۷ به تقریب مناسب، مقادیر حدود ۰/۶ حد متوسط و مقادیر حدود ۰/۵ و پایین‌تر از آن تجزیه عاملی را نامناسب جلوه می‌دهند (Hair et al., 2009). تمامی این مقادیر در صورتیکه آزمون مربع کای در سطح اعتماد ۹۵ درصد معتبر باشد، صحیح تلقی می‌شوند. با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول (۳-۹)، مقدار KMO برابر ۰/۸۲ است. با توجه به اعتبار آزمون مربع کای که سطح اعتماد آن کاملاً معتبر و درجه آزادی آن ۴۹۶ است، اعتبار تجزیه عاملی را در تحقیق حاضر در رده مناسب قرار می‌دهد.

جدول ۳-۹- مقدار KMO برای ارزیابی اعتبار تجزیه عاملی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های کوه زر.

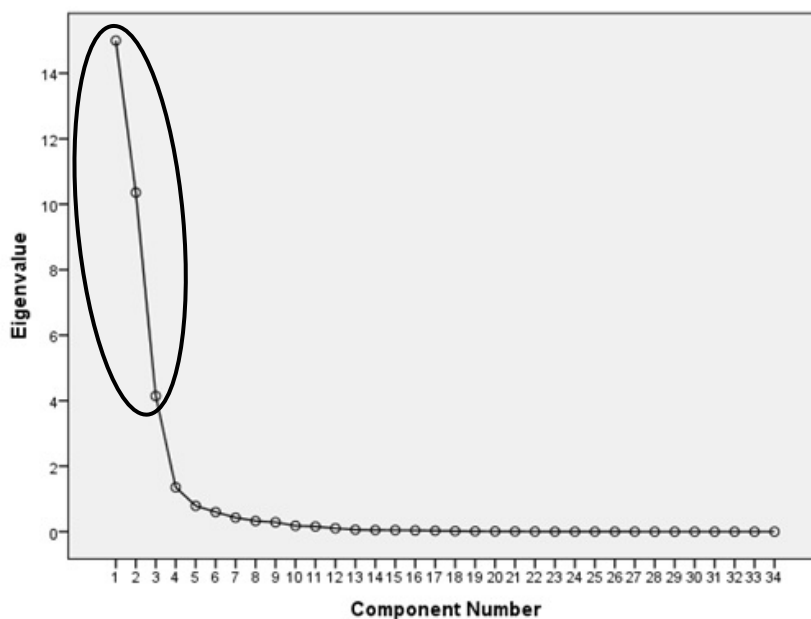
KMO and Bartlett's Test	
<i>Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.</i>	0.82
<i>Bartlett's Test of Sphericity</i>	9601
<i>df</i>	496
<i>Sig.</i>	0

ب) میزان مشارکت عناصر در تحلیل‌های آماری چند متغیره مهم است. هر اندازه که میزان مشارکت عناصر در تجزیه عاملی به عدد ۱ نزدیک باشد، اعتبار آن نیز بیشتر خواهد بود. در این تحقیق، مقادیر مشارکت عناصر در تجزیه عاملی (جدول ۳-۱۰) ارائه شده است، و همه عناصر در حد بسیار خوب تا عالی (۰/۷ تا ۰/۹۸) در این تحلیل آماری مشارکت داشته‌اند.

جدول ۳-۱۰ - میزان مشارکت عناصر در تحلیل عاملی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای کوه زر.

Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu
Communalities	0.73	0.92	0.93	0.93	0.96	0.96	0.98	0.86	0.84	0.93	0.91	0.90
Element	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S
Communalities	0.98	0.95	0.76	0.95	0.93	0.88	0.94	0.91	0.94	0.86	0.94	0.86
Element	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Yb	Zn	Zr		
Communalities	0.77	0.95	0.98	0.96	0.93	0.94	0.95	0.92	0.89	0.90		

ج) در تجزیه عاملی به ازای تعداد عناصر، مولفه (عامل) محاسبه می‌شود. بنابراین در تحقیق حاضر با داشتن ۳۴ متغیر تعداد ۳۴ عامل محاسبه شده است، ولی در این میان تعدادی از عامل‌ها معتبر هستند. برای شناسایی عامل‌های اصلی دو روش وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از مقدار درصد تجمعی واریانس است، بطوریکه درصد تجمعی واریانس بالای ۷۵ درصد از یک جامعه ژئوشیمیایی می‌تواند معرف واقعی جامعه باشد. در این بررسی با در نظر گرفتن ۳ عامل به تقریب ۸۶/۷۶ درصد واریانس تجمعی جامعه پوشش داده می‌شود که برای تحلیل مولفه‌ها مناسب به نظر می‌رسد (جدول ۳-۱۱). روشی دیگر برای تعیین عامل‌های اصلی ترسیم نمودار صخره‌ای است. در این نمودار، عامل‌هایی که دارای مقادیر ویژه بالای ۱ هستند بعنوان عامل‌های معتبر در نظر گرفته می‌شوند (Hair et al., 2009)، تعداد عامل‌های معتبر در منطقه کوه زر سه عدد است (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰ - نمودار صخره‌ای برای جداسازی عامل‌های اصلی و معتبر در تجزیه عاملی داده‌های ژئوشیمیایی.

در محدوده کوه زر مقادیر ویژه درصد واریانس، درصد تجمعی واریانس و واریانس کل برای ۳۴ عامل محاسبه گردیده است، ولی در این میان تنها به ارائه مقادیر ۳ عامل اصلی اکتفا شده است (جدول ۳-۱۱). مقادیر ویژه خام مولفه اول ۱۵، مولفه دوم ۱۰/۳۶، و مولفه سوم ۴/۱۴ است. از طرفی مقادیر ویژه چرخش یافته مولفه اول ۱۰/۴۲، مولفه دوم ۹/۸۲، و مولفه سوم ۷/۷۵ است. بعد از این ۳ مولفه، مقادیر ویژه تا حدود زیادی کاهش می‌یابد، از اینرو سه عامل برای تجزیه عاملی انتخاب شده است.

جدول ۳-۱۱ - مقادیر ویژه درصد واریانس، درصد تجمعی واریانس و واریانس کل در تحلیل عاملی داده‌ها.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	15.00	44.11	44.11	15.00	44.11	44.11	10.42	30.66	30.66
2	10.36	30.46	74.57	10.36	30.46	74.57	9.82	28.89	59.55
3	4.14	12.19	86.76	4.14	12.19	86.76	7.75	22.80	82.35

د) پس از اینکه مولفه‌ها انتخاب شدند، باید در نظر داشت که مولفه‌های خام (غیرچرخشی) نمی‌توانند تمامی تغییرپذیری واقعی جامعه را نشان دهند. چون در بسیاری از موارد تعدادی از متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به تعدادی از عامل‌ها بستگی دارند و این تفسیر عامل‌ها را با مشکل روبرو می‌سازد. از اینرو روش‌هایی وجود دارند که بدون تغییر میزان اشتراک، سبب تفسیر ساده عامل‌ها می‌شوند، این روش‌ها همان دوران عامل‌ها هستند. بنابراین مولفه‌های خام بایستی تحت تابع مشخصی چرخش داده شوند تا بهترین واریانس عمومی جامعه بدست آید. در بررسی‌های ژئوشیمیایی بیشتر از تابع وریمکس برای این منظور استفاده می‌شود. با انتخاب تابع وریمکس دورانی متعامد بر ضرایب عامل‌ها صورت می‌گیرد. این روش مقادیر به نسبت بزرگ یا صفر به ستون‌های ماتریس ضرایب عامل‌ها اختصاص می‌دهد، در نتیجه عواملی ایجاد می‌شود که یا شدیداً به متغیرها وابسته‌اند و یا مستقل از آن‌ها هستند. این امر سبب تسهیل در تعبیر و تفسیر عامل‌ها خواهد شد. مولفه‌های چرخش یافته جدیدی که بدین ترتیب حاصل می‌شوند، مولفه‌های اصلی برای محاسبه امتیازات هستند (Hair et al., 2009). مقادیر مولفه‌های خام و چرخش یافته برای داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌ای منطقه کوه زر در جدول (۳-۱۲) ارائه شده است.

با استفاده از جدول عاملی مقادیر چرخش یافته، مقدار ضریب چرخش یافته ± 0.5 اساس انتخاب هر عنصر در هر عامل است. لازم به ذکر است که اعداد مثبت رابطه معکوسی با اعداد منفی دارند. در هر عامل عنصری که دارای مقدار ضریب چرخش یافته بیشتر از $0.5+$ هستند غنی‌شدگی دارند، و عنصری که دارای مقدار ضریب چرخش یافته کمتر از $0.5-$ هستند تهی‌شدگی دارند.

جدول ۳-۱۲- مقادیر عاملی خام و چرخش یافته بر پایه تحلیل مولفه‌های اصلی در منطقه کوه زر.

Component matrixa	Component			Rotated component matrixa	Component		
	1	2	3		1	2	3
Au	0.54	0.24	0.48	Au	0.09	-0.08	0.73
Ag	0.48	0.23	0.73	Ag	0.10	0.03	0.91
Al	0.62	0.28	-0.43	Al	0.90	0.31	0.08
As	0.76	0.51	0.28	As	0.42	0.19	0.78
Ba	0.96	0.08	-0.15	Ba	0.81	-0.17	0.42
Be	0.77	0.25	-0.56	Be	0.90	0.13	0.04
Ca	-0.95	0.15	0.21	Ca	-0.85	0.35	-0.29
Cd	0.47	0.73	0.30	Cd	0.23	0.50	0.72
Ce	-0.36	0.82	-0.11	Ce	-0.15	0.91	-0.02
Co	0.47	0.65	-0.37	Co	0.44	0.42	0.15
Cr	-0.78	0.45	0.31	Cr	-0.77	0.55	-0.03
Cu	0.91	0.19	0.20	Cu	0.60	-0.10	0.70
Fe	0.69	0.60	-0.14	Fe	0.51	0.30	0.43
K	0.85	-0.03	-0.47	K	0.93	-0.15	0.07
La	-0.12	0.81	-0.10	La	0.07	0.86	0.11
Li	-0.60	0.76	-0.08	Li	-0.43	0.84	-0.15
Mg	-0.65	0.70	-0.10	Mg	-0.40	0.86	-0.20
Mn	0.00	0.79	-0.38	Mn	0.11	0.71	-0.07
Mo	0.50	0.22	0.80	Mo	-0.05	-0.10	0.96
Na	0.85	-0.18	-0.26	Na	0.90	-0.26	0.19
Ni	-0.83	0.46	0.20	Ni	-0.76	0.58	-0.13
P	0.53	0.72	0.08	P	0.46	0.56	0.57
Pb	0.67	0.28	0.63	Pb	0.23	0.00	0.94
S	0.81	0.16	0.39	S	0.38	-0.17	0.78
Sb	0.52	0.23	0.67	Sb	0.07	-0.04	0.87
Sc	-0.14	0.92	-0.27	Sc	0.08	0.95	-0.01
Sr	0.95	0.03	-0.26	Sr	0.91	-0.14	0.31
Th	0.96	0.13	-0.11	Th	0.84	-0.09	0.46
Ti	-0.70	0.63	0.17	Ti	-0.65	0.71	-0.04
V	0.58	0.72	-0.15	V	0.50	0.46	0.40
Y	-0.54	0.81	-0.06	Y	-0.36	0.89	-0.09
Yb	-0.33	0.90	-0.05	Yb	-0.22	0.91	0.07
Zn	0.23	0.90	-0.07	Zn	0.28	0.81	0.35
Zr	-0.80	0.45	0.01	Zr	-0.53	0.69	-0.27

با توجه به مطالب فوق ۳ عامل برگزیده در محدوده کوه زر شامل عناصر زیر می باشد:

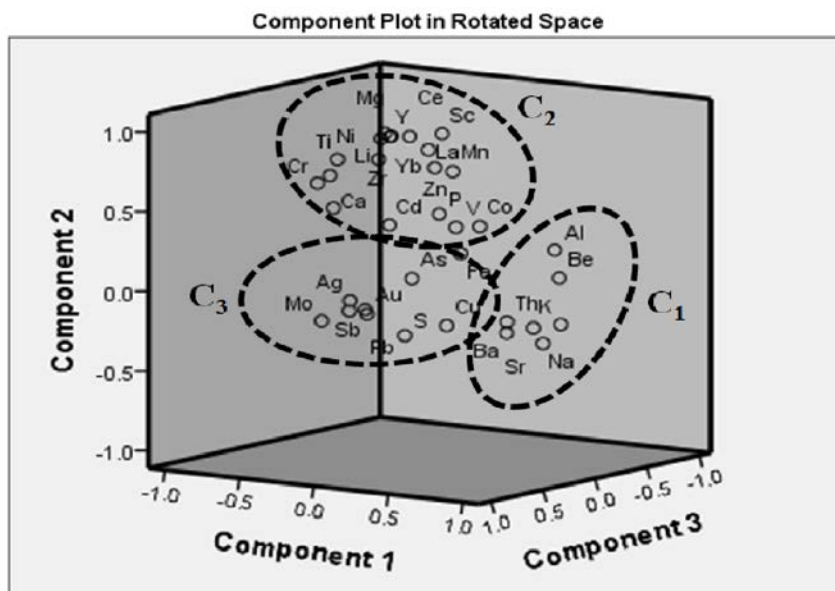
عامل یک: در این عامل عناصر Al، Ba، Be، K، Na، Sr و Th و تا حدودی Cu، Fe و V با امتیاز مثبت ظاهر شده و غنی‌شدگی دارند، در حالیکه عناصر Ca، Ni، Ti، Cr فقیرشدگی دارند. چنین همیافتی عنصری حاکی است که عامل یک سنگ‌ساز است و از مولفه‌های ناحیه‌ای از قبیل سنگ-شناسی منطقه تاثیر می‌پذیرد، برای اینکه هیچگونه عنصر کانسارسازی در این عامل حضور ندارد. سنگ‌هایی که سبب پیدایش عناصر در عامل یک شده‌اند از رخنمون و گسترش قابل ملاحظه‌ای در حوضه آبریز نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای این محدوده دارند. در ضمن، چنین همبود عنصری با ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین حدواسط از قبیل سنگ‌های آتشفشانی داسیتی تا آندزیتی و سنگ‌های نفوذی از گرانودیوریت تا دیوریت همخوانی دارد. اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی در محدوده کوه زر در انطباق کامل با نتایج تجزیه عاملی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای بوده، و رخنمون سنگ‌های آتشفشانی آندزیت-داسیت، تراکی آندزیتی و آندزیتی، و سنگ-های نفوذی گرانودیوریت و مونزودیوریت را تایید می‌کند. فقیرشدگی عناصر Ca، Ni، Ti، Cr و Zr در عامل یک بیان از رخنمون محدود سنگ‌های آذرین فلسیک (گرانیت و ریولیت) و سنگ‌های مافیک (گابرو و بازالت) دارد، که با زمین‌شناسی منطقه کوه زر منطبق می‌باشد.

عامل دو: در این عامل عناصر Ce، La، Y، Yb، Li، P، Zr، Zn، Ti، Sc، Mg، Mn، V، Ni و تا حدودی Ca با امتیاز مثبت ظاهر شده‌اند. چنین همیافتی عنصری حاکی است که عامل دو نیز سنگ‌ساز است و از مولفه‌های ناحیه‌ای از قبیل سنگ‌شناسی منطقه تاثیر می‌پذیرد. سنگ‌هایی که سبب پیدایش همیافتی عنصری در عامل دو شده‌اند در مقایسه با سنگ‌های کنترل‌کننده عامل یک از گسترش کمتری در منطقه کوه زر دارند. چنین همبود عنصری با ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین فلسیک (گرانیت و ریولیت) و سنگ‌های مافیک (گابرو و بازالت) همخوانی دارد. اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی در منطقه کوه زر رخنمون سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی

تا ریوداسیتی و بازالتی و سنگ‌های نفوذی گرانیتی را تایید می‌کند.

عامل سه: در این عامل عناصر Au، Ag، As، Cd، Cu، Mo، Pb، S، Sb، و تا حدودی Zn با امتیاز مثبت ظاهر شده و غنی شدگی دارند، چنین همیافتی عنصری حاکی است که عامل سه کانسار ساز است و از مولفه‌های محلی از قبیل فرآیندهای کانه‌زایی منطقه تاثیر می‌پذیرد. در ضمن، چنین همبود عنصری با پاراژنز عنصری کانسارهای رگه‌ای گرمابی (اپی ترمال) و کانسارهای مس پورفیری همخوانی دارد. وجود رگه‌های سیلیسی طلا دار، رگه‌های سیلیسی طلا- مس دار و مناطق دگرسانی دارای کانه- زایی مس در منطقه کوه زر سبب این همیافتی عنصری شده است. کانه‌زایی مس- طلا کوه زر- باغو از نوع اپی ترمال و پورفیری- اپی ترمال معرفی شده است (تاج الدین و همکاران، ۱۳۷۶؛ قربانی، ۱۳۸۷).

ه) ارزیابی همبستگی عامل های سه گانه: میزان همبستگی عامل‌های یک، دو و سه بر اساس مقادیر مولفه‌های چرخش یافته بصورت سه بعدی در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است. سه مجموعه عنصری بر پایه روابط عامل‌های سه گانه در این شکل قابل تفکیک است، که تاثیرپذیری هر یک از مجموعه‌های عنصری از پدیده‌های سنگ‌شناسی و کانه‌زایی منطقه در بالا توصیف گردید.



C₁: Intermediate igneous rocks (Andesite, dacite, granodiorite and monzodiorite)
 C₂: Felsic igneous rocks (Rhyolite-rhyodacite and granite) and mafic rocks (Basalt)
 C₃: Ore forming processes (Epithermal-porphyry Cu-Au deposits)

شکل ۳-۱۱- شکل سه بعدی از بستگی میان عامل‌های یک، دو و سه بر پایه مقادیر مولفه‌های چرخش یافته.

۳-۶- مطالعه‌ی کانی‌های سنگین

۳-۶-۱- مقدمه

با پیشرفت علم اکتشاف و به‌ویژه اکتشافات ژئوشیمیایی در کشف کانسارهای ناشناخته و پنهان، روش پی‌جویی کانی‌های سنگین نیز به‌عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های اکتشافی مطرح است. از آنجا که در روش ژئوشیمیایی هر عنصر مستقیماً مورد آنالیز قرار می‌گیرد، توجهی به فاز پیدایش آن نمی‌شود، از اینرو هاله‌های ثانوی کشف‌شده نمی‌توانند همواره معرف کانی‌سازی باشند. لذا برای تمیز دادن آنومالی‌های واقعی (مرتبط با کانی‌سازی و یا مؤلفه اپی‌ژنتیک)، از انواع کاذب باید کنترل‌های دیگری انجام گردد. بطور کلی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از انواع زیر می‌باشند:

الف- تأثیر سنگ بالادست (مؤلفه سنگ‌زایی): بعضی از عناصر کانه‌ساز می‌توانند در شبکه کانی‌های دیگر نیز جای بگیرند. برای مثال Pb می‌تواند به‌جای k در شبکه فلدسپات، Ni در به‌جای Mg شبکه الیوین و Zn به‌جای Fe در شبکه بیوتیت و آمفیبول قرار گیرد. بدین ترتیب در حالت عادی سنگ‌زایی، بیشتر با ورود این عناصر در ترکیب (یا محلول جامد) کانی‌های سازنده سنگ روبرو هستیم.

ب- هاله‌های ثانویه مرتبط با عوامل کانی‌سازی: بعضی از عناصر تشکیل کانی مستقل می‌دهند. برای مثال Pb به‌صورت گالن و سروزیت، Zn به‌صورت اسفالریت و اسمیت زونیت و W به‌صورت شلیت و ولفرامیت وجود داشته باشد، و حضور آن‌ها در یک منطقه می‌تواند نشانه کانی‌سازی باشد.

ج- آلودگی‌های مختلف محیطی (صنعتی، کشاورزی و...)

د- آلوده‌شدن نمونه ضمن نمونه‌برداری و آماده‌سازی.

ه- ناهمگنی موجود در نمونه‌ی مورد مطالعه.

در این مطالعه برای اطمینان از صحت اطلاعات حاصل از مطالعه نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوب

آبراهه‌ای تعداد ۶ نمونه کانی سنگین از محل برداشت نمونه های ژئوشیمی آبراهه‌ای اخذ شده است.

۳-۶-۲- نمونه برداری کانی سنگین

همانگ با نمونه برداری ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای، تعداد ۶ نمونه کانی سنگین در نقاط مناسب آبراهه‌ای طراحی و برداشت گردید. در هر ایستگاه، نمونه کانی سنگین به حجم اولیه ۱۵ لیتر از رسوبات بستر آبراهه در نقاطی که مناسب تجمع کانی‌های سنگین بوده و از عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی متری برداشت گردیده است. جهت کاهش میزان خطا در جریان نمونه برداری سعی شد، نمونه برداری در هر ایستگاه از یک نقطه صورت نگیرد، بلکه از چندین نقطه در طول و عرض بستر آبراهه‌ها انجام شود. بدین صورت که چنانچه بستر آبراهه باریک بوده از ۲-۳ نقطه در مسیر طولی آبراهه و در صورتی که عرض بستر زیاد بوده از ۲-۳ نقطه در امتداد عرض بستر و با فواصل تقریبی ۲۰ متر نمونه برداری صورت گرفت. نمونه‌ها در محل برداشت توسط الک ۱۰ مش (۲ میلی متر) سرنده گردید. بخش بزرگتر از ۱۰ مش از نظر سنگ شناسی، کانی شناسی، دگرسانی و کانه زایی کنترل شده و از فرایند مطالعه کانی‌های سنگین حذف می‌گردد. بخش کوچکتر از ۱۰ مش نمونه کانی سنگین باید حداقل ۵ لیتر حجم داشته باشد. این بخش در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص بسته بندی شده و کدگذاری می‌شود.

نمونه‌های کانی سنگین به گونه‌ای طراحی شده تا سیستم آبراهه‌ای منطقه مورد بررسی تا حد امکان تحت پوشش قرار بگیرد. در این نمونه بردای به محل بستر آبراهه‌ها، بخش محدب کنار آبراهه، پیچ تند، جلوی سدهای طبیعی، بسترهای بالا آمده و تخته سنگ‌های بزرگ توجه شد. فهرست نمونه‌های کانی سنگین به همراه مختصات آن‌ها در جدول ۳-۳ آمده است. تعداد ۶ نمونه کانی سنگین در جریان عملیات صحرائی برداشت گردیده است. در این پژوهش تعداد نمونه‌های کانی‌های سنگین نسبت به نمونه‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای ۱ به ۱ می‌باشد.



شکل ۳-۱۲- نمونه برداری و سردن نمونه‌های کانی سنگین با استفاده از الک ۱۰ مش در صحرا.

۳-۶-۳- آماده‌سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین

برای بررسی کانی‌های سنگین نمونه‌ها بایستی به ترتیب مراحل آماده‌سازی و مطالعات کانی-شناسی را پشت سر بگذارند، در ادامه هر یک از این مراحل با جزئیات بیشتر توصیف می‌گردد:

۳-۶-۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

الف - شستشوی نمونه: نمونه‌های کانی سنگین پس از برداشت صحرائی و حجم‌سنجی (A): حجم اولیه نمونه بر حسب سانتی‌متر مکعب) بایستی برای مطالعه‌ی کانی‌های سنگین تغلیظ شوند. شستشوی نمونه در چهار مرحله انجام می‌پذیرد:

مرحله اول: در این مرحله اغلب با قرار دادن لاوک فلزی بزرگ در زیر الک ۱۰ مش به الک کردن و خارج کردن ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر در محیط آب می‌پردازند. در این تحقیق نمونه‌ها در صحرا با الک ۱۰ مش سردن شده‌اند. بنابراین انجام مجدد آن در محیط آب برای حذف ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر احتمالی صورت گرفت (شکل ۳-۱۲ و شکل ۳-۱۳a).

مرحله دوم (گلشویی): در این مرحله ذرات به ابعاد رس از نمونه خارج می‌شوند و باید توجه داشت که ذرات طلا به علت خاصیت جذب سطحی روی آب قرار نگرفته و همراه گل و لای خارج نشوند. همچنین نمونه باید طوری شستشو شود که عاری از رس و گل و لای باشد زیرا وجود این ذرات از جدایش کانی‌های سبک و سنگین در مرحله لاوک شویی جلوگیری می‌نماید (شکل ۳-۱۳b).

مرحله سوم (تغلیظ نمونه با لاوک بزرگ): در این مرحله نمونه با حرکت دورانی لاوک و آب دادن ذرات سبک تغلیظ می‌شود. این کار احتیاج به مهارت و دقت خاصی داشته و با حرکت آرام نمونه در لاوک می‌توان کانی‌های سبک را خارج نمود. حرکت دورانی لاوک در این مرحله تا جایی ادامه میابد که ذرات سبک حذف بشوند (شکل ۳-۱۳c).

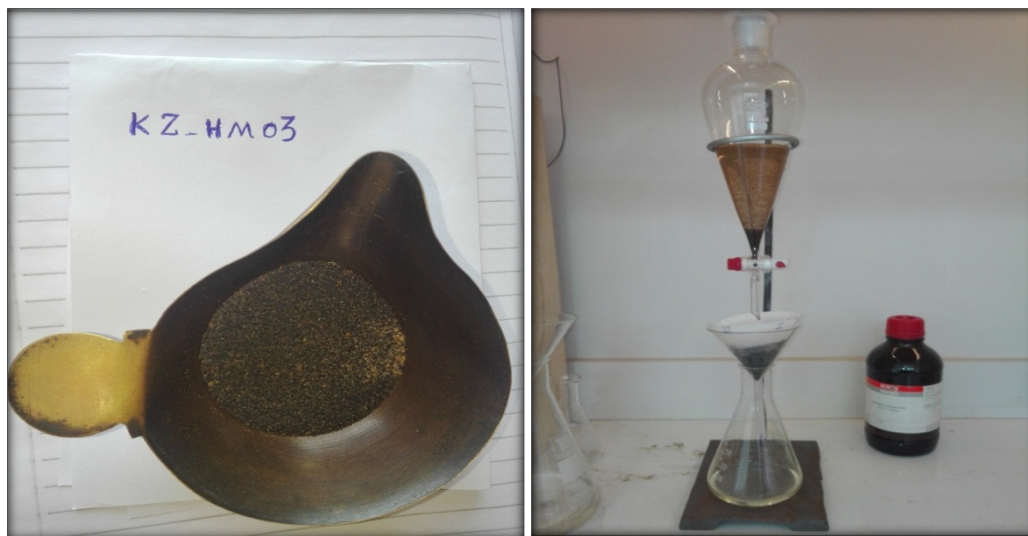
مرحله چهارم (تغلیظ نمونه با لاوک کوچک): در این مرحله برای اطمینان از جداسازی کانی‌های سبک و سنگین و جلوگیری از هدر رفتن کانی‌های سنگین، محصول تغلیظ یافته‌ی لاوک بزرگ به لاوک کوچک هدایت می‌شود. همچنین هم با حرکت دادن و چرخش لاوک در جهات مختلف به علت نیروی گریز از مرکز کانی‌های سنگین‌تر در داخل گودی لاوک قرار گرفته و کانی‌های سبک‌تر توسط آب از داخل آن خارج می‌شوند سپس نمونه را با دقت روی صفحه کاغذ که از قبل شماره گذاری شده خالی کرده تا خشک شود. در آخر این مرحله، حجم نمونه پس از لاوک‌شویی تعیین می‌گردد (حجم B برحسب سانتی‌متر مکعب، شکل ۳-۱۳d).



شکل ۳-۱۳- مراحل چندگانه گل‌شویی و لاوک‌شویی نمونه‌های کانی سنگین.

ب- عبور دادن نمونه از مایع سنگین (بروموفرم‌گیری): پس از عمل لاوک‌شویی و خشک کردن، نمونه حجم‌سنجی شده و برای جداسازی کامل بخش‌های سبک و سنگین از محلول‌های سنگین عبور

داده می‌شود (شکل ۳-۱۴). پس از آن تمام یا حجم معینی از محصول سنگین لاوک شویی برای عبور از مایع سنگین انتخاب می‌شود (حجم C بر حسب سانتی‌متر مکعب). مایع سنگین مورد استفاده در این بخش بروموفورم (CH_2Br_2) با وزن مخصوص ۲/۸۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. پس از جدایش بخش سنگین نمونه با استفاده از مایع سنگین، این بخش توسط مایع استون شستشو می‌شود تا اثر سمی و بوی بد مایع بروموفورم از نمونه برداشته شود. در مرحله بعد نمونه به مدت ۲۴ ساعت در معرض نور آفتاب قرار داده می‌شود تا خشک شده و باقی مانده بوی بروموفورم برطرف شود. حجم بخش سنگین نمونه در این مرحله تعیین می‌گردد (حجم Y بر حسب سانتی‌متر مکعب).



شکل ۳-۱۴- جداسازی بخش‌های سبک و سنگین نمونه‌های کانی‌سنگین با استفاده از مایع سنگین (بروموفورم)

ج - جدایش مغناطیسی کانی‌ها: بمنظور تسهیل و بالا بردن دقت مطالعه در مرحله کانی‌شناسی، برای شناخت کانی‌های با تعداد ذرات محدوده، بخش کنسانتره‌ی نمونه کانی‌سنگین با استفاده از آهنرباهای دستی ویژه با شدت مغناطیسی متفاوت به بخش‌های با خاصیت مغناطیسی مختلف تقسیم می‌گردد. کانی‌های سنگین از نظر خاصیت مغناطیسی به سه گروه تقسیم می‌شوند:

- کانی‌های فرومغناطیس (بخش AA): کانی‌هایی که خود خاصیت مغناطیسی دارند و بوسیله آهنربای معمولی جذب می‌شوند مانند مگنتیت، تیتانومگنتیت، پیروتیت و غیره.

- کانی‌های پارامغناطیس (کانی‌هایی دارای خاصیت مغناطیسی متوسط، AV): کانی‌هایی که به وسیله مغناطیس قوی جذب می‌شوند مانند گارنت، پیروکسن، آمفیبول، ایلمنیت، هماتیت، پیریت اکسید شده، گوتیت، لیمونیت، ملاکیت، ولفرامیت، بیوتیت، فلوگوپیت، کلریت، اپیدوت، و غیره.

- کانی‌های دیامغناطیس (بخش NM): کانی‌هایی هستند که خاصیت مغناطیسی ندارند مانند زیرکن، باریت، آپاتیت، اسفن، لوکوکسن، کوارتز، فلدسپار، موسکویت، روتیل، طلا، آنتاز، کانه‌های سرب و روی، کانه‌های مس، سینابر، استینیت، رءآلگار، اورپیمنت، شیئلیت، کاسیتريت، و غیره.

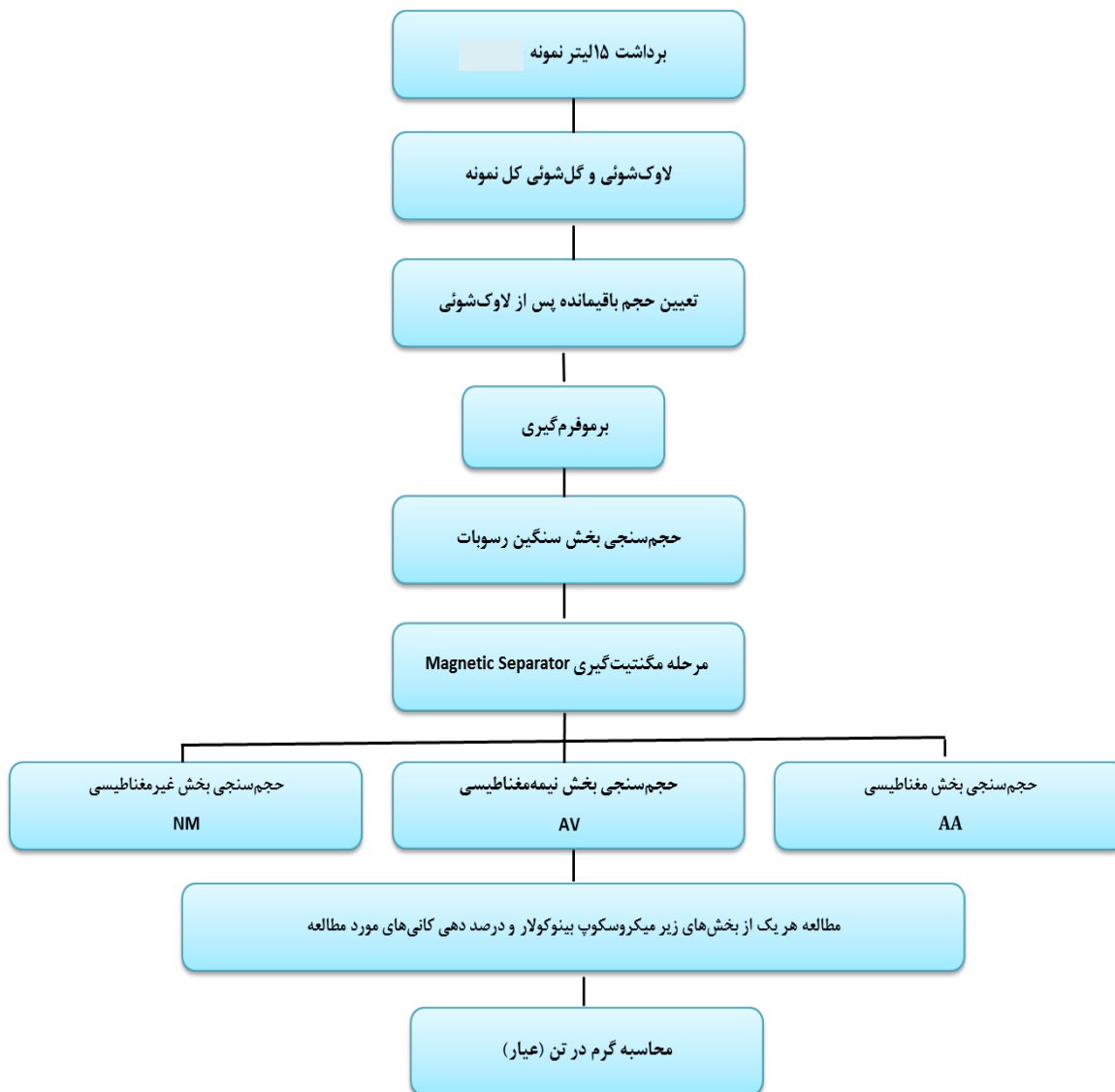
پس از انجام عمل جدایش مغناطیسی، هر بخش (AA، AV و NM) از کنسانتره کانی سنگین بوسیله میکروسکوپ بینوکولار به منظور شناسایی نوع کانی‌ها و تعیین مقدار کمی آن‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۵- جدایش مغناطیسی بخش سنگین نمونه‌ها با استفاده از آهنرباهای ویژه.

۳-۶-۲- مطالعه نمونه‌های کانی سنگین

در این پژوهش، هر سه بخش (AA، AV و NM) از کنسانتره کانی سنگین با استفاده از میکروسکوپ بینوکولار مطالعه شده است. در این روش، مشخصات فیزیکی کانی‌ها مانند رنگ، رنگ خاکه، سیستم تبلور، جلا، سختی، شفافیت، همیافتی کانی‌ها، آزمایش‌های میکروشیمیایی اساس تشخیص و شناسایی کانی‌ها می‌باشد. در جدول ۳ قسمت پیوست داده‌های خام حاصل از مطالعه نمونه‌های کانی سنگین آورده شده است.



شکل ۳-۱۶- نمودار جریان آماده سازی و مطالعه نمونه های کانی سنگین در محدوده کوه زر.

در ادامه برای محاسبه فراوانی نسبی کانی های سنگین در نمونه ها از فرمول زیر استفاده شد:

$$\text{مقدار کانی سنگین (گرم بر تن)} = \frac{X \times Y \times B \times D \times 10000}{A \times C \times D'}$$

در این فرمول متغیرها عبارتند از :

X : درصد حجمی هر کانی در بخش سنگین نمونه، Y : حجم سنگین نمونه پس از

بروموفرم گیری، B : حجم نمونه پس از لاوکشویی، D : وزن مخصوص کانی مورد مطالعه، A :

حجم کل نمونه اولیه و الک نشده، C : حجم نمونه انتخابی برای جدایش با بروموفرم، D' : وزن مخصوص رسوب برداشت شده در صحرا که در این پروژه معادل $2/5 \text{ g/cm}^3$ در نظر گرفته شده است. در این مطالعه علاوه بر محاسبه گرم در تن کانی‌های سنگین، تعداد و شکل ذرات طلا در ۶ ایستگاه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

۳-۶-۴- پردازش داده‌های کانی سنگین

اولین گام در پردازش داده‌های حاصل از مطالعه کانی سنگین، آماده‌سازی داده‌ها در یک محیط نرم افزاری مناسب است، سپس بسته به هدف تحقیق پردازش‌های لازم انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه نتایج حاصل از مطالعه کانی‌های سنگین کیفی است، برای انجام داده‌پردازی بایستی تبدیل به داده‌های کمی شوند. همانطور که در بالا گفته شد پس از مطالعه کانی‌شناسی و تعیین درصد حجمی هر کانی در بخش کنسانتره‌ی نمونه‌ها از رابطه $(\text{PPM}) = [X.Y.B.D.10000/A.C.(2.5)]$ برای محاسبه گرم در تن کانی‌ها استفاده شده است. مقدار گرم در تن هریک از کانی‌های سنگین در رسوبات آبراهه-ای کوه زر برای ۶ نمونه کانی سنگین در جدول ۳-۱۳ داده شده است.

۳-۶-۴-۱- توزیع و انتشار کانی‌ها سنگین در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر

بر پایه مطالعات کانی‌شناسی، کانی‌های سنگین در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر به صورت زیر می‌باشد:

- بخش دیامگناطیس (NM) نمونه‌ها را کانی‌هایی مانند زیرکن، آپاتیت، باریت، روتیل، آاناتاز، اسفن، لوکوکسن، پیریت، نیگرین، گالن، سروسیت، میمیت، وانادینیت، ولفنیت، مالاکیت، طلا، سافیر، سینابر، فلوریت، تورمالین، آندالوزیت، رآلگار، کالکوپیریت، سرب خالص، آمیتیسیت، اسمیت زونیت، کربنات‌ها، آلکالی فلدسپار و کانی‌های آلتزه با درصدهای مختلف تشکیل می‌دهند (شکل ۳-۱۷).

جدول ۳-۱۳- مقدار گرم در تن کانی‌های سنگین در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر.

Sample	KZ-HM-01	KZ-HM-02	KZ-HM-03	KZ-HM-04	KZ-HM-05	KZ-HM-06
Total volum A	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Panned volume B	87	99	45	165	201	111
Study volume C	87	99	45	165	201	111
Heavy volume Y	29	33	15	55	67	37
Magnetite	240.4	1094.0	615.4	1291.5	4349.8	1942.2
Apatite	17.2	19.6	12.7	32.6	56.8	31.4
Zircon	1.8	2.1	1.9	3.4	4.2	2.3
Rutile	0.3	0.4	0.8	0.6	0.8	0.4
Anatase	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.4
Sphene	2.7	3.1	4.2	5.1	155.4	6.9
Leucoxene	0.3	0.3	0.1	0.5	0.6	0.3
Barite	1.7	2.0	0.9	3.3	8.0	4.4
Pyrite	0.4	0.4	1.0	0.7	0.9	0.5
Carbonates	5.2	4.8	1.1	7.9	4.8	2.7
FQ	38.6	50.2	17.1	62.7	76.4	42.2
Nigrine	0.0	0.0	0.2	0.6	0.8	0.4
Galena	2.9	0.7	0.3	1.1	6.7	3.7
Cerussite	2.5	0.6	0.3	1.0	1.2	0.6
Malachite	0.3	0.4	0.2	0.6	3.6	2.0
Gold	4.0	10.0	3.0	25.0	112.0	20.0
Sapphire	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Cinnabar	0.6	0.7	0.0	0.0	1.4	0.8
Fluorite	0.2	0.3	0.1	0.5	0.6	0.3
Tourmaline	0.2	0.3	0.1	0.5	0.6	0.3
Andalusite	1.2	0.3	0.1	0.5	0.6	0.3
Wulfenite	0.5	0.0	0.0	0.0	1.2	0.7
Mimetite	0.6	0.6	0.3	1.1	12.9	3.6
Vanadinite	0.5	0.0	0.0	1.0	1.3	0.7
Realgar-Orpiment	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3
Chalcopyrite	0.3	0.4	0.2	0.6	0.8	0.4
Native lead	0.9	1.0	0.0	1.7	2.0	1.1
Amethyst	0.2	0.2	0.0	0.4	0.5	0.3
Smithsonite	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4
Hematite	150.5	226.8	204.1	925.8	469.9	218.0
Goethite	74.9	81.3	56.3	154.9	78.6	78.1
Limonite	44.1	70.2	28.9	89.2	101.8	45.0
Pyriteoxide	393.2	831.6	468.0	1584.0	1608.0	932.4
Pyritelimonite	51.6	137.1	57.0	156.6	198.8	131.7
Oligiste	2.0	2.3	1.1	3.9	4.7	2.6
Pyroxens	37.1	59.1	16.6	75.1	85.8	37.9
Amphibols	54.4	19.7	0.6	37.5	28.6	18.9
Epidots	39.4	62.8	8.2	79.8	60.7	40.3
Garnets	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.4
Chlorite	1.2	1.3	0.6	2.2	2.7	1.5
Biotite	0.2	0.3	0.1	0.4	0.5	1.5
Ilmenite	0.4	2.1	0.9	0.7	4.2	0.5
Sericite	14.9	33.9	0.6	2.0	24.6	16.3
Jarosite	0.2	0.3	0.1	0.5	2.9	0.3
Altreadsilicate	1440.7	938.5	286.2	1475.1	1001.0	817.8

-کانی‌های هماتیت، گوتیت، پیروکسن، اپیدوت، آمفیبول، لیمونیت، پیریت اکسید شده، مارتیت، اولیژیست، گارنت، کلریت، بیوتیت، ایلمنیت، سریسیت، جاروسیت در فاز پارامگناطیس (AV) و مگنتیت در فاز فرومگناطیس (AA) مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۱۷).

کانی‌های سنگین در این محدوده به دو دسته‌ی سنگ‌ساز و کانساراز تقسیم می‌گردند:

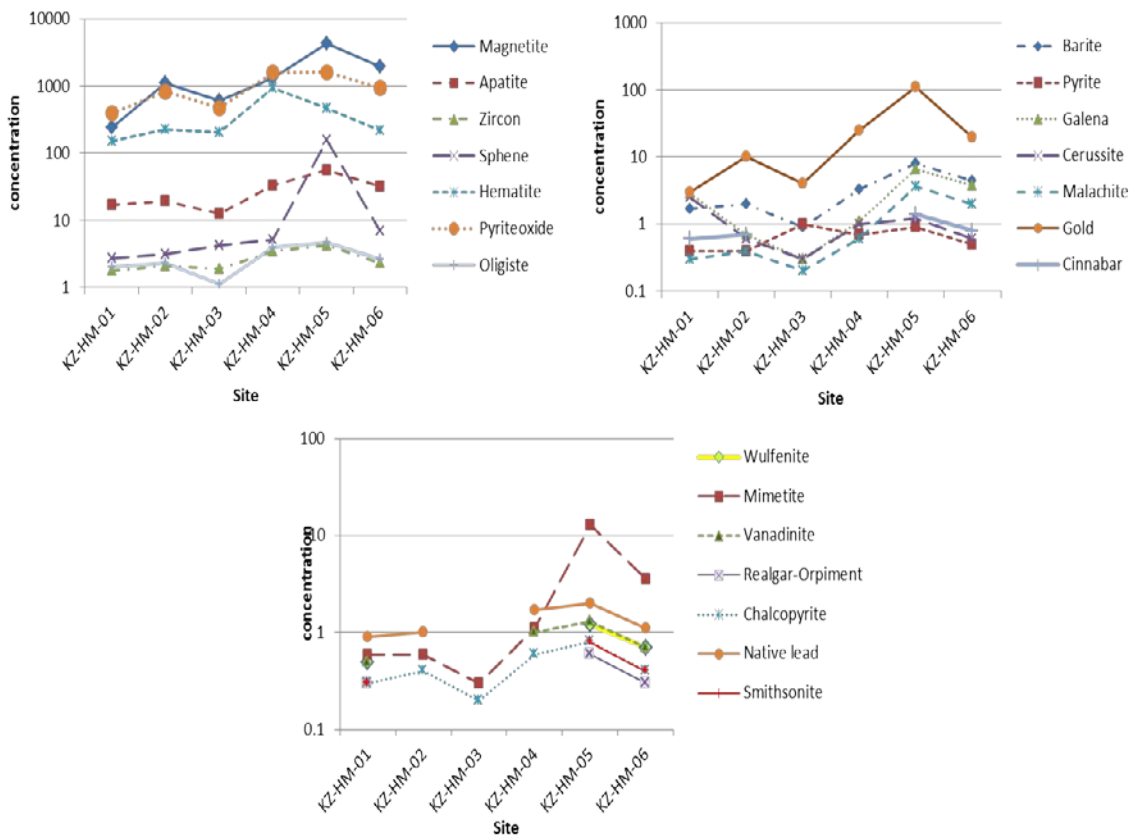
کانی‌های سنگ‌ساز شامل کوارتز، فلدسپار، آمفیبول، پیروکسن، بیوتیت، اپیدوت، کلریت، زیرکن، آپاتیت، گارنت و کلریت هستند. چنین همیافتی کانی‌شناسی بیان از رخنمون سنگ‌های آذرین فلسیک تا مافیک در منطقه کوه زر می‌باشد، نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز وجود چنین سنگ‌هایی را تایید می‌کند و بیانگر سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت و تراکی‌آندزیت) و توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق (گرانودیوریت، مونزودیوریت و کوارتز دیوریت) می‌باشد. کانی‌های کانساراز شامل طلا، سینابر، باریت، سروزیت، گالن، پیریت، مالاکیت، اسمیت زونیت، ولغنیت، وانادینیت، مگنتیت، هماتیت و رالگار می‌باشند که وجود برخی این عناصر در محدوده کوه زر بیانگر یک کانی‌زائی رگه‌ای اپی‌ترمال چندفلزی می‌باشد و چنین همیافتی با کانی‌زائی تیپ اپی‌ترمال-پورفیری همخوانی دارد.

در ادامه چگونگی انتشار پاره‌ای از کانی‌های سنگین مهم در رسوبات آبراهه‌ای منطقه کوه زر توصیف می‌شود. کانی‌های مگنتیت، آپاتیت، زیرکن، اسفن، باریت، پیریت، گالن، سروسیت، مالاکیت، طلا، سینابر، ولغنیت، میمیت، وانادینیت، رالگار، کالکوپیریت، سرب خالص، اسمیت زونیت، هماتیت، پیریت اکسید، اولیژیست بیشترین مقدار را به ترتیب در نمونه‌های کانی سنگین ایستگاه‌های ۵، ۴ و ۶ دارا هستند (شکل ۳-۱۸). کانی‌هایی که در نمونه‌های ۵، ۴ و ۶ غنی‌شدگی نشان می‌دهند کانه‌های اصلی عناصر Pb, Cu, Mo, As, S و Au هستند. این موضوع با نتایج حاصل از بررسی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای کاملاً همخوانی دارد و عناصر مذکور در نمونه‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۴ غنی‌شدگی قابل توجهی نشان می‌دهند.

Hematite		Pyrite - Limonite		Andalusite		Chalcopyrite		Apatite	
Goethite		Oligiste		Vanadinite		Smithsonite		Zircon	
Limonite		pyroxene		Mimetite		Galena		Rutile	
Pyrite-Oxide		Amphibole		Quartze		Nigrine		Anatase	
Sericite		Ilmenite		Cerussite		Tourmaline		Realgar-orpiment	
Chlorite		Epidots		Biotite		Jarosite		Fluorite	
Sapphire		Cinnabar		Amethyst		Sphene		Malachite	

1mm

شکل ۳-۱۷- تصاویر پاره‌ای از کانی‌های سنگین مشاهده شده در رسوبات آبراهه کوه زر.



شکل ۳-۱۸- مقایسه پاره‌ای از کانی‌های سنگین مهم در ایستگاه‌های نمونه برداری محدوده کوه زر

۳-۶-۴-۲- کانه طلا

طلا از گذشته‌های بسیار دور، به دلیل جلای زیبا، مقاومت بالا در مقابل اکسیداسیون و دیگر عوامل شیمیایی، شکل‌پذیری خوب و کمیابی، در طول تاریخ مورد توجه بشر بوده و دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد، و از نخستین فلزاتی است که توسط بشر شناخته و به کار گرفته شد. تشکیل طلا در طبیعت نسبت به سایر مواد معدنی دیگر بسیار کمتر و متغیرتر صورت می‌گیرد. کانسارهای طلا بر اساس نحوه‌ی تشکیل به شش گروه پلاسری، اپی‌ترمال، پورفیری، کارلین، ماسیو سولفید و مزوترمال تقسیم می‌شوند، بر اساس محل تشکیل طلا به شانزده گروه: ۱- پلاسری، ۲- ماسیو سولفید غنی از طلا، ۳- چشمه‌های آبگرم، ۴- اپی‌ترمال سریسیت - آدولاریا، ۵- اپی‌ترمال کائولینیت - آدولاریا، ۶- طلای پورفیری، ۷- دودکش برشی، ۸- اسکارنی، ۹- جایگزینی کربناتی، ۱۰- طلا با سنگ میزبان رسوبی (نوع کارلین)، ۱۱- استوک‌ورک‌های انتشاری غیر کربناته، ۱۲- رگه‌ای غنی از سولفید طلا - مس، ۱۳-

باتولیت همراه با رگه کوارتزی، ۱۴- رگه با سنگ میزبان کربناته -کوارتزی نوع گرین استون، ۱۵- رگه با سنگ میزبان کربناته -کوارتزی نوع توربیدیت و ۱۶- آهن سازندی با سنگ میزبان رگه‌ای انتشاری طبقه بندی می‌شوند (Robert, 1997 ; Sillitoe, 2002).

طلا به شکل ذرات بسیار ذره‌بینی و به صورت خالص در تمام سنگ‌های پوسته زمین، آب دریاها و اقیانوس‌ها یافت می‌شود. فراوانی طلا در پوسته زمین حدود ۵ میلی‌گرم در تن است (Boyle, 1979) و عیار اقتصادی آن در حدود ۱ گرم در تن می‌باشد (Foster, 1993). به باور گوتفرد و همکارانش (۱۹۷۲) مقدار متوسط طلا در سنگ‌های آذرین مافیک کمی بالاتر از سنگ‌های فلسیک است (Gotfreid et al., 1972).

برای ایجاد ارتباط میان مرفولوژی و اندازه دانه‌های طلا با مسافت انتقال دانه‌ها در رودخانه‌ها یا آبراهه‌ها از شکل، اندازه، میزان گردشگی و کرویت ذرات طلای آزاد استفاده می‌شود. ذرات طلا در نزدیکی منبع معمولاً دارای طرح‌های پیچیده و زاویه‌دار و با لبه‌های تیزتر هستند که به محض ورود به جریان آب رودخانه با برخورد به دیگر ذرات معلق در جریان و یا برخورد به یکدیگر دچار سایش شده و لبه‌های تیز و شاخه‌ها متعادل تر و ملایم‌تر می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده در نیوزیلند نتیجه گرفتند که فقط در حدود ۱۰ کیلومتر ابتدایی گردشگی ذرات رخ می‌دهد (Youngson & Craw, 1999). در مطالعات مشابه دیگری با حساسیت اندازه‌گیری بالا ۵ کیلومتر نخست را برای این منظور ذکر کرده‌اند (Klondike et al., 1999)، به‌طوریکه پس از طی این مسافت‌ها ذرات طلا اساساً بدون تغییر باقی می‌مانند. همچنین بر اساس مطالعاتی که بر روی نسبت قطر ذرات، گردشگی و مسافت طی شده آن انجام شده است، این نتیجه بدست آمده است که ذرات طلای درشت دانه (ذرات با محور a بزرگتر از ۳ میلی‌متر) گردشگی بیشتری نسبت به ذرات کوچکتر با همان تاریخچه و مسافت انتقال دارند. در نتیجه زمانی می‌توان دو ذره را از نظر مسافت و زمان انتقال برحسب گردشگی مورد بررسی قرار داد که دارای اندازه و قطر یکسانی باشند. به بیان دیگر گردشگی ذرات هنگامی شاخص دقیق و درستی از منبع و مسافت انتقال آن‌ها محسوب می‌شود که در مورد دو ذره

هم اندازه بکار رود. ذراتی ممکن است با وجود لبه‌های تیز و بسیار تخت کاملاً صاف باشد، نایت و همکاران (Knight et al., 1999a) نتیجه‌گیری کردند که مسطح بودن بهترین شاخص فاصله حمل و نقل برای مسافت‌های بیش از ۳ کیلومتر است، اما برای فاصله کمتر از ۳ کیلومتر از منبع کانه‌زایی قابل اعتماد نیست.

۳-۴-۶-۳- بررسی توزیع کانه طلا در کانی‌های سنگین محدوده کوه زر

کانسارهای طلا از نظر مدل‌های زایشی در انواع مختلفی شناسایی شده است که یکی از مهم‌ترین تیپ‌های کانی‌زایی طلا تیپ اپی‌ترمال (رگه‌ای گرمابی) است. ارائه تعریف جامع برای اصطلاح اپی‌ترمال مشکل است (Henley, 1983). برای اولین بار لیندگرن (Lindgren, 1933) محیط اپی‌ترمال را به‌عنوان محیط کم‌عمق و میزبان کانسارهای Au, Ag و فلزات پایه تعریف کرد. سیستم‌های اپی‌ترمال برای دامنه وسیعی از فلزات و کانی‌های دیگر شامل Hg, Sb, S, B و کائولینیت، آلونیت و سیلیس نیز استخراج شده‌اند. براساس مدل زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و بافت در عمق کم تشکیل می‌شوند (Lindgren, 1933). مطالعه داده‌های سیالات درگیر نشان داد که ذخایر اپی‌ترمال در رنج دمایی از ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در عمق ۱ تا ۲ کیلومتری حادث می‌شوند (Berger & Eimon, 1983). در منطقه کوه زر نیز طلا و عناصر همراه منشا گرمابی داشته و توسط رگه‌های سیلیسی و سیلیسی سولفیددار می‌گردد. در طول زمان در نتیجه هوازدگی و فرسایش سنگ‌های طلا دار، ذخایر طلای پلاسری محدوده کوه زر تشکیل شده است. در اثر تغییرات دما، آب و حلال‌های طبیعی واحدهای سنگی تجزیه و تخریب شده، طلا آن‌ها بصورت ذرات آزاد درآمده است، سپس توسط آب-های جاری حمل شده‌اند و تا حد اندازه‌های کوچکی خرد گردیده‌اند که این عمل باعث آزاد شدن طلای بیشتری می‌شود. طلا به خاطر داشتن جرم حجمی بالا، در میان توده‌های سیلت، ماسه و گراول جایگزین می‌شود و به وسیله‌ی جریان رودخانه حمل شده و به همراه سایر فلزات سنگین مشاهده می‌گردد. بر پایه مطالعه‌ی نمونه‌های کانی سنگین منطقه کوه زر که در غالب تحقیق حاضر انجام شده

است ذرات طلا در این نمونه‌ها دارای مشخصات زیر می‌باشد. برای برآورد اندازه، شکل، میزان گرد شدگی و کرویت ذرات طلا از جدول‌ها و شکل‌های استاندارد (۳-۲۲) استفاده شده است:

ذرات طلای موجود در ۶ نمونه رسوب آبراهه‌ای محدوده کوه زر توسط میکروسکوپ بینوکلار مطالعه شد و از نظر تعداد، شکل، اندازه، کرویت و گردش‌گی مورد بررسی قرار گرفت (شکل‌های ۳-۱۹ و ۳-۲۰). بر این اساس نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ تاحدودی خصوصیات مشابه دارند. نمونه دارای سه ذره، نمونه ۲ دارای ۹ ذره و نمونه ۳ دارای ۴ ذره طلا در سایزهای C و D (۰/۲۵۰-۰/۰۸۲mm) می‌باشند. از لحاظ شکل شبیه مدل Lumpy و Films بوده و از نظر کرویت Sub-Prismoidal. Prismoidal و از نظر گردش‌گی Angular تا Sub-Angular می‌باشند. نمونه ۴ دارای ۲۵ ذره در اندازه B تا D (۰/۵-۰/۰۸۲mm) است که بیشترین تعداد ذرات در اندازه C (۰/۱۸۰-۰/۱۲۵mm) قرار دارند. شکل ذرات به شکل‌های Spongy, Films, Lumpy است و از نظر کرویت Prismoidal. Sub-Prismoidal, Sub-Discoidal, Sub-Angular و گردش‌گی Angular و Sub-Angular می‌باشند. در این نمونه درشت‌ترین ذره طلا از نظر جرم و حجمی مشاهده شد که می‌تواند نشان از ذخیره طلا در نزدیکی یا بالادست این ایستگاه نمونه‌برداری باشد. نمونه ۵ دارای ۱۱۲ ذره طلا از اندازه B تا D (۰/۰۸۲mm) است، که بیشترین تعداد ذرات طلا در جزء مش کوچکتر (۰/۰۸۲ mm) قرار گرفته است. شکل ذرات Lumpy, Films و تاحدودی Spongy می‌باشد از نظر کرویت Sub-Prismoidal, Prismoidal, Spherical, Discoidal و گردش‌گی آن‌ها Angular, Rounded, Well-Rounded و اکثراً متمایل به Sub-Angular, Sub-Roundrd هستند. این تفاوت در شکل، اندازه، کرویت و گردش‌گی ذرات این نمونه می‌تواند بدلیل منابع تغذیه‌کننده با فاصله‌های مختلف از ایستگاه نمونه‌برداری باشد و همچنین عیار بالای طلا در این نمونه هم دلیلی برای ذخیره احتمالی در بالادست این آبراهه می‌باشد.

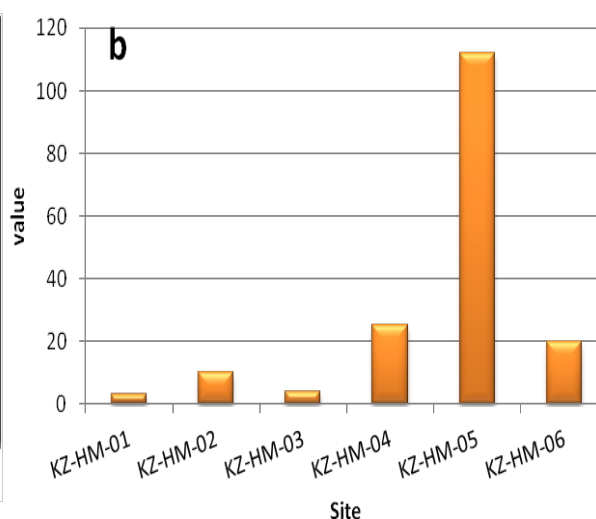
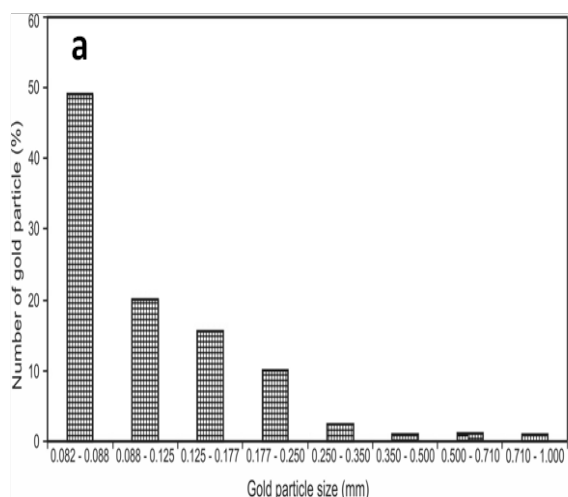
نمونه ۶ دارای ۲۰ ذره در اندازه C تا D (۰/۲۵۰-۰/۰۸۲mm) است که بیشترین تعداد ذرات در اندازه‌های کوچکتر از ۰/۱۲۵ میکرون قرار دارند. ذرات طلا به شکل‌های Spongy, Films, Lumpy

مایل است و از نظر کرویت Sub Discoidal, Sub Prismoidal, Prismoidal و گردشده‌گی Angular و Sub-Angular می‌باشند.

همانطور که در تصویر شکل ۳-۲۱ مشاهده می‌شود تعداد ذرات نمونه طلا در ایستگاه ۴ نسبت به ۵ کمتر است، اما از نظر جرمی و حجمی بیشتر (شکل ۳-۲۱). در نتایج داده‌های ژئوشیمیایی نیز غلظت طلای موجود در ایستگاه ۴ بیشتر از نمونه ۵ بوده است، که دلیلی بر مطابقت نتایج ژئوشیمیایی و کانی سنگین است.

جدول ۳-۱۴- تعداد ذرات طلای موجود در جزء مش‌های مختلف ۶ نمونه کانی سنگین کوه زر.

Sample.Number	VCU	VCL	CU	CL	MU	ML	FU	FL	VFU	VFL
Size(mm)	2-1.5	1.5-1	1-0.7	0.7-0.5	0.5-0.350	0.350-0.250	0.250-0.180	0.180-0.125	0.125-0.088	0.088-0.082
part	A			B			C	D		
KZ-HM01							1		1	1
KZ-HM02							1	2	3	3
KZ-HM03							1	1	1	1
KZ-HM04					1	1	4	10	5	4
KZ-HM05				1		4	10	10	17	70
KZ-HM06							1	4	8	7

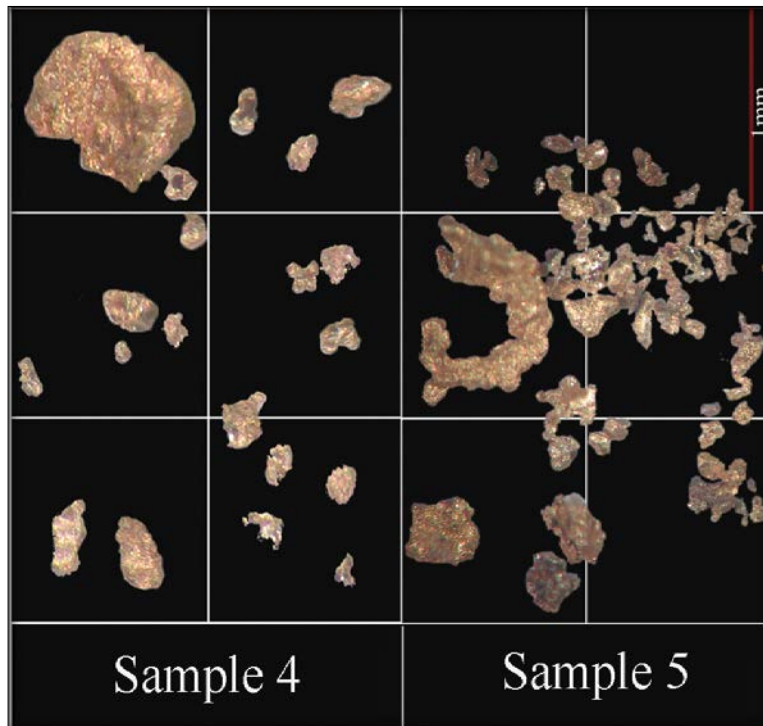


شکل ۳-۱۹- (a) نمودار پراکندگی ذرات طلا در ۶ ایستگاه نمونه برداری کانی سنگین، (b) مقایسه تعداد ذرات طلا در اندازه‌های متفاوت













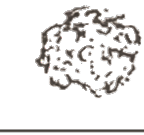



	Prismoidal	Sub Prismoidal	Spherical	Sub Discoidal	Discoidal
Very Angular					
Angular					
Sub Angular					
Sub Rounded					
Rounded					
Well Rounded					

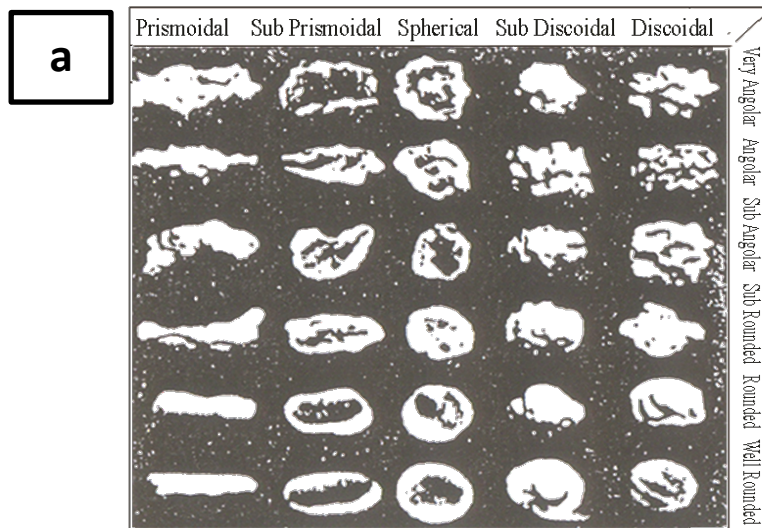
1mm

شکل ۳-۲۰- بررسی طلای موجود در نمونه‌های کانی سنگین کوه زر از نظر گردشگی و کرویت



شکل ۳-۲۱- تصاویر طلای موجود در نمونه‌های ۴ و ۵ کانی سنگین کوه زر

Gold in Ore Deposits		Roundness		
		Sub.Rou	Well.Rou	Per.Rou
Fibrous				
Lumpy				
Films				
Spongy				



شکل ۳-۲۲-۳ (a) شکل‌های معمول و میزان گردش‌دگی ذرات طلای آزاد در رسوبات آبراهه‌ای، و (b) اشکال معمول میزان گردش‌دگی و کرویت ذرات طلای آزاد در رسوبات آبراهه‌ای.

فصل چهارم

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به توزیع و پراکندگی خاص عناصر فلزی (بویژه طلا، نقره، مس، سرب، روی و غیره) و سایر مواد معدنی در طبیعت، اکتشاف‌گران همیشه به دنبال روش‌هایی هستند، که بتوانند با هزینه کمتر و سرعت بیشتر، مناطق مستعد معدنی را شناسایی کنند. بررسی‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای از تکنیک‌های کارآمد در شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی است، و ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای یک ابزار اکتشافی سودمند در این کاوش‌ها می‌باشد (Cohen, 1999; Cannon et al., 2004).

مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای از منظر اندازه دانه‌ها (Size fractions) زمینه بسیار خوبی را برای تشخیص فرایندهای مختلف زمین‌شناسی فراهم می‌کند، و می‌توانند تأثیر قوی روی چگونگی تفسیرهای ژئوشیمیایی یک منطقه داشته باشند (Grunsky et al., 2009)، زیرا غلظت برخی از عناصر بیشترین بستگی را با اندازه دانه‌ها دارند.

در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای عوامل متعددی تمرکز عناصر در محیط رسوب آبراهه‌ای را کنترل می‌نماید. بنابراین لازمه اصلی در کسب نتایج مناسب و مفید در این تکنیک، انجام مطالعات ژئوشیمیایی توجیهی است. نتایج حاصل از این بررسی‌ها اطلاعات با ارزشی درباره جزء مش بهینه رسوب آبراهه‌ای، میزان گسترش هاله‌های ژئوشیمیایی عناصر، عناصر پاراژنز، انتخاب روش تجزیه شیمیایی مناسب در اختیار می‌گذارد. از آنجایی که انجام مطالعات ژئوشیمی توجیهی مستلزم هزینه و زمان است، لذا در بسیاری از پروژه‌های اکتشافی انجام آن نادیده گرفته می‌شود. در ایران نیز جای خالی این بررسی‌ها در بسیاری از طرح‌های اکتشاف ژئوشیمیایی ناحیه‌ای احساس می‌شود. تیپ کانه‌زایی و توان معدنی بالای محدوده کوه زر سبب شد که این محدوده برای مطالعه‌ی اثر توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای انتخاب شود. به‌طور قطع، نتایج این پژوهش راهنمای قوی و مطمئن برای طراحی و انجام اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای در محور ترود-چاه‌شیرین و مناطق با ویژگی‌های زمین‌شناسی، معدنی، جغرافیایی و آب و هوایی مشابه در بخش‌های دیگر کشور

خواهد بود. در این تحقیق به موازات بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، مطالعات کانی‌های سنگین، سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی نیز انجام شده است، و نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شده، و نتیجه‌گیری نهایی صورت پذیرفته است.

۴-۲- زمین‌شناسی محدوده کوه زر

کمر بند ترود-چاه شیرین بطور عمده از سنگ‌های آذرین مزوزوئیک پسین تا ترشیری تشکیل شده است. در این کمر بند اوج فعالیت ماگمایی از زمان ائوسن میانی تا پسین بوده است. ناحیه ترود-چاه شیرین از اهمیت اکتشافی بالایی برخوردار بوده و میزبان تعداد زیادی معدن، کانسار و اثرات معدنی فلزی و غیرفلزی می‌باشد. کانسار مس-طلای کوه زر در دامنه شمالی رشته کوه ترود-چاه شیرین قرار دارد.

برپایه شواهد زمین‌شناسی صحرائی و مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، رخنمون‌های سنگی در محدوده کوه زر شامل سنگ‌های آتشفشانی، توده نفوذی و رگه‌های سیلیسی می‌باشد. بخش اعظم رخنمون‌های سنگی محدوده مورد بررسی را سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت تا بازالت تشکیل می‌دهند که قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه معدنی هستند. این مجموعه تحت تاثیر تزریق توده‌های نفوذی عمیق تا نیمه‌عمیق با ترکیب گرانودیوریت و مونزودیوریت قرار گرفته است. فعالیت‌های گرمایی این توده‌ها در ایجاد انواع دگرسانی‌های سریسیتی، آرژیلیک، پروپیلیتیک، کلریتی، گرایزنی و سیلیسی و کانه‌زایی فلزات پایه (مس، سرب) و گرانبها (طلا و نقره) در این محدوده نقش داشته است. مطالعات کانه‌نگاری وجود کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کوولیت، ملاکیت، کالکوسیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت، و لیمونیت را نشان می‌دهد. در حوضه آبریز پازو در محدوده کوه زر تعدادی رگه سیلیسی با سنگ میزبان آتشفشانی و نفوذی مشاهده می‌گردد، که احتمالاً در ارتباط با فعالیت‌های پسین ماگمایی هستند. وجود این رگه‌ها عامل اصلی انتخاب آبراهه پازو برای هدف مطالعه بوده است زیرا در گزارشات اکتشافی پیشینیان این رگه‌ها مستعد کانه-

زایی طلا گزارش شده‌اند (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱؛ صفری و همکاران، ۱۳۷۵). بر پایه مشاهدات صحرایی تحقیق حاضر این رگه‌ها به سه دسته کوارتز، کوارتز-اکسیدهای آهن و کوارتز - فلدسپار تقسیم شده‌اند. بر اساس الگوی ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب به نظر می‌رسد که رگه‌های مختلف از منشاء واحدی سرچشمه گرفته‌باشند، ولی بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی پژوهش حاضر تنها رگه‌های کوارتز را مستعد کانه‌زایی طلا نشان می‌دهند. مقدار طلا در این تیپ رگه‌ها به حدود ۱ گرم در تن می‌رسد، که عیار کانسارساز و اقتصادی برای عنصر طلا محسوب می‌گردد. در سیستم‌های رگه‌ای کوه زر عناصر Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, Sb و S غنی‌شدگی دارند و چنین همیافتی عنصری با پارائنز عنصری کانسارهای اپی‌ترمال، رگه‌ای چندفلزی و پورفیری همخوانی دارد. با این وجود، اظهار نظر قطعی در ارتباط با تیپ کانه‌زایی نیاز به مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی بیشتری است.

۴-۳- توزیع اندازه ذرات

مطالعه توزیع ذرات در دانه‌بندی‌های مختلف نشان می‌دهد که بخش ماسه‌ای (۲ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر) در همه نمونه‌ها به‌طور متوسط حدود ۸۷٪ از کل درصد وزنی نمونه‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهد، در حالی که بخش سیلت و رس (۰/۰۶۳ میلی‌متر) درصد پایین‌تری دارد. به‌بیانی دیگر به‌طور میانگین ۵۰ درصد ذرات با اندازه ۲ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر، ۱۸ درصد دارای اندازه‌ی ۰/۴۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر، ۹ درصد ۰/۱۸۰ تا ۰/۱۲۵ میلی‌متر، ۱۰ درصد ۰/۱۲۵ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر و ۱۳ درصد ۰/۰۶۳ میلی‌متر را شامل می‌شود. ذرات با اندازه ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر در تمام نمونه‌ها دارای کمترین درصد وزنی هستند.

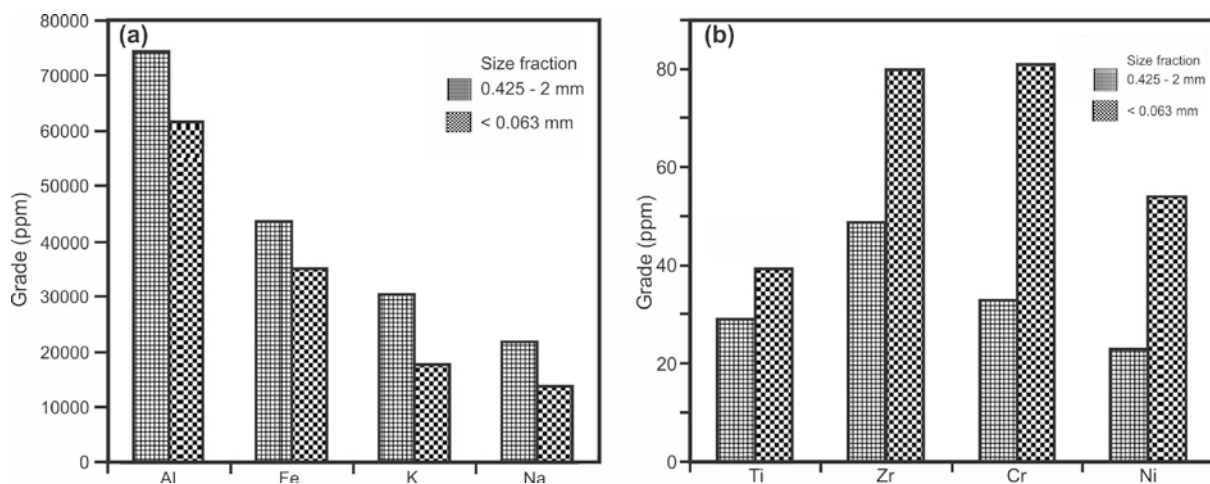
۴-۴- ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای

برای بررسی اثر اندازه ذرات روی توزیع ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای در محدوده مس-طلای کوه زر، تعداد ۶ نمونه ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای با رعایت تمام استانداردهای لازم طراحی و برداشت گردید. بخش کوچکتر از ۲ میلی‌متر رسوبات آبراهه‌ای بر اساس استاندار سازمان زمین‌شناسی اتحادیه

اروپا توسط الک‌های با سایزهای ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۸۰مش به وسیله دستگاه لرزان به ۵ جزء مش شامل $A=2-0/425$ mm, $B=0/425-0/180$ mm, $C=0/180-0/125$ mm, $D=0/125-0/63$ mm, $E<0/63$ تقسیم گردید. هر جزء مش رسوب برای ۳۴ عنصر تجزیه شیمیایی شده است.

مقدار کانی‌های رسی، کوارتز و فلدسپار در جزء مش‌های رسوب آبراهه‌ای تابع اندازه ذرات و شکل دانه‌ها می‌باشد، به طوری که به سمت رسوبات دانه ریز کانی‌های رسی افزایش و کوارتز و فلدسپار کاهش می‌یابد. برای بررسی اثر اندازه ذرات و کانی‌شناسی بر غلظت عناصر در محدوده کوه زر، جزء مش‌های $0/425$ تا 2 و $0/63$ میلی‌متر به ترتیب به عنوان نماینده رسوبات درشت و ریز دانه انتخاب شده است. میانگین مقادیر Al, Fe, K و Na در جزء مش $0/425$ تا 2 میلی‌متر بیشتر از جزء مش $0/63$ میلی‌متر است به عبارتی از جزئی مش درشت به ریز دانه با افزایش مقدار کانی‌های رسی و کاهش فلدسپار مقادیر این عناصر کاهش می‌یابد (شکل ۴-۱a).

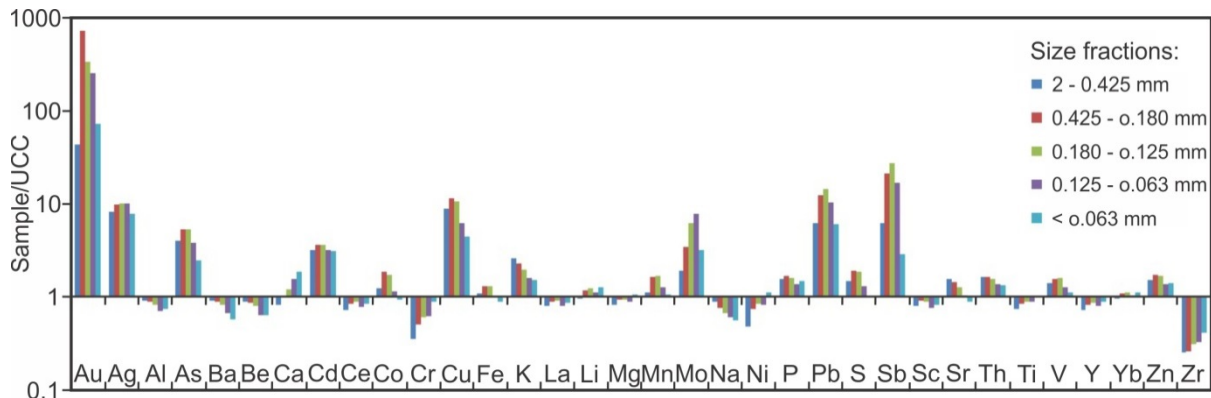
تمرکز بالای این عناصر در جزء مش درشت دانه با وجود سنگ‌های آذرین اسیدی - حدواسط با بافت پورفیری مطابقت دارد. برای اینکه پلاژیوکلازهای سدیم‌دار، آلکالی فلدسپار، هورنبلند و پیروکسن بلورهای درشت دانه ترکیب این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. میانگین مقادیر Cr, Ti, Zr و Ni در جزء مش $0/63$ میلی‌متر بیشتر از جزء مش $0/425$ تا 2 میلی‌متر است (شکل ۴-۱b). برای اینکه زیرکن، روتیل و اسفن بیشتر در بخش ریز دانه رسوبات متمرکز می‌شوند (Deer et al. 1992; Maslennikova et al. 2012)، و مقادیر Cr و Ni در محیط‌های رسوبی از قطب ماسه‌ای بسمت رسی افزایش می‌یابد، این عناصر در شبکه کریستالی کانی‌های رسی و یا اکسیدهای آهن وجود دارند و یا با جذب به سطح آن‌ها رسوب می‌کنند (Patino et al. 2003; Caspari 2006).



شکل ۴-۱- مقایسه مقادیر غلظت برخی از عناصر در جزء مش‌های درشت (۰/۴۲۵-۲ میلی‌متر) و ریز دانه (۰/۰۶۳ < میلی‌متر) رسوبات آبراهه‌ای: (a) مقادیر غلظت Al, Fe, K, Na در جزء مش درشت بیشتر از ریز است، (b) مقادیر غلظت Ti, Zr, Cr, و Ni در جزء مش ریز بیشتر از درشت است.

برای بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر، مقدار میانگین غلظت عناصر در هر جزء مش رسوبات آبراهه‌ای به ترکیب شیمیایی پوسته قاره‌ای بالایی نرمالایز شده است (Taylor and McLennan, 1995).

عناصر Au, Ag, As, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Li, Mn, Mo, Pb, P, S, Sb, Sr, Th, V و Zn در محدوده کوه زر نسبت به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی غنی‌شدگی نشان می‌دهند، و در این میان میزان غنی‌شدگی عناصر کانسارساز قابل‌ملاحظه می‌باشد. چنین غنی‌شدگی با گسترش سنگ‌های آذرین حدواسط و رخداد کانه‌زایی گرمایی مس، طلا و عناصر همراه در این محدوده مطابقت دارد (شکل ۴-۲). از اینرو، بررسی توزیع اندازه ذرات بر ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر در مورد عناصر Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, Sb, و S صورت گرفته است.



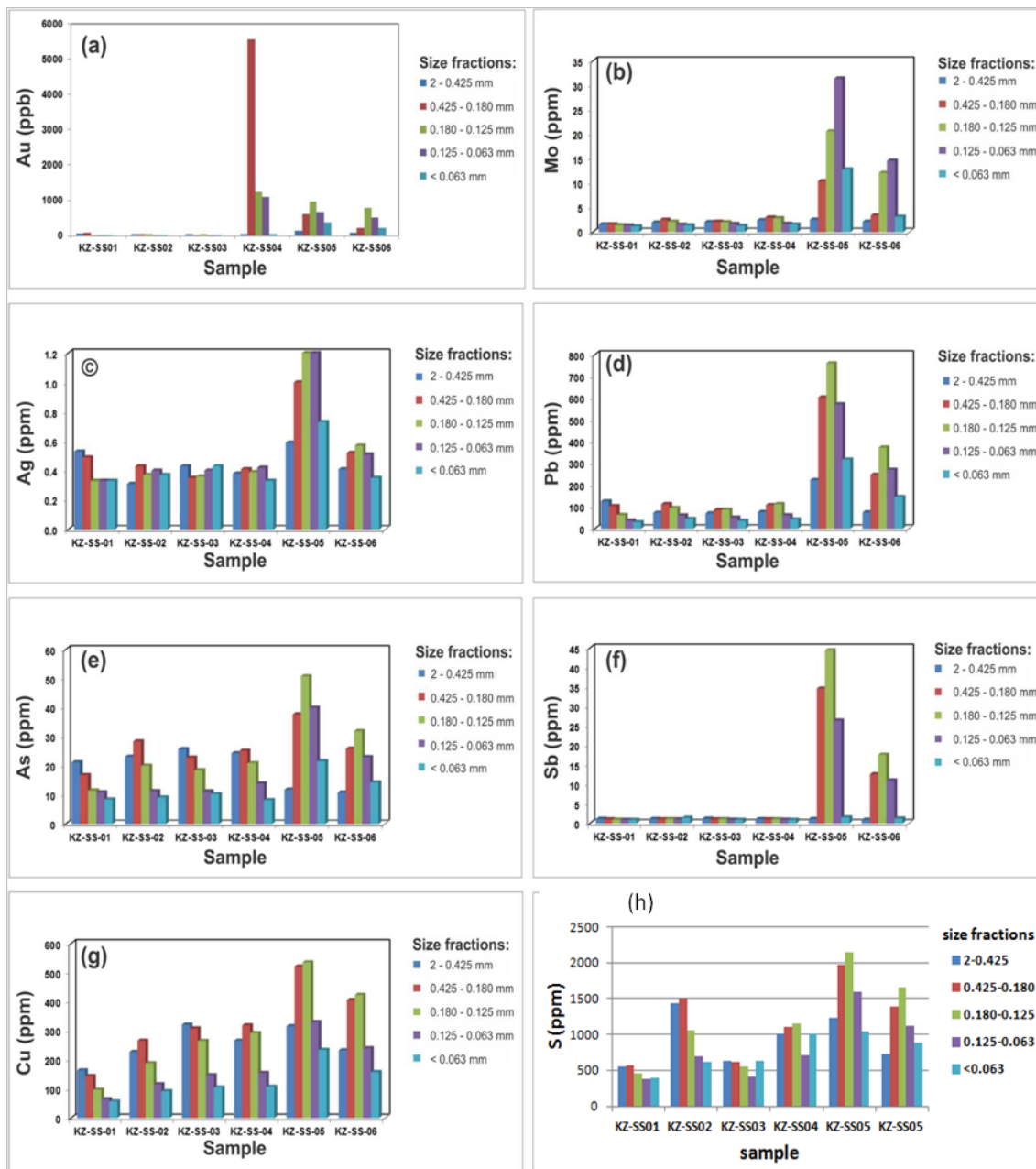
شکل ۴-۲- الگوی ژئوشیمیایی به‌هنجار شده میانگین غلظت عناصر در هر جزء مش از رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (Taylor and Mclennan, 1995).

طلا یکی از عناصر مهم در محدوده کوه زر است، مقادیر غلظت کمینه، بیشینه و میانگین آن در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای به‌ترتیب ۱۲، ۵۵۶۶ و ۴۳۴ میلی‌گرم در تن است (جدول ۳-۷). بیشترین مقادیر طلا در ایستگاه‌های نمونه‌برداری KZ-SS-04، KZ-SS-05 و KZ-SS-06 اندازه‌گیری شده است (شکل ۴-۳ a). این نمونه‌ها در مناطق پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار برداشت شده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که ایستگاه KZ-SS-03 نیز در فاصله حدود ۳۰۰ متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار برداشت شده است ولی کمترین میزان طلا و عناصر همراه را دارد و در این فاصله طلا و عناصر همراه فرصت لازم برای آزاد شدن از خرده سنگ‌های میزبان و تمرکز در بخش ریز دانه (۲ میلی‌متر <) رسوب را نداشته‌اند، در حالیکه مقدار غلظت طلا در ایستگاه‌های نمونه‌برداری KZ-SS-04، KZ-SS-05 و KZ-SS-06 بسیار قابل توجه بوده است. ایستگاه KZ-SS-04 در فاصله حدود ۷۰۰ متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار قرار دارد و مقادیر بیشینه طلا در جزء مش‌های مختلف این نمونه ثبت شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فاصله بهینه برای تمرکز طلا در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر حدود ۷۰۰ متر از سنگ منشاء است، که حتماً می‌بایست در طراحی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به این موضوع اهمیت داده شود. در ضمن، مقادیر غلظت طلا در جزء مش‌های ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰، و ۰/۰۶۳ تا ۰/۱۲۵ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش‌ها است (شکل ۴-۳ a)، از اینرو جزء مش بهینه رسوب آبراهه‌ای برای اکتشاف طلا در

محدوده کوه زر ۰/۰۶۳ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر توصیه می‌شود. مقدار طلا در جزء مش ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر از ایستگاه KZ-SS-04 به سمت KZ-SS-06 با افزایش فاصله از منشأ کمتر می‌شود. برای اینکه با فاصله از منشأ تعداد ذرات طلا بیشتر ولی ابعاد آن‌ها کاهش می‌باشد، در حالیکه در جزء مش ۰/۰۶۳ < میلی‌متر به سمت پایین دست آبراهه مقدار طلا زیاد می‌شود (شکل ۳-۴ a).

عناصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, S و Sb در محدوده کوه زر غنی‌شدگی قابل‌توجهی دارند. بیشترین مقادیر غلظت این عناصر در ایستگاه‌های نمونه‌برداری KZ-SS-05 و KZ-SS-06 اندازه‌گیری شده است که قابلیت تحرک بالای عناصر مذکور را نسبت به عنصر طلا نشان می‌دهد. ایستگاه KZ-SS-06 در فاصله حدود ۱۲۰۰ متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار قرار دارد و جزء مش‌های مختلف این نمونه بیشترین مقدار غلظت عناصر مذکور را دارد. مقادیر این عناصر نیز مانند طلا در جزء مش-های ۰/۱۸۰ تا ۰/۴۲۵، ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰، و ۰/۰۶۳ تا ۰/۱۲۵ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش‌ها است (شکل‌های ۳-۴)، از اینرو غلظت عناصر مذکور در این جزء مش‌ها می‌تواند ردیاب و معرف کانه‌زایی در محدوده کوه زر باشد. بنابراین فاصله و جزء مش بهینه برای مجموعه این عناصر در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به ترتیب حدود ۱۲۰۰ متر و ۰/۰۶۳ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر است.

برای شناخت همبستگی میان عناصر مهم در جزء مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای، جزء مش-های ۰/۴۲۵ تا ۰/۱۲۵، ۰/۱۸۰ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر را می‌توان به ترتیب به‌عنوان نماینده رسوبات دانه درشت، متوسط و ریز انتخاب نمود. در جزء مش درشت دانه (۰/۴۲۵ تا ۰/۱۲۵ میلی‌متر) عنصر Au با Ag و Pb همبستگی مثبت بالایی دارد و با As رابطه منفی داشته، دلیل همبستگی منفی آرسنیک با طلا در این جزء مش بدلیل پایداری مکانیکی کم کانه‌های آرسنیک‌دار مانند رالگار و اورپیمنت نسبت به طلا می‌باشد. میان Au با Cu و Mo همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ولی همبستگی میان Cu با Mo، Sb مثبت بالا بوده است (جدول ۳-۸). بطور کلی در این جزء مش همبستگی خوبی میان عناصر کنسار ساز مشاهده نمی‌شود و انتخاب آن برای اکتشافات ژئوشیمیایی توصیه نمی‌شود.



شکل ۴-۳- تغییرات مقادیر غلظت عناصر در جزئی مش‌های مختلف رسوبات آبراهه‌ای در ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده کوه زر: (a) طلا، (b) مولیبدوم، (c) نقره، (d) سرب، (e) آرسنیک، (f) آنتیموان، (g) مس، و (h) گوگرد.

در جزء مش متوسط دانه (۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر) همبستگی مثبت بسیار بالایی میان عناصر Au, Ag, Cu, Mo, Pb, As, Sb, S وجود دارد (جدول ۳-۸)، و از آنجایی که مقادیر غلظت عناصر نیز در این جزء مش بالا است، بدلیل شدت بالای ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی برای اکتشافات

ژئوشیمیایی ناحیه‌ای مفید است. در جزء مش ریز دانه (۰/۰۶۳ میلی‌متر) نیز همبستگی مثبت بالایی میان عناصر Au، Ag، Cu، Mo، Pb، As، Sb وجود دارد (جدول ۳-۸)، اما مقادیر غلظت عناصر نیز در این جزء مش به بزرگی جزء مش قبلی نبوده، و برای برداشت های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای توصیه نمی‌گردد.

در محدوده کوه زر تجزیه عاملی بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای انجام گرفته، و تعداد سه عامل معتبر شناخته شده است:

در عامل یک عناصر Al، Ba، Be، K، Na، Sr، Th و تا حدودی Cu، Fe و V با امتیاز مثبت ظاهر شده و غنی‌شدگی دارند، در حالیکه عناصر Ca، Ni، Ti، Cr فقیرشدگی دارند. چنین همیافتی عنصری حاکی است که عامل یک سنگ‌ساز است، برای اینکه هیچگونه عنصر کانسازسازی در این عامل حضور ندارد. چنین همبود عنصری با ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین حدواسط از قبیل سنگ‌های آتشفشانی داسیتی تا آندزیتی و سنگ‌های نفوذی از گرانودیوریت تا دیوریت در محدوده کوه زر همخوانی دارد.

در عامل دو عناصر Ce، La، Y، Yb، Li، P، Zr، Zn، Ti، Sc، Mg، Mn، V، Ni و تا حدودی Ca با امتیاز مثبت ظاهر شده‌اند. چنین همیافتی عنصری حاکی است که عامل دو نیز سنگ‌ساز است و از مولفه‌های ناحیه‌ای از قبیل سنگ‌شناسی منطقه تاثیر می‌پذیرد. سنگ‌هایی که سبب پیدایش همیافتی عنصری در عامل دو شده‌اند در مقایسه با سنگ‌های کنترل‌کننده عامل یک از گسترش کمتری در منطقه کوه زر دارند. چنین همبود عنصری با ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین فلسیک (گرانیت و ریولیت) و سنگ‌های مافیک (گابرو و بازالت) همخوانی دارد. اطلاعات نقشه‌های زمین-شناسی و مشاهدات صحرائی در منطقه کوه زر رخنمون سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی تا ریوداسیتی و بازالتی و سنگ‌های نفوذی گرانیتی را تایید می‌کند.

در عامل سه عناصر Au، Ag، As، Cd، Cu، Mo، Pb، S، Sb، و تا حدودی Zn با امتیاز مثبت ظاهر شده و غنی‌شدگی دارند، چنین همیافتی عنصری حاکی است که عامل سه کانسارساز است و از مولفه‌های محلی از قبیل فرآیندهای کانه‌زایی منطقه تاثیر می‌پذیرد. در ضمن، چنین همبود عنصری با پاراژنز عنصری کانسارهای رگه‌ای گرمابی (اپی ترمال) و کانسارهای مس پورفیری همخوانی دارد. وجود رگه‌های سیلیسی طلادار، رگه‌های سیلیسی طلا-مس دار و مناطق دگرسانی دارای کانه‌زایی مس در منطقه کوه زر سبب این همیافتی عنصری شده است.

۴-۵- مطالعه کانی‌های سنگین

بر پایه نتایج مطالعه نمونه‌های کانی سنگین، کانی‌های کانسارساز در محدوده کوه زر شامل طلا، سینابر، باریت، سروزیت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، ملاکیت، اسمیت زونیت، ولفنیت، وانادیت و رالگار می‌باشند. چنین همیافتی کانیایی بیشتر با کانی‌زائی تیپ‌های اپی‌ترمال-پورفیری همخوانی دارد. در این محدوده، کانی‌های سنگین مهم و با ارزش به ترتیب بیشترین تمرکز را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۵، ۴ و ۶ دارا هستند. این کانی‌ها، کانه‌های اصلی عناصر Au، S، As، Mo، Cu، Pb هستند. این موضوع با نتایج حاصل از بررسی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای کاملاً همخوانی دارد و عناصر مذکور در نمونه‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای ایستگاه‌های ۵، ۴ و ۶ غنی‌شدگی قابل توجهی نشان می‌دهند.

در آبرفت‌های کوه زر، اغلب دانه‌های طلا به شکل‌های لامپی و فیلم، از منظر گردش‌دگی زاویه‌دار (Angular) تا نیمه‌زاویه‌دار (Sub-angular) و به لحاظ کرویت قرص‌مانند (Discoidal) تا نیمه‌قرص‌مانند (Sub-discoidal) هستند. اندازه دانه‌های طلا از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر تغییر می‌کند و بیشتر ذرات در دامنه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو میلی متر قرار دارند (شکل ۳-۱۹، b). مرفولوژی و ابعاد ذرات طلای در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر نشان می‌دهد که این ذرات مسافت زیادی را از سنگ منشاء خود طی نکرده‌اند. نمونه‌هایی که محتوی تعداد قابل توجهی ذرات طلای آزاد هستند، در فاصله

حدود ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متری رگه‌های سیلیسی طلا دار برداشت شده‌اند. طلا تنها کانه اقتصادی آبرفت‌های کوه زر است، و به‌وسیله کانی‌های سنگین مهم از قبیل پیریت، گالن، کالکوپیریت، کالکوسیت، رء‌آلگار، اورپیمنت، ولفنیت، میمتیت، سینابر، سروسیت، پیرومورفیت، وانادینیت، سرب خالص، مالاکیت، بروشانیت، جاروسیت، مگنتیت، هماتیت، اولیژیست، گوتیت و لیمونیت همراهی می‌شود.

۴-۶- تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌های سنگین

در محدوده کوه زر، وجود سری سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت و بازالت، سنگ‌های نفوذی گرانودیوریتی، کوارتز دیوریتی و مونزودیوریتی اولیگوسن، سیالات تاخیری ماگمائی، دگرسانی و اشکال مختلف زمین‌ساختی شرایط مناسبی را برای رخداد کانه‌زائی فلزات پایه و گرانبها فراهم آورده است. عوامل فرسایش، هوازدگی، توپوگرافی، مرفولوژی، آب و هوایی، ارگانسیم‌ها، سبب تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها و کانسنگ‌های منطقه شده، و هاله‌های ژئوشیمیایی عناصر را در محیط‌های ثانویه از قبیل خاک، رسوبات آبراهه‌ای، آب و گیاه به‌وجود آورده است.

یکی از تکنیک‌های مهم برای ثبت هاله‌های لیتوژئوشیمیایی ثانویه عناصر، مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای می‌باشد. از آنجا که مقادیر غلظت عناصر در محیط‌های ژئوشیمیایی ثانویه کمتر از اولیه است، برای شدت بخشی به هاله‌های ژئوشیمیایی معمولاً جزء بهینه‌ای از رسوب آبراهه‌ای برای آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی انتخاب می‌گردد. در این تحقیق، برای انتخاب جزء مش مناسب و بهینه، رسوبات آبراهه‌ای از نظر اندازه ذرات طبقه‌بندی شده است. در این طبقه‌بندی، به‌طور میانگین ۵۰ درصد ذرات با اندازه ۲ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر، ۱۸ درصد دارای اندازه‌ی ۰/۴۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر، ۹ درصد ۰/۱۸۰ تا ۰/۱۲۵ میلی‌متر، ۱۰ درصد ۰/۱۲۵ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر و ۱۳ درصد کوچکتر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر را شامل می‌شود. ذرات رسوب با اندازه ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۸۰ میلی‌متر در تمام نمونه‌ها دارای کمترین درصد وزنی هستند. هر طبقه یا جزء مش رسوب برای عناصر مختلف تجزیه شده است. بررسی

ژئوشیمیایی جزءهای مختلف رسوب نشان می‌دهد که عناصر کانسارساز از قبیل Cu, As, Ag, Au ، بیشترین غنی‌شدگی را در محدوده کوه زر دارند. تحلیل‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره نیز وجود قرابت ژئوشیمیایی بالا را میان عناصر مذکور نشان می‌دهد. بر پایه نتایج بیشترین مقادیر طلا در ایستگاه‌های نمونه‌برداری $KZ-SS-04, KZ-SS-05$ و $KZ-SS-06$ اندازه گیری شده است. مقادیر غلظت طلا در جزء مش‌های (B) $0/180$ تا $0/425$ ، (C) $0/125$ تا $0/180$ و (D) $0/063$ تا $0/125$ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش‌ها است. از اینرو جزء مش بهینه رسوب آبراهه‌ای برای اکتشاف طلا در محدوده کوه زر $0/063$ تا $0/425$ میلی‌متر توصیه می‌گردد که حدود 37% از کل نمونه را شامل می‌شود. ایستگاه $KZ-SS-04$ در فاصله حدود 700 متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار قرار دارد و در مقایسه با ایستگاه‌های $KZ-SS-05$ و $KZ-SS-06$ به سنگ‌های منشاء (رگه‌های سیلیسی طلا دار) نزدیک‌تر است، و مقادیر بیشینه طلا در جزء مش‌های مختلف نمونه 4 ثبت شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فاصله بهینه برای تمرکز طلا در رسوبات آبراهه‌ای محدوده کوه زر حدود 700 تا 1200 متر از سنگ منشاء است، که حتماً می‌بایست در طراحی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به این موضوع اهمیت داده شود. بیشترین مقدار غلظت عناصر Ag, As, Cu, Mo, Pb, S و Sb در ایستگاه‌های نمونه‌برداری $KZ-SS-05$ و $KZ-SS-06$ اندازه گیری شده است که قابلیت تحرک بالای عناصر مذکور را نسبت به عنصر طلا نشان می‌دهد. این نمونه‌ها در فاصله حدود 1200 متری پایین دست رگه‌های سیلیسی طلا دار قرار دارند. مقادیر این عناصر نیز مانند طلا در جزء مش‌های (B) $0/180$ تا $0/425$ ، (C) $0/125$ تا $0/180$ و (D) $0/063$ تا $0/125$ میلی‌متر بیشتر از سایر جزء مش‌ها است، از اینرو غلظت عناصر مذکور در این جزء مش‌ها می‌تواند ردیاب و معرف کانه‌زایی در محدوده کوه زر باشد. بنابراین فاصله و جزء مش بهینه برای مجموعه این عناصر در رسوبات آبراهه‌ای کوه زر به ترتیب حدود 1200 متر و $0/063$ تا $0/425$ میلی‌متر است. بر پایه نتایج مطالعه نمونه‌های کانی سنگین، در نمونه‌های کانی سنگین نیز بیشترین تمرکز کانه‌های

اصلی عناصر Cu, Pb, Mo, As, Mo, S و Au در ایستگاه‌های ۴، ۵، ۶ مشاهده گردید.

۴-۷- نتیجه‌گیری

بررسی‌های زمین‌شناسی و اکتشافی در چارچوب پژوهش حاضر در محدوده کوه زر به نتایج منجر شده است، که در ذیل به اهم آن‌ها اشاره می‌گردد:

- رخنمون‌های سنگی در محدوده کوه زر (حوضه آبریز پازو) شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت تا بازالت، توده‌های نفوذی عمیق تا نیمه‌عمیق با ترکیب گرانودیوریت، کوارتز دیوریت و مونزودیوریت، و رگه‌های کوارتز است.

- فعالیت‌های گرمابی توده‌های نفوذی (به‌احتمالاً ائوسن پایانی - اولیگوسن) عامل اصلی دگرسانی سنگ‌های میزبان و کانه‌زایی در این محدوده است.

- دگرسانی‌های غالب شامل انواع سریسیتی و آرژلیک، پروپیلیتیک، کلریتی، گرایزنی، و سیلیسی است.

- مطالعات کانه‌نگاری وجود کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، کالکوسیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت، و لیمونیت را در کانسنگ‌ها نشان می‌دهد.

- کاوش‌های لیتوژئوشیمیایی، رگه‌های کوارتز طلا و سولفیددار را منشاء ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی فلزات پایه (مس، سرب) و گرانبها (طلا و نقره) در رسوبات آبراهه‌ای معرفی می‌نماید.

- همیافتی ژئوشیمیایی عناصر Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, Sb, S در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی و رسوب آبراهه‌ای، احتمال رخداد کانه‌زایی اپی‌ترمال چندفلزی و پورفیری را نوید می‌دهند.

- مطالعه توزیع ذرات در جزء مش‌های مختلف رسوب نشان می‌دهد که بخش‌های ماسه‌ای (۲ تا

۰/۰۶۳ میلی‌متر) و سیلت و رس (کوچکتر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر) به‌طور متوسط حدود ۸۷ و ۱۳ درصد از کل درصد وزنی رسوب را به‌خود اختصاص می‌دهند.

- تحلیل‌های آماری تک متغیره و چند متغیره بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبره‌های غنی‌شدگی قابل‌ملاحظه عناصر Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, Sb, S را در محدوده کوه زر نشان می‌دهند، و قرابت ژئوشیمیایی بالایی میان این عناصر وجود دارد.

- بررسی ژئوشیمیایی جزء مش‌های مختلف رسوب آبره‌های، جزء مش ۰/۰۶۳ تا ۰/۴۲۵ میلی‌متر، که حدوداً ۳۷٪ کل نمونه را شامل می‌شود، به‌عنوان جزء بهینه رسوب برای اکتشافات ژئوشیمیایی طلا و عناصر همراه در محدوده کوه زر و ناحیه تروند-چاه شیرین معرفی می‌کند.

- تراکم و فاصله بهینه نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبره‌های برای طلا و عناصر دیگر حدود ۷۰۰-۱۲۰۰ متر پیشنهاد می‌شود.

- طلا تنها کانه اقتصادی آبرفت‌های کوه زر است، و به‌وسیله کانی‌های سنگین مهم از قبیل گالن، کالکوپیریت، کالکوسیت، رء‌آلگار، اورپیمنت، ولفنیت، میمتیت، سینابر، سروسیت، پیرومورفیت، وانادینیت، سرب خالص، مالاکیت، بروشانیت، و اکسیدهای آهن همراهی می‌شود.

- دانه‌های طلا به شکل‌های لامپی و فیلم، از منظر گردش‌گی زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار و به لحاظ کرویت قرص‌مانند تا نیمه‌قرص‌مانند هستند. اندازه دانه‌های طلا از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرو متر تغییر می‌کند و بیشتر ذرات در دامنه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر قرار دارند.

- تکنیک کانی سنگین نیز همانند ژئوشیمیایی جزء مش ۰/۴۲۵ تا ۰/۰۶۳ میلی‌متر رسوبات آبره‌های و فاصله بهینه ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر را برای اکتشاف طلا و عناصر همراه در محدوده کوه زر معرفی می‌نماید.

- براساس نتایج تحقیق و غنی‌شدگی طلا و عناصر همراه در نمونه ۵ که از مسیر و انتهای آبره بازارها برداشت شد، این آبره هم مستعد کانه‌زایی است. مشاهدات صحرائی در مرحله کنترل

صحرائی نتایج ژئوشیمی آبراهه‌ای نشان می‌دهد که ایستگاه شماره ۵ در فاصله حدود ۱۲۰۰ متر از رخنمون کانه‌زایی قرار دارد و همانند نمونه ایستگاه شماره ۶ غنی از طلا و عناصر دیگر می‌باشد.

۴-۸- پیشنهادها

- با توجه به پتانسیل معدنی بالای محور ترود-چاه‌شیرین برای فلزات پایه و گرانبها، پیشنهادهای زیر برای تکمیل مطالعات ارائه می‌گردد:
- ارزیابی داده‌های ژئوشیمیایی ورقه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ناحیه ترود-چاه‌شیرین، و انتخاب مناطق امیدبخش معدنی برای انجام پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ بر اساس نتایج پژوهش حاضر.
- طراحی و برداشت نمونه‌های کانی‌سنگین به‌موازات نمونه‌های سیلت آبراهه‌ای در پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰.
- تجزیه شیمیایی بخش کنسانتره نمونه‌های کانی‌سنگین برای طلا و عناصر همراه در پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰.
- استفاده از نتایج کانی‌های سنگین برای ردیابی طلا، فیروزه، تورمالین و دیگر کانی‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی.

منابع فارسی:

آزم ف، (۱۳۶۴)، " مطالعه و اندازه گیری کانی‌های سنگین " ، سازمان زمین‌شناسی کشور. اشراقی ص، جلالی ع، (۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش معلمان، سری ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۹۶۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.

آقاجانی ح،، (۱۳۷۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ "مطالعه اکتشاف ژئوشیمیایی کنسار طلای کوه زر دامغان"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

احمدی شاد ا، (۱۳۷۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ "مطالعه کانی‌شناسی، آلتراسیون و لیتوژئوشیمیایی طلای منطقه باغو کوه زر دامغان".

امامی م، (۱۳۷۹)، " ماگماتیسم در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۸ص.

امام جمعه ا، (۱۳۸۵) پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کنسار مس چاه موسی (شمال غرب ترود، استان سمنان)" ، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

امام جمعه ا، راستاد ا، بوذری ف، رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۸۷)، "معرفی سامانه واحد کانی‌زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه موسی- قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود-چاه شیرین"، **مجله علوم زمین**، سال ۱۸، شماره ۷۰.

برنا ب، عشق آبادی م، (۱۳۷۶)، " گزارش ارزیابی و اکتشافی کنسارهای طلا در مناطق باغو و دارستان"، شرکت طلای ایران.

تاج الدین ح، (۱۳۷۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز اثر معدنی طلای دارستان (جنوب دامغان)" ، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

تاج الدین ح،، راستاد ا و رشید نژاد عمران ن، (۱۳۷۶)، زمین‌شناسی، پاراژنز، آلتراسیون و چگونگی گسترش کانه‌زایی طلا در رگه‌های سیلیسی سولفیددار سنگ‌های ولکانو-پیروکلاستیک ائوسن میانی (جنوب دامغان). اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، ص ۶۵-۶۸.

جعفریان ع، ولی‌زاده م، (۱۳۶۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " بررسی پترولوژیکی قوس ولکانو پلوتونیک رشته کوه زر-ترود و مجموعه‌های کانی‌زائی وابسته"، دانشگاه تهران.

جعفریان م، (۱۳۸۰)، "چینه‌شناسی و آمونیت‌های ژوراسیک میانی در کوه شرق سمنان (البرز شرقی)"، **مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان**، دوره ۱۵، شماره ۱-۲، ص ۲۱۱-۲۳۳
حسنى پاک ع ا، شجاعت ب، (۱۳۷۹)، "مدل‌سازی کانسارهای فلزی و غیر فلزی با کاربرد اکتشافی آن"، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۱۲ص.

حسنى پاک ع ا، شرف‌الدین م، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ص.

حسنى پاک ع ا، (۱۳۹۱)، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۰۰-۶۱۵.

حقیقی ا، علیرضایی س، اشرف پور ا، (۱۳۹۲)، "کانه‌زایی، دگرسانی و ویژگی‌های سیال کانه‌زا در کانسار فلزات پایه و گرانبهای چشمه‌حافظ، رشته‌کوه ترود - چاه شیرین، شمال ایران مرکزی"، **علوم زمین**، سال ۲۲، شماره ۸۸، ص ۹۹-۱۱۰.

خادمی م، شهریاری س، (۱۳۸۶)، "پایانه باختری گسل ترود: مثالی کلاسیک از پایانه گسل-های راست‌لغز"، **نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم**، جلد ۶، شماره ۳ و ۴.
خادمی م، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ویژگی ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۲۰۰.

خادمی م، (۱۳۸۹)، "محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی پیرامون گسل ترود، جنوب دامغان"، **نشریه علوم زمین**، دوره ۱۹، شماره ۷۵، ص ۴۷-۵۶.
خاکزاده ا، (۱۳۶۷)، "بررسی اجمالی زمین‌شناسی اقتصادی استان سمنان"، گزارش زمین‌شناسی اقتصادی استان سمنان، دانشکده زمین، تهران.

درویش‌زاده ع، (۱۳۷۰) "زمین‌شناسی ایران"، نشر دانش امروز- وابسته به موسسه انتشارات امیر کبیر، تهران، ص ۹۰۱.

دمشقیه، (۱۳۱۰)، **آثار طلا در کوه زر**، شرکت سهامی کل معادن ایران
ذوالفقاری، ص، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در محدوده معلمان دامغان"، دانشگاه آزاد اسلامی ایران.

راستاد ا، تاج‌الدین ح، رشیدنژاد عمران ن، باباخانی ع ر، (۱۳۷۹)، "خاستگاه و پتانسیل طلا-مس کوه‌زر در محدوده معدنی دارستان-باغو (جنوب دامغان)، **علوم زمین**، سال نهم، شماره ۳۵-۳۶.

رحیمی م، (۱۳۷۴) گزارش زمین‌شناسی استان سمنان ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

رشید نژاد عمران ن، (۱۳۷۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو(جنوب شرق دامغان) " ، دانشگاه تربیت معلم.تهران، ص ۲۵۶.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۹۸۷)، "نقشه توپوگرافی چهارگوش طرود، سری ۱/۲۵۰۰۰۰"، شماره NI-۱-۴۰.

شرکت طلای ایران (۱۳۷۶)، "گزارش و نقشه زمین‌شناسی- معدنی محدوده اکتشافی طلای باغو در مقیاس‌های ۱/۲۰۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰".

شمعانیان اصفهانی غ، (۱۳۸۳)، رساله دکتری: "مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمایی فلزات پایه و گرانبها در منطقه معلمان" ، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

شهاب پور ج ، (۱۳۹۰) "زمین‌شناسی ایران" ، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ویرایش اول، ص ۵۴۷.

صفری ج و همکاران، (۱۳۷۵)، "مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی بر روی کانسار طلا در مناطق باغو و دارستان (تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰)", شرکت طلای ایران.

علوی م، هوشمندزاده ع، اطمینان ه، و حقی پور ع. (۱۳۵۷)، " نقشه زمین شناسی چهارگوش طرود"، سری ۱/۲۵۰۰۰۰، شماره H5، سازمان زمین شناسی کشور.

قربانی ق، (۱۳۸۶)، "پتروگرافی و ژنز تورمالین در سنگ‌های پلوتونیک کوه زر"، پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

قربانی ق، (۱۳۸۴)، رساله دکتری: "پتروگرافی سنگ‌های ماگمایی جنوب دامغان" ، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۳۵۰.

قربانی م، (۱۳۸۷)، "زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران" ، انتشارات آراین زمین، تهران.

فرد م. (۱۳۸۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار طلا، سرب، روی گندی"، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

عابدیان، ناصر و دری م. (۱۳۵۷)، بررسی معادن مس استان سمنان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.

کریم پور م ح. (۱۳۶۸) "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات جاوید، ص ۴۰۴.

کریم پور م ح. (۱۳۸۶) "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات ارسلان، ص ۵۳۵.

کریم پور م ح. (۱۳۸۸) "ژئوشیمی پترولوژی سنگ های آذرین و کانسارهای ماگمایی"، انتشارات فردوسی مشهد، ص ۵۴۶.

کریم پور م ح (۱۳۹۵)، "تلفیق پردازش لندست و ژئوشیمی رسوبات رودخانه ای برای اکتشافات منابع معدنی: ده سلیم، شرق ایران. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۶، ش ۲۰.

کوثری س. (۱۳۸۹)، "دستورالعمل اکتشافات بزرگ مقیاس رسوبات آبراهه ای ۱/۲۵۰۰۰۰"، وزارت صنایع و معادن کشور.

کهنسال ر. (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی توده های نفوذی نیمه ژرف در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان دامغان"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

لیاقت س، شیخی و، نجاران م. (۱۳۸۷)، مطالعه پترولوژی-ژئوشیمیایی و ژنز فیروزه باغو-دامغان، مجله علوم زمین، دانشگاه تهران، ص ۱۳۳-۱۴۲.

مرادی س، حسن نژاد ع. (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه کانی زائی طلا در منطقه باغو (جنوب شرق دامغان)"، دانشگاه دامغان.

مرف، شرفی ع ا (۱۳۹۰)، "اصول ژئوشیمی"، چاپ ۹، انتشارات دانشگاه شیراز.

مهرابی ب، قاسمی سیانی م و اقبال مهر ع. (۱۳۸۹)، "مطالعات کانی شناسی و میکروترموتری کانسار پلی متال چشمه حافظ سمنان (جنوب شرق دامغان)"، شانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران.

- نجان م، (۱۳۷۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه ژئوشیمیایی و چگونگی تشکیل کانسار فیروزه باغو(دامغان)، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه شیراز، ص ۱۵۰.
- نجف زاده ع، خلیلی مبرهن ش، احمدیان ج، (۱۳۹۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- نوگل سادات م ا و الماسیان م، (۱۳۷۱)، "نقشه تکتونیک ایران با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین شناسی کشور.
- وزارت صنعت و معدن، (۱۳۸۹)، "دستورالعمل بررسی بزرگ مقیاس رسوبات آبراهه-ای (۱:۲۵۰۰۰)", انتشارات سازمان نظام مهندسی ایران، نشریه شماره ۵۴۰.
- وزیری م، احمدی ع، "پتروگرافی و پترولوژی آذرین"، دانشگاه خوارزمی
- هوشمندزاده ع، نایینی م، حقی پور ع، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده زمین شناسی ناحیه تروند"، سازمان زمین شناسی کشور.
- یزدی، م، (۱۳۸۱)، "روش های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- یعقوب پور ع م، (۱۳۶۶) "مبانی زمین شناسی اقتصادی"، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۲۶۶

References:

- Berger B. R. and Eimon, P., (1983). "Conceptual models of epithermal precious metal deposits, in shanks, W.C., ed., Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits". Society of Mining Engineers of AIME., p. 191-205.
- Boyle, R. W., (1979). "The geochemistry of gold and its deposits", Canada Geological Survey Bulletin-280, p.1-37.
- Bradshaw, P.M.D, Clews, D.R and Walker, J.K.(1979). "Exploration geochemistry", Barriger Revard ltd, Toronto, 54pp.
- Cannon W.F., Woodruff L.G. and Pimley S ,(2004) "Some statistical relationships between stream sediment and soil geochemistry in northwestern Wisconsin. Can stream sediment compositions be used to predict compositions of soils in glaciated terranes", **J. Geochem. Explor**, **81**, 29-46.
- Caspari T. 2006. Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas. *Geoderma*, 136: 436-458.

Cohen D.R., (1999), "Comparison of vegetation and stream sediment geochemical patterns in northeastern New South Wales", **J. Geochem. Explor**, **66**, 469-489.

Craig J.R., Vaughan D.J. (1994) "**Ore Microscopy & Ore Petrography**". Wiley, 406p.

Davice (2002), "**statics and Date Analysis in Geology**" ,Edition ,John Davis ,wiley, 550 p.

Deer W.A. Howie R.A. and Zussman J. 1992. An introduction to the rock-forming minerals. 2nd edition, London, Longman Group UK Limited, 712 p.

Dong G . Morrison G.W. (1995) "Adularia in epithermal veins, Queensland; morphology, structural state and origin" **Mineralium Deposita.**, **30**, pp 11-19.

Diehl, M .H., (1944). **Beitrag zur kenntnis der Erzfundstellen Irans**. Sonderdruckaus, Schweiz, Min.pet. Mitt.

Dill H.G.(1998) "A review of heavy minerals in clastic sediments with case studies from the alluvial-fan through the nearshore-marine environments". **Earth-Science Reviews**, **45**, 103–132.

Evans A. M. (1992) "Ore geology and industrial minerals" **Blackwell, Sci. Pub.**, pp. 389.

Evans A. M. (1997) "An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impacts" **Black well Science.**, pp. 364.

Ferkous K. Leblanc M. (1995) "Gold mineralization in the West Hoggar shear zone" **Algeria, Min. Dep.**, **30**, pp 211-224.

Foster,R.P.(1993) "**Gold Metallogeny and Exploration**" Blackie and son. Ltd. Second Published,p.390.

Giggenbach W. F. (1997) "**The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, in Barnes, H.L, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd ed., New York**" , Wiley Interscience., pp 737-796.

Gottfrid d. and Greenland L. P (1972),"Variation of Iridium and Gold in oceanic and continental Basalts", **Proc. 24th international Geol., Congress, Soction 10**,pp. 135-144.

Grunsky E.C., Drew L.J., David M. & Sutphin D.M.(2009) "Process recognition in multi-element soil and stream-sediment geochemical data", **Appl. Geochem.**, **24**, 1602-1616.

Hair J.F, Black W.C , Babin B.J and Anderson R.E , (2009), "**Multivariate data analysis**" 7th Edition, Amazon Publisher, 816 p.

Henley R.W , Ellis A. J , (1983) "Geothermal system, ancient and modern" **Earth Science Review** , Vol. 19, p. 1-50.

- Holtzer, H.F., Houshmandzadeh, A., Momenzadeh, M., Movahhed Aval., (1970). Geological reconnaissance in the Torud-Satveh-Baghu area semnandistrict, North-Central Iran.,G.S.I.
- Huber, Stocklin, (1959), "Geological report on the Toroud – Moaleman area" , N.I.O.C.
- Kouhestani H. Ghaderi M. Zaw K. Meffre S. Emami M.H. (2012) "Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran" **Mineralium Deposita.**, 47, pp 425 – 440.
- Kuzvart M & Bohmer M (1986), "**Prospecting and Exploration of Mineral Deposits**" Academia. Praha, pp. 147- 186.
- Lagast J. (2009), "Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from olkaria domes geothermal field, Kenya".
- Lentz D. R. (1994), "Exchange reactions in hydrothermally altered rocks: examples from biotite- bearing assemblages" **In Lentz, D.R., ed., Alteration and Alteration Processes Hvi hhhNotes.**, 11, pp 69-99.
- Levinson .A.A, (1974), "**Introduction to exploration geochemistry**". Applied Publishing Ltd. Calgary .Alta. 612pp.
- Lindgren W, (1922), a suggestion for the terminology of certain mineral deposits: **Economic Geology**, 17, 292-294.
- Lindgren W. (1933), "**Mineral Deposits**". McGraw Hill, New York and London,930p.
- Marshal D ,C.D Anglin & Mumin H ,(2004), "Ore minerals altas ", Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division.
- Maslennikova S. Larina N. and Larin S., 2012. The effect of sediment grain size on heavy metal content. Lakes, Reservoirs and Ponds, 6(1): 43-54.
- McCuaig T. C. Kerrich R. (1998), "P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics" **Ore Geol. Rev.**, 12, pp 381-453.
- Mciennes, B.I.A , Crocket J.H , Goodfellow, W. D , (1990), " The Land fprma Deposit- An atypical epithermal Au system at Freegold Mountain, Yukon Territory". **Journal of Geochemical Exploration.**, v. 36, pp. 73-102.
- Mikucki E. J. (1998) "Hydrothermal transport and depositional process in Archean lode gold systems" **a review. Ore Geol. Rev.**, 10, pp 31-50.
- Nicholson, P. M. (1980), "The geology and economic significance of the Golden Dyke dome,Northern Territory", In Ferguson, J. and Goleby, A. B. (Eds.) Uranium in the Pine Creek geosynclines: Vienna, International Atomic Energy Agency 319-334.
- Pacal. Z., (1977), "Geochemical Prospecting Methods", Geological Survey. Prague. pp. 20- 48.

Patino L.C. Velbel M.A. Price J.R. and Wade J.A. 2003. Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala. *Chemical Geology*, 202(3): 343-364

Pirajno F. (1992), “**Hydrothermal mineral deposits**” Springer-Verlag Berlin Heidelberg., pp. 709.

Pirajno F. (2009), “**Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist**”, Springer pp. 706.

Pirajno F. (2009), "Hydrothermal processes and mineral systems" **Springer, New York., pp 1273.**

Pratt C. & Lottermoser B.G.,(2007), “Mobilisation of traffic-derived trace metals from road corridors into coastal stream and estuarine sediments, Cairns, northern Australia”. **Environ. Geol.**, 52, 437-448.

Ramdohr P. (1969), “The Ore Minerals and Their Intergrowths” **Pergamon, New York.**

Ranasinghe P.N., Chandrajith R.L.R, Dissanayake C.B. & Rupasinghe M.S., (2002), “Importance of grain size factor in distribution of trace elements in stream sediments of Tropical High Grade Terrains. A case study from Sri Lanka”. **Chem. Erde-Geochem.**, 62, 243-253.

Ranasinghe P.N, G. W. A. R. Fernando , D.L. Witter.,(2009),“ Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains” **J. Geochem. Explor**, 103, 97-114.

Robert, K. Vincent (1997), “Geological and Enviromental Remote sensing”, pp 381.

Reimann C. Filzmoser P. (2000), “Normal and lognormal data distribution in geochemistry: dead of a myth. Consequences of geochemical and environmental data” **Environ. Geol.**, 39, pp 1001–1014.

Reimann c ,Filzmoser p .Garrett r.g (2005), Multivariate outlier detection in exploration geochemistry, Elsevier. Volume 31, Issue 5, June 2005, Pages 579-587.

Robert, F., Poulsen, K.H., Dubé, B (1997), “Gold deposits and their geological classification, Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration” Edited by A.G. Gubins, , p. 209–220.

Salminen R. et al., (1998), “FOREGS geochemical mapping. Field manual”. Espoo, Finland: Geological tutkimuskeskus, Opas - Geological Survey of Finland, Guide 47, 36.

Shelley D. (1993) “**Igneous and metamorphic rocks under the microscope**” Chapman and Hall, London., pp 445.

Sillitoe R. H. (1993) “Gold deposits in western pacific island arcs: The magmatic connection” **Economic Geology Monograph** , 6. pp 274-291.

Sillitoe R.H.,(2002). “Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration”, **Mineralium Deposita**37, p.4–13.

Sillitoe R. H., Perelló J. (2005). “Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery”. **Economic Geology 100th Anniversary Volume**, pp. 845-890.

Singh P ,(2010) “Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region, India”. **Chem. Geol.**, 269, 220-236.

Slack J. F, Herriman N., Barnes R. G. and Plimer I. R. (1984) “Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geologic significance”. **Geology** 12: 713-716

Solovov A. P, (1987), “Geochemical Prospecting for Mineral Deposits” Mir publishers Moscow.

Stocklin, J., (1968),“ Structural history and tectonics of Iran”: a review: American association of Petroleum Geologist Bulletin, v, 52.p . 1229 – 1258

Taghipour, B., and Mackizadeh, M.A., (2014), “The origin of the tourmaline and turquoise association hosted in hydrothermally altered rocks of the Kuh-Zar Cu-Au-Turquoise deposit, Damghan, Iran”, **N. jb. Geol. Palaont. Abh. Stuttgart**, 272/1, 61-77.

Taylor S. R., and McLennan S. M. (1995), “The geochemical evolution of the continental crust,” **Rev. Geophys.** 33, 241–265.

Virginia T. McLemore, Lynn A. Brandvold, Anwar M. Hossain, and Tim C. Pease, (1995), pp.The effect of particle size distribution on the geochemistry of stream sediments from the upper Pecos River, San Miguel County, New Mexico.

Vossoughzadeh, H., Jarchovsky, T., Tadayon, M., (1970). Results of geochemical prospecting in Satveh-Torud area. *G.I.S.*

Whitney D.L. Evans B.W. (2010) “ Abbreviations for names of rock-forming minerals” **American Mineralogist**, 95, pp 185-187.

Zhou Y. Wang Z. (1999), “Altered ductile shear zone host type of gold deposits from south China” a case study. **J. Geoscience of China.**, 1, pp 23-38 (Craig and Vaughan, 1994 .

پیوست

جدول ۱: غلظت متوسط (گرم در تن) برخی عناصر در پوسته قاره‌ای بالایی (Taylor & Mclennan, 1995)

Element	Upper continental crust	Element	Upper continental crust
Au(ppb)	1.8	Mn	600
Ag	0.05	Mo	1.5
Al	80400	Na	28900
As	1.5	Ni	44
Ba	550	P	700
Be	3	Pb	17
Ca	30000	S	309
Cd	0.098	Sb	0.2
Ce	64	Sc	13.6
Co	17	Sr	350
Cr	85	Th	10.7
Cu	25	Ti	3900
Fe	35000	V	107
K	28000	Y	22
La	30	Yb	2.2
Li	20	Zn	71
Mg	13300	Zr	190

جدول ۲: مشخصات نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه

ردیف	شماره نمونه	نوع آنالیز
1	KZ-LG01	F.A ,ICP-OES
2	KZ-LG02	F.A ,ICP-OES
3	KZ-LG03	F.A ,ICP-OES
1	KZ-SS01A	F.A ,ICP-OES
2	KZ-SS01B	F.A ,ICP-OES
3	KZ-SS01C	F.A ,ICP-OES
4	KZ-SS01D	F.A ,ICP-OES
5	KZ-SS01E	F.A ,ICP-OES
6	KZ-SS02A	F.A ,ICP-OES
7	KZ-SS02B	F.A ,ICP-OES
8	KZ-SS02C	F.A ,ICP-OES
9	KZ-SS02D	F.A ,ICP-OES
10	KZ-SS02E	F.A ,ICP-OES
11	KZ-SS03A	F.A ,ICP-OES
12	KZ-SS03B	F.A ,ICP-OES
13	KZ-SS03C	F.A ,ICP-OES
14	KZ-SS03D	F.A ,ICP-OES
15	KZ-SS03E	F.A ,ICP-OES
16	KZ-SS04A	F.A ,ICP-OES
17	KZ-SS04B	F.A ,ICP-OES
18	KZ-SS04C	F.A ,ICP-OES
19	KZ-SS04D	F.A ,ICP-OES
20	KZ-SS04E	F.A ,ICP-OES
21	KZ-SS05A	F.A ,ICP-OES
22	KZ-SS05B	F.A ,ICP-OES
23	KZ-SS05C	F.A ,ICP-OES
24	KZ-SS05D	F.A ,ICP-OES
25	KZ-SS05E	F.A ,ICP-OES
26	KZ-SS06A	F.A ,ICP-OES
27	KZ-SS06B	F.A ,ICP-OES
28	KZ-SS06C	F.A ,ICP-OES
29	KZ-SS06D	F.A ,ICP-OES
30	KZ-SS06E	F.A ,ICP-OES

جدول پیوست ۳: نتایج و داده‌های خام مطالعه نمونه‌های کانی سنگین

Sample	KZ-HM-01	KZ-HM-02	KZ-HM-03	KZ-HM-04	KZ-HM-05	KZ-HM-06
Total volum A	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Panned volume B	87	99	45	165	201	111
Study volume C	87	99	45	165	201	111
Heavy volume Y	29	33	15	55	67	37
Magnetite	6	24	29.7	17	47	38
Apatite	0.7	0.7	1	0.7	1	1
Zircon	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05
Rutile	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
Anatase	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sphene	0.1	0.1	0.3	0.1	2.5	0.2
Leucoxene	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Barite	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
Pyrite	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
Carbonates	0.25	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
FQ	1.75	2	1.5	1.5	1.5	1.5
Nigrine	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Galena	0.05	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05
Cerussite	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Malachite	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05
Sapphire	0.01	0	0	0	0	0.01
Cinnabar	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Fluorite	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tourmaline	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Andalusite	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Wulfenite	0.01	0	0	0	0.01	0.01
Mimetite	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0.05
Vanadinite	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01
Realgar-Orpiment	0.01	0	0	0	0.01	0.01
Chalcopyrite	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Native lead	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01
Amethyst	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01
Smithsonite	0.01	0	0	0	0.01	0.01
Hematite	3.7	4.9	9.7	12	5	4.2
Goethite	2.2	2.1	3.2	2.4	1	1.8
Limonite	1.5	2.1	1.9	1.6	1.5	1.2
Pyriteoxide	11.3	21	26	24	20	21
Pyritelimonite	1.5	3.5	3.2	2.4	2.5	3
Oligiste	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Pyroxens	1.5	2.1	1.3	1.6	1.5	1.2
Amphibols	2.2	0.7	0.05	0.8	0.5	0.6
Epidots	1.5	2.1	0.6	1.6	1	1.2
Garnets	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Chlorite	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Biotite	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
Ilmenite	0.01	0.05	0.05	0.01	0.05	0.01
Sericite	0.7	1.4	0.05	0.05	0.5	0.6
Jarosite	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01
Altreadsilicate	69	39.5	26.5	37.25	20.75	30.7

Abstract

The Kuh-Zar Cu-Au deposit is located in Semnan province and 95 km south of Damghan, and which is geologically as part of Torud-Chah Shirin magmatic belt. The rock types with the Eocene-Oligocene age include of volcanic (andesite, trachyandesite and basalt) and intrusive (granodiorite, quartz diorite and monzodiorite) together with quartz veins. The intrusion of felsic to intermediate bodies and hydrothermal fluids into the Eocene rocks caused of alteration and mineralization in this area. Weathering and erosion processes were led to release of gold and other minerals from the source rocks and formed the Kuh-Zar gold-bearing placers.

The mineralized type and high potential of the Kuh-Zar area have been the main factors to select the district for studying the effect of size fraction on geochemical stream sediments. In the current investigation, heavy mineral, petrography, mineralogy and litho-geochemistry studies have been done parallel to stream sediment geochemistry. The Kuh-Zar ore deposit contains a wide range of ore minerals such as pyrite, chalcopyrite, chalcocite, covellite, malachite, azurite, hematite, goethite, and limonite. The vein systems have quartz, quartz-iron oxides and quartz-feldspar compositions. Major and trace elements geochemical patterns are similar in various veins which indicate same origin. The concentrations of Au, Ag, Pb, Cu, Mo, As, Sb, and S in veins are very higher than the upper continental crust background, and quartz veins have economic grade of approximately 800 ppb gold.

To study of grain size distribution and the relationship with concentration of metals, 6 sampling stations were selected based on lithology, alteration, mineralization, tectonic and watershed criteria. Sediment samples were sieved into 6 fractions include of 2-0.425 mm, 0.425-0.180 mm, 0.180-0.125 mm, 0.125-0.063 mm and < 0.063mm. Each fraction was analyzed for gold by graphite furnace atomic absorption spectroscopy (FAAS) and for 34 elements by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES). The study of size fraction shown that 2-0.425 and 0.180-0.125 size fractions were formed the maximum and minimum weight percent of stream sediments, respectively. Geochemical data evaluation demonstrate that the Au, Ag, As, Cu, Pb, Sb, Mo, S are considerably enriched 700 to 1200 meters away from the source mineralized rocks, respectively. The concentration of these element in 0.063-0.425mm is higher than the other fractions

Based on the heavy mineral studies, most of the gold grains shape in the Kuh-Zar alluvial deposits are lumpy and films, angular to sub-angular and discoidal to sub-discoidal forms. The gold grain size vary from 100 to 1000 μm , and most of grains are in range of 500 to 1000 μm . The morphology and particle shapes of gold display that these particles have not moved very far from the source rocks. Samples contained a significant number of free gold grains have been collected from about 700 to 1200 meters of gold-bearing quartz veins. Gold is only the economic mineral in the Kuh-Zar placer deposit which accompanied with heavy minerals such as pyrite, Galena, chalcopyrite, chalcocite, realgar, orpiment, wulfenite, mimetite, cinnabar, cerussite, pyromorphite, vanadinite, native copper, malachite, brochantite, jarosite and iron oxides.

There is a good correlation between heavy mineral and geochemical investigation, and the size of 0.425 to 0.063 mm fractions for was suggested prospecting of gold and associated elements in the Kuh-Zar area.

Keywords: Stream sediment, particle size, geochemical exploration, Kuh-Zar copper-gold deposit, Damghan.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Geochemistry

**The effect of size fraction on geochemical distribution of
stream sediments in the Kuh-Zar copper-gold deposit area,
South of Damghan.**

By:

Zahra marousi

Supervisors:

Dr.Masoud alipour asl

Dr. Reza ghavami riabi

May 2018