

بررسی منشأ فلزات و سیالات کانه‌زا در کانسار سرب و روی ایرانکوه

فرزانه تیموری اصل، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان

حمیدرضا پاکزاد، استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان*

هاشم باقری، استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان

چکیده

سنگ‌های دربرگیرنده کانسار سرب و روی معدن ایرانکوه عمدتاً سنگ‌های کربناتی کرتاسه و شیل ژوراسیک است. نهشته‌های ژوراسیک در منطقه، شامل شیل‌های خاکستری تیره، شیل زیتونی و ماسه سنگ می‌باشند که سنگ‌های کربناتی کرتاسه با دگرشیبی زاویه‌دار بر روی آنها قرار می‌گیرند. کانه‌زایی عمدتاً در نهشته‌های کربناته صورت پذیرفته ولی به دلیل تمرکز قابل توجه فلزات سنگین در شیل‌ها، در این تحقیق به بررسی نقش آنها به عنوان منشأ فلزات کانسار پرداخته‌ایم. در راستای این هدف مطالعه صحرایی، ژئوشیمیایی و بررسی کانی‌شناسی شیل‌ها انجام شد. از آنجائیکه سیالات درگیر از شواهد کلیدی برای تعیین منشأ کانسار می‌باشد، با انتخاب و تهیه تعدادی نمونه از کانسار به این موضوع نیز پرداخته شد. نتایج حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی جذب اتمی عناصر سرب، روی، نقره و نیکل تغییرات بارزی را در غلظت این فلزات در نقاط گسل خورده، نمونه‌هایی که کمتر تحت تأثیر محلول‌های آبگین قرار گرفته‌اند و یا نواحی دارای کانه‌زایی نشان می‌دهد. براساس مطالعات میکروترموتری و رسم نمودار شوری-دمای همگن شدن سیالات درگیر، نمونه‌های مربوط به این کانسار دمای همگن‌شدگی بین 160°C - 100 و شوری 22 - 17 درصد وزنی معادل نمک‌طعام دارد و در محدوده ذخایر سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی قرار می‌گیرد. براساس این مطالعات سیالات مسبب کانه‌زایی شباهت زیادی با شورابه‌های حوضه‌ای دارند و به نظر می‌رسد که محتوی فلزات این سیالات با شستشوی شیل‌های ژوراسیک بالا رفته و در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها صعود کرده و در نهایت این سیالات در اثر مخلوط شدن با آب‌های جوی بار خود را در آهک کرتاسه به جا گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: ایرانکوه، شیل، فلزات سنگین، سیالات درگیر

مقدمه

کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی گروهی از کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناته می‌باشند که اغلب ارتباط نزدیکی با گسلش دارند و از نوع اپی ژنتیک می‌باشند (سیمونز ۱۳۸۵). بیش از ۱۲۰ رخدادهای سرب و روی در کمربند ملایر- اصفهان، واقع در بخش میانی زون سنندج- سیرجان گزارش شده است که اغلب چینه کران هستند و به طور عمده به سنگ‌های آهکی- دولومیتی و شیلی و گاه ماسه‌سنگی کرتاسه محدود می‌شوند (قربانی ۱۳۸۱).

کانسار سرب و روی ایرانکوه در ۲۰ کیلومتری جنوب غرب اصفهان قرار دارد. این منطقه در میان مختصات جغرافیایی طول‌های $۵۱^{\circ}۳۲'$ و $۵۱^{\circ}۵۴'$ و عرض‌های $۲۸^{\circ}۳۲'$ و $۳۲^{\circ}۳۷'$ در دامنه‌های شمالی و جنوبی سلسله جبال ایرانکوه (شاهکوه سابق) واقع گردیده است (شکل ۱). رشته‌کوه ایرانکوه دارای امتداد کلی شمال غرب- جنوب شرق بوده و دارای طولی در حدود ۲۵ کیلومتر و عرضی حدود ۳ کیلومتر می‌باشد. این ناحیه شدیداً تحت تأثیر فرایندهای تکتونیکی قرار گرفته است و طی فازهای مختلف کوهزایی آلپین تشکیل شده است. به دلیل تکتونیزه بودن منطقه، سنگ‌های رسوبی دربرگیرنده مواد معدنی به هم ریخته است و گسل‌ها در تمرکز ماده معدنی نقش مهمی ایفا کرده‌اند. در هر دو یال این رشته‌کوه نهشته‌های کانسار سرب و روی وجود دارد که عمده‌ترین کانسارهای مکشوفه آن در یال شمالی، نهشته‌های گوشفیل، تپه‌سرخ و گردنه و در یال جنوبی کانسارهای کلاه‌دروازه، گودزدان و خانه‌گرگی می‌باشد (عابدینی ۱۳۸۲).

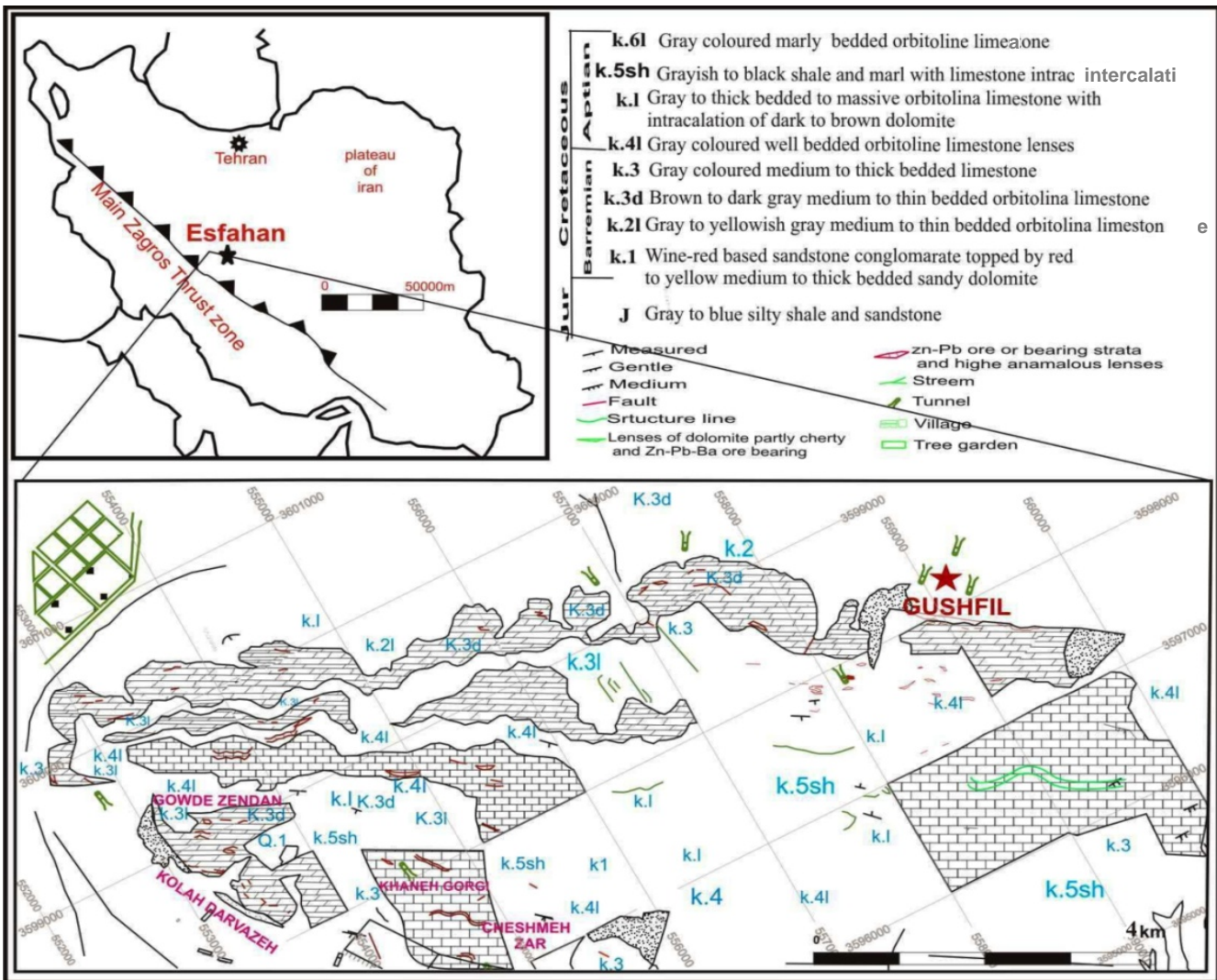
قدیمی‌ترین واحد زمین‌شناسی در جنوب اصفهان را رسوبات ضخیم اپی کنتیننتال و قاره‌ای ژوراسیک (ماسه‌سنگ، شیل و میکروکنگلومرا) تشکیل می‌دهند که در واقع پی‌سنگ واحد کانه‌دار را تشکیل می‌دهند (قاسمی تودشکچویی ۱۳۷۴). سنگ‌های دربرگیرنده

کانسنگ ایرانکوه عمدتاً دولستون‌ها و سنگ‌های آهکی کرتاسه زیرین می‌باشند که با یک نبود رسوب‌گذاری بر روی سنگ‌های شیل- ماسه‌سنگی ژوراسیک قرار می‌گیرند (شکل ۱).

از آنجا که در رابطه با نقش شیل‌ها در کانی‌زایی و منشاء محلول‌های گرمابی تشکیل دهنده کانسار ابهاماتی وجود دارد، در این پژوهش، سعی شده تا بر اساس شواهد صحرائی، بررسی کانی‌شناسی شیل‌ها، تجزیه ژئوشیمیایی و مطالعات میکروترموتری تا اندازه‌ای نقش آنها مشخص گردد.

زمین‌شناسی منطقه

سنگ دربرگیرنده کانسار ایرانکوه، لایه‌های دولستون در یک توالی گسل خورده کربناته به سن کرتاسه زیرین می‌باشد. این توالی با یک خلاء رسوب‌گذاری بر روی شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک قرار گرفته‌اند. سنگ‌های گرانودیوریتی کلاه‌قازی که در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد در شیل‌های ژوراسیک نفوذ نموده، اما هیچ مدرکی مبنی بر نفوذ آن در کربنات‌های کرتاسه دیده نمی‌شود (Zahedi 1976). شیل‌های سازند شمشک به سن ژوراسیک، پایین‌ترین واحد چینه‌نگاری منطقه است که شامل شیل‌های لامینه به رنگ سبز زیتونی تا خاکستری با تناوب لایه‌های غنی از رس و کوارتز می‌باشند. تشکیلات کربناته در منطقه شامل دو تناوب دولستون‌های قهوه‌ای و سنگ آهک‌های خاکستری روشن فسیل‌دار است. دولستون‌ها سنگ میزبان اصلی کانسار می‌باشد و بین دولومیتی شدن و کانه‌زایی فلزات پایه همبستگی زیادی وجود دارد. سنگ‌های آهکی فسیل‌دار اغلب به صورت توده‌های عدسی شکلی هستند که در دولستون‌ها شناورند و همچنین به‌طور بین‌انگشتی با سنگ آهک‌ها قرار گرفته و تغییرات کانی‌شناسی آن نسبتاً شارپ و ناگهانی است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نقشه بالایی موقعیت منطقه مورد مطالعه و زون روراندۀ زاگرس در جنوب غرب ناحیه را بر روی نقشه ایران مشخص می‌کند، نقشه پایینی منطقه معدنی مورد مطالعه را نمایش می‌دهد (نقشه منتشر نشده معدن ایرانکوه ۱۳۸۸)

سابق‌تایدال تا اینترتایدال هستند (Ghazban et al. 1994)

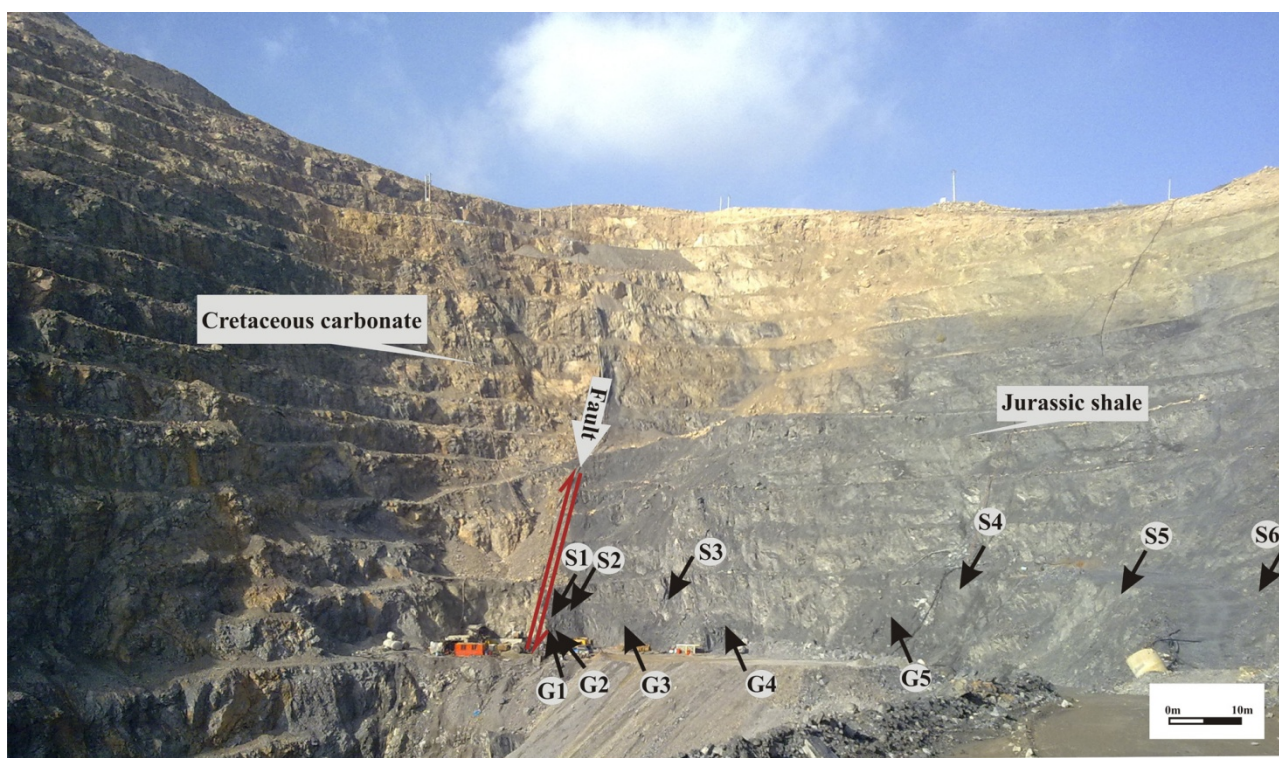
از نظر تکتونیکی این ناحیه در امتداد زون تکتونیکی سنندج- سیرجان قرار دارد. به‌طور کلی رشته‌کوه ایرانکوه را می‌توان یک طاقدیس تصور کرد که محور اصلی طاقدیس دارای جهت شمال‌غرب- جنوب‌شرق بوده و به‌طور موضعی دارای لایه‌های کم مقاومت

براساس مدارک پتروگرافی، محتوی فسیل و وجود انواع سنگ‌ها در منطقه، می‌توان گفت بعد از یک دوره طولانی رسوب‌گذاری مواد آواری، میزان کربنات رسوبات به‌طور چشمگیری افزایش یافته است که این دلالت بر پیشروی دریا دارد. واحدهای کربناته به‌طور نسبی در شرایط انرژی بالا رسوب کرده‌اند و دارای جورشدگی خوب بوده که نشان‌دهنده شرایط محیطی

روش کار

در این تحقیق از روش‌های مختلف مطالعاتی استفاده شد که در زیر ابتدا به اختصار روش کار برای هر یک از آنها شرح داده می‌شود. پس از انجام بررسی‌های صحرائی و نمونه‌برداری در فواصل معین از محل گسل اصلی که کانه‌زایی در آن صورت گرفته (شکل ۲)، تعداد ۸ مقطع نازک از نمونه‌های شیل، ماسه‌سنگ و آهک تهیه شد و توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفتند.

طاقدیس و ناودیس‌های کوچک می‌باشند (Rastad 1981). گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها با روند کلی شمال‌غرب- جنوب‌شرق (موازی با گسل تراستی زاگرس) ساختارهای اصلی منطقه می‌باشند. این گسل‌ها در منطقه ایرانکوه در دو سیستم مشخص اتفاق افتاده‌اند، سیستم اصلی آن‌ها شرقی- غربی با زاویه زیاد و هم‌جهت با لایه‌بندی‌اند و یا اینکه با یک زاویه کم لایه‌ها را در عرض قطع می‌کنند، سیستم دوم با جهت شمالی جنوبی است که اساساً مسئول تشکیل دره‌هاست.



شکل ۲- نمایش نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غرب)

حذف کربنات کلسیم، حذف مواد آلی و اکسید آهن می‌باشد، بر روی آنها صورت گرفت. پس از طی مراحل فوق، برای تشخیص دقیق کانی‌های رسی اصلی، پنج پلاک تهیه گردید. یک نمونه در شرایط آزمایشگاهی خشک شد، دو نمونه دیگر را در

مطالعه کانی‌های رسی توسط دستگاه XRD با مشخصات X-Ray Diffractometer, Bruker, Germany D8ADVANCE, تحت زاویه $20 \leq \theta \leq 30$ انجام شد. بدین منظور ذرات در اندازه رس توسط روش پیپت‌سنجی جدا شده و مراحل آماده‌سازی که شامل

تصادفی برداشت و تعداد ۸ مقطع دو بر صیقلی (chips) از آنها تهیه شد.

در ابتدا به مطالعه پتروگرافی و تعیین شکل و ویژگی‌های زایشی سیالات درگیر پرداخته شد سپس جهت انجام آزمایشات میکروترموتری، نمونه‌ها از لام جدا شده و در آزمایشگاه زمین شناسی دانشگاه اصفهان مورد مطالعه قرار گرفتند. این مطالعات شامل آزمایش سرمایش و گرمایش بود که توسط دستگاه Linkam مدل THM 600 با کنترل حرارتی TMS-94 و سرد کننده LNP که بر روی میکروسکپ زایس نصب شده و برای خنک کردن آن از نیتروژن مایع استفاده می‌شود، انجام شد. به علت امکان ترکیدگی یا تراوش سیال عملیات سرد کردن قبل از گرم کردن صورت گرفت.

در آزمایش انجماد دمای اولیه ذوب (T_{FM}) و دمای ذوب آخرین قطعه یخ (T_{Lm}) با دقت اندازه‌گیری شدند. با استفاده از T_{Lm} مقدار شوری سیال بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام (wt% NaCl) طبق روش Shepherd et al. (1985) محاسبه شد. برای بدست آوردن دمای همگن شدن که پایین‌ترین دمای بدام افتادن مایع کانه‌ساز در کانی‌هاست، آزمایش گرم کردن صورت گرفت که در طی آن سیال درگیر تا دمایی گرم می‌شود که همه فازهای آن به یک فاز (فاز اصلی) تبدیل شود.

کانی‌شناسی معدن

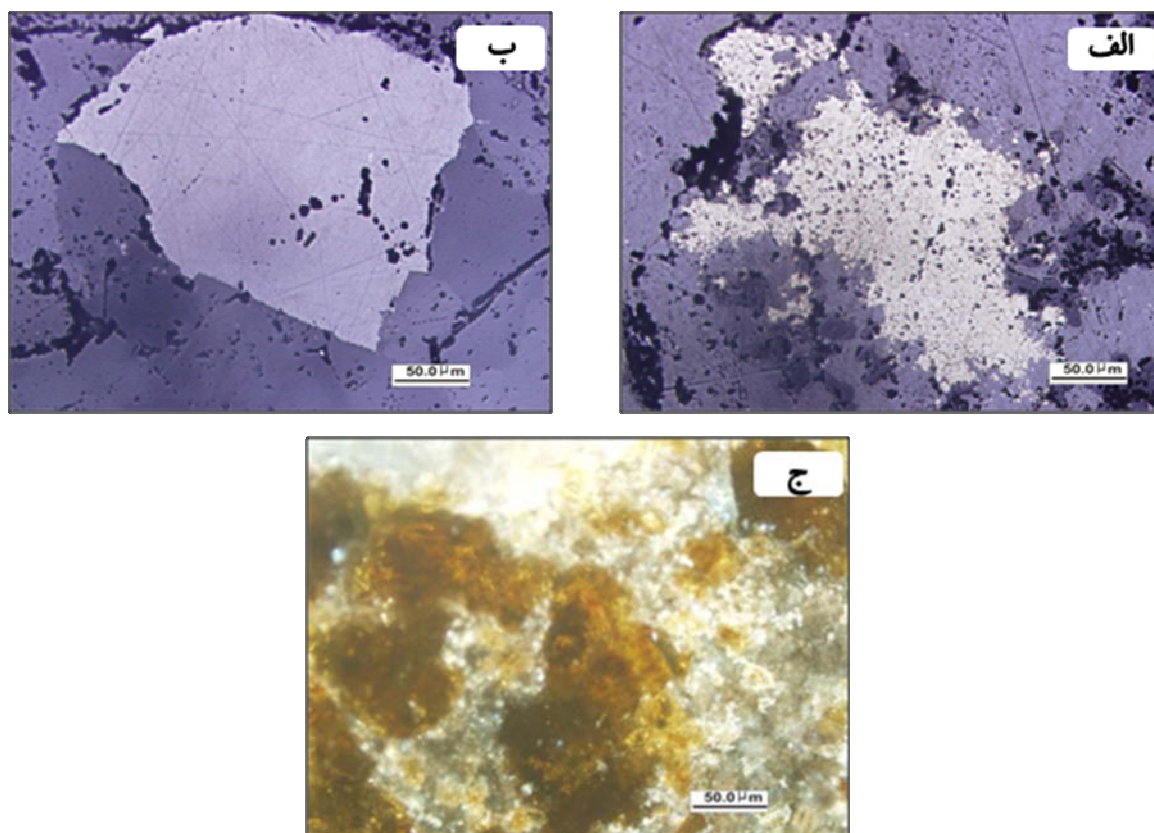
کانی‌های سولفیدی منطقه شامل اسفالریت، گالن و پیریت می‌باشند. اسفالریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در مقاطع می‌باشد که به‌طور یکنواختی در ماتریکس غنی از پیریت و گالن پراکنده است (شکل ۳-الف). این کانی جانشین پیریت شده و آثاری از پیریت در آن مشهود است (شکل ۳-ب)، همچنین مدارکی از جانشینی اسفالریت توسط دولومیت نیز دیده می‌شود (شکل ۳-ج).

کوره به مدت یک ساعت به ترتیب در ۴۰۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده، دو نمونه نیز در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد یکی در داخل دسیکاتور به مدت چهار ساعت و دیگری تحت تاثیر اسید کلریدریک ۶ نرمال به مدت یک ساعت حرارت داده شدند. بعد از انجام تیمارهای ذکر شده هر پنج پلاک توسط دستگاه XRD تجزیه شدند. برای محاسبه میزان کانی‌های رسی از روش Schultz (1964) استفاده شد.

برای تعیین مواد آلی، نمونه‌های پودر شده تحت دمای ۳۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۶ ساعت حرارت داده شد و سپس با محاسبه اختلاف وزن، درصد مواد آلی آنها تعیین گردید (Storer 1984). Eh و pH نمونه‌ها از نسبت یک به یک رسوب و آب به روش الکترونیکی توسط دستگاه pH متر مدل ۱۶۲ تعیین گردید.

جهت تعیین غلظت عناصر سنگین Zn, Pb, Ni, Ag، یک نمونه شیل از روی گسل جداکننده شیل‌های ژوراسیک و سنگ‌های کربناته کرتاسه (محل کانه-زایی)، ۴ نمونه از شیل‌های غیرکانه‌زا و یک نمونه شیل از محل دارای رگه کانه‌زایی با فواصل معین از گسل فوق برداشت شد. نمونه‌ها طبق روش Micó (2008) آماده‌سازی گردید، در این روش ۲ گرم نمونه پودر شده را تحت تأثیر تیزاب سلطانی (مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۳ به ۱) قرار داده و محلول حاصله توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) Phillips مدل P9100 با شعله استیلن- هوا و هالوکاتد (لامپ کاتدی توگرد)، تجزیه گردید. پس از بررسی داده‌ها، جهت اطمینان از نتایج حاصله چند نمونه دیگر برداشت شده و مورد آزمایش قرار گرفتند.

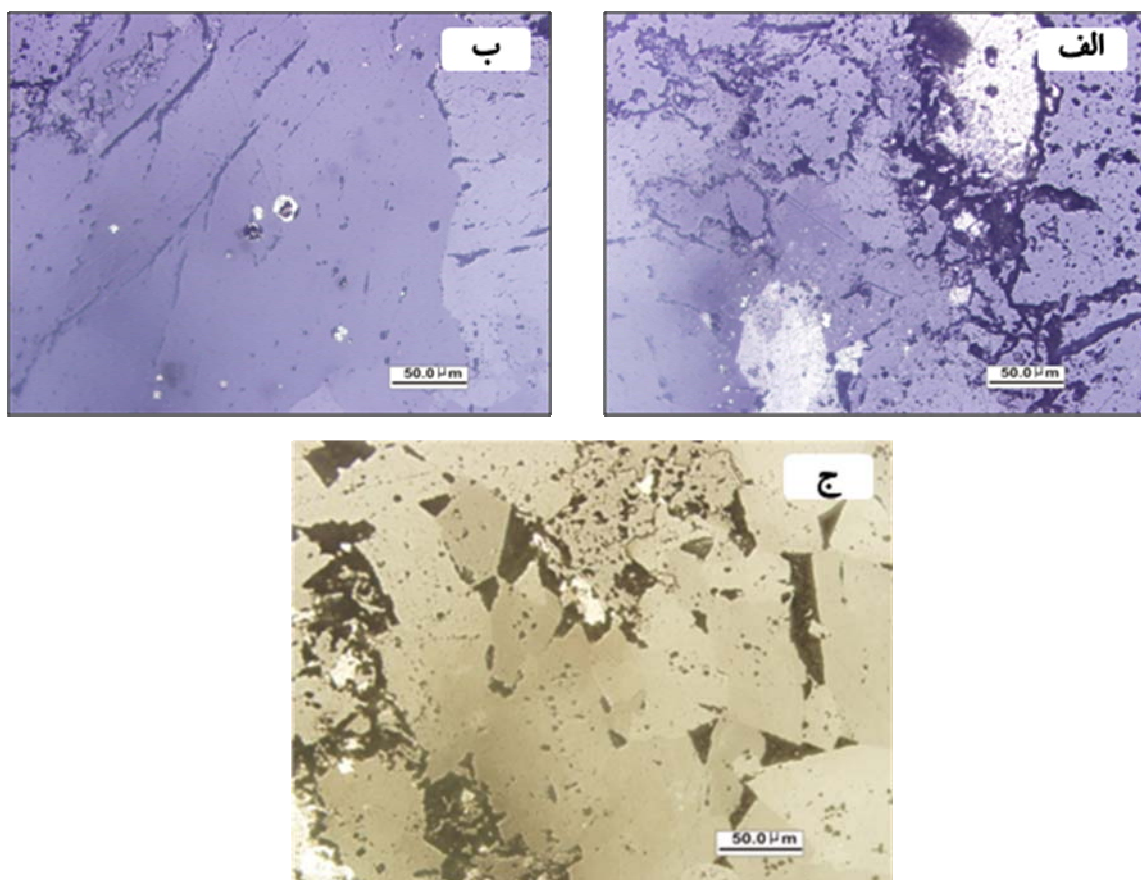
شفاف بودن و غیر رنگین بودن کانی‌ها از ویژگی‌های مهم در مطالعه سیالات درگیر است، با توجه به فراوانی کانی‌های کربناته از جمله کلسیت در منطقه، به دلیل شفافیت و فراوانی مناسب آن نمونه‌هایی از رگه‌ها بطور



شکل ۳) الف- جانشینی پیریت توسط اسفالریت، ب- اسفالریت به همراه بقایای پیریت بدون آنالیزور، ج- همراهی اسفالریت با دولومیتی شدن

توجه به مطالعات انجام شده به نظر می‌رسد که این کانی زودتر از اسفالریت ته‌نشین شده که این امر می‌تواند به دلیل تحرک کمتر عنصر سرب در مقایسه با روی در محلول‌های گرمایی باشد. جدول شماره ۱ توالی کانی شناسی کانی‌های فلزی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در منطقه را نشان می‌دهد.

کانی پیریت اغلب به صورت هم‌رشدی با اسفالریت وجود دارد و یکی از کانی‌های فراوان در اغلب مراحل کانه‌زایی می‌باشد (شکل ۴- الف) که بصورت محدود در اثر هوازدگی به اکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل ۴- ب). کانی گالن با رخ‌های مثلثی به همراه پیریت و اسفالریت مشاهده می‌شود (شکل ۴- ج). با



شکل ۴- الف- هم‌رشدی پیریت و اسفالریت، ب- تبدیل پیریت به اکسید آهن، ج- گالن با رخ‌های مثلثی

جدول ۱- توالی کانی‌شناسی

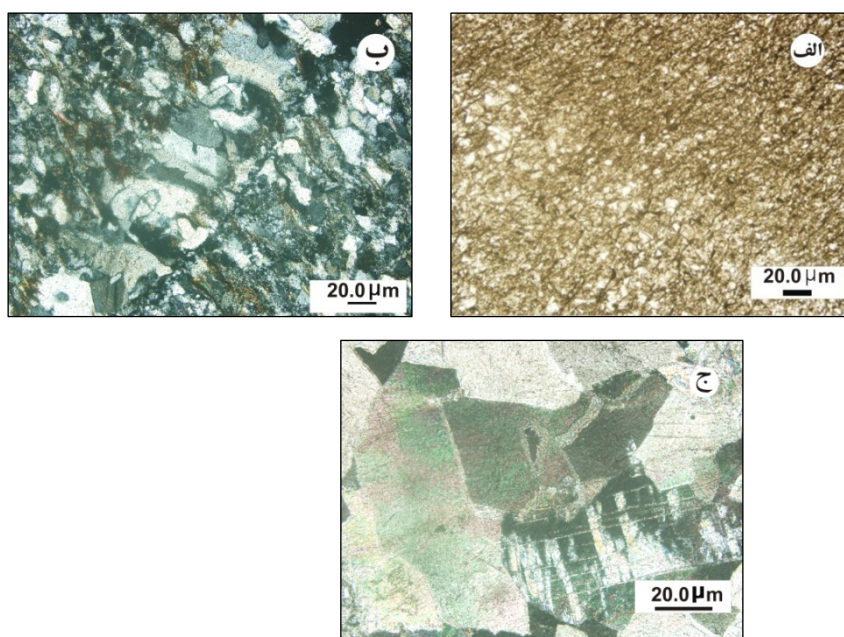
مرحله اکسیداسیون	مرحله اولیه	مراحل کانه‌زایی نام کانی‌ها
	—————	پیریت
	—————	گالن
	—————	اسفالریت
	—————	باریت
	- - - - -	فلوریت
—————		اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن

کانی‌های غیرفلزی در شیل و ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً کوارتز و کلسیت هستند. اندازه ذرات در این نمونه‌ها در حد ماسه متوسط تا سیلت متغیر است. در برخی از

مقاطع، لایه‌بندی از تناوب ذرات با اندازه‌های متفاوت دیده می‌شود که ناشی از تغییر شدت جریان در محیط رسوبگذاری است (شکل ۵- الف).

صورت کشیده و دارای بافت شانه‌ای می باشند (شکل ۵-ب).

زمینه سنگ توسط رگه‌هایی که در اثر پرشدگی شکستگی‌های حاصل از فرایندهای تکتونیزه ایجاد شده‌اند، به طور ثانویه قطع می‌شوند. این رگه‌ها اکثراً توسط سیلیس پر شده‌اند و کوارتز تشکیل شده در آنها به

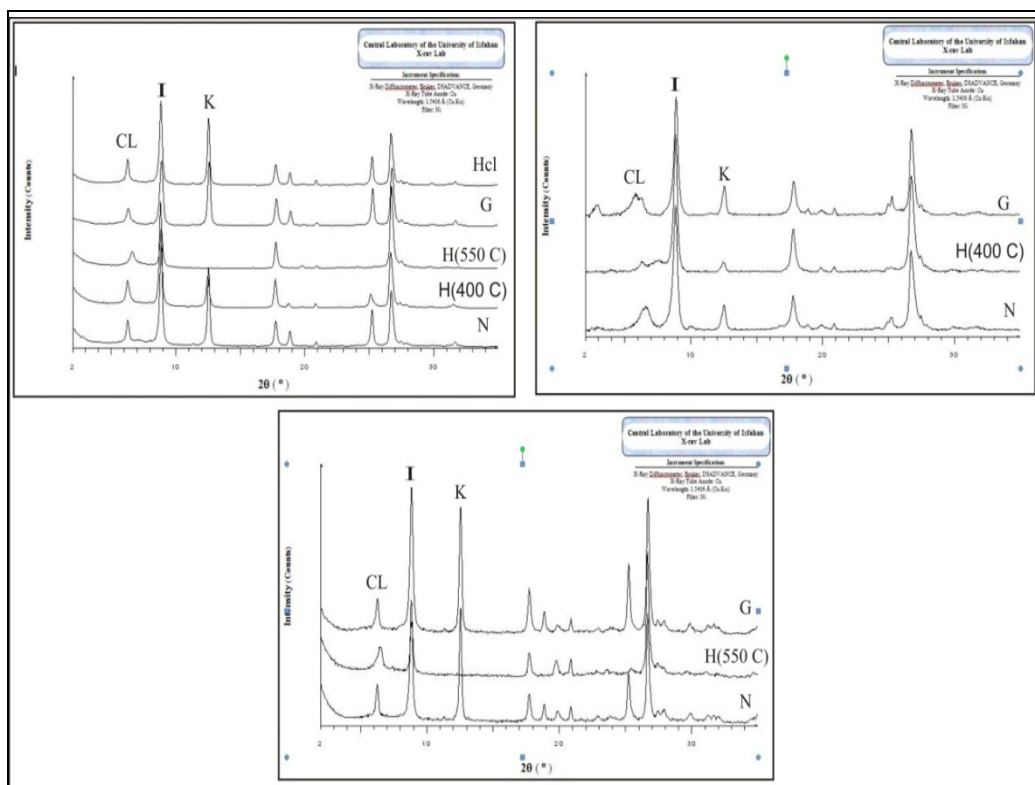


شکل ۵- الف- لایه بندی در اثر تغییر اندازه ذرات، ب- رگچه‌های کوارتز با بافت شانه‌ای ج- دولومیت زین‌اسبی

مونت‌موریونیت می‌تواند به علت تأثیر فشردگی لایه‌های فوقانی بر سنگ‌ها و خروج آب بین ذرات و تبدیل آن به ایلیت و کائولینیت باشد، این فرایند می‌تواند مسبب ایجاد فشار در لایه‌های زیرین شود و به حرکت فلزات به سمت سطح کمک نماید. اما بطور کلی علت حضور این کانی‌ها و عدم حضور مونت‌موریونیت در منطقه نیاز به مطالعات دقیق‌تر و منطقه‌ای دارد که هدف این تحقیق نبوده است. از آنجا که کانی‌های رسی تشخیص داده شده ظرفیت تبادل کاتیونی کمی دارند (مر و مدبری ۱۳۷۷) لذا نوع کانی‌های رسی نقش موثری در تغییرات تمرکز فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه ندارند.

در نمونه‌های کربناته به علت رخ دادن پدیده نئومورفیزم، بافت سنگ از بین رفته و تشخیص آن ممکن نیست. در این مقاطع آثار دولومیتی شدن نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵-ج).

طبق نتایج بدست آمده از تجزیه XRD شیل‌های منطقه دارای کانی‌های کائولینیت (۲۷-۹ درصد)، ایلیت (۷۰-۶۰ درصد) و کلریت (۲۲-۷ درصد) بوده و فاقد کانی مونت‌موریونیت می‌باشند (شکل ۶، جدول ۲)، با توجه به آب و هوای خشک و نیمه خشک منطقه بعید به نظر می‌رسد این کانی‌ها در اثر هوازدگی ایجاد شده باشند و احتمالاً تخریبی‌اند و در رسوبات قبلی تشکیل شده و بصورت آواری حمل شده‌اند، عدم حضور



شکل ۶- پیک‌های حاصل از آنالیز XRD کانی‌های رسی (Cl: کلریت، I: ایلیت، K: کائولینیت) (N: Natural, H: Heated, G: Gelycolated)

جدول ۲- درصد کانی‌های رسی موجود در نمونه‌های شیل

درصد ماده آلی	کلریت	کائولینیت	ایلیت	نمونه
۳	۲۲	۹	۶۹	نمونه ۱
۰/۲۳	۷	۲۲	۷۱	نمونه ۲
۱>	۱۱	۲۷	۶۲	نمونه ۳

نمونه‌ها pH خنثی تا کمی قلیایی و Eh احیایی دارند، اما از آنجاییکه این شرایط نشانگر زمان تشکیل کانسار نیستند در تفسیر نتایج، کاربردی ندارند.

میزان مواد آلی در نمونه‌ها کمتر از ۱/۵ درصد است (جدول ۲) و بنابراین رنگ تیره شیل‌ها در منطقه و تمرکز بالای فلزات در آنها مرتبط با مواد آلی نمی‌باشد. همانطور که در جدول شماره ۳ دیده می‌شود، تمامی

جدول ۳- نتایج pH و Eh

شماره نمونه	pH	Eh(v)
۱	۷/۷۸	-۰/۸۹
۲	۷/۶۷	-۰/۸۰
۳	۸/۱۴	-۰/۹۴
۴	۷/۸۰	-۰/۸۸
۵	۷/۵۵	-۰/۸۵
۶	۷/۴۰	-۱

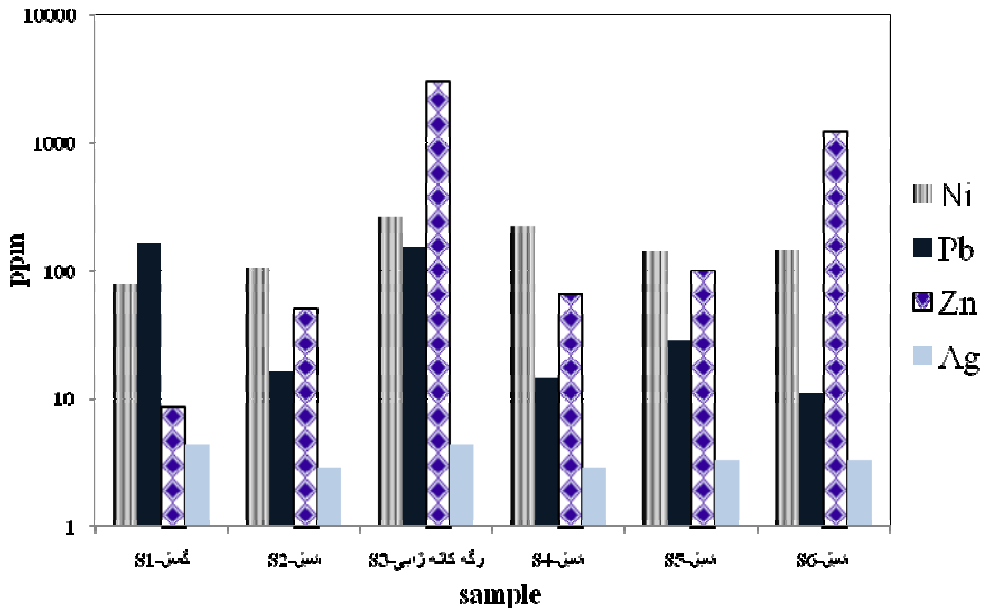
ژئوشیمی عناصر سنگین

محدوده تغییرات غلظت سرب، روی، نقره، نیکل در نهشته های شیلی مورد مطالعه به ترتیب 164 mg.kg^{-1} - 11 ، 1240 mg.kg^{-1} - $8/4$ ، $4/4 \text{ mg.kg}^{-1}$ - $2/93$ ، 265 mg.kg^{-1} - 78 می باشد (جدول شماره ۴ و شکل

شماره ۵). همانطور که دیده می شود در نمونه روی گسل جداکننده شیل های ژوراسیک و آهک کرتاسه که تحت تأثیر شرایط سطحی و آب های جوی قرار داشته، تغییراتی در غلظت عناصر دیده می شود که در زیر به بررسی این تغییرات پرداخته ایم.

جدول ۴- غلظت عناصر بر حسب ppm

	S1 گسل	S2 شیل	S3 رگه کانه زا	S4 شیل	S5 شیل	S6 شیل	mean
Ag	۴/۴	۲/۹۳	۴/۴	۲/۹۳	۳/۳	۳/۳	۳/۵۴
Ni	۷۸	۱۰۷	۲۶۵	۲۲۶	۱۴۰	۱۴۰	۱۵۹/۸۳
Pb	۱۶۴	۱۶/۳۳	۱۵۲/۳	۱۴/۵۶	۲۸/۷	۱۱/۰۳	۶۴/۴۸
Zn	۸/۴	۵۰/۴	۳۰۴۰	۶۵/۵	۱۰۰	۱۲۴۰	۷۵۰/۷۱

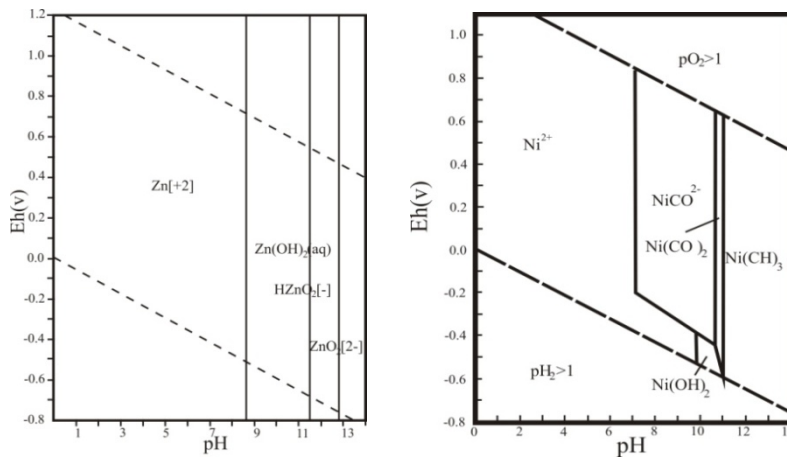


شکل ۵- نمودار ستونی غلظت عناصر بر اساس ppm

روی - نیکل

میزان غلظت عناصر روی، نیکل بر روی گسل (نمونه شماره یک) کاهش چشمگیری داشته است (شکل ۵)، به طوری که حتی مقدار عنصر روی که در تمامی نقاط و به صورت میانگین از مقدار سرب بیشتر است، در این محل از روند ترتیب فراوانی پیروی نمی کند. آب سطحی هنگامیکه از سطح شکستگی ها عبور می کند طی

واکنش با کانی های سولفیدی باعث ایجاد شرایط اسیدی می شود و pH بین ۲ تا ۶ در کانسارهای سولفیدی طبیعی است. بنابراین تحرک پذیری بالای عناصر روی و نیکل در شرایط اکسیدان و اسیدی که بر روی گسل حاکم است (شکل شماره ۶)، علت کاهش تمرکز فلزات در نمونه روی گسل می باشد.

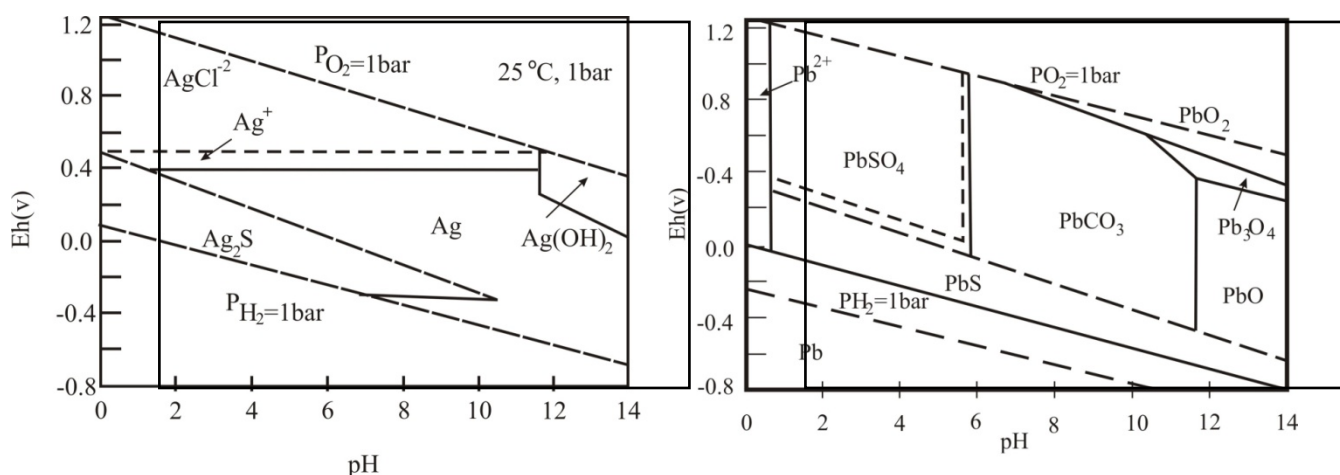


شکل ۶- دیاگرام Eh- pH مربوط به عناصر روی، نیکل (Takeno 2005)

سرب و نقره

عناصر سرب و نقره بر روی گسل و شکستگی ها (نمونه شماره یک) غلظت بالاتری را نسبت به نقاط دیگر نشان می دهد و روندی متفاوت از عناصر روی و نیکل دارند. بر اساس رفتار عنصر سرب که در نمودار (شکل شماره ۷) مشاهده می شود، این عنصر در شرایط محل

شکستگی ها به صورت کانه های سولفات یا کربناته سرب ثانویه رسوب می نماید. فلز نقره در سطح احتمالاً به صورت سولفیدی و عمدتاً در شرایط اکسیدان با دمای پایین به صورت خالص نیز یافت می شود.



شکل ۷- دیاگرام Eh- pH مربوط به عنصر سرب و نقره (Bradl 2005)

در غلظت فلزات سنگین در محل شکستگی نشان می دهد (جدول ۵).

به منظور کنترل نتایج بدست آمده، از منطقه مورد مطالعه مجدداً نمونه برداری صورت پذیرفت تغییرات مشابه ای

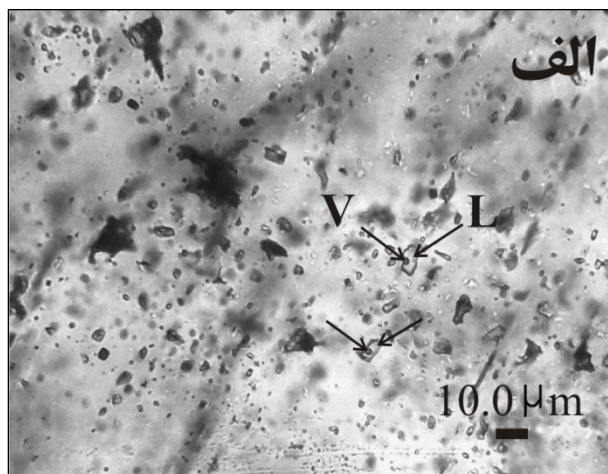
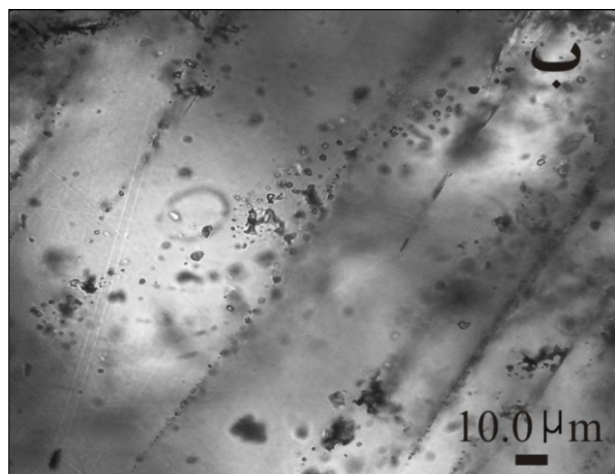
جدول ۵- غلظت عناصر بر حسب ppm در نمونه برداری تکمیلی

	G1 گسل	G2 شیل	G3 شیل	G4 شیل	G5 شیل	mean
Ag	۱۲/۱۳	۶/۳	۵/۴۶	۳/۸	۱/۳	۵/۸
Ni	۲۶/۹۶	۲۶	۶۸/۵۶	۷۲/۰۳	۷۸/۹۶	۵۴/۵
Pb	۱۲۵	۵۵/۳۶	۷۸	۵۵	۷۶/۸	۷۸
Zn	۱۱۸/۲۶	۱۱۹/۵۳	۴۱۵/۹۳	۴۵۲/۰۳	۳۴۴/۳۶	۲۹۰/۰۲

بررسی سیالات درگیر

سیالات درگیر ذخایر ایرانکوه که در دانشگاه اصفهان مورد مطالعه قرار گرفته است، عمدتاً دارای شکل ظاهری کروی تا بی‌شکل هستند و گاهی شکل بلوری منفی نیز دارند. اندازه آن‌ها بین ۵ تا ۳۰ میکرون می‌باشند که بیشترین فراوانی را در اندازه ۱۰ میکرون نشان داده‌اند. طبق روش رده‌بندی بر مبنای ترکیب سیالات درگیر (Shepherd et al. 1985) نمونه‌ها عمدتاً شامل سیالات درگیر دو فاز غنی از مایع (L+V) می‌باشند. بر مبنای زایش یا زمان به تله‌افتادن سیال، سه نوع سیال

درگیر اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) از دیدگاه ژنتیکی شناسایی شده‌اند (Shepherd et al. 1985). در این مطالعه سعی شد سیالات درگیر اولیه (شکل ۸) برای مطالعه انتخاب شوند، این نوع سیالات درگیر در صورتی به وجود می‌آیند که بی‌نظمی همزمان با رشد بلور آغاز و با ادامه رشد آن بسته شود و به خوبی نشانگر سیالی است که بلور هنگام رشد در آن غرق بوده است (Roedder 1976). سیالات اولیه موازی با سطوح بلور و همچنین به صورت پراکنده در متن کانی میزبان دیده می‌شوند.



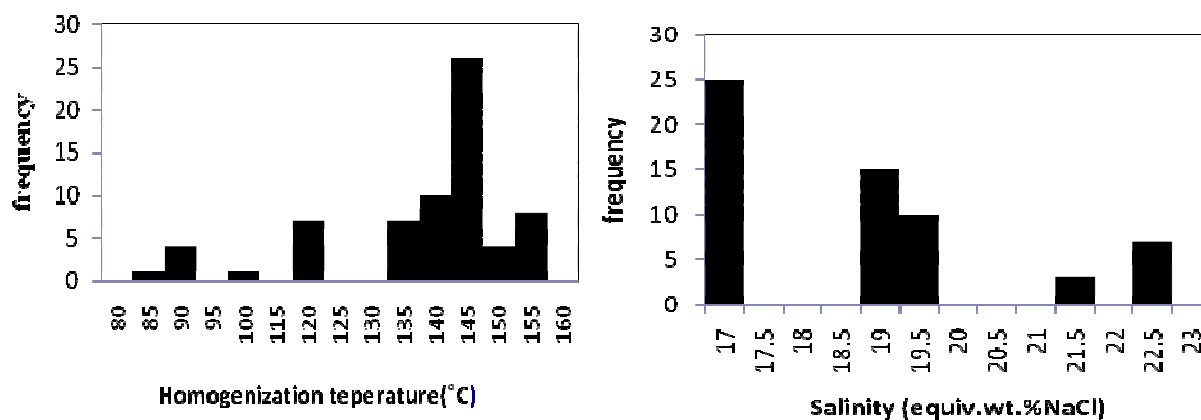
شکل ۸- الف- سیالات درگیر اولیه، ب- ثانویه در راستای رخ کلسیت

درصد وزنی می‌باشد (شکل ۹). دامنه تغییرات دمای همگن شدن میانبارها بین ۱۱۹ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد بدست آمد (جدول ۶) که یک نقطه اوج در محدوده 160°C - 130°C مشاهده می‌شود (شکل ۹).

با استفاده از T_{LM} بدست آمده در آزمایش سرمایش (جدول ۶)، مقدار شوری سیال بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام (wt% NaCl) محاسبه شد (Shepherd et al. 1985) که میزان آن بین ۱۷ تا ۲۲

جدول ۶- داده های بدست آمده از آزمایشهای میکروتومتری

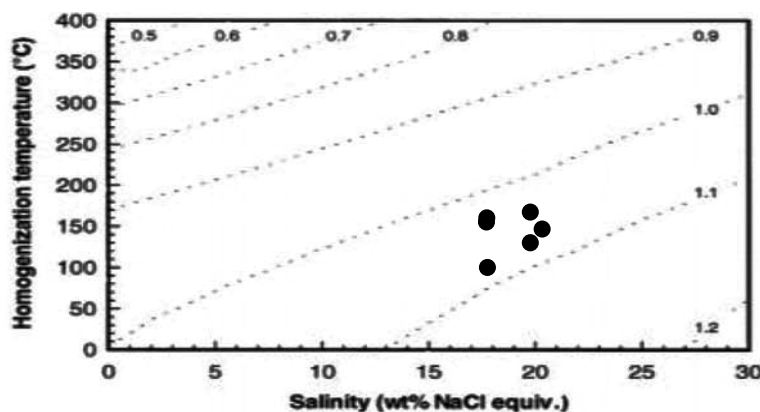
sample شماره ایستگاه	Nnnumber (تعداد میانبارهای مطالعه شده)	Tice (دمای انجماد)	T _{FM} (دمای ذوب اولیه)	T _{LM} (دمای ذوب نهایی)	تعداد فازها و نوع آنها	T _H (دمای همگن شدن)	(نوع همگن شدن)	P,PS,S
1B	7	-52	-47	-16.1	L+V, فازی	119	به مایع	P
1B	8	-52	-47	-16.1	L+V, فازی	157.5	به مایع	P
1B	7	-57	—	-20	L+V, فازی	138.2	به مایع	P
1B	4	—	—	—	L+V, فازی	90	به مایع	P
1B	3	—	—	—	L+V, فازی	138.5	به مایع	P
1B	6	—	—	—	L+V, فازی	145	به مایع	P
1A	3	-53	-32.1	-19	L+V, فازی	—	به مایع	P
1A	7	-53	-32.1	-16.2	L+V, فازی	133	به مایع	P
1A	3	-53	-32.1	-16.2	L+V, فازی	—	به مایع	P
1A	20	-53	-32.1	-14.5	L+V, فازی	145	به مایع	P
1A	4	-53	-32.1	-14.5	L+V, فازی	150	به مایع	P
1A	1	-53	-32.1	-14.5	L+V, فازی	87.5	به مایع	P
1A	1	—	—	—	L+V, فازی	100.2	به مایع	P



شکل ۹- شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای اندازه‌گیری شده در برابر فراوانی

این نمودار چگالی سیالات درگیر نمونه‌های مورد مطالعه، در محدوده $1-1/1 \text{ g/cm}^3$ قرار می‌گیرند (شکل ۱۰).

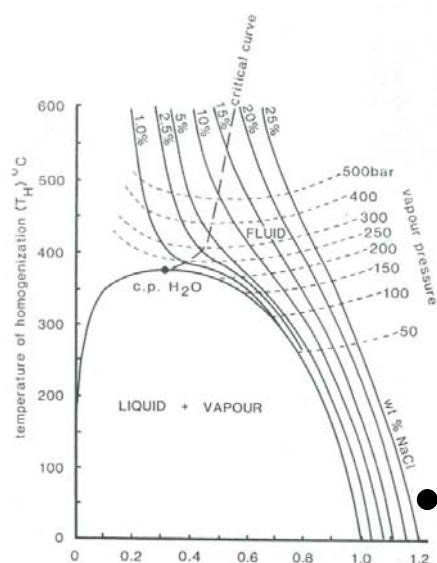
نمودار دمای همگن‌شدن-شوری به همراه خطوط کنتوری با چگالی ثابت، نموداریست که می‌توان توسط آن چگالی سیال را تعیین کرد (Bodnar 1983). طبق



شکل ۱۰- چگالی میانبارهای مورد مطالعه بر حسب g.cm^{-3} ، نمودار اقتباس از (Bodnar1983)

۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد که دارای درجه پرشدگی بیش از 1 g.cm^{-3} هستند، فشاری کمتر از ۵۰ bar را متحمل شده‌اند.

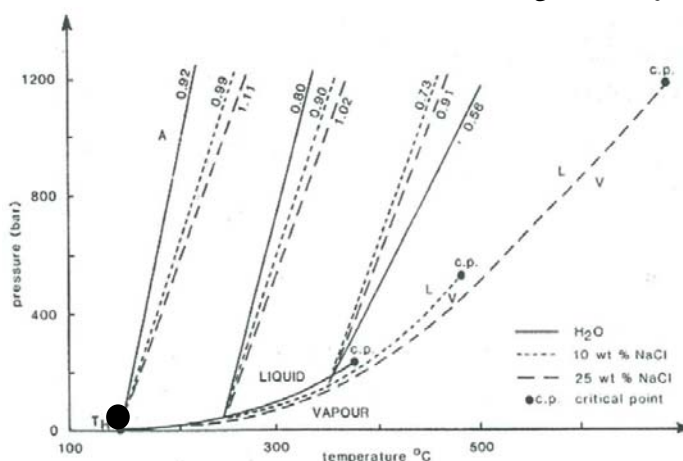
در صورت در اختیار داشتن شوری سیال و چگالی، می‌توان میزان فشار را محاسبه نمود (شکل ۱۱)، همانطور که در دیاگرام دیده می‌شود، سیالات با شوری بین ۱۵ تا ۲۵ درصد وزنی نمک‌طعام و دمای همگن‌شدگی حدود



شکل ۱۱- نمودار دما- چگالی جهت تعیین مقدار فشار با توجه به شوری (Shepherd et al. 1985)

قابل صرف نظر کردن است، فشار بیشتر در زمان به تله افتادن سیال درگیر باعث اختلاف بیشتر دمای همگن شدن و دمای واقعی به تله افتادن می شود، اما از آنجایی که فشار در میانبرهای مورد مطالعه پایین است تصحیحات فشار نیاز نیست (شکل ۱۲).

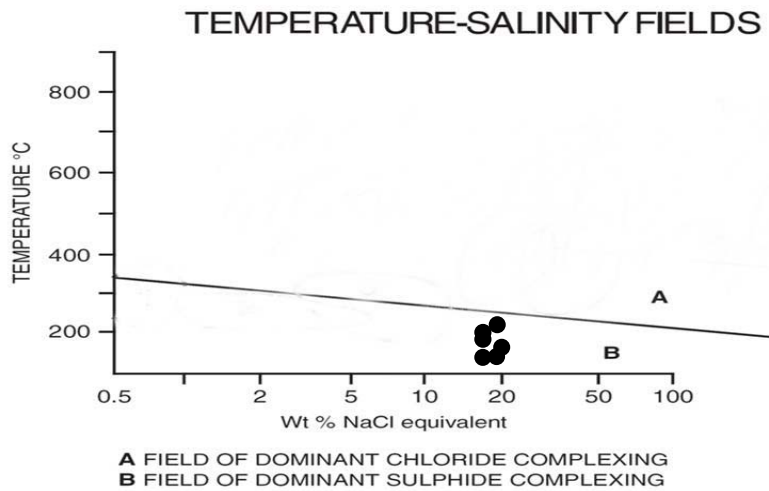
دمای همگن شدن تابعی از ترکیب، دمای بدام افتادن و فشار است لذا برای محاسبه دمای واقعی به تله افتادن سیالات درگیر بایستی تصحیح فاکتورهای فشار، چگالی و ترکیب محلول را انجام داد. به لحاظ اینکه کانسار مورد مطالعه در عمق کم نهشته شده اند، چگالی ترکیب اثر چندانی بر روی درجه حرارت همگن شدن ندارد و



شکل ۱۲- نمودار دمای همگن شدگی- فشار جهت تصحیحات فشار (Shepherd et al. 1985)

ناحیه SO_4^{2-} یا HS^- و کمپلکس اساسی حمل کننده کمپلکس سولفیدی است. وجود کانه های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت در ناحیه تأییدی براین ادعاست.

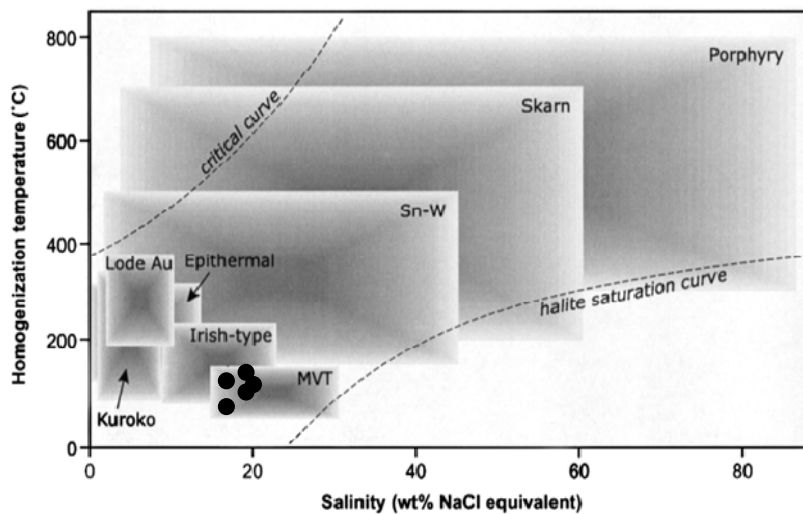
برای شناسایی کمپلکس غالب در حمل فلزات کانسار- ساز می توان از نمودار لارج و همکاران استفاده کرد (شکل ۱۳). داده های ذخایر سرب و روی ایرانکوه بر طبق شکل ۱۳ در محدوده مربوط به کمپلکس سولفیدی قرار می گیرد و می توان نتیجه گرفت آنیون غالب در



شکل ۱۳- نمودار دمای همگن شدن- شوری سیالات جهت تعیین کمپلکس (آنیون) غالب کانسار (Pirajno after Large et al. 2009)

نموده و در آن محدوده‌های ویژه‌ای را نشان می‌دهد که منعکس کننده ویژگی اصلی سیالات درگیر در آنهاست (Wilkinson 2001). براساس مقایسه داده‌های حاصل از مطالعه سیالات درگیر با نمودار شکل ۱۴ ذخایر سرب و روی ایرانکوه در محدوده ذخایر MVT قرار می‌گیرند.

دمای همگن شدن و شوری معادل درصد وزنی نمک طعام دو پارامتر مهم در توصیف سیالات درگیر می‌باشند، با وجود اینکه این پارامترها به صورت مستقیم بر خصوصیات ذخایر مؤثر نیستند، اما ارتباط کلی آنها در سیستم‌های گرمابی مفید واقع می‌شوند. Roedder (1983) بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از دمای همگن شدن و شوری در انواع ذخایر، نموداری ترسیم

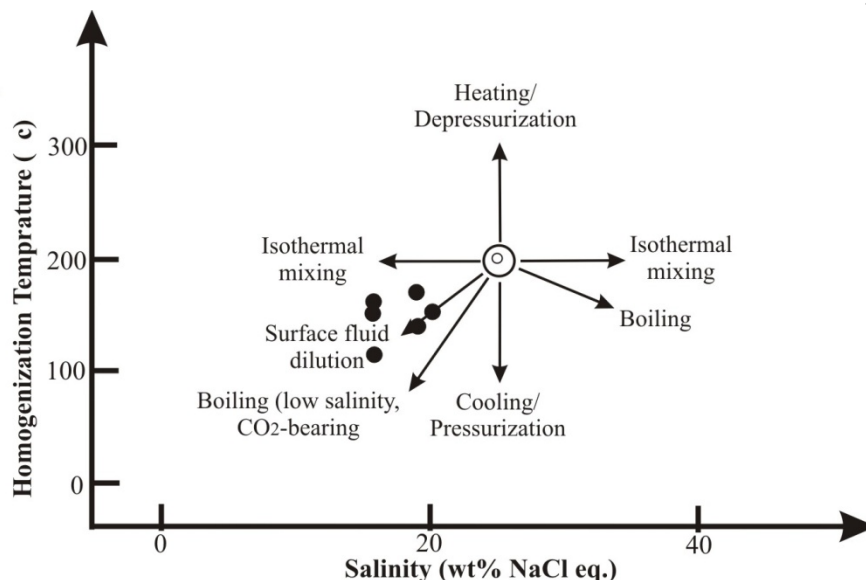


شکل ۱۴- نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری برای کانسارهای مختلف بر اساس (Roedder 1983) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

میانگین غلظت فلزات سنگین در شیل‌های منطقه از مقدار استاندارد جهانی بیشتر است و تغییرات بارزی در نمونه برداشت شده از محل دگرشیبی مشاهده می‌شود. عوامل مختلفی در تمرکز عناصر در سنگ‌ها موثر است، یکی از این عوامل حضور کانی‌های رسی و ساختار مناسب آن‌ها جهت تمرکز عناصر سنگین می‌باشد، از دیگر عوامل مهم که در تمرکز موثرند مواد آلی می‌باشد. با توجه به نوع کانی‌های رسی و مقدار مواد آلی و تغییرات کم آن‌ها در نمونه‌ها، در تهی‌شدگی و یا غنی‌شدگی عناصر نقش زیادی نداشته‌اند. حضور شکستگی‌ها، زمینه لازم جهت تاثیر آب‌های جوی (اکسیدان) بر روی شیل‌ها را مهیا می‌سازد و این آب‌ها با حل نمودن کانی‌های سولفیدی مسیر خود باعث ایجاد شرایط اسیدی می‌شود و عناصر روی و نیکل به دلیل تحرک بالایی که دارند از محیط خارج می‌شوند و عناصر سرب و نقره در سطح بصورت ترکیبات سولفات و کربناته ته‌نشست می‌شوند.

با مقایسه تغییرات شوری و دمای همگن‌شدگی سیالات در گیر با نمودار شکل ۱۵ احتمالاً محلول‌های گرمابی تشکیل‌دهنده کانسار منشاء شورابه‌های حوضه‌ای را دارند که در اثر فشردگی رسوبات و یا فشارهای ناشی از کوهزایی بر حوضه رسوبی به حرکت درآمده و در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌های موجود به سمت بالا صعود کرده‌اند. محتوی فلزات این سیالات با شستشوی شیل‌های ژوراسیک که در اثر دگرشکلی و تکتونیزه شدن آمادگی لازم برای از دست دادن بخشی از فلزات خود را پیدا کرده‌اند، افزایش یافته سپس کمپلکس‌های فلزی حمل‌شده در اثر مخلوط‌شدن با آب‌های جوی و احتمالاً کاهش فشار ناپایدار گردیده و فلزات رسوب کرده‌اند و در نهایت کانی‌سازی در درون گسل‌ها و شکستگی‌ها و بخش‌های انحلال یافته آهک کرتاسه صورت گرفته است.



شکل ۱۵- مدل شماتیک برای نشان دادن روندهای حاصله در نتیجه فرایندهای مختلفی که دما و شوری یک سیال آبگین و یا انکلوژیون‌های با ترکیب (A) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. (Wilkinson 2001)

منابع

- Esfahan area, west-central Iran: *Economic Geology*, v. 89, no. 6, p. 1262-1278.
- 10- Meunier, A., 2005, *Clays*: Springer, New York, 466p.
- 11- Micó, C., M. Recatalá, and J. Sánchez, 2008, Discrimination of lithogenic and anthropogenic metals in calcareous agricultural soils: *Soil and Sediment Contamination*, v. 17. p. 467-485.
- 12- Maynard, J., 1983, *Geochemistry of sedimentary ore deposits*: Springer-verlag, New York, 305p.
- 13- Pirajno, F., 2009, *Hydrothermal processes and mineral systems*: Springer, New York, 1273p.
- 14- Rastad, E., 1981, *Geological, mineralogical and ore facies investigation of the lower cretaceous stratabound Zn-Pb-Ba-Cu deposits of the Irankuh mountain rang. Isfahan. West central Iran*: Ph.D. thesis, Heidelberg university, German, 334p.
- 15- Roedder, E., 1979, Fluid inclusions as samples of ore fluids: In H. L. Barnes (Ed), *Geochemistry of Hydrothermal Ore deposits*: John Wiley & Sons, p. 684- 737.
- 16- Schultz, L. G., 1964, Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and Chemical data for the Pierre shale: *United States Geological Survey Professional Paper*, 391-C, p. 1-31.
- 17- Shepherd, T., A. H. Rankin, and D. H. M. Alderton, 1985, *A practical guide to fluid inclusion studies*: Blackie, USA Champan & Hall, New York, 239p.
- ۱- باقری، ه.، ۱۳۸۹، مقدمه‌ای بر نمونه‌برداری و تجزیه دستگاهی نمونه‌های معدنی و زیست محیطی: انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه اصفهان، ۳۲۶ ص.
- ۲- عابدینی، م.، ۱۳۸۲، تخمین ذخیره و مرزبندی بهینه بلوک‌های کانسنگ و باطله در معدن تپه سرخ به روش‌های زمین آماری: رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- قاسمی تودشکچویی، ع.، ۱۳۷۴، بررسی زمین شناسی، آنالیز رخساره و ژئوشیمی کانسار سرب و روی کلاه دروازه- گودزدندان-خانه گرگی در دامنه جنوبی ایرانکوه (جنوب غربی اصفهان): رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۵۵ ص.
- ۴- قربانی، م.، ۱۳۸۱، دیاجه‌ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران: انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۹۵ ص.
- ۵- مر، ف. و س. مدبری، ۱۳۷۷، مبانی زمین شیمی: مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۷۸۸ ص.
- ۶- سیمونز، و.، ۱۳۸۵، ژئوشیمی کانسارهای رسوبی: انتشارات دانشگاه تبریز، ۳۸۲ ص.
- 7- Bodnar, R., 1983, A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluid: *Econ. Geol.* v. 78, p. 535-542.
- 8- Bradi, H., 2005, *heavy Metals in the environment*: Elsevier, v. 6, 269 p.
- 9- Ghazban, F., R. H. McNutt, and H. P. Schwarcz, 1994, *Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district*,

- 18- Storer, D. A., 1984, A simple high volume ashing procedure for determining soil organic matter: *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, **v. 15**, p. 759-772.
- 19- Takeno, N., 2005, *Atlas of Eh- pH diagrams*: Geological survey, Japan, 285p.
- 20- Wilkinson, J. J., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, **v. 25**, p. 229- 279.
- 21- Zahedi, M., 1976, *Explanatory Text of the Esfahan Quadrangle Map 1:250000*, Geological Survey of Iran, Geological Quadrangle, no. F8, p. 49.