



## بررسی سرشتی‌های کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن چاه سرب، طبس

صادق سلطانی<sup>۱</sup>، محمد حسن کریم پور<sup>۲\*</sup>، مسعود همام<sup>۱</sup>، محمد رضا حیدریان شهری<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۴/۲/۱۵، نسخه نهایی: ۹۴/۶/۱۴)

**چکیده:** کانسار چاه سرب در ۶۶ کیلومتری شمال طبس و ۱۶ کیلومتری شمال غربی روستای شیرگشت جای گرفته است. کانی‌شناسی ماده معدنی ساده بوده و گالن کانی اصلی ماده معدنی را تشکیل می‌دهد. سروریت کانی اقتصادی ثانویه پس از گالن است، کانی‌های اصلی دیگر شامل اسفالریت، پیریت، تتراندریتو کالکوپیریت بوده در حالی که کانی‌های فرعی عبارتند از آنگلیت، مالاکیت، آزوریت، فلوریت، مینیوم، ولفنیت و اکسیدهای آهن. دگرسانی‌ها شامل دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و هماتیته شدن است. دولومیتی شدن اصلی‌ترین دگرسانی مشاهده شده در سنگ میزبان است. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای و دارای روند شرقی-غربی است. بافت اصلی ماده معدنی پرکننده فضای خالی است. در کانسار چاه سرب عیار متوسط سرب ۰.۶۹٪، روی ۰.۳٪ و نقره ۱۴ ppm است. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی به سن ژوراسیک میانی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسارسازی دیرزاد و لایه‌ی کران، بافت پرکننده فضای خالی از ویژگی‌های کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، مدل کانسارسازی نوع دره می‌سی سی پی برای کانسار چاه سرب پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** چاه سرب؛ گالن؛ دولومیتی شدن؛ کربنات؛ نوع دره می‌سی سی پی.

### مقدمه

بلوک زمین ساختی طبس در غرب بلوک لوت و در شرق بلوک رباط پشت بادام واقع شده است. ناحیه‌ی شیرگشت از دو واحد زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی متفاوت تشکیل شده است که شامل رشته کوه‌های پیرحاجات (ادامه‌ی شمالی رشته کوه‌های کلمرد در غرب حوضه‌ی طبس) در غرب و کوه‌های درنجال در شرق است. این ناحیه از نظر قابلیت کانی‌سازی سرب و روی از پتانسیل بالایی برخوردار است. اغلب معادن و نشانه‌های سرب و روی در شمال، جنوب و جنوب غربی عشق آباد پراکنده‌اند. مهمترین معادن ذخائر و نشانه‌های معدنی سرب و روی در این منطقه شامل معادن و یا نشانه‌های چاه سرب، کوه ماری،

معدن چاه سرب در شمال غربی شهرستان طبس بین طول‌های جغرافیایی ۳۷° ۵۶' و ۴۲° ۵۶' خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۳۴° ۰۲' و ۳۴° ۰۷' شمالی جای دارد و در ۶۶ کیلومتری شمال طبس و ۱۶ کیلومتری شمال غربی روستای شیرگشت جای گرفته است (شکل ۱). منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی چهار گوش ۱/۲۵۰۰۰۰ چاه سرب (عشق آباد) و ۱/۱۰۰۰۰۰ شیرگشت واقع شده است. این منطقه در رده‌بندی منطقه‌های زمین ساختی- رسوبی ایران [۱] در گستره منطقه‌ی ساختاری ایران مرکزی و در نقشه‌ی زمین ساخت ایران [۲] در گستره‌ی مثلث میانی (median mass) و در بلوک طبس قرار دارد،

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۷۹۷۲۷۵، نامبر: ۰۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir

### روش بررسی

پس از بررسی‌های کتابخانه‌ای، بازدید از معدن و عملیات نمونه برداری طی چند مرحله صورت گرفت. در مجموع بیش از ۱۵۰ نمونه از ماده‌ی معدنی و سنگ میزبان به صورت تصادفی انتخاب شدند. از نمونه‌های برداشت شده در حدود ۱۰۰ مقطع نازک و صیقلی تهیه و بررسی شدند. تعداد ۷ عدد نمونه از ماده‌ی معدنی و سنگ میزبان به روش XRD در آزمایشگاه کانساران بینالود تهران مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی‌های ژئوشیمیایی ۳۰ نمونه‌ی سنگی از گستره‌ی معدنی چاه سرب برداشت شدند و به روش ICP-OES در آزمایشگاه ALS کانادا مورد تجزیه قرار گرفتند.

### بحث و بررسی

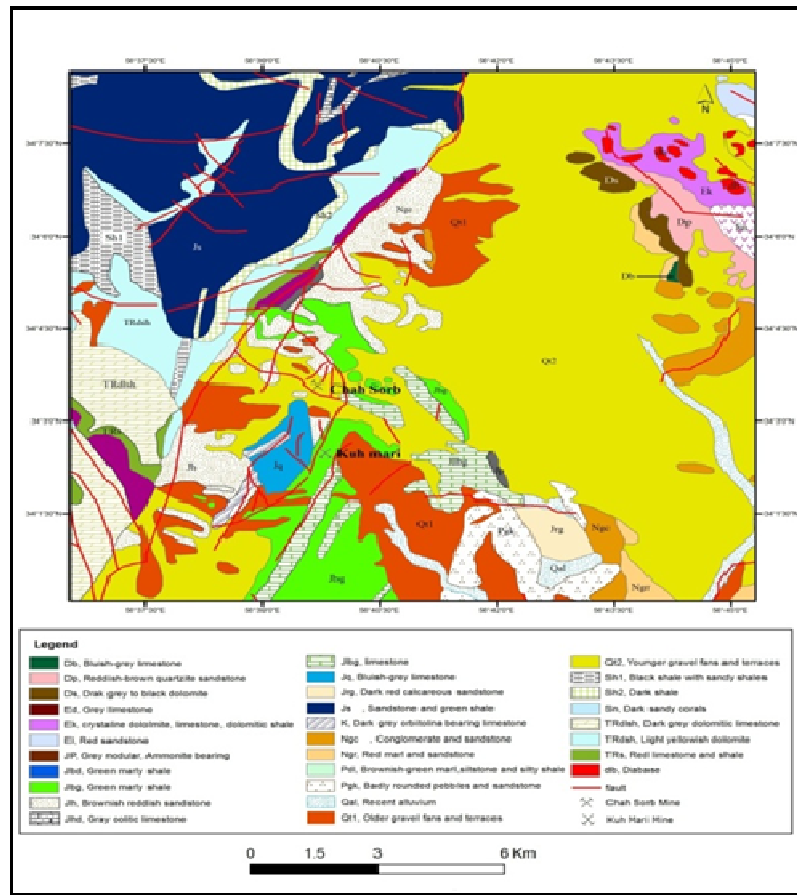
#### کانی شناسی

با توجه به مشاهدات صحرایی و مقاطع صیقلی، کانی‌شناسی کانسار بسیار ساده بوده و گالن کانی اصلی و اولیه و سروریت کانی ثانویه اقتصادی پس از گالن است. کانی‌های اصلی شامل اسفالریت، پیریت، تتراندريت ( $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) و کالکوپیریت بوده و کانی‌های فرعی عبارتند از آنگلیزیت، مالاکیت، آزوریت، فلوریت، مینیوم ( $\text{O}_4\text{Pb}_3$ )، ولفنیت ( $\text{PbMoO}_4$ )، پلاتنریت و اکسیدهای آهن و منگنز هستند. کلسیت کانی باطله اصلی این کانسار است و به مقدار کمتر کوارتز، باریت و دولومیت حضور دارند. پیریت که همراه معمول کانسنگ‌های سرب و روی در سنگ‌های کربناتی است، در اینجا کمیاب است. در جدول (۱) ۷ نمونه از نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، نمونه‌ها آورده شده‌اند.

اوشک، گردو، ازبک کوه، شوره، قلعه، رقه، سیب زار، قوچ کوهی، کالار، تلخ آب، دق سراجیو پشت کله، گوش کمر، نیگنان، بیدو، کوپرو، قواستو، گوه سیاه (قرشیرعلی) و کوه سیاه (خرمایو) هستند [۳]. سازندهای منطقه بیشتر به تریاس و ژوراسیک وابسته است. در گوشه‌ی شمال غربی، رخنمونی کوچکی از کربنات‌های پرمین (سازند جمال) یافت می‌شود و پادگانه‌های عهد حاضر جوان‌ترین نهشته‌ها را پدید می‌آورند. تریاس در برگیرنده‌ی سازند شیلی-آهکی سرخ شیل و سازند دولومیتی-آهکی شتری است. سازندهای ژوراسیک نیز شامل شیل و ماسه سنگ شمشک، سازند آهک بادامو، سازند شیل-مارن بغمشاه و سازند آهک - مارن قلعه دختر می‌شوند [۴]. تا شعاع ۲۰ کیلومتری پیرامون منطقه‌ی مورد بررسی هیچ اثری از فعالیت‌های آذرین دیده نمی‌شود [۳]. کانی‌سازی بیشتر به طبقات دولومیتی-آهکی سازند قلعه دختر محدود می‌شود و در واحدهای سنگی دیگر کمیاب است، سازند قلعه دختر ردیفی از آهک های لایه‌ای و آلی آواری با میان لایه‌های مارنی به رنگ خاکستری تیره است که بیشتر در بخش‌های مرکزی و شمالی رشته کوه شتری گسترش دارد. برش الگوی این سازند در باختر بشرویه و در شمال روستای رقه واقع شده و توسط اشتوکلین و همکاران [۵] توصیف شده‌اند. در تعریف اولیه، این سازند به سه بخش شامل ماسه سنگی زیرین (۱۹۴ متر)، بخش شیلی میانی (۴۵۸ متر) و بخش آهکی زیرین (۳۲۲ متر) تقسیم شده است (شکل ۲) که این بخش آهکی زیرین میزبان کانی سازی سرب و روی در کانسار چاه سرب است.



شکل ۱ راه‌های دسترسی به کانسار چاه سرب.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی گستره چاه سرب (اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شیرگشت).

جدول ۱ نتایج حاصل از آنالیز XRD ۷ نمونه‌ی به دست آمده از معدن چاه سرب.

شماره نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
D-2-CH	گالن-کوارتز	همی مورفیت-سروزیت-اسمیت زونیت
D-4-CH	کوارتز	هالیت-ژئپس-موسکوویت-ایلپت-سروزیت
D-5-CH	گالن-باریت-کوارتز-کلسیت	سروزیت
D-7-CH	گالن-کوارتز-کلسیت	سروزیت
D-8-CH	گالن-کوارتز	سروزیت-همی مورفیت
D-9-CH	گالن-کوارتز-کلسیت	سروزیت-همی مورفیت
D-10-CH	گالن-کوارتز-کلسیت	-

در زیر به شرح مختصری از برخی کانی‌ها و چگونگی رخداد آن پرداخته می‌شود.

**گالن:** کانی اصلی و اولیه در کنسار چاه سرب است که به صورت درشت بلور درون شکاف‌ها و رگه‌ها و ریز بلور به صورت پرکننده‌ی فضای خالی بین قطعات برش گسلی حضور دارند و یا به صورت افشان در زمینه‌ی سنگ‌های کربناتی مشاهده می‌شوند. شکل‌گیری سولفیدها در اندازه‌های ریز و درشت می‌تواند به سرعت متفاوت اختلاط شاره‌های کنسار ساز با هم نسبت

داده شود [۶]. از نظر دنباله‌ی کنسارسازی، گالن مقدم بر هرگونه کانه سازی دیگر است؛ به طوری که این کانی به صورت ریز بلور و نازک لایه به صورت قشری روی تمامی برش‌ها و سطوح شکاف‌ها و فضاهای خالی حضور دارند. این حالت از کانی‌سازی به دلیل کاهش ناگهانی دما و واکنش سریع شاره-های کنسار ساز در اثر برخورد با سنگ میزبان است و این بافت خاص کنسارهای با بافت پرکننده‌ی فضای خالی است [۷] (شکل ۳)، شکل‌های مختلفی از گالن در بررسی‌های

و و را ژنتیک بودن کانه‌زایی را نشان می‌دهد.

#### گالن دوباره رشد یافته

تبلور دوباره بلورهای گالن که ظاهراً تحت تاثیر طولانی تغییر شکل مکانیکی قرار گرفته اند و رشد دوباره پیدا کرده‌اند.

#### گالن خرد شده

در تعدادی از نمونه‌ها کانی گالن، بافت کاتاکلاستیک را نشان می‌دهد که بیانگر اعمال نیروهای زمین ساختی بر این کانی است.

#### اسفالریت

اسفالریت به صورت ادخال های ریز و منفرد در زمینه‌ای از گالن وجود دارد و به ندرت هم‌رشدی اسفالریت و گالن در برخی از نمونه‌ها دیده می‌شود (شکل ۴).

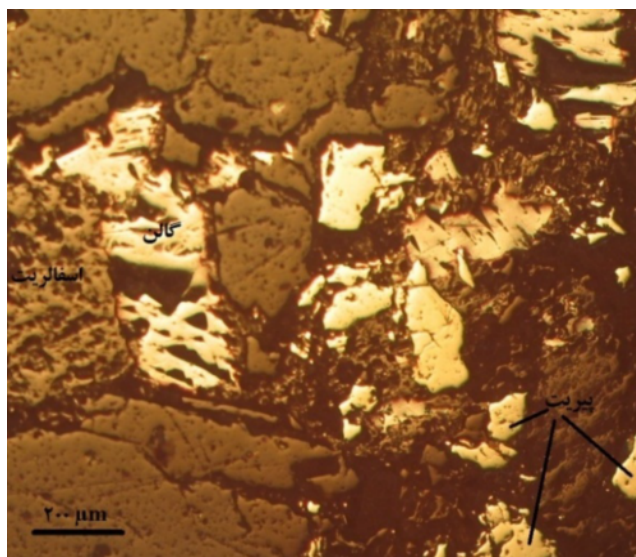
میکروسکوپی مشاهده شده‌اند که در ادامه به اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود:

#### گالن یوهدرال

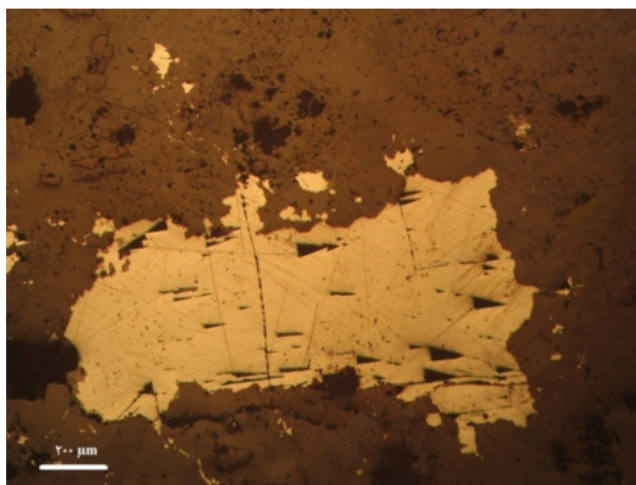
در این حالت گالن شکل کاملی از خود نشان می‌دهد و زمینه‌ی آن را سنگ کربناتی تشکیل می‌دهد. در بیشتر مقاطع صیقلی این نوع گالن از حاشیه در حال تبدیل شدن به سرزیت است. گالن‌های شکل‌دار هم در درون رگه‌های کانه‌دار و هم در متن سنگ میزبان قابل مشاهده‌اند.

#### گالن پرکننده‌ی فضای خالی

این بافت گالن هم در درون سنگ کربناتی میزبان و هم در درون رگه‌های کلسیتی و سیلیسی دیده می‌شود، این بافت به خوبی آخرین شکل‌گیری گالن نسبت به سنگ میزبان کربناتی



شکل ۳ تبلور گالن در زمینه‌ی سنگ کربناتی، که بافت پرکننده‌ی فضای خالی دارد.

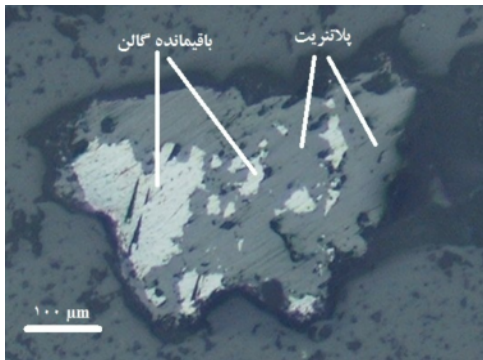


شکل ۴ همراهی بلور اسفالریت با گالن خرد شده و پیریت.

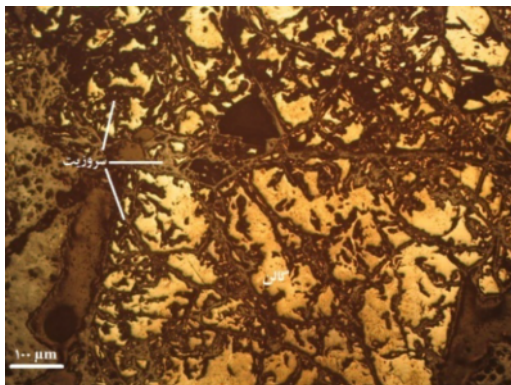
دیده می‌شود (شکل ۷). مولیبدن لازم برای تشکیل ولفنیت احتمالاً از ساختار شبکه‌ای گالن خارج شده و یا از ادخال‌های میکروسکوپی مولیبدنیت درون گالن ریشه گرفته است. در منطقه اکسیدی حامل اصلی مولیبدن، کانی ولفنیت است که می‌تواند مقادیری از عناصر تنگستن، کروم، وانادیوم، مس و کلسیم را نیز در ساختار خود نگه دارد [۱۰].

واکنش زیر را می‌توان برای تشکیل ولفنیت پیشنهاد کرد [۷]:  

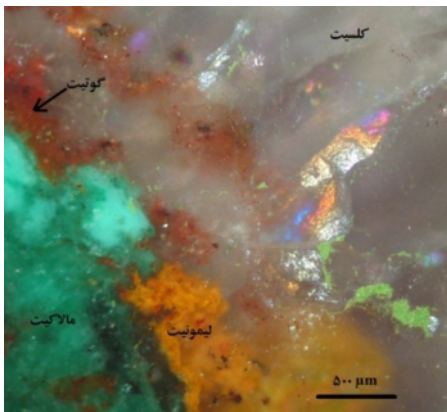
$$\text{PbMoO}_4 + 3 \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{PbS} + \text{MoS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 7\text{O}_2$$



شکل ۵ تشکیل سروزیت در زمینه‌ی بلور گالن.



شکل ۶ بافت بر جا مانده‌ی جانشینی از گالن به وسیله‌ی پلاتنریت.



شکل ۷ تشکیل بلورهای نارنجی رنگ ولفنیت روی ماده‌ی معدنی اکسید شده (سروزیت).

### پیریت

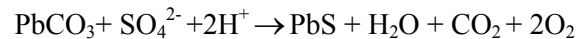
برخلاف بیشتر کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناتی که کانی پیریت فراوانترین کانی در کانسنگ است [۸،۷]، در معدن چاه سرب این کانی گسترش چندانی ندارد و فقط به طور محدود در تعدادی از مقاطع به صورت انتشاری در سنگ میزبان کربناتی و در رگه‌های معدنی دیده می‌شود.

### کالکوپیریت

فراوانی این کانی در معدن چاه سرب بسیار ناچیز است و در چند مقطع به صورت ضعیف مشاهده می‌شود که همراه با گانگ کلسیتی در درون رگه مشاهده می‌شود.

### سروزیت

فراوانترین کانی ثانویه سرب در این کانسار، سروزیت است (شکل ۵). با توجه به سنگ میزبان کربناتی و در نتیجه حضور کربنات در محیط، فراوانی مطلق این کانی نسبت به دیگر کانی‌های ثانویه سرب قابل توجه است. واکنش زیر را می‌توان برای تشکیل سروزیت ارائه کرد [۷]:



در مقیاس میکروسکوپی، سروزیت بشکل صفحات در هم تنیده‌ی شیشه‌ای رنگ در شکاف‌ها و حفرها وجود دارد و به شکل‌های رگچه‌ای، انتشاری، ژئودی نیز دیده می‌شود.

پلاتنریت: این کانی به صورت پوششی خاکی سیاه رنگ در سطوح تونل‌ها و کارگاه‌های بهره‌برداری شده‌ی قدیمی و در نقاطی با مقدار اکسیژن بالا به‌عنوان اصلی‌ترین کانی اکسیدی سرب در کانسار چاه سرب حضور دارد. این کانی خاص نقاط با آب و هوای خشک است. این کانی در محیط‌های اسیدی، در پتانسیل اکسایشی (Eh) بالا به وجود می‌آید و با افزایش pH این کانی می‌تواند در پتانسیل اکسایش پایین تر نیز تشکیل شود [۹]. جانشینی گالن به وسیله سروزیت و پلاتنریت منجر به تشکیل بافت‌های جانشینی متنوعی شده است که از آن جمله بافت جانشینی خوردگی (Caries)، کناره‌ای (Boundary)، جانشینی شبکه‌ای (Network replacement)، اسکلتی، جانشینی در راستای رخ (Cleavagereplacement) و برجای مانده جانشینی (Replacement relict texture)، قابل مشاهده است. در بافت برجای مانده جانشینی، گالن اولیه به وسیله کانی‌های ثانویه جانشین شده و فقط قالبی از کانی گالن باقیمانده است (شکل ۶).

ولفنیت (PbMoO<sub>4</sub>): این کانی به همراه سروزیت در شکاف‌ها به صورت پولک‌های نارنجی و خود شکل چارگوشی کمیاب

## اکسیدهای آهن

کانی‌های گوتیت، ژاروسیت، هماتیت و لیمونیت از تجزیه و آب دار شدن پیریت حاصل شده‌اند. فرآیند اکسید شدن در راستا گسل‌ها و شکستگی‌ها از گسترش بیشتری برخوردار است (شکل ۸).

کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ )

کلسیت اصلی‌ترین کانی باطله همراه با ماده‌ی معدنی بوده (شکل ۹) و در برخی از نقاط همراه با کوارتز، در رگه‌ها و رگچه‌های درون ماسه سنگ‌ها و آهک‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). که موید نهشت همزمان کلسیت و کوارتز از شاره‌ی است. کلسیت به سه حالت درشت بلور، اسپاری و رگه ای دیده می‌شود (شکل ۱۱).

**باریت:** پس از کلسیت فراوانترین کانی باطله همراه با ماده معدنی بوده و به صورت توده‌ای در رگه‌ها، رگچه‌ها، فضای بین

قطعات برشی و نیز به عنوان پرکننده‌ی فضای بین بلورهای گالن حضور دارد. این کانی بافت‌های متنوعی همچون کلوفرم (Colloform)، رشد شعاعی و موازی (شکل ۱۲) (sub-parallel and radial growths)، نشان می‌دهد که همه‌ی آنها نشان از رشد در دمای پایین و در فضای خالی است.

## دگرسانی سنگ میزبان

دگرسانی در کانسار چاه سرب ساده و ظریف است و بیشتر در اطراف رگه‌های معدنی مشاهده می‌شود و شامل دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و هماتیسی شدن است. دولومیتی شدن اصلی‌ترین دگرسانی مشاهده شده در سنگ میزبان است. دولومیت‌ها به صورت پرکننده فضای خالی، سیمان سنگ میزبان و یا جانشین کننده کربنات اولیه در سنگ میزبان و نیز همراه با ماده معدنی حضور دارند.



شکل ۸ تشکیل مالاکیت و کانی‌های ثانویه اکسید آهن در درون رگه‌ی کلسیتی.



شکل ۱۰ رشد دوباره‌ی کلسیت در فضاهای خالی موجود در سنگ کربناتی.



شکل ۹ نمایی از رگه کلسیتی همراه با کانه زایی گالن.

کانهدار از شدت سیلیسی شدن سنگ کربناتی کاسته می‌شود تا به سنگ کربناتی اولیه می‌رسیم. هماتیتهی شدن در اطراف رگه‌ها و رگچه‌های معدنی در تماس با سنگ میزبان، با ضخامت کم و گسترش محدود مشاهده می‌شود.

#### ویژگی‌های ساختی کانسار چاه سرب

کانی‌سازی در کانسار چاه سرب در طول چند رگه‌ی موازی با راستای تقریباً شرقی - غربی صورت گرفته است و شیب ۷۰-۸۰ درجه به سمت جنوب دارند (E-W, 70-80 S) (شکل ۱۱)، برای ایجاد چنین رگه‌هایی وجود نیروهای کششی عمود بر راستای رگه‌ها لازم است [۱۳]. اصلی‌ترین گسل این ناحیه گسل کالشانه است که در ۲ کیلومتری غرب معدن چاه سرب قرار دارد که این گسل روند شمال شرقی-جنوب غربی دارد و اکثر درز و شکستگی‌های این گستره هم راستا با این گسل هستند (شکل ۲). مشاهدات صحرایی و بررسی نمونه‌های دستی در گستره‌ی کانسار چاه سرب حضور ساخت‌های زیر را نشان می‌دهد:

#### ساخت رگه‌ای

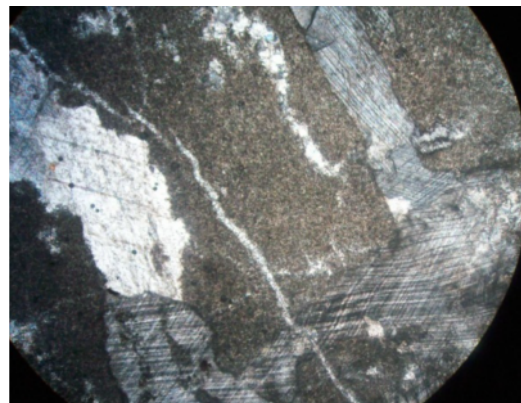
در کانسارهای گرمایی پدیده‌های مختلفی باعث ته نشینی ماده‌ی معدنی می‌شوند که می‌توان این پدیده‌ها را در دو دسته ته نشینی در نتیجه‌ی عوامل فیزیکی (شامل کاهش حرارت، کاهش فشار و کاهش در سرعت سیال گرمایی) و ته نشینی در نتیجه‌ی عوامل شیمیایی (شامل ته نشینی در اثر واکنش با سنگ میزبان و ته نشینی در نتیجه‌ی مخلوط شدن با شاره‌های دیگر) رده‌بندی کرد. ساخت رگه‌ای و پرکننده‌ی فضای خالی که در گستره‌ی معدن زیاد به چشم می‌خورد، ناشی از حرکت آبگون‌های کانهدار در منطقه‌های شکستگی و ته نشینی ماده‌ی معدنی در اثر عوامل فیزیکی و تمرکز در ساخت‌های ثانویه (شکستگی‌ها) به صورت رگه‌های کلسیتی و سیلیسی کانهدار است. در این نوع کانهدازی تاثیر عوامل شیمیایی در ته‌نشینی و تمرکز ماده‌ی معدنی نسبت به عوامل فیزیکی بسیار اندک است.

#### ساخت جانیشینی سنگ دیواره

این ساختار در اثر جانیشینی ماده‌ی معدنی به جای سنگ میزبان حاصل می‌شود و در تشکیل این بافت عوامل شیمیایی سهم مهمی دارند. این گونه ساخت به طور محدود و در حاشیه‌ی بعضی از رگه‌های معدنی گالن دار در درون سنگ میزبان کربناتی و حداکثر تا یک متری از رگه دیده می‌شود.



شکل ۱۱ بلورهای کلسیت در زمینه‌ی سنگ کربناتی، کلسیت با بافت رگه‌ای و اسپاری قابل مشاهده است.



شکل ۱۲ باریت با بافت شعاعی.

سیلیسی شدن همراه با کانهدازی در سنگ‌های کربناتی مشاهده می‌شود، بر اساس لوورینگ [۱۱] سیلیسی شدن سنگ‌های آهکی می‌تواند نتیجه‌ی انحلال کربنات و ته نشست هم‌زمان سیلیس در بطن سنگ، پرشدگی حفره‌ها و شکستگی‌ها با سیلیس یا تلفیقی از هر دو رویداد باشد. در کانسار چاه سرب سیلیسی شدن در چند فاز مختلف صورت گرفته است، در نخست همراه با کانهدازی گالن سنگ میزبان سیلیسی شده است و رگه‌ها و رگچه‌های کلسیت و سیلیس همراه با کانهدازی تشکیل شده‌اند، در مراحل بعد رگه‌ها و رگچه‌های کلسیت و سیلیس بدون کانهدازی به وجود آمده‌اند و در مرحله‌ی آخر شاهد تبلور دوباره سیلیس و تشکیل بلورهای کوارتز در زمینه‌ی سنگ کربناتی سیلیسی شده هستیم که اندازه‌ی این بلورهای کاملاً شکل دار به چند میلیمتر می‌رسد (شکل ۱۳). نهشت سیلیکات در کانسارهای نوع MVT بر اثر رقیق شدن و سرد شدن محلول گرمایی روی می‌دهد که می‌تواند منجر به نهشت سیلیکا و کانی‌های سولفیدی شود [۱۲]. البته لازم به یادآوری است که در کانسار چاه سرب با دور شدن از رگه‌های

### ساخت پرکننده حفرات و کارست

این حالت زمانی به وجود می‌آید که حفره‌هایی در سنگ میزبان به وجود آید و حفره‌ها به وسیله‌ی محلول‌های کانه دار بعدی پر شوند، بیشتر اوقات این حفره‌ها در نزدیکی مناطق گسله و در اثر انحلال سنگ میزبان کربناتی حاصل شده است. در تشکیل این ساخت عوامل شیمیایی دارای اهمیت بالایی هستند. در گستره‌ی چاه سرب حفره‌های کارستی با ابعاد کمتر از ۱۰ سانتیمتر تا بیش از چندین متر قابل مشاهده‌اند و به طور معمول به وسیله‌ی کلسیت‌های سفید، درشت بلور پر شده‌اند. در بیشتر موارد گالن در حاشیه‌ی حفره‌ها و در مرز بلورهای کلسیت و سنگ میزبان قابل مشاهده است و در درون برخی از بلورهای کلسیت نیز حضور دارد. در تعدادی از رخنمون‌ها گالن در مرز بلورهای کلسیت و در شکستگی درون بلورهای کلسیت دیده می‌شود که نشانگر تاخیر در تشکیل گالن نسبت به کلسیت باشد.



شکل ۱۳ رشد دوباره کوارتز در زمینه‌ی سنگ کربناتی سیلیسی شده.



شکل ۱۴ استخراج ماده معدنی در راستای رگه.

### ویژگی‌های بافتی کانسار چاه سرب

بر اساس مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی، نوع کانه‌زایی در منطقه بیشتر رگه ای بوده و از روند گسل‌های موجود در منطقه پیروی می‌کند. ماده‌ی معدنی به شکل‌های مختلف درون رگه‌ها قرار دارند که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

**بافت برشی (brecciate texture):** این بافت مهم‌ترین شکل کانسارسازی در کانسار چاه سرب است. برش‌ها از جنس سنگ دیواره‌اند که کم و بیش دگرسان شده‌اند و با اندازه‌ای از چند تا چند ده سانتیمتر درون رگه‌ها قرار گرفته‌اند و به وسیله‌ی ماده معدنی سیمن شده‌اند، این بافت نشان دهنده‌ی فعالیت دوباره گسل‌ها پس از کانه‌زایی است (شکل ۱۵).

**بافت کوکاد (texture Cockade):** بافت کوکاد از بافت‌های شاخص پرکننده‌ی فضای خالی در کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناتی است [۱۴]. در کانسار چاه سرب این بافت از رشد متناوب گالن و سپس باریت روی سطح خارجی قطعات برش ایجاد شده است.

**بافت قشری (Crustification bounding):** این بافت حاصل رشد متناوب گالن و باریت درون شکاف‌ها و فضای خالی بدون حضور برش است، در این بافت ماده‌ی معدنی به صورت قرینه نسبت به مرکز قرار دارد که به صورت قشرهایی روی سطح داخلی شکاف‌ها و حفره‌ها را پر کرده و متناوباً از نظر ترکیب تغییر می‌کنند که نشان دهنده‌ی تغییر در ترکیب شاره‌ی اولیه یا تغییر در عوامل موثر در ته نشست هرکدام از کانی‌ها بوده است. معمولاً مرکز این بافت خالی بوده و یا با کانی‌های ثانویه همچون سروزیت و ولفنیت پر شده است. بلورهای ماده‌ی معدنی در این بافت نسبت به بافت‌های ماده‌ی معدنی در بافت برشی درشت‌تر است که احتمالاً به سبب سرعت پایین‌تر رشد و آرامش بیشتر شاره‌ها و در نتیجه هسته‌زایی کمتر در این نقاط است که باعث ایجاد بلورهایی با اندازه درشت‌تر شده است. این بافت غالباً در کانسارهای با دمای پایین دیده می‌شود [۱۵].

**بافت انتشاری (Disseminated texture):** این بافت در نزدیکی رگه‌ها و درون سنگ میزبان دیده می‌شود که در واقع حاصل نفوذ گرماب‌ها به درون سنگ میزبان است. در مواردی نیز این



است و در مراحل بعد محلول‌های کانه‌دار از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها به داخل کربنات‌ها نفوذ کرده و ماده‌ی معدنی در فضاهای خالی ته نشست کرده است. در این مرحله در اثر واکنش شارهی کانه‌دار با سنگ دیواره، شاهد دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و کربناتی شدن در سنگ میزبان هستیم. جدول ۲ دنباله‌ی ته نشست کانی‌ها در کانسار چاه سرب به اختصار آمده است.

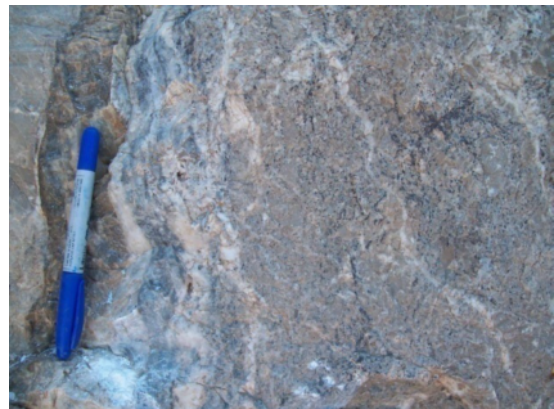


شکل ۱۶: نمایی از ماده معدنی با بافت افشان و رگه‌ای.

بافت به صورت پرکننده‌ی فضای بین بلوری در سنگ میزبان دولستون دیده می‌شود (شکل ۱۶).

#### مراحل کانسار سازی و دنباله‌ی تشکیل دوگانه‌ی سنگ‌ها

سنگ‌های کربناتی به سن ژوراسیک در منطقه‌ی چاه سرب، نخست تحت تاثیر نیروهای زمین ساختی حاکم بر منطقه، شرایط و فضای لازم برای کانسار سازی را به دست آورده‌اند. در این مرحله دولومیتی شدن واحدهای کربناتی نیز صورت گرفته



شکل ۱۵: بافت برشی خرد شده شامل قطعات خرد شده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی.

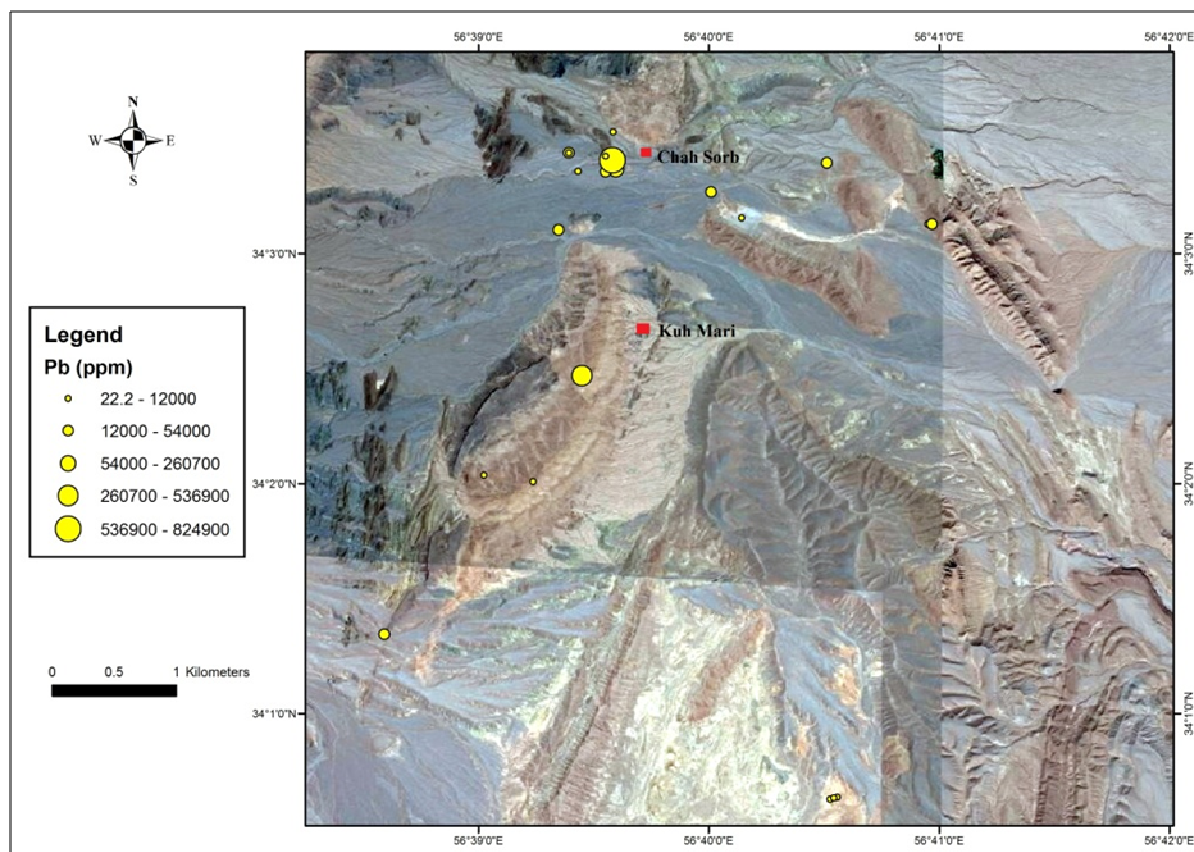
جدول ۲: دنباله‌ی تشکیل پارازنزی کانی‌های اصلی کانسارچاه سرب.

کانیها	مرحله همزادی (سین ژنتیک)	مرحله غیر همزادی (ایی ژنتیک)	سوپرژن و اکسیدی
گالن			
اسفالریت			
پیریت			
کالکوپیریت			
سروزیت			
پلاتنریت			
دولومیت			
کلسیت			
یاریت			
کوارتز			
اکسیدهای آهن			

## ژئوشیمی نمونه‌های سنگی

در بررسی‌های ژئوشیمی چگونگی پراکندگی عناصر مختلف در سنگ میزبان و رگه‌های کانه‌دار و ارتباط و همبستگی این عناصر با یکدیگر مورد نظر است. با بررسی این روابط می‌توان تا حدودی به محیط و فرایندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد [۱۶].

در کانسار چاه سرب نمونه‌ها از لایه‌های معدنی و سنگ میزبان به صورت سطحی برداشت شده‌اند که تعداد آنها ۳۰ نمونه بوده‌اند، (شکل ۱۷) که تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌ها برای ۵۱ عنصر در آزمایشگاه ALS کانادا انجام گرفت. نتایج آزمایش برخی از عناصر مهم به صورت پارامترهای آماری در جدول ۳ آمده‌اند که در زیر نیز به اختصار بررسی شده‌اند:



شکل ۱۷ پراکندگی نمونه‌های سنگی و فراوانی سرب در نمونه‌ها در منطقه‌ی چاه سرب.

جدول ۳ پارامترهای آماری مربوط به نتایج آزمایش نمونه‌های سنگی (بر حسب ppm).

کشدگی	چولگی	انحراف از معیار	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	تعداد
۱۱,۳۸۳	۳,۳۸۰	۱۸۷۳۳۵,۸۷۹	۶۹۴۰۰	۸۲۴۹۰۰	۲۲	۳۰ سرب
۴,۶۶۸	۲,۴۱۲	۱۲۹۵۴۵,۶۸۷	۶۳۴۰۰	۴۴۸۵۰۰	۵۷	۳۰ روی
۸,۲۸۲	۳,۰۱۲	۳۵,۹۶۹	۱۳,۹۱۶۳	۱۴۱	۰,۰۴	۳۰ نقره
۴,۵۰۵	۲,۳۵۵	۱۱۲,۱۲۶۵	۵۵,۴۲۱	۴۱۵	۰,۹	۳۰ کادمیم
۳,۸۸۸	۱,۷۵۴	۳۸,۵۸۷۵	۳۴,۸۲۶	۱۶۶	۰	۳۰ آرسنیک
۲,۶۳۳	۱,۹۵۵	۱۳۱,۸۶۰۶	۸۹,۱۴۸	۴۶۷	۱,۴	۳۰ مس
۶,۳۸۳	۲,۶۰۵	۱۶۷,۳۹۲	۸۹,۰۹	۶۷۵	۰	۳۰ آنتیموان
-۰,۱۹۴	۱,۰۹۷	۱۳۳۷,۵۱۷	۱۰۳,۸۰۴	۴۰۶۰	۱۴	۳۰ باریم
۱,۶۸۲	۱,۵۵۴	۱۵,۳۸۶۷	۱۱,۴۲۱	۵۵,۴	۰	۳۰ جیوه
۹,۹۸۲	۲,۹۶۲	۵,۸۶۱۹	۴,۳۱۲	۲۷,۸	۰,۱	۳۰ اورانیوم

رگه‌ها افزایش می‌یابد و حداکثر فراوانی آن در رگه معدنی به ۴۶۷ ppm می‌رسد.

#### بحث و برداشت

در گستره‌ی چاه سرب کانی‌سازی در درون آهک و دولومیت سازند قلعه دختر با سن ژوراسیک میانی صورت گرفته است. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای با راستای شرقی-غربی و شیب ۷۰-۸۰ درجه به سمت جنوب مشاهده می‌شود. غالباً رگه‌ها و شکستگی‌ها هم راستا با راستای گسل‌های منطقه، روند شمال شرقی-جنوب غربی دارند. ضخامت رگه‌ها از چند میلیمتر تا چندین متر تغییر می‌کنند. گالن کانی اصلی ماده‌ی معدنی است، سروزیت فراوانترین کانی ثانویه است، اسفالریت به صورت محدود مشاهده می‌شود، کلسیت و باریت به ترتیب فراوان‌ترین کانی‌های باطله هستند، بافت‌های متنوعی از ماده‌ی معدنی مشاهده شده‌اند که همگی از نوع پرکننده فضای خالی در دمای پایین هستند. در مورد چگونگی ایجاد فضای خالی باید گفت که نیروهای زمین ساختی باعث تشکیل گسل‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی شده است که خود منجر به ایجاد درز و شکاف-های مناسب برای کانسارسازی شده اند. بر اساس بررسیهای ژئوشیمیایی، سرب عنصر اصلی است و درصد روی در بیشتر رگه‌ها پایین است. فراوانی جیوه و اورانیوم در رگه‌ها نسبتاً بالاست که متاسفانه عامل مهم آلودگی حین استخراج ماده معدنی شده است. عناصر Pb با Ag, Bi, Sb, Zn و Cd, Hg همبستگی بالایی دارند. با توجه به چینه شناسی کربناتی به سن ژوراسیک میانی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسارسازی دیرزاد و لایه کران و همچنین بافت‌های پرکننده فضای خالی نشان دهنده‌ی شباهت خاستگاه این کانسار با کانسارهای نوع دره‌ی می‌سی‌سی‌پی (MVT) است [۱۷-۱۹] و چنین می‌توان نتیجه گرفت که این کانسار در رده‌ی کانسارهای نوع دره‌ی می‌سی‌سی‌پی قرار می‌گیرد.

#### مراجع

[۱] روتنر ا، نبوی م. ح، حاجیان ج، گزارش شماره ۴ سازمان زمین شناسی کشور، به همراه نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ شیر گشت و

سرب (Pb): مهم‌ترین عنصر در کانسار چاه سرب است و فراوانی آن در رگه‌های معدنی تا ۶۰٪ نیز می‌رسد، فراوانی Pb در سنگ‌های دربرگیرنده به بیش از ۲۰۰۰ ppm می‌رسد. در طول رگه‌ها فراوانی Pb متغیر است. در کل همخوانی و همبستگی خوبی بین Pb و Zn دیده می‌شود، البته فراوانی Pb چندین برابر Zn است.

روی (Zn): فراوانی Zn در منطقه‌ی کانساری حداکثر به ۱۰٪ می‌رسد و در کل درصد فراوانی پایینی نسبت به سرب دارد، فراوانی Zn نیز در سنگ‌های دربرگیرنده به بیش از ۵۰۰ ppm می‌رسد و فراوانی Zn مانند Pb در طول رگه‌ی معدنی متغیر است و رگه در برخی نقاط کم عیار و در برخی نقاط پر عیار می‌شود.

نقره (Ag): فراوانی Ag نیز با نزدیک شدن به رگه‌های کانه‌دار افزایش می‌یابد و همبستگی بالایی با Pb دارد و در نقاط سرشار از Pb فراوانی آن به ۱۴۱ ppm نیز می‌رسد و فراوانی آن در سنگ در برگیرنده بسیار پایین است (کمتر از ۱۰ ppm).

کادمیم (Cd): فراوانی Cd نیز با نزدیک شدن به رگه‌های معدنی افزایش می‌یابد و تا ۴۱۵ ppm نیز می‌رسد و همبستگی بالایی با روی نشان می‌دهد و فراوانی آن در سنگ در برگیرنده بسیار پایین است (کمتر از ۱۰ ppm).

جیوه (Hg): جیوه نیز همبستگی بالایی با روی نشان می‌دهد و در نمونه‌هایی که درصد روی بالاتر است فراوانی جیوه به ۵۵ ppm نیز می‌رسد که قابل توجه است و مشکلات جسمانی و بیماری‌های به وجود آمده برای کارگران معدن چاه سرب در طول معدنکاری در گذشته را می‌توان به آلودگی ناشی از بخارهای جیوه وابسته دانست.

باریم (Ba): فراوانی Ba در سنگ دربرگیرنده پایین است و با نزدیک شدن به رگه‌های کانه‌دار افزایش می‌یابد. بیشترین فراوانی باریم در رگه‌های معدنی در سطح برابر با ۴۰۶۰ ppm است. فراوانی باریت در نمونه‌های تونلی بسیار بالاتر است و در طبقات پایینی معدن چاه سرب باریت پس از کلسیت مهم‌ترین باطله معدنی است.

مس (Cu): فراوانی Cu نیز در بیشتر موارد با نزدیک شدن به

- [11] Lovering T.G., "The origin of jasperoid in limestone", *Economic Geology* 57 (1962) 861-889.
- [12] Plumlee G. S., Leach D. L., Hofstra A. H., Landis G. P., Rowan E. I., Viets J. G., "Chemical reaction path modeling of ore deposition in Mississippi vally type Pb-Zn deposits of the Ozark region, U.S. mid-continent", *Economic Geology* 89 (1994) 1361-1383.
- [۱۳] کریم پور م. ح.، سعادت س.، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات ارسلان، (۱۳۸۱)، ۵۳۵ ص.
- [14] Shadlun T. N., "Ore texture as indicators of formation conditions of mineral paragenesis in different type of stratiform lead- zinc deposits ", Heidelberg, (1980) pp. 607- 624.
- [15] Ineson P.R., "Introduction to Practical Ore Microscopy ", Longman publishers, (1989)181 p.
- [16] Hedenquist J.W., Arribas R.A., Gonzalez E., "Exploration for epithermal gold deposits", *Reviews in Economic Geology*, (2000) P. 245- 277.
- [17] Garlick W.G., "Hydrothermal versus syngenetic theories of ore deposition: Diss", *Economic Geology*, V. 58 (1963) P. 447-456.
- [18] Evans A.M., "An introduction to ore geology" Blackwell scientific publication, (1980) 231 P.
- [19] Sangester D.F., "Mississippi Valley Type and Sedex Lead-Zinc deposits", A comparative examination: *Appl. Earth. Sci.*, No. 99 (1990) P. 21-42.
- نقشه ۱:۲۵۰۰ که توسط روتنر تهیه و ضمیمه گزارش شده است.
- [2] Alavi M., "Sedimentary and structural characteristics of the paleo-tethys remnants inNortheastern Iran", *Geol. Soc. American Bullten.*
- [۳] قربانی م.، "ذخایر سرب و روی در ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۸۰ صفحه (۱۳۷۹).
- [۴] آقا نباتی ع.، "زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، ۵۸۵ صفحه (۱۳۸۵).
- [5] Stocklin J., "Structural history and Tectonic of Iran, A review", *Am. Assoc. Of Petroleum Geologist Bull.*, 52 (1968) P. 1229-1258.
- [6] Ghazban F., Mcnutt R.h., Schwarcz H.P., "Genesis of sediment- hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West-Central Iran ", *Economic Geology*, V. 89, (1994) pp.1262-1278.
- [7] Guilbert J.M., Park Jr. C.F., "The Geology of Ore Deposits, Freeman and Company", New York, 985 p (1997).
- [8] Orgun Y., Guktekin A.H., onal A., "Geology, Mineralogy and Fluid inclusion data From the ArapucanPb-Zn-Cu-Ag deposit, Canakkale, Turkey", *Jurnal of Asian Sciences*, (2004) P. 629-642.
- [9] Mason B., C.B. Moore, "Principles of Geochemistry", John Willey and Sons, Inc., (1982).
- [10] Williams S.A., "The Significance of Habit and Morphology of Wulfenite", *The American Mineralogist*, v. 51 (1966) pp.1212-1217.