

## کانه‌زایی طلا در سنگهای آتشفشانی - رسوبی تریاس منطقه محسن ابن علی (جنوب شرق بروجرد)

زهرا اکبری<sup>۱\*</sup>، علی یارمحمدی<sup>۲</sup>، ایرج رسا<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه زمین شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۱/۲/ ۲۳

### چکیده

منطقه محسن ابن علی در جنوب شرق شهرستان بروجرد، در شمال غرب پهنه سنندج- سیرجان واقع شده است. اغلب سنگهای رخنمون یافته در منطقه، یک توالی آتشفشانی- رسوبی به سن مزوزوئیک (تریاس) می باشند که در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. بر اساس بررسیهای صحرایی، دگرسانیهای اصلی در منطقه شامل پروپلیتی، سیلیسی، کربناتی، هماتیتی و سربستی هستند که دگرسانی پروپلیتی در متاولکانیکهای منطقه گسترش بیشتری دارد. دگرسانی سیلیسی و کربناتی نیز همراه با کانی‌سازی قابل مشاهده است. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای ETM+ ارتباط نزدیکی بین عامل خطوارگی و دگرسانیهای گرمایی در منطقه مشاهده می شود. مطالعات لیتوژئوشیمیایی یکی از کاربردی‌ترین روشها جهت اکتشاف طلاست. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات لیتوژئوشیمیایی در منطقه، آنومالی طلا در وسط شبکه نمونه- برداری و در جهت عمود بر روند واحدهای سنگی در متاولکانیکهای حدواسط تا بازیک مشخص شد. در آنومالی فوق الذکر عناصر Ag, As, Sb, Zn, Cu, Pb آنومالی نشان می‌دهند. ضرایب همبستگی در ماتریس همبستگی عناصر نشان می‌دهد که طلا بیشترین همبستگی را با عناصر As(+0.81)، Ag(+0.73)، Cu(+0.68)، Pb(+0.64) و Zn(+0.63) نشان می‌دهد. مطالعات صحرایی نشان می‌دهد که در آنومالی اصلی طلا در منطقه، کانی‌سازی شامل رگچه‌های سیلیسی- کربناتی و بصورت پراکنده درز و شکافهای سنگ و همچنین بصورت رگه‌های سیلیسی سرشار از اکسیدهای آهن در واحد متاولکانیکهای آندزیتی مشاهده می- شود. بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی میزان طلا در رگچه‌های سیلیسی- کربناتی ۰/۰۷ تا ۰/۵ گرم در تن و در رگه های سیلیسی حاوی اکسید آهن ۱/۷۴ تا ۹/۸ گرم در تن را نشان می‌دهد. مهمترین کانیهای شناسایی شده در مطالعات کانه نگاری شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کولیت، مالاکیت و اکسیدهای آهن اکثراً شامل هماتیت و گوتیت می‌باشد.

با توجه به نوع دگرسانیها، شکل کانی سازی، نوع سنگ میزبان و کانی شناسی در محدوده محسن ابن علی، می توان گفت کانی سازی طلا ارتباط مستقیم با روند شکستگیها و گسلهای منطقه دارد. محلولهای گرمایی کانی ساز به داخل درز و شکافهای موجود در سنگهای متاولکانیکی نفوذ کرده و باعث ایجاد دگرسانیهای مختلف و کانی سازی در جایگاه های مناسب ساختاری شده است.

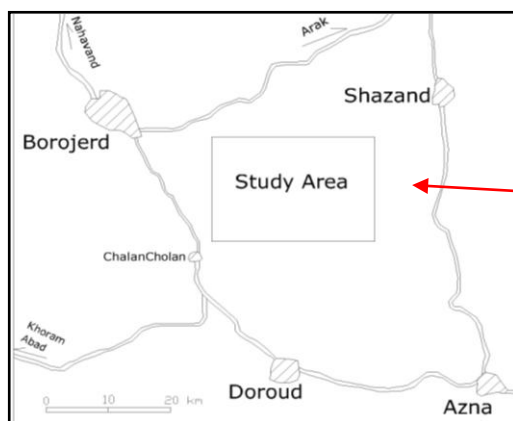
## واژه های کلیدی: محسن ابن علی، اکتشافات لیتوژئوشیمیایی، دگرسانی، کانی سازی

### مقدمه

منطقه محسن ابن علی با مختصات جغرافیایی  $48^{\circ}55'$  تا  $49^{\circ}$  طول شرقی و  $33^{\circ}43'$  تا  $33^{\circ}47'$  عرض شمالی در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق بروجرد در استان لرستان واقع شده است شکل (۱). با توجه به زمین شناسی مطلوب ایران، اکتشاف طلا در اکثر نقاط کشور بویژه در شمال غرب و غرب (بخش شمال غربی زون سنندج - سیرجان) به اجرا درآمده است. زون طلا دار سنندج- سیرجان دارای کانسارها و نشانه های مهم طلا در ارتباط با پهنه های برشی،

ماگماتیزم و ولکانیسم زیردریایی می باشد (تاج الدین و شمس، ۱۳۸۵).

منطقه مطالعاتی بر اساس نتایج مطالعات ژئوشیمیایی ناحیه ای برگه بروجرد در مقیاس یکصد هزار (مصدق، ۱۳۸۱) به لحاظ کانی سازی پتانسیل دار تشخیص داده شده و ادامه عملیات در آن پیشنهاد شده است. در این مقاله جدید-ترین نتایج بدست آمده توسط مطالعات لیتوژئوشیمیایی، مطالعات سنگ شناسی، کانه نگاری و دگرسانیها جهت ارزیابی منطقه از نظر پتانسیل طلا ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه محسن ابن علی بروجرد در استان لرستان

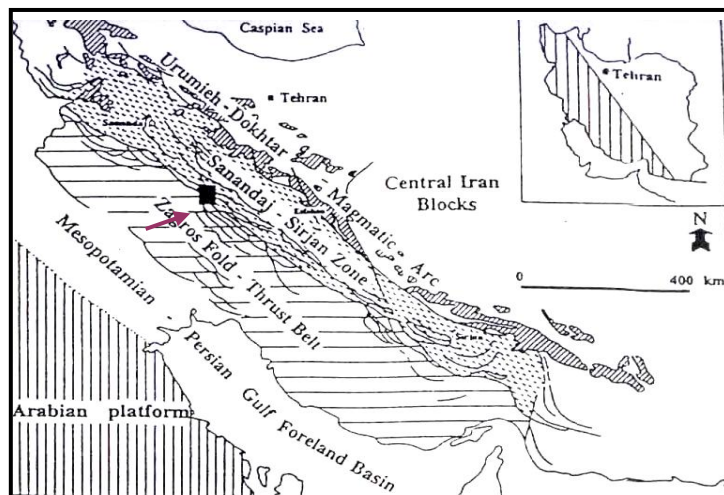
### زمین شناسی ناحیه ای

منطقه محسن ابن علی در برگه زمین شناسی یک دویست و پنجاه هزار خرم آباد، در بخش جنوب شرقی برگه یکصد هزار بروجرد، بخش شمال غربی پهنه سنندج - سیرجان (Alavi, 1994)

(شکل ۲) و در زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده (محجل و سهندی، ۱۳۷۸) واقع شده است. این زیر پهنه از سنگهای شدیداً دگرشکل شده و دگرگون در پهنه سنندج- سیرجان تشکیل شده است. این زیر پهنه با داشتن سنگهای شدیداً

دگرشکل شده و دگرگون، فراوانی شیبست، فیلیت و آمفیبولیت، چندین مرحله دگرشکلی که بعضی از آنها با دگرگونی و نفوذ توده‌های بیشماری از سنگهای نفوذی همراه بوده است، از دیگر زونهای متمایز می‌گردد. این منطقه از نظر زمین‌ساختی- ماگمایی متأثر از رویدادهای حاصل از باز و بسته شدن نفوتتیس از اواخر پالئوزوئیک تا دوران سوم قرار داشته است. در برکه زمین‌شناسی یکصد هزار بروجرد (حاج ملاعلی، ۱۳۷۰) پیکره دگرگونه در شمال منطقه درگستره‌ای از شرق به غرب با چهره خاکستری تیره تا سیاه از تپه‌های پست و کم

ارتفاع سازمان یافته است. تزریق توده بروجرد با ترکیب گرانی- گراندیوریتی در میان آنها گاهی به حالت ستیخ، به گونه‌ای جالب در معرض دید قرار گرفته است. زاگرس خردشده در قسمت جنوب غربی برکه در راستای شمال غرب- جنوب شرق به صورت نوار باریک با عرض متغیر ۱۵ تا ۳۵ کیلومتر به صورت ارتفاعات بلند دیده می‌شود. این پهنه دارای نهشته‌های فانروزوئیک بوده که تا ۱۰ کیلومتر ضخامت دارد و رسوبات در مقیاس کیلومتری چین خورده و تاقدیسها و ناودیسها و روراندها در آن گسترش یافته است.



شکل ۲- پهنه‌های تکتونیکی کوهزاد زاگرس (Alavi, 1994) و موقعیت برکه یکصد هزار بروجرد

منطقه مورد مطالعه در بخش دگرگونه برکه یکصد هزار بروجرد واقع شده است. این محدوده بعلت همجواری با برخورد دو ایالت زمین‌ساختی از جنبش خاصی برخوردار بوده، بطوریکه کلیه واحدهای سنگی از سوی شمال شرقی به جنوب غربی بر روی یکدیگر رانده شده‌اند. سیستم‌های گسلش کم شیب و پر فشار و جهت راندگی از شمال شرق به جنوب غرب مشاهده می‌شود (اسدی هارونی و همکاران، ۱۳۸۱). گسلهای اصلی این منطقه دارای با روند شمال غربی- جنوب شرقی بوده که از روند اصلی زاگرس تبعیت نموده

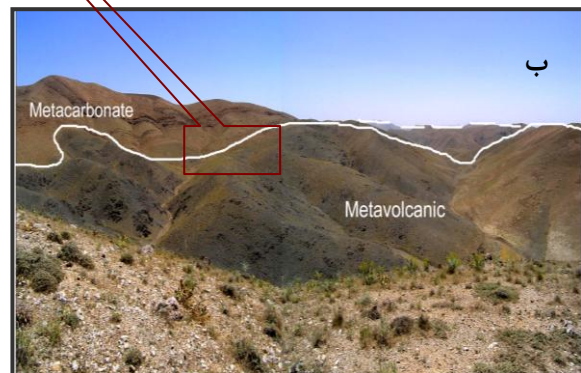
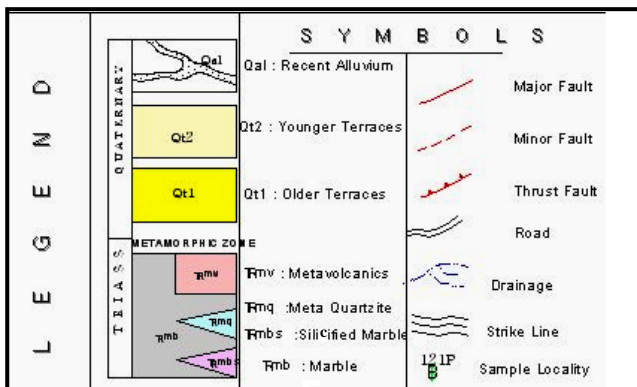
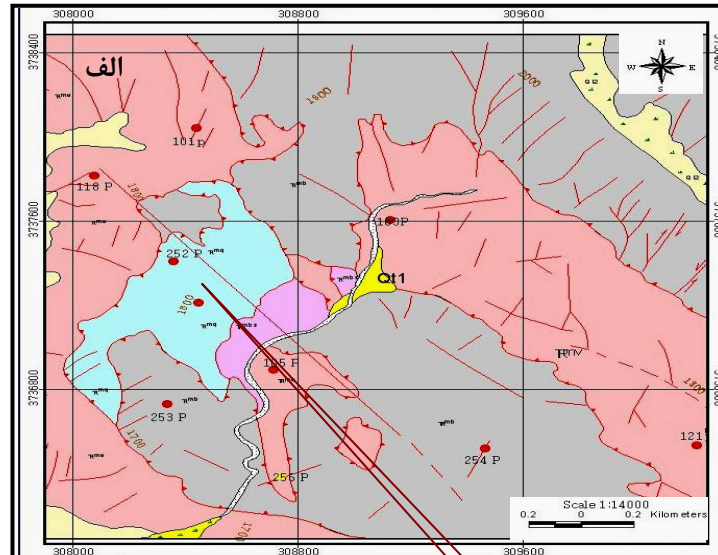
می‌کنند و توسط گسل‌هایی با روند شمال شرقی- جنوب غربی جابجا شده‌اند (اکبری، ۱۳۸۶).

#### سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه

سنگ شناسی منطقه محسن ابن علی براساس مطالعه ۲۰ مقطع نازک انجام گرفت. توالی چین- ای منطقه بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ به سن تریاس میانی- پایانی با امتداد شمال غرب- جنوب شرق شامل مجموعه‌ای از سنگهای رسوبی- آتشفشانی دگرگون شده زیردریایی، شامل مرم، کوارتزیت و مجموعه آتشفشانی حدواسط تا بازیک با

سیلیسی است. واحد متاولکانیکی به صورت تپه ماهوری با سطح فرسایش صاف و تیره مشاهده می شود (شکل ۳ ب).

ساختار گدازه و توف می باشد (شکل ۳ الف). واحدهای مرمر با گسترش زیاد و مورفولوژی چهره ساز شامل آهک بلورین چین خورده و تجزیه شده و دارای رگه های محتوی ترکیبات آهن دار و



شکل ۳- (الف) نقشه زمین شناسی (۱:۵۰۰۰) منطقه محسن ابن علی بروجرد (ب) نمایی از توالی واحدهای متاولکانیکی و متاکربناتی در منطقه (نگاه به جنوب غربی)

کمتر آلبیت دگرسان شده است. مهمترین کانی تیره پیروکسن بوده که اورالیتی شده است. هیچگونه توده نفوذی در نقشه ۱:۵۰۰۰ گزارش نشده است. اما در نقشه ۱:۲۰۰۰۰ منطقه توده نفوذی نلخاست با ترکیب گرانودیوریتی در ۲ کیلومتری شرق محدوده دیده شده است که از نظر منشا سیالات کانی ساز در منطقه می تواند حائز اهمیت باشد.

مجموعه متاولکانیکها شامل سنگهای آذرآواری و سنگهای ولکانیکی می باشد. سنگهای آذرآواری دامنه ای از لیتیک توف، ویتریک توف و کریستال توف به همراه کانیهای کوارتز، پلاژیوکلاز، کلریت و بیوتیت و قطعات سنگی آندزیتی است. سنگهای ولکانیکی شامل مجموعه ای از متاآندزیت، متاآندزیت بازالتی است. فراوان ترین کانی پلاژیوکلاز (آندزین و کمی کلسیک تر) بوده که غالباً به اپیدوت، کلسیت، کلریت، سربیسیت و

## اکتشافات لیتوژئوشیمیایی

یکی از روشهای کشف ذخایر معدنی، اکتشافات ژئوشیمیایی است که در بهینه سازی هزینه های اکتشافی و راهنمایی جهت شناسایی مناطق پتانسیل دار نقش موثری دارد (Kylie, 2007). بررسیهای لیتوژئوشیمیایی بعنوان یک ابزار اکتشافی با بررسی توزیع و فراوانی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در توده های سنگ و به منظور معرفی آنومالیها سودمند می باشد (Venkatarman et al., 2000). به منظور آگاهی از فراوانی ژئوشیمیایی طلا و دیگر عناصر همراه در رخنمون های سنگی و دگرسانیهای همراه و همچنین جهت شناسائی عوامل کنترل کننده ساختاری و لیتولوژیکی در منطقه، نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی در حوضه آبریز شمال روستای محسن ابن علی توسط شرکت کان ایران (۱۳۸۴) صورت گرفت. برداشت نمونه بطور سیستماتیک به وسعت دو کیلومتر مربع در راستای N45E با ۲۰۰ نمونه سنگی در شبکه نمونه برداری ۱۰۰ × ۱۰۰ متر انجام گرفت. آماده سازی نمونه ها به روش چهار اسید (HCl, HF, HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>) انجام و برای تعیین میزان طلا و ۲۸ عنصر همراه به روش ICP-MS به آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا ارسال گردید. برای تعیین خطای اندازه گیری و مراحل آماده سازی در محدوده اقدام به برداشت ۶ نمونه تکراری و بکارگیری نمودار کنترلی تامپسون شد. در این مطالعه سطح دقت معادل ۱۰٪ انتخاب گردید که اکثر نمونه ها از دقت قابل قبولی برخوردار بودند. پردازش داده های لیتوژئوشیمیایی بدین ترتیب انجام شد که ابتدا نتایج آنالیز نمونه ها در نرم افزار Excel آماده داده پردازگی شد. برای محاسبه مقادیر سنسورد از روشهای بیشترین

درست نمایی کوهن<sup>۱</sup> (Sanford et al., 1993) و روش جایگزینی ساده (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰) استفاده شد. تعیین پارامترهای توزیع عناصر و رسم نمودار در هر منطقه انجام شد. بعد از این مرحله مقادیر خارج از رده بر اساس پلاتهای Box and Whiske (Wellmer, 1998) شناسایی و جایگزین گردید. مقادیر بدست آمده توسط نرم افزار SPSS به روش سه پارامتری نرمال شد و در نهایت آنومالیهای ژئوشیمیایی تعیین و نقشه های عناصر ترسیم شد. برای تفکیک ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، با محاسبه مقادیر میانه (X) و انحراف معیار (S) از تخمین از هاکس و وب استفاده شد. ارزیابی حد زمینه و آنومالی طلا نشان می دهد که فراوانی طلا در پوسته زمین حدود ۵-۲ میلی گرم در تن و ضریب پر عیارسازی آن بطور متوسط ۲۰۰۰ می باشد (Foster, 1993). مقدار زمینه طلا در سنگهای ولکانیکهای مافیک ۲/۲، ولکانیکهای فلسیک ۱/۵۵، پلوتونهای گرانیتی ۲/۶ میلی گرم در تن است که در ذخایر اقتصادی مقدار آن بین ۱۰<sup>۳</sup> تا ۱۰<sup>۴</sup> مرتبه بیشتر از مقدار زمینه است و مقادیر در حدود چندین ده میلی گرم در تن ممکن است نشانگر فعال بودن فرایند های کانی ساز باشد. نتایج در ۲۰۰ سلول شبکه نمونه برداری در منطقه نشان داد که میانگین طلا در منطقه ۰/۶ گرم در تن و میانه ۰/۳ گرم در تن که در واقع از مقادیر کرانه ای بی تاثیر است و توزیع لاگ نرمال با چولگی مثبت ۹/۳۶ (جدول ۱) غلظتی در حدود چند صد برابر میانگین فراوانی این عنصر در لیتوسفر را نشان می دهد. این موضوع دلالت بر اهمیت منطقه مطالعاتی از حیث اکتشاف دارد. بررسیهای اکتشاف لیتوژئوشیمیایی

ساختاری و گسله‌های تراستی منطقه با مساحت تقریبی ۲۰ هکتار امتداد دارد (شکل ۴). میانگین غلظت عناصر در آنومالی فوق بصورت  $Au_5$  (As<sub>1</sub>- Pb<sub>1.7</sub>- Zn<sub>1</sub>)<sub>1</sub>، (Ag<sub>74</sub>-Sb<sub>1471</sub>) PPM می‌باشد. ضریب کانی سازی بر اساس (Ginsburg 1960) برای عناصر As, Sb در حد ضریب کانی سازی کانساری (بیش از ۱۰۰۰ گرم در تن) و برای عناصر Cu, Pb, Zn در حد ضریب غنی شدگی (بیش از ۷۰۰ گرم در تن) می‌باشد. جدول ۱- جدول پارامترهای آماری آنالیز عنصر طلا و عناصر همراه در (n=200) نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشت شده در منطقه مطالعاتی (گرم در تن).

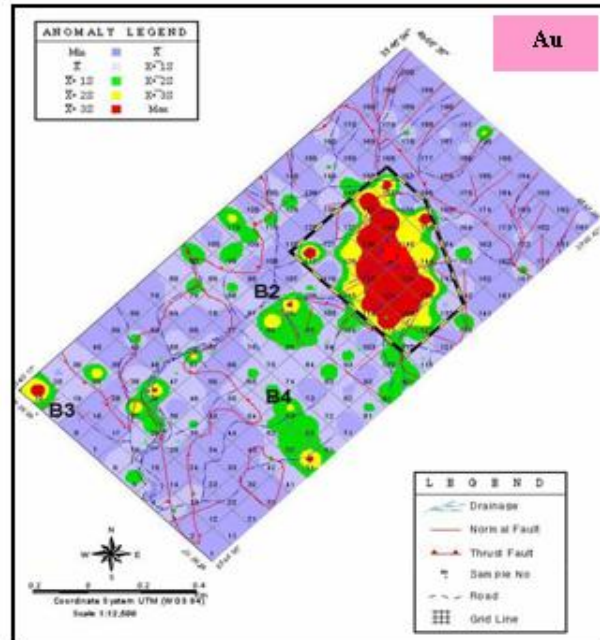
در منطقه مطالعاتی آنومالی‌هایی از عناصر Au, Ag, Sb, As, Pb, Zn, Cd, Ba, Cu را عمدتاً در سنگهای متاولکانیکی نسبت به متاکربناتها نشان می‌دهد. بزرگترین و اصلی‌ترین آنومالی ژئوشیمیایی براساس آنالیز تک متغیره منطقه شامل عناصر Au, Ag, Sb, As, Pb, Zn, Cd و Cu می‌باشد. محدوده فوق از حوالی مرکزی شبکه نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی شروع و در جهت شمالی- جنوبی و عمود بر روندهای جدول ۱- جدول پارامترهای آماری آنالیز عنصر طلا و عناصر همراه در (n=200) نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشت شده در منطقه مطالعاتی (گرم در تن).

| Parameter      | Au      | Ag      | As         | Sb        |
|----------------|---------|---------|------------|-----------|
| Mean           | 0.649   | 7.1875  | 1231.651   | 117.7825  |
| Mode           | 0.0078  | 0.3     | 3.75       | 2.5       |
| CV%            | 481.867 | 318.420 | 233.172    | 659.934   |
| Std. Deviation | 3.1261  | 22.89   | 2871.87    | 777.29    |
| Variance       | 9.7724  | 523.79  | 8247638.47 | 604173.80 |
| Skewness       | 9.363   | 4.69    | 3.39       | 9.76      |
| Kurtosis       | 104.237 | 22.1978 | 11.0198    | 100.960   |
| Minimum        | 0.0078  | 0.3     | 3.75       | 2.5       |
| 25th %tile     | 0.01    | 0.3     | 31.25      | 2.5       |
| Median         | 0.03    | 0.7     | 184        | 2.5       |
| 75th %tile     | 0.0975  | 2.4     | 980.5      | 13.75     |
| Maximum        | 14.65   | 133     | 13333      | 8970      |

### دگرسانی

مهمترین قدم در اکتشاف، مشخص کردن واحد زمین شناسی بارور توسط دگرسانیها می‌باشد که در اثر واکنش بین سنگ دیواره با محلول‌های کانسار ساز ایجاد می‌گردند (Ross et al., 2001). همچنین اغلب کانسارهای شناخته شده، الگوی منطقه بندی مناسبی از کانی سازی و دگرسانی سنگ دیواره را که بصورت‌های مختلفی توسط

بررسی (Rose et al., 1979) نشان می‌دهد که عناصری مانند Ag, Bi, Sb, As به عنوان ردیاب مناسب برای اکتشاف کانسارهای طلا به کار می‌روند. مطالعه توزیع و پراکندگی عناصر فوق در منطقه نشان می‌دهد که قوی ترین همبستگی بین طلا و عناصر Ag(+0.73)، As(+0.81)، Cu(+0.68)، Pb(+0.64) و Zn(+0.63) وجود دارد (جدول ۲).



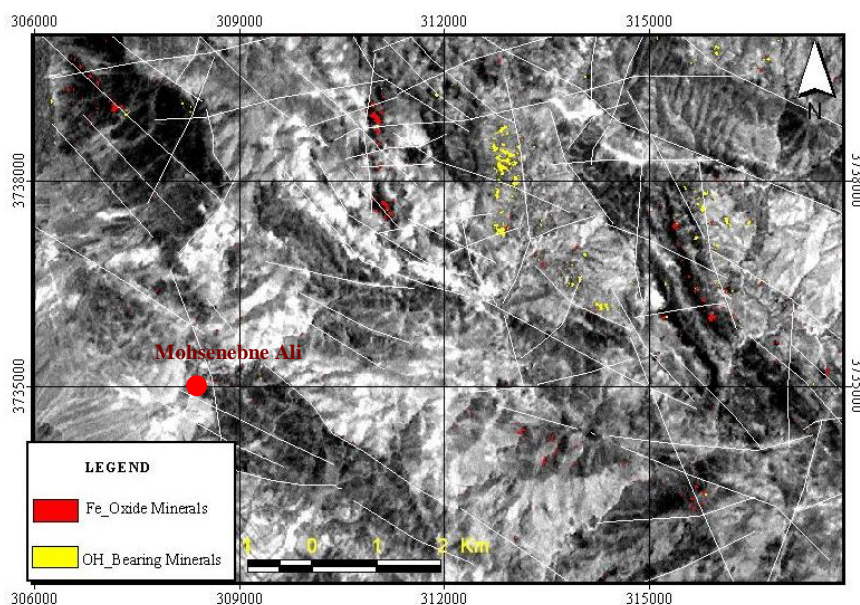
شکل ۴- نقشه شماتیک توزیع طلا در شبکه لیتوژئوشیمیایی منطقه محسن ابن علی و موقعیت آنومالی اصلی

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده بین طلا و سایر عناصر شیمیایی به روش پیرسون در نمونه های لیتوژئوشیمیایی منطقه (Swan and Sandilands, 1995)

| Variables | Pearson 's Correlation | Variables | Pearson 'sCorrelation |
|-----------|------------------------|-----------|-----------------------|
| Au        | As                     | S         | 0.526                 |
|           | Ag                     | Mo        | 0.503                 |
|           | Cu                     | V         | 0.456                 |
|           | Pb                     | Co        | 0.237                 |
|           | Sb                     | Ba        | 0.007                 |
|           | Zn                     | Br        | -0.148                |
|           | Fe                     | Sr        | -0.145                |
|           | Bi                     | Na        | -0.148                |
| Cd        | W                      | -0.205    |                       |

خطواره‌ها به روشنی مشاهده می‌گردد که دگرسانیها از روند گسلهای منطقه تبعیت می‌کنند. همانطور که ملاحظه می‌شود، دگرسانی اکسیدهای آهن عمدتاً در متاکربناتها و متاولکانیکها از روند گسلهای شمال غرب - جنوب شرق تبعیت می‌کنند. قابل ذکر است که دگرسانیهای رسی تشخیص داده شده در تصویر مربوط است به توده های نفوذی مجاور منطقه مطالعاتی که بیشترین گسترش آنها در امتداد گسلهای شمالی - جنوبی و در محل تقاطع گسلها تشکیل شده‌اند (اکبری و رسا، ۱۳۸۵).

مطالعات دگرسانی در منطقه بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نمونه برداری صحرائی و برداشت ۲۰ نمونه جهت آنالیز XRD و مطالعه مقاطع میکروسکوپی صورت گرفت. با استفاده از تصاویر ETM+ نقشه دگرسانیهای - گروه کانیهیهای هیدروکسیل (دگرسانی رسی) و کانیهیهای اکسید آهن بر اساس الگوی طیفی آنها استخراج شدند. شکل (۵) تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ساختارهای خطی و لایه دگرسانیهای استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ را نشان می‌دهد. با در نظر داشتن ارتباط دگرسانیها و



شکل ۵- نقشه ارتباط خطواره ها و دگرسانیهای گرمایی تفکیک شده بر اساس پردازش تصاویر ETM+

ولکانیکی نشان می‌دهد. در ادامه مهمترین دگرسانیهای ذکر شده، شرح داده شده است.

#### ۱- دگرسانی پروپلیتیک

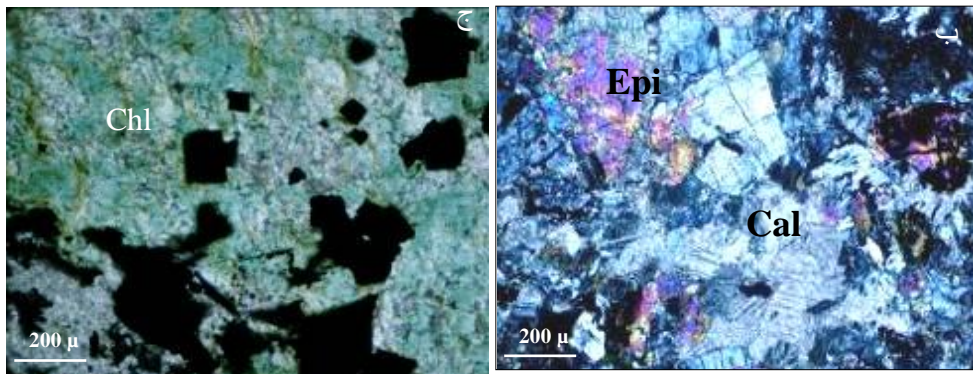
در محدوده مورد مطالعه دگرسانی فراگیر از نوع پروپلیتیک بوده و در سنگهای ولکانیکی آندزیتی - بازالتی مشاهده می‌شود. یکی از مهمترین شاخصهای این دگرسانی وجود کانی اپیدوت، کلریت و کربنات است

بر اساس مطالعات صحرائی، سنگ‌شناسی و پراش اشعه ایکس (XRD)، دگرسانیهای اصلی شامل پروپلیتیک، سیلیسی و کربناتی هستند. دگرسانی سربستی و هماتیتی نیز در منطقه مشاهده می‌شوند که گسترش کمتری دارند. دگرسانی پروپلیتیک بیشترین گسترش را در سنگهای ولکانیکی منطقه دارد (شکل ۵). دگرسانی سیلیسی و کربناتی نیز ارتباط نزدیکی با زونهای کانه‌دار و مناطق پردرز و شکاف سنگ میزبان



(Ross et al., 2001). با توجه به اینکه کانی غالب کلریت است، می‌توان دگرسانی پروپیلیتی با شاخص کلریتی نامید. پلاژیوکلازها در سنگهای ولکانیکی آندزیتی-بازالتی بطور عمده به کلریت،

اپیدوت، کلسیت و کانیهای مافیک به کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۶). این دگرسانی در بسیاری از کانسارهای گرمایی گسترش داشته و شاخصه مهمی از احتمال وجود کانی سازی می باشد.



شکل ۶- نمایی از دگرسانی پروپیلیتی در متاولکانیک های محدوده (الف) در مقیاس رخنمون، (ب) و (ج) در مقیاس میکروسکوپی شامل کانیهای اپیدوت (Epi)، کلسیت (Cal) و کلریت (Chl)

## ۲- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن ارتباط تنگاتنگی با کانی سازی در محدوده داشته بطوریکه اکثر رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی حاوی اکسید آهن شامل کانی سازی مس و طلا می‌باشند (شکل ۷ الف). این دگرسانی به دو صورت قابل مشاهده است:

۱- سیلیسی شدن فلدسپات های موجود در سنگهای ولکانیکی میزبان کانی سازی. شکل (۷ ب)

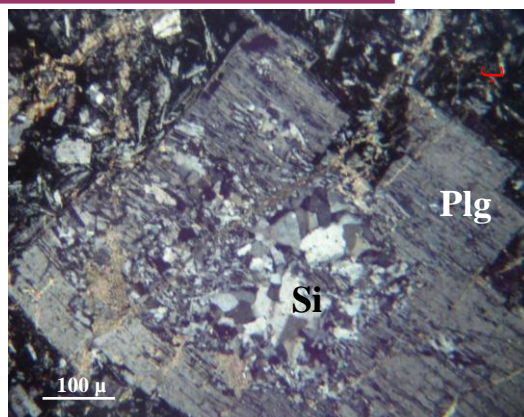
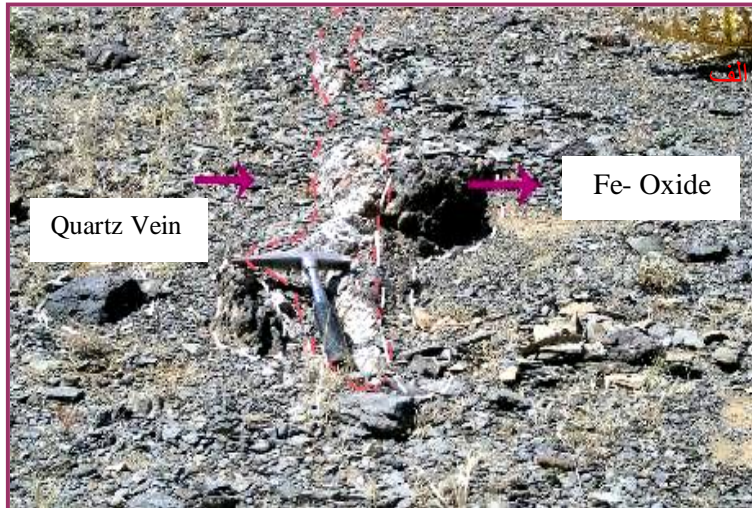
۲- رگچه‌های حداکثر به ضخامت ده سانتیمتر در سنگ های ولکانیکی میزبان کانی سازی (شکل ۷ ج)

## ۳- دگرسانی کربناتی

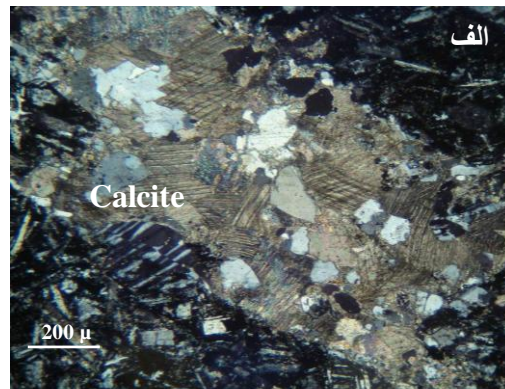
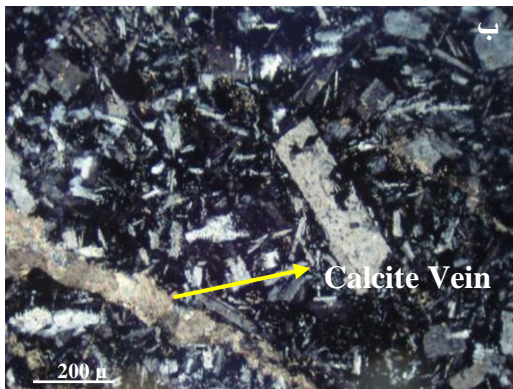
این دگرسانی نیز مانند دگرسانی سیلیسی بیشترین گسترش را در زونهای کانی سازی داشته و به صورت کربناتی شدن فلدسپات های موجود در سنگهای ولکانیکی میزبان کانی سازی (شکل ۸ الف) و رگچه‌ای و پرکننده شکستگیها در متن

سیلیسی در محدوده کانی‌سازی شده گسترش دارد. این دگرسانی همانطور که قبلاً اشاره شد، در زون پروپیلیتی نیز مشاهده می‌شود.

سنگ (شکل ۸ ب) قابل مشاهده است. این دگرسانی ارتباط تنگاتنگی با کانی‌سازی در محدوده داشته و همراه با رگه‌ها و رگچه‌های



شکل ۷- نمایی از رگه های سیلیسی و رگه های اکسید آهن در متاولکانیک های محدوده (الف) در مقیاس رخنمون، (ب) و (ج) درمقیاس میکروسکوپی، سیلیسی شدن (Si) فلدسپات ها در آندزیت‌های میزبان کانی سازی



شکل ۸ (الف) و (ب)- نمایی از دگرسانی کربناتی بصورت کربناتی شدن فلدسپات ها (الف) و رگچه‌ای (ب) در زونهای کانی سازی درمقیاس میکروسکوپی

## کانی سازی

پس از اکتشافات لیتوژئوشیمیایی و معرفی آنومالی اصلی، بررسیهای صحرایی جهت مطالعات کانی‌سازی به عمل آمد. تعداد ۱۰ نمونه سنگی از زونهای کانی‌سازی در محدوده برداشت شد که توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) در آزمایشگاه Amdel استرالیا جهت عنصر طلا آنالیز گردید.

بر اساس این بررسیها و مطالعات مینرالوگرافی نمونه‌های برداشت شده از زونهای کانی‌سازی، می‌توان گفت میزبان کانی‌سازی سنگهای ولکانیکهای حدواسط شامل آندزیتی و توفهای حدواسط می‌باشد که به دو صورت ۱- رگه‌ای، ۲- رگچه ای رخ داده است:

۱- کانی‌سازی رگه‌ای: این نوع کانی‌سازی در محدوده شامل رگه‌های سیلیسی سرشار از اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد که به همراه کانی‌سازی رگچه‌ای در داخل ولکانیکهای حدواسط مشاهده می‌شود (شکل ۹ الف). حداکثر ضخامت این رگه‌ها ۴۰ سانتیمتر و بصورت منقطع طولی حدود ۱۰۰ متر دارند. روند این رگه‌ها شمال غرب-جنوب شرق بوده که از گسلها و روندهای اصلی ساختاری در منطقه تبعیت می‌-

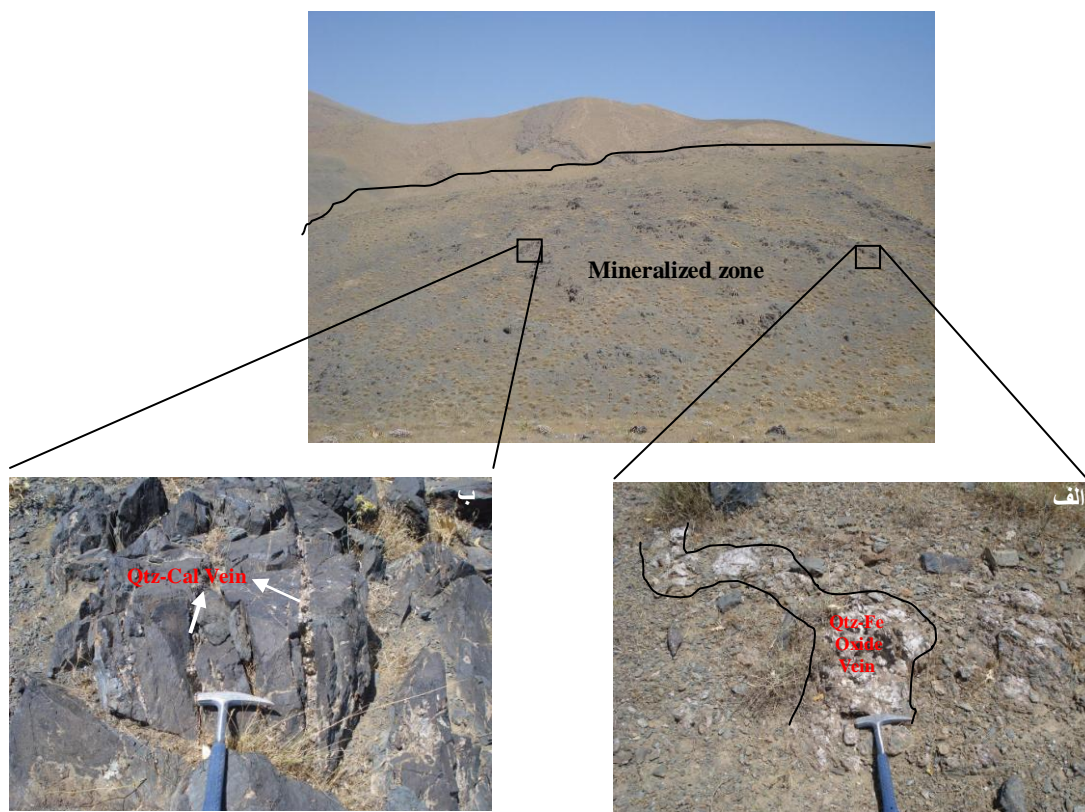
کنند. تعداد ۴ عدد از این رگه‌ها در محدوده کانی‌سازی قابل مشاهده است. کانی‌شناسی این رگه‌ها به دلیل اکسید شدن سولفیدها شامل اکسیدهای آهن از قبیل هماتیت و گوتیت می‌باشد. عیار طلا در ۳ نمونه برداشت شده از این رگه‌ها ۹/۸، ۱/۷۴ و ۲/۳ گرم در تن می‌باشد که نشان دهنده اهمیت بسزای این رگه‌ها در محدوده می‌باشد (جدول ۳).

۲- کانی‌سازی رگچه‌ای: نوع دیگر کانی‌سازی بصورت رگچه‌های سیلیسی-کربناتی در ابعاد کم وسعت و پراکنده به صورت پراکنده حفرات و سطوح درز و شکاف سنگها دیده می‌شود. این نوع کانی‌سازی در محدوده وسعتی حدود ۳۰۰ در ۴۰۰ متر داشته که منطبق بر آنومالی اصلی بدست آمده از اکتشافات لیتوژئوشیمیایی در محدوده می‌باشد (شکل ۹ ب). عیار طلا در رگچه‌ها در ۴ نمونه برداشت شده حداکثر ۵/۱ گرم در تن می‌باشد (جدول ۳). مهمترین کانیهای موجود در این رگچه‌ها شامل کالکوپیریت، بورنیت، پیریت و کانیهای ثانویه کوولیت و مالاکیت می‌باشد. بافت این کانیها نیز بصورت رگچه‌ای و پراکنده فضاهای خالی است (اشکال ۱۰ الف تا د).

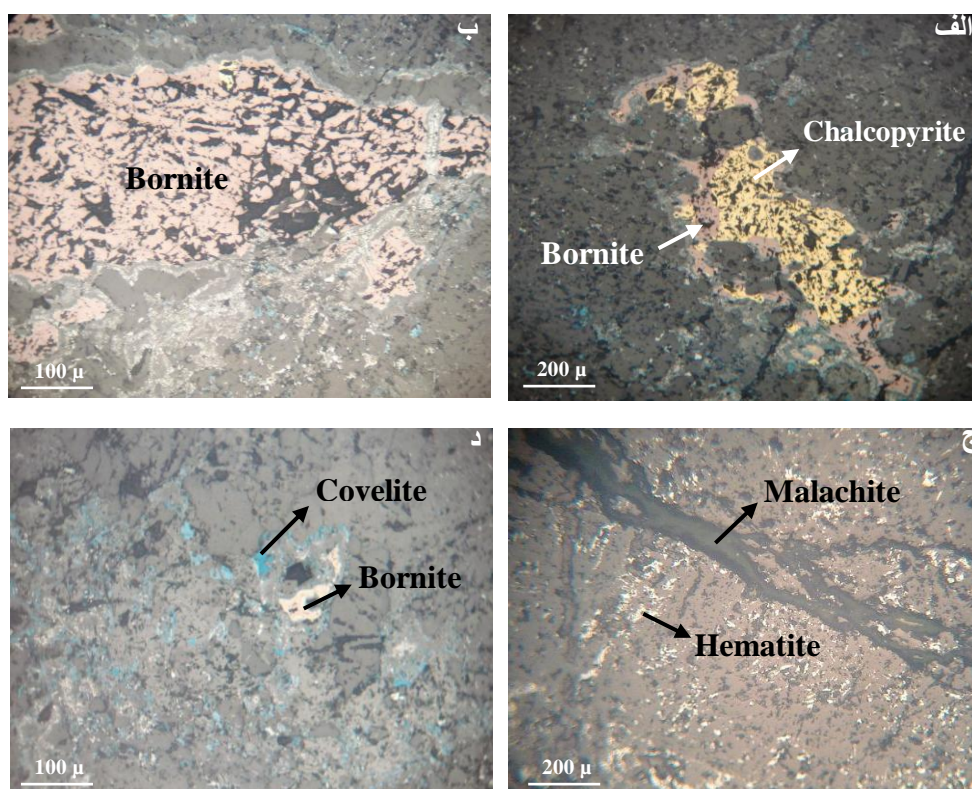
جدول ۳- آنالیز ۱۰ نمونه سنگی توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) از محدوده کانی‌سازی

| ردیف | شماره نمونه | توصیف نمونه                                     | عیار طلا (ppm) |
|------|-------------|---|----------------|
| ۱    | M-A-1       | رگچه‌های سیلیسی-کربناتی آغشته به مالاکیت        | 0.1            |
| ۲    | M-A-2       | رگچه‌های سیلیسی-کربناتی حاوی سولفید             | 0.5            |
| ۳    | M-A-3       | رگچه‌های سیلیسی-کربناتی حاوی سولفید و اکسید آهن | 0.07           |
| ۴    | M-A-4       | رگچه‌های سیلیسی آغشته به مالاکیت و اکسید آهن    | 0.2            |
| ۵    | M-A-5       | رگه سیلیسی سرشار از اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن  | 9.8            |
| ۶    | M-A-6       | عدسیهای منقطع سیلیسی سرشار از اکسید آهن         | 2.3            |
| ۷    | M-A-7       | رگه سیلیسی-کربناتی حاوی اکسیدهای آهن            | 1.74           |
| ۸    | M-A-8       | آندزیتها با دگرسانی کلریتی شدید                 | 0.01>          |

|    |        |  |       |
|----|--------|--|-------|
| ۹  | M-A-9  | متاولکانیکهای آندزیتی حاوی پیریت بصورت پراکنده | 0.01> |
| ۱۰ | M-A-10 | متاکربناتهای سیلیسی شده                        | 0.01> |



شکل ۸ - کانی سازی نوع رگه‌ای (الف) و رگچه‌ای (ب) در زون کانی سازی محدوده محسن ابن علی



شکل ۹ - (الف) - کانی کالکوپیریت و بورنیت در رگچه سیلیسی - کلسیتی (ب) - کانی درشت بورنیت در رگچه سیلیسی - کربناتی (ج) - رگچه مالاکیتی در داخل شکستگی سنگهای متاولکانیکی (د) - کانی کوولیت که از تبدیل بورنیت تشکیل شده

### توالی پاراژنتیکی کانیها

بر اساس مطالعات کانی شناسی و روابط بافتی و ساختی، ارتباط زمانی فرایندهای کانی سازی در منطقه از پیچیدگی خاصی برخوردار نمی باشد. بر این اساس دو مرحله اصلی کانی سازی گرمابی و هوازدگی را در تکامل کانی سازی منطقه می توان در نظر گرفت. در مرحله کانی سازی گرمابی سیالات گرمابی حاوی سیلیس،  $CO_2$  و کمپلکسهای حامل فلزات به داخل گسلها و درز و شکافهای موجود در سنگهای ولکانیکی منطقه نفوذ کرده و باعث دگرسانی سیلیسی و کربناتی در سنگهای ولکانیکی منطقه شده است. با توجه به اینکه رگچه های کلسیتی حاوی سولفید، دگرسانی سیلیسی را قطع نموده اند، میتوان گفت ابتدا دگرسانی سیلیسی و سپس دگرسانی کلسیتی به وجود آمده است. سولفیدها نیز از جمله پیریت، کالکوپیریت و بورنیت در اثر کاهش دما، فشار و تغییر شرایط Eh و PH، در رگه ها و رگچه های سیلیسی-کربناتی نهشته شده اند. بطوریکه پیریت در مرحله اول همراه با دگرسانی سیلیسی و سایر سولفیدها بیشتر همراه با دگرسانی کربناتی دیده می شوند. مرحله اصلی نهشت طلا نیز همراه با سایر عناصر در رگه ها و

رگچه های سیلیسی-کربناتی و در شبکه سولفیدها بوده است. طلا می تواند بصورت کمپلکسهای کلریدی و تیو کمپلکسهای طلا در سیالات گرمابی حمل شود. بطور کلی کمپلکس های کلریدی طلا ( $AuCl_2^-$ ) در سیالات دما بالا ( $>300$ ) و اسیدی ( $pH < 3/5$ ) و مخصوصاً تحت شرایط اکسید و تیو کمپلکس های طلا ( $Au(HS)_2^-$ ) تحت شرایط دمایی پائین تر و pH بالاتر (نزدیک به خنثی)، حمل کننده اصلی طلا هستند (Huston, 2000). این کمپلکسهای حمل کننده طلا با تغییر شرایط محیط از جمله دما و فشار، Eh و PH ناپایدار شده و باعث آزاد شدن طلا می شود. مرحله دوم در تکامل کانی سازی منطقه فرایندهای هوازدگی و سوپرژن می باشد. در طی این مرحله کانیهای سولفیدی اولیه اکسید شده و اکسیدهای آهن و کانیهای ثانویه نظیر کوولیت و مالاکیت تشکیل شده اند. طلا در این مرحله به همراه اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن باقی مانده و باعث بالارفتن میزان آن در زونهای اکسیدان شده است. بر اساس روابط بافتی و ساختی، مراحل کانی سازی و تقدم و تاخر کانیها نسبت به یکدیگر در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- توالی پاراژنتیکی کانیها در محدوده کانی سازی محسن ابن علی

|          |                         |          |
|----------|-------------------------|----------|
| Minerals | Hypogene Mineralization | Supergen |
|----------|-------------------------|----------|

|                        |                      |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Ore minerals</b>    |                      |                      |
| Pyrite                 | ████████████████████ |                      |
| Chalcopyrite           | ████████████████████ |                      |
| Bornite                | ████████████████████ |                      |
| Gold                   | ████████████████████ |                      |
| Covelite               |                      | ████████████████████ |
| Malachite              |                      | ████████████████████ |
| <b>Gangue minerals</b> |                      |                      |
| Hematite               |                      | ████████████████████ |
| Goethite               |                      | ████████████████████ |
| Quartz                 | ████████████████████ |                      |
| Calcite                | ████████████████████ |                      |

### بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد معیارهای موثر در شناسایی پتانسیل معدنی طلا با استفاده از ابزارهای مطالعاتی و روشهای آماری مشخص گردد. اکتشافات لیتوژئوشیمیایی در منطقه، آنومالی اصلی منطقه را با عناصر  $Au, Sb, Ag, As, Cu, Pb, Zn$  در متاولکانیکهای حدواسط تا بازیک دگرسان در جهت عمود بر روند واحدهای سنگی بین دوگسل تراستی مشخص کرد. میانگین غلظت عناصر در آنومالی فوق بصورت  $PPM (Au_5-Ag_{74}-Sb_{1471})$  و  $(As_1)$  می‌باشد. تشابه منطقه‌ای مجموع این عناصر دلالت بر آن دارد که مجموع این عناصر یک پاراژنز ژئوشیمیایی را تشکیل و سولفیدها بخشی از توزیع طلا را در منطقه کنترل می‌کنند. الگوی همبستگی عناصر مشخص کرد که طلا بیشترین همبستگی را با عناصر  $As (+0.81)$ ،  $Pb (+0.64)$ ،  $Cu (+0.68)$ ،  $Ag (+0.73)$  و  $Zn (+0.63)$  دارد. می‌توان استنباط کرد که عناصر  $Ag, As, Sb, Cu$  نزدیکترین ردیابهای طلا هستند. با توجه به بازدیدهای صحرائی، آنومالی طلا در ارتباط با کانی‌سازی، بصورت رگه و رگچه‌های سیلیسی- کربناتی پرکننده درز و شکافها و شکستگیها می‌باشد که از روند

ساختارهای اصلی منطقه پیروی می‌کنند. با توجه به اینکه طلا در مقاطع صیقلی مطالعه شده از این رگچه‌ها دیده نشده است. بنابراین طلا می‌تواند در شبکه سولفیدها از جمله پیریت، کالکوپیریت و بورنیت باشد. نمونه‌برداری اولیه از بخشهای حاوی کانی‌سازی نتایج امیدوارکننده‌ای را دربر داشته است. بطوریکه یکی از نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های سیلیسی آهن‌دار تا  $9/8$  گرم در تن طلا را نشان داده است. مهمترین دگرسانیها در محدوده شامل پروپیلیتی، سیلیسی و کربناتی می‌باشد. دگرسانی پروپیلیتی بیشترین گسترش را در متاولکانیکهای منطقه داشته در حالی که دگرسانی سیلیسی و کربناتی ارتباط تنگاتنگی را با کانی‌سازی در محدوده دارد. علاوه بر این دگرسانی هماتیتی و سربسیتی نیز با گسترش کمتر در منطقه مشاهده می‌شوند.

با توجه به قرارگیری منطقه مطالعاتی در زون سنندج- سیرجان و با علم به اینکه این زون ساختاری خاستگاه بسیاری از معادن، کانسارها و نشانه‌های متعدد طلا با تیپ‌های مختلف کانی‌سازی می‌باشد (قلقله، کروپان، قبلوجه، حمزه قرنین، میرگه و نقشینه، شیخ چوپان، زاوه کوه و باریکا)، می‌توان گفت که کانی‌سازی در محدوده محسن ابن علی نیز بایستی مورد توجه قرار بگیرد.

با استناد به مطالعات انجام شده و داده های موجود، تعیین تیپ دقیق کانی سازی نیاز به تحقیقات مدون تری دارد. اما با توجه به نوع لیتولوژی، انواع دگرسانیها و شکل کانی سازی می-توان گفت کانی سازی طلا ارتباط مستقیم با روند شکستگیها و گسلهای منطقه دارد. سیالات گرمایی حاوی سیلیس،  $CO_2$  و کمپلکسهای حامل فلزات به داخل گسلها و درز و شکافهای موجود در سنگهای ولکانیکی منطقه نفوذ کرده و ضمن ایجاد دگرسانی در سنگهای دربرگیرنده، در اثر کاهش دما و فشار و تغییر شرایط Eh و PH، باعث نهشت کانیهای سولفیدی از جمله پیریت، کالکوپیریت و بورنیت در رگه ها و رگچه های سیلیسی- کربناتی شده است. مرحله اصلی نهشت

## منابع

- اسدی هارونی، ه.، سلطانی، م.، حدادی، ر.، ۱۳۸۱. بررسی های دورسنجی به منظور شناسائی نواحی پتانسیل دار ذخایر استان لرستان، شرکت مهندسی مشاور.

- اکبری، ز.، رسا، ا.، ۱۳۸۶. اکتشافات ژئوشیمیایی، کانی سنگین و آلتراسیون و دورسنجی منطقه محسن ابن علی بروجرد با نگرشی ویژه بر کانی سازی طلا و عناصر همراه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۰ص.

- اکبری، ز.، رسا، ا.، ۱۳۸۵. استفاده از سنجش از دور جهت تعیین نواحی امید بخش در منطقه محسن ابن علی بروجرد، خلاصه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهران.

- تاج الدین، ح. ع.، شمسا، م. ج.، ۱۳۸۵. کانه زایی طلای تیپ کوهزایی در منطقه سقز- سردشت معیاری برای اکتشاف طلا در سنگ های دگرگونه شمال غرب پهنه سنندج-سیرجان،

طلا نیز همراه با سایر عناصر در این مرحله بوده است. توده های نفوذی عمقی می تواند به عنوان موتور حرارتی و منشا بخشی از سیال کانی ساز در محدوده در نظر گرفته شود. چرا که در فاصله ۲ کیلومتری شرق محدوده رخنمون توده نفوذی گراندیوریتی نلخاست با سن ژوراسیک وجود دارد.

بنابراین با توجه به نحوه کانی سازی در منطقه، لزوم پیگیری روندهای ساختاری به همراه دگرسانیهای مربوطه در لیتولوژیهای مشابه توسط پردازش تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالاتر و کنترل زمینی آنها و تعیین گستره اصلی کانی سازی در منطقه محسن ابن علی ضروری به نظر می رسد.

خلاصه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهران.

- حاج ملاعلی، ع.، ۱۳۷۰. گزارش نقشه زمین شناسی یکصد هزار برگه بروجرد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهران.

- حسنی پاک، ع. ا.، شرف الدین، م.، ۱۳۸۰. تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۷۰ص.

- محجل، م.، سهندی، م. ر.، ۱۳۷۸. تکامل تکتونیکی پهنه سنندج- سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه های جدید در آن، مجله علوم زمین، سال هشتم، شماره ۳۱-۳۲، ص ۴۶-۲۸.

- مصدق، غ. ر.، ۱۳۸۱. گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک مقیاس یکصد هزار برگه بروجرد، سازمان صنایع و معادن استان لرستان، مهندسی مشاور کان ایران.

-Wellmer, F.W., 1998. Statistical evolution in exploration for mineral deposits, Springer Verlag, New York, 379 p.

-Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros Orogenic Belt of Iran, new data and interpretation Tectonephysic, v.44, p.37-210.

-Foster, R.P., 1993. Gold Metallogeny and exploration. Blackie and son, Glasgow, 432p.

-Ginsburg, I.I., 1960. Principles of Geochemical Prospecting. Trans by V.P.Sokoloff, New York and London, Pergamon, 311 p.

-Huston, D., 2000. Gold in Gold in volcanogenic massive sulfide deposits: distribution, Genesis, and Exploration, SEG Review, v.13, p.401-426.

-Kylie, P., 2007. Application of litho geochemistry to gold exploration in the St Ives goldfield, Western Australia, Exploration, Environment, Analysis, v. 7, ( 2), p.99-108.

-Rose, A.W., Hawkes, H.E., and Webb, J.S., 1979. Geochemistry in mineral exploration, Academic press, New York, 657 p.

-Ross, R., Large., Rodney, L. Allen ., and Michael, D ., 2001. Hydrothermal alteration and volatile element halos for the Rosebery K Lens Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Western Tasmania , Economic Geology, v. 96, ( 5), p.1055-1072.

-Sanford, F., Pierson, T., and Crovelli, R.A., 1993. An objective replacement method for censored geochemical data, Journal. Mathematical Geology, v.27, p.59-79.

- Swan, A.R.H., and Sandilands, M., 1995. Introduction to geological data analysis ,Blackwell Science, Cambridge, 446 p.

-Venkataraman ,G ., Madhavan, B ., Ratha, D.S ., and SinhaRoy, S., 2000. Spatial modeling for base metal mineral exploration through integration of geological datasets, Journal Natural Resources Research, v.9, (1) , p. 27-42.



