

# مطالعات کانی سنگین و لیتوژئوشیمیایی جهت اکتشاف طلا در منطقه محسن ابن علی بروجرد (شمال غرب ایران)

زهرا اکبری<sup>(۱\*)</sup>، ایرج رسا<sup>۲</sup> و محمد هزاره<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم آباد

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۵

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۱

## چکیده

منطقه محسن ابن علی در جنوب شرق شهرستان بروجرد، در شمال غرب پهنه سندانج- سیرجان واقع شده است. اغلب سنگ‌های رخنمون یافته در این منطقه، توالی آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده (رخساره شیبست سبز) به سن تریاس است. مطالعات کانی سنگین به همراه آنالیز عناصر کمیاب جزء غیرمغناطیسی آن، ویژگی‌های زمین شناسی ناحیه منشا را مشخص نموده است. در مطالعات کانی سنگین کانیهای طلا، استیبینیت، سولفور، اورپیمان، ملاکیت و پیریت، مشاهده شده است. کانیهای سنگین مشاهده شده بر واحدهایی با دگرسانی‌های متفاوت و پهنه‌های کانه‌دار منطبق می‌باشند. حاصل مطالعات لیتوژئوشیمیایی در منطقه دو نتیجه مهم داشته است: ابتدا بررسی الگوی توزیع عناصر فرعی، کمیاب و معرفی منطقه آنومال. دوم بررسی ترکیب و الگوی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و مدل منطقه‌بندی به منظور پیش بینی احتمال کانی سازی طلا در منطقه. بر این اساس آنومالی طلا در وسط شبکه لیتوژئوشیمیایی در جهت عمود بر امتداد واحدهای سنگی در متاولکانیکهای حدواسط- بازیک با دگرسانیهای کلریتی-کربناتی، سیلیسی و هماتیتی مشخص شده است. میانگین غلظت عناصر در آنومالی فوق به صورت  $(Au5-Ag74-Sb1471) (As^1) \%$  می‌باشد. در ماتریس همبستگی، طلا بیشترین همبستگی را با عناصر آرسنیک، نقره، مس، سرب و روی نشان می‌دهد. الگوی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه عناصر منطقه بندی قائم با توالی  $[W-Cr-Co-Mo-V-Bi-Cu-(Au)-Cd-Zn-Pb-Ag-Sb-As-Ba]$  را در منطقه نشان می‌دهند. این الگو تشابهی را با توالی منطقه بندی هاله‌های اولیه کانسارهای طلا و فلزات پایه نشان می‌دهد. با توجه به تطابق نتایج مطالعات کانی سنگین، مطالعات لیتوژئوشیمیایی و بررسی‌های صحرائی، احتمال پتانسیل کانی سازی طلا در منطقه مطالعاتی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: طلا، کانی سنگین، اکتشافات لیتوژئوشیمیایی

## مقدمه

شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی - آتشفشانی دگرگون شده زیردریایی شامل مرمر، کوارتزیت و مجموعه آتشفشانی حدواسط و بازیگ با ساختارهایی از گدازه تا توف می باشد (شکل ۲ الف). واحدهای متاکربناتی با گسترش زیاد و مورفولوژی چهره ساز، شامل آهک بلورین چین خورده و همچنین رگه های محتوی ترکیبات آهن دار و سیلیسی است. واحد متاولکانیکی در منطقه به صورت تپه ماهوری با سطح فرسایش صاف و تیره مشاهده می شود (شکل ۲ ب). این محدوده به علت همجواری با برخورد دو ایالت زمین ساختی از جنبش خاصی برخوردار بوده، به طوریکه کلیه واحدهای سنگی از سوی شمال خاوری به سمت جنوب باختری بر روی یکدیگر رانده شده‌اند. سیستم های گسلش در منطقه کم شیب و پر فشار می باشند و جهت راندگی از شمال به سمت جنوب مشاهده می شود. گسل های اصلی با روند شمال غرب - جنوب شرقی، از روند اصلی زاگرس تبعیت نموده و گسل هایی با روند شمال خاوری - جنوب باختری باعث جابجایی گسلهای نوع اول شده است (اکبری، ۱۳۸۶).

## مطالعات کانی های سنگین

مطالعات کانی سنگین می تواند نقشی مهم در اکتشاف کانسارهای اولیه و کانسارهای پلاسری داشته باشد (Dill, 1998). بررسی های کانی های سنگین در محیط های آبرفتی در اروپای میانی و کانادا (Eyles and Kocsis, 1989) و همچنین در رسوبات مخروط افکنه نیوزلند (Youngson and Craw, 1996) منجر به شناسایی کانی سازی طلا شده است. همچنین مطالعات کانی های سنگین می تواند مشخصات ناحیه منشا (ایالت های پترولوژی رسوبی - ولکانیکی) و نوع دگرسانی واحدهای سنگی منطقه را نیز مشخص نماید (Westerhof, 1986). لذا تشخیص منشا و منبع تمرکز کانی های سنگین به عنوان کانی های ردیاب<sup>۱</sup> می تواند در شناسایی پتانسیل های معدنی نقشی مهمی داشته باشد.

در منطقه مورد مطالعه با توجه به هدف شناسایی پتانسیل احتمالی طلا و تشخیص سنگ منشا، مطالعات کانی های سنگین به روش تعیین اپتیکی (میکروسکوپی) جهت تخمین مقدار طلای قابل رویت همراه با کانی های ردیاب آن انجام گرفته است.

طلا می تواند به صورت عنصر آزاد در کانی های سنگین یا به صورت عنصر درگیر در شبکه کریستالی کانی هایی چون پیریت و کالکوپیریت حضور داشته باشد که با روش های آزمایشگاهی قابل تشخیص است (Maccready et al., 2003). در این مطالعه اقدام به آنالیز شیمیایی بخش غیرمغناطیسی کانی های سنگین به روش ICPMS شده است.

در منطقه مورد مطالعه، ۴۲ نمونه کانی سنگین با هدف کنترل کانی های پاراژنز طلا با توجه به گسترش رخنمون های سنگی، اطلاعات کلی زمین شناسی، تکتونیک و سنگ شناسی برداشت گردیده است. نمونه کانی های سنگین از عمق ۱۰ سانتیمتر در

اکتشاف طلا در اکثر نقاط کشور به ویژه در شمال غرب (زون سنندج - سیرجان) به اجرا درآمده است. موقعیت خاص تکتونیک و گستره سنگ های دگرگونی و استعداد ویژه آنها برای میزبانی طلا، منجر به اکتشاف رخدادهای کانه زایی طلا در این زون از جمله قفله، کرویان، قبلوجه، حمزه قرنین، میرگه و نقشینه، شیخ چوپان، زاوه کوه و باریکا شده است. این مناطق ابتدا با عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه ای در ورقه های سقز و آلت مورد شناسایی قرار گرفته و طی مراحل مختلف اکتشافات سیستماتیک، محل دقیق هریک مشخص شده است (تاج الدین، ۱۳۸۵). منطقه محسن ابن علی با مختصات جغرافیایی ۴۸°۵۵' تا ۴۹° طول شرقی و ۳۳°۴۳' تا ۳۳°۴۷' عرض شمالی در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق بروجرد در استان لرستان واقع شده است (شکل ۱). منطقه مطالعاتی بر اساس نتایج مطالعات ژئوشیمیایی ناحیه ای برگه بروجرد در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (مصدق، ۱۳۸۱)، از نظر پتانسیل کانی سازی با اهمیت تشخیص داده شده و ادامه عملیات در آن پیشنهاد شده است. در این مقاله، ارزیابی و تلفیق جدیدترین نتایج بدست آمده با مطالعه کانی های سنگین و آنالیز عناصر کمیاب جزء غیرمغناطیسی<sup>۱</sup> آن و همچنین اکتشافات لیتوژنوشیمیایی جهت پیش بینی منطقه از نظر پتانسیل طلا ارائه شده است.



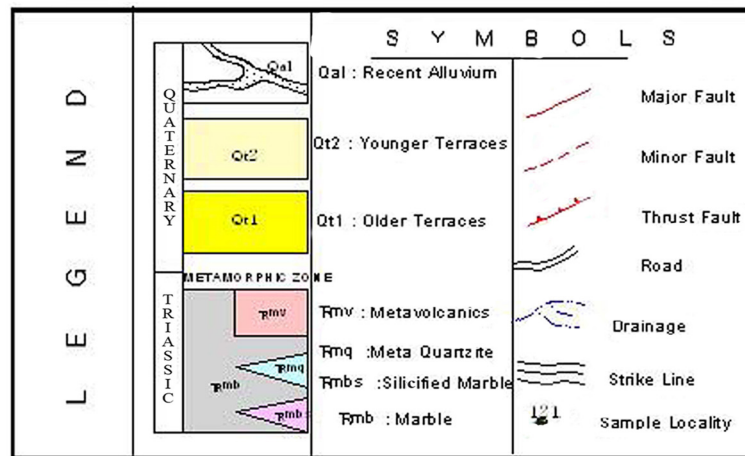
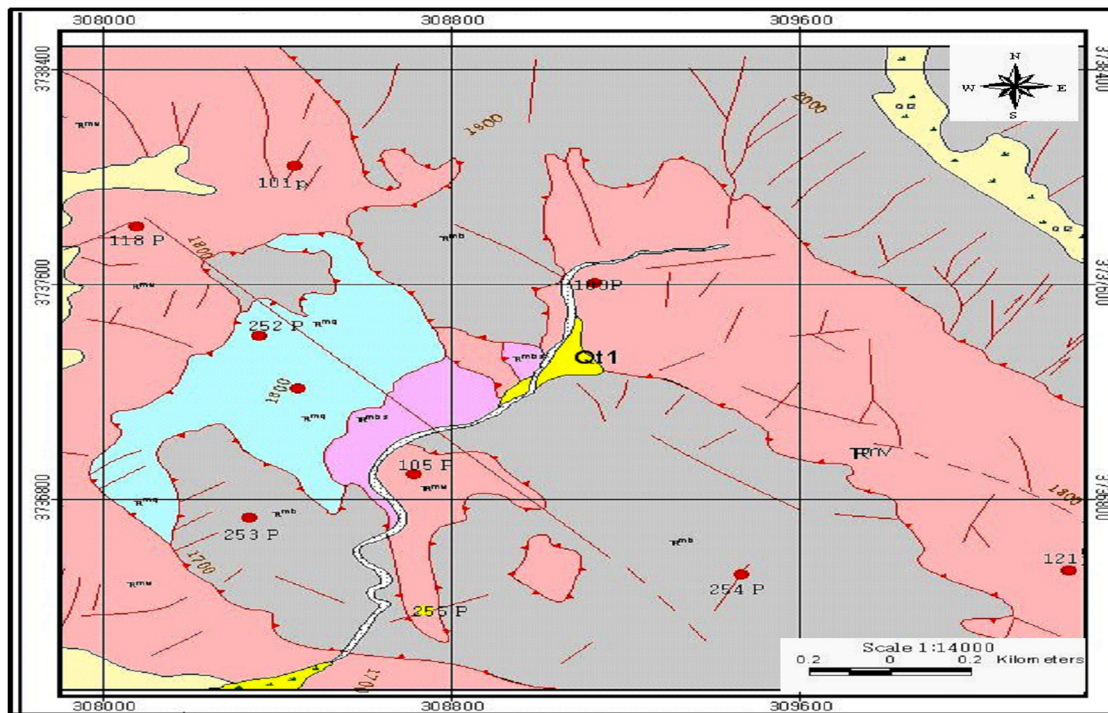
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه محسن ابن علی بروجرد در استان لرستان

## زمین شناسی

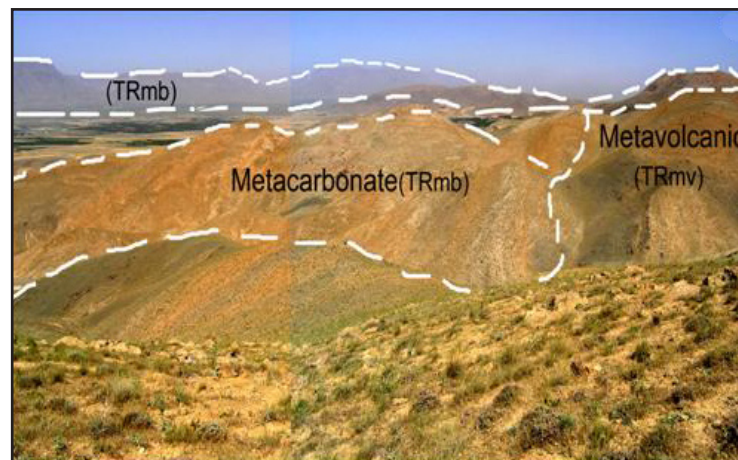
منطقه محسن ابن علی از نظر تقسیم بندی ساختاری در زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده در محدوده شمال باختری پهنه سنندج - سیرجان (محجل و سهندی، ۱۳۷۸) واقع شده است. این منطقه از نظر زمین ساختی - ماگمایی، متأثر از رویدادهای حاصل از باز و بسته شدن نئوتیس از اواخر پالئوژوئیک تا دوران سوم قرار داشته است. توالی چینه ای منطقه بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ به سن تریاس میانی - پایانی با امتداد شمال باختر - جنوب خاور

1 - Non Magnetic Fraction (NM)

2 - Pathfinder mineral



الف



ب

شکل ۲- الف) نقشه زمین شناسی منطقه محسن ابن علی. ب) نمایی از توالی واحدهای متاولکانیکی و متاکربناتی در منطقه (نگاه به جنوب غربی)

کلریت، کلسیت و اکسیدهای آهن که مشخصه دگرسانی های فوق هستند، مشاهده شده است. می توان چنین نتیجه گرفت که علت وجودی هاله های ثانویه مرتبط با کانی سازی و هاله های حاصل از پدیده های سنگزایی نمونه های کانی سنگین، واحدهای سنگی ولکانیکی دگرسان شده با آثار کانی سازی سطحی فوق الذکر می باشند.

### بررسی نتایج آنالیز کمی جزء غیرمغناطیسی کانی های سنگین (NM)

کانی های کانسار ساز به جز تعداد معدودی همچون مگنتیت، ایلمنیت، کرومیت و هماتیت در گروه کانی های غیرمغناطیسی قرار دارند. طلا به صورت عنصر درگیر در شبکه کریستالی کانی های غیر مغناطیسی حضور دارد که با روش های آزمایشگاهی قابل تشخیص است (Carmen, 2003).

برای درک بهتر از نحوه انتشار طلا و عناصر پاراژنز آن، آنالیز شیمیایی جزء غیرمغناطیسی (NM) نمونه کانی های سنگین صورت گرفته است. آنالیز به روش ICPMS در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا برای عناصر کمیاب انجام شده و سپس پردازش آماری و ترسیم نقشه ها انجام شده است. طبق نتایج آنالیز شیمیایی، غلظت Au از یک میلی گرم در تن تا ۱/۷ گرم در تن تغییر می کند. منحنی های هیستوگرام، نمودار تجمع و محاسبه مقادیر چولگی، بیانگر تقارن نداشتن الگوی توزیع طلا می باشد. حضور نمونه های عیار بالا سبب انحراف شکل توزیع به طرف مقادیر بالا شده و دو جامعه کاملاً مجزا که احتمالاً مرتبط با کانی سازی است، قابل تشخیص می باشد (شکل ۴). بررسی های آماری و نقشه متغیرهای عناصر (Au, As, Ag, Sb) و (Pb, Zn, Cd, Ba) (شکل ۵ الف-ب) عیارهای بالا و همسوئی مشخصی را در روند آنومالی در حوضه غربی منطقه (حوضه شمال روستای محسن ابن علی) نشان می دهند.

### اکتشافات لیتوژئوشیمیایی<sup>۱</sup>

یکی از روش های 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). انجام مطالعات لیتوژئوشیمیایی به عنوان یک ابزار اکتشافی با بررسی توزیع و فراوانی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در توده های سنگی و معرفی آنومالیا، مطالعه ترکیب و توزیع هاله های ژئوشیمیایی اولیه و توسعه مدل منطقه بندی، در اکتشاف کانی سازی های پنهان سودمند می باشد (Venkatarman et al., 2000). به منظور آگاهی از فراوانی ژئوشیمیایی طلا و عناصر همراه در رخنمون های سنگی و دگرسانی های همراه و همچنین جهت شناسایی عوامل کنترل کننده ساختاری و لیتولوژیکی

محل تمرکز رسوبات دانه درشت آبراهه ای به حجم ۲۰ لیتر با استفاده از الک با مش ۲۰ (کمتر از ۲ میلی متر) برداشت گردیده است. نمونه ها پس از آماده سازی بصورت کیفی و کمی با استفاده از میکروسکوپ بینوکولر در سازمان زمین شناسی کشور مورد مطالعه و پردازش قرار گرفته اند.

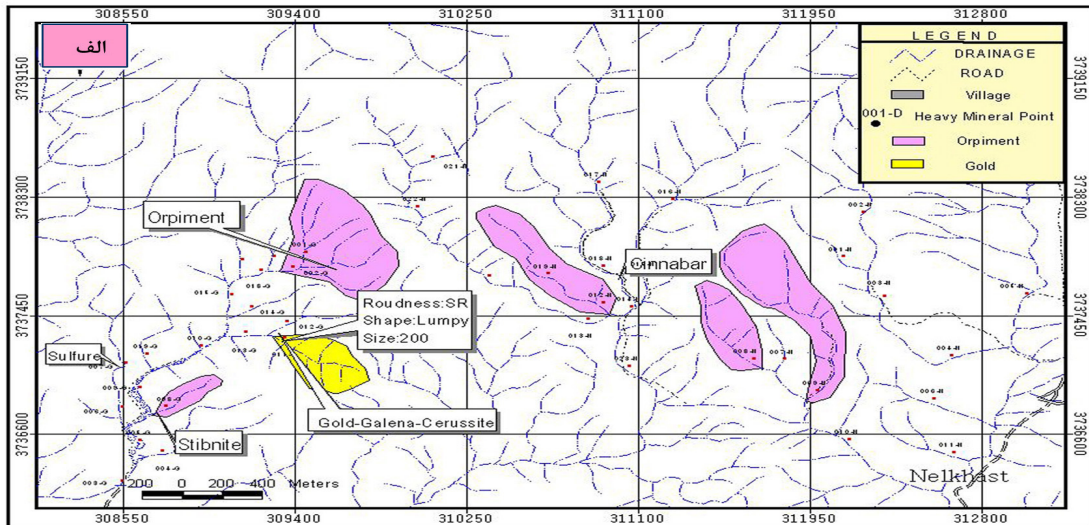
کانی های مطالعه شده به دو گروه کانی های سنگ ساز (پیروکسن، مگنتیت، آمفیبول، اپیدوت، گارنت، هماتیت، اپیدوت، کلریت، بیوتیت و موسکویت) و کانی های کانسار ساز شامل طلا، نقره، سینابر، استینیت، اورپیمان، باریت، سروزیت، گالن، پیریت و مالاکیت تقسیم بندی شده اند. بر اساس مطالعات اپتیکی کانی های سنگین در منطقه، یک ذره طلا به شکل لامپی به اندازه ۲۰۰ میکرون با گردشگی متوسط همراه با کانی های سینابر، اورپیمان، سولفور، مالاکیت، گالن و سروزیت مشاهده شده است (شکل ۳ الف).

در منطقه مطالعاتی با توجه به تحرک کم ذرات کانی سنگین نسبت به یونها و ارتباط منطقی آنها نسبت به سیماهای ساختمانی - زمین شناسی مرتبط با نهشته های کانساری، هاله های مرکب جمعی کانی های سنگین تعریف شده است. این هاله ها به صورت متغیرهای سه گانه شامل ۱- طلا، استینیت، سینابر، اورپیمان و سولفور ۲- پیریت، پیریت اکسید، مولیدینیت، کالکوپیریت و مالاکیت ۳- مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، الژیت و سیدریت در حوضه آبرگیر تعیین شده است (شکل ۳ الف-ج).

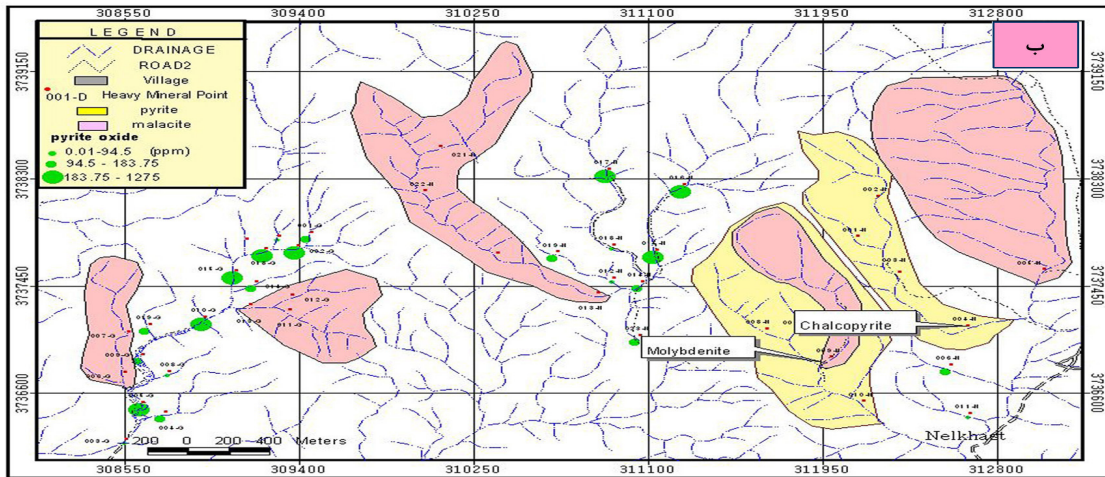
مطالعه هاله های مرکب هر گروه نشان می دهد که در حوضه ای که مجموعه کانی های طلا و پاراژنز آن حضور دارد (حوضه شمال روستای محسن ابن علی) (شکل ۳ الف)، کانی های پیریت، پیریت اکسید و مالاکیت گسترش دارند (شکل ۳ ب). با توجه به اینکه زایش برخی کانه ها با پدیده های اکسیداسیون (لیمونیتی و گوتیتی شدن) همراه است، لذا زون های حاوی کانی های اکسید آهن می توانند به عنوان شاخص در شناسایی مکان های محتمل تمرکز مواد معدنی دارای اهمیت باشند. نتایج مطالعه هاله مرکب کانی های آهن دار در محدوده مورد مطالعه، یک تشابه منطقه ای یکسان بین انواع کانی های اکسید آهن و عیار بالای عناصر را در حوضه نشان می دهد. ضمن آنکه مگنتیت غلظت بالاتری نسبت به سایر کانی های آهن دار داراست (شکل ۳ ج).

مطالعات صحرائی در منطقه نشان داده است که در بالادست حوضه ای که طلا و پاراژنز آن در نمونه های کانی سنگین یافت شده است، آثار کانی سازی سطحی مرتبط با واحدهای ولکانیکی با دگرسانی وسیع کلریتی - کلسیتی و در ابعاد کم دگرسانی های هماتیتی، سیلیسی و سولفیدی رخنمون دارند. به طوریکه در نمونه های کانی سنگین نیز انواع کانی های اپیدوت،

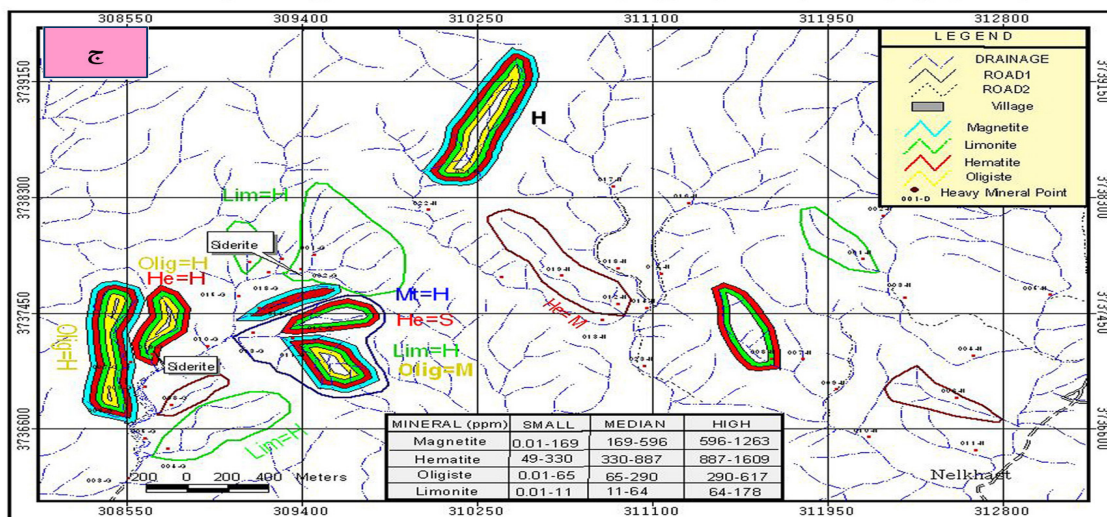
Distribution Map Of Heavy Mineral in Mohsen Ebne Ali Area ( Gold, Orpiment, Sulfure, Cinnabar, Stibnite)



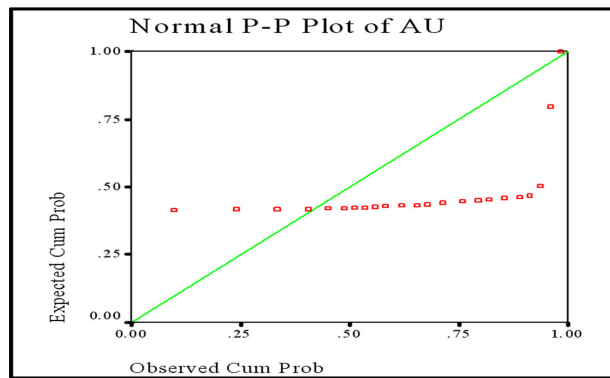
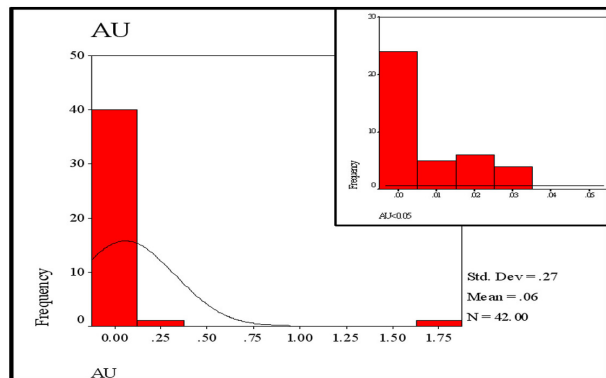
Distribution Map Of Heavy Mineral in Mohsen Ebne Ali Area ( Pyrite, Malacite, Pyrite Oxide, Molybdenite, Chalcopyrite)



Distribution Map Of Heavy Mineral in Mohsen Ebne Ali Area ( Magnetite, Limonite, Hematite, Oligiste, Siderite)



شکل ۳- نقشه هاله‌های مرکب کانی‌های سنگین تعریف شده در منطقه براساس مطالعات اپتیکی کانی‌های سنگین، الف) متغیر اول طلا، سینابر، اورپیمان، استیبینیت، سولفور. ب) متغیر دوم پیریت، پیریت اکسید، مولیبدنیت، مالاکیت، کالکوپیریت ج). متغیر سوم مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، ایژنیت، سیدریت



شکل ۴- هیستوگرام و نمودار تجمعی (P-P Plot) عنصر طلا در نتایج آنالیز جزء غیرمغناطیسی نمونه‌های کانی سنگین

بر اساس نتایج پردازش داده‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه، مهمترین آنومالی ژئوشیمیایی (B1) در جهت شمالی- جنوبی، عمود بر روندهای ساختاری و گسل‌های تراستی منطقه با مساحت تقریبی ۲۰ هکتار با میانگین غلظت عناصر  $\% (As_{1.7} - Pb_{1.7} - Zn_1)_{PPM} (Au_5 - Ag_{74} - Sb_{1471})$  در منطقه شناسایی شده است (شکل ۶).

فراوانی طلا در پوسته زمین حدود ۵-۲ میلی گرم در تن و ضریب پر عیار سازی آن بطور متوسط ۲۰۰۰ می‌باشد (Faster, 1991). در ذخایر اقتصادی مقادیر آن حدود ۱۰<sup>۴</sup> تا ۱۰<sup>۵</sup> مرتبه بیشتر از مقدار زمینه است. مقادیر در حدود چندین ده میلی گرم در تن، نشان‌گر فعال بودن فرایندهای کانی ساز می‌باشد. نتایج حاصله در ۲۰۰ سلول شبکه از نمونه برداری در منطقه مطالعاتی طبق جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین طلا ۰/۶ گرم در تن، میانه ۰/۳ گرم در تن و توزیع لاگ نرمال با چولگی مثبت ۹/۳۶، غلظتی در حدود چند صد برابر میانگین فراوانی در لیتوسفر را نشان می‌دهد. این موضوع دلالت بر اهمیت منطقه مطالعاتی از حیث اکتشاف دارد. از سوی دیگر عناصری چون Ag, Sb, As به عنوان ردیاب طلا، نسبت به حد کلارک در سنگ‌های منطقه غنی شدگی نشان می‌دهند (جدول ۱).

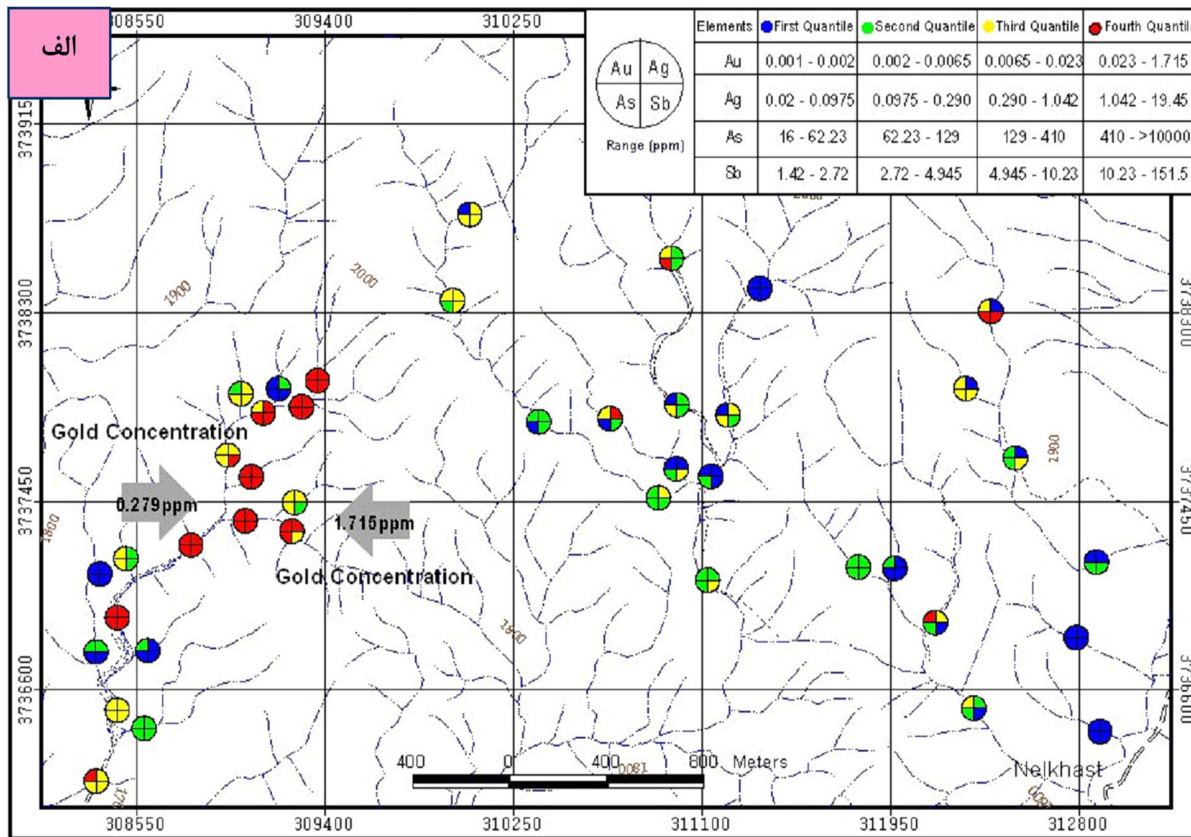
در اکتشافات ژئوشیمیایی، حضور یک یا چند عنصر می‌تواند دلالت بر حضور احتمالی اعضای دیگر پاراژنز داشته باشد. این عناصر به عنوان ردیاب استفاده می‌شوند (Peters, 1987). محاسبه ضریب همبستگی پیرسون در منطقه نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی طلا و عناصر  $As(0.81), Ag(0.73), Cu(0.68), Pb(0.66), Sb(0.64)$  وجود دارد (جدول ۲).

با استفاده از نتایج فوق و همچنین مطالعه همبستگی بین طلا و عناصر مختلف توسط نمودار همبستگی در شکل (۷)، این گونه استنباط می‌شود که عناصر  $As, Sb, Cu$  و  $Ag$  نزدیک‌ترین ردیابهای طلا هستند. خصوصیات کانی‌سازی محدوده مورد مطالعه به کانی‌سازی‌های کم حرارت تشابه

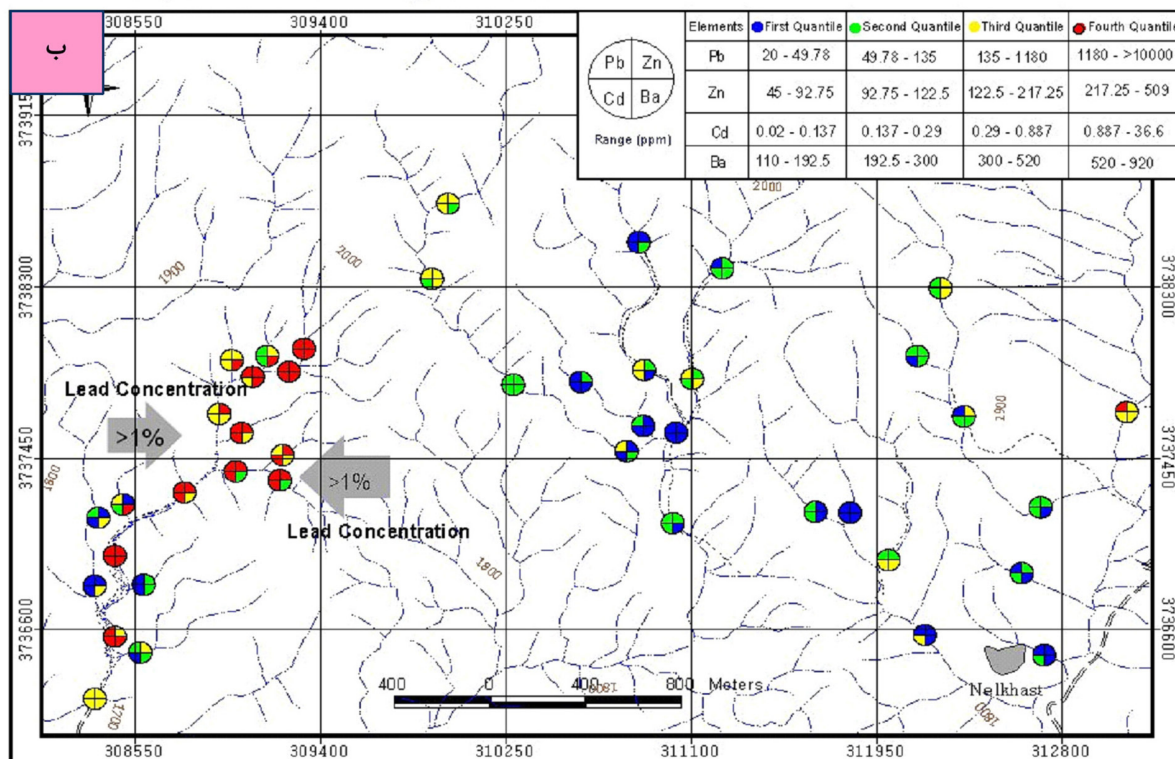
در منطقه، نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی درحوضه آبریز شمال روستای محسن ابن علی صورت گرفته است. برداشت نمونه‌ها به‌طور سیستماتیک در عرصه‌ای به وسعت دوکیلومتر مربع در راستای N45E با ۲۰۰ نمونه سنگی در شبکه نمونه برداری به ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر انجام گرفته است. آماده سازی نمونه‌ها به روش ME-ICP61 توسط چهار اسید  $HCl, HF, HNO_3, HClO_4$  انجام شده و برای تعیین طلا به روش ICP-22 و ICP-MS و آنالیز ۲۸ عنصر به آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا ارسال گردیده است.

### پردازش داده‌ها

جهت پردازش داده‌های لیتوژئوشیمیایی، نتایج آنالیز نمونه‌ها در نرم افزار Excel مورد پردازش قرار گرفته است. مقادیر گزارش نشده توسط دستگاه (مقادیر سنسورد) عناصر طلا، نقره، آنتیموان از روش بیشترین درست نمایی کوهن (Sanford et al., 1993) و برای سایر عناصر از روش جایگزینی ساده تصحیح شده اند. پس از این مرحله، مقادیر خارج از رده بر اساس دیاگرامهای Whiske و Box (Wellmer, 1998) شناسایی و جایگزین گردیده است. مقادیر بدست آمده توسط نرم افزار SPSS به روش سه پارامتری نرمال و در نهایت آنومالی‌های ژئوشیمیایی تعیین و نقشه‌های عناصر به روش تخمین شبکه (حسینی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰) ترسیم شده است. برای تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی، با محاسبه مقادیر میانه (x) و انحراف معیار (S)، از روش هاکس و وب<sup>۲</sup> استفاده شده است (حسینی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). با استفاده از این روش مقدار حد آستانه معادل  $X+2S$ ، آنومالی ممکن بین  $X+2S$  و  $X+3S$  و آنومالی احتمالی بر اساس مقادیر  $X+3S >$  تعیین گردیده است. همچنین در این مطالعه به منظور شناخت ارتباط ژئیکیمی میان عناصر مختلف و تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی، از ماتریس همبستگی پیرسون (Swan and Sandilands, 1995) و تعیین پاراژنهای محدوده و هاله‌های مرکب ژئوشیمیایی، از تحلیل عاملی استفاده شده است.

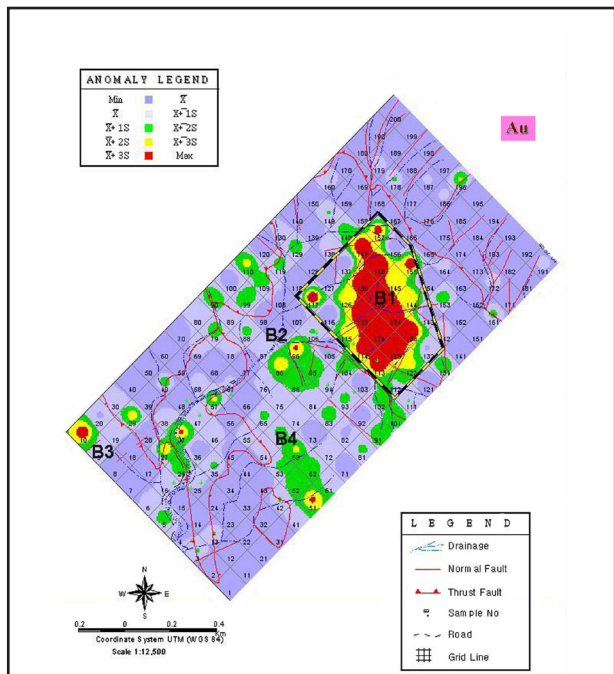


Based On Analytical Results Of None Magnetic Fraction



شکل ۵- نقشه وضعیت آنومالی عناصر برپایه نتایج آنالیز کمی جزء غیرمغناطیسی کانی‌های سنگین. الف) متغیر اول شامل عناصر (Au, As, Ag, Sb)، ب) متغیر دوم شامل عناصر (Pb, Zn, Cd, Ba)، حد بالای ۲۵٪ تابع توزیع هر عنصر به رنگ قرمز، وضعیت آنومالی عنصر را در منطقه نشان می‌دهد. تقریباً تمام دو متغیر عنصری ذکر شده، در حوضه غربی منطقه آنومالی نشان می‌دهند.

جدول ۱- پارامترهای آماری عناصر طلا، نقره، آرسنیک و آنتیموان در نمونه های لیتوزئوشیمیایی منطقه مطالعاتی



شکل ۶- نقشه شماتیک توزیع طلا در شبکه لیتوزئوشیمیایی منطقه مطالعاتی و نمایش آنومالی اصلی (B1)

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

### توزیع هاله های اولیه ژئوشیمیایی<sup>۱</sup> و مدل منطقه بندی<sup>۲</sup>

بررسی نمونه های سنگ بستر (لیتوزئوشیمیایی) در اغلب موارد برای تعیین هاله های پراکندگی اولیه مرتبط با نهشته های پنهان کاربرد دارد (Parsi et al., 2001). مطالعه الگوی توزیع منطقه ای هاله های ژئوشیمیایی اولیه نیز برای اکتشاف توده های پنهان و تشخیص عمق کانی سازی به کار می رود (Solovov, 1987). توسط این روش کانسارهایی از جمله در کوه های ناحیه Karamazar تاجیکستان، کانسار اسکارن Harpenberg در سوئد و کانسار فلزات پایه- طلا Shaumyan در جنوب ارمنستان (Matveev et al., 2006) شناسایی شده است. روش ثبت هاله های ژئوشیمیایی اولیه یا بر اساس کشف و تفسیر آنومالی های ژئوشیمیایی عناصر در سنگ بستر بر مبنای مقایسه الگوی توزیع عناصر در ناحیه و یا بر اساس رسم هاله های مرکب جمعی یا ضربی صورت می گیرد. در این راستا، ملاکهای ژئوشیمیایی از جمله سیمای هاله های اولیه، ترکیب عنصری آنومالی ها و وضعیت زمین شناسی ساختمانی حائز اهمیت است (Yilmaz, 2003).

بر اساس تحقیقات Nayac (1995) می توان برای تشخیص هاله های ژئوشیمیایی اولیه از روش چند متغیره تحلیل عاملی<sup>۳</sup> استفاده کرد. از این رو در منطقه مورد بررسی نیز این روش آنالیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین از الگوی ژئوشیمیایی عناصر مختلف (نقشه های تک متغیره)، منحنی های تراز و الگوی توزیع آبراهه ها استفاده شده است.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده بین طلا و سایر عناصر ژئوشیمیایی در نمونه های لیتوزئوشیمیایی منطقه

Variables	Pearson's Correlation	Variables	Pearson's Correlation
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	

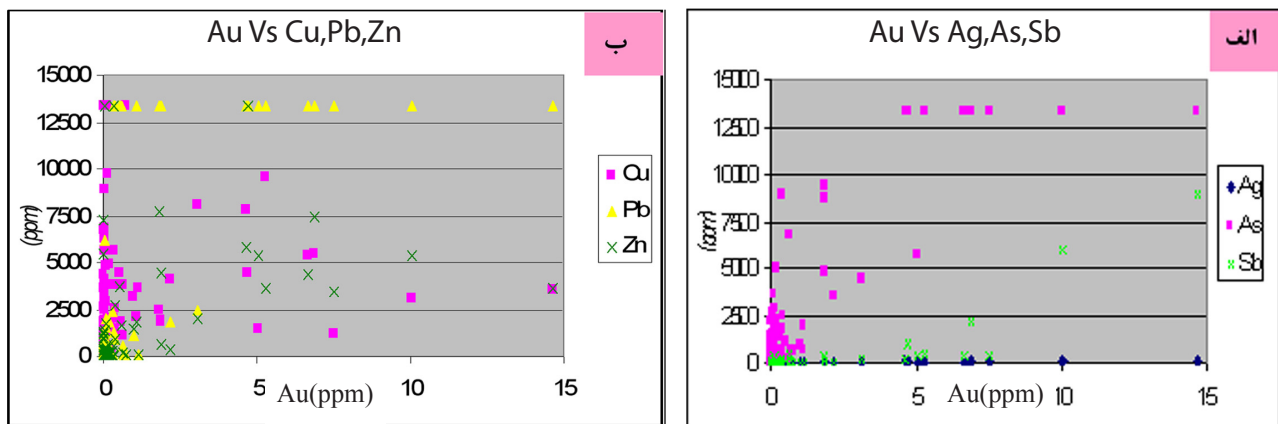
بیشتری دارد و همچنین سولفیدها بخشی از توزیع طلا در منطقه را کنترل می کنند. همبستگی بالای طلا با سایر عناصر می تواند نشان دهنده هم زمانی ته نشینی آنها با یکدیگر باشد، هر چند که ممکن است فرایند ته نشینی آنها متفاوت باشد (Haston and Large, 1989).

1 - Geochemical Primary aureoles

2 - Zoning

3 - Factor Analysis





شکل ۷- نمودار همبستگی (Scatter Plot) طلا و عناصر مختلف در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه. الف) همبستگی Au با عناصر (Ag, As, Sb) ب) همبستگی عنصر Au با عناصر Cu, Pb, Zn در منطقه که یک رابطه خطی مشخصی را با افزایش غلظت طلا نشان می‌دهند.

لیتوژئوشیمیایی مشاهده می‌شود. بررسی فاکتورهای معرفی شده طبق این روش از نظر محتوای عنصری و ارتباط فضایی نسبت به یکدیگر در شبکه نمونه برداری نسبت به مدل ارتفاعی منطقه، علاوه بر نشان دادن هاله‌های مختلف ژئوشیمیایی و آنومالی اصلی، یک توالی منطقه بندی قائم در شبکه نمونه برداری را مشخص می‌کند (شکل ۱۰). از طرفی موقعیت توزیع مکانی آنومالی‌های تک متغیره عناصر با فاکتورهای محاسبه شده توسط آنالیز عاملی همپوشانی نشان داده اند. این موضوع می‌تواند صحت روش فوق را نشان دهد.

بر اساس این محاسبات، فاکتور یک آنالیز عاملی در واقع همان آنومالی اصلی منطقه (B1) و نشان دهنده وجود فلزات پایه و قیمتی (Au, Ag, Sb, As, Pb, Zn, Cd and Cu) می‌باشد (اشکال ۹ الف و ۱۰).

هاله‌های ژئوشیمیایی منطقه بر اساس شکل ۱۰ بدین شرح است: هاله ژئوشیمیایی فوق کانساری که در بالاترین سطح (افق ۱) نسبت به آنومالی اصلی قرار گرفته و شامل عناصر Ba, S می‌باشد و در آنالیز عاملی به عنوان عامل پنجم معرفی شده است. هاله‌های ژئوشیمیایی تحت کانساری شامل عناصر Cu, Bi, Mo, V, Co, Ni و هاله ژئوشیمیایی زیر کانساری شامل عناصر W, Cr می‌باشد که به ترتیب در افق‌های ۲ و ۳ نسبت به آنومالی اصلی متمرکز شده‌اند. این هاله‌ها به ترتیب به عنوان فاکتورهای دوم و ششم در آنالیز عاملی معرفی شده‌اند (شکل ۹). با جمع بندی نتایج فوق، پروفیلی از توالی منطقه بندی عناصر معرف در منطقه با افزایش ارتفاع ترسیم شده است.

(up section): [W-Cr-Co-Mo-V-Bi-Cu-(Au)-Cd-Zn-Pb-Ag-Sb-As-Ba]

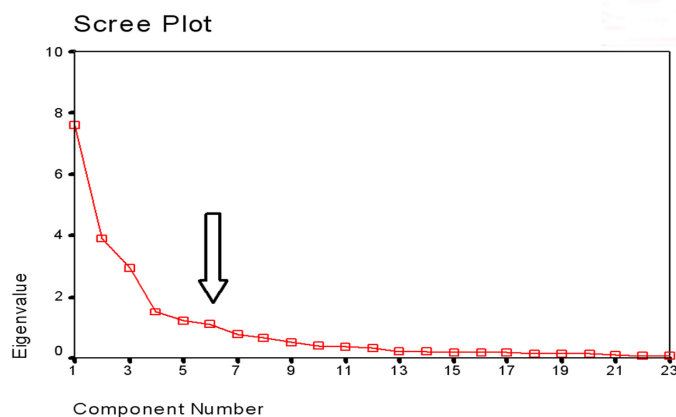
این توالی عنصری در منطقه که بر اساس نتایج تحلیل عاملی و تلفیق آن با نقشه‌های آنومالی تک متغیره عناصر بدست آمده

### تحلیل عاملی

تحلیل عاملی یکی از روش‌های آماری چند متغیره جهت کشف و تفسیر ارتباط ژنتیکی متقابل میان عناصر گوناگون می‌باشد (Raha and Saha, 1993). در این روش مقادیر ویژه، درصد واریانس، درصد تجمعی و مقادیر مشارکت هر مولفه به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. سپس بر اساس بیشترین مقدار ویژه، درصد واریانس یا مولفه‌های اصلی انتخاب می‌گردد (Saha, 1973). پس از انتخاب مولفه‌ها، مقادیر خام هر مولفه نسبت به هر عنصر و مقادیر تبدیل یافته و ضرایب امتیازی هر مولفه محاسبه می‌شود. سپس مولفه‌های خام تحت تابع Varimax چرخش داده شده تا بهترین واریانس عمومی بدست آید. این مولفه‌های چرخش یافته، مولفه‌های اصلی برای محاسبه امتیازات هستند.

در منطقه محسن ابن علی، تحلیل عاملی پس از نرمال سازی داده‌های ۲۸ عنصری نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی در نرم افزار SPSS محاسبه شده است. با فرض درصد تجمعی واریانس بالای ۵۰ درصد، به عنوان مقدار تقریبی یک جامعه، شش مولفه مورد انتخاب قرار گرفته است. این مطلب به صورت نمودار صخره‌ای در شکل ۸ ارائه شده است. مولفه‌های چرخش یافته، مولفه‌های اصلی برای محاسبه امتیازات هستند و مقادیر عددی بالای ۰/۵ در هر مولفه، ملاک انتخاب هر فاکتور می‌باشند (جدول ۳). با این روش ۶ فاکتور مهم به شرح زیر در منطقه انتخاب شده است.

عامل یک: (Au, Ag, As, Sb, Cd, Zn, Pb, Cu)، عامل دوم: (Cu, Bi, V, Co, Ni)، عامل سوم: (Al, K, Ti, Na)، عامل چهارم: (Mo, Fe)، عامل پنجم: (S, Ba)، عامل ششم: (Cr, W). در شکل ۹ نقشه آنومالی فاکتورهای محاسبه شده در شبکه



شکل ۸- نمودار صخره ای مولفه های اولیه آنالیز عاملی نمونه های لیتوژنوشیمیایی

جدول ۳- ماتریس مولفه های چرخش یافته آنالیز عاملی نمونه های لیتوژنوشیمیایی منطقه مطالعاتی

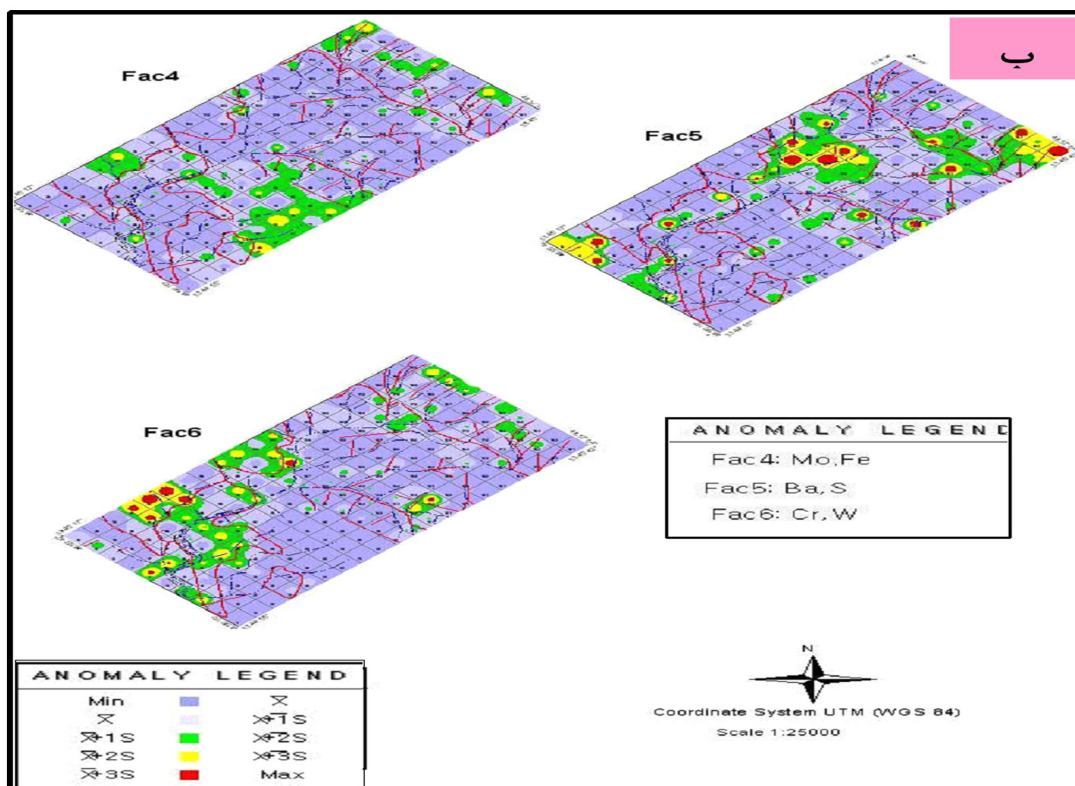
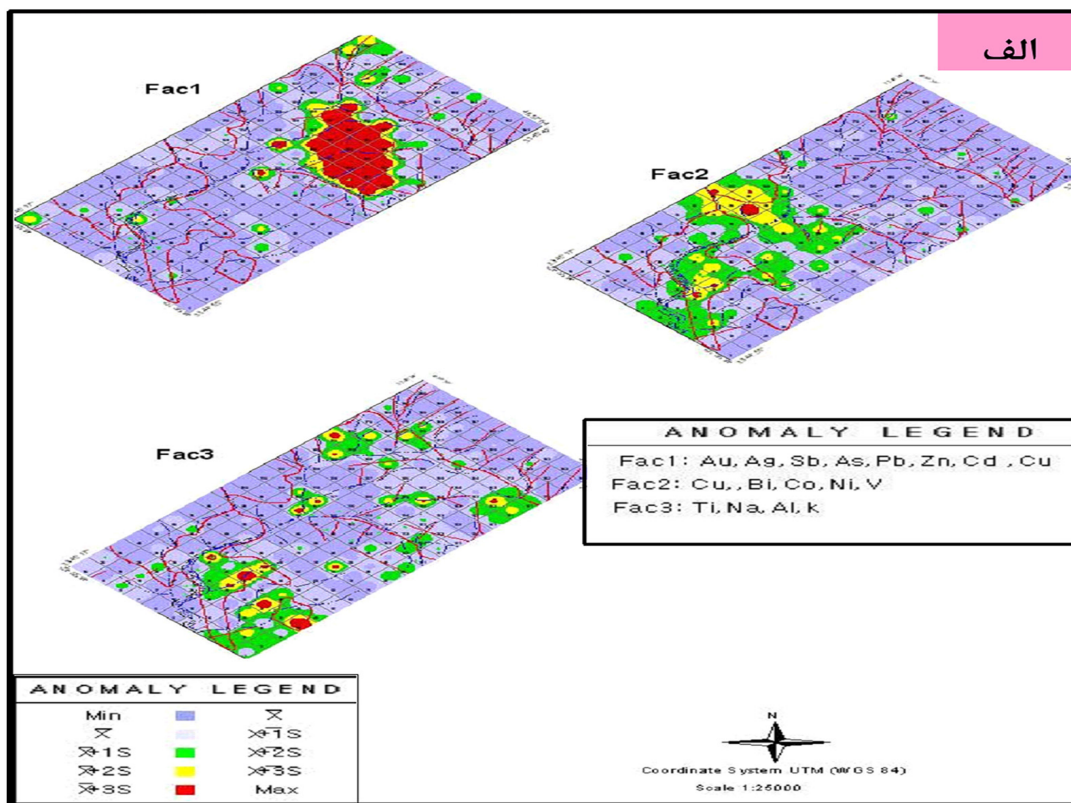
Variable	Component					
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Pb	0.879	0.020	0.031	0.095	0.109	-0.117
Cd	0.878	-0.220	0.083	-0.030	-0.018	-0.056
Zn	0.874	0.048	0.105	0.021	-0.015	-0.217
Sb	0.838	0.032	0.047	0.160	-0.004	-0.188
Ag	0.833	0.237	-0.112	-0.066	0.053	0.188
Au	0.778	0.355	-0.059	0.151	0.103	-0.091
As	0.703	0.386	-0.117	0.328	0.203	-0.125
Cu	0.532	0.679	-0.106	0.000	0.080	0.155
Mo	0.397	0.309	-0.218	0.670	0.285	-0.053
S	0.334	0.239	-0.204	0.307	0.686	-0.117
Fe	0.316	0.488	-0.176	0.621	0.220	-0.194
Bi	0.294	0.583	-0.379	0.397	0.154	-0.009
V	0.202	0.645	0.265	0.403	0.220	-0.129
Mn	0.083	-0.078	0.240	-0.836	0.079	-0.222
Al	0.062	0.189	0.916	-0.141	-0.089	0.032
K	0.040	-0.286	0.828	0.039	0.026	0.025
Ti	0.000	0.155	0.860	-0.291	-0.052	-0.005
Co	-0.009	0.841	-0.038	0.044	0.005	0.094
Ba	-0.026	-0.036	0.058	-0.051	0.933	0.037
Ni	-0.033	0.751	0.232	0.064	-0.078	0.178
Na	-0.078	0.074	0.682	-0.592	0.094	0.059
Cr	-0.090	0.116	0.192	0.037	-0.132	0.836
W	-0.204	0.088	-0.108	0.024	0.095	0.772

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

الگوی پراکنندگی عناصر اصلی می تواند به عنوان یک راهنمای مناسب جهت اکتشافات ژئوشیمیایی، مورد استفاده قرار گیرد. بررسی های انجام گرفته در منطقه نشان دهنده تغییرات ژئوشیمیایی عناصر اصلی در واحدهای سنگی موجود در محدوده آنومالی اصلی و نوع دگرسانی های مرتبط می باشد. بر این اساس محدوده طلا دار منطقه، بر زون غنی شدگی AL, K Fe, و تهی شدگی Na منطبق است. همبستگی بالا این عناصر با طلا نشان دهنده ارتباط

است، با الگوی توزیع منطقه ای فلزات در کانسارهای مختلف تشابه دارد.

از الگوی توزیع هاله های ژئوشیمیایی منطقه محسن ابن علی این گونه استنباط می شود که هاله های ژئوشیمیایی معرفی شده در منطقه، از لحاظ وسعت و شدت قوی بوده و با تغییراتی اندک با توالی منطقه بندی عناصر معرف کانسارهای طلا (Beus and Grigorian, 1997) تشابهاتی را نشان می دهند (جدول ۴).



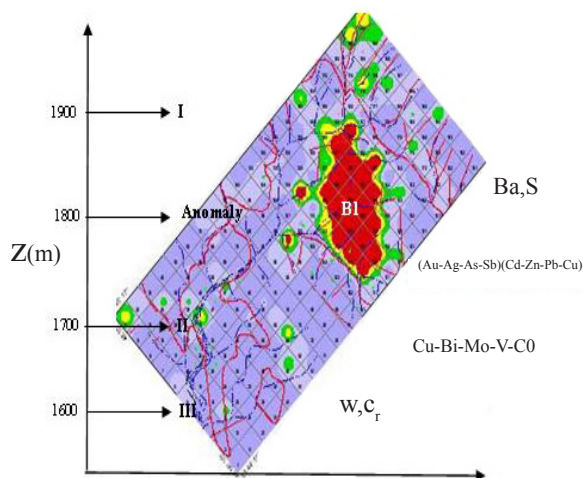
شکل ۹- الف و ب) نقشه امتیازات فاکتوری شش عامل محاسبه شده در تحلیل عاملی. این فاکتورها مبنای تعیین هاله های اولیه ژئوشیمیایی و الگوی منطقه بندی عناصر در شبکه لیتوژئوشیمیایی منطقه می باشند.

جدول ۴- توالی عناصر معرف در منطقه بندی کانسارهای طلا بر اساس مطالعات (Beus and Grigorian, 1997)

نوع نهشته	توالی منطقه بندی (up section)
کانسارهای طلا	(W-Co- Mo-Ni)- Bi-Sn-Cu-Pb-Ag-Sb
	(Be-W-As-Ni-Co)-Bi-Cu-Mo-Au-Zn-(Pb-Ag-As-Sb)
	Co-W-Be-Bi-Sn-Mo-Cu-Au-Zn-Pb-Ag-As-Sb
	(W-Bi-Sn)-Mo-Au-Cu-Zn-Pb-Ag-As-Sb-Ba

نتایج تحلیل عاملی، آنومالی اصلی طلا و عناصر همراه و الگوی توزیع مکانی هاله های ژئوشیمیایی اولیه را در منطقه مشخص نموده است. بر این اساس پروفیلی از توالی منطقه بندی قائم عناصر نسبت به مدل ارتفاعی به صورت [W-Cr-Co-Mo-V-Bi-Cu-(Au)-Cd-Zn-Pb-Ag-Sb-As-Ba] در منطقه مشخص شده است. با جمع بندی نتایج به دست آمده و تعیین یک سری شاخص های ژئوشیمیایی در منطقه از جمله غنی شدگی طلا نسبت به حد کلارک در سنگ های منطقه (میانگین ۰,۶ گرم در تن)، الگوی توزیع هاله های اولیه ژئوشیمیایی، منطقه بندی قائم عنصری و تشابه با توالی منطقه بندی عناصر معرف کانسارهای طلا و همچنین غنی شدگی AL, K Fe و تهی شدگی Na و ارتباط مثبت این عناصر با نوع دگرسانی های گسترش یافته در منطقه، احتمال وجود کانی سازی طلا در منطقه محسن ابن علی وجود دارد.

بر اساس مطالعات زمین شناسی اقتصادی می توان گفت: نفوذ توده های نفوذی ژوراسیک بروجرد درون توالیهای متارسوبی-



شکل ۱۰- الگوی منطقه بندی هاله های ژئوشیمیایی نسبت به مدل ارتفاعی منطقه (برحسب متر) بر اساس نتایج مطالعات لیتوژئوشیمیایی در منطقه مطالعاتی

آنها با دگرسانی های سریسیتی، هماتیته و سولفیدی می باشد (Ross et al., 2001).

این انطباق خواه به دلیل مولفه تغییر پذیری در سنگ اولیه (سین ژنتیک) یا رخداد دگرسانی در سنگ (اپی ژنتیک) از نظر اکتشافی حائز اهمیت است.

### بحث و نتیجه گیری

استفاده از انواع روش های اکتشافی در منطقه از جمله مطالعات کانی های سنگین و آنالیز کمی جزء غیرمغناطیسی آن و داده های لیتوژئوشیمیایی و تلفیق آن با مطالعات صحرایی، نتایجی را جهت ارزیابی پتانسیل کانی سازی طلا در منطقه داشته است. بر اساس مطالعات کانی سنگین، حوضه مستعد کانی سازی طلا مشخص و سپس مطالعات لیتوژئوشیمیایی جهت بررسیهای بیشتر انجام گرفته است.

در مطالعات کانی های سنگین، در حوضه آبگیر مستعد غرب منطقه (شمال روستای محسن ابن علی) ذرات طلا، استیبنیت، سولفور و اورپیمان دیده شده و آنالیز شیمیایی جزء غیرمغناطیسی کانی های سنگین، با ثبت عیارهای بالا از عناصر Ag, Cd, Sb, As, Ba, Pb, Zn, Au همپوشانی مشخصی را در روند آنومالی در حوضه مذکور نشان می دهند. همچنین مطالعات کانی های سنگین، ویژگیهای سنگ منشا را مشخص نموده است.

اکتشافات لیتوژئوشیمیایی در منطقه، آنومالی اصلی طلا را در متاولکانیکهای حدواسط- بازیگ با دگرسانی وسیع کلریتی- کلسیتی و دگرسانی های سیلیسی، هماتیته و سولفیدی با ابعاد کم، در جهت عمود بر روند واحدهای سنگی بین دوگسل تراستی مشخص کرده است. میانگین غلظت عناصر در آنومالی فوق به صورت PPM (Au<sub>5</sub>-Ag<sub>74</sub>-Sb<sub>1471</sub>) و (As<sub>1</sub>- Pb<sub>1.7</sub>- Zn<sub>1</sub>) % می باشد. تعیین همبستگی عناصر در منطقه، عناصر Sb, As, Ag, Cu را نزدیک ترین ردیاب های طلا نسبت به عناصر Bi, W, Mo معرفی کرده است. می توان اینگونه استنباط کرد که خصوصیات کانی سازی احتمالی منطقه به کانی سازی های کم حرارت تشابه داشته باشد.

hydrothermal evolution of the Ladolam gold deposit, Lihir Island, Papua New Guinea. Economic Geology Special Publication 10, 247-284.

- 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.

- Eyles, N., and Kocsis, S.P., 1989. Sedimentological controls on gold in late Pleistocene glacial placer deposit, Cariboo Mining District, British Columbia, Canada. Sediment. Geol, 65, 45-68.

- Faster, R.P., 1991. Gold metalogy and exploration, Blackie Glasgow and London.

- Haston, D.L., and Large, R., 1989. A Chemical model for the concentration of gold in Volcanogenic Massive Sulfide deposits. Ore Geology Review. 4, 171-200.

- Kylie, P., 2007. Application of lithogeochemistry to gold exploration in the St Ives goldfield, Western Australia. Exploration Environment Analysis. 7, 2, 99-108.

- Mccready, A.J., Parnell, j., and Castro, L., 2003. Crystalline Place Gold from the Rioneuquen, Argentina Implications for the Gold Budget in place Gold Formation. Journal of Economic Geology. 98, 623-633.

- Matveev, A.A., Spiridonov, E.M., Grigoryan, S.V., Tabatabaei, S.Kh., and Filimonov, S.V., 2006. Mineralogical and Geochemical Characteristics and Predicted Reserves of Gold-Base Metal Ore Mineralization in Southern Armenia and Northwestern Iran. Journal of Geochemistry International. 8, 879-890.

- Nayac, B.K., Swati Mohanty, R., and Sahoo, R.K., 1995. Implication of factor analysis in geochemistry of Nishikhal manganese deposit, Eastern Ghats, orissa, India. Journal. Min. Petr. Econ. Geol. Japan, 90, 341-351.

- Parsi, E., Edward J.M. and Allison, L.D., 2001. Alteration Zoning and primary geochemical dispersion Bronzewing lode-gold deposit, Western Australia. Jour. Mineralium Deposita. 36, No.1, 13-31.

- Peters, W.C., 1987. Exploration and Mining Geology, Wiley & Sons Ltd, 704.

- Raha, D.S., and Saha, B.K., 1993. Source and distribution of metals in urban soil of Bombay India, using multivariate statistical techniques. Environmental Geology, 22, 276-285.

- Ross, R., Rodney, L., and Michael, D., 2001. Hydrothermal alteration and volatile element halos for the Rosebery K Lens volcanic-Hosted massive sulfide deposit, western Tasmania. Jour, Economic Geology, 96, 5, 1055-1072.

- Saha, B.K., 1973. Factor analysis of sphericity and roundness of quartz grains for modern sediments, Bull. Int. Geol. Asson Chandigarh, 6, 3-11.

متاولکانیکی تریاس در منطقه بروجرد می تواند به عنوان مکانی جهت یافتن پتانسیلهای کانی سازی مورد توجه قرار گیرد (قادری و همکاران، ۱۳۸۳). بنابراین کانه‌زایی احتمالی منطقه محسن ابن علی می تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم با توده های نفوذی رخنمون یافته در شرق منطقه مرتبط باشد. این فاکتور می تواند به عنوان یک راهنمای مناسب جهت ادامه اکتشافات در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

## سیاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت محترم شرکت مشاوران ایران، جناب آقای مهندس حاج ملا علی و کارشناسان این شرکت جهت تهیه نقشه زمین شناسی منطقه محسن ابن علی در مقیاس ۱:۵۰۰۰، نمونه برداری‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین، تامین امکانات آزمایشگاهی، نرم افزاری و سخت افزاری سپاسگزاری می شود.

## منابع

- اکبری، ز. و رسا، ا.، ۱۳۸۶. اکتشافات ژئوشیمیایی، کانی سنگین و آلتراسیون 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، ۲۲۰.

- تاج الدین، ح. ع. و شمسا، م. ج.، ۱۳۸۵. کانه زایی طلای تیب کوهزایی در منطقه سفز- سردشت معیاری برای اکتشاف طلا در سنگ های دگرگونه شمال غرب پهنه سنندج- سیرجان، خلاصه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- حاج ملا علی، ع.، ۱۳۷۰. گزارش نقشه زمین شناسی یکصد هزار برکه بروجرد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

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

- قادری، م.، رمضانی، ج. ج.، ولی زاده، م.، فردین دوست، ز. و احمدی خلجی، ا.، ۱۳۸۳. تعیین سن اورانیم- سرب کمپلکس نفوذی ژوراسیک بروجرد و توده های وابسته در زون سنندج- سیرجان، مجموعه مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.

- محجل، م. و 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، ۳۱-۳۲، ۴۶-۲۸.

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

- Beus, A.A., and Grigorian, S.V., 1997. Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits. Trans. by R.T. Schneider, ed. by A.A. Levinson, Illinois.

- Carmen, G.D., 2003. Geology, mineralization, and

- Sanford, F., Pierson, T., and Crovelli, R.A., 1993. An objective replacement method for censored geochemical data. *Jour. Mathematical Geology*, 27, 59-79.
- Solovov, A.p., 1987. *Geochemical Prospecting for Mineral Deposits*, Moscow, 284.
- Swan, A.R.H., and Sandilands, M., 1995. *Introduction of geological data analysis*. Blackwell Science, Cambridge, 446.
- Venkataraman, G., abu Madhavan, B., Ratha, D.S., And SinhaRoy, S., 2000. Spatial modeling for base-metal mineral exploration through integration of geological datasets. *Jour, Natural Resources Research*, 9, No.1, 27-42.
- Wellmer, F.W., 1998. *Statistical evolution in exploration for mineral deposits*. Springer Verlag, New York, 379.
- Westerhof, A.B., 1986. Heavy minerals in exploration the present state of an old art. *ITC J*, 290-296.
- Yilmaz, H., 2003. Geochemical exploration for gold in western Turkey. *Jour, Geochemical Exploration*, 80, 117-135.
- Youngson, J., and Craw, D., 1996. Recycling and chemical mobility of alluvial gold in Tertiary and Quaternary sediments, central and East Otago, New Zealand. *N. Z. J. Geol. Geophys*, 39, 493-508.