

# بررسی تیپ و خاستگاه کانهزایی آهن در رخداد معدنی مسگر، جنوب زنجان، با استفاده از دادههای سنگشناسی، کانیشناسی و زمینشیمیایی

محمد ابراهیمی، حسین کوهستانی ً و احسان شهیدی

گروه زمینشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

دريافت: 1392/7/03، پذيرش: 1392/12/27

چکیدہ

رخداد معدنی آهن مسگر در گوشه شمالباختری پهنه ایران مرکزی و در فاصله 115 کیلومتری جنوب زنجان قرار دارد. در این محدوده، واحدهای رسوبی و آتشفشانی - آذرآواری میوسن رخنمون دارند. کانهزایی آهن بهصورت رگهای و عدسیشکل درون و در مـرز واحدهای آذرآواری (کمر پایین) و گدازههای آندزیبازالتی (کمر بالا) رخ داده است. نتایج مطالعات سنگنگاری گدازههای آندزیبازالتی نشان میدهد که بافت غالب در این سنگها پورفیریتیک با درشتبلورهای پلاژیوکلاز (گاهی تا اندازه 3 میلیمتـر) و پیروکسـن در یـک زمینه شیشهای تا ریزبلور است. براساس مطالعات زمینشیمیایی، این گدازهها مربوط به محیطهای حاشیه فعال قارهای بوده و ماهیت کالک آلکالن دارند. کانهزایی آهن در این منطقه به صورت رگهای و سیمان برشهای گرمابی رخ داده و بافت کانسنگ از نوع رگهای، رگهچهای، تودهای، برشی، خُردشده و دانهپراکنده است. مهمترین کانی موجود در این رخداد معدنی، هماتیت است که با میزان اندکی مگنتیت و کالکوپیریت همراهی میشود. گوتیت در اثر فرآیندهای سوپرژن تشکیل شده است. کـوارتز و کلریـت، کانیهـای باطلـه را در رخداد معدنی مسگر تشکیل میدهند. بافتهای مهم این کانیها شامل رگهای، رگهچهای، گلکلمی، کوکاد و پوستهای هستند. دگرسانی گرمابی به بخشهای سیلیسی و کلریتیشده پهنههای کانهدار محدود میشود. در خارج از پهنههای کانهدار، دگرسانی بهصورت سریسیتی و کلسیتی- کلریتیشدن گدازههای آندزیبازالتی میزبان رخ داده است. بررسی الگوی رفتاری عناصر نادر خاکی در پهنههای کانهدار و سنگهای میزبان، بیانگر تهیشدگی مشخص (بهجز عنصر Ce) در میزان ایـن عناصـر در پهنـههای کانـهدار اسـت. کـاهش در میزان عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین بیشتر مشهود است. این امر بیانگر میزان بالای واکنش بین سیالات کانهزا و سنگ میزبان در مسگر میباشد. مقایسه ویژگیهای زمینشناسی، کانیشناسی، زمینشیمیایی و ساخت و بافت ماده معدنی در رخداد معدنی مسگر با تیپهای مختلف کانسارهای آهن نشان میدهد، کانهزایی آهن در مسگر در ابتدا بهصورت آتشفشانی- رسوبی تشکیل شده و سپس تحت تأثیر سیالات گرمابی بهصورت رگهای تمرکز دوباره یافته است.

واژههای کلیدی:کانهزایی آهن، تیپ رگهای گرمایی، بافت برشی، دگرسانی، مسگر، زنجان.

### مقدمه

کانهزایی آهن در ایران محدود به دوره زمانی خاصی نیست. رخداد ایس کانهزاییها با شکلگیری پوسته ایران در پروتروزوئیک پسین آغاز و به موازات فعالیتهای زمینساختی-ماگمایی تا میو- پلیوسین ادامه داشته است ( Ghorbani, ماگمایی تا میو- پلیوسین ادامه داشته است ( زمین 2007). در منطقه مسگر، جنوب زنجان، تنوع جالبی از سنگهای آتشفشانی و آذرآواری همراه با رخدادهایی از کانه-زایی آهن قابل مشاهده است که قبلاً مطالعه علمی دقیقی بر روی آن انجام نشده بود. در این مقاله، ویژگیهای زمینشناسی، کانهزایی و زمینشیمیایی رخداد معدنی مسگر مورد بررسی *www.SID.ir* 

قرار گرفته و تیپ کانهزایی و خاستگاه آن تعیین شده است. مطالعه دقیق این نوع کانهزاییها میتواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کانهزاییهای مشابه در این بخش از ایران را ارائه کرده و بهعنوان الگوی اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد. رخداد معدنی مسگر در فاصله 115 کیلومتری جنوب زنجان و 35 کیلومتری جنوبباختری قیدار با مختصات جغرافیایی 22

<sup>3</sup>48 تا 38<sup>°</sup> 48<sup>°</sup> 49 طول خاوری و 51<sup>°</sup> 35<sup>°</sup> تا 35<sup>°</sup> 35<sup>°</sup> عـرض شمالی واقع شـده اسـت. ایـن منطقـه، بخشـی از پهنـه ایـران مرکـزی (Stöckin, 1968) و زیرپهنـه سـلطانیه- میشـو

(Eftekheārnezhād, 1980) بوده و دارای ویژگیهای عمومی مشابه آنها میباشد.

## روش مطالعه

مطالعات انجامشده شامل مطالعات صحرایی، تهیه نقشه زمینشناسی با مقیاس 1:25000، مطالعات سنگنگاری و کانهنگاری و آنالیزهای شیمیایی به روشهای ICP-OES و ICP-MS میباشند. مطالعات سنگنگاری و کانهنگاری با استفاده از میکروسکپهای نوری دومنظوره مدل GX در دانشگاه زنجان و آنالیزهای شیمیایی در آزمایشگاه شرکت زرآزما در تهران انجام شده است.

## زمينشناسي عمومي منطقه

براساس نقشه زمینشناسی 1:100000 زرینرود یا گرماب (Rādfar et al., 2005)، واحدهای سنگی رخنمونیافته در محدوده مورد مطالعه بهترتیب از قدیم به جدید شامل واحدهای دگرگونی کرتاسه، سنگهای تخریبی و آتشفشانی میوسن، واحدهای تخریبی پلیوسن و واحدهای کواترنری میباشند (شکل 1). واحدهای دگرگونی کرتاسه بهصورت مجموعهای از شیست، فیلیت و اسلیتهای خاکستری تا سبز تیره بوده که بهشدت خُرد شده و برگوارگی در آنها توسعه یافته است.

آهـک ماسـهای، مـارن، ماسـهسـنگ، کنگلـومرا، تـوف و میانلایههای ژیپسی، مهمترین واحدهای تخریبی میوسـن را تشکیل میدهند. سیما و ویژگیهای سنگشناسی این نهشتهها قابل قیاس با سازند قرمز بالایی است، اما احتمال همارزی آنها با مجموعه سازندهای قرمز زیرین، آهکهای قم و سازند قرمز بالایی نیز وجود دارد (Rādfar et al., 2005). در چنین حالتی، تغییرات سنی آنها از الیگوسن تا میوسـن خواهـد بود. طبقات کنگلومرایی این واحد دارای قطعات آهکی گردشده تا نیمه گرد شده در اندازه متوسط است؛ اما در برخی نقاط، قطعات آنها بیشتر آتشفشانی است. این کنگلومراها به صورت متناوب با واحـدهای ماسـهسـنگی دیـده میشوند. سـتبرای واحدهای تخریبی میوسـن بـهطـور میـانگین بـه 1500 متر میرسد. سنگهای آتشفشانی این مجموعه شامل توف برشی، آندزیت و تراکیآنـدزیت با سـتبرای 50 تـا 100 متر است.

مارن های کرم تا قرمز رنگ است که گاهی با میان لایه هایی از ماسه های سختنشده همراهی می شود. در برخی نقاط، لایه هایی از کنگلومرا، ماسه سنگ و آهک نیز در این مجموعه دیده می شود. این مجموعه تخریبی به صورت ناپیوسته بر روی واحدهای قدیمی تر قرار گرفته است (Rādfar et al., 2005). از نظر ساختاری، منطقه مورد مطالعه دارای چین خورد گیها و گسل خورد گیهای متعددی است. جهت چین خورد گیها معمولاً شمال باختری - جنوب خاوری است. روند عمومی گسلها بیشتر مهمترین ساختارهای موجود در منطقه می توان به ناودیس و گسل زاغلو اشاره کرد (شکل 1). امتداد گسل زاغلو با جهت محور ناودیس زاغلو همراستاست.

زمینشناسی و سنگشناسی منطقه مسگر

در منطقه مسـگر، واحـدهای زمـین شناسـی شـامل تنـاوب ضخیمی از نهشتههای رسوبی میوسن (همارز سازند قرمز بالایی) است که توسط واحدهای آذرآواری و آتشفشانی ميوسن (Rādfar et al., 2005) پوشيده شدهاند (شكل 2). واحدهای آذرآواری در مجاورت بلافصل واحدهای رسوبی میوسن و در بخش بالایی آنها رخنمون داشته (شکل A-3) و شامل برش أتشفشاني و أكلومرا مي باشند. برش هاي آتشفشانی بهصورت لایههایی با ستبرای حدود 10 متر و از نوع مونومیکتیک غنی از خمیره هستند (شکل C - 3). خردهسنگهای آنها شامل قطعات زاویهدار تا بعضاً نیمه گردشده آندزیبازالتی با جورشدگی ضعیف میباشند که درون یک خمیره تخریبی قـرار گرفتـهانـد. انـدازه خـردهسـنگها از چنـد میلیمتر تا چند سانتیمتر متغیر است، اما بهطور معمول بین 3 تا 5 سانتیمتر است. آگلومراها بهصورت لایههایی با ستبرای کلی حدود 15 متر هستند که بین برشهای آتشفشانی در زیر و گدازههای آندزیبازالتی در بالا قرار گرفتهاند. قطعات سازنده این سنگها بیشتر خردهسینگهای گردشده تا نیمه گردشده آندزیبازالتی است که با جورشدگی ضعیف درون سیمانی آتشفشانی تا تخریبی در کنار هم قرار گرفتهاند (شکل 3- D). اندازہ قطعات متغیر و بهطور معمول اندازہای بین 5 تا 7 سانتیمتر دارند. واحدهای آتشفشانی بهصورت یک توالی بر روى واحدهاى آذرآوارى رخنمون داشته (شكل B-3) و تركيب آندزىبازالتى دارند.

www.SID.ir

این گدازهها در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیـره متمایـل به قهوهای بوده و اغلب شکل تودهای دارند. براساس مطالعات سنگنگاری، درشتبلورها تا 15 درصد حجم سنگ را تشکیل

داده و بهطور غالب شامل پلاژیوکلازهای درشت تا اندازه 3 میلیمتر، پیروکسن و به میزان کمتر، کانیهای اوپک (هماتیت) مىباشند (شكل 4).



Fig. 1. Simplified regional geological map of the Mesgar area modified after Rādfar et al. (2005).



**شکل 2**. نقشه زمینشناسی منطقه مسگر و موقعیت پهنه کانهزایی بر روی آن.

Fig. 2. Geological map of Mesgar area showing the location of the ore zone.

ماکل میان تیغهای ساده بوده (شکل 4- B و E) و تا 20 درصد حجم سنگ را تشکیل میدهند. پیروکسن ها اغلب سالم هستند، اما در نمونههای هوازده، به کلریت، کلسیت و اکسیدهای آهن تجزیه شدهاند (شکل 4- F). برخی از درشت بلورهای پیروکسن نیز دچار خوردگی شدهاند (شکل 4-E).

براساس مطالعات سنگنگاری، بافتهای پورفیریتیک، سرییت، کومولوفیریک، گلومروپورفیریتیک و تراکیتی در گدازههای آندزیبازالتی مشاهده میشوند (شکل 4). بافت پورفیریتیک، بافت غالب در این سنگهاست که از کانیهای درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن در زمینه متشکل از ریزبلورهای پلاژیوکلاز و یا شیشه آتشفشانی تشکیل شده است. بافت گلومروپورفیریتیک پلاژیوکلازها اغلب بهصورت بلورهای خودشکل تا نیمه خودشکل بوده و حدود 40 درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند. این کانیها معمولاً بافت غربالی داشته و منطقه بندی نشان می دهند (شکل 4- A و C). معمولاً بافت غربالی، بیانگر شرایط عدم تعادل فیزیکی (فشار و دما) و یا عدم تعادل شیمیایی حاکم بر مخزن ماگمایی است (;Stromer, 1972 سیلیسیم و آلومینیم در بلور حین تعادل با مذاب می باشد سیلیسیم و آلومینیم در بلور حین تعادل با مذاب می باشد کدازه های آندزی بازالتی (شکل 4- D)، نشانگر سردشدن سریع و یا گران روی بالای گدازه است ((Shelley 1993). پیروکسن-ها اغلب به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه خودشکل دارای

و يا حاوى ميكروليتهاى فراوان پلاژيوكلاز است (شكل 4).

معمولاً از تجمع کانیهای پلاژیوکلاز و پیروکسن تشکیل شده است. زمینه این سنگها آفانیتیک و بهصورت شیشهای، ریزدانه



شکل 3. نماهایی از رخنمون واحدهای سنگی در منطقه مسگر. A: رخنمون واحدهای آذرآواری به صورت متوالی و همشیب بر روی واحدهای رسوبی میوسن (دید به سمت جنوب - جنوب باختر). B: قرار گیری واحدهای گدازهای به صورت هم شیب بر روی واحدهای آذرآواری (دید به سمت جنوب). C: نمایی نزدیک از بِرش آتشفشانی حاوی خرده سنگهای زاویه دار آندزی بازالتی. D: نمایی نزدیک از واحدهای آگلومرایی حاوی خرده سنگهای گِرد تا نیمه گِردشده آندزی بازالتی.

**Fig. 3.** Views of rock units at the Mesgar area A: Pyroclastic units have concordantly overlain the Miocene sedimentary units (view to the south-southwest), B: Lavas have concordantly overlain the pyroclastic units (view to the south), C: A close view of the volcanic breccia with angular andesitic basalt clasts, D: Agglomerate units with rounded to subrounded andesitic basalt clasts.

گدازههای آندزیبازالتی رخ داده و حاوی هماتیتهای دانهریز تا دانهمتوسط است (شکل 5- A). هماتیتها معمولاً بی شکل تا نیمهخودشکل و بعضاً خودشکل هستند. آثار این کانهزایی بهصورت خُردهکانیهای گردشده در برش های گرمابی مرحله بعدی دیده می شوند (شکل 5- B). این مرحله از کانهزایی، در رخداد معدنی آهن مسگر گسترش چندانی ندارد. مرحله دوم کانهزایی، اصلی ترین مرحله کانهزایی در رخداد معدنی آهن مسگر است. این مرحله از کانهزایی شامل هماتیت، کوارتز و کلریت همراه با مقادیر کم مگنتیت و به میزان کمتر کالکوپیریت می باشد که به صورت رگهها و برش های گرمابی

براساس مطالعات صحرایی، کانهزایی در رخداد معدنی مسگر بهصورت رگهای و عدسی شکل در محدودهای به درازای 150 متر و پهنای بیشینه 3 متر (میانگین 1/5 متر) درون و در مرز واحدهای آذرآواری و آتشفشانی رخ داده است. کمر پایین ماده معدنی را واحدهای آذرآواری و کمر بالای آن را گدازه های آندزی بازالتی تشکیل میدهند. براساس مطالعات انجام شده، دو مرحله کانهزایی در رخداد معدنی مسگر قابل تفکیک است: مرحله اول کانهزایی قبل از رخدادهای برشی گرمابی تشکیل

كانەزايى

رخ داده است (شکل C - 5 و D). هماتیت ± مگنتیت به صورت بلورهای نیمه خودشکل تا خودشکل و کوار تز و کلریت به شکل نوارهای پوسته ای و گلکلمی در رگهها و

فضاهای خالی و نوارهای کوکاد در اطراف بِـرشهـای گرمـابی دیده میشوند (شکل 5- E ،D و F).



شکل 4. تصاویری میکروسکپی از کانیهای تشکیلدهنده و بافت گدازههای آندزیبازالتی در منطقه مسگر. A: درشتبلورهای پلاژیوکلاز غربالی و گلومروکریست پلاژیوکلاز و پیروکسن در زمینه ریزبلور سنگ (بافت کومولوفیریک). B: گلومروکریست پیروکسن در زمینه هیپوکریستالین سنگ (بافت گلومروپورفیریتیک). C: بافت سرییت با بلور پلاژیوکلاز زونه در مرکز تصویر. D: بافت تراکیتی با میکرولیتهای پلاژیوکلاز. E: خوردگی درشتبلور پیروکسن و ماکل میان تیغهای ساده آن. F: کلسیت و کلریت ناشی از دگرسانی کانیهای سنگ. همه تصاویر در نور انکساری پلاریزه متقاطع گرفته شدهاند. (Cal-کلسیت، Cle کلریت، Hem= هماتیت، PI= پلاژیوکلاز، Px= پیروکسن)

**Fig. 4.** Photomicrographs of minerals and textures in the andesitic basalt lavas at the Mesgar area. A: Plagioclase phenocrysts with sieve texture along with plagioclase and pyroxene glomerocrysts set in fine-grained groundmass (cumulophyric texture), B: Pyroxene glomerocryst set in hypocrystalline groundmass (glomeroporphyritic texture), C: Seriate texture with zoned plagioclase at the center of the photo, D: Trachytic texture with plagioclase microlites, E: Pyroxene phenocryst with polysynthetic twinning, F: Alteration of rock minerals to calcite and chlorite. All photomicrographs are taken in transmitted light, XPL. (Cal= calcite, Chl= chlorite, Hem= hematite, Pl= plagioclase, Px= pyroxene)



**Fig. 5.** Mineralization stages at the Mesgar iron occurrence. A: Stage-1 disseminated coarse-grained hematite in andesitic basalt lavas, B: Rounded clast of stage-1 hematite in hydrothermal breccia of stage-2 mineralization, C: Stage-2 quartz and quartz-hematite veins crosscutting the andesitic basalt host rock, D: Stage-2 hydrothermal breccia with hematite, quartz and chlorite cement, E: Chlorite and quartz vug infill with colloform and crustiform textures among the andesitic basalt clasts, F: Chlorite and quartz vug infill with colloform texture among the hematite crystals. A, E and F are taken in transmitted light, XPL, and B is taken in reflected light, PPL. (A-L= andesitic basalt lithic, Chl= chlorite, Hem= hematite, Pl= plagioclase, Px= pyroxene, Qz= quartz)

مجله زمینشناسی اقتصادی

118

C و D)، دانه پراکنده (شکل A -5) و خُردشده (شکل B -5) است.

هماتیت اغلب بهصورت بلورهای تیغهای خودشکل تا نیمهخودشکل با اندازهای تا 2 سانتیمتر دیده شده (شکل 7-Ramdohr, ) و در بعضی از موارد حالت شعاعی ( Ramdohr, ) P و B) و در بعضی از موارد حالت شعاعی ( شکل 7- C). بلورهای مگنتیت معمولاً به صورت خودشکل تا نیمهخودشکل بوده و اندازهای تا 3 میلیمتر دارند (شکل 7- D). کالکوپیریت به صورت بلورهای نیمهخودشکل دیده شده و اندازهای تا 2 میلیمتر دارند. این کانیها معمولاً در اثر فرآیندهای سوپرژن به گوتیت دگرسان شدهاند. کانی شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی و مواد باطله مطالعات کانه نگاری نمونه های برداشت شده از پهنه های کانه دار در رخداد معدنی آهن مسگر نشان دهنده حضور فراوان هماتیت به همراه مقدار کمی مگنتیت و مقدار بسیار کم کالکوپیریت است. گوتیت نیز در اثر فرآیندهای سوپرژن تشکیل شده است. کوارتز و به میزان کمتر کلریت، کانی شناسی اصلی مواد باطله را در این رخداد معدنی تشکیل می دهند. بر اساس این مطالعات، بافت ماده معدنی در رخداد معدنی آهن مسگر شامل رگه - رگه چهای (شکل 5- C و شکل 6- A)، توده ای (شکل 6- B)، برشی (شکل 5- D و شکل



**شکل 6.** انواع بافت ماده معدنی در رخداد معدنی آهن مسگر. A: رگه کوارتز- هماتیتی قطعکننده سنگ آندزیبازالتی میزبان. B: هماتیت با بافت تودهای حاوی قطعات بِرشی سنگ میزبان. C و D: بافت بِرشی ماده معدنی. در ضمن بافت گلکلمی کوارتز در تصویر D مشخص است. (A-L-قطعه خردهسنگی آندزیبازالتی، Chl= کلریت، Hem= هماتیت، Pl= پلاژیوکلاز، qz= کوارتز)

**Fig. 6.** Types of ore textures at the Mesgar iron occurrence. A: Quartz-hematite veins crosscutting the andesitic basalt host rock, B: Hematite with massive texture, containing breccia clasts of host rock, C and D: Breccia texture of ore. Colloform texture of quartz is also observed in D. (A-L= andesitic basalt lithic, Chl= chlorite, Hem= hematite, Pl= plagioclase, Qz= quartz)





شکل 7. تصاویر میکروسکپی نور انعکاسی یکبار پلاریزه از مواد معدنی در آهن مسگر. A: تیغههای هماتیت نیمهخودشکل. B: بلور درشت و نیمهخودشکل هماتیت. C: بلورهای تیغهای هماتیت با بافت شعاعی. D: بلور نیمهخودشکل مگنتیت در کنار بلورهای خودشکل هماتیت. (Hem= هماتیت، Mag= مگنتیت)

**Fig. 7.** Photomicrographs (reflected light, PPL) of ore mineralogy at the Mesgar iron occurrence. A: Subhedral crystals of bladed hematite, B: Subhedral and coarse-grained crystal of hematite, C: Bladed crystals of hematite with spherical texture, D: Subhedral crystal of magnetite along with euhedral crystals of hematite. (Hem= hematite, Mag= magnetite)

بلورها معمولاً به رنگ روشن، سفید و یا خاکستری دیده شده و اندازهای کمتر از 1 میلیمتر تا چند سانتیمتر دارند. کلریت معمولاً بهصورت گل کلمی و شعاعی دیده میشود. توالی پاراژنتیک کانیها در رخداد معدنی آهان مساگر به 3 مرحله قابل تقسیم است (شکل 9). مرحله اول با حضور بلورهای دانه پراکنده هماتیت در خمیره گدازههای آندزی-بازالتی مشخص میشود. مرحله دوم با تهنشست کانیهای ازالتی مشایت، کوارتز و کلریت بههمراه مقادیر کمتر مگنتیت و کالکوپیریت در سیمان رگهها و برشهای گرمابی همراه است. این کانیها معمولاً بافت رگه - رگه چهای، خُردشده، برشی و کوارتز و به میزان کمتر کلریت، کانیشناسی اصلی مواد باطله را در رخداد معدنی آهن مسگر تشکیل میدهند. این کانیها بهطور معمول، بافتهای رگه- رگهچهای، گلکلمی (شکل 8-B)، کوکاد (شکل 8- C) و پوستهای (شکل 8- D) دارند. بر پایه اندازه بلورها، کوارتزهای موجود را میتوان در دو دسته ریزبلور (کلسدونی) و درشتبلور (1995 Al.) دارتهای ریزبلور معمولاً تقسیم بندی کرد (شکل 8- A). کوارتزهای ریزبلور معمولاً بافتهای گلکلمی، کوکاد و پوستهای دارند. کوارتزهای بلورین بهصورت بلورهای درشت و خودشکل در نوارهای کوکاد و پوستهای در رگهها و سیمان گرمابی برشها رخ دادهاند. این

تودهای دارند. کوارتز به دو شکل ریزبلور و درشتبلور با بافت رگه- رگهچهای، گلکلمی، کوکاد و پوستهای در رگهها و بِرشهای گرمابی دیده شده و فضاهای خالی بین بلورهای هماتیت را پر میکند. بافتهای موجود، نشانگر تهنشست مواد معدنی و کانیهای باطله همراه، تحت شرایط گرمابی است

(Yilmaz et al., 2010; Kouhestani et al., 2012). مرحله سوم با حضور کانیهای سوپرژن مانند گوتیت مشخص میشود. این کانی بهطور معمول جانشین کانیهای اولیه شده است.



شکل 8. انواع کوارتز در رخداد معدنی آهن مسگر. A: رشد کوارتزهای درشتبلور خودشکل تا نیمهخودشکل در فضای بین کوارتزهای ریزبلور (کلسدونی). B: کوارتز ریزبلور با بافت گل کلمی در فضای بین بلورهای هماتیت. C: کوارتزهای ریزبلور با بافت کوکاد در اطراف قطعات برشی آندزیبازالتی. D: کلریت با بافت گل کلمی و شعاعی و کوارتزهای درشتبلور با بافت پوستهای درون رگ کوارتزی کانهدار. همه تصاویر در نور انکساری پلاریزه متقاطع گرفته شدهاند. (Chl= کلریت، C-وC= کوارتزهای درشتبلور با بافت بوستهای هماتیت، Pm-و هماتیت. پلاژیوکلاز، Pm= پیروکسن)

**Fig. 8.** Types of quartz at the Mesgar iron occurrence. A: Euhedral to subhedral coarse crystalline quartz overgrown among the microcrystalline quartz (chalcedony), B: Microcrystalline quartz with colloform texture among the hematite crystals, C: Andesitic basalt breccia clasts overgrown by cockade bands of microcrystalline quartz, D: Ore-bearing quartz vein with crustiform quartz and colloform and spherical chlorite. All photomicrographs are taken in transmitted light, XPL. (Chl= chlorite, C-Qz= coarse crystalline quartz, Hem= hematite, M-Qz= microcrystalline quartz, Pl= plagioclase, Px= pyroxene)

بررسی تیپ و خاستگاه کانهزایی آهن در رخداد معدنی مسگر ....

Mineralo	Stages Sy	Stage 1	Stage 2	Supergene
Ore	Hematite			
	Magnetite		2	
	Chalcopyrite			
	Goethite			
Gangue	Quartz			
	Chlorite			
	Disseminated			
	Vein-Veinlet	2		
Textures	Massive		·	
	Clastic and Brecciated			
	Colloform	2		
	Cokade and Crustiform		·	
	Replacement			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

شکل 9. توالی پاراژنتیک، فراوانی نسبی و ساخت و بافت کانیها برای مواد معدنی و باطله در رخداد معدنی آهن مسگر.

Fig. 9. Paragenetic scheme showing the relative abundance, structure and texture of gangues and ore minerals at the Mesgar iron occurrence.

دگرسانی گرمابی در منطقه بوده و با هیچ یک از مراحل کانهزایی همراه نمیباشند.

دادههای زمینشیمیایی سنگهای میزبان و پهنههای کانهدار چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و ارتباط این عناصر با یک دیگر، یک از مهمترین جنبههایی است که معمولاً در مطالعات زمینشیمیایی مدنظر قرار می گیرد. با استفاده از این روابط می توان به ویژ گیهای محیط تشکیل و فرآیندهای مؤثر در شکل گیری کانسار پی برد (2009) محیط تشکیل و فرآیندهای مؤثر در شکل گیری کانسار پی برد زمینشیمیایی سنگهای آتشفشانی نسبتاً سالمتر میزبان رخداد معدنی آهن مسگر و پهنههای کانهدار آن مورد بررسی قرار می گیرند. هدف از این مطالعات، بررسی پتروژنز سنگهای مرتبط با دگرسانیهای گرمابی در سنگهای میزبان و پهنههای کانهدار است. نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونههای منطقه مسگر در جدول 1 آمده است.

**ویژگیهای زمین شیمیایی سنگهای میزبان** سنگهای آتشفشانی میزبان رخداد معدنی آهن مسـگر بـهطـور میانگین 58/87 درصـد SiO<sub>2</sub> و 2/91 درصـد MgO دارنـد. از دگرسانی دگرسانی گرمابی در رخداد معدنی آهن مسگر دارای وسعت چندانی نبوده و به بخشهای سیلیسی و کلریتی شده پهنههای کانهدار محدود می شود. در خارج از بخشهای کانهدار، دگرسانی به صورت سریسیتی شدن و کلسیتی - کلریتی شدن گدازه های آندزی بازالتی میزبان کانهزایی محدود می شود. کائولینیتی شدن نیز در اثر فرآیندهای سوپرژن تشکیل شده است.

دگرسانی سیلیسی و کلریتی به طور معمول در بخشهای برشی شده رخ داده و منطبق بر پهنه های کانه دار هستند. این دگرسانیها به صورت رگهای و سیمان گرمابی در برش های کانه دار مشاهده می گردند (شکلهای 6 و 8). کوار تز و کلریت معمولاً در بخشهای مرکزی رگه ها دیده شده و فضای بین سیمان هماتیتی برش ها را پر می کنند. دگرسانیهای سریسیتی سیمان هماتیتی برش ها را پر می کنند. دگرسانیهای سریسیتی منطقه برخوردار نیستند، به طوری که بافت اولیه سنگها در این نوع دگرسانیها معمولاً حفظ شده و یا به راحتی قابل شناسایی است. پیروکسن ها به طور بخشی توسط کلسیت و کلریت و پلاژیو کلازها نیز به طور بخشی به وسیله سریسیت جای گرین شده اند. این دگرسانیها محدود کننده بخشهای بیرونی سیستم

www.SID.ir

نظر ترکیب شیمیایی، این سنگها از نوع آندزیبازالت با ماهیت کالک آلکالن بوده و محیط تکتونوماگمایی آنها محیط حاشیه فعال قاره است. الگوهای چند عنصری سنگهای آتشفشانی Sun and (مسیگر که نسبت به گوشته اولیه ( Sun and A -10) به هنجار شدهاند، در شکل 10- A نشان داده شدهاند. براساس این شکل، نمونهها از عناصر LILE و عناصر LREE غنی شدگی نشان می دهند. در ضمن، نمونههای مورد مطالعه دارای آنومالی های مثبت U و Th و آنومالی های منفی RB، Nb، Ba، و Ti می باشند.

غنی شدگی از عناصر LILE و LREE و تهی شدگی از عناصر HFSE مانند P ،Ti ،Ta و Nb از ویژگیهای بارز کمانهای ماگمایی است ( P ،Ti ،Ta و Nb از ویژگیهای بارز کمانهای است ( 2001). ویژگی کمان ماگمایی و غنی شدگی از عناصر 2001). ویژگی کمان ماگمایی و غنی شدگی از عناصر در سنگهای آتشفشانی منطقه نشان می دهد که منشأ ماگمای سنگهای مذکور می تواند مخلوطی از مواد گوشتهای و پوستهای باشد ( Aiyashiro, 1974; 1976). آنومالی مثبت سرب در سنگهای منطقه می تواند نشان دهنده منشأ پوستهای و یا درجات بالای آلایش ماگما با مواد پوستهای باشد

(Kamber et al., 2002; Richards et al., 2006). الگوهای عناصر نادر خاکی برای سنگهای آتشفشانی منطقه که نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) به هنجار شدهاند، در شکل 10- B نشان داده شدهاند. براساس این شکل، سنگهای آتشفشانی منطقه دارای الگوهای عناصر نادر خاکی به هنجار شده موازی و نسبتاً هموار با آنومالی منفی ضعیف Eu هستند. نمونه ها دارای غنی شدگی بیشتری از عناصر Eue نسبت به عناصر HREE می باشند. تفریق پلاژیوکلاز، پایین بودن فوگاسیته اکسیژن (Gill, 1981; Galoyan et al., 2009) و یا منشاً گرفتن ماگما از گوشته پلاژیوکلازدار (

ویژگیهای زمینشیمیایی پهنههای کانهدار

بهطور معمول از الگوی رفتاری عناصر نادر خاکی در مواد معدنی برای تفسیر تاریخچه تشکیل و منشأ کانسارها استفاده می شود ( Cullers and Graf, 1984; Lottermoser, امی 1992). بررسی این الگو برای پهنههای کانهدار در رخداد معدنی مسگر (شکل 10- C) نشان می دهد که نمونههای

بخش کانهدار در مقایسه با سنگهای میزبان، تههیشدگی مشخصی در میزان عناصر نادر خاکی (بهجز عنصر Ce) همـراه با آنومالی منفی Eu دارند. کاهش در میزان LREE نسبت به HREE بیشتر مشهود است. هرچند الگوی عناصر نادر خاکی در نمونه دارای کوارتز گلکلمی با الگوی این عناصر در نمونه دارای هماتیت تودهای مشابه است، اما این نمونه کاهش بیشتری در میزان عناصر نادر خاکی را نسبت به نمونه مزبور نشان میدهد. الگوی رفتاری عناصر نادر خاکی در این نمونه میتواند ناشی از دگرسانی سیلیسی آن باشد ( Kikawada et al., 2001; Giritharan and Rajamani, 2001). سريم علاوه بر ظرفيت 3، ميتواند متناسب با شرايط احيايي و اکسیدان محیط بهترتیب دارای ظرفیتهای 4 و 2 باشد. "Ce<sup>3+</sup> در محیطهای اکسیدی بهراحتی به <sup>+4</sup> Ce<sup>4</sup> اکسید شده و از طريق جذب سطحى توسط هيدروليزاتها و ذرات معلق حمل واز محيط خارج مے شود (Spangenberg et al., 1999). آنومالیهای مثبت سریم در نمونههای کانهدار منطقـه احتمـالاً مـــر تبط بــا فرآینــدهای دگرسـانی گرمـابی میباشــد .(Lottermoser, 1992; Bau, 1991)

تهیشدگی و غنیشدگی عناصر در پهنههای کانهدار

نمونسه برداری سیستماتیک، روشی مناسب برای بررسی چگونگی و میزان تغییر عناصر در سنگهای میزبان و پهنههای کانهدار در کانسارهای گرمابی است ( ,1986; Palacios et al., 1986; Bi et al., 2004; Yilmaz et al., Bierlein et al., 1999; Bi et al., 2004; Yilmaz et al., 2007). بهمنظور بررسی تهیشدگی و غنیشدگی عناصر طی کانهزایی در رخداد معدنی مسگر، میانگین دادههای مربوط به نمونههای کانهدار بر میانگین دادههای مربوط به سنگهای میزبان سالم به محار گردید تا عناصر اضافه و یا کمشده به سنگ طی کانهزایی مشخص گردد. لازم به ذکر است که ایس غنیشدگی عناصر، نیاز به محاسبات موازنه جرم است که در این پژوهش انجام نشده است.

بررسی الگوی به هنجار شده عناصر نادر خاکی در بخشهای کانهدار رخداد معدنی مسگر نشان می دهد که میزان این عناصر به جز Ce در بخشهای کانهدار نسبت به سنگهای میزبان سالم تهی شده است. تهی شدگی در میزان عناصر میزبان سالم تهی شده است. این کاهش HREE نسبت به عناصر LREE جزئی تر می باشد. این کاهش در میزان عناصر نادر خاکی نشان می دهد که حجم و یا

ژئوشیمی سیالات گرمابی برای تحرک این عناصر در رخداد معدنی مسگر کافی بوده و بیانگر میزان بالای واکنش بین

جدول 1. نتایج آنالیزهای شیمیایی سنگهای آتشفشانی میزبان (نمونههای M-15, M-20 وM-20A) و پهنههای کانهدار (نمونههای M-6 و M-30) در رخداد معدنی آهن مسگر. دادههای عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی (wt%) و عناصر فرعی و کمیاب بر حسب میلیگرم در تـن (ppm) مىباشند.

Table 1. Geochemical data of volcanic host rocks (samples M-20, M-15 and M-20A) and ore zones (samples M-6 and M-30) from the Mesgar iron occurrence. Major elements in wt%, and trace and rare earth elements in ppm. .

Element	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	$P_2O_5$	SO <sub>3</sub>	LOI	Cu
M-15	59.04	0.99	16.43	7.49	5	0.16	2.96	5.82	3.95	1.52	0.23	0.02	1.29	0.03
<b>M-20</b>	58.53	0.98	16.62	7.48	5	0.16	2.95	5.95	4.1	1.35	0.22	-	1.63	0.01
M-20A	59.04	0.97	16.52	7.22	4.75	0.17	2.83	5.91	4.06	1.38	0.23	-	1.61	-
	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Rb	Re	S	Sb
M-15	0.68	8.45	5.9	569	1.7	< 0.1	4.55	0.21	16.7	17	53.5	< 0.01	<50	0.1
M-20	0.22	8.42	2.8	540	1.9	0.3	4.23	0.15	15.6	15	54.9	< 0.01	<50	0.2
M-20A	0.2	7.58	2	526	2.1	< 0.1	4.08	0.15	15.3	14	39.1	< 0.01	<50	< 0.1
M-6	0.04	2420	1.1	61.9	< 0.2	< 0.1	1290	0.06	1.1	15	9.8	< 0.01	<50	0.2
M-30	0.02	2320	0.7	161	< 0.2	< 0.1	1910	< 0.05	0.7	6	5.4	< 0.01	<50	0.1
	Sc	Se	Sn	Sr	Та	Te	K	Li	Mg	Mn	Мо	Na	Nb	Ni
M-15	14	0.46	2.8	279	1.93	< 0.2	1.32	13.1	1.42	1200	1.7	3.34	17.4	8
M-20	17	0.1	2.9	266	1.92	< 0.2	1.12	15.6	1.50	1140	1.5	3.17	16.8	6
M-20A	12	$<\!0.05$	2.6	268	1.76	< 0.2	1.15	9.1	1.23	1260	1.4	3.16	16.6	9
M-6	1	< 0.05	1.5	10.9	3.78	< 0.2	1390	3.7	2890	419	2.4	524	0.6	3
M-30	<1	$<\!0.05$	1.3	44.6	0.2	< 0.2	917	3.1	1930	203	1.2	544	< 0.5	3
	Р	Pb	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	Hg	In	Th	Ti	Tl	U
M-15	1170	22.2	3.7	45.5	5.49	19.7	1.40	10.5	$<\!\!0.05$	0.06	9.01	6740	0.8	3.43
<b>M-20</b>	1110	13.4	4.8	27.9	5.16	18.9	1.41	10.1	$<\!0.05$	0.07	11.1	6140	0.9	3.01
M-20A	1120	11.5	4.3	32.4	5.11	19.7	1.39	10.2	$<\!0.05$	0.06	7.92	6170	0.8	3.38
M-6	19	17.4	1.4	8.4	43.3	3.72	0.65	0.15	< 0.05	< 0.01	1.36	143	0.1	3.36
<b>M-30</b>	7	0.8	3.1	10.2	32.60	3.11	0.56	< 0.02	$<\!\!0.05$	< 0.01	0.37	99	0.2	2.74
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu
M-15	32	64.6	7.76	30.6	5.83	1.5	6.04	0.98	6.28	1.39	4.03	0.71	4.31	0.79
M-20	36.6	72.6	8.53	33.3	6.36	1.61	6.54	1.05	6.58	1.42	4.17	0.72	4.6	0.71
M-20A	28.4	58.4	7.06	27.8	5.47	1.42	5.63	0.9	5.75	1.29	3.69	0.64	3.83	0.6
M-6	3.51	175	1.06	4.22	1.08	0.19	1.11	0.31	2.04	0.49	1.71	0.28	1.61	0.29
<b>M-30</b>	2.29	223	0.69	2.79	0.58	0.13	0.76	0.16	0.99	0.22	0.71	0.12	0.72	0.12
	W	Y	V	Zn	Zr									
M-15	1	35	162	110	463									
M-20	1.3	38.3	152	105	454									
M-20A	0.8	30.9	153	138	451									
M-6	0.5	13.8	49	16.9	10									
M-30	< 0.1	5.06	16	18.6	<1									



**Fig. 10.** A: Primitive mantle–normalized multiple element diagram (Sun and McDonough, 1989) for the volcanic rocks from the Mesgar area, B: Chondrite–normalized REE pattern (Nakamura, 1974) for the volcanic rocks from the Mesgar area, C: Chondrite–normalized REE patterns (Nakamura, 1974) for andesitic basalt lavas and ore zones from the Mesgar area.

کوکاد، پوستهای و پُرکننده فضاهای خالی در بخشهای کانهدار و مواد باطله؛ 2) کانیهای دگرسانی شامل کوارتز و کلریت و 3) کانیهای معدنی شامل هماتیت، مگنتیت و کالکوپیریت، نشان میدهند که کانهزایی آهن در رخداد معدنی مسگر از نوع رگهای گرمابی و حاصل تهنشست مواد از یک سیال گرمابی است ( ,2012; Vilmaz et al., 2010; Kouhestani et al., 2012). تیپ و خاستگاه کانهزایی آهن در رخداد معدنی مسگر با توجه به مطالعات انجامشده در این پژوهش و همچنین مقایسه ویژگیهای زمینشناسی، کانیشناسی و ساخت و بافت ماده معدنی در رخداد معدنی مسگر با تیپهای مختلف کانسارهای آهان، کانهزایی آهان در رخداد معدنی مسگر کانسارهای آهان، کانهزایی آهان در رخداد معدنی مسگر شباهت زیادی با کانسارهای آهان تیپ گرمابی ( Barker, شباهت زیادی با کانسارهای آهان تیپ گرمابی ( 1995; Marschik and Fontbote, 2001 قبیل 1) بافتهای رگه- رگهچهای، خُردشده، بِرشی، گل کلمی، Archive of SID

براساس مطالعات صحرایی، میکروسکپی و زمین شیمیایی، تکوین این رخداد معدنی را میتوان در سه مرحله خلاصه کرد: مرحله نخست: این مرحله با تشکیل توالیهای آذرآواری و آتشفشانی همراه بوده است. طی این مرحله، کانهزایی مرحله اول به صورت هماتیت های دانه پراکنده درون واحدهای آتشفشانی (گدازه های آندزی بازالتی) رخ داده است. هماتیت های این مرحله به همراه سنگهای میزبان خود تحت تأثیر رخدادهای بر شی گرمایی، خُرد شده و به صورت خرده کانی و خُرده سنگهای بر شی گردشده در بر شهای مرحله دوم دیده می شوند.

مرحله دوم: این مرحله با توسعه فعالیتهای گرمابی، برشی و کانهزایی همراه بوده است. فرآیندهای برشی این مرحله، كانهزايي مرحله اول را تحت تأثير قرار داده است، بهطورىكه آثار آن بهصورت خُرده کانی و خُردهسانگهای گردشاده در برشهای گرمابی مرحله دوم دیده می شوند. در مرحله دوم، سیالات گرمابی با منشأ ماگمایی و یا جوی ( Hedenquist et al., 1996; Hedenquist et al., 1998) سبب توسعه رخدادهای برشی گرمابی و به تبع آن، ایجاد نفوذیذیری و تمرکز جریان سیالات کانهدار و کانهزایی در رخداد معدنی مسگر شده است. تمرکز جریان سیالات گرمایی با تهنشست کوارتزهای ریزبلور، هماتیت، مگنتیت و کالکوپیریت در محل شکستگیها و فضاهای خالی رگهها و برشها همراه بوده و سبب گسترش دگرسانیهای سیلیسی و کلریتی در نزدیکی بخشهای نفوذپذیر شده است. ادامه تهنشست کانیها باعث مسدود شدن معبرها و کاهش میزان جریان سیال میشود. این عمل سبب تغییر در اندازه کانیها و تهنشست کوارتزهای درشتبلور در بخشهای داخلی سیستم کانهزایی شده است. مرحله سوم: این مرحله با گسترش فرآیندهای هوازدگی مشخص می شود. همزمان با توقف فعالیتهای گرمایی و بالاآمـدن منطقـه، هـوازدگی و فرآینـدهای سـوپرژن، سـبب

اکسیداسیون کانیهای سولفیدی (کالکوپیریت) و گسترش کائولینیتی شدن در پهنههای سطحی شده است.

# نتيجهگيرى

1- شواهدی مانند مشاهدات صحرایی، ژئومتری، ساخت و بافت، همیافتی، زمینشیمی و دگرسانیهای تشکیلشده در رخداد معدنی آهن مسگر، همگی حاکی از آن است که این رخداد معدنی را میتوان در ردیف کانسارهای آهن تیپ رگهای تقسیمبندی کرد.

2- سنگ میزبان کانهزایی در رخداد معدنی مسگر، گدازههای آندزیبازالتی با ماهیت کالکآلکالن هستند. الگوهای به هنجار شده چند عنصری این سنگها نسبت به گوشته اولیه، بیانگر غنی شدگی آنها از عناصر LILE و LREE و تهیشدگی از عناصر HFSE میباشد که از ویژگیهای بارز کمانهای ماگمایی است. الگوهای به هنجار شده عناصر REE این سنگها نسبت به کندریت نیز غنی شدگی از عناصر LREE این سنگها نسبت به HREE به همراه آنومالی منفی ضعیف Eu را نشان میدهد. این ویژگیها نشان میدهند که منشأ ماگمای این سنگها میتواند مخلوطی از مواد گوشته و پوسته باشد.

3- الگوی به هنجار شده عناصر نادر خاکی در بخشهای کانه دار نسبت به سنگهای میزبان سالم نشان میدهد میزان این عناصر به جز Ce در بخشهای کانه دار تهی شده است. این امر بیانگر میزان بالای واکنش بین سیالات کانه زا و سنگ میزبان است.

### قدردانی

نویسندگان از حمایتهای مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش تشکر مینمایند. همچنین بر خود لازم میدانند از سردبیر و داوران مجله زمین شناسی اقتصادی بهخاطر راهنماییهای علمی که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، سپاس گزاری کنند.

#### References

- Barker, D.S., 1995. Crystallization and alteration of quartz monzonite, Iron Spring mining district, Utah, relation to associated iron deposits. Economic Geology, 90(8): 2197– 2217.
- Bau, M., 1991. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-

rock interaction and the significance of the oxidation state of europium. Chemical Geology, 93(3): 219–230.

Bi, X., Hu, R. and Cornell, D.H., 2004. The alkaline porphyry associated Yao'an gold deposit, Yunnan, China: Rare earth element and stable isotope evidence for magmaticمجله زمينشناسي اقتصادى

hydrothermal ore formation. Mineralium Deposita, 39(1): 21–30.

- Bierlein, F.P., Waldron, H.M. and Arne, D.C., 1999. Behaviour of rare earth and high field strength elements during hydrothermal alteration of meta-turbidites associated with mesothermal gold mineralization in central Victoria, Australia. Journal of Geochemical Exploration, 67(1): 109–125.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8(2): 173–174.
- Cullers, R.L. and Graf, J.L., 1984. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: Intermediate and silicic rocks ore petrogenesis. In: P. Henderson (Editor), Rare Earth Elements Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, pp. 275–316.
- Dong, G., Morrison, G. and Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. Economic Geology, 90(6): 1841– 1856.
- Eftekheārnezhād, J., 1980. Dividing different parts of Iran according to their structural positions in relation to the sedimentary basins. The Journal of the Iranian Petroleum Institute, 82: 19-28. (in Persian)
- Galoyan, R.Y., Sosson, M., Corsini, M., Billo, S., Verati, C. and Melkonyan, R., 2009. Geology, geochemistry and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of Sevan ophiolites (Lesser Caucasus, Armenia): Evidence for Jurassic back-arc opening and hot spot event between south Armenia and Eurasia. Journal of Asian Earth Sciences, 34(2): 135–153.
- Ghorbani, M., 2007. Economic geology, mineral deposits and natural resources of Iran. Arian Zamin, Tehran, 492 pp.
- Gill, J.B., 1981. Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Springer-Verlag, Berlin, 390 pp.
- Giritharan, T.S. and Rajamani, V., 2001. REE geochemistry of ore zones in the Archean auriferous schist belts of the eastern Dharwar Craton, south India, Proc. Indian Academic Science (Earth Planet Science), 110(2): 143–159.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G., 1986. Geochemical characteristics of collisionzone magmatism. In: M.P. Coward, and A.C. Ries (Editors), Collision Tectonics. Geological Society of London, Special Publication, pp. 67–81.

- Hedenquist, J.W. and Arribas, A., 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. Economic Geology, 93(4): 373–404.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A. and White, N.C., 1996. Hydrothermal system in volcanic arcs, origin of the exploration for epithermal gold deposits. A short course at Mineral Resource Department, Geological Survey of Japan, Tsukuba, Japan.
- Ineson, P.R., 1989. Introduction to practical ore microscopy. Longman Scientific and Technical, London, 181 pp.
- Kamber, B.S., Ewart, A., Collerson, K.D., Bruce, M.C. and McDonald, G.D., 2002. Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models. Contributions to Mineralogy and Petrology, 144(1): 38–56
- Kikawada, Y., Ossaka, T., Oi, T. and Honda, T., 2001. Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water. Chemical Geology, 176(1): 137–149.
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Zaw, K., Meffre, S. and Emami, M.H., 2012. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran. Mineralium Deposita, 47(4): 425– 440.
- Kuster, D. and Harms, U., 1998. Post-collisional potassic granitoids from the southern and northern parts of the Late Neoproterozoic East Africa Orogen: a review. Lithos, 45(1): 177–195.
- Lottermoser, B.G., 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. Ore Geology Reviews, 7(1): 25–41.
- Marschik, R. and Fontbote, L., 2001. The Candelaria-Punta Del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. Economic Geology, 96(8): 1799–1826.
- Miyashiro, A., 1977. Nature of alkalic volcanic series. Contributions to Mineralogy and Petrology, 66(1): 91–110.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Rashidnejad-Omran, N. and Daliran, F., 2009. Geochemistry and origin of apatite-bearing iron oxide deposit of Sorkhe Dizaj, SE Zanjan. Journal of Economic Geology, 1(1): 19-46.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and *www.SID.ir*

ordinary chondrites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 38(5): 755–773.

- Palacios, C.M., Hein, U.F. and Dulski, P., 1986. Behavior of rare earth elements during hydrothermal alteration at the Buena Esperanza copper–silver deposit, north Chile. Earth and Planetary Science Letters, 80(3): 208–216.
- Rādfar, J., Mohammadiha, K. and Ghahraeipour, M., 2005. Geological map of Zarrin Rood (Garmab), scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Ramdohr, P., 1980. The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press, New York, 1205 pp.
- Richards, J.P., Wilkinson, D. and Ullrich T., 2006. Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, northwest Iran. Economic Geology, 101(8): 1455–1496.
- Shahidi, E., Ebrahimi, M. and Kouhestani, H., 2012. Structure, texture and mineralography of Mesgar iron occurrence, south Gheydar. 4<sup>th</sup> Symposium of Iranian Society of Economic Geology, University of Birjand, Birjand, Iran. (in Persian with English abstract)
- Shelley, D., 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope: Classification, textures, microstructures and mineral preferred-orientations. Chapman and Hall, London, 445 pp.
- Spangenberg, J.E., Lavric, J.V., Alcala, C., Gosar, M., Dold, B. and Pfeifer, H.P., 1999. Inorganic and organic geochemical patterns of waste material from the Idrija mercury mine (Slovenia): Tracers of natural and anthropogenic chemicals. 5<sup>th</sup> Biennial SGA Meeting and 10<sup>th</sup> Quadrennial IAGOD Symposium, London, England.

- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7): 1229– 1258.
- Stromer, J.C., 1972. Mineralogy and petrology of the Raton-Clayton volcanic field, northeastern New Mexico. Geological Society of America Bulletin, 83(11): 3299–3322.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London, Special Publication, pp. 313–345.
- Tscuchiyama, A., 1985. Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopsidealbite-anorthite and origin of dusty plagioclase in the andesites. Contributions to Mineralogy and Petrology, 89(1): 1–16.
- Ulmer, P., 2001. Partial melting in the mantle wedge- the role of  $H_2O$  in the genesis of mantle-derived arc-related magmas. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 127(1): 215–232.
- Wilson, M., 1989. Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. Unwin Hyman, London, 446 pp.
- Yilmaz, H., Oyman, T., Arehart, G.B., Colakoglu, A.R. and Billor, Z., 2007. Low-sulfidation type Au-Ag mineralization at Bergama, Izmir, Turkey. Ore Geology Reviews, 32(1): 81–124.
- Yilmaz, H., Oyman, T., Sonmez, F.N., Arehart, G.B. and Billor, Z., 2010. Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/ Tespih Dere (Lapseki/western Turkey). Ore Geology Reviews, 37(3): 236–258.



# Investigation on type and origin of iron mineralization at Mesgar occurrence, south of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data

# Mohammad Ebrahimi, Hossein Kouhestani<sup>\*</sup> and Ehsan Shahidi

Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Submitted: Sep. 25, 2013 Accepted: Mar. 18, 2014

Keywords: Iron mineralization, hydrothermal vein, breccia, alteration, Mesgar, Zanjan.

### Introduction

Mesgar iron occurrence is located in northwestern part of the Central Iran, 115 km south of Zanjan. Although there is a sequence of volcanicpyroclastic accompanied rocks by iron mineralization, no detailed works had been conducted in the area. The present paper provides an overview of the geological framework, the mineralization characteristics, and the results of geochemical study of the Mesgar iron occurrence application to the ore genesis. with an Identification of these characteristics can be used as a model for exploration of this type of iron mineralization in the Central Iran and elsewhere.

# Materials and methods

Detailed field work has been carried out at different scales in the Mesgar area. About 16 polished thin and thin sections from host rocks and mineralized and altered zones were studied by conventional petrographic and mineralogic methods at the Department of Geology, University of Zanjan. In addition, a total of 3 samples from least-altered volcanic host rocks and 2 samples from ore zones from the Mesgar occurrence were analyzed by ICP-MS and ICP-OES for whole-rock major and trace elements and REE compositions at the Zarazma Laboratories, Tehran, Iran.

# **Results and Discussion**

Based on field observation, rock units exposed in the Mesgar area consist of Miocene sedimentary rocks and volcanic-pyroclastic units (Rādfar et al., 2005). The pyroclastic units consist of volcanic breccia and agglomerate. They lie concordantly on the Miocene sedimentary units, and are in turn concordantly overlain by andesitic basalt lavas. The lavas show porphyritic texture consisting of plagioclase (up to 3 mm in size) and pyroxene phenocrysts set in a fine-grained to glassy groundmass. Seriate, cumulophyric, glomeroporphyritic and trachytic textures are also observed.

Iron mineralization occurs as vein and lensshaped bodies within and along the contacts of pyroclastic (footwall) and andesitic basalt lavas (hanging wall). The veins reach up to 150 m in length and average 1.5 m in width, reaching a maximum of 3 m. Two stages of mineralization identified at Mesgar. Stage-1 mineralization formed before the hydrothermal brecciation events. This stage is characterized by disseminated fine-grained hematite in the basalt lavas. Clasts of andesitic stage-1 mineralization have been recognized in the hydrothermal breccias of stage-2. Stage-2 is represented by quartz, hematite and chlorite veins and breccias cement. This stage contains abundant hematite, together with minor magnetite and chalcopyrite.

The hydrothermal alteration assemblages at Mesgar grade from proximal quartz and chlorite to distal sericite and chlorite-calcite. The quartz and chlorite alteration types are spatially and temporally closely associated with iron mineralization. The sericite and chlorite-calcite alterations mark the outer limit of the hvdrothermal system. Supergene alteration (kaolinite) is commonly focused along joints and fractures.

The ore minerals at Mesgar formed as vein and hydrothermal breccia cements, and show veinveinlet, massive, brecciated, clastic and disseminated textures. Hematite is the main ore which is accompanied by minor magnetite and chalcopyrite. Goethite is a supergene mineral. Quartz and chlorite are present in the gangue minerals that represent vein-veinlet, vug infill, colloform, cockade and crustiform textures.

The Mesgar volcanic host rocks are characterized by LILE and LREE enrichment coupled with HFSE depletion. They have positive U, Th and Pb and negative Ba, Nb, P and Ti anomalies. Our geochemical data indicate a calc-alkaline affinity for the volcanic rocks (Kuster and Harms, 1998; Ulmer, 2001), and suggest that they originated from mantle melts contaminated by the crustal materials (Chappell and White, 1974; Miyashiro, 1977; Harris et al., 1986). The ore zones show lower concentrations of REE, except Ce, relative to fresh volcanic host rocks. LREE are more depleted than HREE. These signatures indicate high rock-fluid interaction in Mesgar.

Comparison of the geological, mineralogical, geochemical, textural and structural characteristics of the Mesgar occurrence with different types of iron deposits reveals that iron mineralization at Mesgar is originally formed as volcano-sedimentary, and then reconcentrated as vein mineralization by hydrothermal fluids (Barker, 1995; Marschik and Fontbote, 2001, Shahidi et al., 2012).

### Acknowledgements

The authors are grateful to the University of Zanjan Grant Commission for research funding. Journal of Economic Geology reviewers and editor are also thanked for their constructive suggestions on alterations to the manuscript.

### References

Barker, D.S., 1995. Crystallization and alteration of quartz monzonite, Iron Spring mining district, Utah, relation to associated iron deposits. Economic Geology, 90 (8): 2197-2217.

- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8(2): 173–174.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G., 1986. Geochemical characteristics of collisionzone magmatism. In: M.P. Coward, and A.C. Ries (Editors), Collision Tectonics. Geological Society of London, Special Publication, pp. 67–81.
- Kuster, D. and Harms, U., 1998. Post-collisional potassic granitoids from the southern and northern parts of the Late Neoproterozoic East Africa Orogen: a review. Lithos, 45(1): 177–195.
- Marschik, R. and Fontbote, L., 2001. The Candelaria-Punta Del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. Economic Geology, 96(8): 1799–1826.
- Miyashiro, A., 1977. Nature of alkalic volcanic series. Contributions to Mineralogy and Petrology, 66(1): 91–110.
- Rādfar, J., Mohammadiha, K. and Ghahraeipour, M., 2005. Geological map of Zarrin Rood (Garmab), scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Shahidi, E., Ebrahimi, M. and Kouhestani, H., 2012. Structure, texture and mineralography of Mesgar iron occurrence, south Gheydar. 4<sup>th</sup>
  Symposium of Iranian Society of Economic Geology, University of Birjand, Birjand, Iran. (in Persian with English abstract)
- Ulmer, P., 2001. Partial melting in the mantle wedge- the role of  $H_2O$  in the genesis of mantle-derived arc-related magmas. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 127(1): 215–232.