

سال بیست و ششم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۷، از صفحهٔ ۵۴۱ تا ۵۵۴



کانیشناسی، دگرسانی، زمینشیمی و بررسی سیالهای درگیرکانیسازی اکسیدآهن- مس منطقه نامق، شمال شرقی کاشمر

حکیمه تقدسی^۱، آزاده ملکزاده شفارودی^{*۱۰۲}

۱ - گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران ۲ - گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (دریافت مقاله: ۹۶/۴/۲۱، نسخه نهایی: ۹۶/۹/۴)

چکیده: منطقه نامق در شمال شرق کاشمر، استان خراسان رضوی، و در مرکز کمربند ماگمایی خواف-کاشمر- بردسکن واقع است. زمین شناسی منطقه پوشیده از تراکی آندزیت و واحدهای آذرآواری شامل توف تراکی آندزیتی تا ریولیتی است که دایک های مونزودیوریتی در آنها نفوذ کردهاند. کانی سازی به شکل رگهای با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی و شیب ۷۵ درجه به سمت شمال شرقی، در پهنههای گسلی و در سنگ میزبان تراکی آندزیت و توف تراکی آندزیتی تشکیل شده است. کانی های اولیه شامل اسپکیولاریت، کالکوپیریت و مگنتیت همراه با باطله کوارتز و کانی های ثانویه شامل گوتیت، هماتیت و مالاکیت است. سیلیسی شدن مهمترین دگرسانی همراه با کانی سازی است. ناهنجاری قابل ملاحظه مس تا بیش از دو درصد و مقادیر پایین طلا تا ۲۰ میلی گرم در شامل نمک های اکمود. بر پایه بررسی سیال های در گیر، دمای تشکیل کانی سازی بین ۳۰۰ تا ۴۹۶ درجه سانتیگراد بوده و از محلولی شامل نمک های اکمود. بر پایه بررسی سیال های در گیر، دمای تشکیل کانی سازی بین ۳۰۰ تا ۴۹۶ درجه سانتیگراد بوده و از محلولی شامل نمک های ایین، باعث کاهش دما و شوری ۱۱ تا ۲۲ درصد وزنی بوجود آمده است. آمیختگی دو سیال با دما- شوری بالا و دما-شوری پایین، باعث کاهش دما و شوری و رقیق شدگی شده و شرایط را برای ته شست اکسیدآهن و مس از کمپلکسهای کلریدی فراهم کرده است. مدل آمیختگی آب ماگمایی و آب جوی بهترین مدل برای تشکیل رگه آهن- مس دار منطقه نامق است. این کانی-سازی در فشار ۱۰ تا ۶۰ مگایاسکال و در عمقی بین ۵٫۰ تا ۲۲ کیلومتر (برپایه فشار سنگ کره) تشکیل شده است. کنارزایی کانیایی، سنگ میزبان، دگرسانی، کنترل ساختاری و ماهیت محلول کانه دار نشان می دهد که کانی سازی از نوع گرمابی مس غنی از اکسید آهن (اکسید آهن-مس) است.

واژههای کلیدی: کانهزایی؛ دگرسانی؛ زمینشیمی؛ سیالهای درگیر؛ اکسیدآهن- مس؛ نامق؛ شمال شرق کاشمر.

مقدمه

کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف-کاشمر- بردسکن با روند شرقی- غربی و با طول بیش از ۳۰۰ کیلومتر در شمال گسل درونه در شمال شرقی ایران قرار دارد [۱] (شکل ۱). این کمربند ماگمایی بیشتر از سنگهای آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و بعضاً مافیک با سن ترشیاری تشکیل شده که تودههای گرانیتوئیدی با ترکیب گرانیت تا مونزونیت در آنها نفوذ کردهاند. پژوهشگران مختلف نشان دادند که نظام زمین

ساختی تشکیل این کمربند ماگمایی مربوط به فرورانش بخشی از پوسته اقیانوسی نئوتیس است [۵-۲]. موقعیت زمینساختی و تنوع ماگمایی موجب شده است تا کمربند ماگمایی خواف-کاشمر- بردسکن به یکی از پهنههای مهم فلززایی ایران تبدیل شود؛ به طوریکه میزبان معادن مهمی همچون طلای نوع غنی از اکسید آهن کوه زر تربت حیدریه [۶]، مس- طلا-اورانیوم-عناصر خاکی نادر سبک نوع اکOC فیروزه نیشابور [۱]، اسکارن آهن سنگان [۷]، توده مگنتیت حاوی طلای تنورجه

*نویسنده مسئول، تلفن: ۵۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، نمابر: ۵۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir



شکل ۱ الف) کمربندهای ماگمایی ترشیاری ایران و موقعیت محدوده در شمال شرقی ایران، ب) موقعیت کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف-کاشمر- بردسکن در شمال گسل درونه در استان خراسان رضوی همراه با موقعیت کانیسازیهای مهم آن (برگرفته از مرجع [۱] با اندکی تغییرات) و گستره مورد بررسی نامق.

 ۱). بهروزی [۱۲] این منطقه را از نظر زمینشناسی عمومی بررسی کرده و حاصل آن را به صورت برگه زمینشناسی فیض-آباد به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منتشر نموده است. هیچگونه تاریخچه مطالعاتی از منطقه نامق وجود ندارد و کانیسازی آن برای نخستین بار در این مقاله به تفصیل معرفی میشود. هدف از این پژوهش تهیه نقشه زمینشناسی-کانیسازی با مقیاس مناسب، بررسی دگرسانیها، کانیشناسی و تعیین توالی کنارزایی، زمینشیمی و بررسی سیالهای درگیر رخداد کانه-زایی رگه اکسیدآهن- مس در منطقه نامق است.

روش بررسی

در راستای تهیه نقشه زمین شناسی و دگر سانی، نخست برداشت اطلاعات صحرایی و نمونه برداری از واحدهای سنگی در منطقه- در مرحله سرد و گرم کردن C° 1± و گستره دمایی آن بین (۱۹۰-) تا (۴۶۰۰) درجه سانتیگراد است. مقدار شوری و چگالی در سیستم H2O-NaCl با استفاده از نرمافزار موجود در برنامه اکسل HOKIEFLINCS-H2O-NACL [۱۳،۱۴] محاسبه شد. نمودارهای ستونی مربوطه در نرمافزار SPSS ترسیم شد.

زمينشناسى

منطقه نامق در شمال برگه زمینشناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد [۱۲] قرار دارد. براساس این نقشه، سنگشناسی گستره نامق شامل واحد توف برشی سفیدرنگ، ایگنمبریت، لاپیلیتوف و توفهای ماسهای به رنگ سبز به سن ائوسن است. این در حالی است که بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی این پژوهش نشان داد که علاوه بر وجود انواع مختلف سنگهای آتشفشانی به شکل آذرآواری و گدازه، تودههای نفوذی نیمه عمیق حدواسط متعددی با ترکیب مونزودیوریت به شکل دایک در منطقه وجود اعظم منطقه نامق را سنگهای آتشفشانی ترشیاری پوشاندهاند اعظم منطقه نامق را سنگهای آتشفشانی ترشیاری پوشاندهاند توف تراکیآندزیت، توف سنگی تراکیآندزیتی، توف ریوداسیتی و توف ریولیتی هستند (شکل ۲). از این میان واحدهای توف تراکیآندزیتی و تراکیآندزیت گدازه شکل بیشترین گسترش را دارند. ای به وسعت تقریبی ۲ کیلومتر مربع انجام شد. بیش از ۵۵ نمونه از سطح منطقه جمع آوری شد که از این میان ۳۵ مقطع نازک برای بررسیهای سنگشناسی و دگرسانی و ۲۰ مقطع نازک صیقلی و قطعه صیقلی جهت بررسیهای کانهزایی و تعیین توالی کنارزایی تهیه شدند. نقشه زمین شناسی- کانی-سازی منطقه با نرمافزار ArcGIS تهیه شد. جهت بررسیهای زمینشیمی از یهنههای کانیسازی، تعداد ۱۱ نمونه خرده سنگی برداشت شد و به روش طیفسنجی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) با آمادهسازی نمونه به روش محلول در تیزاب سلطانی برای عناصر مس، سرب، روی و غیره و روش عیارسنجی گرمایی برای طلا در آزمایشگاه زرآزما تجزیه شدند. همچنین برای بررسی سیالهای درگیر، پس از بررسی-های دقیق کنارزایی کانی کوارتز (مهمترین باطله همراه با کانیسازی) تعداد ۱۰ مقطع دوبرصیقل (پوک) از آن تهیه شد و دادههای دماسنجی، نوع نمکها و مقدار شوری محلول کانه-ساز آنها تعیین شد. آزمایشهای مربوطه با استفاده از یک دستگاه سردکننده و گرمکننده مدل THM 600 ساخت شرکت لینکام در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. واسنجی دستگاه در دمای یایین توسط هیتان (C° ۶۰/۶-)، کلروفورم (C° ۶۳-)، کلروبنزن (C° ۴۵٬۶-)، ان-دودکان (C° ۹٬۶-) و آب مقطر (صفر درجه سانتیگراد) و در ۳۰۶ درجه سانتیگراد توسط نیترات سدیم انجام می شود. دقت کار دستگاه



شکل ۲ نقشه زمینشناسی-کانیسازی منطقه نامق.

واحد توف تراکیآندزیتی که بیشترین گسترش را در منطقه دارد در بخش مرکزی، غرب و شمال منطقه رخنمون دارد و میزبان بخشی از کانیسازی رگهای است (شکل ۲). این واحد توسط دایکهای متعدد مونزودیوریتی مورد نفوذ قرار گرفته است. رنگ آن در صحرا خاکستری مایل به سبز روشن بوده که تحت تاثیر دگرسانی سیلیسی شدید و سرسیتی- پروپلیتیک ضعیف قرار گرفته است. این واحد دارای بافت پورفیری است و بلورهای پلاژیوکلاز به اندازه تا ۲ میلیمتر در آن دیده می شود. واحد تراکیآندزیت گدازه شکل در بخش مرکزی و جنوبی منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). رنگ آن در صحرا خاکستری تیره بوده و دچار دگرسانی شدید سیلیسی شده است. بافت این واحد نیز پورفیری بوده و دارای بلورهای پلاژیوکلاز به اندازه ۳ میلیمتر است. بخشی دیگر از کانیسازی اکسید آهن – مس نامق در این واحد تشکیل شده است. واحد توف ریوداسیتی در بخش شمال شرقى منطقه رخنمون دارد (شكل ٢). اين واحد در صحرا به رنگ سفید مایل به زرد بوده و دچار دگرسانی سیلیسی- سرسیتی شدید شده است. بلورهای کوارتز به اندازه تا یک میلیمتر در آن به چشم میخورد. واحد توف ریولیتی در بخش شرقی و جنوبی منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). این واحد در صحرا به رنگ سفید بوده و دچار دگرسانی سیلیسی-سرسیتی متوسط و آرژیلی شدید شده است. در بخش جنوبی رگه کانیسازی، تنها دستخوش دگرسانی شدید آرژیلی شده است. واحد توف خردهسنگی تراکیآندزیتی در بخش جنوب شرقی گستره مورد بررسی دیده می شود (شکل ۲). این واحد دچار دگرسانی شدید سیلیسی- سرسیتی شده است. اندازه خردهسنگهای تراکیآندزیتی از ۰٫۵ تا ۲ میلیمتر متغیر است. گفتنی است که بخش عمده دگرسانی وسیع مشاهده شده در منطقه مربوط به حضور یک سیستم کانیسازی دیگر در ناحیه نامق است که موضوع بحث این مقاله نیست. دگرسانی مربوط به کانی سازی رگهای سیلیسی شدید است که در بخش کانی-سازی و دگرسانی توضیح داده میشود.

کانیسازی و دگرسانی

کانی سازی منطقه نامق کنترل ساختاری دارد و در سنگهای میزبان آتشفشانی تراکی آندزیت و توف تراکی آندزیتی بیشتر در مرکز و به طور محدودتر در شمال و جنوب غرب منطقه دیده می شود (شکل ۲). کانی سازی در سه رخنمون شمالی، مرکزی و جنوب شرقی در منطقه به چشم می خورد. رخنمون اصلی به شکل رگهای با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و شیب ۷۵

درجه به سمت شمال شرقی، با طول تقریبی ۳۳ متر و عرض حدود ۱۰ متر دیده می شود (شکل های ۲ و ۳ الف). رخنمون غربی در منطقه با امتداد شرقی- غربی و شیب ۴۵ درجه به سمت شرق با طول ۲۰ متر و عرض ۱۰ متر و رخنمون شمالی با گستردگی اندک، طول تقریبی ۲ متر و عرض ۰٫۵ متر دیده مىشوند. كانى هاى اوليه شامل اسپكيولاريت، كالكوپيريت و مگنتیت همراه با کانیهای غیرفلزی کوارتز و بسیار کمتر کلسیت و کانی های ثانویه شامل گوتیت، هماتیت و مالاکیت است (شکل ۳). سیلیسی شدن مهمترین دگرسانی همراه با رگه است که هم در خود رگه و هم در سنگهای میزبان دیده می-شود. ساخت و بافت کانیسازی رگه- رگچه است که در بیشتر قسمتهای رگه به دلیل حجم بالای کانیهای اکسیدی و سولفیدی حالت تودهای پیدا کرده است. همچنین بافت پرکننده فضای خالی به ندرت دیده می شود. توالی کنارزایی کانیهای اولیه و ثانویه فلزی و غیرفلزی رگه اکسیدآهن- مس منطقه نامق در جدول (۱) نشان داده شده است.

كانىشناسى

اسپکیولاریت: اسپکیولاریت فراوان ترین کانی اکسیدی در منطقه نامق است که گاهی تا ۵۰ درصد حجم رگه را تشکیل می دهد (شکل ۳ ب). رنگ خاکستری سربی، آگرکات سوزنی، براق بودن و خاکه قرمز رنگ از مشخصههای مهم این کانی در نمونه دستی است. این کانی شکل دار به صورت تیغهای تا صفحهای بوده و طول آن از ۵٫۰ تا ۱٫۵ میلیمتر متغیر است. اسپکیولاریتها در اثر هوازدگی سطحی به مقدار ۱۰ تا ۱۵ درصد به گوتیت و به مقدار ۲۵ تا ۳۰ درصد به هماتیت تبدیل شدهاند (شکل ۳ پ). تشکیل این کانی نشاندهنده گریزندگی بالای گاز اکسیژن در محلول کانه دار است.

کالکوپیریت: کالکوپیریت تنها کانی سولفیدی در منطقه نامق است که به طور متوسط ۱۰ تا ۱۵ درصد حجم رگه را تشکیل میدهد و البته در سرتاسر آن حضور ندارد. کالکوپیریتها بی-شکل تا نیمه شکل دار بوده و اندازه آنها بین ۱ تا ۲ میلیمتر متغیر است. در برخی نقاط این کانی در قالب رگچههایی با بافت پرکننده فضای خالی و در وسط رگچه دیده می شود. همچنین قرارگیری آن در بین تیغههای اسپکیولاریت نشان می دهد که بخش عمده این کانی پس از اسپکیولاریت تشکیل شده است. کالکوپیریتها بر اثر هوازدگی سطحی به مقدار ۲۰ شده است. کالکوپیریتها بر اثر هوازدگی سطحی به مقدار ۲۰ شده اند (شکلهای ۳ ت و ج).



شکل ۳ الف) نمایی دور از رگه کانیسازی اکسیدآهن- مس منطقه نامق، دید به سمت جنوب، ب) نمای نزدیک از رگه کانیسازی پ) تیغههای اسپکیولاریت و تبدیل آن به گوتیت، نور بازتابی (PPL). ت) تبدیل کالکوپیریت به گوتیت، نور بازتابی (PPL). ث) تبدیل مگنتیت سوزنی به هماتیت، نور بازتابی (PPL). ج) نمونه دستی از کانیسازی رگچهای اسپکیولاریت- کالکوپیریت- کوارتز و تبدیل آن به گوتیت و مالاکیت. (Spe= اسپکیولاریت، Ccp= کالکوپیریت، Mag= مگنتیت، Gt= گوتیت و Hem= هماتیت). (مخففها برگرفته از مرجع [۱۵] هستند).



جدول ۱ توالی کنارزایی کانیسازی اکسیدآهن- مس منطقه نامق.

مگنتیت: مگنتیت به ندرت در رگه دیده شده می شود و به طور متوسط کمتر از ۴ درصد حجم رگه را تشکیل می دهد. این کانی تقریباً شکل دار بوده و به صورت تیغه ای همانند اسپکیولاریت ها دیده می شود و تنها با استفاده از آهنربا و به واسطه خاصیت مغناطیسی و خواص میکروسکوپی متفاوت (مانند نداشتن IR قرمز رنگ) تشخیص داده شده اند. اندازه تیغه های مگنتیت از ۱٫۰ تا ۵٫۰ میلیمتر متغیر بوده و در مقایسه با اسپکیولاریت ها باریکتر هستند. این کانی به مقدار مقایسه با اسپکیولاریت ا باریکتر هستند. این کانی به مقدار رابطه تشکیل این کانی با اسپکیولاریت و کالکوپیریت به درستی مشخص نیست؛ اما به نظر می رسد که بیشتر همزمان با اسپکیولاریت تشکیل شده باشد.

کوارتز: کوارتز بیشترین و مهمترین کانی باطله همبرزاد با کانی -های فلزی در منطقه نامق است که به صورت رگه - رگچهای و بیشتر پیش از کانهها تا همزمان با کانیسازی سولفیدی و اکسیدی تشکیل شده است. به طور کلی، کوارتز از ۲۵ درصد تا گاهی بیش از ۶۰ درصد حجم رگه را تشکیل میدهد. براساس بررسیهای آزمایشگاهی، این کانی دارای دو حالت ریزبلور با اندازه تقریبی ۲۰٬۰۵ میلیمتر و درشت بلور با اندازه تقریبی ۱ میلیمتر است. حضور کوارتزهای ریزبلور در زمینه نشان میدهد که آنها پیش از درشت بلور بیانگر آن است که کوارتزهای درون رگچههای درشت بلور بیانگر آن است که کوارتزهای درشت بلور همبرزاد اصلی اسپکیولاریت، کالکوپیریت و مگنتیت مستند. این کانی در بافت پرکننده فضای خالی بیشتر در کناره ماست (شکل ۳ ج).

کلسیت: رگچههای کلسیت تاخیری معمولاً کانهها و کوارتز را قطع کردهاند. کلسیت به صورت رگچههای بسیار باریک به طور تقریبی ۳ تا ۵ درصد حجم رگه را تشکیل میدهد. براساس بررسیهای میکروسکوپی، اندازه بلورهای کلسیت در این رگچهها از ۰٬۰۵ تا ۰٬۱ میلیمتر متغیر است.

هماتیت: هماتیت فراوانترین کانی اکسیدی ثانویه در منطقه نامق است که به طور کلی ۲۰ تا ۲۵ درصد حجم رگه را تشکیل میدهد. این کانی از دگرسانی ۲۵ تا ۳۰ درصد کانی اسپکیولاریت و ۱۰ تا ۱۵ درصد مگنتیت تشکیل شده است. بر اساس بررسیهای صحرایی، این کانی به رنگ قرمز و بهصورت

پراکنده در بخشهای مختلف رگه دیده میشود (شکلهای ۳ ب و ث).

گوتیت: گوتیت به طور کلی ۵ تا ۱۰ درصد حجم رگه را تشکیل می دهد و حاصل دگرسانی کانیهای اسپکیولاریت (مقدار تبدیل ۱۰ تا ۱۵ درصد) و کالکوپیریت (مقدار تبدیل ۲۰ تا ۲۵ درصد) است. براساس بررسیهای صحرایی، این کانی به رنگ قهوهای تا سیاه با جلای قیری دیده می شود. براساس بررسی-های میکروسکوپی، گوتیت حاصل دگرسانی کالکوپیریت به مای میکروسکوپی، گوتیت حاصل دگرسانی کالکوپیریت به گوتیت نتیجه دگرسانی اسپکیولاریت به رنگ خاکستری-سفید مایل به آبی دیده می شود (شکلهای ۳ پ و ت).

مالاکیت: در منطقه مورد بررسی نامق، کانی مالاکیت تنها کانی ثانویه مسدار است که حاصل دگرسانی کالکوپیریت است. به طور کلی مالاکیت ۸ تا ۱۰ درصد حجم رگه را تشکیل میدهد. کالکوپیریتها از کمتر از یک درصد تا گاهی ۲۰ درصد به مالاکیت تبدیل شدهاند (شکل ۳ ج).

زمینشیمی رگه

نتایج زمین شیمی رگه اکسید آهن- مس نامق ۱۱ نمونه خرده-سنگی که به روشهای ICP-OES و عیارسنجی گرمایی تجزیه شدهاند. در جدول ۲ آورده شده است. میزان عنصر آهن بین ۴۱۹۳۰ گرم در تن تا بیشتر از ۱۰٪ متغیر است. اسپکیولاریت، گوتیت و هماتیت که مقدار آنها گاهی تا ۵۰ درصد حجم رگه می رسد عامل بالا بودن مقدار آهن هستند. در ۱۱ نمونه خرده-سنگی، مقدار عنصر مس بین ۸۹ گرم در تن تا ۲٬۸ درصد متغیر و متوسط آن ۰٬۹ درصد است. بیشترین مقدار مس با مقدار بالاتر کالکوپیریت و مالاکیت در بخشهایی از رگه ارتباط دارد. در این ۱۱ نمونه خردهسنگی، مقدار عنصر طلا از کمتر از ۵ تا ۲۰ میلی گرم در تن متغیر و مقدار متوسط آن ۸ میلی گرم در تن است که مقدار قابل توجهی نیست. همچنین مقدار عنصر سرب بین ۳۱ تا ۱۴۶ و روی بین ۹۸ تا ۲۴۹ گرم در تن متغیر است. هر چند در مقدار این دو عنصر ناهنجاری وجود دارد، اما قابل توجه نیست و کانی مرتبطی نیز دیده نشده است. مقدار آرسنیک بین ۱۷ تا ۳۰ گرم در تن متغیر است که مقادیر بالایی محسوب نمی شود (جدول ۲). همبستگی مشخصی بین عناصر دیده نمی شود. بیشترین مقادیر طلا، سرب و روی و کمترین مقدار آهن در رگه جنوب غربی منطقه دیده می شود (نمونه A11) (شكل ٢).

					<i></i>		J: J
Au	As	Zn	Pb	Cu	Fe	موقعيت	شماره نمونه
٩	71	۱۵۸	110	1904	٨۵۵۵۶	۵۸° ۴۵´ ۰۵" ۳۵° ۲۳´ ۱۹"	A_1
٨	٣.	147	٣۴	۵۸۲۳	97147	۵۸° ۴۵´ ۰۶" ۳۵° ۲۳´ ۱۹"	A ₂
۶	۲۵	170	۲۹	4957	9777.	۵۸° ۴۵´ ۰۶" ۳۵° ۲۳´ ۱۸"	A ₃
<۵	۲۵	١٣٣	88	1.7.4	98018	۵۸° ۴۵´ ۰۵" ۳۵° ۲۳´ ۱۸"	A_4
۵	۲.	٩٨	٣٩	4011	>%).	۵۸° ۴۵´ ۰۶" ۳۵° ۲۳´ ۱۸"	A_5
<۵	۲۳	١٣٧	۳۱	V848	91197	۵۸° ۴۵´ ۰۵″ ۳۵° ۲۳´ ۱۷″	A_6
١٢	١٧	١١٧	۳۵	٨٨٩٩	95775	۵۸° ۴۵´ ۰۵″ ۳۵° ۲۳´ ۱۷″	A ₇
۶	١٧	١١٢	۳۵	١٢٢٢٩	>".).	۵۸° ۴۵´ ۰۵″ ۳۵° ۲۳´ ۱۷″	A_8
۶	۲۳	174	۳۷	5774	91871	۵۸° ۴۵´ ۰۵" ۳۵° ۲۳´ ۱۸"	A ₉
٨	۲۳	١٣٨	٨١	۲۸۳۶۰	V980A	۵۸° ۴۵´ ۰۶" ۳۵° ۲۳´ ۲۵"	A ₁₀
۲.	77	749	148	٨٩	41977.	۵۸° ۴۴´ ۳۴″ ۳۵° ۲۳´ ۰۵″	A ₁₁

جدول ۲ نتایج تجزیه عناصر مهم در نمونههای خردهسنگی برداشت شده از موقعیتهای کانیسازی در منطقه نامق به روش ICP-OES و عیارسنجی گرمایی (همه عناصر جز طلا برحسب گرم در تن و طلا برحسب میلی *گ*رم در تن).

سیالهای درگیر

بررسی سیالهای درگیر برای تعیین دماسنجی، تعیین نوع نمکها و مقدار شوری محلول کانهدار در کانسارهای مختلف به کار میرود. البته پیش از آن باید بررسیهای دقیق کنارزایی انجام شده و کانیهایی انتخاب شوند که تشکیل آنها از محلول کانهدار تایید شده باشد. در منطقه نامق، کانی کوارتز مهمترین کانی باطله همراه با رگه اکسید آهن- مس محسوب میشود. سیالهای درگیر در ۱۰ نمونه دوبرصیقل از رگه کوارتز-اسپکیولاریت-کالکوپیریت ± مگنتیت که دارای سیالهای درگیر با اندازه مناسب بودند، بررسی شد. دماسنجی به روش گرمایش بر ۱۵۸ سیال درگیر انجام شد و نوع نمکها و مقدار شوری به روش سرمایش برای ۱۰۸ سیال درگیر تعیین گردید.

بررسیهای سنگنگاری سیالهای درگیر اولیه در کوارتز نشان داد که آنها به صورت مثلثی، استوانهای، بیضوی، مستطیلی و بیشکل دراندازههای دست کم ۴ تا ۴۰ میکرون هستند و بیشتر در ابعاد کمتر از ۱۵ میکرون مشاهده میشوند (شکل ۴). براساس تقسیم بندیهای متداول [۱۶،۱۷]، سیالها از نوع سه-فازی غنی از مایع (LVS)، دوفازی غنی از مایع (LV, LS)، نک فاز مایع (L) و تک فاز گازی (V) هستند که فاز جامد در سیالهای نوع LVS و LS اکسیدآهن است (شکلهای ۴ الف و ب). فاز جامد اکسیدآهن میلهای و دایرهای، قرمزرنگ و با اندازه تقریبی ۱ تا ۲ میکرون دیده میشود. مقدار سیالهای تک فازی L بیش از بقیه است. سیالهای در گیر ثانویه بیشتر از نوع مایع است و اندازه آنها به ۴ میکرون میرسد. اندازه گیریهای دماسنجی، تعیین نوع محلول و مقدار شوری برای سیالهای در درگیر اولیه نوع LV و LVS انجام شد (جدول ۳). بیر

دمای همگن شدگی (Th) در سیالهای درگیر اولیه بین ۲۰۰ تا ۴۹۶ درجه سانتیگراد با میانگین ۴۰۳٫۸ درجه سانتیگراد است (شکل ۵ الف). نخستین دمای ذوبشدگی (Tfm) بین ۵۹- تا ۵۵- درجه سانتیگراد با میانگین ۵۶٫۴-درجه سانتیگراد است. نخستین دمای ذوبشدگی رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمابی دارد [۱۷]. بر اساس مقادیر Tfm بدست آمده، نمکهای 2acl2 و Cacl

در سیالهای درگیر اولیه وجود دارند. دمای ذوب نهایی (Tm) بین ۲۰- تا ۷- درجه سانتیگراد با میانگین ۱۵/۶- درجه سانتیگراد است (شکل ۵ ب). دمای نهایی ذوب نیز مقدار شوری را تعیین میکند. براساس سیستم H₂O-NaCl [۳۱، شوری را تعیین میکند. براساس سیستم ۲۱ درصد وزنی با ۱۹]، مقدار شوری محلول کانهدار بین ۱۱ تا ۲۲ درصد وزنی با میانگین ۱۹ محاسبه شد (شکل ۵ پ). مقدار چگالی سیالهای درگیر نیز بین ۲/۴ تا ۶۲/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر است (جدول ۳).



شکل ۴ سیالهای در گیر منطقه نامق: الف) سیال در گیر مستطیلی سهفازی (LVS)، ب) سیال در گیر استوانهای دوفازی (LV).

					0,000	
چگالی	شورى	آخرين دماي ذوب	نخستین دمای	دمای همگن	اندازه	diani
(gr/cm^3)	(درصد وزنی)	شدگی (℃)	ذوبشدگی (C ⁰)	شدگی (C°)	(µm)	مود
۴٫۰ تا ۴۲٫۰	۹- ۱۰٫ تا ۱۲٫۶	−۷٫۳ تا ۲٫۸	۸٫۵۵ تا ۵۵٫	۳۰۰ تا ۳۴۷	۴ تا ۸	N-1
۶۲/۶۲ تا ۶۴/۰	۲۱٫۲ تا ۲۱٫۲	۱۹٫۶ – تا ۱۸٫۳	۸٫۵۵– تا ۴٫۵۵	۳۲۶ تا ۳۸۶	۵ تا ۱۰	N-3
۵۹٫۰ تا ۶۴٫۰	۱۸٫۶ تا ۲۰	۱۶٫۲ – تا ۱۵ –	۵۹- تا ۵۵-	۳۸۳ تا ۴۱۹	۶ تا ۱۶	N-5
۶۰ تا ۶۱/۰	۱۹٫۸ تا ۲۰٫۴	۱۷٫۲ – تا ۱۶٫۴ –	۵۵٫۱ تا ۵۶٫۷	۴۲۰ تا ۴۲۲	۷ تا ۱۰	N-6
۶۱ ، ۶۲ تا ۶۳	۲۰٫۲ تا ۲۱٫۴	۱۸٫۶ - تا ۱۷	۵۵٫۷ تا ۵۵٫۷	۴۶۶ تا ۴۲۸	۵ تا ۴۰	N-7
۶۱ ، ۶۲ تا ۶۳	۲۰٫۷ تا ۲۰٫۷	۱۸٫۶ – تا ۱۷٫۶	−۵۶٫۱ تا −۵۸٫۷	۴۹۶ تا ۴۳۰	۶ تا ۲۰	N-20
۶۰, ۲۰ تا ۶۳/۰	۱۹٫۸ تا ۲۱	۱۸٫۶ – تا ۱۶٫۴ –	۵۹٫۹ تا ۵۶٫۹	۲۸۵ تا ۴۹۰	۸ تا ۲۰	N-43
۴۶٬۰ تا ۴۸٬	۱۳٫۷ تا ۱۴٫۸	۷٫۰۰ تا ۸٫۷	۵۵٫۲ تا ۵۸٫۴	۳۴۵ تا ۴۲۶	۲۷ تا ۲۴	N-63
۵۵٫۰ تا ۵۷٫	۱۸٫۵ تا ۲٫۵	۸٬۴۱۴ - تا ۱۴	۵۹٫۹ تا ۵۶٫۹	۳۵۹ تا ۳۷۵	۵ تا ۸	N-90
۶۲ ، ۲ ۶۲	۲۰٫۷ تا ۲۰٫۷	۱۹٫۲ – تا ۱۸٫۷	۵۵٫۴ تا ۴٫۴–	۴۷۷ تا ۴۳۸	۴ تا ۱۲	N-97
	چگالی (gr/cm ³) ،/۲۲ تا ۶/۲ ،/۶۲ تا ۶/۲ ۰/۶۲ تا ۶/۹ ۰/۶۲ تا ۶/۹ ۰/۶۲ تا ۶/۹ ۰/۶۸ تا ۶/۹ ۰/۶۲ تا ۶/۹ ۰/۶۲ تا ۶/۹	شوری چگالی (gr/cm ³) چگالی (cr/ccm ³) (درصد وزنی) ۰/۲۲ تا ۲/۲ ۲۲/۱۲ ۲۰/۳ ۲۰/۳ ۰/۶۲ تا ۲۲/۲ ۲۲/۱۲ ۲۰/۳ تا ۶۲/۲ ۰/۶۲ تا ۶/۰۲ ۲۰/۳ ۲۰/۳ ۲۰/۳ ۰/۶۳ تا ۶/۰۲ ۲۱/۳ ۲۰/۳ ۰/۶۳ تا ۶/۰۲ ۲۱/۴ ۲۰/۳ ۰/۶۸ تا ۳۲/۷ ۰/۵۷ تا ۵۵/۰ تا ۳۶/۲ ۰/۵۲ تا ۲۱/۸	i i	$i \neq 0$	D = 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2	1 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 +

جدول ۳ خلاصه نتایج بررسی سیالهای درگیر نوع LV و LVS در کوارتزهای رگه کوارتز-اسپکیولاریت-کالکوپیریت ± مگنتیت در منطقه نامق.



بحث و برداشت

کانیسازی اکسید آهن- مس نامق با کنترل ساختاری در سنگ میزبان آتشفشانی به سن ترشیاری تشکیل شده است. کانی-شناسی اصلی رگه، اسیکیولاریت –کالکوییریت با مقادیر کمی مگنتیت و همراهی کانی کوارتز به عنوان مهمترین کانی باطله است. سنگ میزبان نیز در اثر تشکیل این رگه دچار دگرسانی سیلیسی و کمتر پروپلیتیک شده است. تجزیههای زمینشیمی نشان میدهد که مهمترین ناهنجاری رگه مربوط به عنصر مس است و طلا (دست کم در نمونههای برداشت شده) مقادیر قابل توجهی ندارد. چنان که در مقدمه بیان شد کمربند ماگمایی خواف - كاشمر- بردسكن فراورده پهنه فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس است و پتانسیل بالایی برای انواع کانی-سازیهای مختلف به ویژه ذخایر IOCG دارد. منطقه نامق در فاصله حدود ۱۷ کیلومتری غرب معدن طلای کوه زر که از نوع IOCG است [۶]، قرار دارد و اگرچه در نمونههای خردهسنگی برداشت شده از سطح، ناهنجاری بالای طلا دیده نشده است، اما از طرف دیگر ویژگیهای زمین شناسی، دگرسانی و کانی-

سازی آن بسیار شبیه کوه زر است. با توجه به این مطالب و اینکه بررسیها و برداشتهای انجام شده در این پژوهش مربوط به سطح بوده و هیچگونه داده عمقی از منطقه وجود ندارد و تعداد نمونهبرداری زمینشیمیایی نیز محدود بوده است، رخداد کانهزایی نامق را در حال حاضر میتوان یک کانیسازی گرمابی مس غنی از اکسید آهن (IOC) معرفی کرد که اثبات IOCG بودن آن به طور قطع نیازمند دادههای تفضیلی عمقی است.

برمبنای بررسی سیالهای درگیر، دمای تشکیل محلول کانهدار منطقه نامق بین ۳۰۰ تا ۴۹۶ درجه سانتیگراد بوده و از محلولی شامل نمکهای NaCl و CaCl با درجه شوری بین ۱۱ تا ۲۲ درصد وزنی بوجود آمده است. وجود سیالهای درگیر دوفازی غنی از مایع و تکفاز گازی در کوارتزهای همراه با کانیهای سولفیدی، نشاندهنده رخداد پدیده جوشش در زمان تشکیل کانیسازی است. معمولاً برای بدست آوردن دمای واقعی تشکیل کانسار، فشار ستون چینهای که در آن زمان بر روی کانیسازی وارد بوده است لازم است و بر دمای همگن شدگی بدست آمده، باید تصحیح فشار صورت گیرد. اما از کمیلکس های کلریدی فراهم کرده است (شکل ۶). همچنین در نمودار دما- شوری و گستره انواع مختلف محلول های کانهدار، مدل آمیختگی آب ماگمایی گرم و شور با آب جوی سرد و کم شور، بهترین مدل برای تشکیل رگه آهن- مسدار منطقه نامق است [۲۳] (شکل ۷). گفتنی است که اگرچه تعدادی از نمونه-ها در گستره آب دگرگونی قرار گرفتهاند، اما از آنجاییکه هیچ نشانهای از دگرگونی ناحیهای در منطقه وجود ندارد، وجود این نوع سیال منتفی است. کاهش دما و غلظت HCl که معمولاً در پهنه جوشش رخ میدهد میتواند دو عامل مهم تشکیل کانی-سازی و تهنشست اکسیدآهن اولیه و سولفیدها باشد. همچنین فرآیند آمیختگی محلول ماگمایی گرم و شور و محلول جوی سرد و کم شور می تواند باعث کاهش دما، نایایداری کمیلکس-های و تهنشینی فلزات شود. با توجه به گستره دمایی و شوری رگه اکسید آهن- مسدار منطقه نامق، این کانیسازی در فشار بین ۱۰ تا ۶۰ مگاپاسکال و در عمقی بین ۵٫۵ تا ۲ کیلومتری (برپایه فشار سنگ کره) تشکیل شده است [۲۴] (شکل ۸). در شکل ۹ مقایسهای بین دما و شوری کانیسازی اکسید

آهن- مس نامق و برخی کانسارهای IOCG انجام شده است [۳۰–۲۵]. بررسیهای انجام شده بر کانسارهای IOCG نشان میدهد که تشکیل آنها مربوط به سیالهای ماگمایی- گرمابی با دمای متوسط تا بالا (حدود ۳۰۰ تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد)، شوری بالا و محتوی CO₂ است [۳۴–۳۱]. اگرچه که تعدادی از کانسارها بویژه در مرحله تشکیل کانی سازی مس- طلا، با محلولهای دمای متوسط تا کم (کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد)، شوری بالا و مقادیر متغیر CO₂ در ارتباط هستند. البته مقدار شوری بالای محلول در همه کانسارهای IOCG قطعیت ندارد، بطوریکه در برخی از آنها مقدار شوری کمتر از ۲۶ درصد وزنی است [۳۵،۳۶]. ویلیامز [۳۷] معتقد است که در بخشهای بالایی ذخایر IOCG، آبهای سرد سطحی با محلولهای داغ ماگمایی با گرفته از عمق درهم میآمیزند. مقایسه رخداد کانهزایی نامق با ذخایر IOCG نشان میدهد که بسیاری از مقادیر دما و شوری سیالهای درگیر منطقه نامق با دادههای مربوط به ذخایر IOCG همخوانی ندارد و تنها بخش اندکی از آنها با دادههای مربوط به کانسارهای کوهستان ایگل (Mont-de-l'Aigle) و معادن گیسی (Mont-de-l'Aigle) همخوانی دارد (شکل ۹). این امر نیاز به بررسیهای تفضیلی و

آنجایی که شواهد فرآیند جوشش دیده می شود، بنابراین دمای همگنشدگی بدست آمده برای کانیسازی اکسیدآهن- مس منطقه نامق، مي تواند همان دماي واقعى تشكيل كاني سازي باشد. در واقع جوشش سیالهای گرمابی یک ساز وکار و فرآیند اولیه برای تحرک و تمرکز فلزات در هنگام تشکیل کانسارهای فلزی محسوب می شود. این فرآیند در شرایط دمای بالا و فشار پایین رخ میدهد و نتیجه آن افزایش شوری، افزایش pH، تغییر در در پتانسیل اکسایش - کاهش (Eh) و تهنشست مواد معدنی است [1۸]. همچنین این پدیده موجب به دام افتادن سیالهای درگیر با نسبتهای فازی مختلف می شود [۱۹]. ماگما به زمانیکه سطح نزدیک می شود، در اثر کاهش فشار (جوشش اوليه) و تبلور (جوشش ثانويه) سيالها، از حالت ماگمایی به حالت گرمابی تغییر میکند [۱۸]. سرد شدن، آمیختگی سیالها، جوشش و واکنش سیال- سنگ میزبان نقش مهمی در تهنشست کالکوپیریت از سیال گرمابی دارد و همچنین رقیق شدگی سیال های کانهدار شور نیز می تواند باعث تشکیل کانیهای مسدار از سیال کانهدار شود [۲۰]. بررسیها نشان داده است که کمپلکسهای بی سولفیدی در کانسارهایی که در دمای پایین تر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد تشکیل می شوند و یا در کانسارهایی که کانیشناسی آنها بیانگر شرایط احیاء کننده است، غالب هستند [۲۱]. در حالیکه در ذخایری که در دماهای بیش از ۳۰۰ درجه سانتیگراد شکل می گیرند و حضور کانیهای اکسیدی یا سولفیدی در آنها حاکی از شرایط نسبتاً اکسیدکننده است، کمپلکسهای کلریدی غالب هستند. بنابراین دمای تشکیل بیش از ۳۰۰ درجه سانتیگراد در منطقه نامق نشاندهنده حمل عناصر در قالب کمیلکسهای کلریدی است. وجود اسپكيولاريت فراوان نيز نشان دهنده غلظت بالاى اکسیژن در محلول است. کاهش دمای سیال در نتیجه جوشش باعث ناپایدار شدن کمپلکس کلریدی و تەنشینی کانەھا می شود [۲۲].

شوری و دمای همگنشدگی سیالات درگیر منطقه نامق در نمودار دما- شوری نشان می دهد که دو سیال دما- شوری بالا (دمای عمدتاً بیش از ۴۰۰ تا ۴۹۶ درجه سانتیگراد و شوری بیش از ۱۷ درصد وزنی) با سیال دما- شوری پایین (دمای عمدتاً کمتر از ۴۲۵ درجه سانتیگراد و شوری کمتر از ۱۵ درصد وزنی) آمیخته شده و کاهش دما و شوری و به دنبال آن رقیقشدگی، شرایط را برای تهنشست اکسیدآهن و مس از

عمقی در منطقه برای اثبات IOCG بودن کانیسازی را بیشتر میکند.

آشنایی با ویژگیهایی زمینشناسی، دگرسانی، کانیسازی، زمینشیمی و شرایط محلول کانهدار منطقه نامق و دیگر ذخایر بالقوه معدنی که در کمربند ماگمایی خواف- کاشمر- بردسکن

قرار دارد، الگوهای جدید اکتشافی را برای آینده به وجود خواهد آورد که میتواند جهت بررسیهای تفصیلی زیرسطحی در اختیار شرکتهای بزرگ معدنی قرار بگیرد و موجب رونق اقتصادی و شکوفایی معادن بیشتر در شمال شرقی ایران شود.



شکل ۶ نمودار شوری-دمای همگن شدگی سیالهای درگیر رگه اکسیدآهن- مس منطقه نامق به همراه روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما-شوری [۱۷]. روند ۱= آمیختگی سیال A با سیال سردتر و شوری کمتر B، روند ۲ و ۳= آمیختگی سیال A با سیالهای دیگر با شوری مختلف ولی دمای یکسان، روند ۴= شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش افزایش پیدا کرده است، روند ۵= سرد شدگی سیال، روند ۶= باریک شدگی سیال-های درگیر، روند ۲= تراوش سیالهای درگیر ضمن گرمایش.



شکل ۷ دمای همگن شدگی نسبت به شوری برای سیالهای درگیر در رگه اکسیدآهن- مس منطقه نامق. گستره دما و شوری سیالهای مختلف برگرفته از مرجع [۲۳] است.



شکل ۸ نمودار دما-فشار- عمق در سیستم H₂O-NaCl [۲۴] و موقعیت محلول کانهدار رگه اکسیدآهن- مس منطقه نامق در آن. L= مایع، V= بخار، H = هالیت. خطچینها نشاندهنده مقدار شوری محلول، خط خاکستری نشاندهنده منحنی کمترین ذوب شدگی گرانیت و خط سیاه نشاندهنده مرز سه فازی برای سیستم Na/K با NaCl-KCl-H₂O در محلول به تعادل رسیده با آلبیت و فلدسپار قلیایی در دمای نشان داده شده هستند.



شکل ۹ نمودار مقایسهای دما و شوری کانیسازی اکسید آهن- مس منطقه نامق و برخی کانسارهای IOCG بر گرفته از مراجع [۳۰-۲۵].

[9] Yousefi souran L., Heidarian Shahri M., Karimpour M., "Geology, mineralogy, fluid inclusion thermometry and ground magnetic of Shahrak Magnetite-Specularite Cu-Au prospecting area, Torbat-e-Heydaryeh, Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 3 (2008) 505-516.

[10] Gholami S., "Geology, Mineralization, Geochemistry and magnetic of Shotor sang iron deposit, northeastern Sabzevar", thesis of MSc in Ferdowsi university of Mashhad (2009) 240.

[11] Karimpour M. H., Saadat S., Malekzadeh Shafaroudi A., "Exploration and introduction of Fe oxide mineralization (Cu-Au type) and magnetite related to volcanic-plutonic belt of Khaf-Kashmar-Bardaskan", 21th of symposium of Geoscience (2002).

[12] Behrouzi A., "Geological map of Feyzabad scaling 1:100000, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran" (1987).

[13] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., "A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance", Geochimica et Cosmochimica Acta 92 (2012) 14-22.

[14] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., "HOKIEFLINCS-H₂O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl", Computer in Geosciences 49 (2012) 334–337.

[15] Whitney D.L., Evan, B.W., "Abbrevations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[16] Roedder E., "Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy", 12 (1984) 644 pp.

[17] Sheppherd T.j., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie and Son (1985) 239 pp.

[18] Wilkinson J.J., "Fluid Inclusion in Hydrothermal Ore Deposits", Lithos 55 (2001) 229-272.

[19] Van den Kerkhof A.M., Hein U.F., "Fluid inclusion petrography", Lithos 55 (2001) 27–47.

[20] Ulrich T., Gunther D., Heinrich C.A., "Evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbera, Argentina", Economic Geology 97 (2002) 1888-1920.

[21] Seward T.M., "The hydrothermal geochemistry of gold", in: Foster, R.P. (ed.), gold

قدرداني

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۳/۴۱۰۸۳ مورخ ۱۳۹۵/۴/۱ انجام شده است. بدین وسیله از زحمات جناب آقای مهندس خواجهزاده در بهتر انجام شدن عملیات صحرایی قدردانی می شود.

مراجع

[1] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Esfandiarpour A., Mahammad nejad H., "Neyshabur turquoise mine: The first mineralization of Cu-Au-U-LREE, IOCG type in Iran", Economic Geology 2 (2011) 193-216.

[2] Golmohammadi A., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S. A., " *Petrology and geochronology of Zircon in intrusion of southern A,C in U-Pb type and Dardavey regions, Iron ore Khaf Sangan* ", Economic Geology 2 (2013) 155-173.

[3] Almasi A., Karimpour M. H., Ebrahimi Nasrabadi Kh., Rahimi b., Li Q. L., Santos J. F., "Geology, minerlisation, U-Pb geochronology and geochemistry of Sr-Nd isotopes in intrusion of northeastern Kashmar", Economic Geology 1 (2015) 69-90.

[4] Shafaii Moghadam H., Li X. H., Ling X. X., Santos J. F., Stern R. J., Li Q. L., Ghorbani G., "Eocene Kashmar granitoids (NE Iran): Petrogenetic constraints from U–Pb zircon geochronology and isotope geochemistry", Lithos 216–217 (2015) 118–135.

[5] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., Golmohammadi A., "Zircon U–Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-North and Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran", Journal of Asian Earth Sciences 64 (2013) 256– 271.

[6] Mazloumi A., Karimpour M. H., Rasa A., Rahimi B., Vosoughi Abedini M., "Torbat-e-Heydaryeh Kohe-Zar Gold deposit, new model of Gold mineralization", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 3 (2008) 363-376.
[7] Golmohammadi A., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S. A., "Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran", Ore Geology Reviews 65 (2015) 545–563.

[8] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., "Comparison of the geochemistry of source rock at Tanourjeh Au-bearing magnetite & Sangan Aufree magnetite deposits, Khorasan Razavi, Iran", [31] Pollard P.J., "Sodic(-calcic) alteration associated with Feoxide- Cu-Au deposits: An origin via unmixing of magmaticderived H_2O -CO₂-salt fluids", Mineralium Deposita 36 (2001) 93–1 00.

[32] Pollard P.J., "An intrusion-related origin for Cu-Au mineralization in iron oxide-copper-gold (IOCG) provinces", Mineralium Deposita 41 (2006) 179–187.

[33] Fu B., Williams P.J., Oliver N.H.S., Dong G., Pollard P.J., Mark G., "Fluid mixing versus unmixing as an ore-forming process in the Cloncurry Fe-oxide-Cu-Au district, NW Queensland, Australia: Evidence from fluid inclusions", Journal of Geochemical Exploration 78, (2003) 617–622.

[34] Rieger A.A., Marschik R., Díaz M., "*The* evolution of the hydrothermal IOCG system in the Mantoverde district, northern Chile: New evidence from microthermometry and stable isotope geochemistry", Mineralium Deposita 47 (2012) 359–369.

[35] Marschick R., Fontboté L., "Copper (-Iron) mineralization and superposition of alteration events in the Punta del Cobre belt, Northern Chile", In: Camus, F., Sillitoe, R.H., Peterson, R., (eds.), Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny, Society of Economic Geology, Specific Publication 5 (1996) 171–190.

[36] Simard M., Beaudoin G., Bernard J., Hupe A., "Metallogeny of the Mont-de-l'Aigle IOCG deposit, Gaspé Peninsula, Québec, Canada", Mineralum Deposita 41 (2006) 607–636.

[37] Williams P.J., "*Classifying IOCG deposits*", In: Corriveau. L., Mumin. H., (eds.), Exploring for iron-oxide copper gold deposits: Canada and global analogues, Québec, Geological Association of Canada and Geological Survey of Canada (2010) 11–19. metallogeny and exploration, Blakie and Sons Ltd (1991) 432 pp.

[22] Thiersch P.C., Williams-Jones A.E., Clark J.R., "*Epithermal mineralization and ore controls of the Shasta Au-Ag deposit, Toodoggone District, British Columbia, Canada*", Mineralium Deposita 32(1997) 44-57.

[23] Beane R.E., "*The Magmatic–Meteoric Transition*", Geothermal Resources Council, Special Report 13 (1983) 245–253.

[24] Fournier R.O., "Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment", Economic Geology 94 (1999) 1193– 1212.

[25] Sillitoe R.H., "Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view", Mineralium Deposita 38 (2003) 787-812

[26] Marschick R., Fontignie D., Chiaradia M., Voldet P., "Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotope composition of granitoids of the Early Cretaceous Copiaco plutonic complex (27° 30'S), Chile", Journal of South America Earth Sciences 16 (2003) 381-398

[27] Hitzman M.W., "*Iron oxide-Cu-Au deposits:* what, where, when and why", Porter TM (ed.) Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective, Australian Mineral Foundation, Adelaide (2000) 9-25.

[28] Pollard P.J., "Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization", Porter T.M., (ed.) Hydrothermal iron oxide copper –gold and related deposits: a global perspective 1 (2002) PGC Publishing, Adelaide 27-41.

[29] Allcock J.B., "Skarn and porphyry copper mineralization at Mines Gaspe, Murdochville, Quebec", Economic Geology 77 (1982) 971-999.

[30] Simard M., Beaudoin G., Bernard J., Hupe A., "Metallogeny of the Mont-de-l'Aigle IOCG deposits, Gaspe Peninsula, Quebec, Canada", Mineralium Deposita 41 (2006) 607-636.