ويژگی هاي كاني سازي، دگرسانی، مطالعات سيالات درگير و ايزوتوپ های پايدار گوگرد در منطقه خونيک - جنوب بيرجند، استان خراسان

چكيده

منطقه خونيك در پهنه لوت و در ايران مركزي قرارگرفته و دراثر فعاليت‌هاي ماگمايي مرتبط با فرورانش نئوتتيس به زير خرد قاره ايران مركزي بوجود آمده است. گسل كوير بزرگ يا گسل درونه مرز شمالي پهنه لوت را تشكيل مي‌دهد. همچنين اين پهنه توسط بلوك طبس درغرب با رشته كوههاي شتري و سيستم گسلي نايبند جدا مي‌شود. در شرق نيز اين پهنه توسط گسل هريرود محدود مي‌شود و مرز جنوبي آن با كمپلكس‌هاي آتشفشاني بزمان - كوه شهسواران و گودال جازموريان مشخص مي‌گردد.

با توجه به ژئوشيمي سنگ‌هاي پلوتونيك - آتشفشاني، اين منطقه به انواع سنگ‌هاي آندزيت، تراكي آندزيت،لاتيت، داسيت، ديوريت تقسيم مي‌شوند. سنگ‌هاي آندزيتي و داسيتي با داشتن مقادير پايين عناصر Nb, Ti و Zr با ماگماي كمان هاي زون فرورانش مطابقت دارند.

طلا در خونيك به‌صورت افشان و آزاد مي‌باشد. پيريت كاني اصلي سولفيدي در اين مجموعه است كه با مقادير كمتري از كالكوپيريت، كوليت، ديژنيت و بورنيت ديده مي‌شود.

حداكثر مقادير عناصراز نمونه‌هاي برداشت شده شامل ۷۴ ppm Mo و ۲۰۶ ppm As ،۱۳۷۶ ppm Zn ،۴۲۰۰ ppm Cu،۷۳۰ ppm Pb ،۴۷/۵ ppm Ag ،۱۶/۵ ppm Au مي‌باشد. سنگ‌هاي ديواره تحت تاثير دگرساني‌هاي مختلف قرارگرفته و كاني‌هاي اصلي شامل ايليت، سريسيت، كلريت، كائولينيت، هماتيت، ليمونيت و آلونيت مي‌باشند. مطالعه سيالات درگير در اين منطقه برروي ۸ نمونه برداشت شده از رگه‌هاي سيليسي انجام شد. در اين بررسي دماي متوسط هموژنيزاسيون ۲۸۰ ° C و حداكثر دماي ۴۵۰° C و شوري سيالات نيز

در حدود 2.5-15 wt% NaCl اندازه‌گيري شده است. همچنين داده‌هاي ايزوتوپي گوگرد جهت شش نمونه پيريت كه از ترانشه‌ها و سنگ‌هاي منطقه برداشت شده مورد بررسي و مطالعه قرارگرفته است. مقدار $\delta^{34}S$ دراين پيريت‌ها در دامنه اعداد بين permile ۰/۳ + تا ۱/۴+ قرارمي‌گيرد كه با توجه به محدوده اين اعداد، نشان‌دهنده منبع ماگمايي براي گوگرد مي‌باشد.

Alteration & mineralization characteristics, Fluid Inclusion and Stable Isotope studies in Khoonik Prospect, South of Birjand, Khorasan Province

Khoonik prospect is located in Lut zone, Central of Iran. The Lut zone's magmatic activity is related to Neo-tethyan subduction underneath the Central Iranian microplate. The Great Kavir or Douruneh fault is generally accepted as its Northern border. The Lut zone is separated from Tabas block in the west by Shotori range and Nayband fault system. In the east the Lut region is isolated from the Sistan block by the Harirod fault. The southern edge is defined by the volcanic complex of Bazman, Kuh- e - Shahsavaran and further south by Jazmorian depression.

The volcanic-plutonic rocks can be divided into andesite, trachyandesite, lattite, dacite and diorite based on the geochemical characteristics. Andesitic and dacitic rocks are characterized by low of Nb, Ti and Zr contents and correspond to typical of subduction zone arc magmas. Gold is disseminated type and native form in the Khoonik prospect. Pyrite is the main sulfide mineral commonly associated with minor chalcopyrite, covellite, digenite and bornite. The maximum ore-grade of samples are 16.5 ppm Au, 47.5 ppm Ag, 4200 ppm Cu, 730 ppm Pb ,1376 ppm Zn, 207 ppm As and 74 ppm Mo.

The wall-rocks are intensively altered and the main alteration minerals are quartz, carbonates, illite, sericite, chlorite, kaolinite, hematite, limonite and alunite.
Fluid inclusion data are available for 8 samples from quartz veinlets. The average temperature of homogenization (TH) is 280 ºC accompanied with a peak up to 450 ºC. The salinity ranges from 2.5 to 15 wt% NaCl equivalent.
The available sulfur isotope data for 6 pyrites from veins and trenches which their $\delta^{34}S$ CDT values vary from + 0.3 to + 1.4 permile. These values indicate certain magmatic source for sulfide ore mineralization in Khoonik prospect.

مقدمه

محدوده مورد مطالعه به مساحت حدود ۸ کیلومترمربع می‌باشد که در بخش میانی ورقه زمین‌شناسی بیرجند (۲۵۰۰۰۰: ۱، اوهانیان و همکاران ۱۹۷۸) ،در محدوده ورقه زمین‌شناسی مختاران (۱۰۰۰۰۰: ۱، موحد اول و امامی ۱۹۷۸) و ورقه زمین‌شناسی خونیک (۲۰۰۰۰: ۱، روشن روان، ۲۰۰۱) قرار گرفته است. این محدوده در فاصله ۵۷ کیلومتري خوسف و ۹۳ کیلومتري بیرجند قراردارد. همچنین این محدوده بین طول‌هاي جغرافیایي ″00 '23 °32 - ″00 '22 °32 و عرض‌هاي جغرافیایي″00 '12 °59 - ″00 '09 °59 واقع شده است. (شکل ۱)

زمین‌شناسی ناحیه ای

براساس تقسیم بندي واحدهاي ساختاري –رسوبي ایران، محدوده مورد مطالعه جزء بلوک لوت است که که از شمال با فرورفتگی کویر نمک، گسل درونه و گسل بزرگ کویر، در جنوب توسط کمپلکس ولکانیک بزمان - شهسواران و گودال جازموریان، از شرق با گسل نهبندان و رشته کوه‌های شرق ایران و در غرب توسط رشته کوه‌های شتری و گسل نایبند محدود می‌گردد. (آقا نباتی، ۲۰۰۳)

فعالیت‌های ماگمایي: لوت در کرتاسه پایاني آغاز شد. سنگ‌هاي آن شامل بازالت -آندزیت - داسیت و ریولیت و بیشتر لاواها و ایگنیمبریت مي‌باشد. سنگ‌هاي عمیق و نیمه عمیق گسترش کمتري دارند. از خصوصیات این مجموعه سنگ‌ها کالك آلکالن بودن آنها در حاشیه قاره‌اي ولکانیسم صفحات همگراست.

توده‌های ساب‌ولکانیک: پس از فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن که بطور عمده دارای ترکیب حدواسط هستند، توده‌های ساب‌ولکانیک به شکل گنبدی درون آنها جایگیرشده‌اند. این سنگ‌های آذرین بطور واضح توالی‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده‌اند و بصورت توده‌های نفوذی محدود گسترش دارند.

زمین‌شناسی منطقه‌ای

براساس مطالعات پتروگرافي سنگ‌هاي منطقه شامل:

۱- واحدهای آذرآواری آندزیت – آمفیبول آندزیت
۲- گنبدهای داسیتی – ریوداسیتی
۳- واحد تراکي آندزیت – لاتیت
۴- توده‌های نفوذی دیوریتی- مونزودیوریتی - کوارتز مونزودیوریت
۵- واحدهای ماسه سنگ توفی- لیتیك توف – متاکنگلومرا- ولکانیک های برشی

جایگاه ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین

به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین در منطقه خونیک ترکیب شیمیایی ۵ نمونه از سنگ‌های ولکانیکی این منطقه به روش ICP-MS تعیین گردید. داده‌ها نسبت به ترکیب شیمیایی گوشته اولیه نرمالیزه شد و چگونگی توزیع آنها در(شکل۲) به نمایش درآمده است. توزیع عناصر نشان‌دهنده خصوصیات کمان‌های ماگمایی برای سنگ‌های مورد مطالعه است که با بالا بودن نسبت LILE /HFSE مي‌گردد. (پیرس و پیت، ۱۹۹۵). غنی شدگی این سنگ‌ها از عناصر LIL /HFS بطور متناوب انجام شده

است که با جدا شدن این دو دسته عنصر بصورت قله و دره در نمودار خودنمایی می‌کند. این داده‌ها با نتایج قبلی در مورد جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آذرین پالئوژن در بلوک لوت سازگاری و همخوانی دارد.

برش‌های گرمابی: یکی از پدیده‌های مهم در منطقه خونیک وجود برش‌های کانی‌سازی شده‌ای است که از نظر کانی‌سازی فلزات گرانبها بویژه طلا حائز اهمیت است. در منطقه خونیک برش‌های مورد بحث با ضخامت ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی متر و با اشکال تخت واحدهای سنگی را قطع کرده‌اند (شکل ۳). برش‌ها از قطعاتی از سنگ میزبان تشکیل شده‌اند که توسط کوارتز نهان بلور و کربنات بهم سیمان شده‌اند.

کانی سازی، پاراژنز و توالی پاراژنتیکی در خونیک

کانی‌سازی در منطقه خونیک به‌صورت افشان و برشی اتفاق افتاده است. براساس روابط قطع‌شدگی، مجموعه‌های کانیایي، کانی‌سازی در این منطقه به شکل زیر انجام گرفته است(شکل۴) .

۱) اکسیداسیون دانه‌های پیریت غربالي که کاملاً توسط هیدروکسید نوع گوتیت جانشین شده‌اند. ۲) تشکیل بلور ثانویه کولیت در کنار گوتیت به علت وجود یون‌هاي مس در شبکه پیریت. ۳) کالکوپیریت وتبدیل شدگي بخش اعظم آن به دیجنیت، کالکوسیت و کولیت طي فرآیندهاي اکسیدان و غني‌شدگي ثانویه ۴) طلاي آزاد در داخل زمینه‌ای از سیلیس دیده می‌شود.

بررسی دگرسانی در منطقه خونیک

منطقه اصلی دگرسانی در منطقه خونیک حدود ۱ کیلومتر مربع وسعت دارد که در محدوده توده اصلی مونزودیوریت متمرکز است. (شکل ۵). شدیدترین مناطق دگرسانی در اطراف توده اصلی مونزودیوریت وجود دارد که به طور وسیع آن را فرا گرفته است. توده دگرسان شده بشدت سیلیسی شده ، ایلیت عمومیت دارد و جانشین فلدسپات‌ها شده است، کلریت واپیدوت نیز جانشین کانی‌های مافیک از جمله بیوتیت، هورنبلاند و پیروکسن شده‌اند. کوارتز از کانی‌های عمومی در زون‌های دگرسانی است که به‌صورت دانه‌های بی شکل در فضای بین کانی‌ها و به‌صورت جایگزینی دیده می شود. همچنین کوارتز به‌صورت تبلور مجدد در زون‌های دگرسانی حضور پیدا کرده است. آلونیت و ژاروسیت در وسعت خیلی زیادی در منطقه دیده می شود که برای تعیین آلونیت در نمونه‌های مورد مطالعه ، علاوه بر مطالعات XRD ، مطالعات میکروسکپی و مقاطع نازک نیز انجام گرفت که حضور آلونیت را در منطقه خونیک تایید می‌کند. با توجه به شواهد و مطالعات صحرايي در خونيك عامل دگرسانی فراگیر در منطقه توده مونزوديوريتي مي‌باشد. پديده خردشدگي و برشي شدن بطور قابل توجه در سنگ‌هاي اين منطقه اتفاق افتاده است و ريز شكاف‌هاي حاصل تحت هجوم سيالات كانه دار قرار گرفته اند تا جايي كه با تغيير شرايط Eh وpH توانسته قشرهاي نازكي از بلورهاي اتومورف كوارتز و پيريت در آنها شكل گيرد. بعبارت ديگر ريز شكاف‌ها نقش فضاي باز را بازي كرده و كانه زايي در فضاي باز اتفاق افتاده است. و در واقع رنگ زرد و قهوه اي موجود در منطقه ناشي از آبشست اين پديده ها طي پديده هوازدگي بعدي است. براساس مطالعات پتروگرافي ، صحرايي و آناليزهايXRD برروي نمونه‌هاي برداشت شده انواع دگرسانی های موجود در منطقه خونيک:

۱- دگرسانی سيليسيك: سيليس به‌صورت فاز باقي مانده و سيليس‌هاي حفره‌دار در منطقه ديده مي‌شود. بخشي از سيليس نيز دستخوش ري كريستاليزاسيون گشته و تبلور مجدد پيدا كرده است

۲- زون دگرسانی آرژيليك پيشرفته: - دگرسانی آرژيليك پيشرفته به‌صورت زون دگرساني كائولينيتي در منطقه نمود پيدا كرده است كه در جنوب روستاي برزاج و در پهنه دگرساني سفيد رنگ قراردارد. توده‌اي اسيدي و به شدت دگرسان شده از نوع آرژيلي است. ظاهر كنكرسيوني تناوبي هيدروكسيد آهن و كائولن نوعي تشابه به بخش زيرين آلونيت زايي را تداعي مي‌كند. شواهد موجود در منطقه نشان مي‌دهد كه پديده سولفيدشدن بالا اتفاق افتاده است .

۳- دگرسانی آرژيليك: در بالاترين بخش اين منطقه يعني قله كوه، سنگ از نوع توده گرانيتوئيدي است. سيالات كانه‌زا مي توانند به عنوان توليدات پس ماگمايي اين توده باشند كه در فاصله زماني ديرتري برروي اين توده و نواحي اطراف تأثير گذاشته و موجب كانه زايي طلا و آرژيلي شدن فراگير منطقه شده است.بر

اساس مشاهدات صحرايي و آناليز XRD بر روي نمونه‌هاي گرفته شده نشان مي‌دهد كه غني از ايليت، آلونيت، ژاروسيت، دراويت ،مسكويت، كوارتز، دولوميت و كلريت مي‌باشد. دگرسانی كائولينيتي نوع آرژيليك در برخي قسمت ها بطور گسترده به رنگ صورتي ديده مي‌شود

۴- دگرسانی پروپليتيك: دگرسانی پروپليتيك بطور گسترده در منطقه به‌صورت كلريتي شدن و اپيدوتي شدن اتفاق افتاده است و بدليل وجود اين كاني ها رخساره ظاهري سبز رنگ به آن مي‌بخشد. آمفيبول‌هاي موجود در سنگ‌هاي آندزيت و آمفيبول آندزيت تماماً توسط كلريت و بندرت مسكويت جايگزين شده‌اند. اپيدوتي شدن نيز با شدت كمتري نسبت به كلريتي شدن در سنگ‌هاي منطقه اتفاق افتاده است بطوري‌كه برخي از كاني‌هاي مافيك مانند آمفيبول و بيوتيت به اپيدوت، كلريت و مسكويت تبديل و تجزيه شده‌اند. اشكال (۶ تا ۹).

مطالعه سيال‌هاي درگير

مطالعه سيال‌هاي درگير درسال‌هاي گذشته، بخشي از مفيدترين اطلاعات را در رابطه با تعيين ويژگي‌هاي فيزيكي و شيميايي محيط تشكيل كانسارها در اختيار محققين قرار داده است. (رودر،۱۹۸۴).

داده‌هاي سيال‌هاي درگير در اين منطقه از مطالعه ۸ عدد مقطع دوبرصيقل (باضخامت ۷۰ميكرون) كه از بلورهاي كوارتز در رگه‌هاي سيليسي كه با فاصله حدود ۳۰۰ متر انتخاب شده بدست أمده است. اندازه سيال‌هاي درگير در بلورهاي كوارتز عموما" از ۲تا۱۶ميكرون بوده و با شكل‌هاي نامنظم، منظم و ميله اي تغيير مي‌كند.(شكل ۱۰) دماي همگن شدگي (T_h) در مجموعه سيال‌هاي درگير اوليه از ۱۰۸ تا ۴۵۰ درجه سانتي گراد تغييرمي‌كند. دماي ذوب يخ (T_{m_1}) از ۱/۲- تا ۳۰°C – تغييرمي‌كند. شوري محاسبه شده (شكل۱۱) بر اساس دماي ذوب يخ و با استفاده از معادله‌هاي بودنار (۱۹۹۳) از ۲/۵ تا ۱۵ در صد وزني معادل NaCl متغير است. شوري نشان‌دهنده مقدارکلريدهاي محلول، اساسا" NaCl و مقادير كمتر KCl، $CaCl_2$ وغيره در محلول‌هاي گرمابي مي‌باشد. (هدنكوئيست و همكاران، ۱۹۹۲).

براي بررسي تغييرات مكاني سيال‌هاي گرمابي و تعيين ساز و كار نهشت كانسنگ مي‌توان از رابطه بين دماي همگنشدگي و دماي ذوب يخ سيال‌هاي درگير استفاده كرد. اين روابط توسط (هدنكوئيست و هنلي، b ۱۹۸۵) مورد بررسي قرار گرفته و چهار روند اصلي براي آنها پيشنهاد شده است (شكل ۱۲). روند a ۴-۴ نشان‌دهنده اختلاط يك سيال داغ و شور با يك سيال سردتر و رقيق‌تر مي‌باشد. روند b ۴-۴ توسط جوشش يك سيال غني از گاز توضيح داده مي‌شود و نشان مي‌دهد كه افت ناچيز دما (C ۱۰°) در اثر جوشش، باعث فرار بيش از نيمي از CO_2 اوليه مي‌شود. روند c ۴-۴ يك نتيجه گيري فرضي از جوشش يك سيال فقير از گاز است كه جوشش پيوسته سيال و فرار بخار كه همزمان با سردشدگي روي مي‌دهد باعث افزايش شوري سيال مي‌گردد. روند d-۴-۴ تركيبي از جوشش يك سيال غني از گاز و رقيق شدگي آن را پس از جوشش نشان مي‌دهد. رابطه بين T_h در مقابل T_{m_1} براي سيال‌هاي درگير در منطقه خونيك نشان مي‌دهد كه T_h و T_{m_1} دامنه وسيعي از تغييرات را نشان مي‌دهد اما در امتداد يك روند خطي حركت مي‌كند (شكل ۱۳).

تخمين عمق كاني‌سازي

براي تخمين عمق كاني‌سازي در زير سطح ايستابي قديمي،از منحني جوشش هيدروستاتيک نسبت به عمق استفاده شد(هس، ۱۹۷۱). (شكل ۱۴).با اين حال،به دليل عدم وجود شواهد سيال‌هاي درگير مبني بر وقوع جوشش، در سيستم اپي‌ترمال خونيك، عمق محاسبه شده حداقل عمق تشكيل مي‌باشد. عمق كانی‌سازی در اين سيستم با دو سری اطلاعات ۴۰۰ و۶۰۰ متر در زير سطح ايستابی قديمی محاسبه گرديد كه چنين عمقی مشخص كننده سيستم‌های اپی‌ترمال طلا متعلق به گروه سولفيدی شدن بالا است. (هدنكوئيست و همكاران, ۲۰۰۰, آلبينسون و همكاران, ۲۰۰۱).

مطالعات ايزوتوپي گوگرد

امروزه تركيب ايزوتوپي كاني هاي سولفيدي براي تفسير منشاء كانسارها استفاده مي‌شود. تركيب ايزوتوپي اين كاني ها بوسيله فاكتورهايي مانند درجه حرارت، نهشت، تركيب ايزوتوپي سيال هيدروترمالي كه كاني

از آن نهشته شده است، ویژگي هاي شیمیایي ترکیبات محلول آن عنصر مانند pH و فوگاسیته اکسیژن در زمان کانه زایي و سرانجام مقدار نسبي کاني نهشته شده از سیال تعیین مي‌شود. (هوفز، ۱۹۹۷).

روش تجزیه : آنالیز ایزوتوپ هاي گوگرد در ناحیه خونیک برروي ۶ نمونه پیریت دار که از کانسنگ افشان بدست آمده بود انجام شد. پیریت با استفاده از V_2O_5 تبدیل به SO_2 شد. آنالیز ایزوتوپي برروي گاز SO_2 با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جرمي در دانشگاه اتاوا کانادا انجام شد.

داده‌هاي ایزوتوپي نشان مي‌دهد که مقادیر $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ و $\delta^{34}S_{H2S}$ در کانسارهاي اپي ترمال تغییرات زیادي نشان مي‌دهد که این تغییرات در بعضي از کانسارها به ۱۰‰ مي رسد. تغییرات در $\delta^{34}S_{H2S}$ در سیالات هیدروترمال نشان مي‌دهد که H_2S از بیش از یک منشاء یا از طریق بیش از یک مکانیسم تأمین شده است. نسبت هاي H_2S تأمین شده از منشاء هاي مختلف در طول تشکیل کانسار هیدروترمال تغییر مي کند (اوموتو و گولدهبر، ۱۹۹۷). ترکیب ایزوتوپي نزدیک به صفر و یا تغییرات اندک نسبت به این مقداردر برخي کانسارها نشان‌دهنده گوگرد با منشاء ماگمایي مي‌باشد (فار، ۱۹۷۷). با توجه به این مي‌توان گفت که مقادیر نزدیک به صفر در منطقه خونیک حاکي از آنست که گوگرد منشاء ماگمایي دارد و سیال هیدروترمال گوگرد خود را از سنگ‌هاي ماگمایي تأمین کرده است و به این ترتیب بخشي از خود سیال نیز منشاء ماگمایي دارد.

اگر فرض کنیم درجه حرارت تشکیل پیریت ۱۰۰ °C باشد مقادیر $\delta^{34}S_{H2S}$ محلول در سیال که در حقیقت گوگرد موجود در پیریت را تأمین کرده است مي تواند با استفاده از رابطه اموتو و راي (۱۹۷۹) محاسبه شود. این داده‌ها نشان مي دهند که سیال با مقدار $\delta^{34}S_{H2S}$ بین ۸/۶ – تا ۷ /۹– مسئول تشکیل کانسار بوده است. این مقادیر ایزوتوپي خود تأییدي بر منشاء ماگمایي بخشي از سیال است.

نتیجه گیری

براساس داده‌هاي دگرسانی (شکل۱۵و۱۶) , سیال‌هاي درگیرو ایزوتوپي سیستم اپي‌ترمال خونیک، این سیستم از نوع سولفید شدن بالا مي‌باشد. (شکل ۱۷) کانی‌سازی در منطقه خونیک به‌صورت پراکنده وا فشان صورت گرفته است که از نظر کانی‌سازی طلا دارای اهمیت می‌باشد. داده‌هاي سیال درگیر حضور یک سیال با شوري متوسط تا بالا در حدود % ۱۵– ۲/۵ در صد وزني معادل NaCl و دماي متوسط تا ۲۸۰°C را در سیستم اپي‌ترمال خونیک نشان مي‌دهد که باعث کاني‌سازي فلزات گرانبها مانند طلا در این منطقه شده است. اگرچه سیال اولیه دارای شوری بیشتر تا ۱۵ درصد وزنی معادل NaCl ودماي تا ۴۵۰ °C در سیستم خونیک تزریق شده است. عمق کانی‌سازی در این سیستم از (۴۰۰-۶۰۰ متر) در زیر سطح آب زیر زمینی قدیمی است.

منابع

1- Hedenquist, J. W., 2003, Epithermal high sulfidation gold deposits: characteristics, related ore types and exploration.

2- Wilkinson, j. j., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos 55 pp. 229-272.

3- William, R. C., and Boyce, A. J., 2000, Silicification, advanced argillic and porphyry-style alteration in Basalts, south Shetland island volcanic arc: formation from geothermal, magmatic-hydrothermal and intrusive systems, Journal of conference abstracts, v. 5(2), pp.1090-1091.

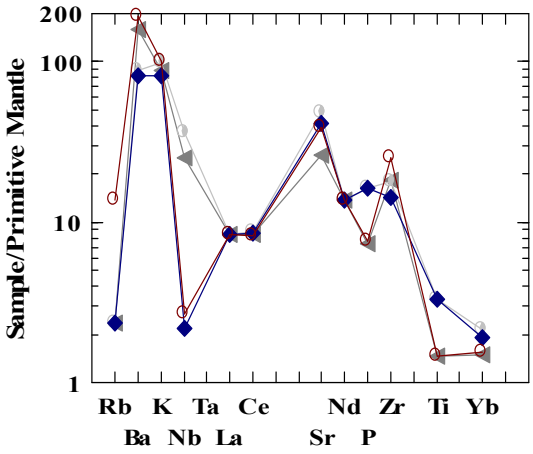
توصیف عکس ها:

شکل ۱) : راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه

شکل۲) : نمودار عنکبوتی سنگ‌های آتشفشانی خونیک که نسبت به گوشته اولیه نرمالیزه شده‌اند. (مك‌دونوف و سان، ۱۹۹۵) در روی محور Xعناصر کمیاب با افزایش ناسازگاری از راست به چپ مرتب شده‌اند. شکل دندانه دندانه ای در این نمودار که نتیجه نسبت های زیاد LILE / HFSE است از ویژگیهای ماگماتیسم در زون‌های فرورانش است.

شکل ۳) : عملکرد سیالات جهت آلتراسیون در راستاي برشي شدن
شکل ۴): مراحل توالی پاراژنتیکی کانیایی در منطقه معدنی خونیک
خطوط ضخیم نشان‌دهنده کانی‌های اصلی، خطوط نازک نشان‌دهنده کانی‌های فرعی و خطوط خط چین نشان‌دهنده کانیهای نادر می‌باشد.
شکل ۵): نمايي ا ز زون گسترده آلتراسيون آرژيليك متمايل به رنگ كرم روشن كه پچ هايي از توده مونزوديوريت اوليه در آن ديده مي‌شود.
شکل (۶ تا ۹) به ترتیب راست به چپ: سريستي شدن, اپيدوتي شدن, آلونيتي شدن همراه با ژاروسيت و كلريتي شدن
شکل۱۰): مجموعه سیال های درگیر اولیه با اشکال منظم و نامنظم
شکل ۱۱) : ارتباط میان دمای سردشدگی و شوری سیالات درگیر
شکل ۱۲) : روندهای طرح گونه از اثرات جوشش و رقیق شدگی بر دماهای همگن شدگی (Th)
و ذوب یخ (Tm) سیال های درگیر در سیستم اپی ترمال . (هدنکوئیست و هنلی، b ۱۹۸۵).
شکل۱۳) : رابطه بين دماي همگن شدگي (Th) و ذوب يخ (Tm) در مجموعه سيال‌هاي درگير اوليه در منطقه خونيك. اين روابط تغييرات Th و Tm را در امتداد روند خطي براي منطقه خونيك نشان مي‌دهد.
شکل۱۴) : ارتباط میان دمای جوشش یا Th با عمق جوشش تحت شرایط یدروستاتیک
شکل ۱۵): مقطعی از کانسنگ تیپ سولفیداسیون بالا که زون دگرسان در این تیپ را از مغزه سیلیسی در داخل نشان می دهد. با حرکت به سمت خارج دگرسانی کوارتز – آلونیت و پروپلیتیک دیده می شود.
(هدنکوئیست و همکاران ، ۲۰۰۰)
شکل ۱۶): پایداری حرارتی انواع مختلف کانی‌های دگرسانی که در محیط های اپی ترمالی تحت شرایط pHاسیدی و خنثی تشکیل می شوند. همچنین تغییرات حرارتی نرمال که نهشت ذخایر اپی ترمال در آن انجام می شود را نشان می دهد.(براساس رای، ۱۹۹۰ و هدنکوئیست و همکاران، ۱۹۹۶) .
شکل ۱۷): نموداری از فرآیندهای مختلف در سیستم های زمین گرمايي و ولکانیکی – گرمابی که به ترتیب باعث تشکیل کانسارهای با سولفیداسیون پایین و بالا در محیط های اپی ترمالی می‌گردد. (هدنکوئیست و همکاران ،۱۹۹۶)

شکل ۱)



شکل ۲)

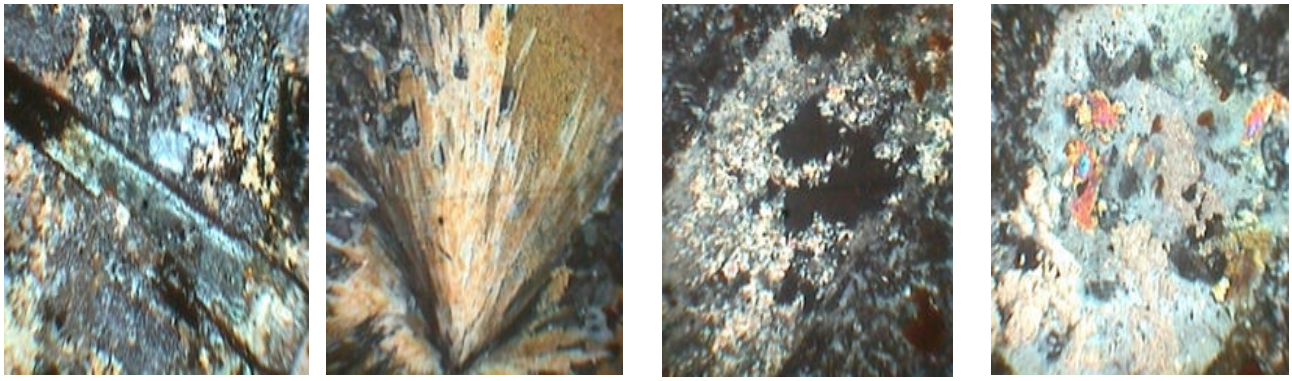
شکل ۳)

شکل۵)

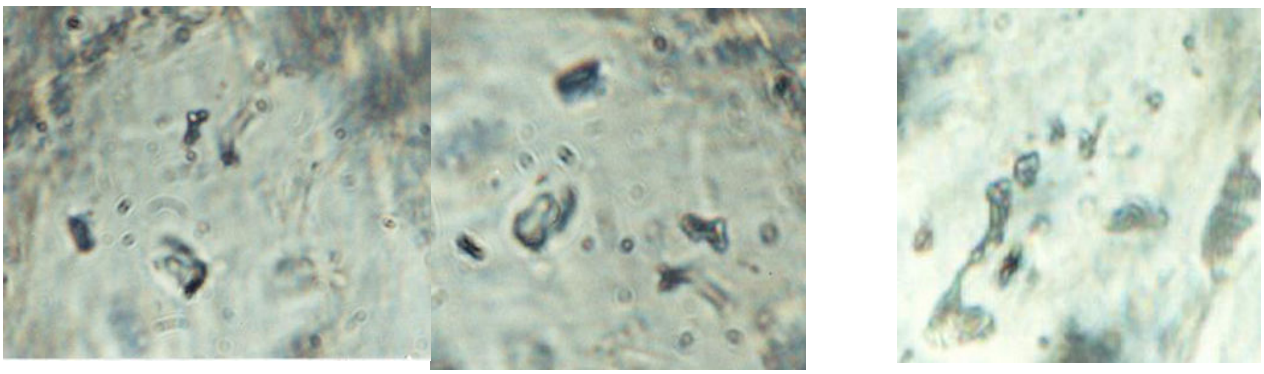
	A	B
Pyrite	▬▬▬	▬▬▬
Chalcopyrite		▬▬▬
Netive gold	▬▬▬	
Chalcosine	▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪▪	
Bornite		▬▬▬
Hematite		▬▬▬

Iron oxides		
Covellite		
Goethite		
Digenite		
Ilmenite		

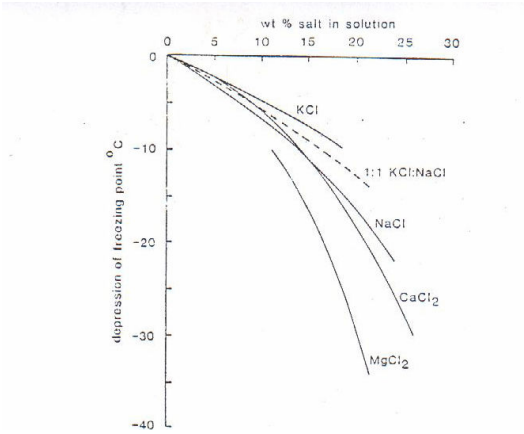
شکل ۴)



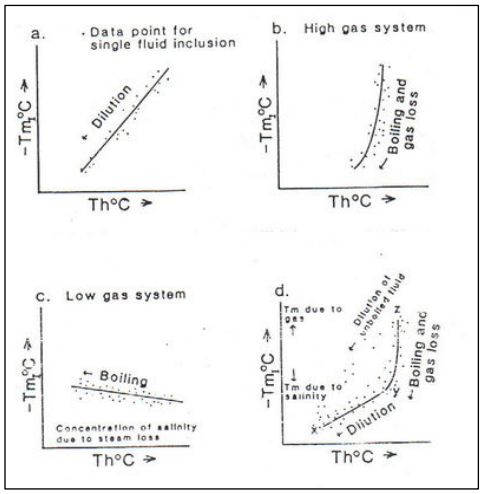
ا شکال (۶ تا ۹) به ترتیب راست به چپ



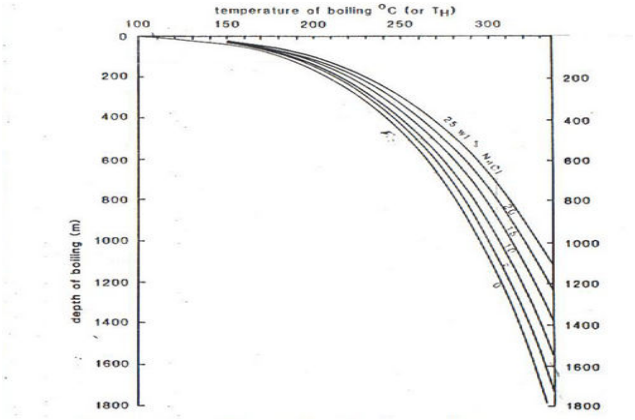
شکل۱۰)



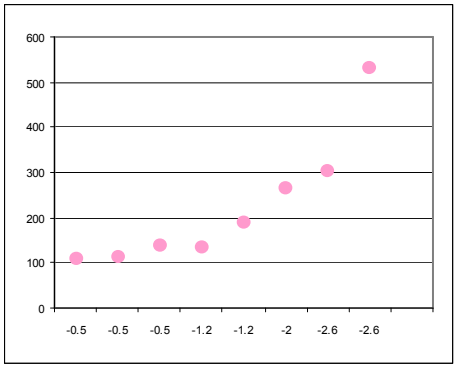
شکل ۱۱)



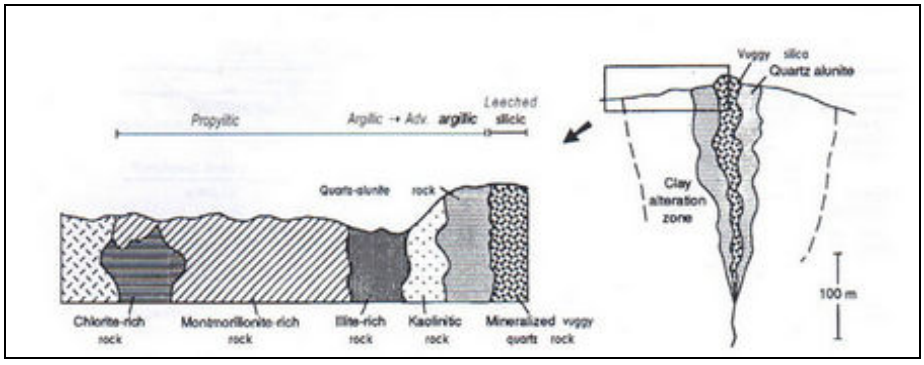
شکل ۱۲)



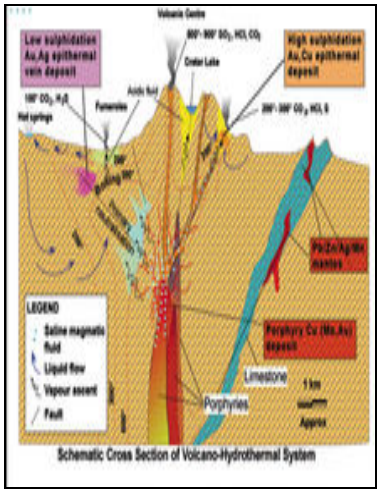
شکل ۱۳)



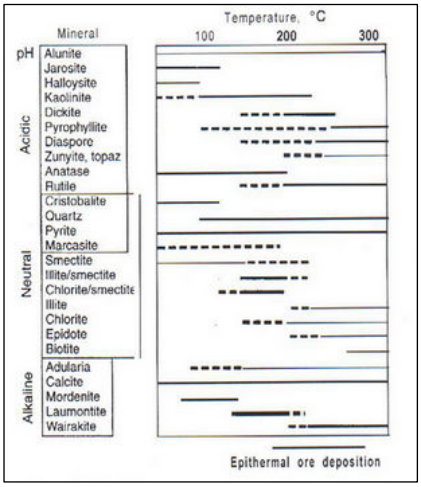
شکل ۱۴)



شکل ۱۵)



شکل ۱۶)



شکل ۱۷)

ریتا سلیمی*، محمد لطفی**، ایرج رسا***
* دانشجوی دکترای زمین شناسی اقتصادی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی
*کارشناس سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور درآزمایشگاه مطالعات میکروسکوپی و کانی سنگین