سال بیست و یکم، شمارهٔ ۳، پاییز ۹۲، از صفحهٔ ۴۸۷ تا ۴۹۸

زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی محدوده‌ی خونیک، جنوب بیرجند

سمیه سمیعی[1*]، محمدحسن کریم‌پور[2]، مجید قادری[3]، محمدرضا حیدریان شهری[2]

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۱۴، نسخه نهایی: ۹۱/۴/۱۴)

چکیده: منطقه‌ی خونیک در شرق ایران و در ۱۰۶ کیلومتری جنوب بیرجند واقع شده است. پی‌جویی اولیه در این منطقه با پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر به روش نقشه‌برداری زاویه‌ی طیفی برای مشخص کردن زون‌های احتمالی دگرسانی صورت گرفت، که براساس مشاهدات صحرایی، نتایج رضایت‌بخشی را فراهم کرد. این گستره شامل برونزدهایی از آتشفشانی‌های پالئوسن- ائوسن بود که واحدهای متعدد نیمه‌عمیق با ترکیب حدواسط به حالت تلسکوپی در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. دگرسانی با برخی از این واحدها در ارتباط است. دگرسانی‌های اصلی شامل پروپیلیتیک، آرژیلیک و سریسیتیک می‌شوند. کانی‌سازی در سطح به‌صورت افشان و برش گرمابی مشاهده می‌شود. حداکثر مقدار پراکندگی عناصر طلا، نقره و آرسنیک در رسوب‌های آبراهه‌ای در مناطقی است که در بالادست آن زون‌های دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک- سیلیسی و برش گرمابی وجود دارند. گستره‌ی تغییرات عناصر در نمونه‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ به‌صورت زیر است: طلا ۲ تا ۴۶۰۰ میلی‌گرم در تن، نقره ۴۰ تا ۹۰۸۰ میلی گرم بر تن، آرسنیک ۷ تا ۱۳۴ گرم بر تن، مس ۲۱ تا ۶۰۱ گرم بر تن، ، سرب ۴ تا ۱۴۸۵ گرم بر تن. بیشترین میزان طلا و نقره در واحدهای هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و مونزونیت پورفیری دیده می‌شوند. نوع کانی‌سازی که به‌صورت پراکنده و همراه با برش گرمابی است، گسترش دگرسانی‌ها و نیز ارتباط آن‌ها با سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی ساختاری، نشانه‌ی حضور یک کانسار نوع طلای اپی ترمال است.

واژه‌های کلیدی: *دگرسانی؛ برش گرمابی؛ طلای اپی‌ترمال؛ خونیک.*

مقدمه

منطقه‌ی اکتشافی خونیک در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های "59°08'00 تا "59°13'00 شرقی و عرض‌های جغرافیایی "32°21'00 تا "32°26'00 شمالی و در ۲۱ کیلومتری جنوب‌غربی روستای مختاران در استان خراسان جنوبی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در زون زابل- بلوچ قرار دارد [۱] و به‌صورت زبانه‌ای در حاشیه‌ی شمال‌شرقی بلوک لوت نفوذ کرده است. ویژگی‌های رخساره‌ی سنگی این منطقه تا اندازه‌ای به بلوک لوت شباهت دارد. در این منطقه، کانه‌زایی‌های متعددی گزارش شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کانسارهای مس- طلای پورفیری ماهرآباد و خوپیک [۳،۲] و طلای اپی ترمال سولفید بالای کوه‌شاه [۴] اشاره کرد. تاکنون طرح‌های مختلف زمین‌شناسی و ژئوشیمی از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت مهندسین مشاور کندوکاو کویر در این منطقه انجام شده است [۶،۵]، ولی در هیچکدام جدایش واحدهای نیمه عمیق به خوبی انجام نگرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی،

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۱۶۴۰۶۰۰، پست الکترونیکی: samiee85@yahoo.co.in

Archive of SID
www.SID.ir

کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه با دیدگاه پی‌جویی ذخایر معدنی بوده است.

روش بررسی

برای شناسایی دقیق منطقه، بررسی‌های زیر انجام گرفته است:

۱- پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER به‌منظور جدایش زون‌های دگرسان و شدت و پراکندگی آن‌ها به کمک نرم‌افزار ENVI 4.2؛

۲- بررسی‌های صحرایی و برداشت اطلاعات لازم برای تهیه نقشه از قبیل شناسایی واحدهای سنگی، مرز واحدها، ساختارهای زمین‌ساختی؛

۳- نمونه‌برداری از واحدهای سنگی (بیش از ۱۰۰ نمونه) به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی؛

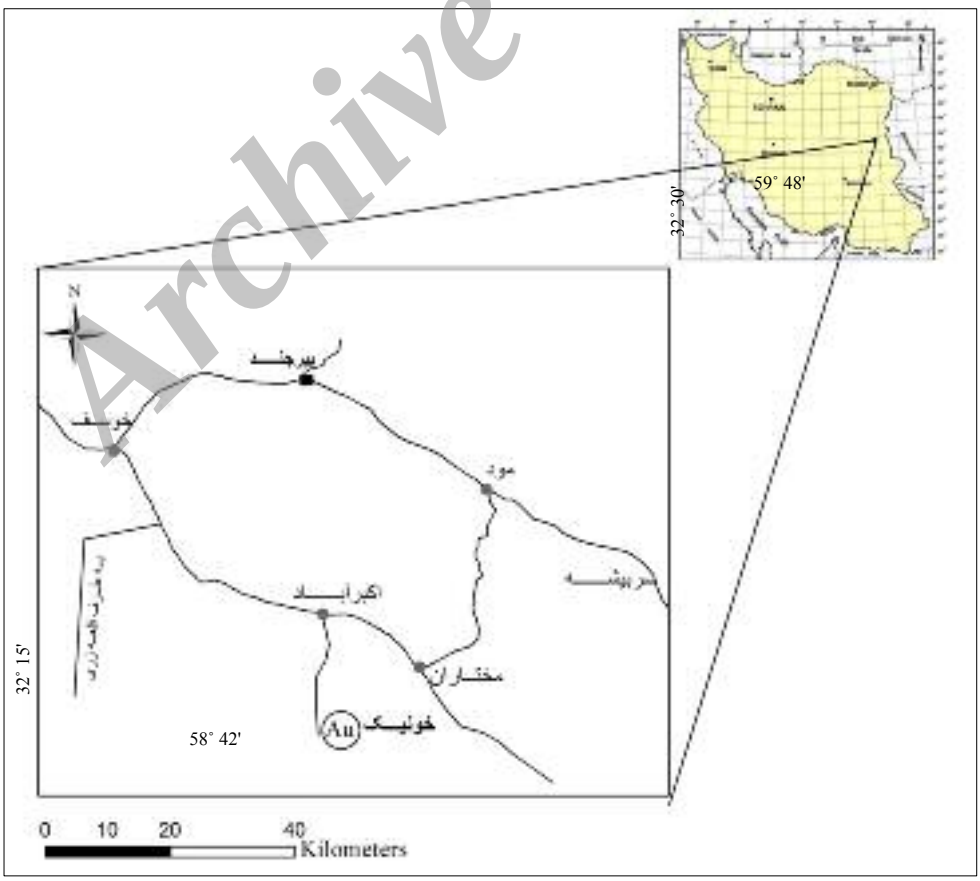
۴- تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰؛

۵- بررسی و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای و بررسی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ حاصل از برداشت‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛

۶- جمع‌بندی و تفسیر نتایج.

بررسی‌های دورسنجی

بررسی‌های دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای آشکارسازی زون‌های دگرسان، در دهه‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است [۷، ۸] . استفاده از روش‌های نوین پردازش تصاویر ماهواره‌ای در بررسی‌های اکتشافی و زمین‌شناسی در سال‌های اخیر دیده شده است [۹،۱۰]. داده‌های چند طیفی ASTER از سال ۲۰۰۰ برای بررسی زمین‌شناسی و کانی‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱]. با پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر به‌منظور تهیه نقشه‌های معرف زون‌های دگرسان و کانی‌سازی، می‌توان با کمترین هزینه و صرف کمترین زمان، محل‌های مناسب برای تشکیل کانی‌سازی را انتخاب کرد. تفاوت طیفی سنگ‌های دگرسان‌شده و نادگرسان، مهم‌ترین راه تشخیص نواحی دگرسانی و به پیروی از آن اکتشاف کانسارها در پردازش تصاویر ماهواره‌ای است.



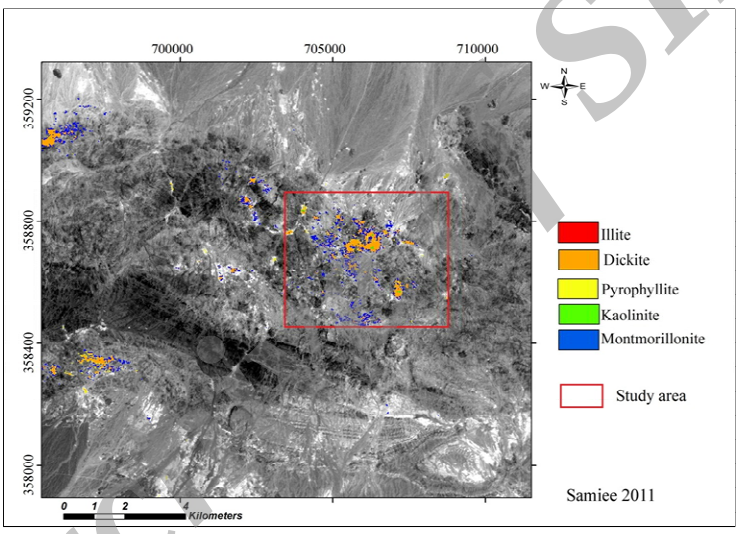
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به منطقه مورد مطالعه.

Archive of SID

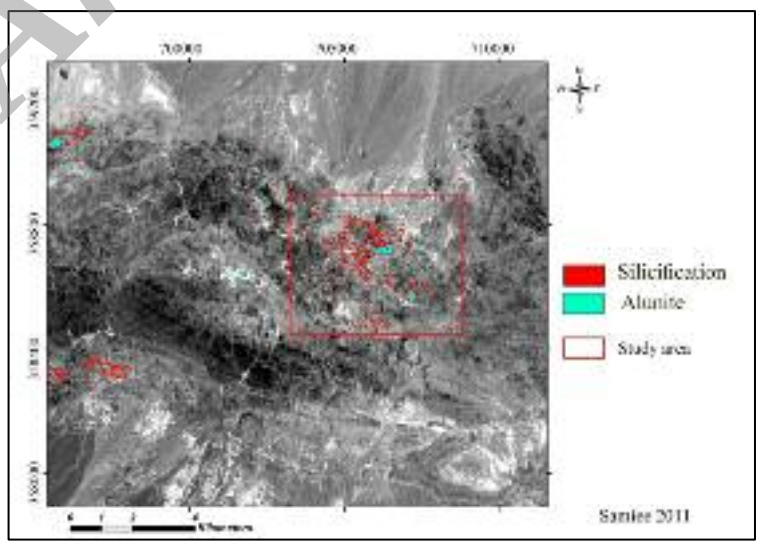
www.SID.ir

منطقه خونیک جزء مناطق خشک و کویری است و به علت نداشتن پوشش گیاهی، برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مشخص کردن مناطق دگرسان احتمالی با صرف زمان کم مناسب است. بررسی‌های دورسنجی در این منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ASTER انجام گرفت. برای پردازش این تصاویر از روش جدایشی SAM(Spectral Angle Mapper)، استفاده شد. کانی‌های شناسایی شده از نتایج این بررسی‌ها عبارتند از آلونیت، سیلیس، دیکیت، ایلیت، کائولینیت، پیروفیلیت، مونتموریونیت، لیمونیت، ژاروسیت، گوتیت، کلریت و اپیدوت. شدت و گسترش پراکندگی این کانی‌ها منجر به شناسایی و جدایش دگرسانی‌های مختلف شده است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

دگرسانی آرژیلیک (کانی‌های دیکیت، ایلیت، کائولینیت، پیروفیلیت و مونتموریونیت) که گسترش نسبتاً زیادی نیز دارد، در بخش مرکزی تصویر (پیرامون کوه خونیک) گسترش بیشتری یافته است (شکل ۲). دگرسانی سیلیسی و آلونیتی در حوالی کوه خونیک دیده می‌شود (شکل ۳) که با توجه به گسترش نسبتاً زیاد، از نظر اکتشافی از اهمیت بالایی برخوردار است. دگرسانی پروپیلیتیک (کانی‌های کلریت و اپیدوت) نیز با گسترش کمتر مشاهده می‌شود (شکل ۴). حضور این دگرسانی‌ها، با مشاهدات دقیق صحرایی نیز به اثبات رسیده است.

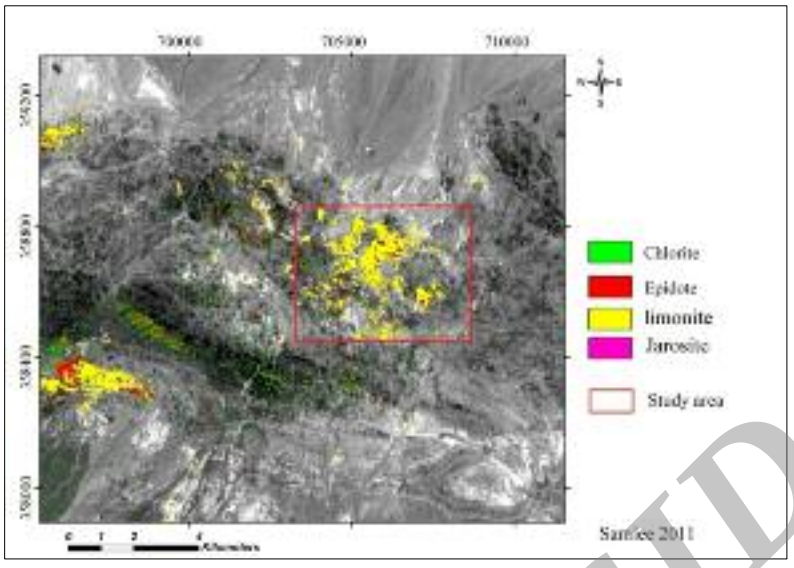


شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای آستر، که دگرسانی آرژیلیک روی آن آشکارسازی شده است.



شکل ۳ تصویر ماهواره‌ای آستر، که دگرسانی‌های آلونیتی و سیلیسی بر روی آن بارزسازی شده است.

www.SID.ir



شکل ۴ تصویر ماهواره‌ای آستر، که دگرسانی پروپیلیتیک و کانی‌های لیمونیت و ژاروسیت روی آن آشکار شده است.

زمین‌شناسی

محدوده‌ی اکتشافی خونیک از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه‌ی شمال شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران [۱۲] قرار گرفته است.

برطبق این نقشه، بخش بیشتر منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی در حد آندزیت، داسیت، آگلومرا و برش آتشفشانی است که در برخی نقاط سنگ‌های نیمه‌عمیق اسیدی- حدواسط در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی این پروژه نشان داد که بسیاری از واحدهایی که در نقشه، سنگ آتشفشانی معرفی شده‌اند، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق هستند. بیشتر سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی منطقه‌ی دگرسان شده‌اند و کانی‌سازی به‌صورت پراکنده در این واحدها مشاهده می‌شود.

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در گستره‌ی پی‌جویی خونیک را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد: ۱- سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاستیک پالئوسن- ائوسن که توده‌های نیمه‌عمیق در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. ۲- توده‌های نیمه‌عمیق در حد مونزودیوریت تا دیوریت پورفیری با سن نسبی بعد از ائوسن که با شدت‌های مختلف دگرسان شده‌اند. ۳- ته‌نشست‌های کواترنری.

در این پژوهش ۱۰ توده ی نفوذی نیمه‌عمیق در سطح شناسایی شده‌اند (شکل ۵) که به ترتیب عبارتند از بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، بیوتیت پیروکسن گابرودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت دیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، پیروکسن مونزودیوریت پورفیری، کوارتز هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و مونزودیوریت پورفیری.

علاوه بر این ۱۰ توده‌ی نفوذی، یک واحد برش گرمابی نیز وجود دارد که در نقشه‌ی زمین‌شناسی (شکل ۵) آمده است. واحدهای آتشفشانی منطقه عبارتند از هورنبلند بیوتیت آندزیت و آگلومرا.

- بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری در مرکز نقشه و در کوه خونیک رخنمون کوچکی دارد (شکل ۵). بافت سنگ پورفیری است. فنوکریست‌های تشکیل‌دهنده سنگ شامل ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز (آندزین- لابرادوریت)، ۳ تا ۴ درصد فلدسپات پتاسیم، ۲ تا ۵ درصد پیروکسن، ۵ تا ۷ درصد هورنبلند و ۲ تا ۳ درصد بیوتیت است. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده همراه با دگرسانی سیلیسی و اپیدوتی است. در این واحد، پلاژیوکلازها در بعضی نقاط به اپیدوت دگرسان شده و بلورهای هورنبلند نیز به کلریت و مگنتیت تبدیل شده‌اند که در برخی قسمت‌ها این تبدیل‌شدن به‌صورت کامل بوده است.

- واحد بیوتیت پیروکسن گابرودیوریت پورفیری در بخش کوچکی در دامنه ی غربی کوه خونیک رخنمون دارد (شکل ۵). بافت این واحد پورفیری تا میان‌دانه‌ای است. کانی‌های درشت

Archive of SID

www.SID.ir

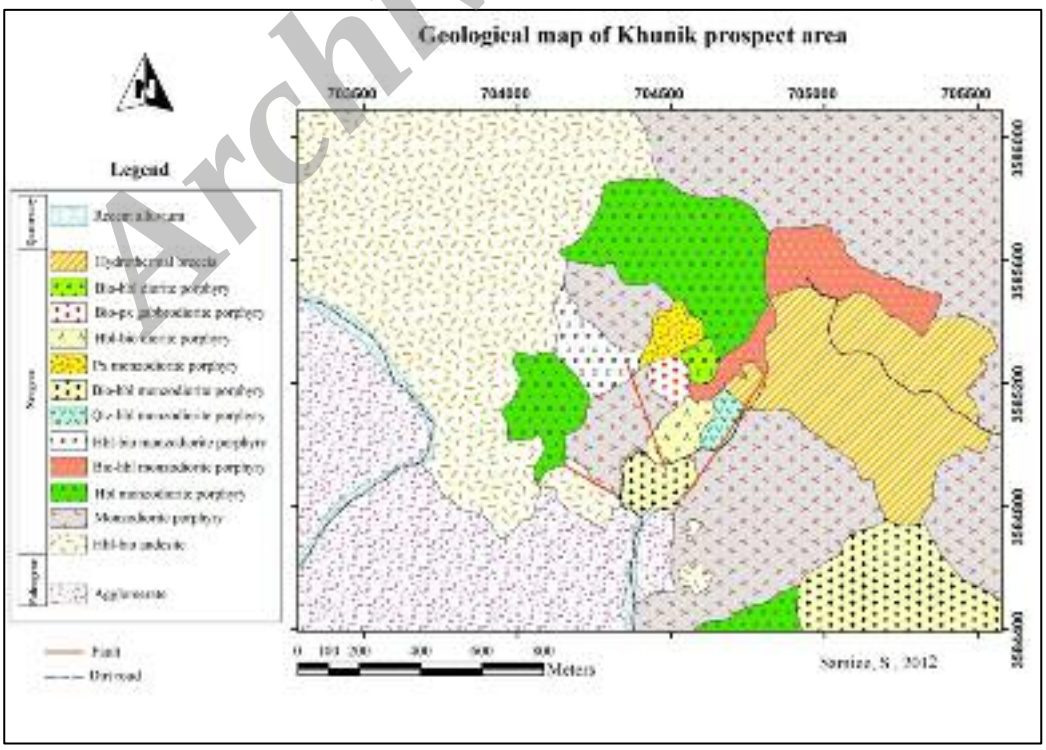
مهم این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز (آندزین) دارای منطقه-بندی (۴۰ تا ۴۵ درصد)، پیروکسن نوع اوژیت (۸ تا ۱۰ درصد) و بیوتیت (۴ تا ۵ درصد). بلورهای پلاژیوکلاز در این توده درحد ۳ تا ۴ درصد به سریسیت تبدیل شده‌اند. در زمینه‌ی سنگ علاوه بر کانی‌های یاد شده، کانی کدر به‌صورت پراکنده نیز حضور دارد و کانی مالاکیت نیز در بخش‌های سطحی توده دیده می‌شود.

- هورنبلند بیوتیت دیوریت پورفیری در دامنه‌ی جنوبی کوه خونیک دیده می‌شود (شکل ۵). این واحد بافت پورفیری دارد و فنوکریست‌های آن از ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۲ درصد بیوتیت، ۲ تا ۳ درصد هورنبلند و ۲ تا ۵ درصد پیروکسن تشکیل شده‌اند. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های فنوکریست است. پلاژیوکلازها در بعضی نقاط به کلریت و اپیدوت تبدیل شده و هورنبلند و بیوتیت نیز به کلریت دگرسان شده‌اند.

- واحد بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری در بخش کوچکی از دامنه‌ی جنوبی کوه خونیک و در جنوب‌شرقی نقشه رخنمون دارد. بافت پورفیری در این واحد مشاهده می‌شود. حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد فنوکریست در زمینه‌ی ریزدانه پراکنده شده است. کانی‌های درشت شامل پلاژیوکلاز (۱۵ تا ۲۵ درصد)، فلدسپات (۷ تا ۱۰ درصد)، بیوتیت (۳ تا ۵ درصد) و هورنبلند (۳ تا ۴ درصد) است. فلدسپات‌ها کاملاً آرژیلیکی شده و پلاژیوکلازها به سریسیت، کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند. اغلب کانی‌های بیوتیت و هورنبلند، کلریتی و کربناتی شده‌اند.

- واحد پیروکسن مونزودیوریت پورفیری در دامنه‌ی غربی کوه خونیک رخنمون دارد. این واحد دارای بافت پورفیری با ۴۰ تا ۵۰ درصد فنوکریست است. فنوکریست‌های مهم در این واحد عبارتند از ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۵ درصد پیروکسن، ۱۰ تا ۱۵ درصد قالب فلدسپات پتاسیم که به‌طور کامل به کانی‌های رسی دگرسان شده است. این واحد دارای دگرسانی پروپیلیتیک ضعیف است.

- کوارتز هورنبلند مونزودیوریت پورفیری در بخش کوچکی در مرکز نقشه رخنمون دارد (شکل ۵). بافت آن پورفیری با زمینه ی میان دانه‌ای و دانه‌شکری است. فنوکریست‌های آن شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۵ درصد فلدسپات پتاسیم، ۵ تا ۱۰ درصد هورنبلند و ۳ تا ۵ درصد کوارتز است. زمینه شامل پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، هورنبلند و کوارتز است. دگرسانی غالب در این توده پروپیلیتیک و سیلیسی است.



شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی خونیک.

Archive of SID

www.SID.ir

- هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری در دامنه‌ی غربی کوه خونیک دیده می‌شود (شکل ۵). این واحد نیز دارای بافت پورفیری با زمینه نسبتاً ریزدانه است. در این توده ۴۰ تا ۵۰ درصد فنوکریست شامل پلاژیوکلاز (۲۵ تا ۲۷ درصد)، فلدسپات پتاسیم (۱۷ تا ۱۵ درصد)، هورنبلند (۵ تا ۸ درصد) و بیوتیت (۳ تا ۵ درصد) وجود دارد. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده، سیلیس ریزدانه و کانی‌های کدر است.

- بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری در مرکز و شمال-شرقی نقشه دیده می‌شود (شکل ۵). بافت سنگ پورفیری بوده و ۲۶ تا ۳۰ درصد فنوکریست (شامل ۱۰ تا ۱۲ درصد پلاژیوکلاز (آندزین)، ۷ تا ۱۰ درصد فلدسپات پتاسیم، ۵ تا ۷ درصد قالب کانی هورنبلند (که به‌طور کامل کلریتی و کربناتی شده)، ۴ تا ۶ درصد بیوتیت) دارد. مهم‌ترین کانی فرعی مشاهده شده آپاتیت است. زمینه ی سنگ نیز علاوه بر کانی‌های فنوکریست، در حد ۲ تا ۳ درصد سیلیسی شده است. بخشی از پلاژیوکلازها به اپیدوت تبدیل شده‌اند. دگرسانی غالب این واحد پروپیلیتیک حدواسط است.

- هورنبلند مونزودیوریت پورفیری دارای سه رخنمون در شمال، جنوب و غرب منطقه است. بافت این توده پورفیری و دارای ۴۵ تا ۴۸ درصد فنوکریست شامل پلاژیوکلاز (۱۵ تا ۲۰ درصد)، فلدسپات پتاسیم (۱۰ تا ۱۵ درصد)، قالب کانی هورنبلند (۷ تا ۱۰ درصد) است. هورنبلندها به‌طور کامل کلریتی شده‌اند و اغلب پلاژیوکلازها هم به اپیدوت دگرسان شده‌اند. زمینه‌ی این سنگ کمی سیلیسی شده است.

- مونزودیوریت پورفیری که گسترش نسبتاً زیادی در بخش-های مرکزی و شرقی نقشه دارد (شکل ۵)، دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی دانه‌شکری است. این سنگ حاوی ۳۵ تا ۴۰ درصد فنوکریست است که شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز (آندزین) و ۱۵ تا ۲۰ درصد فلدسپات پتاسیم است. اغلب پلاژیوکلازها به اپیدوت تبدیل شده‌اند و فلدسپات پتاسیم نیز به سریسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده است.

- هورنبلند بیوتیت آندزیت بیشترین گسترش را بین واحدها داشته و در شمال‌غربی و جنوب‌شرقی منطقه بیرون‌زدگی دارد. در این واحد، بافت پورفیری با درشت‌بلورهایی از پلاژیوکلاز در حد ۱۵ تا ۲۰ درصد، هورنبلند با حاشیه‌ی سوخته (۵ تا ۷ درصد) و بیوتیت با حاشیه‌ی سوخته (۳ تا ۵ درصد) در یک زمینه‌ی بسیار ریز دانه وجود دارد.

آگلومرا شامل قطعات زاویه دار و کمی گرد شده آندزیتی است که به وسیله خاکسترهای آندزیتی به هم جوش خورده‌اند. مواد تشکیل دهنده آن از نظر اندازه متفاوت بوده و از قطعات ریز تا قطعات سنگی بزرگ تشکیل شده است.این واحد بخش بزرگی از جنوب شرقی نقشه را پوشانده است.

دگرسانی

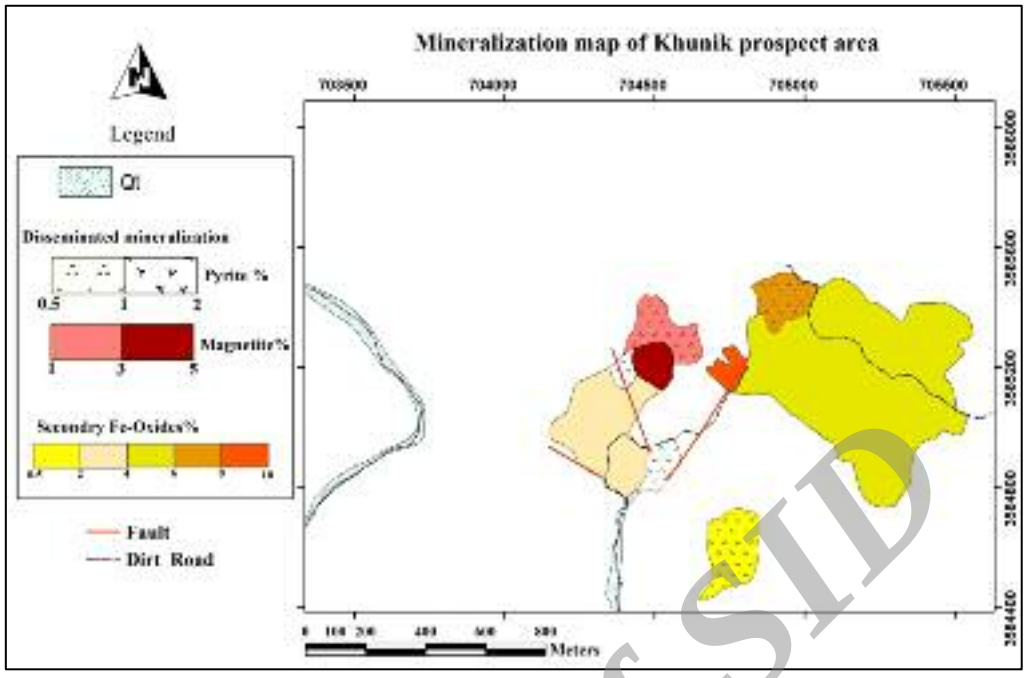
براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، ۳ نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده‌اند که عبارتند از: ۱- پروپیلیتیک ۲- آرژیلیک ۳- سریسیتیک. این ۳ نوع دگرسانی براساس فراوانی کانی‌های حاصل از دگرسانی به ۷ زون تفکیک شده‌اند (شکل ۶) که عبارتند از: ۱- زون پروپیلیتیک ۲- منطقه‌ی پروپیلیتیک- آرژیلیکی ۳- زون پروپیلیتیک- سیلیسی ۴- زون آرژیلیک- پروپیلیتیک ۵- زون آرژیلیک- سریسیتی ۶- زون سریسیتیک- سیلیسی- آرژیلیک ۷- زون برش گرمابی (شکل ۶). این زون‌بندی تا حدودی شبیه به زون بندی دگرسانی تعریف شده برای کانسارهای طلای اپی‌ترمال توسط [۱۳] است.

دگرسانی غالب در منطقه‌ی مورد بررسی، زون پروپیلیتیک است که بخش بزرگی از واحدهای سنگی را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۶). بیشتر واحدهای مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، هورنبلند بیوتیت دیوریت پورفیری و بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. این منطقه در صحرا به رنگ سبز روشن دیده می‌شود. شدت این دگرسانی در بخش‌های مختلف متفاوت است. بیشترین شدت این دگرسانی در مرکز، شمال‌شرقی و بخش جنوبی منطقه دیده می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی اپیدوت، کلریت و کلسیت و گاه به‌همراه کانی‌های رسی و سیلیس‌اند. مقدار این کانی‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. مقدار اپیدوت از ۱۰ تا ۵۰ درصد و کلریت از ۵ تا ۲۰ درصد تغییر می‌کند. اغلب این کانی‌ها حاصل دگرسان شدن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازهاست. کانی‌سازی پیریت به‌صورت افشان در این زون دیده می‌شود.

زون دگرسانی آرژیلیک- سریسیتیک در بخش جنوب‌شرقی منطقه همراه با واحد مونزودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود (شکل ۶). در این زون کانی‌های رسی به‌همراه سریسیت دیده می‌شوند که بیشتر از دگرسانی فلدسپات‌های آلکالن حاصل شده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶ نقشه‌ی دگرسانی منطقه‌ی اکتشافی خونیک.

زون دگرسانی آرژیلیک- سیلیسی در مرکز نقشه و همراه با توده‌ی مونزودیوریت پورفیری است. این زون در صحرا به رنگ کرم دیده می‌شود (شکل ۶). کانی‌های رسی در حد ۱۵ تا ۱۷ درصد از دگرسانی کامل فلدسپات‌های پتاسیم تشکیل شده‌اند و زمینه سنگ نیز سیلیسی شده است.

زون دگرسانی آرژیلیک- پروپیلیتیک بیشتر در واحد بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری و توده‌ی مونزودیوریتی جنوب نقشه قابل مشاهده است. در این واحد، کانی‌های فلدسپات پتاسیم به‌طور کامل به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند و تنها قالبی از آن‌ها مشاهده می‌شود. کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت بخشی به اپیدوت و کربنات دگرسان شده و اغلب کانی‌های فرومنیزین کلریتی شده‌اند. در این زون، دگرسانی آرژیلیک روی دگرسانی پروپیلیتیک را پوشانده است که تأیید کننده‌ی دو مرحله دگرسانی است.

زون دگرسانی سریسیت، سیلیسی، آرژیلیک که در واحد هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری واقع شده است. در این دگرسانی، پلاژیوکلازها به‌صورت بخشی کربناتی و در بعضی به‌طور کامل سریسیتی شده‌اند. دگرسانی سیلیسی در زمینه‌ی این سنگ دیده می‌شود. فلدسپات پتاسیم نیز به‌طور بخشی به کانی رسی دگرسان شده است. پیریت به عنوان کانی سولفیدی این واحد به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده است.

لازم به یادآوری است که هوازدگی شدید، زون‌های دگرسان را متأثر ساخته و موجب تشدید یا تبدیل دگرسانی به آرژیلیک و آلونیت سوپرژن شده است. این پدیده در بخش برش گرمابی و توده‌ی بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری به‌خوبی مشهود است.

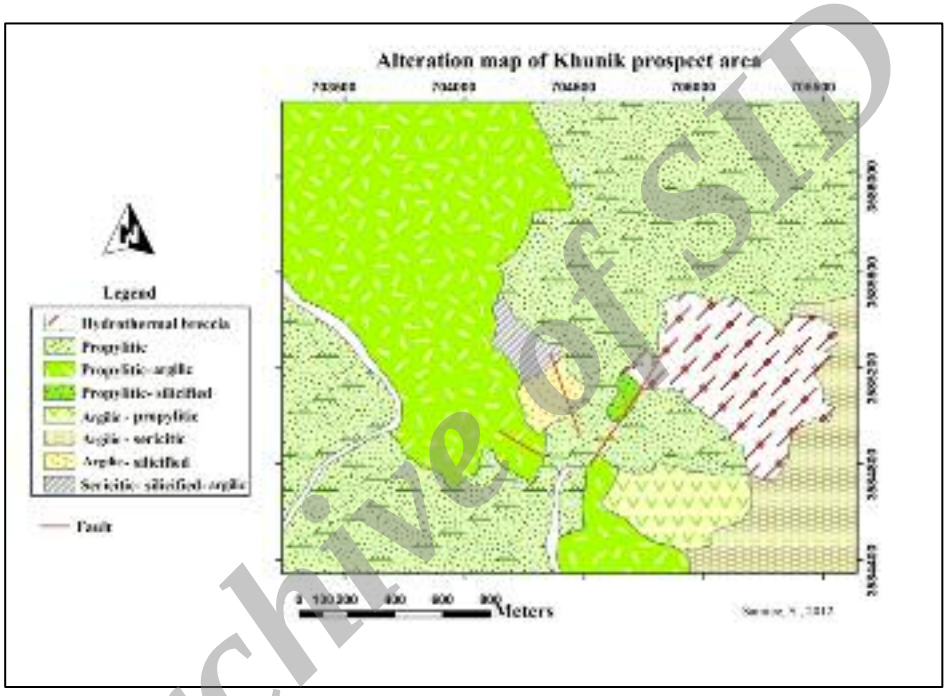
کانی‌زایی

کانی‌زایی در سطح، بیشتر به‌صورت افشان و برش گرمابی دیده می‌شود (شکل ۷). کانی‌سازی افشان شامل پیریت (۱ تا ۲ درصد) و مگنتیت (۱ تا ۵ درصد) است که به‌صورت پراکنده در متن سنگ تشکیل شده‌اند. بیشترین پراکندگی کانی‌سازی افشان در زون‌های پروپیلیتیک و آرژیلیک مشاهده می‌شود. نوع دیگر کانی‌زایی در این منطقه برش گرمابی است. زون برش گرمابی در دامنه‌ی جنوبی کوه خونیک حدود ۱ کیلومتر مربع گسترش دارد. این زون حاوی قطعات ریز و درشت زاویه‌دار از ۱ تا ۳۰ سانتی‌متر است (شکل ۸) جنس این قطعات مونزودیوریت پورفیری است که با بلورهای ریز کوارتز و کربنات سیمان شده است. کانی‌سازی پیریت در برش گرمابی، در قطعات برشی‌شده، سیمان بین قطعات و نیز رگچه‌های قطع‌کننده قطعات و سیمان دیده می‌شود که بازگوکننده‌ی سه مرحله‌ی مختلف کانی‌سازی است. بافت مشاهده شده در این برش از نوع موزاییکی است. در این نوع بافت، شکستگی‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

اندکی گسترش می‌یابند و فاصله‌ی بین قطعات افزایش می‌یابد. این پدیده در اثر فشار سیالات کانسارساز می‌تواند ایجاد شود [۱۴]. قطعات برش به‌شدت دگرسان شده‌اند و به رنگ‌های سفید، صورتی و سرخ دیده می‌شوند. رنگ سرخ و صورتی به علت حضور اکسیدهای آهن سوپرژن در نتیجه‌ی اکسایش کانی‌های سولفیدی و رنگ سفید به‌دلیل دگرسانی آرژیلیک شدید و آلونیتی و سریسیتی شدن قطعات است. میزان اکسیدهای سوپرژن بین ۰/۵ تا ۱۰ درصد متغیر است (شکل ۷). کانی‌سازی در دامنه‌ی شرقی کوه خونیک به‌صورت یک رگه‌ی سیلیسی- تورمالینی است. این رگه دارای روند شمالی- جنوبی و ضخامت حدود ۱ متر و طول تقریبی ۲۰ متر است که با توجه به گسترش کم، روی نقشه آورده نشده است. در این رگه، کانی‌سازی پیریت به‌صورت پراکنده و در حد ۱ تا ۲ درصد حضور دارد. این رگه با گسل‌های عرضی راستا لغز بریده و جابه‌جا شده است.



شکل ۷ نقشه پراکندگی کانی‌سازی در منطقه اکتشافی خونیک.

شکل ۸ بخشی از برش هیدروترمالی منطقه اکتشافی خونیک.

Archive of SID

www.SID.ir

ژئوشیمی

روش‌های ژئوشیمیایی، نقش مهمی در تعریف بی‌هنجاری‌های وابسته به کانسارهای دارای رخنمون و فاقد رخنمون دارند [۱۵].

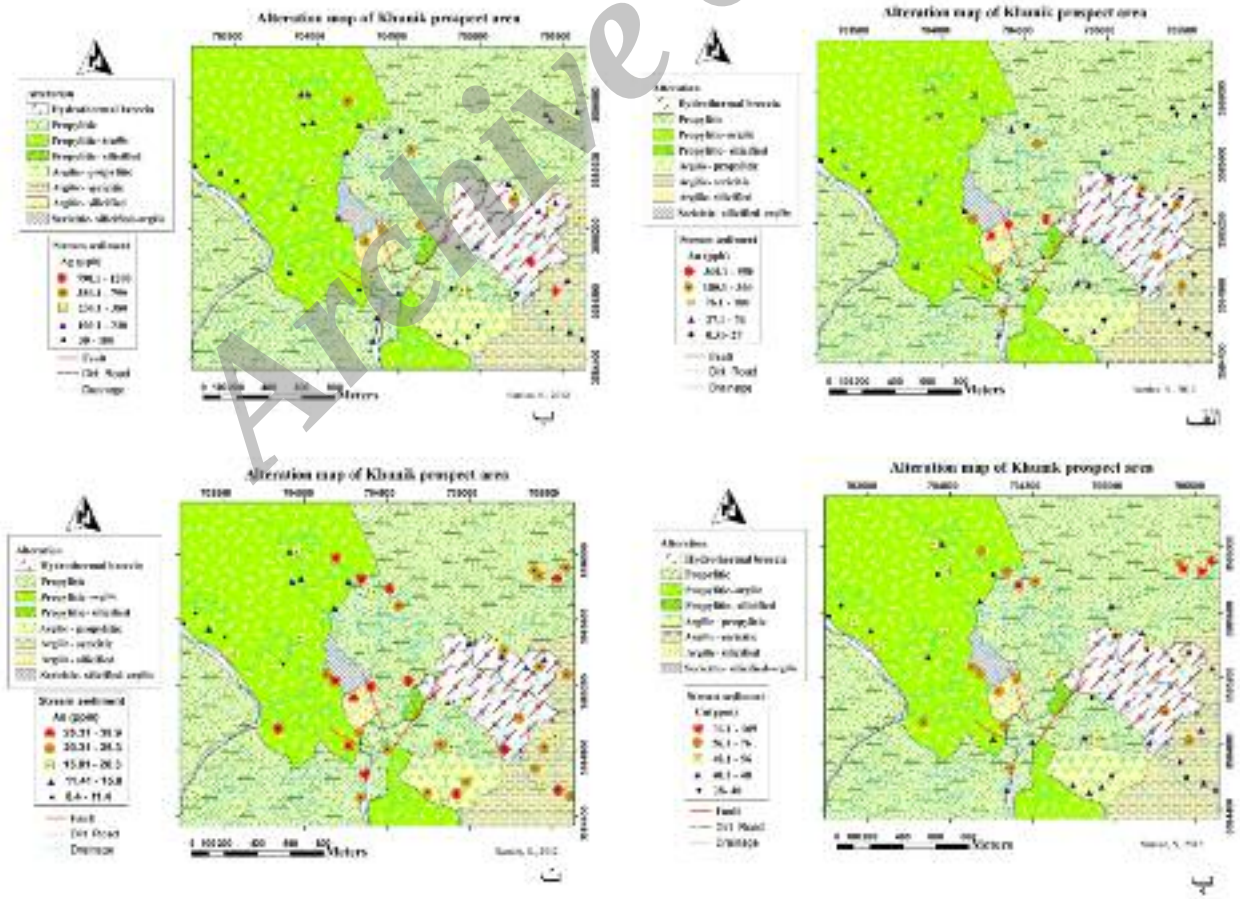
یکی از هدف‌های اکتشافات ژئوشیمیایی، دستیابی به تمرکز غیرعادی عناصری است که به کانی‌سازی وابسته‌اند. توزیع آماری عناصر اصلی در طبیعت عادی است. در شرایطی که سنگ‌ها تحت تأثیر دگرسانی و کانسارسازی قرار گیرند، این توزیع از حالت عادی خارج شده و به شکل غیرعادی درمی‌آید [۱۶].

اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای رسوب‌های آبراهه‌ای

در منطقه‌ی مورد بررسی، اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای رسوب‌های آبراهه‌ای و سنگ از سوی سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شده‌است [۱۷]. آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی برداشت شده برای طلا به روش جذب اتمی (AAS) و برای بقیه عناصر ICP-MS بوده است. نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای به عمل آمده در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ [۱۸]، بیشترین میزان آنالیز طلا را ۰٫۲۷ گرم برتن نشان داده است و در نمونه‌های کانی سنگین ۱ تا ۲۰ ذره طلا گزارش شده است. اندازه‌ی این ذرات بین ۶۲ تا ۷۱۰ میکرون متغیر بوده است [۱۸]. در بررسی‌های ژئوشیمیایی این منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ [۱۹] در نمونه‌های آبراهه‌ای بیشترین مقدار طلا ۹۵۰ میلی‌گرم در تن است . بی هنجاری طلا بیشتر در به دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک و برش گرمابی وابسته است (شکل ۹ الف). این مقدار برای نقره ۱۲۹۰ میلی گرم در تن (شکل ۹ ب) و برای مس (شکل ۹ پ) و آرسنیک (شکل ۹ ت)، به‌ترتیب ۱۰۸ و ۳۶ گرم بر تن است (شکل ۹).

اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ

در بررسی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ، داده‌های حاصل از آنالیز ۲۷۹ نمونه که به وسیله‌ی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفته است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۱۷].



شکل ۹ پراکندگی عناصر طلا، نقره، مس و آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای منطقه خونیک به‌ترتیب از الف تا ت.

Archive of SID

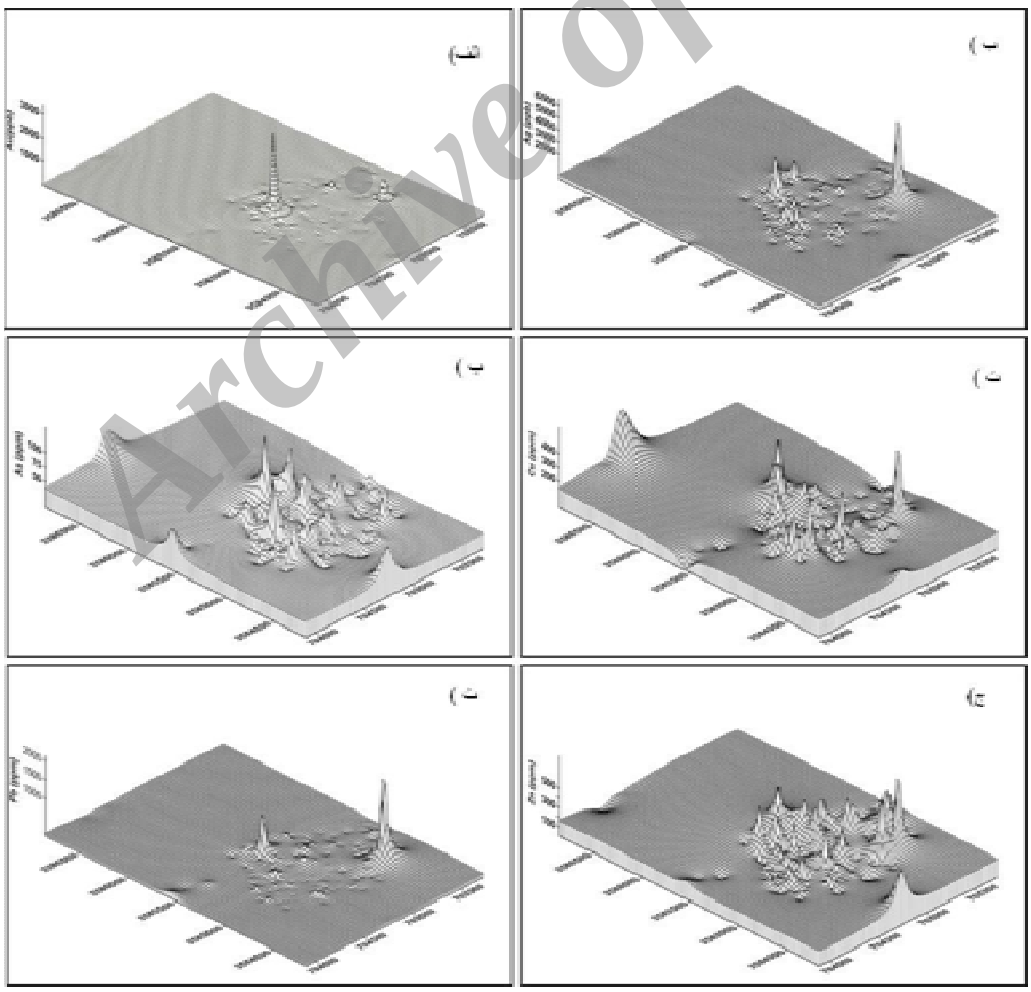
www.SID.ir

برداشت این نمونه‌ها از زون‌های دگرسانی صورت گرفته است. آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی برداشت شده برای طلا به روش جذب اتمی (AAS) و برای بقیه‌ی عناصر ICP-MS بوده است [۱۷]. بالاترین مقدار طلا ۴۶۰۰ میلی‌گرم در تن و به واحد بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری با دگرسانی پروپیلیتیک وابسته است. بالاترین میزان نقره ۹۰۸۰ میلی‌گرم در تن و به واحد مونزودیوریت پورفیری با دگرسانی آرژیلیک-سریسیتیک وابسته است. حداکثر پراکندگی عناصر آرسنیک (۱۳۳ گرم در تن) و مس (۶۰۱ گرم در تن) به توده‌ی بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری با دگرسانی پروپیلیتیک وابسته‌اند.

بی‌هنجاری عناصر سرب و روی و آنتیموان و جیوه نیز در منطقه قابل توجه است. نمونه‌های بخش مرکزی گستره‌ی مورد نظر نسبت به مناطق دیگر تفاوت چشمگیری در همه‌ی این عناصر نشان می‌دهند. همچنین این اختلاف بین نمونه‌های برداشت شده از زون دگرسانی پروپیلیتیک قابل ملاحظه است.

علاوه بر این، بی‌هنجاری قابل ملاحظه در عناصر آرسنیک، آنتیموان و جیوه در منطقه خونیک قابل توجه است. این عناصر به عنوان عناصر ردیاب فوق کانساری همراه با کانسارهای طلای اپی‌ترمال یافت می‌شوند و گاه خود تشکیل یک ذخیره‌ی اقتصادی را می‌دهند [۲۰]. در مجموع دامنه‌ی تغییرات عناصر در محدوده‌ی خونیک به‌صورت زیر است؛ طلا ۲ تا ۴۶۰۰ میلی‌گرم در تن، نقره ۴۰ تا ۹۰۸۰ میلی‌گرم در تن، آرسنیک ۷ تا ۱۳۳ گرم در تن، آنتیموان ۰/۵ تا ۱۵۸ گرم در تن، جیوه ۰/۰۲ تا ۵ گرم در تن، مس ۲۱ تا ۶۰۱ گرم در تن، سرب ۴ تا ۱۴۸۵ گرم در تن، روی ۱۸ تا ۱۰۹۵ گرم در تن.

بر اساس نتایج تجزیه‌ی انجام شده از سطح، نقشه سه‌بعدی ۶ عنصر طلا، نقره، مس، آرسنیک، روی و نقره در منطقه با نرم‌افزار Surfer رسم و در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. چنان‌که از نقشه‌های ژئوشیمی پیداست، بالاترین مقدار تمرکز این عناصر در مرکز و جنوب‌شرقی سیستم دیده می‌شود و به‌سمت شمال از مقدار آن کاسته می‌شود (شکل ۱۰ الف تا ج).



شکل ۱۰ نقشه ژئوشیمی تغییرات طلا، نقره، آرسنیک، مس، سرب و روی (به‌ترتیب از الف تا ث) در منطقه خونیک.

Archive of SID

www.SID.ir

برداشت

منطقه‌ی خونیک از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و توده‌های نیمه‌عمیق تشکیل شده است. واحدهای نیمه‌عمیق به حالت تلسکوپی در هم نفوذ کرده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی دارای ترکیب آندزیتی هستند. سنگ‌های نیمه‌عمیق در منطقه‌ی مورد بررسی از گسترش زیادی برخوردارند. از میان تمامی این واحدهای نیمه عمیق، واحد مونزودیوریتی بیشترین گسترش را در منطقه دارد. بافت مشاهده شده در این توده‌ها، پورفیری است. براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شواهد صحرایی، دگرسانی قابل‌توجهی در منطقه مشاهده می‌شود. زون‌های اصلی دگرسانی شامل پروپیلیتیک، آرژیلیک و سریسیتیک‌اند. فرآیند کانی‌سازی به دو صورت درونزاد و برونزاد قابل مشاهده است. کانی‌سازی درونزاد به‌صورت پراکنده در متن توده‌های نیمه‌عمیق دیده می‌شود و بیشتر شامل پیریت و مگنتیت است. کانی‌سازی برونزاد بیشتر به‌صورت اکسیدهای آهن است. برش گرمایی یکی از انواع کانی‌سازی در منطقه خونیک است. این واحد، رخنمون تقریباً قابل‌توجهی در بخش شرقی منطقه‌ی مورد نظر دارد. بیشترین بی‌هنجاری طلا مربوط به رسوب‌های آبراهه‌ای، ۹۵۰ میلی‌گرم در تن بوده و وابسته به واحدهای دگرسان شده پروپیلیتیک و آرژیلیک بالادست آن است، در حالی‌که بالاترین میزان بی‌هنجاری این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی ۴۶۰۰ میلی‌گرم در تن و به زون دگرسانی پروپیلیتیک مربوط است. وجود سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و نفوذی‌های نیمه‌عمیق، حضور کانی‌سازی به‌صورت پراکنده و برش گرمایی، داده‌های ژئوشیمیایی که بیانگر بی‌هنجاری طلا و عناصر Au, Ag, As, Hg, Cu, Sb, Pb, Zn، است، زون‌های دگرسانی (از جمله پروپیلیتیک، آرژیلیک و سیلیسی) و حضور کانی‌سازی‌هایی مانند کانسار مس- طلای پورفیری ماهرآباد و خوپیک و کانی‌سازی نوع طلای اپی‌ترمال سولفید بالای کوهشاه در بخش غربی این ناحیه، به‌عنوان مهم‌ترین کلیدهای اکتشافی، می‌توانند ارتباط این منطقه را با کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال نشان دهند.

مراجع

[1] Berberian M., King G.C.P., *"Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran"*, Canadian Journal of Earth Sciences (1981) v. 18, 210-265.

[۲] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، مظاهری س.ا.، حیدریان شهری م.ح.، *"ماگماتیزم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت"*، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۸۶) دانشگاه فردوسی مشهد، ص. ۶۰۴-۵۹۸.

[۳] ملک‌زاده آ.، کریم‌پور م.ح.، مظاهری س.ا.، *"زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره MA-II، منطقه پی-جویی مس- طلای پورفیری ماهرآباد، استان خراسان جنوبی"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هفدهم (۱۳۸۸) شماره ۴، ص.۶۵۴-۶۳۹.

[۴] عبدی م.، کریم‌پور م.ح.، نجفی ع.، *"زمین‌شناسی، آلتراسیون و پتانسیل کانه‌زایی در منطقه کوهشاه، خراسان جنوبی"*، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹) ص. ۵۷۴-۵۶۷.

[۵] مهندسین مشاور کندوکاو کویر، *"گزارش زمین‌شناسی معدنی کانسار طلای خونیک، استان خراسان جنوبی، پروژه طلای خونیک"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۴) دو جلد.

[۶] عسکری ع.، *"طرح اکتشاف مقدماتی طلای خونیک، طرح اکتشاف مواد معدنی در جنوب خراسان"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵).

[7] Rowan L.C., Schmidt R. G., Mars J.C., *"Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data"*, Remote Sensing of Environment (2006) 104, 74–87.

[8] Robert F., Brommecker R., Bourne B.T. Dobak P.J., McEwan C.J., *"Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration"*, Ore Deposits and Exploration Technology (2007) Paper 48, 691-711.

[9] Pérez D.J., Crósta A.P., Souza Filho C.R., Marín G., *"Mineral mapping exploration using hyperspectral AVIRIS data in Los Menucos area, Río Negro province (67°51'W- 40°53'S), Argentina"*, (2000) 99-672.

[۱۰] معصومی ف.، رنجبر ح.، *"مقایسه بین داده‌های تصحیح‌شده سنجنده ASTER با روشهای نرمالیزه شده، میانگین بازتاب داخلی نسبی و لگاریتم باقیمانده جهت نقشه‌برداری از کانی‌های مناطق دگرسان شده"*، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران (۱۳۸۷) ص. ۳۱۵-۳۱۲.

Archive of SID

www.SID.ir

[11] Zhonghai He., Binbin He., Cui ying, *"Hydrothermal alteration mapping using Aster data in east Kunlun mountain, China",* (2010).

[۱۲] افتخارنژاد ج.، موحد اول ح.، امامی م.ه.، اشتوکلین ج.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران چهارگوش ۷۸۵۴"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵).

[13] Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzales-Urien E., *"Exploration for epithermal gold deposits"*, Reviews in Economic Geology (2000) v. 13, 245-277.

[14] Laznicka P., *"Breccias and ore. Part 1: History, organization and petrography of breccias"*, , Ore Geology Rev. (1989) 314-344.

[15] Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan, C.J., *"Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration",* Ore Deposits and Exploration Technology (2007) Paper 48, 691-711.

[16] Rose A.W., Burt D.M., *"Hydrothermal alteration in Barnes, H.L., ed , "Geochemistry of hydrothermal ore deposits"*, New York, USA, John Wiley and Sons (1979) 173-235.

[۱۷] امیدوار م.ح.، *"اکتشاف ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی طلای خونیک در جنوب خراسان"*، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۴).

[۱۸] امیدوار م.ح.، *"گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای ۱:۲۰۰۰۰ خونیک"*، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۱).

[۱۹] امیدوار م.ح.، *"گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای ۱:۵۰۰۰ خونیک"*، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۲).

[۲۰] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، حیدریان شهری م.ح.، *"اکتشاف ذخایر معدنی (مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیک)"*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۴) ۶۳۲ ص.

Archive of SID

www.SID.ir