



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

سمیه سمعی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن کریمپور<sup>۲</sup>، مجید قادری<sup>۳</sup>، محمدرضا حیدریان شهری<sup>۲</sup>

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 صحراوی، نتایج رضایت‌بخشی را فراهم کرد. این گستره شامل برونزدهای از آتش‌شانی‌های پالتوسن-ائوسن بود که واحدهای متعدد نیمه‌عمیق با ترکیب حدواتسط به حالت تلسکوبی در آن‌ها نفوذ کردند. دگرسانی با برخی از این واحدها در ارتباط است. دگرسانی‌های اصلی شامل پروپیلیتیک، آرزیلیک و سری‌سیتیک می‌شوند. کانی‌سازی در سطح به صورت افسان و برش گرمابی مشاهده می‌شود. حداقل مقدار پراکندگی عناصر طلا، نقره و آرسنیک در رسوب‌های آبراهه‌ای در مناطقی است که در بالادست آن زون‌های دگرسانی پروپیلیتیک، آرزیلیک-سیلیسی و برش گرمابی وجود دارند. گستره تغییرات عناصر در نمونه‌های ژئوشیمیابی بر مبنای سنگ به صورت زیر است: طلا ۲ تا ۴۶۰۰ میلی‌گرم در تن، نقره ۴۰ تا ۹۰۸۰ میلی‌گرم 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 مونزوزدیوریت پورفیری و مونزونیت پورفیری دیده می‌شوند. نوع کانی‌سازی که به صورت 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 اپی ترمال؛ خونیک.

شباهت دارد. در این منطقه، کانه‌زایی‌های متعددی گزارش شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کانسارتاهای 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 [۵،۶]، ولی در هیچ‌کدام جدایش واحدهای نیمه عمیق به خوبی انجام نگرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی،

مقدمه منطقه‌ی اکتشافی خونیک در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های "۵۹°۰۸'۰۰" تا "۵۹°۱۳'۰۰" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۲°۲۱'۰۰" تا "۳۲°۲۶'۰۰" 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 به صورت زبانه‌ای در حاشیه‌ی شمال‌شرقی بلوك لوت نفوذ کرده است. ویژگی‌های رخساره‌ی سنگی این منطقه تا اندازه‌ای به بلوك لوت

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

برداشت‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛  
۶- جمع‌بندی و تفسیر نتایج.

#### بررسی‌های دورسنجی

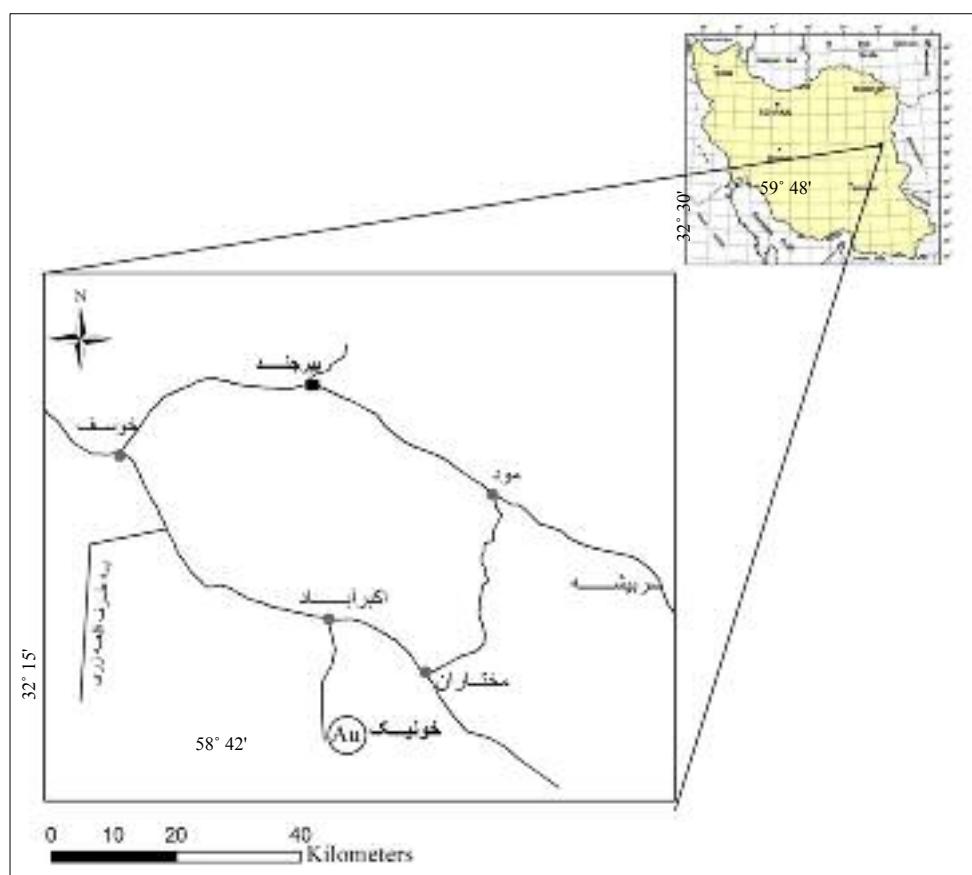
بررسی‌های دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای آشکارسازی زون‌های دگرسان، در دهه‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است [۷، ۸]. استفاده از روش‌های نوین پردازش تصاویر ماهواره‌ای در بررسی‌های اکتشافی و زمین‌شناسی در سال‌های اخیر دیده شده است [۹، ۱۰]. داده‌های چند طیفی ASTER از سال ۲۰۰۰ برای بررسی 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 دگرسان شده و نادگرسان، مهم‌ترین راه تشخیص نواحی دگرسانی و به پیروی از آن اکتشاف کانسارها در پردازش تصاویر ماهواره‌ای است.

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

#### روش بررسی

برای شناسایی دقیق منطقه، بررسی‌های زیر انجام گرفته است:

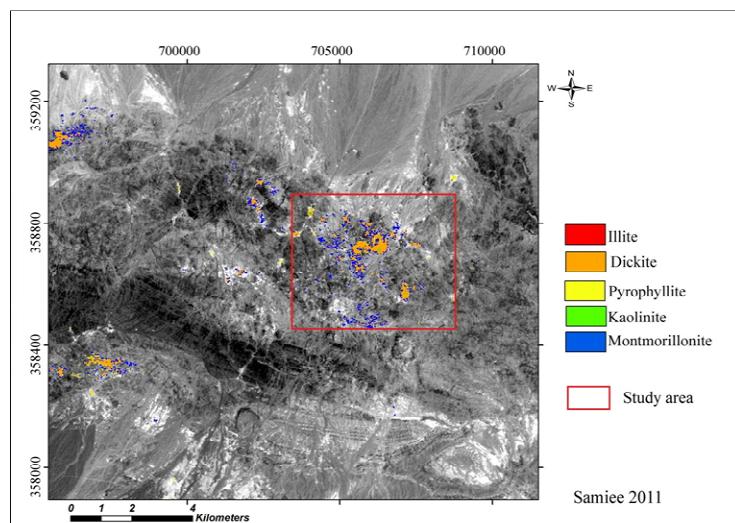
- پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER به‌منظور جدایش زون‌های دگرسان و شدت و پراکندگی آن‌ها به کمک نرم‌افزار ENVI 4.2؛
- بررسی‌های صحرایی و برداشت اطلاعات لازم برای تهیه نقشه از قبیل شناسایی واحدهای سنگی، مرز واحدها، ساختارهای زمین‌ساختی؛
- نمونه‌برداری از واحدهای سنگی (بیش از ۱۰۰ نمونه) به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی؛
- تهیی ن نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰؛
- بررسی و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای و بررسی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ حاصل از



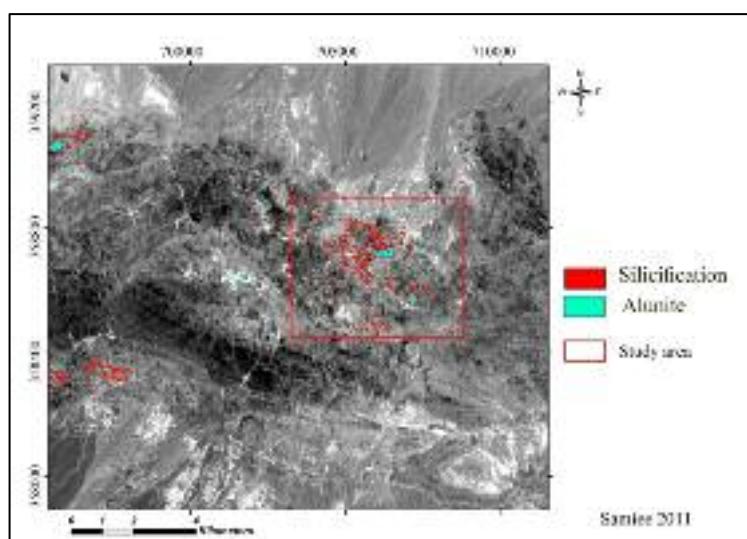
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به منطقه مورد مطالعه.

(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 صحرابی نیز به اثبات رسیده است.

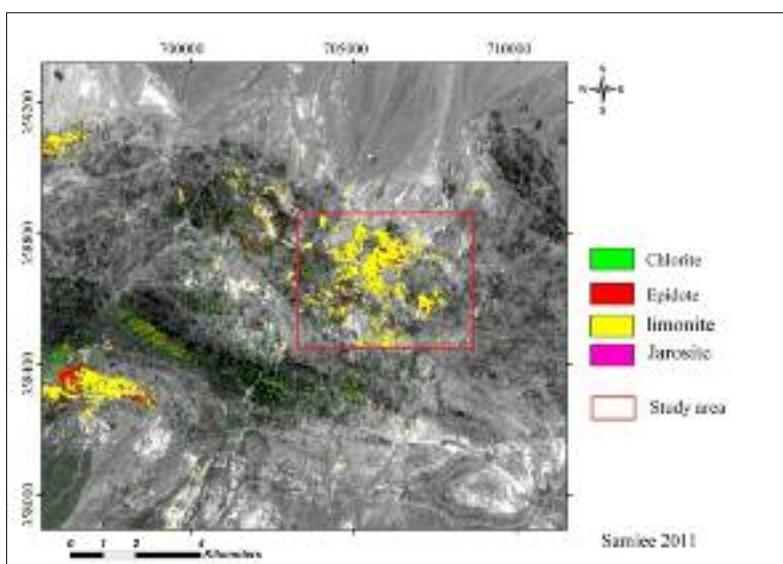
منطقه خونیک جزء مناطق خشک و کویری است و به علت نداشتن پوشش گیاهی، برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مشخص کردن مناطق دگرسان احتمالی با صرف زمان کم مناسب است. بررسی‌های دورسنجی در این منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ASTER انجام گرفت. برای پردازش این تصاویر از روش جدایشی SAM(Spectral Angle Mapper) 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.



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.



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

هورنبلند دیوریت پورفیری، بیوتیت پیروکسن گابرو دیوریت 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 آتشفسانی منطقه عبارتند از هورنبلند بیوتیت آندزیت و آگلومرا.

- بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری در مرکز نقشه و در کوه خونیک رخمنون 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 تبدیل شدن به صورت کامل بوده است.

- واحد بیوتیت پیروکسن گابرو دیوریت پورفیری در بخش کوچکی در دامنه‌ی غربی کوه خونیک رخمنون دارد (شکل ۵). بافت این واحد پورفیری تا میان‌دانه‌ای است. کانی‌های درشت

#### زمین‌شناسی

محدوده‌ی اکتشافی خونیک از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه‌ی شمال شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰ مختاران [۱۲] قرار گرفته است.

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

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در گستره‌ی پی‌جوبی خونیک را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد: ۱- سنگ‌های آتشفسانی 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 توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق در سطح شناسایی شده‌اند (شکل ۵) که به ترتیب عبارتند از بیوتیت

شده است. کانی‌های درشت شامل پلازیوکلاز (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 پلازیوکلازها به سریسیت، کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند. اغلب کانی‌های بیوتیت و هورنبلند، کلریتی و کربناتی شده‌اند.

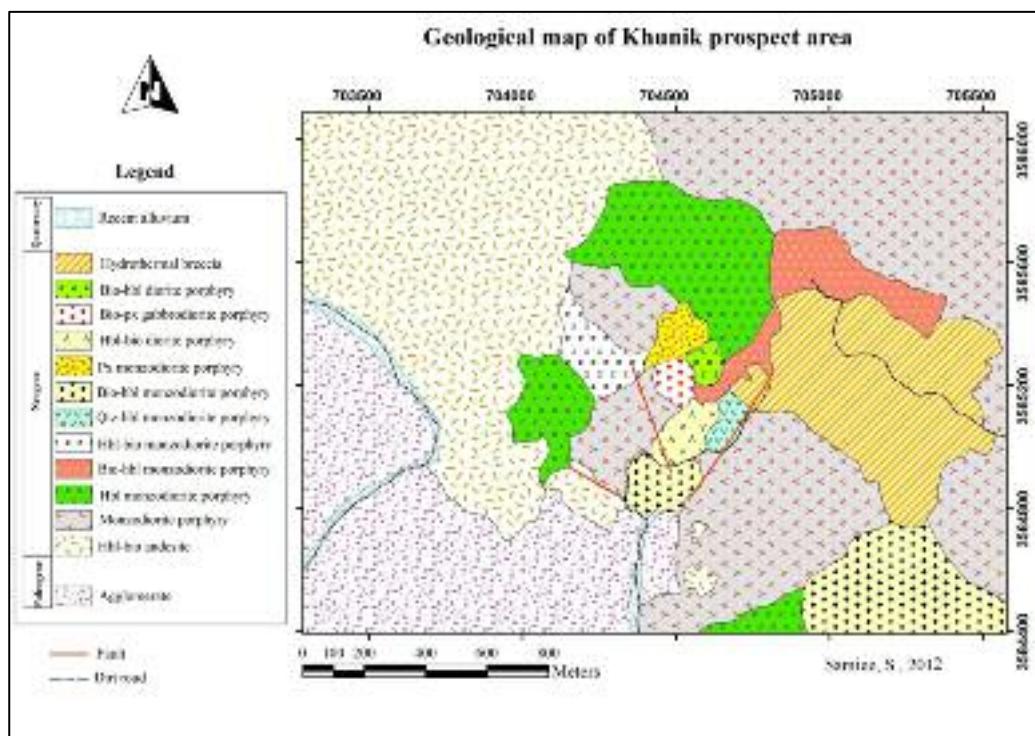
- واحد پیروکسن مونزوودیوریت پورفیری در دامنه‌ی غربی کوه خونیک رخمنون دارد. این واحد دارای بافت پورفیری با ۴۰ تا ۵۰ درصد فنوکریست است. فنوکریست‌های مهم در این واحد عبارتند از ۳۰ تا ۳۵ درصد پلازیوکلاز، ۱۰ تا ۱۵ درصد پیروکسن، ۱۰ تا ۱۵ درصد قالب فلدسپات پتاسیم که به طور کامل به کانی‌های رسی دگرسان شده است.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

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

مهم این واحد عبارتند از: پلازیوکلاز (آندرزین) دارای منطقه-بندي (۴۰ تا ۴۵ درصد)، پیروکسن نوع اوژیت (۸ تا ۱۰ درصد) و بیوتیت (۴ تا ۵ درصد). بلورهای پلازیوکلاز در این توده در حد ۳ تا ۴ درصد به سریسیت تبدیل شده‌اند. در زمینه‌ی سنگ علاوه بر کانی‌های یاد شده، کانی کدر به صورت 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 پلازیوکلاز، 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. پلازیوکلازها در بعضی نقاط به کلریت و اپیدوت تبدیل شده و هورنبلند و بیوتیت نیز به کلریت دگرسان شده‌اند.

- واحد بیوتیت هورنبلند مونزوونیت پورفیری در بخش کوچکی از دامنه‌ی جنوبی کوه خونیک و در جنوب‌شرقی نقشه رخمنون دارد. بافت پورفیری در این واحد مشاهده می‌شود. حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد فنوکریست در زمینه‌ی ریزدانه پراکنده



شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی خونیک.

است که به وسیله خاکسترها 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 مونزوونیت پورفیری، هورنبلند مونزوودیوریت پورفیری، بیوتوتیت هورنبلند مونزوونیت پورفیری، هورنبلند بیوتوتیت دیوریت پورفیری و بیوتوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. این منطقه در صحراء به رنگ سبز روشن دیده می‌شود. شدت این دگرسانی در بخش‌های مختلف متفاوت است. بیشترین شدت این دگرسانی در مرکز، شمال شرقی و بخش جنوبی منطقه دیده می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی اپیدوت، کلریت و کلیسیت و گاه به همراه کانی‌های رسی و سیلیسی‌اند. 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 پلازیوکلازهاست. کانی‌سازی پیریت به صورت افشار در این زون دیده می‌شود.

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

- هورنبلند بیوتوتیت مونزوودیوریت 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 پلازیوکلاز (۲۷ تا ۲۵ درصد)، فلدسپات پتاسیم (۱۷ تا ۱۵ درصد)، هورنبلند (۵ تا ۸ درصد) و بیوتوتیت (۳ تا ۵ درصد) وجود دارد. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده، سیلیس ریزدانه و کانی‌های کدر است.

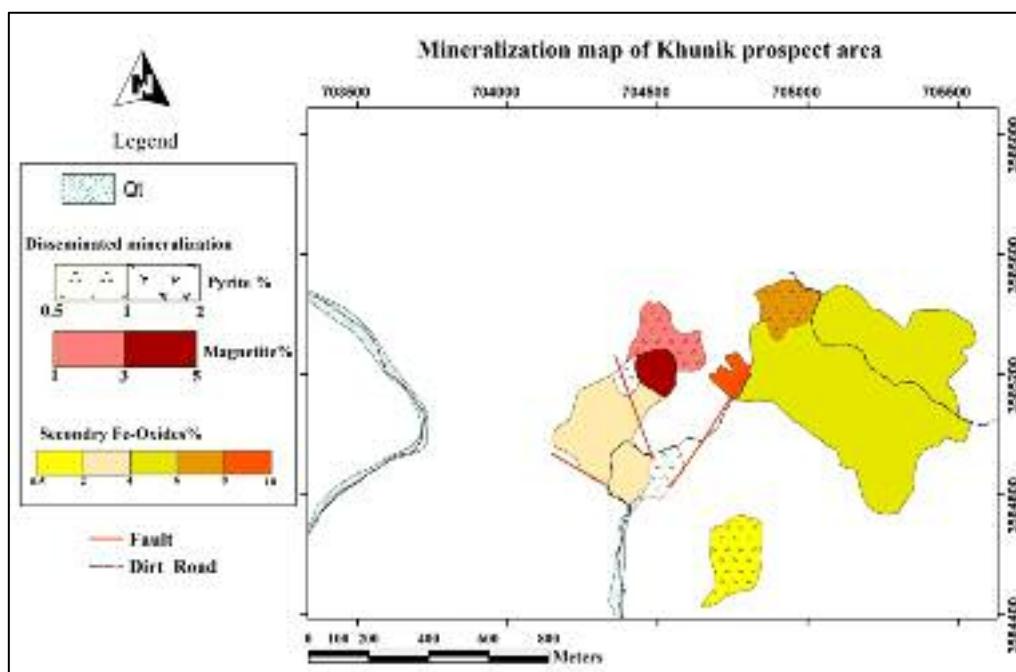
- بیوتوتیت هورنبلند مونزوودیوریت پورفیری در مرکز و شمال-شرقی نقشه دیده می‌شود (شکل ۵). بافت سنگ پورفیری بوده و ۳۰ تا ۲۶ درصد فنوکریست (شامل ۱۰ تا ۱۲ درصد پلازیوکلاز (آنذین)، ۷ تا ۱۰ درصد فلدسپات پتاسیم، ۵ تا ۷ درصد قالب کانی هورنبلند (که به طور کامل کلریتی و کربناتی شده)، ۴ تا ۶ درصد بیوتوتیت) دارد. مهم‌ترین کانی فرعی مشاهده شده آپاتیت است. زمینه‌ی سنگ نیز علاوه بر کانی‌های فنوکریست، در حد ۲ تا ۳ درصد سیلیسی شده است. بخشی از پلازیوکلازها به اپیدوت تبدیل شده‌اند. دگرسانی غالب این واحد پروپیلیتیک حدوات است.

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

- مونزوودیوریت 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 پلازیوکلاز (آنذین) و ۱۵ تا ۲۰ درصد فلدسپات پتاسیم است. اغلب پلازیوکلازها به اپیدوت تبدیل شده‌اند و فلدسپات پتاسیم نیز به سریسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده است.

- هورنبلند بیوتوتیت آندزیت بیشترین گسترش را بین واحدها داشته و در شمال غربی و جنوب شرقی منطقه بیرون زدگی دارد. در این واحد، بافت پورفیری با درشت‌بلورهایی از پلازیوکلاز در حد ۱۵ تا ۲۰ درصد، هورنبلند با حاشیه‌ی سوخته (۵ تا ۷ درصد) و بیوتوتیت 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



شکل ۶ نقشه‌ی دگرسانی منطقه‌ی اکتشافی خونیک.

لازم به یادآوری است که هوازدگی شدید، زون‌های دگرسان را متاثر 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 به خوبی مشهود است.

#### کانی‌زایی

کانی‌زایی در سطح، بیشتر به صورت افسان و برش گرمابی دیده می‌شود (شکل ۷). کانی‌سازی افسان شامل پیریت (۱۰ تا ۲۰ درصد) و مگنتیت (۱ تا ۵ درصد) است که به صورت پراکنده در متن سنگ تشکیل شده‌اند. بیشترین پراکنده‌ی کانی‌سازی افسان 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 قطع کننده 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

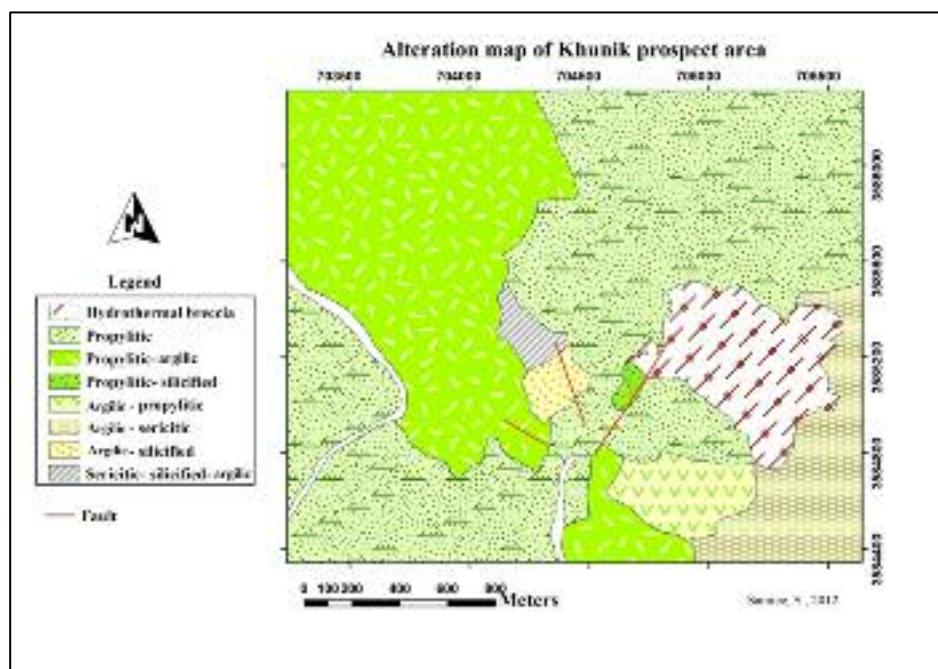
زون دگرسانی آرژیلیک- سیلیسی در مرکز نقشه و همراه با توده‌ی مونزودیوریت پورفیری است. این زون در صحراء به رنگ کرم دیده می‌شود (شکل ۶). کانی‌های رسی در حد ۱۵ تا ۱۷ درصد از دگرسانی کامل فلدسپات‌های پتاسیم تشکیل شده‌اند و زمینه سنگ نیز سیلیسی شده است.

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 به طور کامل به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند و تنها قالبی از آن‌ها مشاهده می‌شود. کانی‌های پلاژیوکلاز به صورت بخشی به اپیدوت و کربنات دگرسان شده و اغلب کانی‌های فرومیزین 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 به صورت بخشی کربناتی و در بعضی به طور کامل سریسیتی شده‌اند. دگرسانی سیلیسی در زمینه‌ی این سنگ دیده می‌شود. فلدسپات پتاسیم نیز به طور بخشی به کانی رسی دگرسان شده است. پیریت به عنوان کانی سولفیدی این واحد به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده است.

۷). کانی‌سازی در دامنه‌ی شرقی کوه خونیک به صورت یگ 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 به صورت پراکنده و در حد ۱ تا ۲ درصد حضور دارد. این رگه با گسل‌های عرضی راستا لغز بریده و جابه‌جا شده است.

اندکی گسترش می‌یابند و فاصله‌ی بین قطعات افزایش می‌یابد. این پدیده در اثر فشار سیالات کانسنساز می‌تواند ایجاد شود [۱۴]. قطعات برش به شدت 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 به دلیل دگرسانی آرژیلیک شدید و آلومنیتی و سریسیتی شدن قطعات است. میزان اکسیدهای سوپرژن بین ۵٪ تا ۱۰٪ درصد متغیر است (شکل ۷).



شکل ۷ نقشه پراکندگی کانی‌سازی در منطقه اکتشافی خونیک.



شکل ۸ بخشی از برش هیدروترمالی منطقه اکتشافی خونیک.

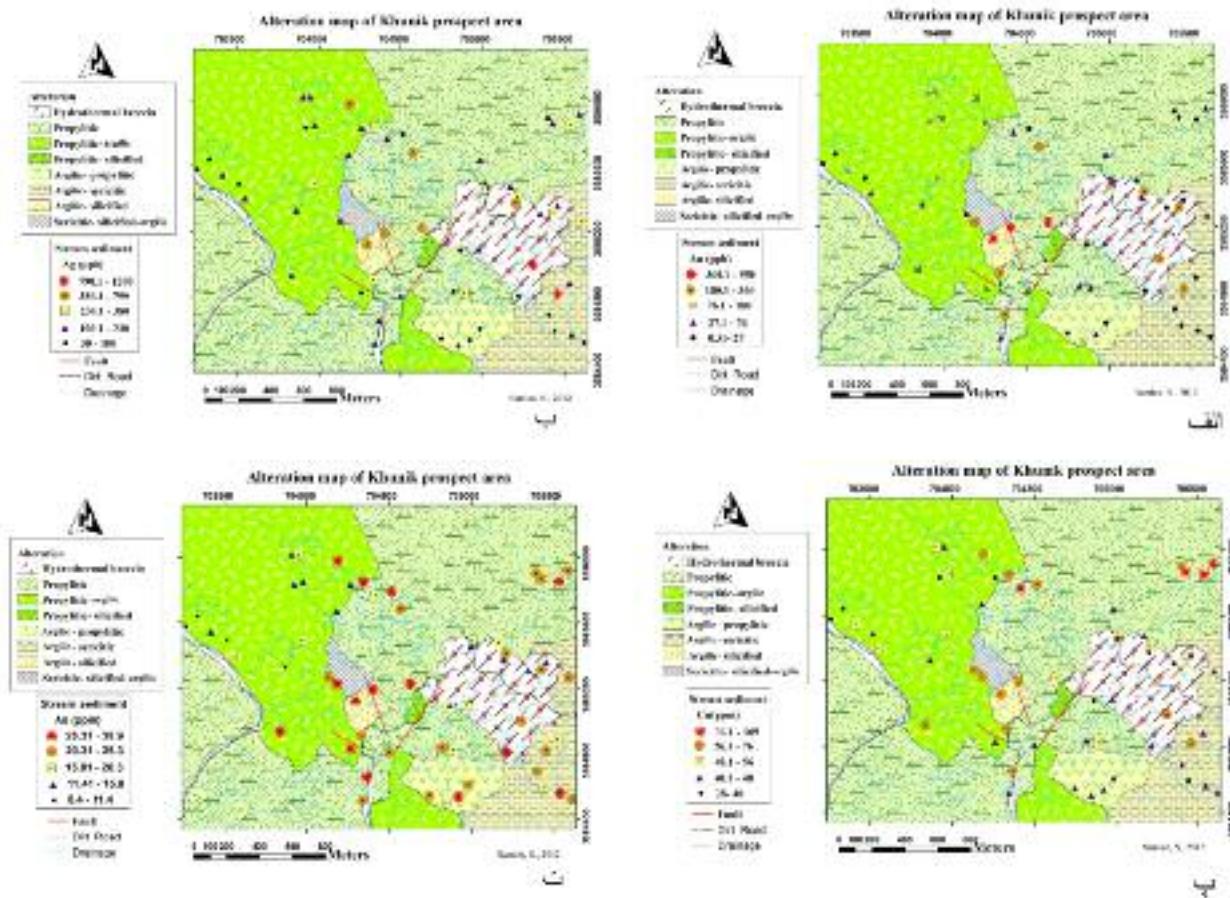
به عمل آمده در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ [۱۸]، بیشترین میزان آنالیز طلا را ۰/۷۲ گرم برتن نشان داده است و در نمونه‌های کانی سنگین ۱ تا ۲۰ ذره طلا گزارش شده است. اندازه‌ی این ذرات بین ۶۲ تا ۷۱ میکرون متغیر بوده است [۱۸]. در بررسی‌های ژئوشیمیابی این منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ [۱۹] در نمونه‌های آبراهه‌ای بیشترین مقدار طلا 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 میلی‌گرم در تن (شکل ۹ ب) و برای مس (شکل ۹ پ) و آرسنیک (شکل ۹ ت)، به ترتیب ۱۰۸ و ۳۶ گرم بر تن است (شکل ۹).

اکتشافات ژئوشیمیابی بر مبنای سنگ در بررسی‌های ژئوشیمیابی 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].

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

یکی از هدف‌های اکتشافات ژئوشیمیابی، 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 ژئوشیمیابی بر مبنای رسوب‌های آبراهه‌ای**  
در منطقه‌ی مورد بررسی، اکتشافات ژئوشیمیابی بر مبنای رسوب‌های آبراهه‌ای و سنگ از سوی سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شده است [۱۷]. آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی برداشت شده برای طلا به روش جذب اتمی (AAS) و برای بقیه عناصر ICP-MS بوده است. نتایج بررسی‌های ژئوشیمیابی آبراهه‌ای



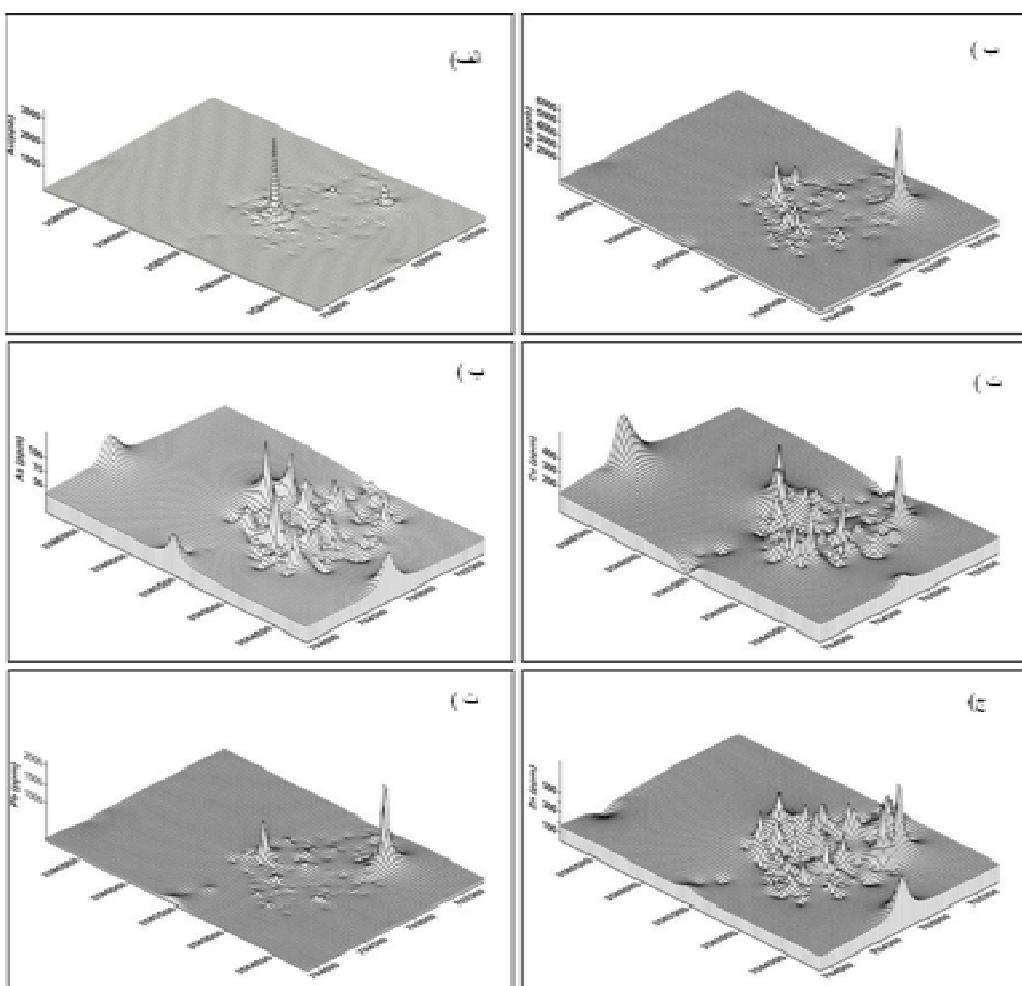
شکل ۹ پراکندگی عناصر طلا، نقره، مس و آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای منطقه خونیک به ترتیب از الف تا ت.

علاوه بر این، بی‌هنگاری 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 به صورت زیر است؛ طلا ۲ تا ۴۶۰۰ میلی‌گرم در تن، نقره ۴۰ تا ۹۰۸۰ میلی‌گرم در تن، آرسنیک ۷ تا ۱۳۳ میلی‌گرم در تن، آنتیموان ۰/۵ تا ۱۵۸ میلی‌گرم در تن، جیوه ۰/۰۲ تا ۵ میلی‌گرم در تن، مس ۲۱ تا ۶۰۱ میلی‌گرم در تن، سرب ۴ تا ۱۴۸۵ میلی‌گرم در تن، روی ۱۸ تا ۱۰۹۵ میلی‌گرم 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).

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 مونزوودیوریت پورفیری با دگرسانی پروپیلیتیک وابسته است. بالاترین میزان نقره ۹۰۸۰ میلی‌گرم در تن و به واحد مونزوودیوریت پورفیری با دگرسانی آرژیلیک-سریسیتیک وابسته است. حداقل پراکندگی عناصر آرسنیک (۱۳۳ میلی‌گرم در تن) و مس (۶۰۱ میلی‌گرم در تن) به توده‌ی بیوتیت هورنبلند مونزوودیوریت پورفیری با دگرسانی پروپیلیتیک وابسته‌اند.

بی‌هنگاری عناصر سرب و روی و آنتیموان و جیوه نیز در منطقه قابل توجه است. نمونه‌های بخش مرکزی گسترده‌ی 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.



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

- [۲] کریمپور م.ح، ملکزاده شفارودی آ، مظاہری س.ا، حیدریان شهری م.ح، "ماگماتیزم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستان در بلوک لوت"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۸۶) دانشگاه فردوسی مشهد، ص. ۵۹۸-۶۰۴.
- [۳] ملکزاده آ، کریمپور م.ح، مظاہری س.ا، "زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره MA-II منطقه پی-جویی مس- طلا پورفیری ماهرآباد، استان خراسان جنوبی"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هفدهم (۱۳۸۸) شماره ۴، ص. ۶۳۹-۶۵۴.
- [۴] عبدالی م، کریمپور م.ح، نجفی ع، "زمین‌شناسی، آتراسیون و پتانسیل کانه‌زایی در منطقه کوهشاه، خراسان جنوبی"، نخستین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹) ص. ۵۶۷-۵۷۴.
- [۵] مهندسین مشاور کندوکاو کویر، "گزارش زمین‌شناسی معدنی کانسار طلاخ خونیک، استان خراسان جنوبی، پروژه طلاخ خونیک"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۴) دو جلد.
- [۶] عسکری ع، "طرح اکتشاف مقدماتی طلاخ خونیک، طرح اکتشاف مواد معدنی در جنوب خراسان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵).
- [۷] 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.
- [۸] 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.
- [۹] Pérez D.J., Crósta A.P., Souza Filho C.R., Marín G., "Mineral mapping exploration using hyperspectral AVIRIS data in Los Menudos area, Río Negro province (67°51'W- 40°53'S), Argentina", (2000) 99-672.
- [۱۰] معصومی ف، رنجبر ح، "مقایسه بین داده‌های تصحیح شده 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. ۳۱۲-۳۱۵.

### برداشت

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

### مراجع

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

- [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 خونیک، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور ۱:۲۰۰۰۰ (۱۳۸۱).
- [۱۹] امیدوار م.ح، "گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای 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.
- [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، اشتولکین ج، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ 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.