



سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین و بررسی آثار کانی‌سازی در نهشته معدنی چاه‌میخ، جنوب غرب بیرجند-خراسان جنوبی

حسین ثانی قالهر^{*}، محمدحسین یوسف زاده، امیر مهدوی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱/۱۴)

چکیده: منطقه چاه‌میخ بخشی از قطعه لوت است که در ۱۱۵ کیلومتری جنوب غرب بیرجند قرار دارد. سنگ‌های منطقه مورد بررسی، آندزیت، پیروکسن‌آندزیت، هورنبلندآندزیت و هورنبلندپیروکسن‌آندزیت، دیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و بازالت هستند. بافت غالب توده‌ها پورفیری است. در بخش مرکزی منطقه مورد بررسی، پهنه‌های دگرسانی بسیار گسترده بوده و در ارتباط مستقیم با توده‌های نیمه‌عمیق هستند غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک (LREE)، تهی‌شدگی نسبی عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) و ناهنجاری منفی Eu از ویژگی‌های آنها بوده و بیانگر فعالیت ماگمایی متآلومین نوع I کرانه فعال قاره و صفحه‌های آتشفشانی هستند. کانه‌زایی در این منطقه در رگه‌های سیلیسی-برشی ناشی از عملکرد استوک‌های نیمه عمیق است. از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های سولفیدی اصلی موجود در منطقه عبارتند از پیریت نسل I، پیریت نسل II، کالکوپریت، کالکوسیت و کوولیت و از میان کانی‌های فاز اکسیدی می‌توان به مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا، نئوتاسیت، همتیت و گوتیت اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: آندزیت؛ زمین‌شیمی؛ دگرسانی؛ کانی‌سازی؛ چاه‌میخ؛ بیرجند؛ قطعه لوت.

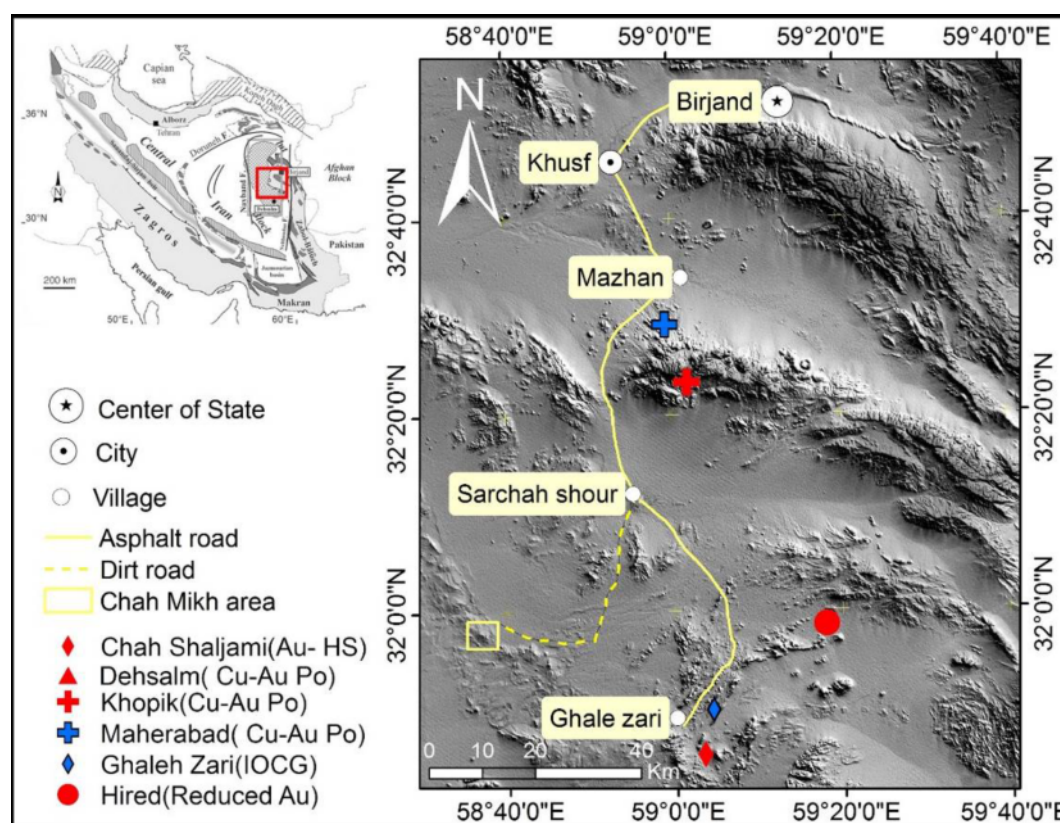
مقدمه

درونه و کلمرد در شمال و فرونشست جازموریان در جنوب واقع است [۳].

توده‌های نفوذی سنوزوئیک قطعه لوت سبب تشکیل کانسارهای مختلف شده‌اند. که از جمله می‌توان به کانی‌سازی-های پورفیری و فراگرمایی مناطق ماهرآباد [۴]، خوپیگ [۵] و قلعه‌زری [۶] اشاره کرد که گستره سنی ژوراسیک تا کواترنری را می‌توان برای آنها در نظر گرفت. همچنین نتایج سن‌سنجی توده‌های نفوذی مختلف در قطعه لوت پنجره زمانی ۳۳ تا ۴۲ میلیون سال پیش (ائوسن-الیگوسن) را برای تشکیل این توده-ها نشان می‌دهد [۷]. در ایران، تا کنون حدود ۵۰۰ کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده‌اند که برخی از آنها چون کانسارهای مس سرچشمه، میدوک و سونگون در شمار بزرگترین کانسارهای مس دنیا قرار دارند. البته بررسی‌های اکتشافی اصولی برای شناسایی و بهره‌برداری از این گونه

نهشته معدنی چاه‌میخ به مساحت ۲۵ کیلومتر مربع در ۱۱۵ کیلومتری جنوب غرب شهر بیرجند و ۳۵ کیلومتری شمال غرب معدن مس قلعه‌زری قرار دارد. راه دسترسی به منطقه جاده آسفالت بیرجند-خوسف-قلعه‌زری تا روستای سرچاه شور به طول ۷۵ کیلومتر و سپس به سمت غرب روستای نام برده حدود ۴۰ کیلومتر جاده خاکی است (شکل ۱). منطقه یاد شده در دورترین بخش شمال غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ ده سلم (چاه وک) [۱] و بر اساس تقسیمات پهنه‌های ساختاری ایران، در بخش مرکزی پهنه ساختاری لوت از خردقاره‌ای ایران مرکزی [۲] به مختصات $35^{\circ} 18' 58''$ تا $35^{\circ} 38' 58''$ طول شرقی $59^{\circ} 10' 31''$ تا $56^{\circ} 32' 31''$ عرض شمالی قرار دارد. قطعه لوت بخشی از خرد قاره‌ای ایران مرکزی بوده که میان گسل‌های نه‌بندان در شرق و نایبند در غرب،

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۹۰۶۵۸۱۳۷، نامبر: ۰۵۶۳۱۲۰۲۱۱۰، پست الکترونیکی: Hossainsani@birjand.ac.ir



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و راههای دسترسی به آن به همراه موقعیت برخی از کنسارها و نهشته‌های معدنی قطعه لوت.

فعالیت‌های ماگمایی گسترده با ویژگی‌های زمین شیمیایی متفاوت، برای کانی‌سازی‌های مختلف بسیار مناسب است. وجود انواع کانی‌سازی‌های فلزی از جمله مس، سرب، روی، طلا، نقره، آرسنیک، آنتیموان، قلع و تنگستن و کانی‌سازی‌های غیرفلزی چون بنتونیت و کائولین تأییدی بر این امر است در این بین، می‌توان به کنسارهای متعدد سرب و روی رگه‌ای و مس رگه‌ای [۸، ۹]، کنسارهای مس-طلای پورفیری ماهرآباد [۴]، خوپیک [۵]، دهسلم [۱۰، ۱۱]، کنسارهای طلای فراگرمایی شیخ‌آباد و هیرد [۱۲] و کنسارهای اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) قلعه-زری [۶، ۱۳]، کوه زر و کجه [۱۴] اشاره کرد (شکل ۱).

روش بررسی

طی ۱۰ روز بازدید صحرایی در تابستان ۱۳۹۸ تعداد ۱۵۰ نمونه برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، تهیه نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی و بررسی آثار کانی‌سازی، برداشت شد. در این میان، توده‌های نفوذی دارای ارتباط تنگاتنگی با کانی‌سازی، مورد توجه ویژه قرار داشتند و بر اساس تغییرات بافتی، میزان درشت بلورها و دگرسانی در نمونه دستی، از آنها در فواصل کوتاهی نمونه برداری شد.

کنسارها در استان خراسان جنوبی، بجز در مواردی محدود، انجام نشده است. منطقه چاه‌میخ نیز از مناطق دارای کانی‌سازی در ارتباط با توده‌های نفوذی قطعه لوت است که در آن کانی‌سازی و دگرسانی شدید سنگ میزبان دیده می‌شود. از ویژگی‌های بارز قطعه لوت فعالیت‌های ماگمایی آن بوده که از ژوراسیک آغاز شده و در تشریری به اوج خود رسیده است، به طوریکه سنگ‌های آتشفشانی تشریری، به ویژه آئوسن، با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر، بیش از نیمی از قطعه لوت را می‌پوشانند [۳]. عمده این توده‌ها از نوع نیمه عمیق با بافت پورفیری بوده و ترکیب آنها از دیوریت تا گرانیت متغیر است و اغلب ترکیب مونزونیتی دارند. این توده‌ها (به جز هیرد) از سری مگنتیت بوده و بیشتر متآلومین هستند. اغلب این توده‌ها کم و بیش با کانی‌سازی نیز همراه بوده و از نوع غنی از پتاسیم هستند. رخنمون این سنگ‌ها در سراسر قطعه لوت وجود دارد و در منطقه مورد بررسی نیز بسیار یافت می‌شود [۳].

شرق ایران و بویژه قطعه لوت به دلیل داشتن موقعیت‌های زمین ساختی مختلف در زمان‌های گذشته و در پی آن،

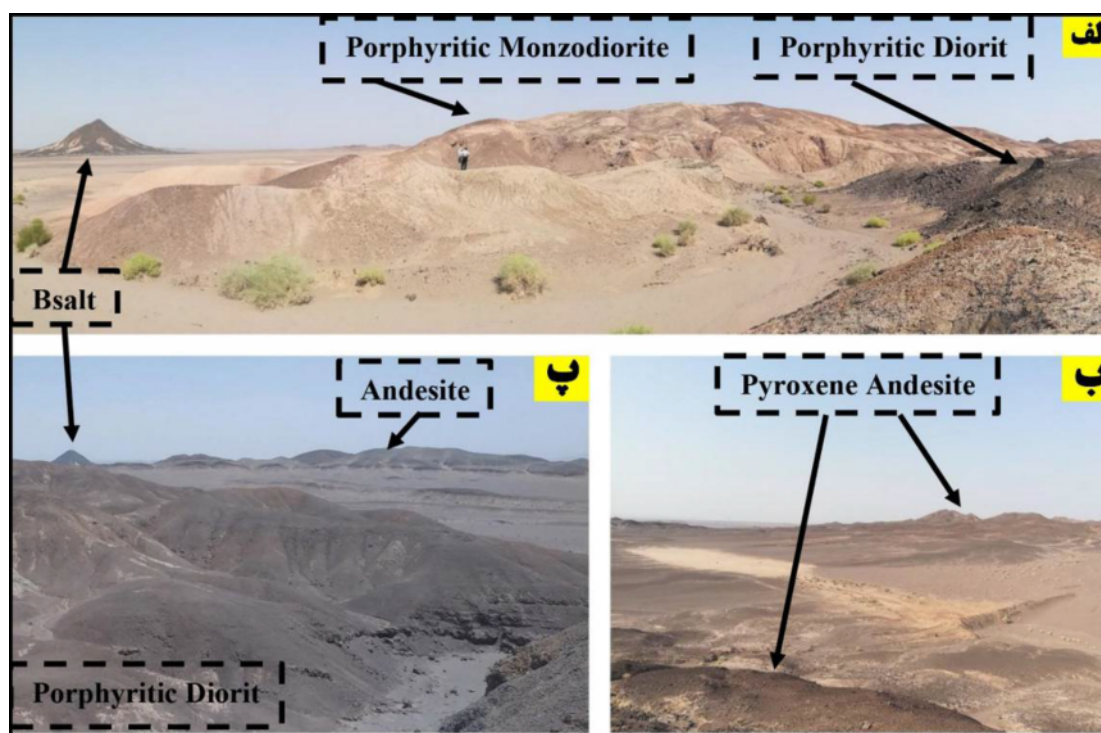
ترکیب دیوریت‌پورفیری و مونزودیوریت‌پورفیری و سنگ‌های آذرین بیرونی با ترکیب بازالت، آندزیت، هورنبلندآندزیت، پیروکسن‌آندزیت و هورنبلندپیروکسن‌آندزیت به سن ترشیری تشکیل شده‌اند (شکل ۲). توده‌های دیوریت و مونزودیوریت-پورفیری بصورت استوک در مرکز و شمال‌غرب منطقه رخمون داشته و اغلب دگرسانی‌شدید سریسیتی و آرژیلیکی دارند. قرارگیری شعاعی رگه‌های سیلیسی-برشی پیرامون این استوک‌ها بیانگر نقش نفوذ این توده‌ها در تشکیل این رگه‌هاست (شکل ۳). با توجه به قطع شدن توده دیوریت-پورفیری توسط رگه‌ها می‌توان گفت عامل اصلی تشکیل رگه‌های سیلیسی-برشی منطقه نفوذ مونزودیوریت‌پورفیری به دورن دیوریت‌پورفیری است. رخمون‌های سنگی در این منطقه محدود هستند و اغلب ریخت‌شناسی پست و تپه ماهوری دارند، بلندترین بخش منطقه مربوط به واحدهای نیمه‌عمیق است. وجود دگرسانی‌شدید سریسیتی، رگه‌های سیلیسی-برشی بصورت شعاعی و بازالت‌های رخمون یافته در راستای گسل از ویژگی‌های بارز زمین‌شناسی این منطقه به شمار می‌روند.

سپس ۱۰۰ مقطع نازک از سنگ‌های منطقه تهیه و ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی آنها با میکروسکوپ قطبشی leitz laborlux 12 pol بررسی شده همچنین ۱۰ مقطع صیقلی از رگه‌های دارای مس و رگه‌های سیلیسی-برشی در شمال و شمال‌غرب منطقه تهیه و با میکروسکوپ شکستی leitz دانشگاه بیرجند بررسی گردید. پس از بررسی دقیق سنگ-نگاری و کانی‌شناسی، تعداد ۱۱ نمونه با کمترین دگرسانی به منظور تجزیه به روش‌های طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) برای عناصر اصلی و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) برای بررسی رفتار عناصر کمیاب و خاکی نادر انتخاب و به شرکت کانساران بینالود تهران ارسال شدند. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها با نرم‌افزارهای سنگ‌شناسی چون GCDKit و Corel رسم و سپس تفسیر شد.

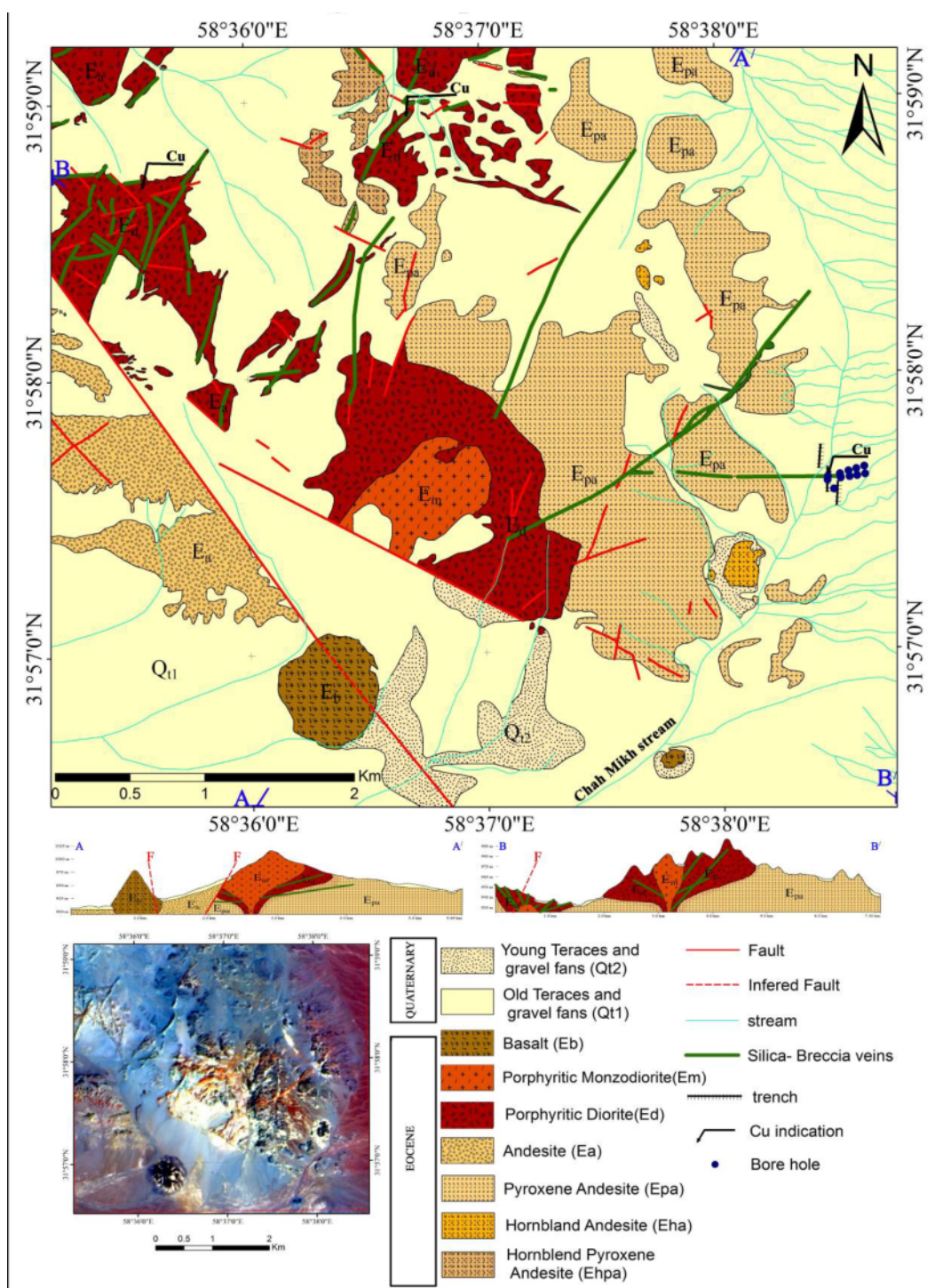
بحث و بررسی

زمین‌شناسی

سنگ‌های منطقه چاه‌میخ از واحدهای آذرین نیمه‌عمیق با



شکل ۲ واحدهای مختلف منطقه چاه‌میخ: الف) واحدهای دیوریت‌پورفیری و مونزودیوریت کنار هم و حضور قله بازالت ناشی از عملکرد گسل شمال غرب-جنوب شرق در آبرفت‌های جنوب غرب و سمت چپ تصویر (دید به سمت شمال غرب)، ب) واحد پیروکسن‌آندزیت در مرکز منطقه (دید به سمت شمال)، پ) واحد آندزیت در غرب و بازالت در جنوب شرق منطقه (دید به سمت غرب).



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه چاه‌میخ به همراه دو نیم‌رخ از منطقه برای بررسی ارتباط رگه‌های سیلیسی-برشی تصویر ماهواره‌ای مربوط به ترکیب نواری ۶۴۲ لندست ۸ است.

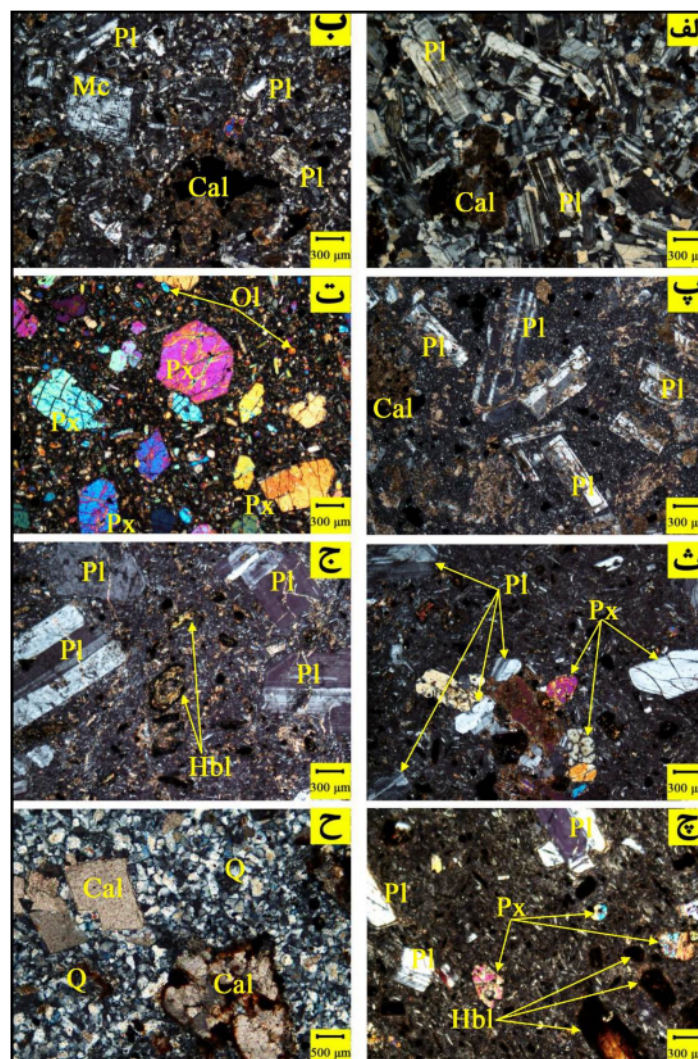
دیده می‌شود. در این بخش، رگه‌های سیلیسی-برشی بصورت حلقوی پیرامون استوک پراکنده هستند. در شمال‌غرب منطقه، سطح فرسایشی بالاتر است و بخش کوچکی از توده دیوریت-پورفیری به همراه رگه‌های متعدد سیلیسی-برشی دیده می-

رخمون توده‌های نیمه‌عمیق در منطقه در دو سطح فرسایش قابل تفسیر است (شکل ۲). در بخش میانی که چند استوک با ساختار حلقوی وجود دارد، قسمت بالایی استوک فرسایش یافته است و توده‌های نیمه‌عمیق با دگرسانی شدید در سطح

سنگ‌شناسی

بازالت: رخنمون این واحد در بخش جنوب غرب منطقه با مساحت تقریبی ۱ کیلومتر مربع و به صورت قله مانند و در جنوب شرق منطقه با وسعت تقریبی ۱۰۰ متر، به رنگ ظاهری سیاه قرار دارد. بزرگترین واحد بازالت منطقه در راستای گسل با روند شمال غرب - جنوب شرق دیده می‌شود. کانی‌های اصلی شامل کلینوپیروکسن (۷۰ تا ۸۰ درصد)، الیوین (۱۰ تا ۱۵ درصد) و پلاژیوکلاز (حدود ۵ درصد) هستند. بافت این سنگ‌ها پورفیری، ریزسنگی پورفیری و خال خال است (شکل ۴ ت).

شود. گسل‌های اصلی منطقه دو گسل با راستای شمال غرب - جنوب شرق هستند که از نتایج عملکرد آنها بالا آمدن بازالت در جنوب غرب است. رگه‌های سیلیسی - برشی دربردارنده کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی درون پیروکسن آندزیت و دیوریت‌های پورفیری دیده می‌شوند که از استوک‌ها و به ویژه مونزودیوریت پورفیری شکل گرفته‌اند. این رگه‌ها در اثر عملکرد گسل سراسری با راستای شمال غرب - جنوب شرق قطع شده - اند و از این رو، در بخش غرب منطقه رخنمون ندارند (شکل ۳).



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی در نور قطبیده متقاطع (XPL): (الف) دیوریت پورفیری (حضور درشت بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه ریزدانه)، (ب) مونزودیوریت پورفیری (دگرسانی پلاژیوکلازها به سریسیت و کربنات)، (پ) آندزیت (بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای)، (ت) بازالت (کانی پیروکسن در زمینه ریزدانه و شیشه‌ای)، (ث) پیروکسن آندزیت (حضور پلاژیوکلاز و پیروکسن در زمینه ریزدانه)، (ج) هورنبلند آندزیت (حضور هورنبلند در زمینه ریزدانه)، (چ) هورنبلند پیروکسن آندزیت (حضور پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند در زمینه دانه ریز) و (ح) رگه سیلیسی - برشی، نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۵] هستند.

مونوزودیوریت پورفیری: این واحد سنگی نیمه عمیق در مرکز منطقه در میان ساختار حلقوی دیوریت پورفیری رخنمون دارد و در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن تا قهوه ای و در صحرا به رنگ خاکستری دیده می شود. درشت بلورها حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند که دربردارنده کانی های اصلی مونوزودیوریت پورفیری شامل پلاژیوکلاز (۷۰ تا ۸۰ درصد)، میکروکلین (۱۰ تا ۱۵ درصد)، بیوتیت و کوارتز (کمتر از ۵ درصد) هستند. کانی های ثانویه کلریت، اپیدوت، سربست، کربنات (بیشتر کلسیت) و کانی های کدر هستند. این واحد نیز دچار دگرسانی بسیار شدید شده است. این دگرسانی بیشتر از نوع سربستی و کربناتی بوده و بر بیشتر کانی های سنگ اثر گذاشته است (شکل ۴ ب).

دیوریت پورفیری: این واحد سنگی در بخش مرکز و شمال غرب منطقه رخنمون داشته و در مرکز منطقه ساختار حلقوی دارد. واحد دیوریت پورفیری در نمونه دستی به رنگ خاکستری تا قهوه ای دیده می شود. درشت بلورها حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند که دربردارنده کانی های اصلی دیوریت پورفیری شامل پلاژیوکلاز (۸۰ تا ۹۰ درصد)، کوارتز (حدود ۵ درصد)، بیوتیت (۵ درصد) و کانی های کدر (کمتر از ۵ درصد) هستند. کانی های ثانویه کلریت، اپیدوت، سربست، کربنات (بیشتر کلسیت) و کانی های کدر هستند. در رخنمون های شمال غرب این واحد، رگه های سیلیسی-برشی کانه دار بسیاری وجود دارند. توده های دیوریت پورفیری در بخش های مرکزی دستخوش دگرسانی شدید شده اند که این دگرسانی بیشتر از نوع سربستی و کربناتی بوده و بر بیشتر کانی های سنگ اثر گذاشته است (شکل ۴ الف).

آندزیت: در نمونه دستی به رنگ خاکستری تا قهوه ای دیده می شود. درشت بلورها حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند که دربردارنده کانی های اصلی آندزیت شامل پلاژیوکلاز (۸۰ تا ۹۰ درصد حجمی) و بیوتیت و کوارتز (کمتر از ۵ درصد) هستند. کانی های ثانویه شامل کلریت، اپیدوت، سربست، کربنات (بیشتر کلسیت) و کانی های کدر هستند که در غربی ترین بخش منطقه یافت می شوند. این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه شیشه ای است (شکل ۴ پ).

پیروکسن آندزیت: این واحد در بخش میانی منطقه با روند شمالی-جنوبی قرار دارد که از شرق با واحدهای کواترنر و در

غرب با واحدهای نیمه عمیق دیده می شود. این واحد نیز در منطقه بصورت تپه هایی با ریختار به نسبت ملایم است. واحد پیروکسن آندزیت در نمونه دستی دارای رنگ خاکستری روشن تا تیره است. درشت بلورها حدود ۵۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند که دربردارنده کانی های اصلی شامل پلاژیوکلاز (۶۰ تا ۷۰ درصد)، پیروکسن (حدود ۲۰ درصد) و بیوتیت (کمتر از ۵ درصد) هستند. کانی های ثانویه سربست و کربنات هستند. رگه های سیلیسی-برشی کانه دار به صورت شعاعی و با مرکزی ساختار حلقوی در این واحد قرار دارند. دگرسانی این واحد در نزدیکی ساختارهای حلقوی و هوازدگی های لبه ای بسیار شدید بوده است و پلاژیوکلازها به سربست و کربنات تبدیل شده اند. این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه-ای از درشت بلورهاست (شکل ۴-ث).

هورنبلند آندزیت: رخنمون هورنبلند پیروکسن آندزیت در میانه شرق نقشه و با گسترش حدود ۲۵۰ متر مربع دارای ریختار ملایم است. سنگ های این واحد در نمونه دستی خاکستری روشن هستند. درشت بلورها حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند که دربردارنده کانی های اصلی شامل پلاژیوکلاز (۶۰ تا ۷۰ درصد)، هورنبلند (حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد)، کوارتز (۵ درصد) و بیوتیت (کمتر از ۵ درصد) هستند. کانی های ثانویه شامل کلریت، اپیدوت، سربست، کربنات و کانی های کدر هستند. این واحد دارای بافت پورفیری بوده و شدت دگرسانی آن کم است (شکل ۴-ج).

هورنبلند پیروکسن آندزیت: رخنمون هورنبلند پیروکسن آندزیت در میانه شمال نقشه و با گسترش حدود ۷۰۰ متر مربع دارای ریختار ملایم است. سنگ های این واحد در نمونه دستی خاکستری روشن هستند. درشت بلورها حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند و دربردارنده کانی های اصلی شامل پلاژیوکلاز (۶۰ تا ۷۰ درصد)، پیروکسن (۷ تا ۱۰ درصد)، هورنبلند (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) و بیوتیت و کوارتز (حدود ۵ درصد) هستند. کانی های ثانویه شامل سربست و کربنات هستند. این واحد دارای بافت پورفیری بوده و شدت دگرسانی آن به نسبت کم است (شکل ۴-چ).

رگه های سیلیسی-برشی: رگه های سیلیسی-برشی موجود نتیجه عملکرد واحد های نیمه عمیق هستند و با توجه به قطع شدن واحد دیوریت پورفیری در مرکز منطقه خاستگاه آنها

در شکل ۵- الف، ۳ نمونه در گستره بازالت، ۶ نمونه در گستره آندزیت و ۲ نمونه (با توجه به بررسی های سنگ نگاری، یک نمونه پیروکسن آندزیت و یک نمونه مونزدیوریت پورفیری) در گستره داسیت قرار دارند. این امر می‌تواند شاهد حضور سیلیس برآمده از رگه و رگچه‌های سیلیسی- برشی در این نمونه‌ها باشد.

نامگذاری سنگ‌ها بر اساس مقدار Nb/Y نسبت به (Zr/TiO_2) [۱۷]: در این رده بندی، جایگاه سنگ‌ها برپایه نسبت مقدار دو عنصر فرعی نسبت به یک عنصر فرعی و یک عنصر اصلی تعیین می‌شود که بر این اساس، چهار نمونه در گستره بازالت نیمه قلیایی و بقیه نمونه‌ها در گستره آندزیت قرار دارند (شکل ۵- ب) با توجه به این نمودار، ۴ نمونه در گستره سنگ‌های بازالت نیمه قلیایی/تولیتی و هفت نمونه در گستره آندزیت و آندزیت بازالت قرار می‌گیرند.

تعیین سری ماگمایی: از اهداف بررسی های زمین شیمی سنگ‌ها، تعیین سری ماگمایی آن‌هاست. به باور برخی پژوهشگران، هر سری ماگمایی یک مجموعه از سنگ‌های آذرین با ترکیب شیمیایی مختلف را در برمی‌گیرد که از جدایش یک ماگمای بازیک مادر و یا از ذوب یک سنگ خاستگاه واحد ناشی شده‌اند. عواملی چون آمیختگی ماگمایی، آلودگی پوسته‌ای، ناهمگن بودن خاستگاه، درجه‌های مختلف ذوب بخشی و دگرسانی باعث می‌شوند که سنگ‌های مختلف در یک سری وابستگی کاذب نشان دهند [۱۸].

تعیین سری ماگمایی براساس نمودار بازالت پشته‌های میان اقیانوسی عادی (AFM): در نمودار مثلثی تعیین سری ماگمایی، غالب نمونه‌ها در گستره سری ماگمایی آهکی-قلیایی قرار دارند [۱۹] (شکل ۵- پ).

تعیین سری ماگمایی بر اساس مقدار SiO_2 نسبت به (FeO/MgO) [۲۰]: در این رده‌بندی، سری ماگمایی برپایه نسبت مقدار یک عنصر اصلی نسبت به دو عنصر اصلی دیگر تعیین می‌شود که بر این اساس، یک نمونه آندزیت در گستره تولیتی و بقیه نمونه‌ها در گستره آهکی قلیایی قرار دارند (شکل ۵- ت).

مونزدیوریت پورفیری است. این رگه‌ها به جز در بخش غربی منطقه در بقیه نقاط، به صورت پراکنده و در شمال غرب به صورت متقاطع یافت می‌شوند. بخش سیلیسی این رگه‌ها شامل کوارتز (حدود ۸۰ درصد)، کلسیت (۱۰ درصد) و کانی‌های کدر (۷ تا ۱۰ درصد) است. بخش برشی این واحد ترکیبی از سیلیس ناشی از محلول گرمایی و همچنین قطعه‌هایی از سنگ‌های میزبان به شدت دگرسان شده بوده به طوری که بخش برشی از کوارتز (۴۰ تا ۵۰ درصد)، کلسیت ناشی از دگرسانی پلاژیوکلاز (۲۰ تا ۳۰ درصد)، سریسیت برآمده از دگرسانی پلاژیوکلاز (حدود ۵ تا ۱۰ درصد) و کانی‌های کدر (حدود ۷ تا ۱۰ درصد) تشکیل شده است (شکل ۴ ح).

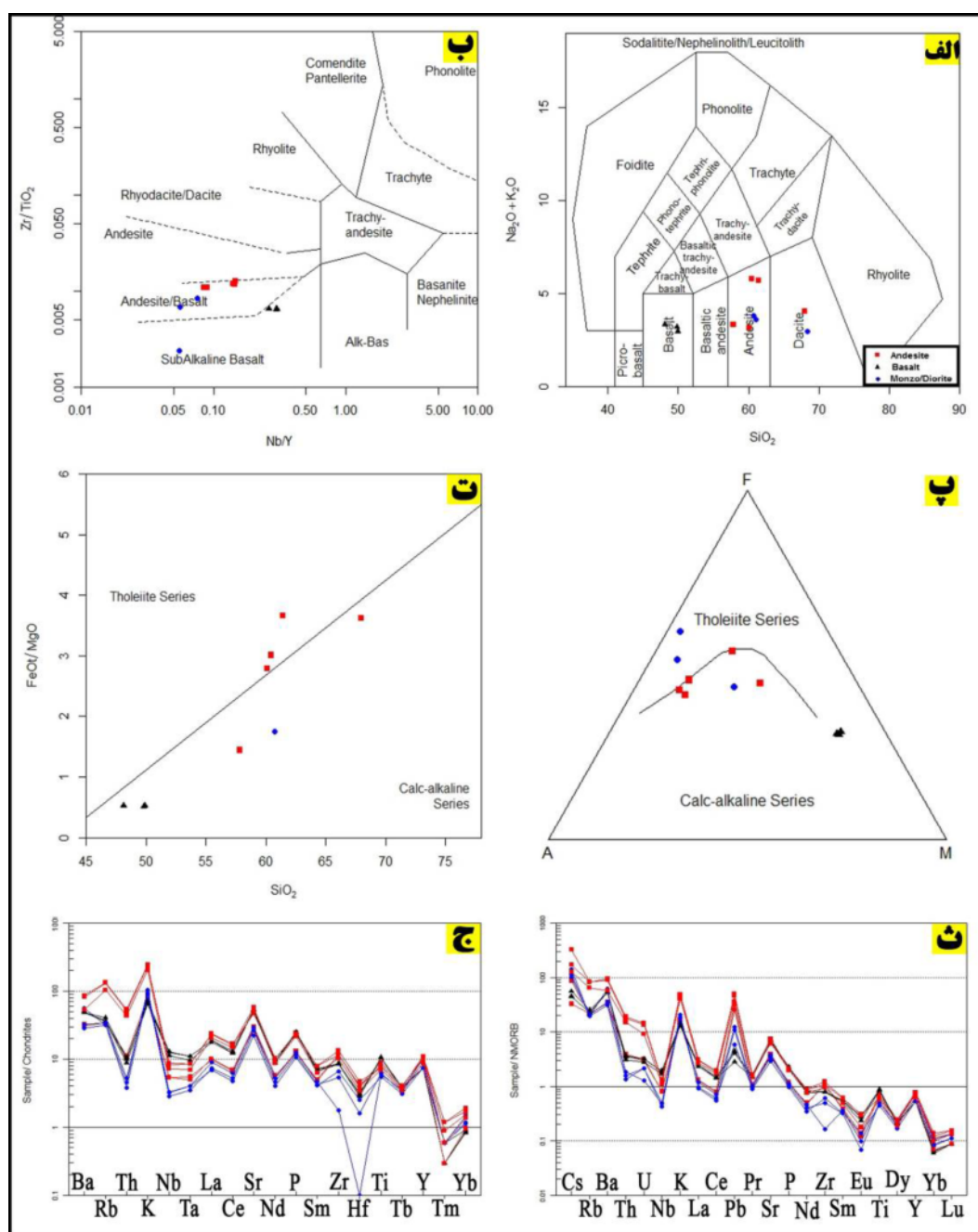
زمین شیمی

امروزه از شیمی عناصر برای رده‌بندی سنگ‌ها، رسم نمودارهای تغییرات زمین شیمیایی و به عنوان وسیله‌ای برای مقایسه ترکیب‌های سنگی که به طور تجربی تعیین شده‌اند و در نتیجه تعیین شرایط تشکیل استفاده می‌شود. به طور کلی، روش‌های مختلفی برای رده‌بندی سنگ‌ها در مدل‌های متعددی ارائه گردیده است. رده بندی شیمیایی و نامگذاری سنگ‌های آذرین، می‌تواند بر اساس عناصر اصلی، کمیاب و نیز کاتیون‌ها انجام شود. برای بررسی زمین‌شیمی سنگ‌های نیمه عمیق و آتشفشانی منطقه مورد بررسی، تعداد ۱۰۰ نمونه از بخش‌های مختلف برداشت گردید و پس از بررسی‌های دقیق میکروسکوپی، ۱۱ نمونه با کمترین مقدار دگرسانی انتخاب و به منظور تعیین میزان عناصر اصلی، فرعی و نادرخاکی به روش‌های XRF و ICP تجزیه شدند (جدول ۱).

نام گذاری سنگ‌ها بر اساس مجموع قلیایی‌ها (Na_2O+K_2O) نسبت به SiO_2 (TAS): به طور معمول رده‌بندی سنگ‌ها، بر اساس نمودارهای دو یا چند اکسید اصلی نسبت به هم انجام می‌شود. نمودار TAS از مفیدترین روش‌ها برای رده‌بندی سنگ‌های آذرین است. در این روش که توسط افراد مختلفی ارائه شده، سنگ‌ها بر اساس مقدار سیلیس، به فرابازیک، بازیک، حد واسط و اسیدی تقسیم می‌شوند. در اینجا از یک نمودار TAS [۱۶] برای نامگذاری سنگ‌ها استفاده شد.

جدول ۱ نتایج تجزیه اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و خاکی نادر.

کد نمونه	S-47	S-28	S-18	S-92	S-16	S-17	S-41	S-66	S-64	S-7	S-6
طول عرضی	۵۸۶۱۱	۵۸۶۰۸	۵۸۶۰۷	۵۸۶۳۴	۵۸۶۰۸	۵۸۶۰۷	۵۸۵۹۴	۵۸۶۱۲	۵۸۶۱۶	۵۸۶۳۶	۵۸۶۳۷
عرضی	۳۱,۹۷۶	۳۱,۹۸۵	۳۱,۹۴۸	۳۱,۹۶۴	۳۱,۹۴۸	۳۱,۹۴۸	۳۱,۹۷۵	۳۱,۹۶۲	۳۱,۹۶۱	۳۱,۹۵۵	۳۱,۹۵۶
SiO ₂	۶۰,۱۳	۵۷,۸۲	۴۹,۷۹	۶۴,۴۱	۴۸,۱۱	۴۹,۹	۶۸,۳۱	۶۱,۰۶	۶۰,۷۱	۶۷,۹۸	۶۰,۴۳
TiO ₂	۰,۷۴۵	۰,۷۳۵	۰,۹۰۵	۰,۷۱۹	۰,۸۹۷	۰,۹۱۱	۰,۵۳۷	۰,۵	۰,۵۴۴	۰,۶۰۳	۰,۶۶۸
Al ₂ O ₃	۱۶,۶۲	۱۶,۶۷	۱۰,۵۱	۱۴,۷۳	۱۰,۸۵	۱۰,۷	۱۴,۲۶	۱۵,۴۲	۱۶,۴۳	۱۳,۰۴	۱۵,۳۶
Fe ₂ O ₃	۷,۰۶	۶,۷۵	۸,۷۸	۵,۹۵	۹	۹,۰۸	۵,۲۷	۴,۹	۵,۸۷	۴,۹۱	۵,۹۶
MnO	۰,۱۶۹	۰,۱۶۵	۰,۱۷۴	۰,۰۸۲	۰,۱۷۶	۰,۱۶۳	۰,۱۷۶	۰,۰۸۶	۰,۰۹۱	۰,۰۵۹	۰,۱۳۲
MgO	۲,۲۸	۴,۲۱	۱۵,۳۵	۱,۴۶	۱۵,۳۷	۱۵,۴۳	۰,۲۷	۰,۵۷	۲,۰۱	۱,۲۲	۱,۷۸
CaO	۷,۹	۷,۹۵	۸,۷۵	۵,۸۵	۹,۸۹	۹,۲۸	۴,۹۹	۹,۳۳	۴,۰۸	۳,۶	۵,۸۷
Na ₂ O	۲,۰۵	۲,۲۶	۲,۲۲	۲,۰۵	۲,۳۵	۱,۹	۱,۵۷	۲,۲۵	۲,۵۱	۱,۰۳	۲,۲
K ₂ O	۱,۰۸	۱,۰۴	۰,۹۷	۳,۶۴	۰,۹۸	۱,۰۶	۱,۳۷	۱,۳۴	۱,۳۸	۳	۳,۵۹
P ₂ O ₅	۰,۱۳۵	۰,۱۲	۰,۲۳۶	۰,۲۱۷	۰,۲۳۳	۰,۲۴۶	۰,۱۳۲	۰,۱۳۸	۰,۱۰۷	۰,۲۱۶	۰,۲۳۳
Li ₂ O	۱,۶۵	۲,۰۶	۲,۰۶	۳,۵۲	۲	۱,۲۱	۲,۹	۴,۲۳	۵,۲۶	۴,۱۴	۳,۶۱
Total	۹۹,۸۱۹	۹۹,۷۸	۹۹,۷۴۵	۹۹,۶۲۸	۹۹,۸۵۶	۹۹,۸۸	۹۹,۹۸۵	۹۹,۹۲۴	۹۹,۹۱۲	۹۹,۷۹۸	۹۹,۸۳۳
Ag	۰,۳۳	۰,۵۵	۱,۷۵	۰,۸	۱,۴	۱,۵۷	۰,۱۸	۰,۰۸	۲۱,۰	۰,۲۵	۰,۳۵
Al	۹۷۱,۹	۸۷۴,۸۶	۵۶۸,۶۷	۷۹۲,۰۵	۵۸۲,۰۳	۵۷۶,۶۶	۷۱۷,۰۷	۹۰,۶۹۶	۸۷۰,۲	۷۲,۰۸۲	۷۸۴,۴۳
As	۳	۷	۴	۲	۳	۸	۹	۹	۱۱	۲۱	۱۱
Ba	۲۳,۵	۲۱۳,۵	۳۳۵,۱	۵۹۲,۳	۳۳۶,۸	۳۴۵,۸	۳۸۸,۸	۲۲۱,۱	۱۹۸,۷	۳۶۸,۵	۵۶۵,۸
Be	۰,۶۲	۰,۶۱	۰,۸۱	۱,۵۷	۰,۸۳	۰,۸۹	۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۵۲	۱,۳۳	۱,۵۵
Bi	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲
Ca	۵۴۹,۴۸	۵۷۹,۰۷	۶۰۹,۰۸	۴۴۱,۴۳	۶۳۱,۴۷	۶۳۱,۴۷	۳۹۸,۱۸	۶۲۷,۴۴	۳۰۸,۷۴	۲۷۵,۳۷	۴۲۹,۹۸
Cd	۰,۴۲	۱,۰۹	۰,۸۸	۰,۵۷	۱,۰۸	۱,۴۶	۱	۰,۵۴	۰,۴۴	۰,۳۴	۰,۶۸
Ce	۵,۸	۵,۹۸	۱۰,۷	۱,۴۵	۱,۰۶	۱۱,۳	۴,۱۴	۵,۳۸	۴,۵۴	۱۳,۸	۱۳,۸
Co	۱۵,۳۳	۱۶,۶۴	۴۰,۴۲	۱۶,۷۷	۳۸,۵۲	۴۰,۱۳	۱۳,۹۵	۱۳,۸۸	۱۴,۳۵	۱۴,۵۱	۱۷,۰۸
Cr	۲۱	۴۳	۹۱۳	۳۷	۸۷۹	۱۲	۱۳	۱۳	۴۴	۱۲	۱۹
Cs	۰,۶۱	۰,۲۳	۰,۳۹	۲,۲۸	۰,۲۳	۰,۲۱	۰,۷۲	۰,۷۹	۰,۹۹	۰,۸۹	۱,۲
Cu	۱۰,۳۵	۱۰,۲۸	۱۴۳,۴	۹۷,۹	۱۳۰,۸	۱۳۵,۹	۷۹,۶	۶۴,۷	۶۲,۸	۹۱,۷	۱۲,۰۱
Dy	۱,۰۳	۱,۱۲	۰,۹۸	۱,۰۷	۰,۹۱	۰,۹۶	۰,۷۶	۰,۹۶	۰,۸۵	۰,۸۷	۱,۰۳
Er	۰,۶	۰,۶۷	۰,۴۷	۰,۶	۰,۷۷	۰,۷۹	۰,۴۶	۰,۵۶	۰,۴۹	۰,۴۶	۰,۵۶
Eu	۰,۱۲	۰,۱۴	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۲۴	۰,۲۹	۰,۱۴	۰,۱	۰,۰۷	۰,۱۸	۰,۳
Fe	۵۵۰,۸	۵۷۱,۷۱	۷۰۵,۲۲	۴۵۳,۳۵	۷۲۲,۶۶	۷۴۶,۸	۴۲۱,۹۴	۴۱۱,۴۳	۴۵۹,۶۷	۴۱۴,۲۷	۴۷۰,۲۷
Gd	۱,۱	۱,۲۵	۱,۵	۱,۵۷	۱,۴۶	۱,۴۶	۰,۸۲	۱,۰۳	۰,۹۱	۱,۳۲	۱,۵۶
Hf	۰,۷۷	۰,۸	۰,۶۳	۰,۹۴	۰,۵۷	۰,۶	۰,۵	۰,۲	۰,۳۲	۰,۶۸	۰,۸۳
Ho	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۸
In	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
K	۹۸۱,۷	۸۷۰,۸	۸۰۱,۷	۲۹۳,۴۸	۷۸۴,۴	۸۶۹,۹	۱۲۴,۶۴	۱۱۲,۸۰	۱۰۷,۵۸	۲۴۷,۴۳	۲۸۴,۳۵
La	۳,۲۳	۳,۳۲	۶,۲۲	۷,۷۸	۵,۸۲	۶,۲۲	۲,۲۷	۲,۹۸	۲,۴۱	۶,۷۵	۷,۵۷
Li	۵	۲	۴	۸	۲	۴	۱۱	۲	۲۴	۲۴	۱۷
Lu	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۶
Mg	۲۳۰,۳۸	۲۷۱,۶۷	۸۴۳,۸۲	۱۲۶,۳۳	۸۵۵,۰۴	۸۵۵,۶۶	۳۳۹,۱	۳۵۹,۹	۲۱۲,۰	۹۲۸,۷	۱۳۶,۱
Mn	۱,۴۶۱	۱۵۱,۹	۱۵۱,۳	۷۸۵	۱۴۰	۱۴۹,۸	۱۴۵,۸	۸۴,۹	۸۵,۴	۵۷۲	۱۱۱۵
Mo	۱,۱۳	۲,۹۲	۰,۸۳	۲,۱۷	۰,۷۴	۰,۶۴	۰,۸۳	۲,۱۴	۲,۱۴	۱,۲۳	۲,۴۹
Na	۲۰,۹۲۲	۱۹۰,۸۴	۱۹۸,۷۵	۱۹۹,۸۲	۱۹۷,۰۳	۱۸۱,۶۷	۳۷۵,۴۸	۲۳۲,۴۳	۲۳۱,۵	۱۱۸,۴۲	۲۰۰,۸۸
Nb	۱,۸۸	۱,۸۷	۴,۴۱	۳,۰۸	۳,۹۵	۴,۵	۱,۱۴	۱,۱۳	۱	۲,۵۳	۲,۸۹
Nd	۳,۴	۳,۴	۶,۴۵	۶,۰۸	۵,۵۹	۵,۵۵	۲,۵۴	۳,۲۲	۲,۴۴	۵,۵۵	۶,۴۴
Ni	۱۰	۲۲	۳۷۰	۲۵	۳۶۲	۳۵۶	۵	۷	۶	۳۵	۱۰
P	۶۰,۶	۵۶۲	۱۰,۶۶	۱۱,۲۳	۱۱,۰۸	۱۱,۵۲	۴۹۲	۵۷۵	۵۲۳	۱۰,۰۴	۱۰,۶۸
Pb	۷,۶۵	۹,۴۳	۰,۸۴	۱۴,۹۵	۱,۲۱	۱,۲۳	۳,۲۹	۳,۷۴	۱,۷۴	۸۴۱,۰	۱۳,۹۶
Pr	۱,۳۸	۱,۴۱	۱,۹۸	۲,۱۸	۱,۹۳	۲,۰۳	۱,۱۸	۱,۳۴	۱,۲۴	۱,۹۵	۲,۱۳
Rb	۱۱,۷	۱۲,۱	۱۴,۲	۴۶,۷	۱۲,۴	۱۲,۷	۱۱	۱۲	۱۱,۱	۳۶,۲	۴۶,۱
S	۳۶,۷	۳۵,۵	۷۰,۱	۳۰,۸	۶۲,۲	۵۱,۳	۱۱۶,۹	۴۲۰	۴۵۱	۱۱۴۰	۵۵,۹
Sb	۰,۱۹	۰,۲۵	۰,۲۲	۰,۲۲	۰,۱۶	۰,۱۲	۰,۲۳	۰,۳۵	۰,۱۳	۳,۳۵	۰,۲۲
Sc	۲۴,۸	۲۵,۴	۲۹,۴	۱۴,۸	۲۹,۸	۲۹,۲	۱۳,۸	۱۵,۷	۱۷	۱۲,۸	۱۶,۵
Sm	۰,۹۷	۱,۰۲	۱,۴۲	۱,۶۱	۱,۳۴	۱,۴۶	۰,۸۳	۰,۹۵	۰,۸۵	۱,۲۸	۱,۶
Sn	۵,۹۶	۵,۸۹	۵,۸۳	۵,۹۳	۵,۷۸	۵,۷	۵,۷۳	۵,۷۱	۵,۷۱	۵,۸۵	۵,۶۸
Sr	۲۲۳	۳۵۴,۶	۶۲۰,۳	۵۵۲,۷	۶۳۰,۱	۶۳۶,۱	۲۶۵,۱	۳۴۳,۳	۳۱۱,۱	۵۸۸,۱	۶۷۶,۶
Ta	۰,۱۱	۰,۱	۰,۲۲	۰,۱۷	۰,۱۶	۰,۲۲	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۱۴	۰,۱۷
Tb	۰,۱۸	۰,۲	۰,۲	۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۱۹	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۱۷	۰,۱۸	۰,۲۱
Te	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۱
Th	۰,۴۷	۰,۴۳	۰,۴۴	۲,۲۹	۰,۲۷	۰,۴۲	۰,۱۹	۰,۲۲	۰,۱۶	۱,۸۲	۲,۱۱
Ti	۵۰,۹۶	۵۵,۳۵	۶۴,۸۶	۴۷۰,۵	۶۵۰,۱	۶۶۲,۸	۳۴۰,۰	۳۷۳,۱	۳۸۶,۲	۴۳۲,۲	۴۷۶,۴
Tl	۰,۱۱	۰,۱	۰,۰۹	۰,۱۸	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱	۰,۱۶	۰,۱۷
Tm	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲
U	۰,۱۵	۰,۱۴	۰,۱۵	۰,۶۸	۰,۱۳	۰,۱۵	۰,۱	۰,۰۶	۰,۱	۰,۴۳	۰,۶۴
V	۲۲,۳	۲۲,۳	۲۵,۴	۱۷,۷	۲۶,۴	۲۶,۴	۹۳	۱۴۴	۱۶۳	۱۲۵	۱۸۰
W	۰,۲۳	۰,۲۴	۰,۲۴	۰,۴۴	۰,۲۱	۰,۴۵	۰,۲۳	۰,۲۲	۰,۱۹	۰,۳۵	۰,۳۳
Y	۲۱,۱	۲۱,۹	۱۴,۸	۲۰,۹	۱۵,۱	۱۵	۱,۱۵	۲,۰۵	۱۷,۹	۱۷,۹	۲۰,۴
Yb	۰,۳۷	۰,۴۲	۰,۲	۰,۳۴	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۲۵	۰,۲۲	۰,۲۶	۰,۲۱	۰,۳
Zb	۱۰۹,۲	۱۱۷,۹	۹۹,۳	۸۹,۳	۹۴,۵	۹۴,۳	۴۴,۳	۹۷,۲	۹۵,۷	۶۶	۸۷,۲
Zr	۸۱	۷۹	۵۸	۹۱	۵۸	۵۹	۴۵	۱۲	۳۷	۷۰	۷۹



شکل ۵ الف) نمودار مجموع قلیایی‌ها ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) نسبت به SiO_2 [۱۷] برای نام‌گذاری سنگ‌ها بر این اساس، بیشتر نمونه‌ها در گستره آندزیت و سه نمونه در گستره بازالت قرار دارند. حضور دو نمونه در گستره سنگ‌های اسیدی بیانگر حضور سیلیس ثانویه در سنگ‌های آندزیتی است. ب) نمودار Nb/Y نسبت به Zr/TiO_2 [۱۹] برای نام‌گذاری سنگ‌ها که بر این اساس، بیشتر نمونه‌ها در گستره آندزیت و سه نمونه در گستره بازالت قرار دارند پ) نمودار AFM [۲۱] برای تعیین سری ماگمایی که با توجه به آن بیشتر نمونه‌ها در گستره آهکی قلیایی و دو نمونه نیمه عمیق در گستره تولئیتی قرار دارند ت) نمودار SiO_2 نسبت به FeO/MgO [۲۲]، برای تعیین سری ماگمایی ث) نمودار عنکبوتی REEها نسبت به MORB [۲۳]، ج) نمودار عنکبوتی REEها نسبت به کندریت [۲۲]. در نمودارهای عنکبوتی تهی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک نسبت به غنی‌شدگی نسبی عناصر خاکی نادر سنگین نمایان است.

اکسیدهای قلیایی - آهن-منیزیم (NMORB) (شکل ۵-ث)
[۲۱] و الگوی تغییرات عناصر بهنجار شده نسبت به کندریت‌ها

تحلیل داده‌ها مربوط به عناصر کمیاب: برای بررسی الگوی
تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به سه تایی

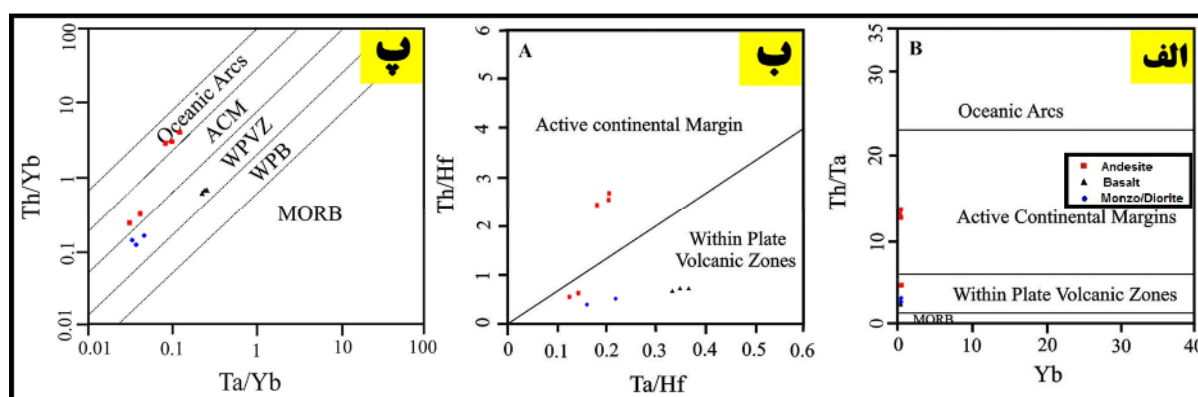
برای نمونه‌های این پژوهش (شکل ۵ ج) [۲۴] از نمودارهای عنکبوتی استفاده شد. این نمودارها تمرکز به نسبت بالایی از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) و تمرکز پایین از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) به ویژه Nb و Ti را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای وابسته به فرورانش هستند [۲۵، ۲۳]. گدازه‌های قوس آتشفشانی، با نسبت‌های LILE/HFSE و LREE/HREE بالا شناخته می‌شوند و دارای تهی‌شدگی از عناصر Ti, Nb, Ta هستند. HFSEها در مایعات آزاد شده از ورقه اقیانوسی نامحلولند و در فازهای موجود در تفاله دیرگداز چون آمفیبول پاراگزیتی تیتان دار، تیتانیت، ایلمنیت، روتیل، آپاتیت و زیرکن باقی می‌مانند [۲۲، ۲۶-۲۸]. غنی‌شدگی گدازه‌های قوس از LILEها و LREEها ناشی از دگرنهادی گوه گوشته‌ای توسط سیال‌های غنی شده از این عناصر در اثر آب‌زدایی ورقه اقیانوسی است [۲۹]. تهی‌شدگی عناصر HFSEها در نمونه‌های مورد بررسی، را می‌توان نشانگر حضور فازهای تیتان دار پسماندی چون روتیل، ایلمنیت، آپاتیت، زیرکن و مونازیت در سنگ‌های اکلوزیتی پوسته اقیانوسی فرورونده و یا گوه گوشته‌ای ذوب نشده محل منبع دانست [۳۰]. همچنین ناهنجاری منفی Ti و Nb و Ta ممکن است مربوط با فرآیندهای سنگ‌زایی از جمله مشارکت پوسته قاره‌ای در فرآیندهای ماگمایی باشد [۳۱].

تعیین محیط زمین‌ساختی: براساس نتایج بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و تجزیه‌های شیمیایی می‌توان در مورد فعالیت

ماگمایی منطقه، دگرگونی‌های ماگمایی و ارتباط آن با ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه نظر داد. به باور برخی پژوهشگران، امروزه هر سنگ آذرین را می‌توان به یک محیط زمین‌شناسی با شرایط ویژه گرمایی و الگوی زمین‌ساختی ماگمایی نسبت داد. هر محیط زمین‌شناسی، مجموعه سنگ‌های ویژه خود را دارد و توزیع سنگ‌ها با جایگاه زمین‌شناسی تغییر می‌کند. این توزیع نشان‌دهنده رابطه علت و معلول بین زمین ساخت ورقه‌ای و تشکیل ماگماست. بنابراین یکی از اهداف اصلی سنگ‌زایی را می‌توان تعیین محیط زمین‌ساختی ماگمایی سنگ‌ها دانست [۳۲].

نمودار عناصر غیر متحرک (Hf, Th, Yb, Ta): این عناصر شاخص‌های مناسبی برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی هستند. بر این اساس، از نمونه‌های منطقه مورد بررسی، سه نمونه آندزیت در گستره کرانه فعال قاره و بقیه نمونه‌ها در گستره مناطق آتشفشانی قرار دارند (شکل ۶ الف، ب) [۳۳].

نمودار Ta/Yb نسبت به Th/Yb: در این نمودار برای تفکیک انواع محیط‌های مختلف از هم از عناصر ناسازگار Yb، Th و Ta استفاده شده است. بنابراین شاخص مناسبی برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی است. بر این اساس، سه نمونه آندزیت در کمان اقیانوسی، دو نمونه آندزیت در کرانه فعال قاره و نمونه‌های بازالت و سنگ‌های نیمه‌عمیق در گستره مناطق آتشفشانی قرار دارند (شکل ۶ پ) [۳۳].

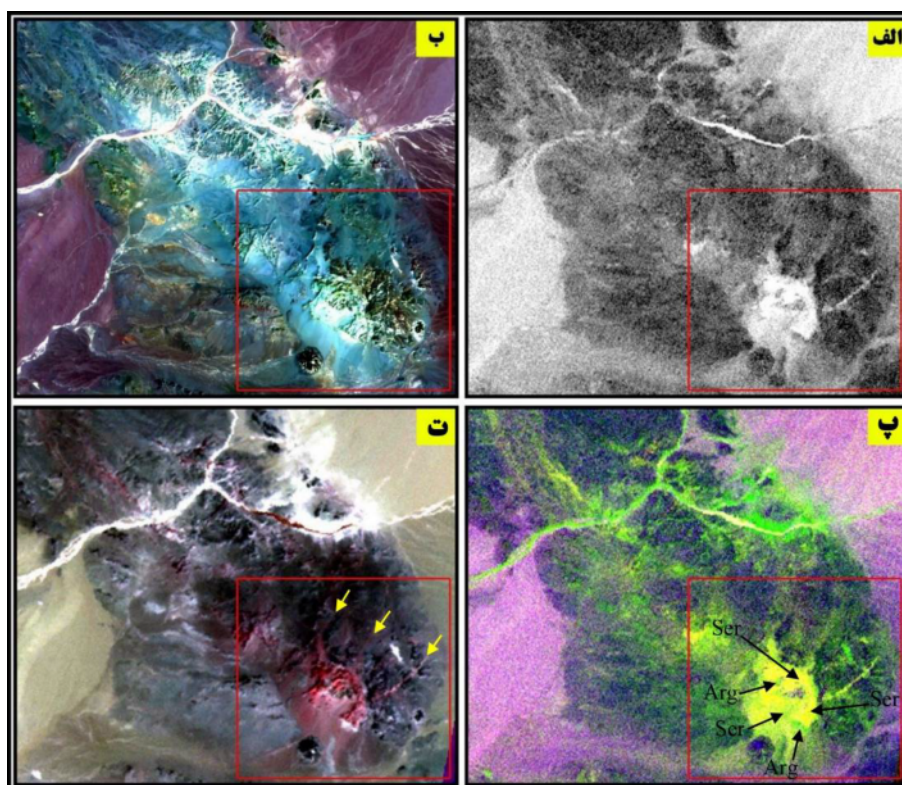


شکل ۶ نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی، الف) نمودار Yb نسبت به Th/Ta [۲۵] که بر این اساس، سه نمونه آندزیت در گستره کرانه فعال قاره و بقیه نمونه‌ها در گستره بین صفحه‌های آتشفشانی قرار دارند، ب) نمودار Ta/Hf نسبت به Th/Hf که بر این اساس، سه نمونه در کرانه فعال قاره و بقیه نمونه‌ها در منطقه بین صفحه‌های آتشفشانی قرار دارند، پ) نمودار Ta/Yb نسبت به Th/Yb که بر این اساس، سه نمونه آندزیت در گستره کمان اقیانوسی، دو نمونه آندزیت در گستره کرانه فعال قاره و سنگ‌های نیمه عمیق و بازالت در گستره بن صفحه‌های آتشفشانی قرار دارند [۲۲].

دگرسانی و کانی‌سازی در نهشته معدنی چاه‌میخ

گسترش دگرسانی به عوامل مختلفی از جمله حجم محلول‌های گرمایی یا ماگمایی، مقدار ساختارهای اولیه و ثانویه مفید، واکنش‌پذیری سنگ‌ها، دما و فشار محلول بستگی دارد [۳۴]. از این رو، رابطه مستقیمی بین گسترش دگرسانی‌ها و وسعت کانی‌سازی برقرار است. نتیجه فرایندهای دگرسانی پیدایش سنگ‌ها و کانی‌هایی است که در پی‌جویی مواد معدنی و شناسایی نوع کانی‌سازی و سطح فرسایش، تعیین شرایط فیزیکی و شیمیایی محلول و گاهی از نظر اقتصادی با ارزش هستند. در بخش مرکزی منطقه مورد بررسی، پهنه‌های دگرسانی بسیار گسترده و در ارتباط مستقیم با توده‌های نیمه‌عمیق هستند. با پردازش داده‌های ماهواره‌ای به روش‌های مختلف، دگرسانی گسترده منطقه به خوبی بارزسازی می‌شود (شکل ۷). رابطه نزدیکی بین رگه‌های برشی-سیلیسی کانه‌دار و توده‌های نیمه‌عمیق به شدت دگرسان شده وجود دارد.

از روش‌های رایج برای پی‌جویی معدنی استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است [۳۵]. برای اجرای عملیات دورسنجی از تصاویر ماهواره‌ای لندست (Landsat7) سنجنده ETM+ و تصاویر ماهواره‌ای TERRA (سنجنده ASTER) استفاده شد. برای تفکیک هر چه بهتر واحدهای سنگی از ترکیب نواری ۷۴۲ پن شده با نوار ۸ لندست [۳۶] (شکل ۷ ب) و به منظور بارزسازی مناطق دگرسانی از نسبت نواری ۴ به ۸ استر استفاده شد، که در این حالت مناطق با بیشترین میزان دگرسانی با رنگ سفید نشان داده شده‌اند (شکل ۷ الف). با استفاده از ترکیب نواری ۴/۸، ۴/۵، ۴/۸، استر، دگرسانی‌های سریسیتی (زرد) و آرژلیک (سبز) آشکارا در مناطق دارای سنگ‌های نیمه‌عمیق دیده می‌شود. از ترکیب نواری ۴۶۸ استر برای تفکیک بهتر رگه‌های سیلیسی-برشی استفاده شد (شکل ۷ ت). با بهره‌گیری از این ترکیب، حضور رگه‌ها پیرامون توده دیوریت و مونزودیوریت پورفیری به صورت شعاعی قابل مشاهده است.

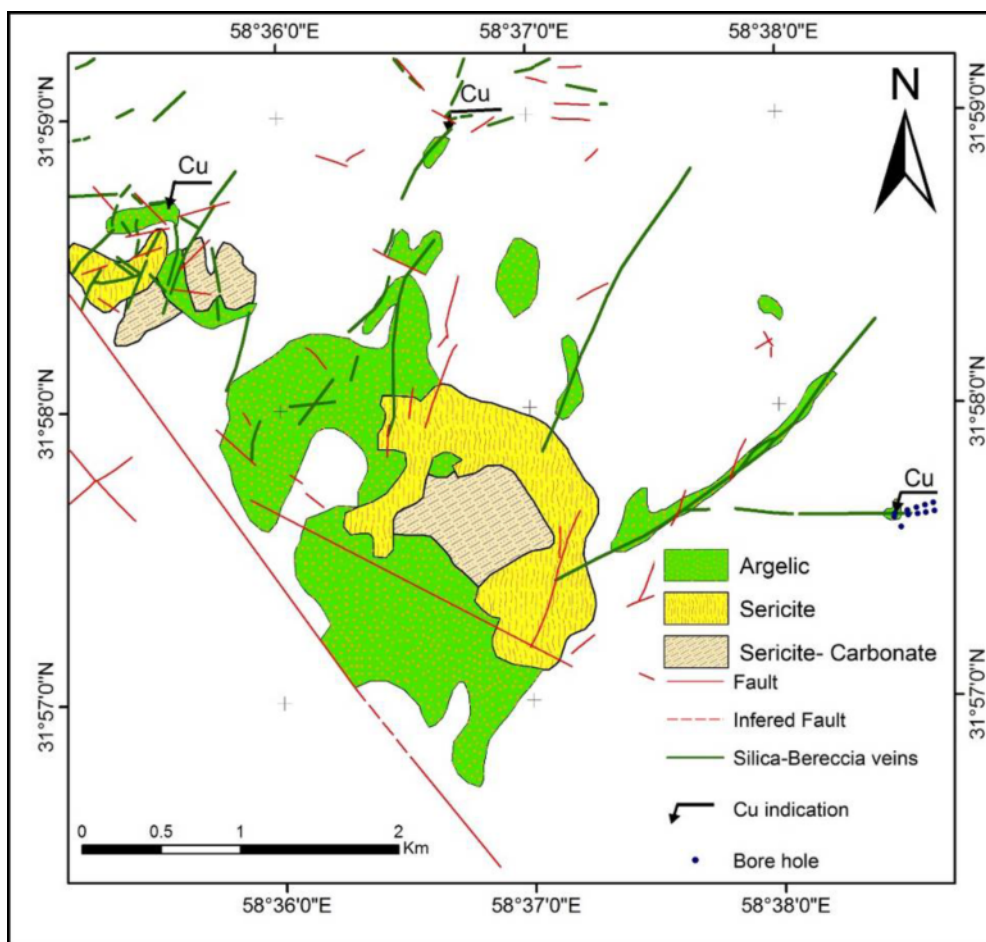


شکل ۷ الف) نسبت نواری ۴ به ۸ استر که مناطق دگرسانی با رنگ سفید نشان داده شده است، ب) نسبت نواری ۷۴۲ لندست ۷ پن شده با نوار ۸ برای بارزسازی عوارض زمین‌شناسی و تفکیکی لایه‌ها، پ) ترکیب نواری ۴/۸، ۴/۵، ۴/۸ استر برای بارزسازی دگرسانی سریسیتی (Ser، زرد) و آرژلیک (سبز) (Arg)، ت) ترکیب نواری ۴۶۸ استر برای تفکیک رگه‌های سیلیسی-برشی (پیکان‌ها رگه‌های سیلیسی ناشی از واحدهای نیمه‌عمیق مونزودیوریت پورفیری را نشان می‌دهند).

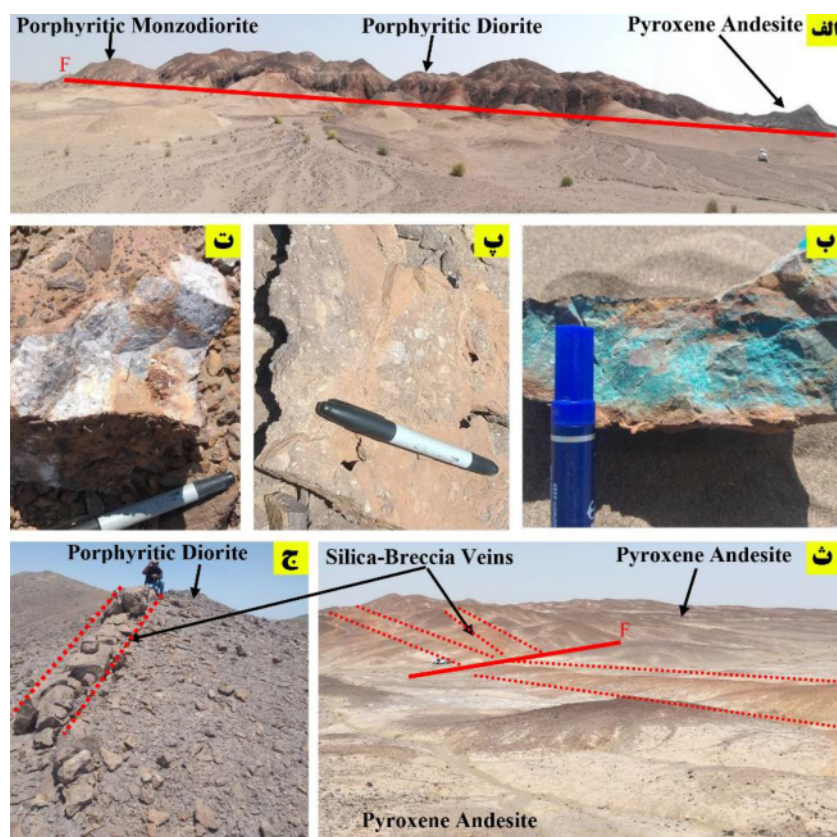
بازدیدهای صحرایی، نقشه دگرسانی منطقه چاهمیخ نیز رسم گردید (شکل ۸).

نهشته معدنی چاهمیخ از مناطق دارای کانی سازی مربوط با توده های نفوذی قطعه لوت است که در آن کانی سازی و دگرسانی شدید در سنگ های آتشفشانی و نیمه عمیق دیده می شود. در بازدید صحرایی، ارتباط واحدهای نیمه عمیق با پیروکسن آندزیت آشکار است (شکل ۹ الف) همچنین در میان واحد پیروکسن آندزیت، رگه های سیلیسی- برشی دارای کانی سازی مس اکسیدی دیده شد (شکل ۹ ب). رگه های سیلیسی برشی در مرکز منطقه در میان واحدهای پیروکسن آندزیت و دیوریت پورفیری (شکل ۹ ث) و در شمال غرب منطقه در میان واحدهای دیوریت پورفیری (شکل ۹ ج) وجود دارند. در نمونه های دستی این رگه ها، حضور برش هایی با جنس سنگ های پیرامون آن که به شدت دگرسان شده اند نمایان است (شکل های ۹ پ، ت).

با توجه به شکل ۷، دگرسانی در مرکز منطقه حالت حلقوی دارد. دگرسانی بسیار شدیدی در مرکز و شمال غرب نمایان است (شکل ۷ الف)، این دگرسانی ناشی از عملکرد واحدهای نیمه عمیق (دیوریت و پورفیری و مونزودیوریت پورفیری) در این نقاط است. رگه های سیلیسی- برشی موجود نتیجه عملکرد واحدهای نیمه عمیق بوده که با توجه به قطع شدن واحد دیوریت پورفیری در مرکز منطقه، خاستگاه آن ها مونزودیوریت- پورفیری است (شکل ۷ ب). رگه های سیلیسی برشی در مرکز منطقه به صورت شعاعی نسبت به واحدهای نیمه عمیق و واحدهای آتشفشانی پیرامون و در شمال شرق به حالت ضربدری قرار دارند (شکل ۷ ت). براساس شواهد صحرایی و بررسی تصاویر ماهواره ای، شعاعی بودن این رگه ها در مرکز منطقه و محدود شدن آن ها به واحدهای نیمه عمیق که به صورت ساختاری حلقوی شکل گرفته اند، می توان این مجموعه را ناشی از عملکرد استوک دانست. برای درک بهتر تصاویر ماهواره ای و ترکیب آن ها با نتایج بررسی های میکروسکوپی و



شکل ۸ نقشه دگرسانی های نهشته معدنی چاهمیخ.



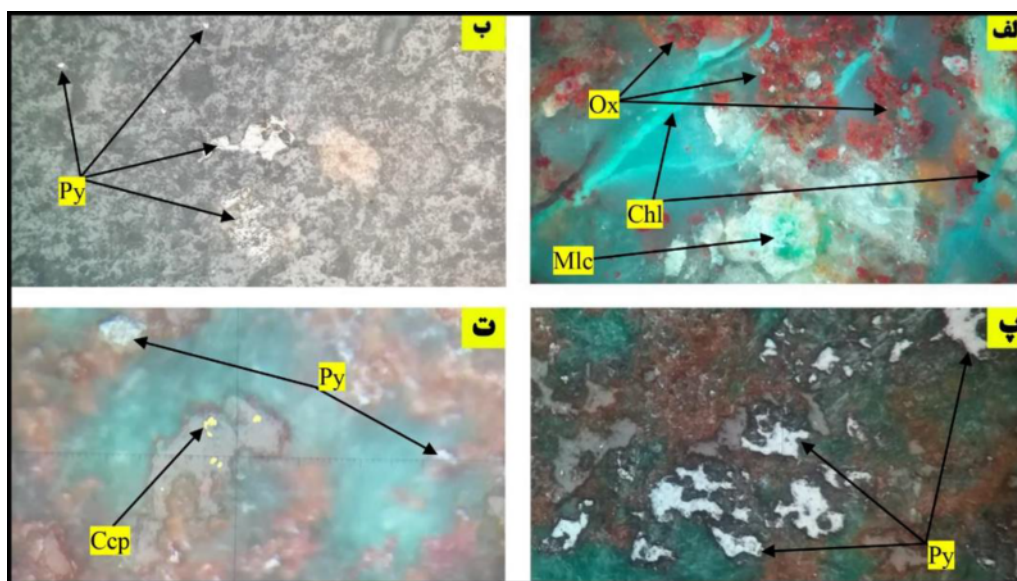
شکل ۹. کانه‌زایی در منطقه: الف) واحدهای پیروکسن آندزیت و دیوریت پورفیری دربردارنده رگه‌های کانه‌دار سیلیسی-برشی و قرار گیری آن‌ها با واحد مونزودیوریت پورفیری که خاستگاه رگه‌هاست، ب) نمونه دستی سنگ شامل مالاکیت، پ و ت) نمایی نزدیک از نمونه‌های دستی سیلیس برداشت شده از رگه سیلیسی، ث) رگه سیلیسی-برشی شعاعی با ساختار حلقوی که پیروکسن آندزیت را قطع کرده است ج) رگه سیلیسی-برشی در دیوریت پورفیری شمال غرب منطقه.

از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های سولفیدی اصلی موجود در

منطقه عبارتند از پیریت نسل I، پیریت نسل II، کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت. از میان کانی‌های اکسیدی می‌توان به مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا، نئوتاسیت، همتایت و گوتیت اشاره کرد. باریت نیز در برخی از شکستگی‌های موجود در رگه‌های سیلیسی-برشی دیده شد. کانی‌سازی هم درون قطعه‌های برش و هم در زمینه سیلیسی قابل مشاهده است. پیریت نسل I که درون بیشتر قطعه‌های برش حضور دارد، درشت‌تر بوده و دارای فراوانی بیشتری است (شکل ۱۰ پ). کالکوپیریت درون قطعه‌های برش دیده نشد. حضور مقادیر بالای مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا و به ویژه کانی نئوتاسیت، بیانگر شدت اکسایش در منطقه مورد بررسی است (شکل ۱۰).

در بررسی‌های مقاطع نازک، کانه‌زایی مس اکسیدی به صورت رگچه‌ای درون رگه‌های سیلیسی-برشی دیده می‌شود. کانه‌زایی در این منطقه در رگه‌های سیلیسی-برشی ناشی از عملکرد استوک‌های نیمه‌عمیق است. در رخنمون شمال غرب منطقه، رگه‌های سیلیسی-برشی نسبت به رگه‌های شعاعی کمتر دگرسان شده‌اند (شکل ۹ ت).

بیشتر آثار کانی‌سازی در شرق منطقه و درون یکی از رگه‌های سیلیسی-برشی شعاعی پیرامون استوک دیده می‌شود. چند ترانشه و ۱۲ گمانه اکتشافی در بخش پایانی این رگه حفر شده‌اند که با توجه به نتایج این پژوهش، مکان‌یابی آن‌ها اشتباه بوده و نتیجه مطلوبی برای شرکت در بر نداشته است. با این حال، در برخی از ترانشه‌ها تمرکز بالای ماده معدنی بیانگر وجود کانی‌سازی گسترده در رگه‌های سیلیسی-برشی منطقه است.



شکل ۱۰ تصاویر میکروسکوپ شکستی الف) کانی‌های مالاکیت، اکسید آهن (بزرگنمایی ۱۰) ب) کانی پیریت در زمینه سیلیسی (بزرگنمایی ۲۰) پ) کانی پیریت در زمینه برشی (بزرگنمایی ۲۰) ت) کانی کالکوپیریت و پیریت (بزرگنمایی ۵۰) نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۱۵] هستند.

برداشت

با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی، سنجش از دور و بازدید صحرایی، واحدهای سنگی نمونه‌ها به شدت دستخوش دگرسانی سریسیتی و آرژیلیکی شده‌اند. رگه‌های سیلیسی برشی در مرکز منطقه به صورت شعاعی نسبت به واحدهای نیمه عمیق گسترش یافته و واحد های دیوریت‌پورفیری و پیروکسن‌اندزیت پیرامون را قطع کرده‌اند و در شمال شرق به صورت متقاطع درون واحد دیوریت‌پورفیری دیده می‌شوند. با توجه به نفوذ تلسکوپی استوک‌هایی با ترکیب حدواسط و نیز گستردگی دگرسانی موجود در منطقه و قرارگیری دگرسانی بصورت حلقوی، در مرکز دگرسانی سریسیتی و پیرامون دگرسانی آرژیلیکی حضور دارد احتمال حضور کانی‌سازی پورفیری در منطقه دور از ذهن نیست. رگه‌های سیلیسی کانه‌دار کنار این توده‌ها نیز می‌توانند مربوط به کانی‌سازی لبه این کانسار پورفیری باشند.

مراجع

[3] Aghanbati A., "Geology of Iran", Geological Survey of Iran, (2004) 586 p.

[4] Malekzadeh Shafaroodi A., Karimpour M. M., Mazaheri S.A., "Geology, Alteration, Mineralization and Geochemistry of MA-II Range, Mahrabad Porphyry Copper-Gold Exploration Zone, South Khorasan Province", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 17 (4) (2010) 639-654.

[5] Shafaroudi A. M., Karimpour M. H., Stern C. R., "The Khopik porphyry copper prospect, Lut Block, Eastern Iran: geology, alteration and mineralization", fluid inclusion, and oxygen isotope studies. Ore Geology Reviews, 65 (2015) 522-544.

[6] Karimpour M.H., "Comparison of Cu-Ag-Au deposit of Zari Castle with other Iron Oxides Cu-Au (IOCG) type deposits and presentation of a new classification", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 13 (1) (2005) 167-184 .

[7] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroodi A., Farmer J. L., Stern Ch., "Petrogenesis of granitoids, Zircon assay by U-Pb method, geochemistry of Sr-Nd isotopes and important occurrence of Tertiary mineralization in Lut block, East of Iran", Journal of Economic Geology (2012) pp. 1 to 27.

[1] Griffis H., Magriz J., Abedian N., "Geological Map 1: 250,000 Dehsalam (Chahvak)", Geological Survey of Iran (1992).

[2] Aghanabati A., "Major sedimentary and structural units of Iran (map)", Geosciences, 7 (1998) 29-30.

differentiation products using immobile elements", Chemical geology, 20 (1977) 325-343.

[18] Kuno H., "Origin of andesite and its bearing on the island arc structure", Bull. Vol 32(1968) 141 – 176.

[19] Irvine T. N., Baragar W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian journal of earth sciences, 8(5) (1971) 523-548.

[20] Uyeda S., Miyashiro A., "Plate tectonics and the Japanese Islands: a synthesis", Geological Society of America Bulletin, 85(7), 1159-1170.

[21] Sun S. S., McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", Geological Society, London, Special Publications, 42(1) (1989) 313-345.

[22] Ayers J. C., Watson E. B., "Solubility of apatite, monazite, zircon, and rutile in supercritical aqueous fluids with implications for subduction zone geochemistry", Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences, 335(1638) (1991) 365-375.

[23] Talapin D. V., Lee J. S., Kovalenko M. V., Shevchenko E. V., "Prospects of colloidal nanocrystals for electronic and optoelectronic applications", Chemical reviews, 110(1) (2010) 389-458.

[24] Thompson D. T., "EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data", Geophysics, 47(1) (1982) 31-37.

[25] Goss A. R., Kay S. M., "Extreme high field strength element (HFSE) depletion and near-chondritic Nb/Ta ratios in Central Andean adakite-like lavas (~ 28 S, ~ 68 W)", Earth and Planetary Science Letters, 279(1-2) (2009) 97-109.

[26] Schumacher R. W., Davidson B. S., Montenegro D. A., Bernan V. S., "γ-Indomycinone, a new pluramycin metabolite from a deep-sea derived actinomycete", Journal of natural products, 58(4) (1995) 613-617.

[27] Cabena P., Hadjinian P., Stadler R., Verhees J., Zanasi A., "Discovering data mining: from

[8] Förster H., "Mesozoic–cenozoic metallogenesis in Iran", Journal of the Geological society, 135(4) (1978) 443-455.

[9] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "Magmatic copper and lead-zinc ore deposits in the Central Lut, East Iran", Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen (1984) 497-523.

[10] Esfarm M., Biabangard H., Bumari M., Zarrinkoub M., Mehran M., Ebrahimi V., "Geochemistry and petrology of volcanic rocks of Mahour copper deposit, northwest of Nehbandan (east of Iran)", Journal of Crystallography and Mineralogy Iran (2012), 20 (2), 241-252.

[11] Arjmandzadeh R., Santos J. F., "Sr–Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu–Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block", eastern Iran. International Journal of Earth Sciences, 103(1) (2014) 123-140

[12] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroodi A., Heidarian M.R., Askari A., "Mineralization, Alteration, and Geochemistry of the Gold-Tin Heird Exploration Area, South Khorasan Province", Journal of Crystallography and Minerals Iranian Studies (2007), 15 (1), 67-90.

[13] Karimpour M. H., Zaw K., Huston D. L., "SCO isotopes, fluid inclusion microthermometry", and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh-Zari Fe-oxide Cu-Au-Ag mine, Iran (2005).

[14] Najafi A., Karimpour M.H., Ghaderi M., Stern C.R., Farmer J.L., "Zircon U-Pb geochronology, isotope geochemistry of Rb-Sr and Sm-Nd and petrogenesis of granitoid intrusive rocks in Kajeh exploration area, northwest of Ferdows: Evidence for Late Cretaceous magmatism in the Lut block", Journal of Economic Geology 6(1) (2014) 107-135.

[15] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American mineralogist, 95(1) (2010) 185-187.

[16] Middlemost E. A., Paul D. K. "Indian kimberlites and the genesis of kimberlites" Chemical geology, 47(3-4) (1984) 249-260.

[17] Winchester J. A., Floyd P. A., "Geochemical discrimination of different magma series and their

- [32] Wilson M., "Review of igneous petrogenesis: a global tectonic approach", Terra Nova, 1(2) (1989) 218-222.
- [33] Schandl E. S., Gorton M. P., "Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments", Economic geology, 97(3) (2002) 629-642.
- [34] Sillitoe R. H., "Porphyry copper systems", Economic geology 105 (2010) 3-41.
- [35] Najafian T., "Mapping of minerals in altered areas of Sarcheshmeh region of Kerman province using multispectral and hyperspectral data", Master Thesis in Mining Engineering, Exploration major, Shahid Bahonar University of Kerman (2010).
- [36] Mohammadzadeh M. J., Falahat M. J., "Application of Landsat satellite images (ETM+) in detecting alterations of alteration and separation of lithological units in the Middle East-Azerbaijan region", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2007), 15 (2) (2007) 439-452.
- concept to implementation", Prentice-Hall, Inc(1998).
- [28] Ayers M. S., Reder L. M., "A theoretical review of the misinformation effect: Predictions from an activation-based memory model", Psychonomic Bulletin & Review, 5(1) (1998) 1-21.
- [29] Castillo M., Martín-Orúe S. M., Anguita M., Pérez J. F., Gasa J., "Adaptation of gut microbiota to corn physical structure and different types of dietary fibre", Livestock Science, 109(1-3) (2007) 149-152.
- [30] Jahangiri A., "Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications", Journal of Asian Earth Sciences, 30(3-4) (2007) 433-447.
- [31] Tchameni R., Pouclet A., Penaye J., Ganwa A. A., Toteu S. F., "Petrography and geochemistry of the Ngaoundéré Pan-African granitoids in Central North Cameroon: Implications for their sources and geological setting", Journal of African Earth Sciences, 44(4-5) (2006) 511-529.