



کانی‌سازی، دگرسانی و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در گستره‌ی شرق کبیرکوه (جنوب‌غربی خواف)

احسان سلاطی، محمدحسن کریم‌پور*، آزاده ملک‌زاده شفارودی، محمدرضا حیدریان شهری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۲/۱۲/۲۲، نسخه نهایی: ۹۳/۳/۱۱)

چکیده: منطقه‌ی کبیرکوه در ۷۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان خواف در استان خراسان رضوی و شمال‌شرقی بلوک لوت قرار دارد. واحدهای سنگی منطقه شامل اسلیت، فیلیت، شیست و سنگ آهک دوبار تبلور یافته وابسته به پالئوزوئیک‌اند که تحت نفوذ توده‌های گرانیت تا دیوریت به شکل دایک و استوک به سن کرتاسه تا ترشیاری قرار گرفته‌اند. براساس پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی اکسید و احیا کننده هستند که بیشتر توده‌های اکسید شده دارای خاصیت دگرسانی و کانی‌سازی هستند. توده‌های اکسید کننده بخش شرقی کبیرکوه به سن ائوسن میانی وابسته به محیط‌های فرورانش حاشیه‌ی قاره بوده و اغلب دارای پتاسیم بالا تا شوشونیتی و شبه‌رخشان هستند. منطقه‌های دگرسان پروپلیتیک با وسعت بیشتر، سرسیتیک، آرژیلیک و سیلیسی با گسترش کمتر در جنوب گستره مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی‌ها در مرز توده‌های نفوذی و یا در درز و شکستگی‌های توده‌ها به صورت رگه و رگچه در جنوب منطقه دیده می‌شوند. رگه و رگچه‌ها در راستای شمال‌غربی - جنوب‌شرقی با شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه و با ضخامت تا نیم متر گسترش یافته‌اند. آن‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: ۱- رگه‌ها و رگچه‌های همراه با گالن، اسفالریت و باریت به عنوان کانی‌های اولیه که نسل اول کانی‌سازی را تشکیل داده‌اند ۲- رگه و رگچه‌های همراه با پیریت، کالکوپیریت و کوارتز به عنوان کانی‌های اولیه و کوولیت، بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت و لیمونیت) به‌عنوان کانی‌های ثانوی که از نسل دوم کانی‌سازی هستند. کانی‌های پاراژنز و روابط کانی‌ها نشان از یک فعالیت گرمایی و نهشت کانی‌های یاد شده در حداقل دو مرحله در بخش بالایی توده‌های نفوذی سری اکسید کننده منطقه دارند. پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای بی‌هنجاری عناصر مس (۶۸ ppm)، سرب (۱۶۹۱ ppm)، روی (۳۲۰ ppm)، باریم (۵۰۳ ppm)، و سنگ، بی‌هنجاری عناصر مس (۰.۳٪)، طلا (۲۶۵۷ ppb)، نقره (۱۶۰ ppm)، سرب (۰.۴٪)، روی (۲۱۵۹ ppm)، باریم (۱۴۶۶ ppm) بیسموت (۱۷۶۷ ppm) و مولیبدن (۶۶ ppm) در جنوب منطقه میزان نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کبیرکوه؛ دگرسانی؛ کانی‌سازی؛ پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی؛ مس؛ طلا.

مقدمه

فعالیت‌های ماگماتیک بلوک لوت از ژوراسیک شروع و در ترشیاری به نهایت خود رسیده است [۲،۱]، و مخصوصاً در ائوسن سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از این بلوک را پوشانده است [۴،۳]. با توجه

منطقه‌ی کبیرکوه در ۳۰۸ کیلومتری جنوب مشهد و ۷۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان خواف در استان خراسان رضوی و در شمال‌شرقی بلوک لوت قرار گرفته است (شکل ۱).

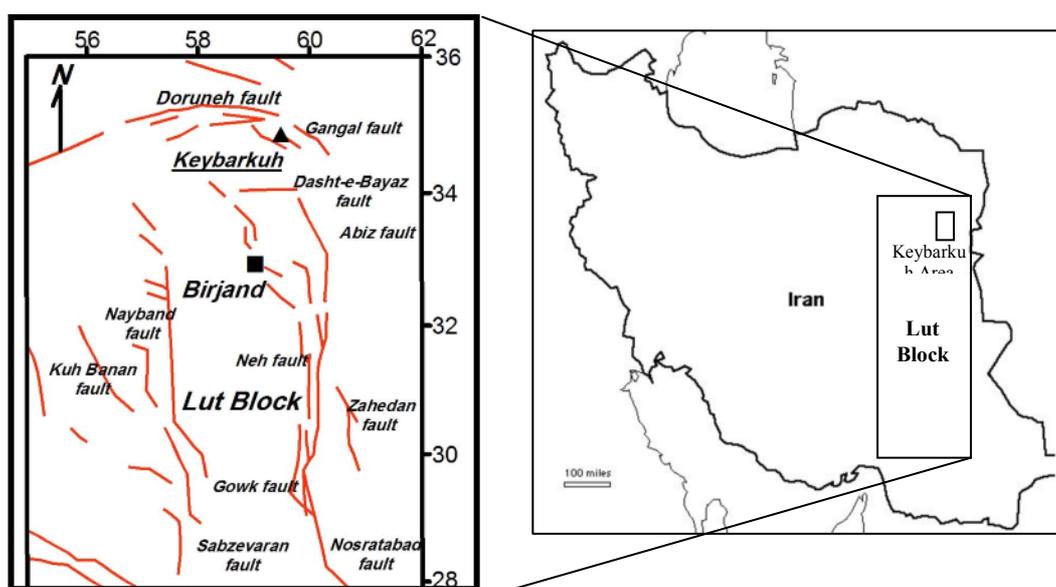
* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۰۵۱۳۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir

ژئوشیمیایی و کانی‌سنگین در برگه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ زوزن [۱۷].
۳- بررسی‌های IP-RS در بخش محدودی از منطقه‌ی شرق کبیرکوه است [۱۸]. هدف از این بررسی‌ها تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی با تأکید ویژه بر تفکیک توده‌های نفوذی، تهیه‌ی نقشه دگرسانی، بررسی کانی‌سازی و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی به دو روش رسوب‌های رودخانه‌ای و خرده‌سنگی از واحدهای دگرسان شده برای رسیدن به مناطق امیدبخش بوده است.

روش بررسی

۱- تهیه و بررسی ۱۲۰ مقطع نازک به منظور تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی- دگرسانی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با تأکید بر جدایش توده‌های نفوذی و منطقه‌های دگرسان. ۲- تهیه و بررسی ۱۰ بلوک صیقلی برای بررسی‌های کانی‌شناسی. ۳- انتخاب ۱۵ نمونه از توده‌های نفوذی سری اکسیدان و احیایی دارای کمترین دگرسانی یا کاملاً سالم از منطقه‌ی مورد بررسی و تجزیه‌ی اکسیدهای اصلی با XRF فیلیپس (مدل X Unique II) در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد. ۴- تجزیه‌ی ۱۲ نمونه از توده‌های نفوذی سری اکسیدان با کمترین دگرسانی یا کاملاً سالم، عناصر جزئی و نادر خاکی (REE) در آزمایشگاه ACME (کانادا) به روش ذوب کلیایی با دستگاه ICP-MS. ۵- برداشت، آماده‌سازی و آنالیز ۲۶ نمونه از رسوب‌های رودخانه‌ای. بررسی رسوب‌های رودخانه‌ای با ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا.

به چگونگی تکتونوماگماتیسم بلوک لوت در زمان‌های مختلف و جایگزینی حجم بالای ماگماتیسم با ترکیب‌های گوناگون در این بلوک، می‌توان انتظار پتانسیل‌های بالای انواع کانی‌سازی‌ها را در آن داشت. با این پیش‌فرض، بررسی‌های زیادی در قسمت‌های مختلف بلوک لوت و روی توده‌های نفوذی و نوع کانی‌سازی آن‌ها انجام گرفته است. این مناطق عبارتند از ماهرآباد و خوپیگ [۵]، و کوه‌شاه در جنوب‌غربی بیرجند [۶]، چاه‌شلجی در شمال‌غرب و ده‌سلم در جنوب‌غرب نهبندان [۷]، خور (قلعه‌گنبد) در شمال‌غربی خور [۸]، شوراب در شمال‌غرب خور [۹]، کوه رباط‌شور در جنوب‌غربی فردوس [۱۰]، نجم‌آباد در جنوب گناباد [۱۱]، کوه‌زر و تنورچه در غرب تربت حیدریه [۱۲، ۱۳] و کبیرکوه در جنوب‌غربی خواف توسط [۱۴، ۱۵]. مناطق یاد شده بر وجود پتانسیل‌های پی‌جویی و معدنی در مناطق شرق ایران (استان‌های خراسان جنوبی و رضوی) و در بازه‌ی سنی ۴۲ تا ۳۳ میلیون سال (ائوسن میانی تا اوایل الیگوسن) تأکید دارند [۱۵]. منطقه‌ی کبیرکوه نیز تحت تأثیر فرآیند تکتونوماگماتیسمی بلوک لوت قرار گرفته و انواع توده‌های نفوذی به همراه کانی‌سازی در بعضی قسمت‌های آن مشاهده می‌شوند. توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی با ترکیب‌ها و سن‌های مختلف با راستای شمالی- جنوبی در منطقه کبیرکوه بیرون‌زدگی دارند. بررسی‌های انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی در منطقه کبیرکوه شامل تهیه‌ی ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زوزن [۱۶]. ۲- نقشه‌ی پی‌جویی‌های



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی کبیرکوه در بلوک لوت.

دیوریت متغیر است. توده‌های نفوذی در منطقه، براساس پذیرفتاری مغناطیسی به دو سری مگنتیت (اکسیدان) و ایلمنیت (احیایی) تقسیم می‌شوند [۲۰،۱۹]. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای سری مگنتیت بیشتر از $SI^{-5} \times 10^{-3}$ و سری ایلمنیت کمتر از $SI^{-5} \times 10^{-3}$ است. واحدهای مربوط به سری مگنتیت، از گرانیت تا دیوریت از جنوب تا شمال و همچنین غرب منطقه به صورت دایک و استوک‌های کوچک و بزرگ دیده می‌شوند (شکل ۲). واحدهای وابسته به سری ایلمنیت شامل گرانیت تا مونزودیوریت در مرکز، شمال و غرب منطقه، به صورت استوک‌های کوچک و بدون کانی‌سازی هستند (شکل ۲). توده‌های نفوذی سری اکسید کننده با سن ائوسن میانی [۲۱]، دارای دگرسانی آرژیلیک و سیلیسی هستند و باعث کانی‌سازی در بخش‌های جنوبی منطقه شده‌اند [۲۱]. سن توده‌ی بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت پورفیری به نمایندگی از توده‌های سری مگنتیت با استفاده از روش U-Pb در کانی زیرکن، ۴۳/۴ میلیون سال، وابسته به ائوسن میانی تعیین شد [۲۱]. براساس محاسبه مقدار TDM، ماگمای تشکیل شده در کبیرکوه از یک پوسته‌ی اقیانوسی در حال فرورانش قدیمی با سن ۸۲۰ میلیون سال ریشه گرفته است [۱۵] که بیشترین آرایش پوسته‌ای را در طی صعود تحمل کرده است. توده‌های نفوذی سری مگنتیت (اکسید کننده) کبیرکوه از نوع متآلومینوس تا کمی پراآلومینوس، آهکی-قلیایی پتاسیم بالا و شوشونیتی و از نوع گرانیتوئیدها نوع I هستند که در کمر بند ماگمایی منطقه فرورانش قرار می‌گیرند. غنی‌شدگی در عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) مانند Rb، Cs، K، Ba و Th و عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) (La و Ce) نسبت به عناصر واسطه با شدت میدان بالای (HFSE) مانند Nb، Zr و Ti و عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) (Yb و La) دیده می‌شود که موید تشکیل ماگما در منطقه فرورانش است. مقدار بالای Nb (بیش از ۱۱ گرم در تن)، اختلاط پوسته‌ی قاره‌ای را در ماگما نشان می‌دهد. ناهنجاری منفی Eu به علت حضور کانی پلاژیوکلاز به‌عنوان کانی باقیمانده در خاستگاه ماگماست و پایین بودن مقدار Sr بیشتر نمونه‌ها (کمتر از ۴۰۰ گرم در تن) آن را تایید می‌کند [۲۱]. توده‌های سری ایلمنیت (احیایی) از نوع آهکی-قلیایی تا آهکی-قلیایی با پتاسیم بالا، متآلومینوس [۲۳،۲۲] و از نوع گرانیتوئیدهای نوع S هستند

در این روش ۰/۲۵ گرم از نمونه جدا شده و اسیدهای HNO_3 - $HClO_4$ -HF گرم به نمونه اضافه می‌شوند، تا به صورت بخار درآمد و آب آن گرفته شود. باقیمانده در HCl حل می‌شود. پس از این مرحله نمونه آماده آنالیز خواهد بود. ۶- برداشت، آماده‌سازی و آنالیز ۶۹ نمونه به روش خرده‌سنگی از منطقه‌های دگرسان به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفت. تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی به روش ICP-MS در آزمایشگاه ACME کشور کانادا انجام شد که تعداد ۴۹ نمونه به روش IDX، و ۱۷ نمونه دیگر به روش IT-MS و نیز ۲ نمونه به روش XRF و ۲ نمونه به روش شیمی تر در آزمایشگاه کانساران بینالود تجزیه شدند.

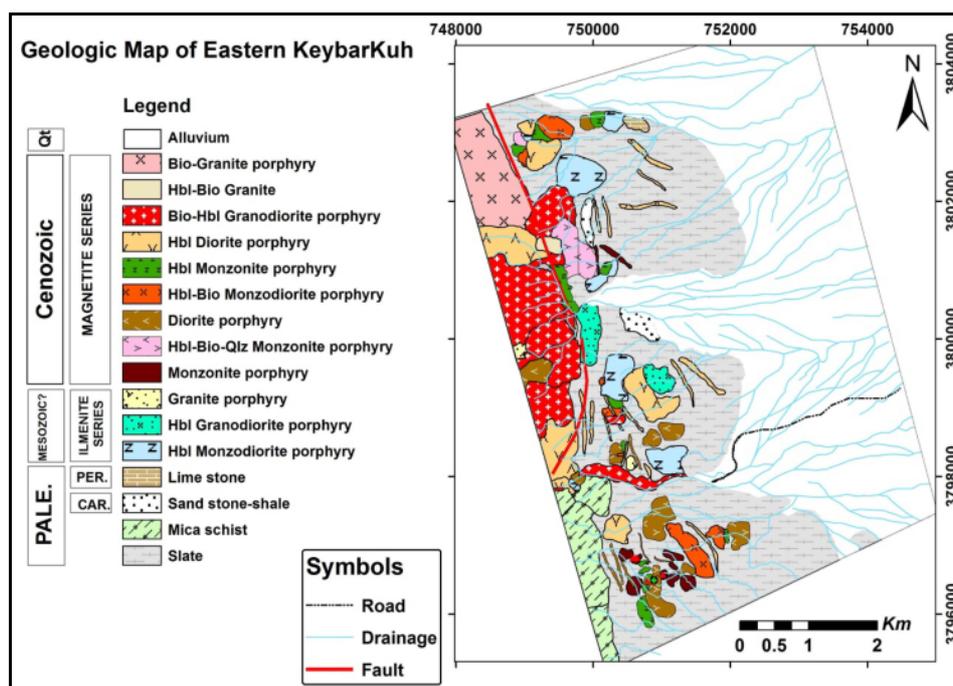
بحث و بررسی

زمین‌شناسی: برپایه بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی شرق کبیرکوه را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد (شکل ۲): ۱- سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین شامل اسلیت و میکاشیست با حالت متورق و برگواره، که بخش اعظم منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. این واحدها با سن نسبی پالئوزوئیک، بیشتر در شرق و جنوب‌غربی گستره دیده می‌شوند و توده‌های نفوذی به شکل دایک و استوک در آن‌ها نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). ۲- سنگ‌های رسوبی که بیشتر در شمال، شمال‌شرقی و مرکز منطقه بیرون زده‌اند. این واحدها با سن نسبی کربونیفر تا پالئوسن شامل ماسه‌سنگ، شیل و سنگ آهک هستند. بیشترین بیرون زدگی سنگ‌های رسوبی به واحد شیل و ماسه‌سنگ وابسته‌اند که در شمال و مرکز منطقه دیده می‌شوند. سنگ آهک بیرون زدگی بسیار کوچکی در شمال-شرقی گستره دارد (شکل ۲). ۳- توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق با سن کرتاسه-ترشیاری که در سنگ‌های رسوبی و دگرگونی ناحیه‌ای منطقه به شکل دایک و استوک نفوذ کرده‌اند. براساس بررسی‌های انجام شده ۱۲ توده‌ی نفوذی در شرق کبیرکوه قابل تفکیک‌اند (شکل ۲). تفکیک توده‌ها برپایه بافت، ترکیب کانی‌شناسی و درصد کانی‌های فنوکریست آهن و منیزیم‌دار و کوارتز صورت گرفته است (شکل ۲). ترکیب کلی آن‌ها از گرانیت تا دیوریت تغییر می‌کند. بیرون زدگی این واحدها بسیار اندک بوده و در مرکز منطقه‌ی شرقی کبیرکوه دیده می‌شوند (شکل ۲). براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، توده‌های نفوذی منطقه با توجه به بافت و کانی‌شناسی به ۱۲ توده تقسیم شدند (شکل ۲). ترکیب توده‌های نفوذی از گرانیت تا

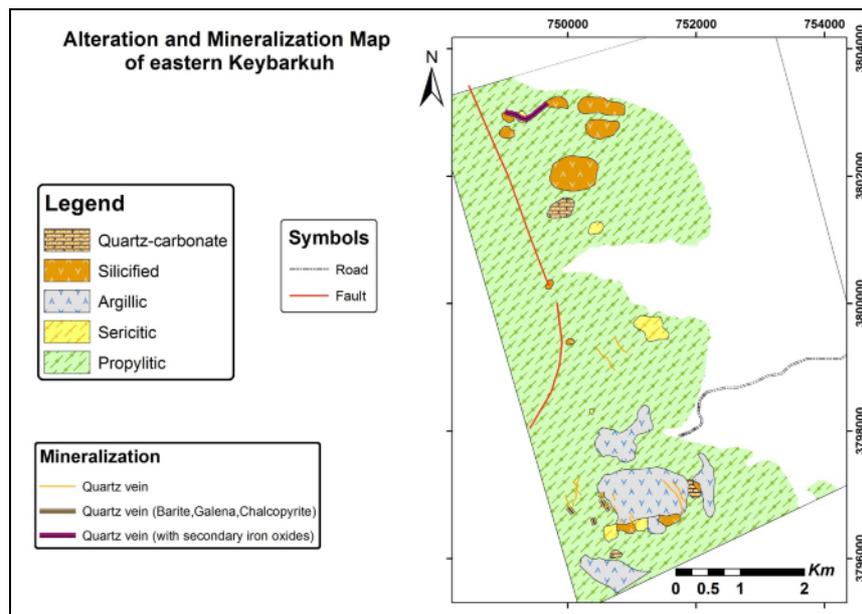
جنوب منطقه تحت تأثیر قرار داده است. بیشترین شدت این دگرسانی در گستره‌های جنوبی رخ داده است (شکل ۳). کانی‌های شاخص این منطقه عبارتند از کانی‌های رسی (تا ۱۵ درصد). منطقه‌های گوسان در بعضی از بخش‌های گستره منطقه آرژلیک- پروپلیتیک با حضور اکسیدهای آهن ثانویه نظیر هماتیت، لیمونیت و گوتیت مشاهده می‌شوند. منطقه سیلیسی بخشی از توده‌های مونزونیتی تا دیوریتی در جنوب (اکسید کننده) و شمال (اکسید کننده و احیایی) منطقه را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۳). بیرون زدگی منطقه سیلیسی همراه با بخش‌های دارای رگچه‌ها و کانی‌سازی مس-سرب- روی و باریت در جنوب منطقه و در بخش شمالی همراه با اکسیدهای آهن دیده می‌شوند. کوارتز اصلی‌ترین کانی این دگرسانی است که به سه حالت رگچه‌ای، جانشینی در فلدسپات و پراکنده در متن سنگ در این منطقه دیده می‌شوند و گاهی تا بیش از ۶۰ درصد سنگ را فرا گرفته‌اند. منطقه کوارتز- کربناتی بخشی از توده‌های مونزونیتی و دیوریتی (اکسید کننده) را در قسمت‌های کوچکی در جنوب و شمال منطقه تحت تأثیر قرار داده است. بیشترین شدت این دگرسانی در بخش جنوبی رخ داده است (شکل ۳). کانی‌های شاخص این منطقه عبارتند از کوارتز (تا ۱۵ درصد) و کلسیت و مقادیر فرعی سرسیت و اکسید آهن.

که بین گرانیتوئیدهای کمربندهای آتشفشانی منطقه فرورانش (VAG) و گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای (WPG) قرار می‌گیرند [۲۴]. این توده‌ها به شکل استوک‌های کوچک نفوذ کرده‌اند و بافت آن‌ها بیشتر پورفیری با درصد فنوکریست ۱ تا ۵۰ درصد بود که کانی‌سازی فلزی خاصی در آن‌ها مشاهده نشده است.

دگرسانی: براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، دگرسانی‌ها در این گستره را می‌توان به ۵ منطقه تفکیک کرد که عبارتند از: منطقه‌های پروپلیتیک، سرسیتیک، آرژلیک، سیلیسی و منطقه کوارتز- کربناتی (شکل ۳). منطقه پروپلیتیک در بیشتر واحدهای نفوذی منطقه (اکسید کننده و احیایی) شامل گرانیات، دیوریت و مونزونیت در نیمه‌ی غربی گستره دیده می‌شود. بیشترین شدت این دگرسانی در نیمه‌ی جنوبی گستره رخ داده و به سمت شرق و شمال‌غرب، شدت آن کاهش می‌یابد (شکل ۳). کانی‌های شاخص این منطقه عبارتند از کلریت (تا ۲۰ درصد) و اپیدوت. منطقه سرسیتیک بخشی از توده‌های مونزونیتی و دیوریتی وابسته به توده‌های اکسید کننده را در قسمت‌های جنوبی و میانی منطقه تحت تأثیر قرار داده است. بیشترین شدت این دگرسانی در گستره‌ی جنوبی منطقه رخ داده است (شکل ۳). منطقه آرژلیک بخشی از توده‌های گرانودیوریتی، مونزونیتی و دیوریتی (اکسید کننده) را در



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی شرق کبیرکوه.



شکل ۳ نقشه‌ی دگرسانی و کانی‌سازی منطقه‌ی شرق کبیرکوه.

مالاکیت، آزوریت، و اکسیدهای آهن مانند مگنتیت، هماتیت و لیمونیت که از تبدیل و اکسایش کانی‌های اولیه تشکیل شده‌اند (شکل ۶-ب). رگه رگچه‌ها در بخش جنوبی منطقه همراه با دگرسانی سیلیسی و آرژیلیکی دیده می‌شوند. رگه‌ی اصلی دارای کانی‌سازی در بخش جنوبی با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال‌شرق و ضخامت تا نیم متر با طول تقریبی ۱۵۰ متر بیرون زدگی دارد (شکل ۴ الف و ب). ۳- رگه‌های کوارتز در اندازه‌های مختلف از چند میلیمتر تا چندین متر با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شیب ۶۰ تا ۹۰ درجه به سمت شرق تا شمال‌شرقی در بخش‌هایی از جنوب و مرکز گستره دیده می‌شوند (شکل ۳).

کانی‌سازی: به طور کلی کانی‌سازی در منطقه را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد: در بخش جنوبی گستره دو دسته رگه و رگچه دارای کانی‌سازی به شرح زیر مشاهده می‌شوند: ۱- رگه و رگچه‌های دارای کانی‌سازی گالن، اسفالریت، باریت، (به صورت غالب) و کالکوپیریت و کوارتز (جزئی) به صورت اولیه و کانی‌های کولیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن مانند مگنتیت، هماتیت و لیمونیت که به شکل ثانویه و از اکسایش کانی‌های اولیه ایجاد شده‌اند (شکل ۶-الف). ۲- رگه و رگچه‌های دارای کانی‌سازی پیریت، کالکوپیریت و کوارتز (به صورت غالب)، اسفالریت و گالن (جزئی) که به صورت اولیه هستند و همراه با کانی‌های ثانویه شامل کولیت، بورنیت، کالکوسیت،



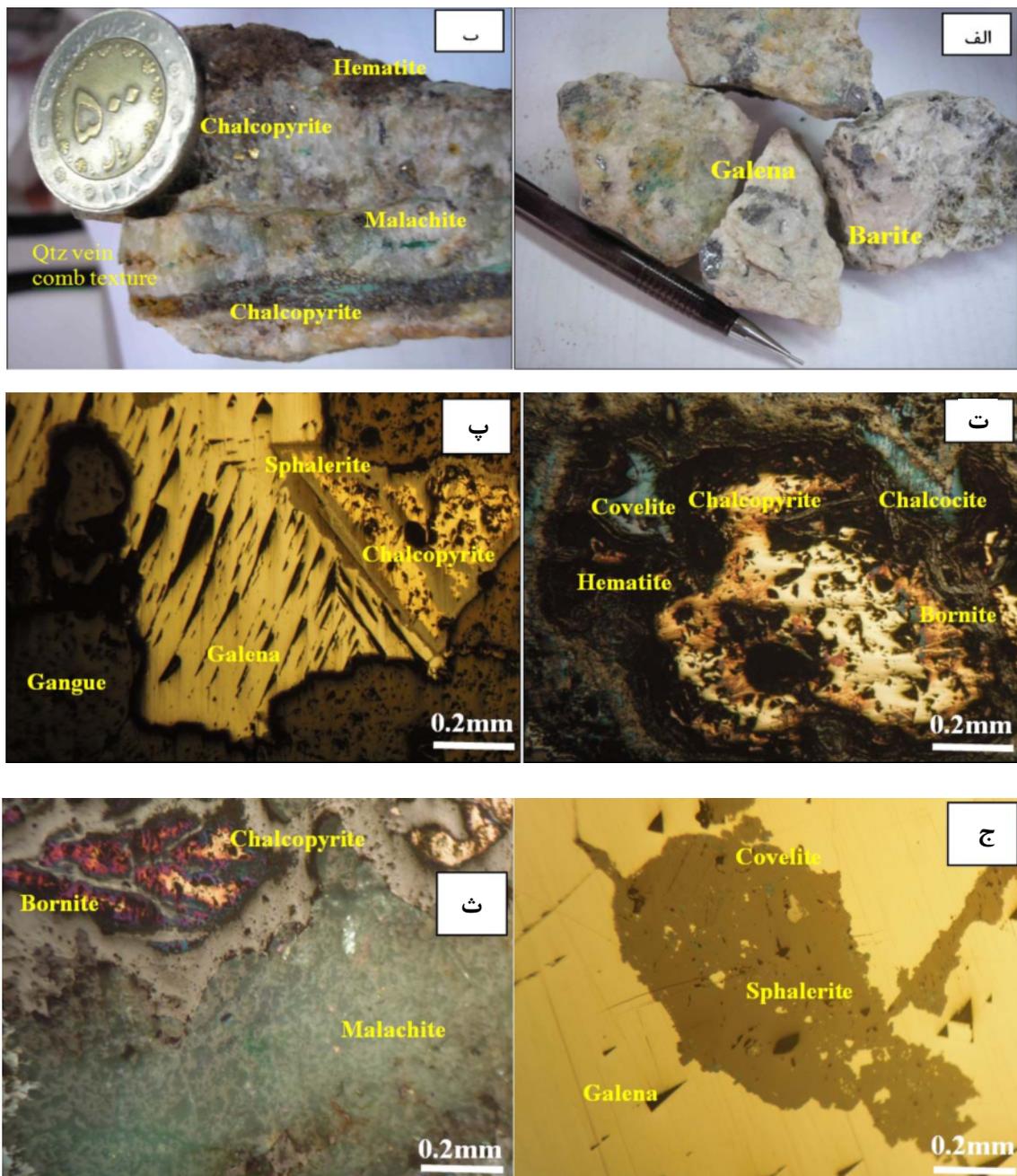
شکل ۴ الف- نمایی از منطقه دگرسان شده و رگه‌ی حاوی کانی‌سازی گالن، باریت، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و کوارتز (دید به شمال). ۴-ب- روند رگه دارای کانی‌سازی - جنوب‌شرقی رگه دارای کانی‌سازی و ترانشه عمود بر آن (دید به شرق).

در نمونه‌ی دستی کانی‌سازی گالن و باریت که در مرحله‌ی پیش از کانی‌سازی مس بوده است، به شکل رگچه‌ها و قطعاتی در درون باریت دیده می‌شود (شکل ۶-الف). کانی‌سازی مس در مرحله بعد از کانی‌سازی سرب و باریت در قالب مس سولفیدی مانند کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت و کولیت تشکیل شده است. کانی‌های سولفیدی مس، در بعضی از قسمت‌ها در اثر اکسایش به مالاکیت و آزوریت تبدیل شده‌اند. کانی‌سازی اسفالریت و نیز اکسیدهای آهن اولیه مانند مگنتیت و ثانویه مانند هماتیت و لیمونیت با بافت پرکننده‌ی فضای خالی و به صورت پراکنده و رگچه و همراه با تشکیل کوارتز به شکل‌های شانه‌ای متقارن در فضاهای خالی در نمونه‌های دستی دیده می‌شود (شکل ۶-ب). در شکل ۶-پ نیز رگچه‌هایی با کانی‌سازی کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت، بورنیت و هماتیت به صورت پرکننده‌ی فضای خالی مشاهده می‌شوند. بیشترین بافت کانه‌ها در این بخش بافت پرکننده فضای خالی است. از بافت‌های دیگر می‌توان به بافت منطقه‌بندی، رگچه‌ای و جانشینی اشاره کرد. با توجه به بررسی‌های انجام شده و نمونه‌برداری از رگه‌ی

دارای کانی‌سازی فلزی، کانی‌سازی در دو مرحله به شرح زیر تشکیل شده است: الف- کانی‌سازی اولیه (درون‌زاد): در فاز اول گالن به همراه باریت، و در فاز دوم کالکوپیریت، پیریت (به مقدار کم) و اسفالریت همراه با کوارتز به صورت پرکننده‌ی فضای خالی و جانشینی تشکیل شده‌اند. یک فاز اکسیدی نیز کانی‌سازی مگنتیت ریزدانه را به مقدار کم در این رگچه‌ها تشکیل داده است (شکل ۵) و (شکل ۶). ب- کانی‌سازی در مرحله‌ی اکسایش و ثانویه: شامل کانی بورنیت با کمترین فراوانی و کولیت با بیشترین فراوانی و کالکوسیت با فراوانی متوسط (که در اطراف کالکوپیریت تشکیل شده‌اند) مشخص می‌شود. بافت این کانی‌سازی‌ها به صورت پرکننده‌ی فضای خالی (رگه و رگچه) و کمی به صورت جانشینی است (شکل ۵) و (شکل ۶). در شرایط اکسایش و هوازدگی کانی‌های ثانویه فاز اکسیدی باعث تشکیل کانی‌های مالاکیت، آزوریت، مگنتیت، هماتیت و لیمونیت شده است (شکل ۵). بافت این بخش از کانی‌سازی نیز به صورت پرکننده‌ی فضای خالی، جانشینی و افشان (شکل ۶).

مرحله تشکیل کانی‌ها	هیپوزن (اولیه)	اکسیدان
باریت	—————	
کوارتز	—————	
گالن	—————	
اسفالریت	—————	
پیریت	-----	
کالکوپیریت	—————	
مگنتیت	-----	
بورنیت		—————
کالکوسیت		—————
کولیت		—————
مالاکیت		—————
آزوریت		—————
هماتیت		—————
لیمونیت		—————

شکل ۵ نمایش دنباله‌ی پاراژنزی کانی‌ها در گستره‌ی شرق کبیرکوه.



شکل ۶ الف- نمونه‌ی دستی کانی‌سازی گالن و باریت. ب- نمونه دستی از رگچه‌های دارای کانی‌سازی کالکوپیریت، بورنیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن ثانویه (هماتیت) با بافت پرکننده‌ی فضای خالی و کوارتز با بافت شانه‌ای. پ- تبدیل کالکوپیریت به بورنیت و کالکوسیت و هماتیت در اطراف. ت- تشکیل گالن قبل از کالکوپیریت، و پر شدن شکستگی به وسیله‌ی اسفالریت. ث- کولیت درون اسفالریت، و گالن دربرگیرنده هردو. ج- تبدیل کالکوپیریت به بورنیت در مجاورت مالاکیت (به صورت ژله‌ای).

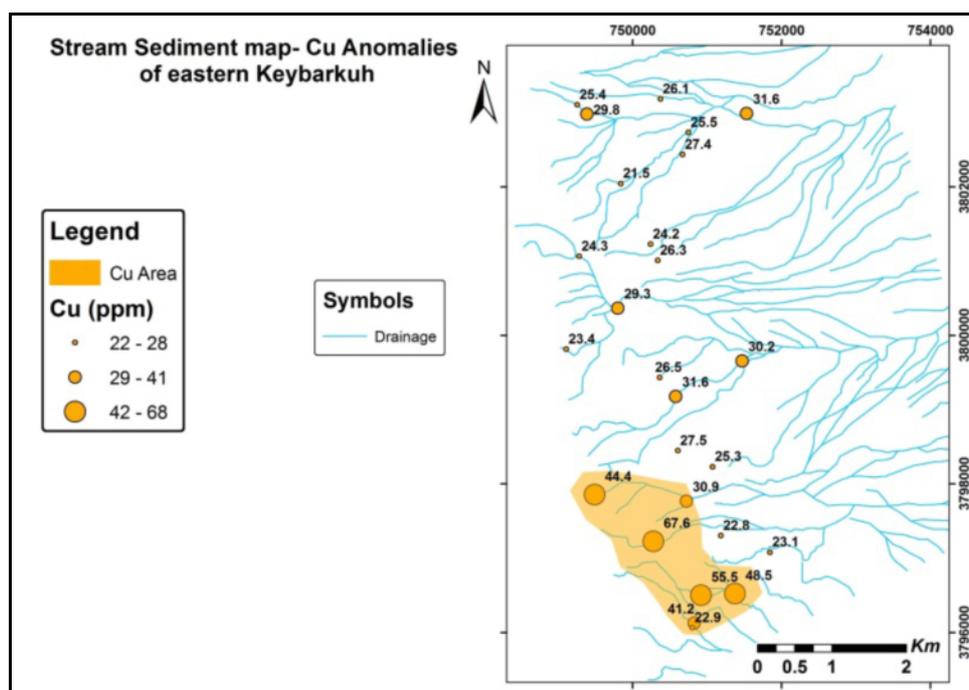
پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی

رسوب‌های رودخانه‌ای: Cu: میزان مس در نمونه‌های رسوب-های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه بین ۲۲ تا ۶۸ گرم در تن است (شکل ۷). بیشترین مقدار، مربوط به نمونه‌ی KB-S-7 واقع در جنوب‌غربی منطقه است و سنگ بالا دست این نمونه

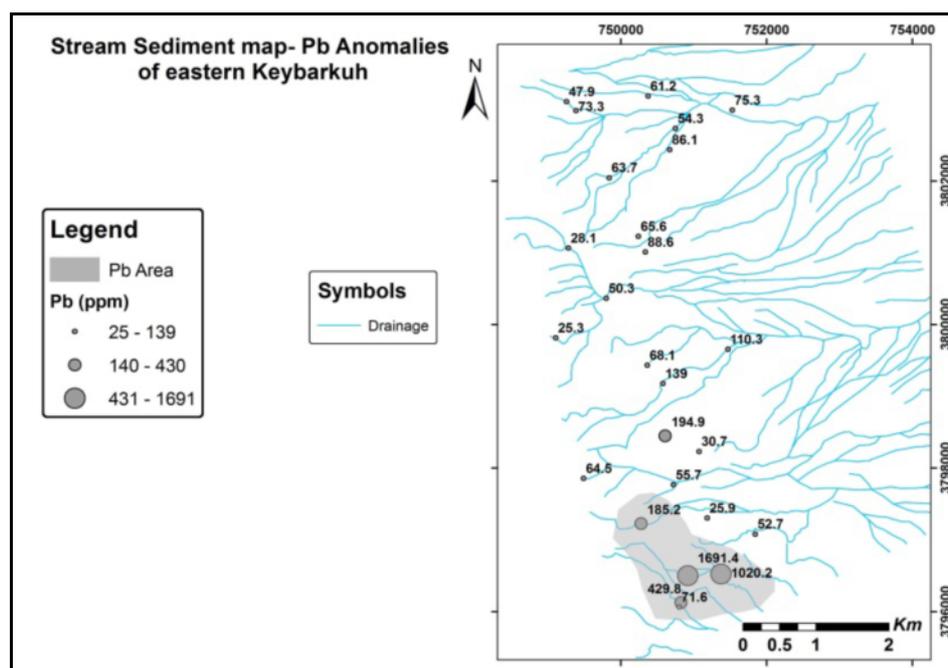
هورنبلند دیوریت پورفیری و دارای دگرسانی آرژلیک و سیلیسی بوده است (شکل ۲ و ۳). کانی‌سازی کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت در سنگ‌های بالا دست مشاهده شد. Pb: میزان سرب در نمونه‌هایی از رسوب‌های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه بین ۲۵ تا ۱۶۹۱ گرم در تن است (شکل ۸).

های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه بین ۶۳ تا ۳۲۰ گرم در تن است (شکل ۹). بیشترین مقدار، مربوط به نمونه KB-S-4 واقع در جنوب غربی منطقه است و سنگ‌های بالا دست این نمونه دیوریت و بیوتیت مونزونیت پورفیری هستند.

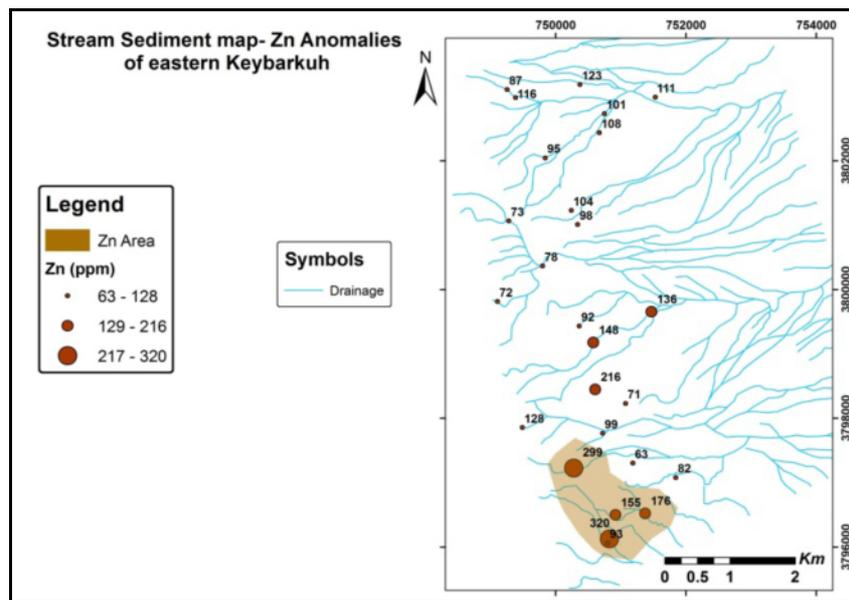
بیشترین مقدار، مربوط به نمونه KB-S-3 واقع در جنوب شرقی منطقه است و سنگ‌های بالا دست این نمونه دیوریت پورفیری و هورنبلند مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرتلیک و سیلیسی هستند (شکل ۲ و ۳). کانی‌سازی گالن در سنگ‌های بالا دست دیده می‌شود. Zn: میزان روی در نمونه‌های رسوب-



شکل ۷ موقعیت نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای و بخش‌های دارای ناهنجاری عنصر مس در منطقه شرق کبیرکوه.



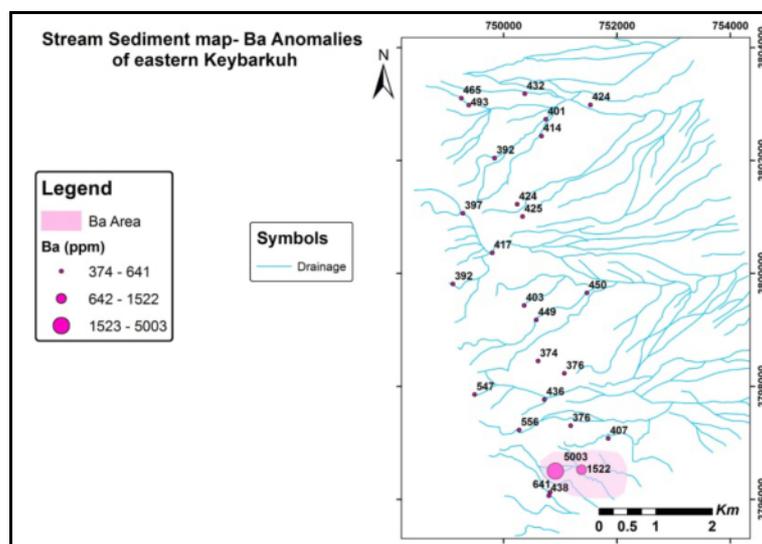
شکل ۸ موقعیت نمونه‌هایی از رسوب‌های رودخانه‌ای و بخش‌های دارای بی‌هنجاری عنصر سرب در منطقه‌ی شرق کبیرکوه.



شکل ۹ موقعیت نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای و بخش‌های بی‌هنجاری عنصر روی در منطقه‌ی شرق کبیرکوه.

در تن است. بیشترین مقدار، به نمونه KB-S-3 واقع در جنوب شرقی منطقه وابسته است و سنگ‌های بالا دست این نمونه دیوریت پورفیری و هورنبلند مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی هستند (شکل ۲ و ۳). Ag: میزان نقره در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه کمتر از ۰٫۱ تا ۱ گرم در تن است. بیشترین مقدار، به نمونه KB-S-2 در جنوب منطقه مربوط می‌شود و سنگ بالا دست این نمونه مونزونیت پورفیری دارای دگرسانی آرژلیک و سیلیسی است (شکل ۲ و ۳).

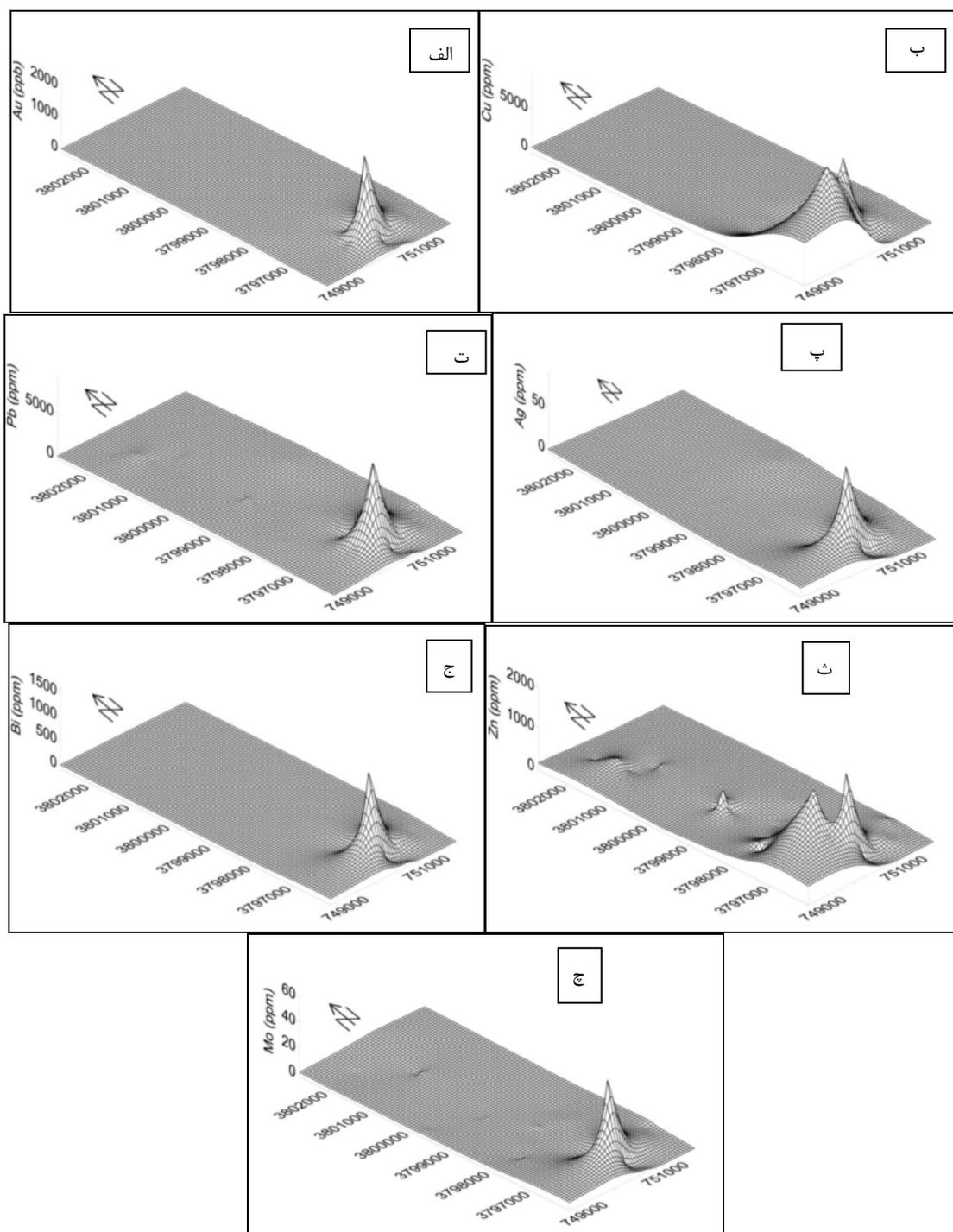
(شکل ۲ و ۳). Ba: میزان باریت در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه بین ۳۷۴ تا ۵۰۳ گرم در تن است (شکل ۱۰). بیشترین مقدار، به نمونه KB-S-3 واقع در جنوب شرقی منطقه وابسته است و سنگ‌های بالا دست این نمونه دیوریت پورفیری و هورنبلند مونزونیت پورفیری همراه با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی هستند (شکل ۲). کانی‌سازی باریت در سنگ‌های بالا دست دیده می‌شود. Au: میزان طلا در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه کمتر از ۰٫۱ گرم در تن است. As: میزان آرسنیک در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای بخش شرقی کبیرکوه بین ۹ تا ۲۰ گرم



شکل ۱۰ موقعیت نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای و بخش‌هایی بی‌هنجاری عنصر باریم در منطقه‌ی شرق کبیرکوه.

های دارای عیار بالاتر از ۱۰۰۰۰ گرم در تن، به روش عیارسنجی و XRF نیز آنالیز شد. عیار آنها در روش عیارسنجی به ۲٫۹۵ درصد و در روش XRF به ۳۱۱۲۹ گرم در تن رسید.

نمونه‌های خرده‌سنگی: Cu: میزان مس از ۲ تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱)، ولی برای چندین نمونه خارج از حد شناسایی دستگاه بوده‌اند. به همین منظور نمونه-



شکل ۱۱ نقشه‌های ژئوشیمی عناصر الف- طلا، ب- مس، پ- نقره، ت- سرب، ث- روی، ج- بیسموت، چ- مولیبدن در منطقه‌ی شرق کبیرکوه که نشان دهنده‌ی حضور بیهنجاری این عناصر در بخش جنوبی منطقه‌اند.

بیشترین مقادیر مس به توده‌ی مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی جنوب و جنوب‌غربی منطقه وابسته بوده‌اند (شکل ۲). کانی‌سازی‌ها به‌صورت کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت، بورنیت، مالاکیت و آزوریت و به شکل رگه و رگچه مشاهده شدند. Au: میزان طلا از ۰/۱ تا ۲۶۵۷ میلی‌گرم در تن متغیر بود (شکل ۱۱). بیشترین مقدار به توده‌ی مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی واقع در جنوب منطقه وابسته بوده است (شکل ۲). کانی‌سازی مس به صورت سولفیدی و اکسیدی و به صورت رگچه‌ای تشکیل شده است. Ag: میزان نقره از کمتر از ۰/۱ تا بیش از ۱۰۰ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱). بیشترین مقدار، به توده‌ی مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی واقع در بخش جنوبی منطقه وابسته بوده است (شکل ۲). کانی‌سازی گالن و اسفالریت به صورت پراکنده در باریت و نیز کانی‌سازی مس دیده می‌شود. Pb: میزان سرب از ۲ تا ۱۰۰۰۰ گرم در تن بوده (شکل ۱۱) و برای چندین نمونه خارج از حد شناسایی دستگاه بود. به همین دلیل نمونه‌های دارای عیار بیش‌تر از ۱۰۰۰۰ گرم در تن، به روش عیارسنجی نیز آنالیز شدند. عیار آن‌ها به روش XRF به ۴ درصد رسید. بیشترین مقدار، در توده‌ی مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی بخش جنوبی منطقه دیده شد (شکل ۲). کانی‌سازی گالن و اسفالریت به صورت پراکنده در باریت و نیز کانی‌سازی مس همراه با سیلیس تشکیل شده است. Zn: میزان روی از ۲ تا ۲۱۵۹ گرم در تن متغیر بود (شکل ۱۱)، که برای چندین نمونه به روش‌های عیارسنجی و XRF نیز آنالیز شدند. عیار آن‌ها در روش عیارسنجی به ۰/۷۳ درصد و در روش XRF به ۱۷۵۳ گرم در تن رسید. بیشترین مقدار، به توده‌ی مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی واقع در جنوب منطقه وابسته بود (شکل ۲). کانی‌سازی اسفالریت و گالن به صورت پراکنده در باریت و نیز کانی‌سازی مس در مرحله‌ی بعد تشکیل شده است. Bi: میزان بیسموت از کمتر از ۰/۱ تا ۱۷۶۷ گرم در تن متغیر بود (شکل ۱۱). بیشترین مقدار، به توده‌ی مونزونیت پورفیری با

دگرسانی آرژلیک و سیلیسی واقع در جنوب منطقه وابسته بود (شکل ۲). Mo: میزان مولیبدن از کمتر از ۰/۳ تا ۶۶ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱). بیشترین مقدار، به توده‌ی مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی و در جنوب منطقه وابسته بود (شکل ۲). Ba: کانی‌سازی باریت نیز همراه با کانی‌سازی‌های گالن و مالاکیت مشاهده می‌شود. آنالیز XRF برای عیارسنجی اکسید باریم انجام شد، که میزان آن به ۴۶/۴۲ درصد رسید. نمونه‌ها از رگه‌های با کانی‌سازی باریت درون توده مونزونیت پورفیری با دگرسانی آرژلیک و سیلیسی برداشت شدند. نقشه‌ی ژئوشیمیایی سه بعدی عناصر مس، طلا، نقره، سرب، روی، بیسموت و مولیبدن نیز در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند.

برداشت

در بخش شرقی کبیرکوه توده‌های نفوذی شناسایی شده با ترکیب گرانیت تا دیوریت، بیشتر به صورت استوک و دایک نفوذ کرده‌اند. گرانیتوئیدهای ترشیاری به دو سری مگنتیت (اکسایشی) و ایلمنیت (احیایی) تقسیم می‌شوند که توده‌های مولد کانی‌سازی از نوع مگنتیت بالا و اکسیدان به حساب می‌آیند و توده‌های ایلمنیت و احیایی معمولاً از نظر کانی‌سازی عقیم بوده و دگرسانی ضعیفی دارند. توده‌های نفوذی سری اکسایشی اغلب پتاسیم بالا تا شوشونیتی و از نوع شبه‌رخشان و روی کمربند منطقه فرورانشی هستند. توده‌های مونزونیت پورفیری با سن ائوسن میانی در جنوب گستره‌ای که دارای دگرسانی آرژلیک و سیلیسی هستند باعث ایجاد کانی‌سازی پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، مگنتیت، سیلیس، گالن، اسفالریت و باریت به صورت رگه و رگچه شده‌اند. رگه و رگچه‌های حاوی کانی‌سازی در برخوردگاه توده‌های نفوذی و یا در درز و شکاف‌های توده‌ها با راستای کلی شمالی-جنوبی و شیب نزدیک به قائم دیده می‌شوند. رگه و رگچه‌ها را می‌توان به دو فاز تقسیم کرد. فاز اول رگه و رگچه‌های گالن، اسفالریت و باریت به‌عنوان کانی‌های اولیه (سولفیدی) که قدیمی‌ترند و فاز دوم رگه و رگچه‌های پیریت، کالکوپیریت و

مقدار ϵNd نیز این موضوع را تأیید می‌کند. غنی‌شدگی در عناصر LREE نسبت به الگوی عناصر HREE در توده‌های نفوذی کبیرکوه و بیشتر مناطق بلوک لوت دیده می‌شود، که نشان دهنده‌ی ماگماتیسم در منطقه‌های فرورانش است. نمونه‌های کبیرکوه دارای بی‌هنجاری منفی بزرگی در عنصر Eu هستند. مقدار Eu/Eu^* کمتر از ۰/۸ نیز نشان دهنده‌ی وجود پلاژیوکلاز در خاستگاه و آلودگی با پوسته‌ی قاره‌ای احیایی است. مقدار نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه بیش از ۰/۷۰۶ و مقدار ϵNd کمتر از -۳ در توده‌های نفوذی کبیرکوه، آلودگی ماگمای پوسته‌ی قاره‌ای را تأیید می‌کند. همچنین ماگمای گرانیتوئیدی کبیرکوه از پوسته‌ی قدیمی با سن ۸۴۰ میلیون سال تشکیل شده است. نتایج پی‌جویی‌های رسوب‌های رودخانه‌ای نیز حضور بی‌هنجاری‌های عناصر مس، سرب، روی و باریم را در این بخش تأیید می‌کند. بر مبنای نتایج حاصل از پی‌جویی‌های رودخانه‌ای از سنگ‌های بالا دست، از این قسمت‌ها نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت و آنالیز شدند، که با بررسی آنها وجود بی‌هنجاری عناصر مس (۰/۳٪)، طلا (۲۶۵۷ ppb)، نقره (۱۶۰ ppm)، سرب (۰/۴٪)، روی (۲۱۵۹ ppm)، باریم (۱۴۶۶ ppm) بیسموت (۱۷۶۷ ppm) و مولیبدن (۶۶ ppm) در بخش جنوبی منطقه تأیید شد. با توجه به حضور کانی‌سازی‌های مختلف در منطقه‌ی مورد بررسی، چنین به نظر می‌رسد که منطقه از لحاظ پتانسیل‌های مختلف معدنی دارای وضعیت مناسبی است. حضور توده‌های نفوذی و ایجاد منطقه‌های دگرسان در منطقه و مشاهده‌ی کانی‌سازی‌های مختلف، خود معرف وجود پتانسیل‌های معدنی در منطقه است، که بررسی بیشتر و دقیق‌تر را طلب می‌کند.

مراجع

- [1] Stocklin J., Nabavi M.H., "Tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran", (1973).
 [2] Forster H., "Mesozoic- Cenozoic metallogenesis in Iran.geo", Sec. Lond. Vol. 135 (1978) 443-455.

کوارتز به‌عنوان کانی اولیه و کانی‌سازی کوولیت، بونریت، کالکوسیت (سولفیدی)، مالاکیت، آزوریت (اکسیدی) و اکسیدهای آهن به‌عنوان کانی‌های ثانویه. در بیشتر رگه و رگچه‌های هر دو نسل کانی‌سازی مشاهده می‌شوند. بنابراین بخش جنوبی گستره از نظر حضور کانی‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است. کانی‌های پاراژنز و رابطه‌ی آنها با یکدیگر و نیز میزان بی‌هنجاری عناصر در این منطقه، یک کانی‌سازی از نوع عملکرد شاره‌های داغ حاوی عناصر پایه یا گرمایی را نشان می‌دهد که می‌توان آن را در رده ذخایر پلی‌متال قرار داد. حضور نسبتاً بالای طلا، آرسنیک، بیسموت و نقره که از عناصر فوق کانسازی‌اند، گویای قرار داشتن در بالای یک سیستم کانی‌سازی ماگمایی هستند. حضور بالای عناصر سرب، روی و باریت نشان دهنده‌ی دما و فشار نسبتاً پایین شاره‌های داغ در زمان تشکیل گالن، اسفالریت و باریت نسبت به مرحله‌ی تشکیل کالکوپیریت و پیریت است که در مراحل بعدی و به وسیله شاره‌های با دما و فشار بالاتر، از شاره‌های حاوی این عناصر مشتق شده‌اند. تشکیل کانی‌سازی در بخش بالایی توده‌های سری اکسایشی با سن ترشیاری (اوسن میانی)، همزمان با ماگماتیسم در بلوک لوت و منطبق بر کمربند فرورانش و تشکیل کانی‌سازی وابسته به این منطقه‌ها در بخش‌های مختلف بلوک لوت است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، بازه‌ی زمانی ۴۲ تا ۳۳ میلیون سال (اوسن میانی تا اوایل الیگوسن) از نظر کانی‌سازی مهم‌ترین پنجره‌ی زمانی در شرق ایران (استان‌های خراسان جنوبی و رضوی) است [۱۵] که منطقه‌ی کبیرکوه نیز از نظر سنی و جایگاه در این بخش واقع شده است. توده‌های کبیرکوه دارای K_2O بالا و نسبت Na_2O/K_2O پایین و در نتیجه پتاسیم بالا هستند، ولی از نظر CaO و MgO دارای کمترین مقدار در مناطق بررسی شده در بلوک لوت هستند. مقدار Nb بالا (بیش از ۱۷ گرم در تن)، Rb و Ta بیشتر نسبت به Sr و پایین بودن نسبت Zr/Nb (کمتر از ۲) در توده‌های کبیرکوه نسبت به دیگر مناطق نشان دهنده‌ی آلودگی ماگما با پوسته‌ی قاره‌ای است. نتایج ایزوتوپ پایدار و

- [۳] آقابات‌ی ع.، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳)، ۶۰۶ صفحه.
- [4] Berberian M., "Against the rigidity of the Lut block, Contribution to the seismotectonics of Iran (Part III)", GSI, No. 40 (1977) 203-227.
- [۵] ملک‌زاده شفارودی آ.، "زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشأ کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویبک، استان خراسان جنوبی"، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۸) ۶۰۰ صفحه.
- [۶] عبدی م.، کریم‌پور م. ح.، زرین‌کوب و. ح.، "تفسیر نتایج آنالیز فاکتوری داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای با کمک داده‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی در منطقه کوه شاه، بیرجند، خراسان جنوبی"، فصلنامه علوم زمین، (۱۳۸۹).
- [۷] ارجمندزاده ر.، "مطالعات کانی‌سازی، ژئوشیمی، سن‌سنجی و تعیین جایگاه تکتونوماگمایی توده‌های نفوذی در اندیس معدنی ده‌سلم و چاه شلجمی، بلوک لوت، شرق ایران"، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۹۰) ۳۶۹ صفحه.
- [8] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No 51 (1983) 357-383.
- [9] Lotfi M., "Geological and geochemical investigations on the volcanogenic Cu, Pb, Zn, Sb ore- mineralizations in the Shurab-GaleChah and northwest of Khur (Lut, east of Iran)", unpublished Ph.D thesis, der Naturwissenschaften der Universitat Hamburg (1982) 151 p.
- [10] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks Chr., Baumann A., Horn P., "Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No 51 (1983) 285-336.
- [۱۱] مرادی م.، کریم‌پور م. ح.، فارمر ل.، استرن ج.، "ژئوشیمی ایزوتوپ‌های $Rb-Sr$ & $Sm-Nd$ ، سن‌سنجی زیرکون $U-Pb$ و پتروژنز باتولیت گرانودیوریتی نجم‌آباد، گناباد"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی (۱) ۴: ۱۲۷-۱۴۵.
- [۱۲] مظلومی ع.، کریم‌پور م. ح.، رسا الف.، رحیمی ب.، و ثوقی عابدینی م.، "کانسار طلای کوه‌زر تربت‌حیدریه مدل جدیدی از کانی‌سازی طلا"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۸۷) ۳۶۴-۳۷۶.
- [۱۳] کریم‌پور م. ح.، سعادت س.، ملک‌زاده شفارودی آ.، "ژئوشیمی پترولوژی و کانی‌سازی طلا- مس پورفیری تنورچه"، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۲ شماره ۳ (۱۳۸۵) ۱۷۵-۱۸۹.
- [۱۴] کریم‌پور م. ح.، سلاطی الف.، "تهیه نقشه زمین‌شناسی، اکتشافات ژئوشیمیایی و مگنتومتری در محدوده غربی کبیرکوه"، شرکت تهیه و تولید مواد اولیه فولاد خراسان (۱۳۸۹) ۱۹۷ صفحه.
- [۱۵] کریم‌پور م. ح.، ملک‌زاده آ.، ج لنگ فارمر و چالرز استرن، "پتروژنز گرانیتوئیدها، سن‌سنجی زیرکون به روش $U-Pb$ ، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های $Sr-Nd$ و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیری در بلوک لوت، شرق ایران"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۴، شماره ۱، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۹۱) ص ۲۷-۱.
- [۱۶] بلوریان غ.، صفری م.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زوزن، سازمان زمین‌شناسی استان خراسان رضوی"، (۱۳۸۴).
- [۱۷] مشاور کان ایران.، "پی‌جویی به روش اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰"، در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زوزن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۶).
- [۱۸] سازمان زمین‌شناسی استان خراسان رضوی.، "اکتشافات ژئوفیزیکی به روش $IP-RS$ در شرق کبیرکوه، برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زوزن"، سازمان زمین‌شناسی استان خراسان رضوی (۱۳۸۶).
- [19] Ishihara S., "The magnetite- series and ilmenite series granitic rocks", Mining Geology, 27 (1977) 293- 305.

[22] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey", Contributions to Mineralogy and Petrology 58 (1976) 63–81.

[23] Shand S.J., "Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits", 1969 (facs. of 3rd ed. 1947). Hafner, New York (1947) 488.

[24] Pearce J. A., Haris N. B. W., and Tindle A. G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", Jour. Of Petrology, 25, part 4 (1984) 956- 983.

[20] Ishihara S., "The granitoid series and mineralization", Economic Geology, 75th Anniversary Volume, (1981) 458- 484.

[۲۱] سلاطی ا.، کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده آ.، حیدریان م.ر.، لنگ فارمر ج.، استرن ج.، "سن‌سنجی زیرکن (U-Pb)، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و پتروژنر گرانیتوئیدهای سری اکسیدان منطقه کیبرکوه (جنوب‌غربی خواف)"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۲ (جلد ۴)، (۱۳۹۱) صفحه ۲۸۵ تا ۳۰۱.