مجله زمین‌شناسی اقتصادی
سال ۱۳۹۱، شماره ۱، (جلد ۴)
صفحه ۷۷ تا ۱۰۷

Journal of Economic Geology
2012, No. 1 (Vol. 4)
ISSN 2008-7306

زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، پتروژنز، سن‌سنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوابرد منطقه اکتشافی کوه‌شاه، جنوب‌غرب بیرجند

مریم عبدی*، محمدحسن کریم‌پور

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی ۱۴۳۶-۹۱۷۷۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۷، پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۳

چکیده

منطقه اکتشافی کوه‌شاه در کمربند ولکانو- پلوتونیکی ترشیری بلوک لوت واقع شده است. بیش از ۱۷ توده نفوذی اسیدی تا حدواسط با ترکیب دیوریت تا سینیت در منطقه شناسایی شده است. زون‌های دگرسانی هیدروترمالی مرتبط با توده‌های نفوذی شامل آرژیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک پیشرفته، سیلیسی، کوارتز- سریسیت- پیریت، گوسان و برش هیدروترمالی است که اغلب با یکدیگر تداخل کرده و این امر به همراه هوازدگی شدید، سبب پیچیدگی تفکیک زون‌های دگرسانی شده است. کانی‌سازی به شکل سولفیدی (پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت) و اکسیدهای آهن دانه‌پراکنده و رگچه‌های استوک‌ورک کوارتز- اکسیدآهن مشاهده می‌شود. توده‌های منطقه، متاآلومینوس، کالک‌آلکالن، شوشونیتی و دارای پذیرفتاری مغناطیسی بالا هستند. توده‌های نفوذی منطقه در کلاس توده‌های اکسیدان، سری مگنتیت تیپ I طبقه‌بندی می‌شوند. سن این توده‌های گرانیتوئیدی، بر مبنای سن‌سنجی U-Pb بر روی کانی زیرکن، ۰/۷±۳۹/۷ میلیون سال (ائوسن میانی) است. داده‌های رادیوایزوتوپ (نسبت‌های $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه و ε_{Nd}) و داده‌های ژئوشیمیایی پیشنهاد می‌کند که توده گرانیتوئیدی کوه‌شاه از گوشته تهی‌شده، در کمان ماگمایی مرتبط با زون فرورانش منشاء گرفته است. آنومالی ژئوشیمیایی عناصر Cu, Au, Fe, Pb, Zn, As, Sb, Mo, Bi, Hg و نیز Mn, Ba, Te, Se منطبق بر زون‌های دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت، گوسان- استوک‌ورک- برش هیدروترمالی، توده‌های سیلیسی بی‌قاعده و آرژیلیک پیشرفته هستند. آنومالی‌های ژئوفیزیکی، منطبق بر زون‌های دگرسانی هیدروترمالی و کانی‌سازی است که نتایج و تفاسیر آنها الگویی پیچیده از مناطقی نیمه‌مدور تا بیضوی در جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب را مشخص می‌سازد. این شواهد، مشابه با مناطق دیگر شناسایی شده سیستم مس- طلا پورفیری و اپی‌ترمال طلا در ایران و جهان است.

واژه‌های کلیدی: *پورفیری مس- طلا، ائوسن میانی، لوت، کوه‌شاه، ایران.*

مقدمه

منطقه کوه‌شاه در جنوب‌غرب شهر بیرجند، در برگه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند [۱] و ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران [۲] و در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰ شیخ‌آباد قرار می‌گیرد. بر اساس آخرین تقسیمات ساختمانی- رسوبی ایران [۳] منطقه کوه‌شاه در شرق خرد قاره ایران مرکزی و در شرق مرکز بلوک لوت و در نزدیکی محل اتصال این بلوک با حوضه فلیشی نهبندان- خاش یا زمین‌درز سیستان واقع است. منطقه شیخ‌آباد در حاشیه جنوبی زون افیولیتی کمانی‌شکل جنوب‌غرب بیرجند قرار دارد که شامل گستره‌ای از سنگهای ولکانیکی، به‌همراه توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق است. در این ناحیه کانه‌زایی‌های متعددی گزارش شده است، که از مهمترین آنها می‌توان به کانسار مس- طلا پورفیری ماهرآباد در غرب و خوپیک در جنوب‌غرب منطقه مورد مطالعه اشاره کرد [۴]. در نقشه‌های زمین‌شناسی پیشین (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰)، توده‌های نفوذی در منطقه مشخص نشده است و بخشهایی از زون‌های آلتراسیونی، توف مارنی تصور شده‌اند، اما بررسیهای انجام شده در راستای تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ شیخ‌آباد مشخص کرد که منطقه کوه‌شاه از نظر زمین‌شناسی و لیتولوژیکی شامل واحدهای سنگی رسوبی- آورای، سنگهای ولکانیکی حدواسط و فعالیتهای ماگمایی از نوع توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق متعدد

*مسؤول مکاتبات: abdi.geology@yahoo.com

است. در مطالعات ژئوشیمیایی قبلی منطقه عمده بررسیهای اکتشافی قبلی در منطقه محدود به روش ژئوشیمی رسوبات آب‌راههای (نمونه‌های سیلت) بوده است که در این پژوهش با توسعه نمونه‌های سنگی این نقص برطرف شده است. هدف از این پژوهش تکمیل مطالعات قبلی و تولید داده‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانه‌زایی، پترولوژی، سن‌سنجی و ژئوشیمی دقیق در مقیاس مناسب و نیز تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوابرد با مجموعه داده‌های تولید شده و تحلیل سیستم کانه‌زایی در منطقه است.

روش مطالعه

فعالیتهای صورت گرفته بر مبنای مشاهدات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و تجزیه نمونه‌هاست که شامل:

۱) پردازش داده‌های ماهواره‌ای Aster به روش SAM، به منظور شناسایی و تفکیک کانیهای شاخص زون‌های آلتراسیون

۲) برداشت، تهیه و مطالعه بیش از ۱۴۶ مقطع نازک به منظور مطالعات پتروگرافی و آلتراسیون و ۴۴ مقطع نازک- صیقلی برای مطالعات کانه‌زایی-آلتراسیون.

۳) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانه‌زایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۱۷۲ کیلومتر مربع در برگه شیخ‌آباد.

۴) اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی برای واحدهای سنگی منطقه.

۵) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانه‌زایی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در وسعت ۸۱ کیلومتر مربع با تأکید ویژه بر شناسایی محدوده اصلی آلتراسیون-کانی‌سازی کوه‌شاه.

۶) برداشت ساختارهای منطقه و تهیه نقشه گسلها و نقشه تراکم رگه‌چه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰.

۷) آنالیز عناصر اصلی توسط دستگاه XRF دانشگاه فردوسی مشهد، برای ۲۸ نمونه از توده‌های اسیدی و حدواسط منطقه با کمترین اثر آلتراسیون‌های تأخیری.

۸) از نمونه‌های فوق، تعداد ۲۰ نمونه، به منظور آنالیز عناصر کمیاب و نادر خاکی به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شد و به روش ICP-MS با حلال لیتیوم متابورات/تترابورات و اسید نیتریک مورد تجزیه قرار گرفت.

۹) جداسازی کانی زیرکان از دو نمونه از توده‌های اسیدی و حدواسط منطقه برای تعیین سن و ارسال به مرکز Laser Chron آریزونا در دانشگاه آریزونا و انجام آنالیز به روش Laser-Ablation multi collector ICP-MS.

۱۰) تجزیه ایزوتوپ‌های رادیوژنیک Rb-Sr و Sm-Nd دو نمونه فوق، توسط دستگاه 6-collector Finnigan MAT 261 Thermal Ionization Mass Spectrometer در دانشگاه کلرادوی آمریکا.

۱۱) بررسی نتایج مطالعات ژئوشیمیایی قبلی بر روی اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در گستره برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ مختاران و اکتشافات نیمه تفصیلی در گستره برگه ۱:۲۵۰۰۰ شیخ آباد و پردازش مجدد داده‌های خام به روش آنالیز فاکتوری در گستره منطقه مورد مطالعه.

۱۲) برداشت، آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی به تفکیک ۵۰ نمونه سنگی (برداشت به روش خرده سنگی) و ۲۰ نمونه رسوب آب‌راهه‌ای، به روش ICP-MS با حلال تیزاب سلطانی (Aqua Regia) برای ۳۷ عنصر در آزمایشگاه ACME کانادا.

۱۳) برداشت ۶ نمونه کانی سنگین و آماده‌سازی، بررسی و مطالعه آنها در آزمایشگاه کانی سنگین سازمان زمین‌شناسی کشور.

۱۴) گردآوری داده‌های ژئوفیزیک هوابرد منطقه (مغناطیس‌سنجی، الکترومغناطیس و رادیومتری با ارتفاع پرواز بین ۵۰ تا ۸۰ متر از سطح زمین که به صورت Drape (هماهنگ با توپوگرافی)، فاصله خطوط پرواز ۲۵۰ متر، فاصله Tie Line ها ۳۰۰۰ متر و در راستای۱۵ درجه نسبت به شمال بوده است و ترسیم نقشه‌های شدت کل میدان مغناطیسی، برگردان به قطب، مشتق قائم اول، ادامه فراسو ۱۰۰-۳۰۰-۵۰۰ متر، رادیومتری Th، U، K ، سه‌گانه K-Th-U (d)، نسبت Th/K و مقاومت‌سنجی در نرم‌افزار Geosoft.

زمین شناسی

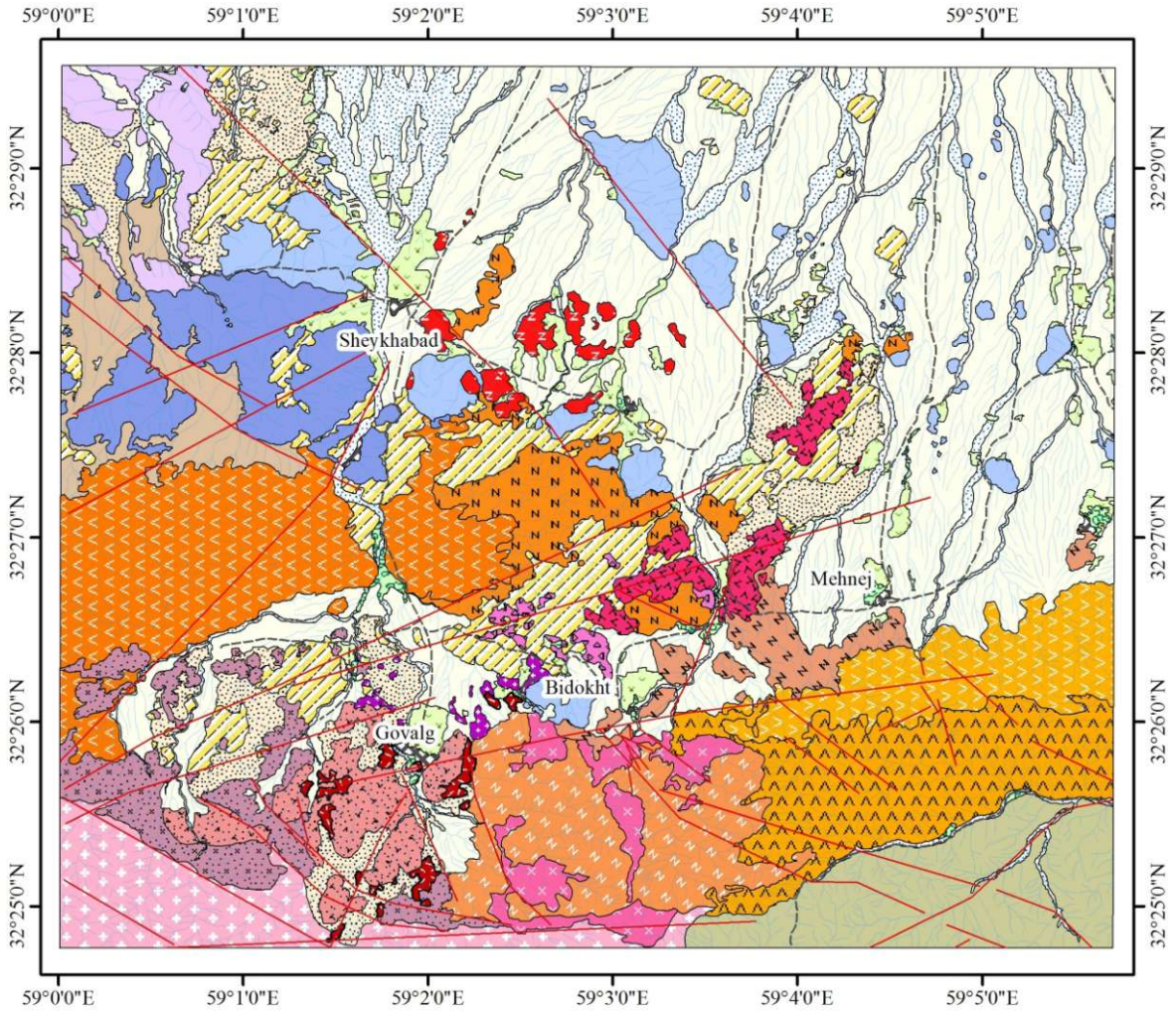
بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند [۱] و ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران [۲] این منطقه مجموعه‌ای از سنگهای ولکانیکی، آذرآواری و توف مارنی است. با تأکید بر روی محدوده اصلی آلتراسیون-کانی‌سازی کوه‌شاه و به‌منظور

تفکیک بیشتر توده‌های نفوذی منطقه، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شد (شکل ۱). واحدهای سنگی منطقه به چهار گروه قابل تقسیم‌بندی هستند: ۱) سنگهای رسوبی- آواری با سن قبل از ائوسن میانی، ۲) واحدهای ولکانیکی حدواسط- بازیک که بر روی تشکیلات رسوبی- آواری قرار می‌گیرند و توده‌های نیمه‌عمیق ائوسن میانی در آنها نفوذ کرده و آنها را آلتره نموده‌اند. یک کنگلومرای کرم‌رنگ با قطعات ولکانیکی- نفوذی، این واحدها را می‌پوشاند ۳) توده‌های نیمه‌عمیق حدواسط با سن ائوسن میانی که بر اساس مشخصات صحرایی و میکروسکپی (ترکیب سنگی، فراوانی و نوع فنوکرسیت‌ها، زمینه، نوع و میزان کانیهای مافیک و غیره) و نفوذ در یکدیگر، به بیش از ۱۷ توده مختلف قابل تفکیک هستند، ۴) تراس‌های آبرفتی متعدد، رسوبات مخروط افکنه‌ای، دشت سیلابی و رسوبات رودخانه‌ای عهدحاضر (شکل ۱). توده‌های نیمه‌عمیق منطقه کوه‌شاه طیف سنگی بین دیوریت تا مونزونیت و گاه سینیت دارند که بافت اغلب آنها پورفیری با زمینه ریز تا متوسط دانه است و گاه بافت گرانولار دارند. این توده‌ها به‌شکل استوک‌های بزرگ و کوچک، آپوفیز و دایک در یکدیگر نفوذ کرده‌اند که در ارتباط با کانه‌زایی منطقه، به سه دسته زیر قابل تفکیک هستند: توده‌های نیمه‌عمیق پیش از کانی‌سازی: این توده‌ها در میانه منطقه کوه‌شاه با گستره شرقی- غربی- جنوب‌غربی مشاهده می‌شوند. اغلب ترکیب سنگی دیوریت، گرانودیوریت، مونزونیت و سینیت دارند که دگرسانی ضعیف تا پروپلیتیک، با توجه به فاصله از مرکز کانی‌سازی نشان می‌دهند. توده‌های نیمه‌عمیق مرتبط با کانی‌سازی: توده‌های نیمه‌عمق واجد کانی‌سازی و فازهای تأخیری کانی‌سازی، در بخش شمال‌غربی و غرب مرکز نقشه در توده‌های پیش از کانی‌سازی و واحدهای ولکانیکی نفوذ کرده‌اند. این توده‌ها طیف سنگی مونزونیت، کوارتز مونزونیت، مونزودیوریت و دیوریت دارند که بیشتر آنها دگرسانیهای متعدد دارند و مقادیر مختلفی از کانی‌سازی نشان می‌دهند. توده‌های نیمه‌عمیق و دایک‌های پس از کانی‌سازی: این توده‌ها به شکل آپوفیزها و دایک‌هایی در توده‌های واجد کانی‌سازی و توده‌های پیش از کانی‌سازی نفوذ کرده‌اند. توده‌های پس از کانی‌سازی تازه و فاقد دگرسانی هستند.

آلتراسیون

بررسی آلتراسیون در منطقه شامل دو بخش بوده که در بخش اول، مطالعات دورسنجی برای شناسایی زون‌های آلتراسیونی، پیش از کار صحرایی صورت گرفته و در بخش بعدی مطالعات صحرایی و میکروسکپی صورت گرفته است. مطالعات دورسنجی، بکارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی زون‌های آلتراسیونی و گستره استفاده از این روش در اکتشاف کانسارهای مختلفی از جمله پورفیری و اپی‌ترمال، نشانه‌ای از موثر واقع شدن آن، در این امر می‌باشد [۵]. بررسیهای دورسنجی در این منطقه به کمک داده‌های ماهواره ASTER، انجام گرفت. برای پردازش این تصاویر از روش تفکیک SAM (Spectral Angle Mapper)، استفاده شده است. کانیهای شناسایی شده از نتایج این بررسی شامل: سیلیس، سرسیت، آلونیت، کائولینیت، مونتموریونیت، ایلیت، پیروفیلیت، دیکیت، لیمونیت، ژاروسیت، گوتیت، اپیدوت، کلریت و زوئزیت و ژیپس است. شدت و گستره پراکندگی این کانیها، منجر به شناسایی و تفکیک آلتراسیون‌های مختلف شده است (شکل ۲ a و b). کانیهای اپیدوت، کلریت و زوئزیت که مشخصه آلتراسیون پروپلیتیک هستند، در این پردازش، شناسایی نشدند. علت این امر مطابق داده‌های صحرایی و مطالعات پتروگرافی-آلتراسیون، تداخل آلتراسیون آرژیلیک اولیه و همچنین هوازدگی شدید بر روی آلتراسیون پروپلیتیک است که به نمایش این آلتراسیون به شکل زون‌های کلریتی- آرژیلی- کلسیت (به ندرت اپیدت- زوئزیت) منجر شده است. مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مشخص ساخت که واحدهای ولکانیکی شمال- شمال‌غرب منطقه و برخی توده‌های ساب ولکانیک موجود در این محدوده، تحت تأثیر فرآیند آلتراسیون هیدروترمالی قرار گرفته و دگرسان شده‌اند. از جمله دگرسانیهای منطقه می‌توان به دگرسانیهای زیر اشاره نمود (شکل ۳).

پروپلیتیک: آلتراسیون پروپلیتیک بر حسب شدت و نوع کانیهای دگرسانی خود به دو بخش شدید و متوسط تقسیم می‌شود. آلتراسیون پروپلیتیک شدید در بخشهای میانی و غربی منطقه با عرضی در حدود ۱/۵ کیلومتر، گستره بالایی دارد و متشکل از کانیهای کلریت، کلسیت، اپیدوت، کلینوزوئزیت و رگه‌چه‌های اپیدوت که در زمینه و فنوکریست های مافیک و بخشی از بلورهای فلدسپات مشاهده می‌شود.



LITHOLOGY

QUATERNARY
- Alluvial channels deposits, wadi fluvial deposits
- Recent alluvial fan, debris flow, stream channel deposits and flood plain
- Old alluvium terrace and old gravel fan

TERTIARY
- Conglomerate with volcanic-intrusive fragments
- Bio-Cpx-Hbl quartz andesite to latite porphyry
- Silver-gray Cpx-Hbl latite porphyry
- Hbl-Cpx-Bio basalt to andesite porphyry
- Conglomerates and breccia with volcanic fragments (volcanic epiclastics)

SYMBOLS
- Village
- Cultivation
- Vegetation
- Drainage
- Fault
- Third class road

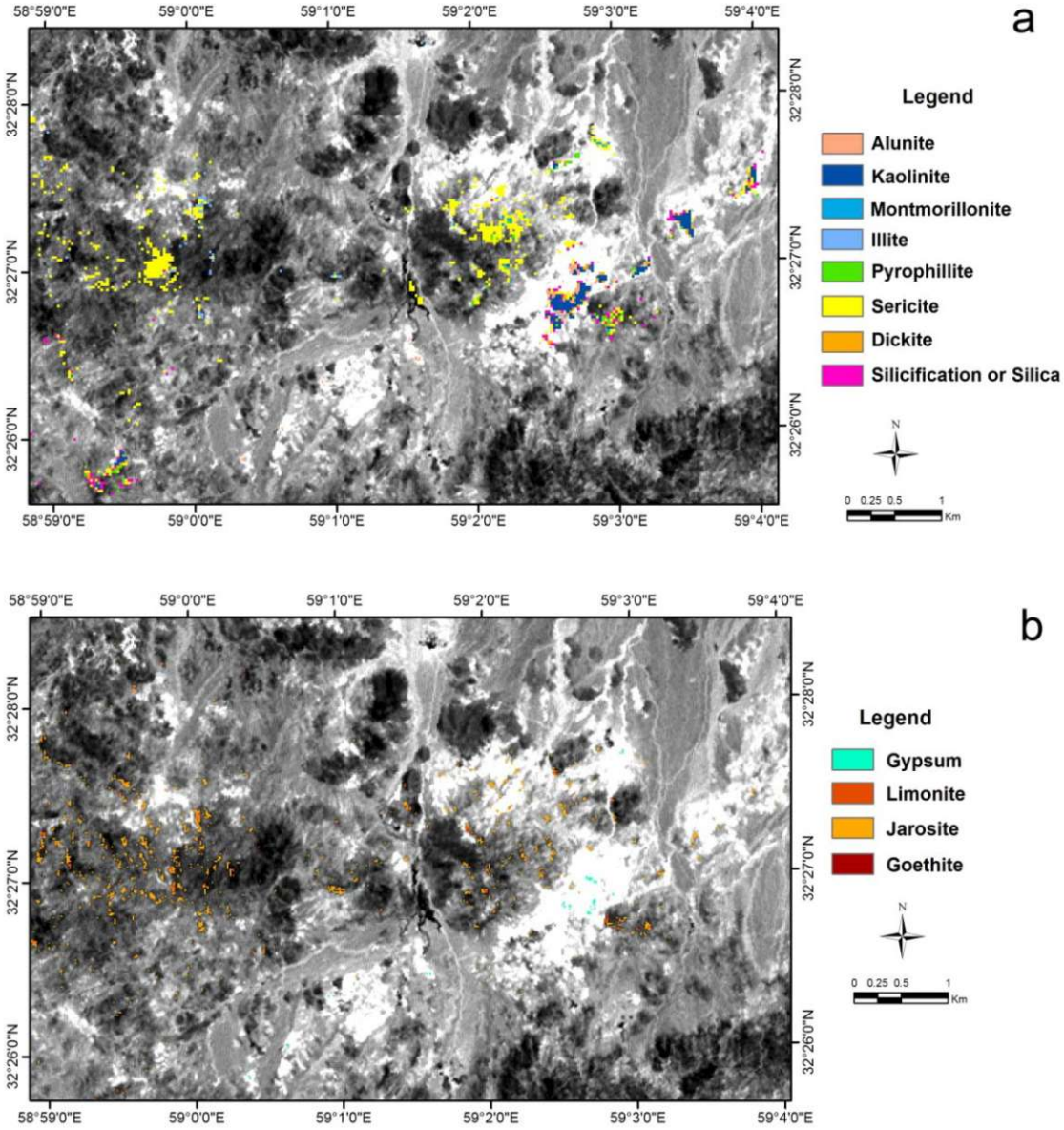
TERTIARY INTRUSIVE ROCKS
- Cpx diorite (gabbro diorite) porphyry
- Hbl-Bio-Cpx monzonite porphyry
- Hbl-Bio-Cpx quartz syenite to quartz monzonite porphyry
- Hbl-Bio-Cpx quartz monzonite to monzonite porphyry
- Hbl-Bio-Cpx quartz diorite porphyry
- Hbl-Cpx-Bio monzonite porphyry
- Bio-Cpx-Hbl quartz monzodiorite porphyry to monzonite porphyry
- Bio-Hbl-Cpx quartz monzonite porphyry, Bio-Cpx quartz monzonite porphyry
- Hbl-bio-Cpx quartz monzodiorite to quartz diorite porphyry
- Cpx-Hbl quartz monzonite porphyry
- Hbl-Cpx quartz diorite to quartz monzonite porphyry
- Bio-Cpx granodiorite to quartz diorite porphyry
- Hbl-Cpx monzonite to monzosyenite porphyry
- Bio-Cpx quartz monzonite porphyry
- Cpx-bio quartz monzonite porphyry to monzonite porphyry

- Undifferentiated highly altered porphyritic rocks

N

0 0.5 1 2 Km

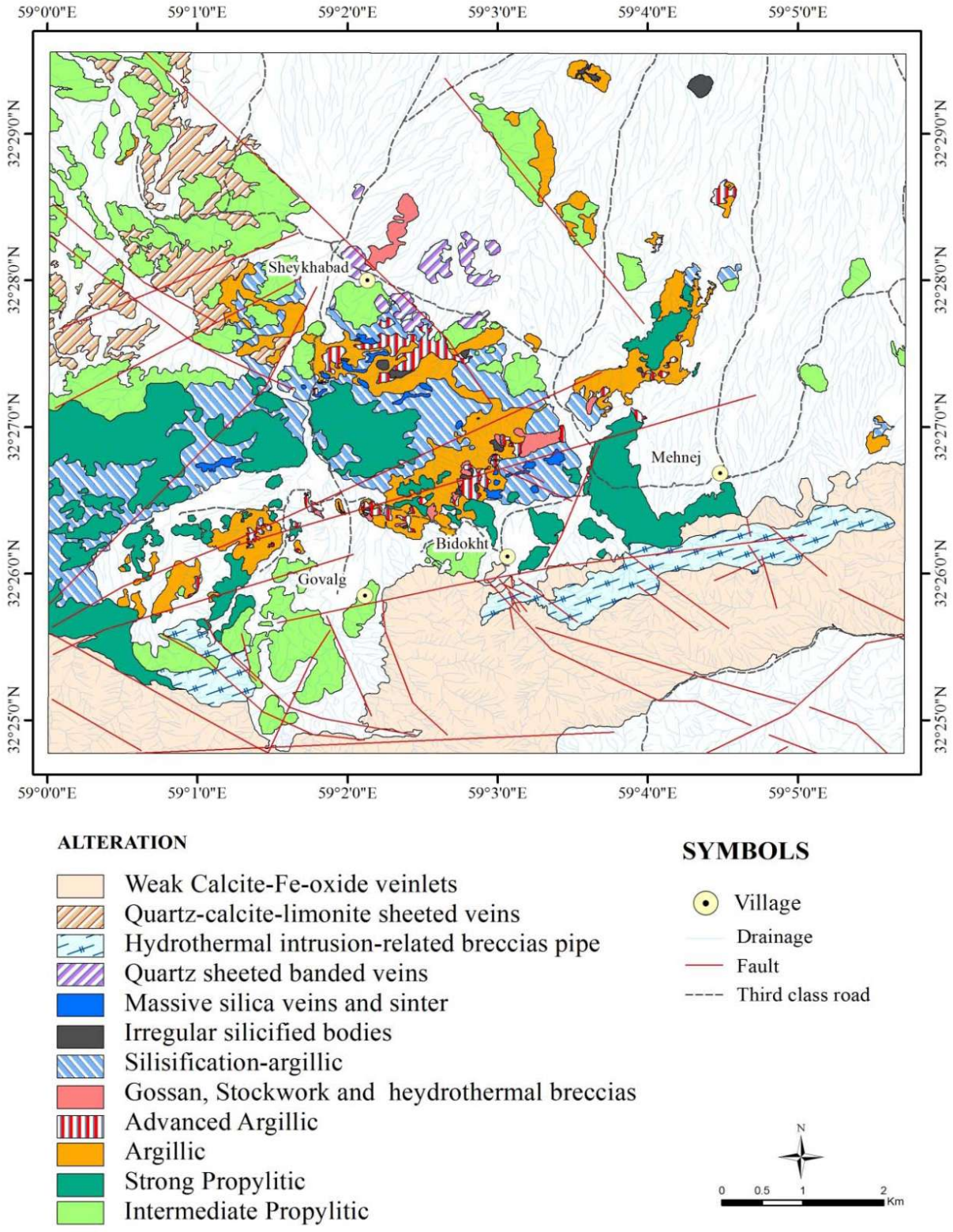
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی کوه‌شاه.



شکل ۲. نتایج اجرای روش SAM برای زون‌های سریسیتیک، آرژیلیک (a) وکانیهای ثانویه(b)، نمایش روی باند ۱.

آلتراسیون پروپلیتیک متوسط در شمال‌غربی منطقه گسترش فراوانی دارد و در بخشهای میانه و شمال منطقه نیز مشاهده می‌شود. مجموعه کانیهای دگرسانی این زون به‌ترتیب شدت شامل: کلسیت، کلریت، آلبیت، کانیهای رسی، به طور محلی سرسیت، پیریت و اکسیدهای آهن است.

آرژیلیک: این زون به‌علت شدت بالای کانیهای رسی با تخریب بافتی همراه است و گستره وسیعی (به عرض حدود ۴۵۰ متر) از نقاط کم ارتفاع و تپه ماهوری را شامل می‌شود. کانیهای رسی ریز بلور، عمده محصول دگرسانی هستند. از دیگر کانیهای دگرسانی این زون می‌توان از مقادیر متوسط تا کم سیلیس، سریسیت، سولفید و زون‌های اسیدشویی نام برد. همچنین رگه‌چه‌های کم عرض لیمونیت، ژاروسیت و سیلیس در این زون مشاهده می‌شود. در بررسی مقاطع نازک این زون در برخی محدوده‌ها، مناطق کانیهای کلریت و اپیدوت با شدت کم مشخص شد که می‌تواند نشانه‌ای از تداخل (overprint) این زون دگرسانی با زون پروپلیتیک باشد. همچنین هوازدگی سوپرژن سبب شدت کانیهای رسی و تشکیل کانیهای لیمونیت و ژیپس شده است.



شکل ۳. نقشه آلتراسیون تهیه شده از منطقه مورد مطالعه بر مبنای مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی.

آرژیلیک پیشرفته: زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته که در بالای دگرسانی آرژیلیک قرار دارد، ارتفاع ساز و شامل کانیهای رسی به ویژه کائولینیت و بخشهای سیلیسی، سریسیتی، سولفید اکسیده، لیمونیت و ژاروسیت است. در برخی مناطق

زون‌های باریکی از کائولینیت نسبتا خالص وجود دارد. رگه‌چه‌های استوک‌ورک از لیمونیت، ژاروسیت و سیلیس در این زون مشاهده می‌شود.

گوسان: در مرتفع‌ترین بخش زون آرژیلیک پیشرفته، زون‌های قرمز تیره تا قهوه‌ای رنگ به‌همراه دو نوع رگچه استوک‌ورک کوارتزی به همراه پاراژنز لیمونیت- ژاروسیت± گوتیت مشاهده می‌شود که موجب تشکیل کلاهک‌های گوسان شده است.

سیلیسی: سیلیسی شدن بر حسب شدت به چند حالت مشاهده می‌شود که شامل: توده‌های سیلیسی بی‌قاعده (irregular silicified bodies)، سینترهای سیلیسی (silica sinter) و رگه‌های سیلیس توده‌ای (massive silica vein) و همچنین زون‌های محدود کوارتز حفره‌دار- آلونیت- ژاسپروئید است. توده‌های سیلیسی بی‌قاعده به صورت زون‌ها و کپ‌های شدیداً سیلیسی کریپتوکریستالین تا دانه‌ریز خاکستری تیره یا سیاه (و گاه حفره‌دار) در سطح رخنمون، با مقادیر مختلفی سولفید دانه‌ریز پراکنده و رگچه‌های سولفیدی با عرض کم، که گاه ظاهری الوان (پرطاووسی) به آنها داده است، زون‌های باقی مانده ۱۰ تا ۵۰ متری پراکنده در میان زون‌های آلتراسیون آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک، مشاهده می‌شود. سیلیس دانه‌ریز سفید- خاکستری روشن به‌صورت سینترهای سیلیسی (با شبکه‌های تغذیه کننده) و رگه‌های توده‌ای با دو روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی (90,N80) و شمال‌غربی-جنوب‌شرقی (90,N300)، هم روند با گسلهای اصلی امتدادلغز چپ‌بر و راست‌بر منطقه، در مرکز و غرب منطقه گسترش دارد که حاوی سولفیدهای ریز دانه پراکنده و رگه‌چه‌ای و درزه‌های لیمونیت- ژاروسیت-گوتیت است و با توپوگرافی برجسته و مقادیری برش گسلی و دگرسانی رسی- سیلیسی در حاشیه، مشخص می‌شود. سیلیس دانه‌ریز شیری با حفرات بسیار کوچک (vuggy quartz) به همراه رگچه‌ها و باندهای آلونیت صورتی‌رنگ و ژاسپروئید به صورت محدود در برخی مناطق در مجاورت زون آرژیلیک پیشرفته مشاهده می‌شود. همچنین رگه‌چه‌های صفحه‌ای نواری (sheeted banded) کوارتز خاکستری- شیری با بافت شانه‌ای (comb)، در توده هورنبلند- بیوتیت-کلینوپیروکسن کوارتز مونزونیت پورفیری مشاهده می‌شود.

برش هیدروترمالی: به طور محدود اما پر اهمیت، برش هیدروترمالی با بافت خرد شده موزاییکی در همراهی با زون‌های گوسان و کوارتز حفره‌دار- آلونیت- ژاسپروئید مشاهده می‌شود. مطالعه این برش‌های هیدروترمالی مشخص ساخت که آنها از نوع ماتریکس غالب (matrix-supported) و شامل قطعات چند منشأای نیمه‌زاویه‌دار سنگهای پورفیری آلتره (سیلیسی، آرژیلیک، کوارتز-کانی رسی-پیریت) در ماتریکس کوارتز (سیلیس دانه‌ریز)- هماتیت- لیمونیت (پیریت) هستند.

کوارتز- سرسیت- پیریت (لیمونیت): در بخشهایی از دگرسانی آرژیلیک، به طور محدود دگرسانی کوارتز- سرسیت- پیریت (لیمونیت) مشاهده می‌شود (در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ قابل نمایش نیستند) که واجد پیریت‌های اکسیده و یا لیمونیت‌های پراکنده و ریز بلور و سیلیس و سرسیت فراگیر است که رگه‌چه‌های ظریفی از کوارتز ریز بلور- سولفید اکسیده آن را قطع می‌نمایند. همچنین اسیدشویی گاه سبب ایجاد حفرات شسته شده با حاشیه سرسیت در زمینه سیلیسی- سرسیتی شده است. از دیگر دگرسانیهای مشاهده شده در این منطقه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

رگه‌های موازی کوارتز-کلسیت-لیمونیت (پیریت) صفحه‌ای (epithermal quartz-calcite-limonite sheeted veins): این رگه‌ها در توده‌های نیمه‌عمیق و ولکانیک‌های با دگرسانی پروپلیتیک با شدت متوسط در زون‌هایی به عرض ۰/۵ تا ۱۵ متر، با تناوبی از کوارتز شیری- خاکستری± کلسدونی± اپال(±آدولاریا؟) به‌شکل نواری و گاه کلوفورم (با عرض کمتر از ۱ تا بیش از ۴۰ سانتی متر و در حدود ۱ تا بیش از ۲۰ عدد در متر) مشاهده می‌شود.

تنوره های برشی هیدروترمالی نفوذی (hydrothermal intrusion-related breccias pipe): تنوره‌های برشی در امتداد گسلهای اصلی مورب‌لغز (معکوس و امتدادلغز چپ‌بر) منطقه با روند 90,N80، به‌طول چند ۱۰ تا چند ۱۰۰ متر و در عرض ۱cm-۳m< و متوسط ۱۰ سانتی‌متر، با فواصل متعدد از کمتر از ۱ عدد در یک متر با عرض زیاد و تا ۸۰ عدد در ۱ متر با عرض کم، گسترش دارند و به صورت زون‌های خطی و موازی، توده‌های پیش از کانی‌سازی را قطع می‌نمایند.

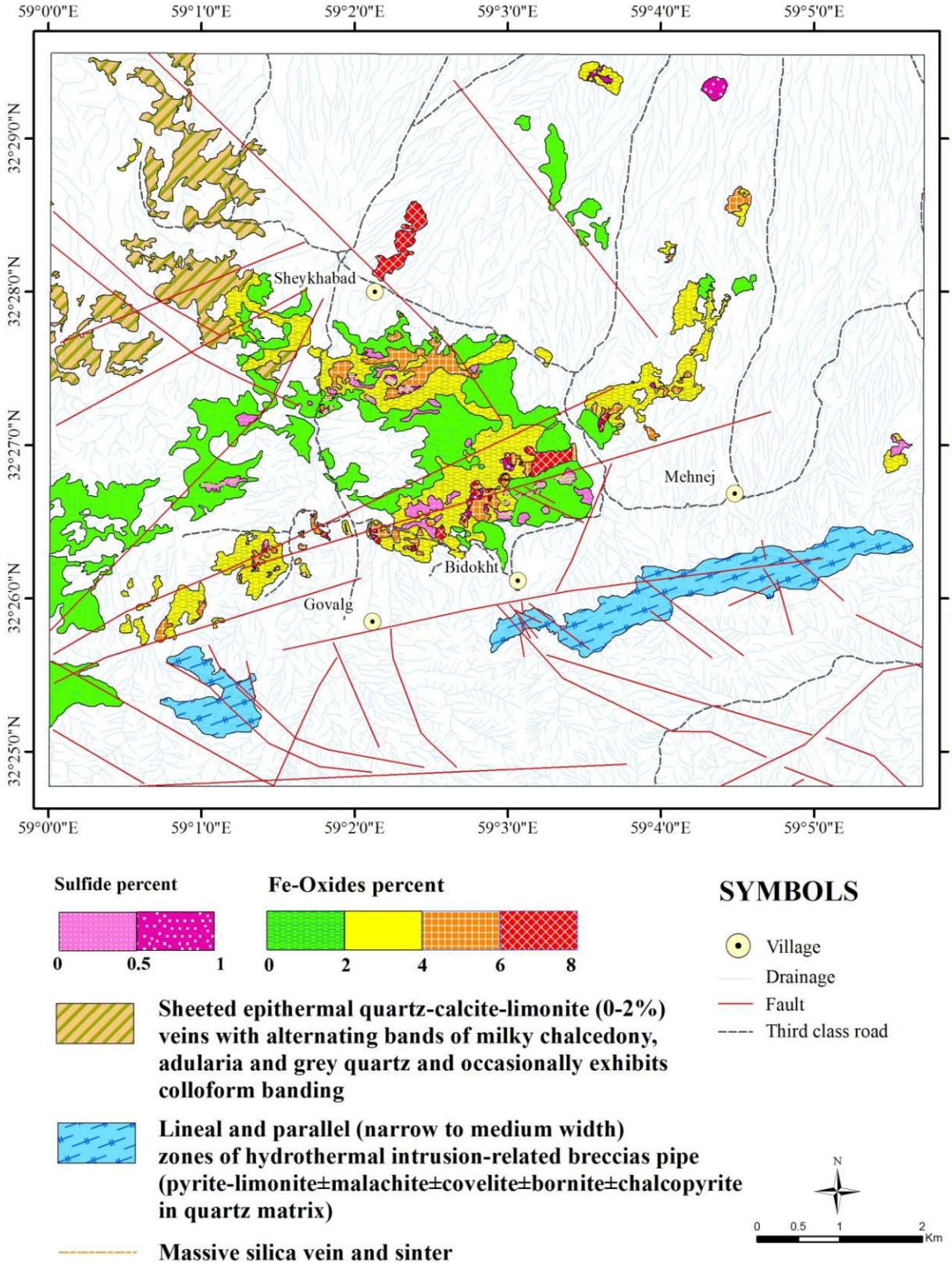
این زون‌ها حاوی کانی‌سازی سولفیدی در ماتریکس کوارتزی-کلسیت و با قطعات زاویه‌دار از سنگهای پورفیری و سنگ دیواره است.

رگه‌چه‌های تأخیری کلسیت-اکسیدآهن: این رگه‌چه‌ها با تراکم کمتر از ۱ تا ۳ عدد در یک متر و عرض ۱ تا چند میلی متر، عمده سنگها و توده‌های نفوذی منطقه را قطع نموده‌اند.آلتراسیون در این محدوده در ارتباط با توده نفوذی نیمه‌عمق متعدد با نفوذهای تلسکوپی در یکدیگر می‌باشد که در این منطقه، گستره زیادی را به خود اختصاص داده‌اند و مسبب تنوع و تداخل زون‌های دگرسانی بر روی یکدیگر هستند. همچنین هوازدگی شدید در این منطقه، زون‌های دگرسانی اولیه را متأثر ساخته و موجب تشدید یا تبدیل دگرسانی به آرژیلیک سوپرژن، شده است. روابط صحرایی و بررسیهای آزمایشگاهی نشان می‌دهد که قدیمی‌ترین آلتراسیون و کانه‌زایی در منطقه، زون کوارتز- سرسیت- پیریت (لیمونیت) است. سپس بین دو زون کوارتز- سرسیت- پیریت (لیمونیت) و پروپلیتیک، به‌ترتیب زون‌های آرژیلیک، سیلیسی- آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، گوسان، برش هیدروترمالی و سیلیسی تشکیل شده‌اند که مشابه با کلاهک سنگی ارائه شده برای سیستمهای پورفیری شناخته شده است [۶ تا ۸]. دگرسانی رگه‌های موازی کوارتز-کلسیت- لیمونیت (پیریت) صفحه‌ای و رگه‌چه‌های تأخیری کلسیت- اکسیدآهن پس از آن تشکیل شده‌اند. در نهایت تنوره‌های برشی هیدروترمال- نفوذی، توده‌های نفوذی پیش از کانه‌زایی را قطع نموده‌اند.

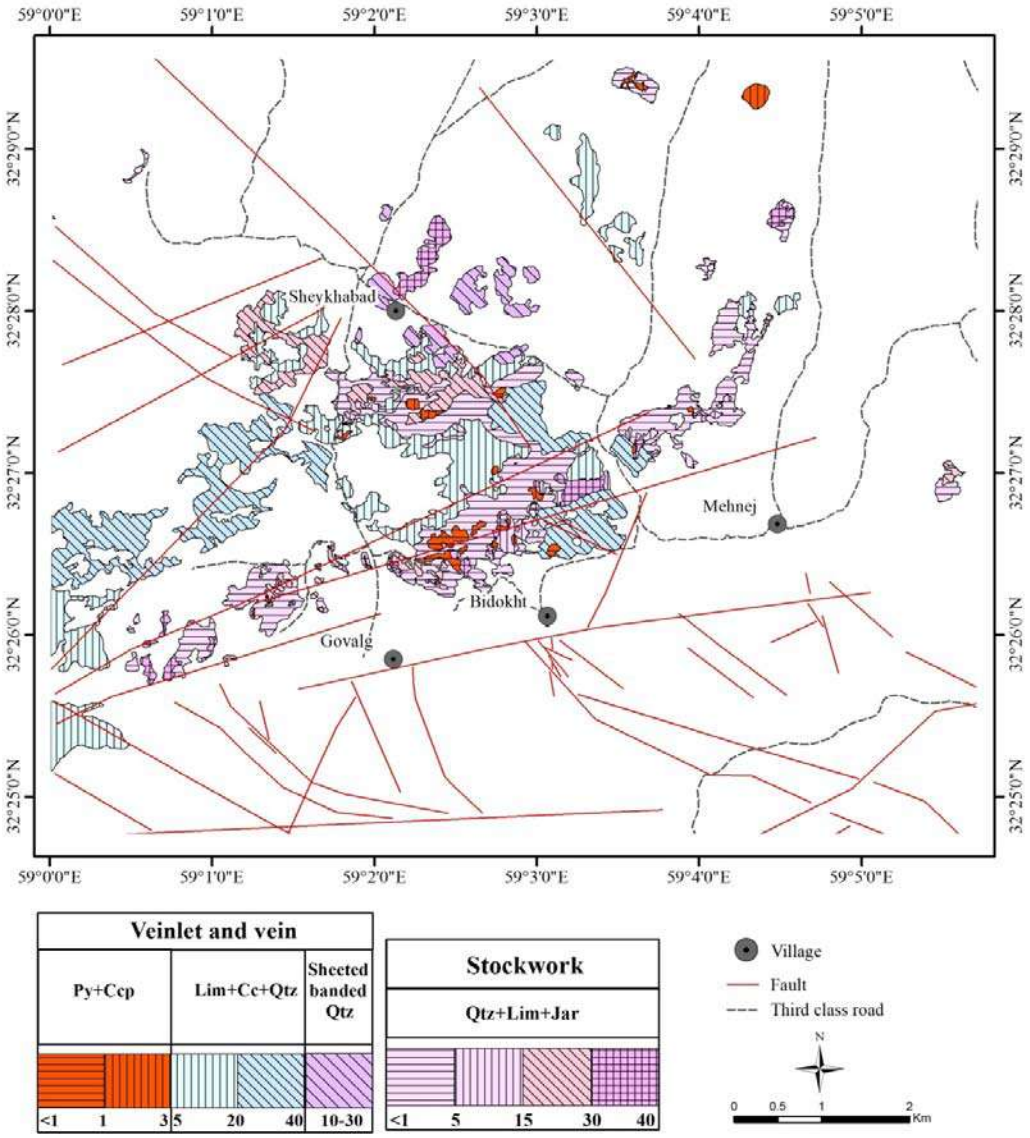
کانه‌زایی

در این منطقه کانی‌سازی به اشکال سولفیدی، اکسیدهای‌آهن، رگه‌های موازی کوارتز-کلسیت- لیمونیت (پیریت) صفحه‌ای و تنوره‌های برشی هیدروترمال- نفوذی مشاهده می‌شود (شکل ۴). کانی‌سازی سولفیدی اولیه شامل پیریت و مقدار جزئی کالکوپیریت هستند که به شکل دانه‌پراکنده در متن سنگ، در رگه‌چه‌ها و در ماتریکس برش هیدروترمالی تشکیل شده است. سولفیدهای اولیه دانه‌پراکنده به‌صورت بلورهای کوچک (۱۰۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر) تا ۱ درصد، منطبق بر آلتراسیون‌های زون کوارتز- سرسیت- پیریت و توده‌های سیلیسی بی‌قاعده، و تا ۰/۵ درصد منطبق بر رگه‌های سیلیس توده‌ای و گاه پروپلیتیک مشاهده می‌شود (شکل ۴). به‌علاوه زون‌های آلتراسیون پروپلیتیک، سیلیسی- آرژیلیک و آرژیلیک نیز حاوی حدود ۰/۲ درصد پیریت پراکنده هستند. به‌دلیل شدت زیاد اکسیداسیون در منطقه، عمده کانی‌سازی سولفیدی به اکسیدهای آهن ثانویه از جمله: گوتیت، هماتیت، لیمونیت و ژاروسیت اکسیده شده است و آثار کانی‌سازی مس به ندرت مشاهده می‌شود. به همین منظور در نقشه کانی‌سازی شکل (۴)، توزیع اکسیدآهن در سطح که میزان آن در زون‌های آلتره بین ۰ تا ۸ درصد متغیر است، به عنوان معرف برای پی‌جویی کانی‌سازی سولفیدی آورده شده است. بیشترین میزان توزیع اکسیدآهن منطبق بر کلاهکهای گوسان (گاه تا ۱۰ درصد)، در بخش استوک‌ورک لیمونیت- ژاروسیت و آلتراسیون آرژیلیک پیشرفته (۴ تا ۶ درصد) و آرژیلیک (تا ۴ درصد) است و کمترین میزان آن در زون سیلیسی- آرژیلیک (تا ۲ درصد) مشاهده می‌شود. در بخش گوسان تنها رگه‌چه‌های کوارتزی به شکل دیواره‌هایی با بافت جعبه‌ای یافت می‌شوند. تنوره‌های برشی هیدروترمال- نفوذی حاوی کانی‌سازی پیریت- لیمونیت± مالاکیت± کوولیت± بورنیت± کالکوپیریت در ماتریکس سیلیسی-کلسیت است که نشانه‌ای از حضور مس، در منطقه می‌باشد. این برش‌ها حاوی قطعات زاویه‌دار در ابعاد چند میلی متر تا ۳۰ سانتی متر از توده‌های نفوذی، سنگ دیواره و رگه‌چه‌های کوارتز- سولفید است. پیریت در این بخش به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و به صورت متغیر در ابعاد ۲۰۰ میکرون تا چند میلی متر مشاهده می‌شود. با توجه به این که قسمت عمده‌ای از کانی‌سازی در بخش اکسیدآهن و بخشی از کانی‌سازی سولفیدی به شکل رگه‌چه‌ای و استوک‌ورک است، توزیع و فراوانی انواع رگه‌چه‌های موجود در منطقه برداشت و نقشه تراکم رگه‌چه‌ها به تفکیک نوع و پاراژنز کانی‌سازی رگه‌چه تهیه شد (شکل ۵). رگه‌چه‌های موجود در منطقه در دو گروه قابل بررسی اند:

الف) رگه‌چه‌های استوک‌ورکی کوارتز- لیمونیت- ژاروسیت با عرض ۲ تا ۱۰ میلی‌متر که بافتهای پرکننده فضای خالی، هم رشدی، کلوفورمی و گاه ریتمیک نشان می‌دهند. بر حسب تراکم رگه‌چه، این استوک‌ورک‌ها به ۴ زیر گروه (با تراکم رگه‌چه ۵-۱<، ۱۵-۵، ۳۰-۱۵ و۴۰-۳۰ عدد در ۱ متر) طبقه‌بندی می‌شوند. این رگه‌چه‌ها با بالاترین تراکم را در روی سطح رخنمون، به‌خوبی مشخص هستند و عمدتاً در آلتراسیون‌های گوسان، برش هیدروترمالی، آرژیلیک پیشرفته و با تراکم کمتر در زون آرژیلیک مشاهده می‌شوند.



شکل ۴. نقشه کانی‌سازی محدوده مطالعاتی کوه‌شاه.



شکل ۵. نقشه تراکم رگه‌چه در محدوده اکتشافی کوه‌شاه.

ب) رگه‌چه و رگه که بر حسب تنوع کانی‌شناسی به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند: ۱) پیریت- کالکوپیریت با عرض در حدود ۱ میلی‌متر و با بافت پرکننده فضای خالی، با دو تراکم ۳-۱ عدد و کمتر از ۱ عدد در ۱ متر در زون‌های آلتراسیون توده‌های سیلیسی بی‌قاعده، سینترهای سیلیسی و رگه‌های سیلیس توده‌ای و به طور محدود در زون پروپلیتیک و کوارتز- سرسیت- پیریت (لیمونیت)، ۲) لیمونیت-کلسیت- سیلیس که عرضی در حدود ۰/۱ تا ۳ سانتی متر با بافت ریتمیک، هم رشدی، پرکننده فضای خالی و قطع کننده دارند. این رگه‌چه‌ها، رگه‌چه‌های قدیمی‌تر کوارتز- لیمونیت- ژاروسیت را قطع می‌کنند و با رگه‌چه‌های کوارتزی نواری صفحه‌ای حالت هم رشدی تا قدیمی‌تر دارند. بر حسب تراکم رگه‌چه به دو زیر گروه: ۲۰-۵ و ۴۰-۲۰ عدد در ۱ متر قابل تقسیم هستند و در زون آلتراسیونی سیلیس- آرژیلیک مشاهده می‌شوند و ۳) کوارتز صفحه‌ای نواری خاکستری- شیری با بافت شانه‌ای و به عرض ۰/۲ تا ۳ سانتی‌متر و تراکم رگه‌چه ۳۰-۱۰ عدد در ۱ متر، در توده هورنبلند- بیوتیت-کلینوپیروکسن کوارتز مونزونیت پورفیری مشاهده می‌شود. این رگه‌چه بر اساس شواهد صحرایی و مشاهدات میکروسکپی، جدیدتر از دیگر رگه‌چه‌هاست. رابطه مستقیمی بین افزایش تراکم رگه‌چه‌های

استوک‌ورک و افزایش میزان اکسیدآهن وجود دارد (شکل ۴ و ۵).

پترولوژی

ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی

از مجموع ۱۴۶ نمونه برداشت شده از توده‌های اسیدی و حدواسط، مطالعه پتروگرافی انجام و با توجه به شواهد و روابط صحرایی ۲۸ نمونه با کمترین اثر آلتراسیون‌های تأخیری به منظور آنالیز عناصر اصلی توسط دستگاه XRF انتخاب و آنالیز شد. پس از بررسی نتایج آنالیز عناصر اصلی۲۰ عدد از این نمونه‌ها به منظور آنالیز عناصر کمیاب و نادر خاکی مورد تجزیه قرار گرفت، نتایج آنالیز در جدول (۱) آمده است. مقدار سیلیس در مقابل مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم [۹] نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی منطقه اغلب در منطقه مونزونیت و برخی در محدوده دیوریت قرار دارند (شکل ۶-a). نمایش مقدار سیلیس در مقابل اکسید پتاسیم [۱۰] نشان می‌دهد نمونه‌ها بیشتر از نوع شوشونیتی هستند (شکل ۶-b).

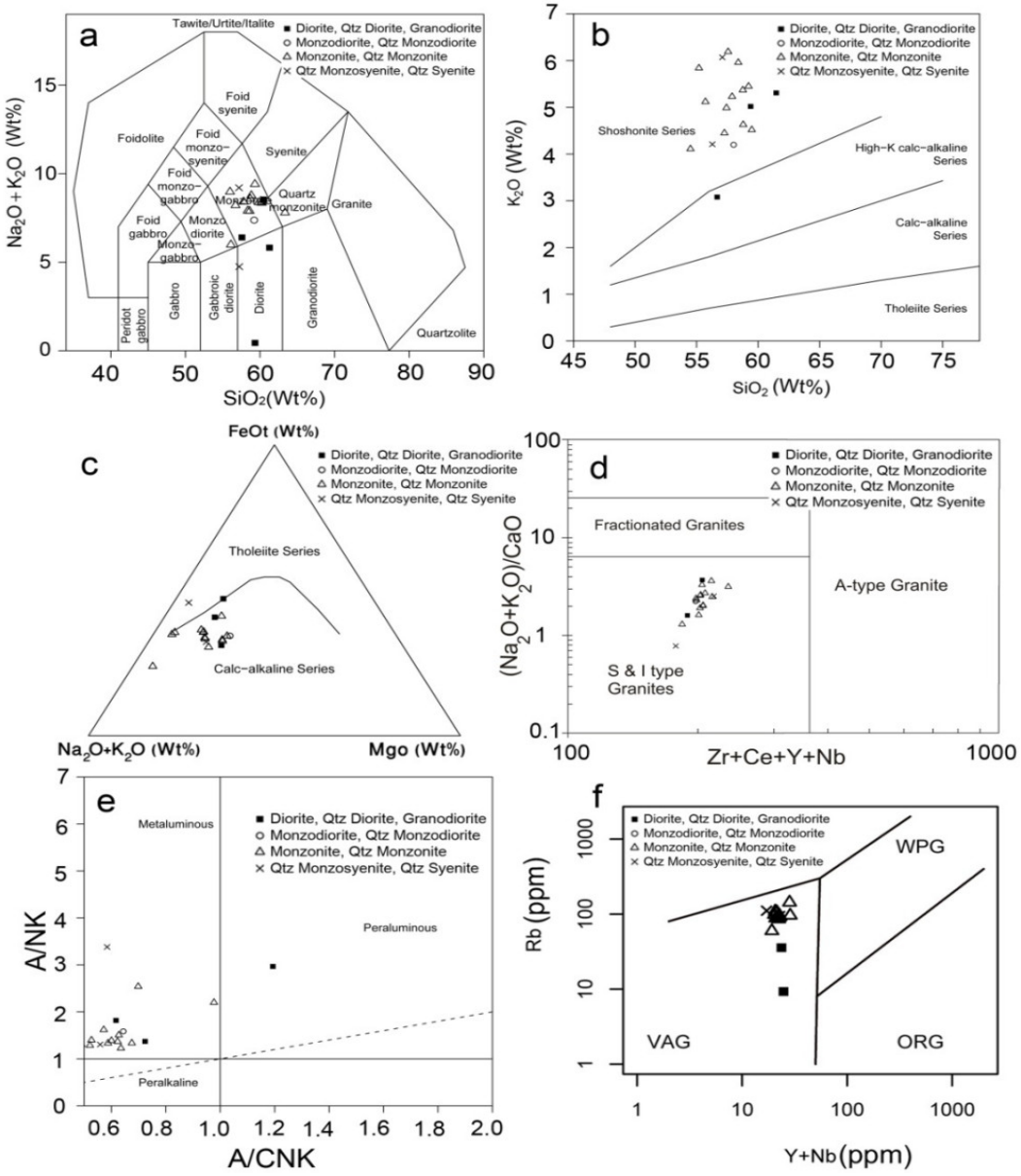
جدول ۱. نتایج آنالیز عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی گرانیتوئیدهای محدوده مورد مطالعه.

Sample	Bd4	G15	G26	G35	G43	G44	G7	Gv1	Gv4	Ka10
X	۶۹۲۸۸۱	۶۹۲۷۹۵	۶۹۳۰۸۹	۶۹۳۷۷۱	۶۹۲۰۲۸	۶۹۲۰۴۳	۶۹۲۷۵۸	۶۹۰۹۱۳	۶۹۰۸۰۰	۶۹۳۷۰۰
Y	۳۵۹۲۰۷۲	۳۵۹۲۶۰۰	۳۵۹۲۴۲۴	۳۵۹۲۸۱۰	۳۵۹۰۹۳۴	۳۵۹۱۳۹۰	۳۵۹۱۸۶۰	۳۵۸۹۹۷۶	۳۵۹۰۳۷۵	۳۵۹۱۷۵۵
(Wt%)										
SiO_2	۶۱/۴۷	۵۷/۲۶	۵۴/۵	۵۸/۷۶	۵۶/۶۷	۵۹/۳۹	۶۲/۳۷	۵۷/۴۳	۵۷/۰۹	۵۸/۷۹
TiO_2	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶	۰/۶۲	۰/۶	۰/۷۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۵۹
Al_2O_3	۱۹/۶۴	۱۴/۱۴	۱۸/۴۵	۱۵/۵۴	۱۵/۷	۱۵/۰۴	۱۸/۵	۱۵/۰۵	۱۵/۲۹	۱۴/۹۷
FeOt	۵/۲۱	۷/۲۷	۳/۹۷	۵/۱۷	۷/۳۸	۵/۳۵	۲/۵۹	۵/۸۵	۵/۶۹	۵/۷۵
MnO	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۵۱	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۷
MgO	۱/۷۴	۲/۶۹	۲/۴۱	۰/۷۹	۱/۹۹	۳/۴۷	۰/۵۸	۳/۴۳	۲/۷۴	۲/۱۱
CaO	۵/۴۱	۷/۳۶	۱۰/۵۳	۱۰/۱۱	۹/۲۵	۵/۴	۵/۷۹	۷/۷	۸/۶۱	۷/۲
Na_2O	۰/۵۳	۳/۲۶	۱/۷۱	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۳۶	۰/۱۷	۲/۷۹	۳/۱۲	۳/۶
K_2O	۵/۳۱	۴/۴۵	۴/۱۱	۵/۳۷	۳/۰۸	۵/۰۲	۷/۵۱	۴/۹۹	۶/۰۷	۴/۶۳
P_2O_5	۰/۲۷	۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۳
Total	۱۰۰/۳	۹۷/۷	۹۷/۲	۱۰۰/۱	۹۸/۴	۹۸/۲	۹۸/۵	۹۸/۴	۹۹/۸	۹۸/۲
(ppm)										
Ba	۵۵۹	۷۷۸	۵۷۹	۷۲۰	۷۸۱	۷۳۰	۶۵۳	۶۸۶	۷۰۵	۷۳۹
Rb	۹۸/۳	۹۳/۴	۵۹/۷	۸۹/۰	۳۵/۷	۸۶/۶	۱۴۳/۳	۹۱/۹	۹۴/۴	۹۰/۲
Sr	۵۶۰/۳	۸۴۴/۲	۲۵۶/۳	۸۲۲/۳	۷۹۰/۵	۷۲۵/۳	۲۷۱/۹	۷۲۴/۴	۷۳۲/۱	۷۵۲/۷
Zr	۹۶/۸	۱۰۶/۷	۸۹/۱	۹۸/۴	۸۶/۶	۱۰۰/۳	۱۱۷/۴	۹۴/۷	۱۱۲/۰	۱۰۱/۹
Nb	۵/۸	۴/۹	۴/۹	۵/۶	۳/۱	۵/۳	۵/۹	۴/۹	۴/۷	۵/۷
Ga	۱۳/۸	۱۶/۹	۱۴/۲	۱۵/۱	۱۵/۷	۱۶/۱	۱۱/۵	۱۵/۷	۱۵/۵	۱۶/۷
Rb/Sr	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۲
Rb/Ba	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۲
La	۲۴/۰	۲۳/۷	۱۹/۴	۲۳/۵	۱۹/۹	۲۲/۵	۲۵/۴	۲۱/۴	۲۱/۹	۲۲/۷
Ce	۴۸/۳	۴۹/۳	۳۹/۵	۴۷/۹	۴۲/۵	۴۵/۶	۵۱/۵	۴۳/۶	۴۵/۶	۴۶/۳
Pr	۵/۵۸	۵/۸۷	۴/۶۹	۵/۷۱	۵/۳۱	۵/۵۶	۶/۰۰	۵/۳۲	۵/۴۱	۵/۴۵
Nd	۲۱/۸	۲۳/۹	۲۰/۴	۲۳/۷	۲۲/۷	۲۲/۹	۲۳/۵	۲۲/۱	۲۳/۴	۲۰/۹
Sm	۳/۹۲	۴/۵۵	۳/۶۵	۴/۳۲	۴/۴۰	۴/۱۹	۴/۳۴	۴/۲۶	۴/۴۷	۳/۹۲
Eu	۰/۹۹	۱/۲۴	۰/۹۴	۱/۱۵	۱/۲۱	۱/۱۱	۰/۸۹	۱/۱۷	۱/۱۶	۱/۱۲
Gd	۳/۱۸	۳/۸۹	۳/۱۰	۳/۶۴	۴/۰۳	۳/۴۹	۳/۵۲	۳/۸۴	۳/۸۹	۳/۴۳
Tb	۰/۴۵	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۱
Dy	۲/۴۹	۳/۰۸	۲/۴۴	۲/۹۳	۳/۵۹	۲/۸۳	۳/۳۹	۳/۲۰	۳/۲۳	۲/۸۶
Ho	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۵۷	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۵۹
Er	۱/۴۴	۱/۷۱	۱/۴۳	۱/۶۵	۲/۱۰	۱/۶۷	۲/۱۲	۱/۷۶	۱/۸۴	۱/۶۳
Tm	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۴
Yb	۱/۶۲	۱/۷۹	۱/۵۱	۱/۶۸	۲/۱۹	۱/۷۴	۲/۲۹	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۷۳
Lu	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۶
Y	۱۴/۵	۱۷/۵	۱۴/۳	۱۶/۶	۲۰/۶	۱۶/۴	۲۲/۴	۱۸/۰	۱۸/۰	۱۶/۸
Eu/Eu*	۰/۸۵۷	۰/۹۰۱	۰/۸۵۴	۰/۸۸۷	۰/۸۷۹	۰/۸۸۸	۰/۶۹۶	۰/۸۸۴	۰/۸۵۱	۰/۹۳۴
(La/Yb)N	۹/۹۸۸	۸/۹۲۶	۸/۶۶۲	۹/۴۳۱	۶/۱۲۶	۸/۷۱۸	۷/۴۷۸	۷/۸۴۱	۸/۰۲۴	۸/۸۴۶

ادامه **جدول ۱.**

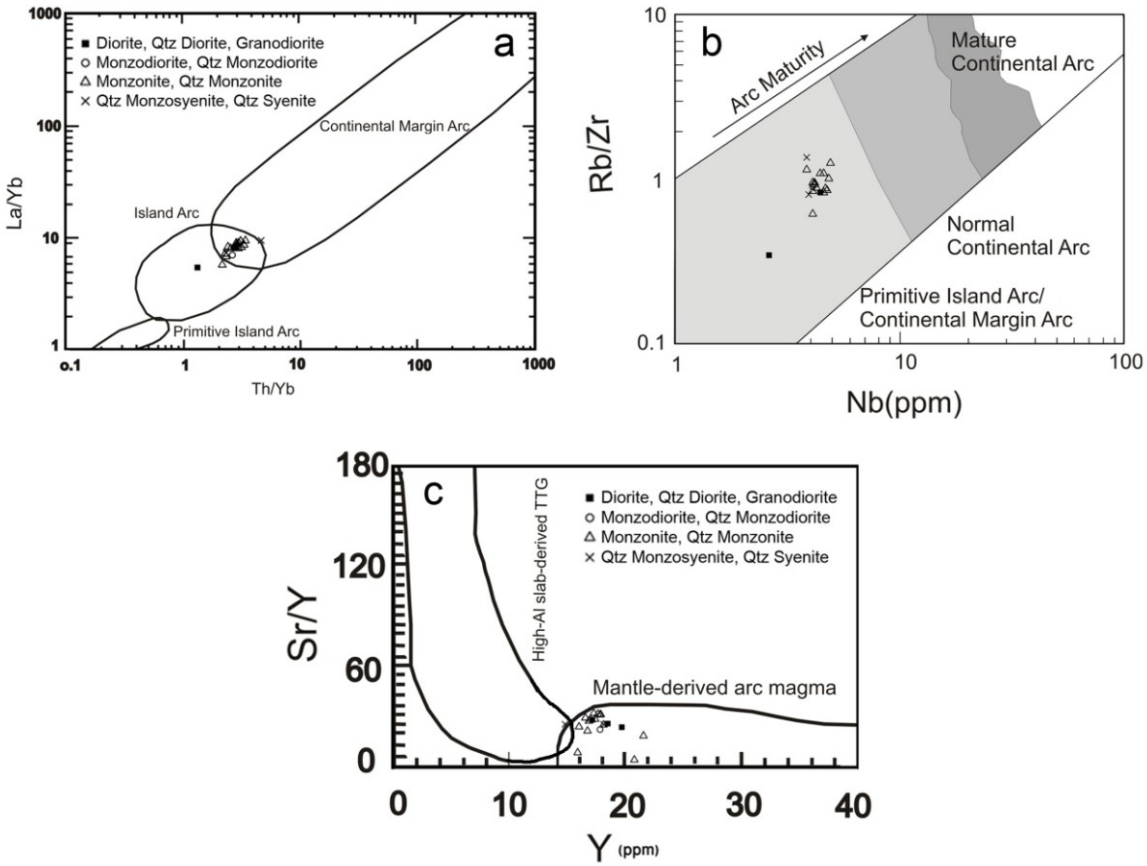
Sample	Km1	Km17	Km6	Mh1	SA4	SA6	Sh1	Sh15	Sh5	Yu10
X	۶۹۰۰۹۹	۶۸۹۹۳۰	۶۹۰۱۷۲	۶۹۵۲۵۴	۶۸۹۳۹۶	۶۹۰۷۷۳	۶۹۱۰۹۰	۶۹۱۹۶۹	۶۹۱۹۶۰	۶۹۹۶۱۹
Y	۳۵۹۰۱۴۵	۳۵۸۸۱۴۲	۳۵۸۹۰۶۸	۳۵۹۱۰۷۶	۳۵۹۱۳۹۵	۳۵۹۲۳۷۰	۳۵۹۴۳۵۴	۳۵۹۳۴۷۷	۳۵۹۳۴۷۹	۳۵۹۱۴۳۰
(Wt%)										
SiO_2	۵۸/۰۱	۵۸/۹۳	۵۵/۱۹	۵۷/۵۶	۵۷/۸۸	۵۹/۴۸	۵۹/۲۲	۵۵/۷۲	۵۸/۳۹	۵۶/۲۸
TiO_2	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۷۱	۰/۴۵
Al_2O_3	۱۵/۱۳	۲۲/۸	۱۴/۶۹	۱۶/۶۹	۱۵/۰۲	۱۴/۷۵	۱۳/۵۳	۱۳/۹۹	۱۴/۵۹	۱۷/۹۷
FeOt	۵/۵۵	۴/۶۷	۶/۱۳	۴/۸۵	۵/۰۱	۵/۷۳	۵/۳۷	۵/۱۷	۶/۵۵	۴/۲۶
MnO	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۱۴
MgO	۳/۳۷	۰/۲۹	۲/۲۵	۰/۷	۲/۸۱	۳/۳۸	۲/۲۹	۲/۲۸	۲/۱۸	۰/۳۸
CaO	۷/۶۸	۱۱/۱۲	۱۰/۲۸	۱۰/۳۸	۷/۸۷	۵/۹۵	۸/۵	۱۱/۷۵	۶/۱	۱۳/۹۹
Na_2O	۳/۰۳	۰/۱۱	۳/۰۱	۲/۱۹	۳/۴	۳/۷۳	۲/۸	۲/۹۵	۳/۳	۰/۴۶
K_2O	۴/۲	۰/۳۳	۵/۸۴	۶/۱۹	۵/۲۳	۴/۵۲	۵/۴۵	۵/۱۲	۵/۹۶	۴/۲۱
P_2O_5	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۲۲
Total	۹۸/۰	۹۹/۳	۹۸/۶	۹۹/۶	۹۸/۴	۹۸/۸	۹۸/۳	۹۸/۳	۹۸/۴	۹۸/۴
(ppm)										
Ba	۶۰۹	۳۰۱	۷۲۳	۸۰۳	۸۲۳	۷۹۲	۶۶۵	۷۱۰	۸۵۰	۵۲۶
Rb	۸۸/۵	۹/۳	۹۶/۵	۱۰۴/۴	۱۰۶/۴	۸۸/۱	۱۰۸/۹	۸۵/۸	۹۶/۱	۱۱۱/۱
Sr	۶۳۸/۶	۷۶۷/۱	۸۵۳/۶	۵۵۴/۶	۶۸۹/۰	۷۰۵/۳	۷۲۰/۴	۸۳۹/۱	۷۴۴/۲	۵۰۸/۷
Zr	۹۵/۵	۹۲/۷	۹۹/۸	۹۶/۷	۹۸/۵	۱۰۲/۲	۹۶/۵	۹۴/۳	۱۰۱/۱	۸۵/۲
Nb	۴/۹	۶/۲	۵/۰	۵/۳	۵/۵	۵/۵	۴/۶	۵/۱	۵/۰	۴/۶
Ga	۱۵/۲	۱۵/۱	۱۵/۷	۱۵/۰	۱۶/۱	۱۵/۸	۱۴/۰	۱۵/۳	۱۵/۵	۱۲/۴
Rb/Sr	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۲
Rb/Ba	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۲۱
La	۲۱/۰	۲۶/۹	۲۳/۱	۲۳/۵	۲۳/۱	۲۲/۲	۲۱/۸	۲۳/۵	۲۳/۰	۲۱/۱
Ce	۴۲/۹	۵۳/۱	۴۶/۱	۴۷/۶	۴۶/۰	۴۴/۳	۴۴/۶	۴۷/۴	۴۷/۷	۳۹/۸
Pr	۵/۲۲	۶/۲۹	۵/۶۳	۵/۵۶	۵/۳۱	۵/۲۶	۵/۳۰	۵/۷۰	۶/۱۱	۴/۴۳
Nd	۲۰/۶	۲۵/۵	۲۳/۰	۲۲/۲	۲۰/۸	۲۱/۲	۲۱/۴	۲۲/۷	۲۵/۶	۱۷/۶
Sm	۳/۹۲	۴/۵۲	۴/۴۰	۴/۱۷	۳/۹۰	۳/۹۲	۳/۹۸	۴/۳۲	۵/۵۴	۳/۱۵
Eu	۱/۰۹	۱/۱۹	۱/۲۳	۱/۱۱	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۰۹	۱/۱۶	۱/۶۴	۰/۸۴
Gd	۳/۵۵	۳/۸۲	۳/۸۹	۳/۵۱	۳/۴۱	۳/۲۶	۳/۵۰	۳/۷۲	۵/۳۹	۲/۶۹
Tb	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۸۴	۰/۳۸
Dy	۳/۰۵	۳/۲۷	۳/۰۶	۲/۷۶	۲/۶۵	۲/۷۰	۲/۷۲	۳/۰۳	۴/۴۷	۲/۰۸
Ho	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۴۱
Er	۱/۷۶	۱/۸۸	۱/۸۰	۱/۵۲	۱/۵۸	۱/۵۸	۱/۵۵	۱/۷۰	۲/۴۶	۱/۲۳
Tm	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۲۰
Yb	۱/۸۴	۲/۰۲	۱/۸۰	۱/۶۰	۱/۶۳	۱/۶۲	۱/۶۶	۱/۶۶	۲/۴۱	۱/۴۲
Lu	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۲۱
Y	۱۷/۵	۱۸/۶	۱۷/۶	۱۵/۷	۱۵/۹	۱۵/۴	۱۶/۱	۱۷/۲	۲۳/۷	۱۲/۵
Eu/Eu*	۰/۸۹۳	۰/۸۷۶	۰/۹۰۹	۰/۸۸۷	۰/۸۷۲	۰/۸۹۸	۰/۸۹۳	۰/۸۸۵	۰/۹۱۸	۰/۸۸۲
(La/Yb)N	۷/۶۹۵	۸/۹۷۸	۸/۶۵۲	۹/۹۰۲	۹/۵۵۵	۹/۲۳۹	۸/۸۵۴	۹/۵۴۴	۶/۴۳۴	۱۰/۰۱۸

در نمودار درصد اکسید منیزیم، آهن کل و آلکالی [۱۱] توده های نفوذی منطقه در امتداد روند کالک‌آلکالن به سمت محتوای MgO کم قرار می‌گیرند (شکل ۶-c). نمودار Zr + Ce + Y+ Nb در مقابل (Na2O + K2O)/CaO [۱۲] نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی منطقه در محدوده گرانیتوئیدهای تیپ S و I قرار می‌گیرد (شکل۶-d). طبقه‌بندی سنگهای منطقه بر اساس شاخص آلومینیوم [۱۳] حاکی از آن است که نمونه‌ها در محدوده متاآلومینوس قرار دارند (شکل۶-e). مقدار عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بالا (LILE) نمونه‌ها در مجموع بالاست. نسبت Rb/Sr سنگها بین ۰/۰۵ تا ۰/۳۱ است. مقدار Ba بین ۵۲۶ تا ۸۵۰ متغیر است. نمودارهای عناصر کمیاب متمایز کننده محیط تکتنوماگمایی گرانیتوئیدها [۱۴] نشان می‌دهد که توده‌های منطقه متعلق به گر انیتوئیدهای کمان آتشفشانی (Volcanic Arc Granitoid) هستند (شکل۶- f).



شکل ۶. a) نمودار نام گذاری سنگهای آذرین درونی به روش TAS [۹]. b) نمودار تعیین اندیس پتاسیم[۱۰]. C) نمودار AFM جهت تفکیک سنگهای آذرین کالک‌آلکالن از تولئی‌ایت[۱۱].d) نمودار تفکیک گرانیتوئیدهای S و I [۱۲]. e) نمودار تعیین اندیس آلومینیوم [۱۳]. f) نمودار تعیین موقعیت تکتونیکی گرانوئیدها [۱۴].

نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb [۱۵] توده‌های نفوذی کوه‌شاه در منطقه مشترک جزایر قوسی و کمان حاشیه قاره قرار دارند (شکل۷-a). در نمودار Rb/Zr در مقابل Nb [۱۶] نمونه‌ها در منطقه جزایر قوسی/ کمان حاشیه قاره قرار می‌گیرند (شکل۷-b). در نمودار Sr/Y در مقابل Y [۱۷] نمونه‌ها در موقعیت سنگهای منشأ گرفته از گوشته قرار می‌گیرند (شکل۷-c).

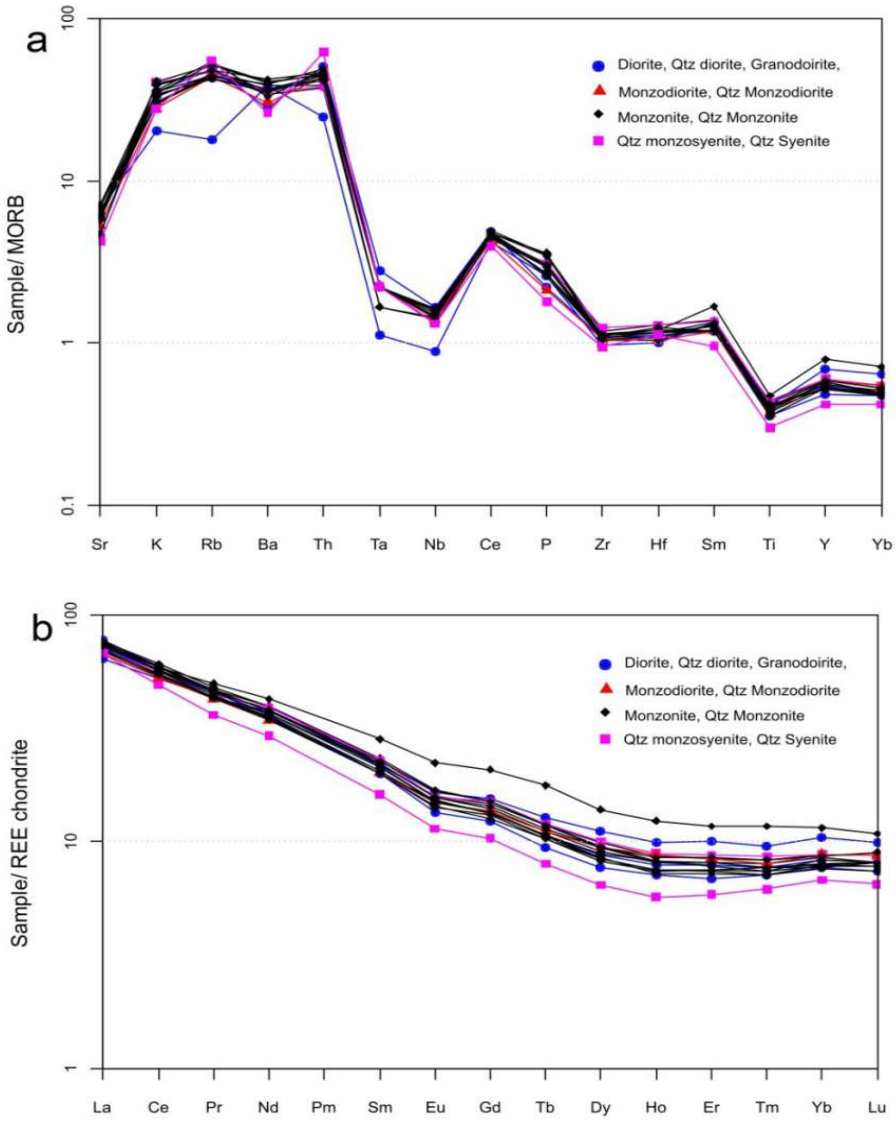


شکل ۷. a) نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb [۱۵]. b) نمودار Rb/Zr در مقابل Nb [۱۶] . c) نمودار Sr/Y در مقابل Y [۱۷].

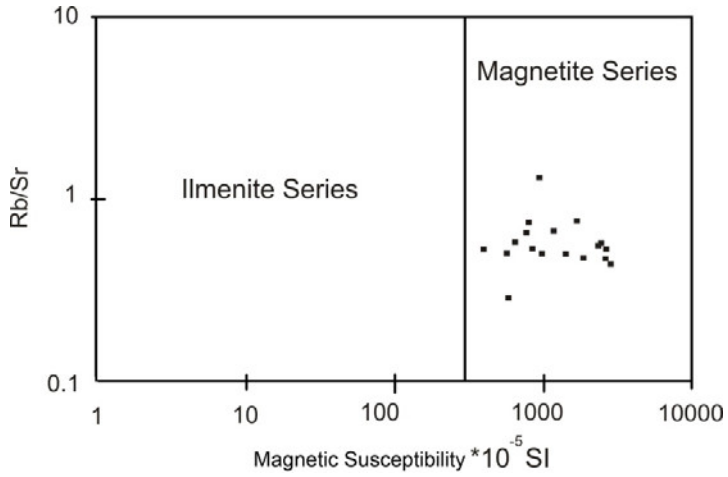
نمودار عنکبوتی نمونه‌ها که به MORB نرمالایز شده [۱۸] آنومالی منفی مشخصی در عناصر واسطه با شدت میدان زیاد (HFSE) نظیر Nb و Ti نشان می‌دهد. در مقابل عناصر واسطه با شدت میدان کم (LFSE) نظیر Ba و Rb آنومالی مثبت نشان می‌دهند (شکل۸-a). الگوی عناصر نادر خاکی که نسبت به کندریت نرمالایز شده‌اند [۱۹] غنی‌شدگی ملایمی از LREE ها نشان داده و فاقد آنومالی مشخص Eu هستند. مجموع مقدار عناصر نادر خاکی بین ۹۵ تا ۱۲۶ppm متغیر است. نسبت (La/Yb)N بین ۶/۰۱ تا ۱۰/۰۱ متغیر بوده و نسبت *Eu/Eu از ۰/۶تا ۰/۹ متغیر است (شکل۸-b).

پذیرفتاری مغناطیسی

کلیه توده‌های نفوذی منطقه از جهت میزان پذیرفتاری مغناطیسی در بیش از ۵۰۰ نقطه، مورد بررسی قرار گرفتند. در مناطق نسبتا تازه‌تر، پذیرفتاری مغناطیسی در بالاترین مقدار آن SI ۵-۱۰×۳۰۳۳ و در پایین‌ترین مقدار آن SI ۵-۱۰×۶۰۷ به طور میانگین در این توده‌ها در حدود SI ۵-۱۰×۱۰۳۲ است. نمایش نسبت Rb/Sr در مقابل پذیرفتاری مغناطیسی [۲۰] نشان می‌دهد که کلیه توده‌های نفوذی منطقه کوه‌شاه از نوع سری مگنتیت یا اکسیدان هستند (شکل ۹).



شکل ۸. a) نمودار عنکبوتی عناصر فرعی وکمیاب که نسبت به MORB نرمال شده‌اند [۱۸]. b) نمودار عناصر نادر خاکی که نسبت به کندریت نرمال شده‌اند[۱۹].



شکل ۹. نمودار تفکیک گرانیت‌های سری مگنتیت و ایلمنیت [۲۰].

سن سنجی U/Pb

دو نمونه از واحدهای گرانیتوئیدی منطقه بعد از مطالعات دقیق پتروگرافی و پترولوژیکی برای سن‌سنجی به روش U-Pb انتخاب گردید (هورنبلند کلینوپیروکسن کوارتز دیوریت پورفیری با شماره Bd4 و هورنبلند بیوتیت کلینوپیروکسن کوارتز دیوریت پورفیری با شماره G44). از هر نمونه در حدود ۷۰ دانه زیرکن به روش استاندارد جداسازی و تفکیک گردید. زیرکن‌ها برای تعیین سن به مرکز Laser Chron آریزونا در دانشگاه آریزونا ارسال شد و به روش Laser-Ablation multi collector ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفت [۲۱]. زیرکن‌ها ابتدا در یک پلاک اپاکسی همراه با خرده‌هایی از زیرکن استاندارد و شیشه‌های NBS 610 قالب‌گیری شده و تا ۲۰μm صیقل می‌خورند. در زیر میکروسکپ کاتدولومینسانس (CL)از نمونه‌ها عکس تهیه می‌شود. عکس تهیه شده ساختار درونی دانه‌های زیرکن برش خورده را نشان می‌دهد و با استفاده از آن مکانهای مناسب برای پرتو لیزر انتخاب می‌شوند. این تصویر همچنین می‌تواند به تعیین منشأ دانه‌های زیرکن (آذرین، دگرگونی یا گرمابی) کمک کند. این روش به طور معمول با یک پرتو به قطر ۳۵ یا ۲۵ میکرون و اگر لازم باشد در دانه‌های ریزتر به قطر ۱۵ یا ۱۰ میکرون صورت می‌پذیرد. پرتو ۳۵ یا ۲۵ میکرونی با نرخ تکرار ۸ هرتز و انرژی ۱۰۰ میکروژول تنظیم می‌شود که می‌تواند یک سیگنال کم و بیش ۱۰۰۰۰۰cps در گرم در تن برای U در زیرکن تولید کند. برای اندازه‌های کوچکتر پرتو لیزر، انرژی به ۶۰ میکروژول و نرخ تکرار۴ هرتز کاهش می‌یابد. در هر دو حالت بیان شده مواد برانگیخته شده توسط پرتو لیزر از یک اتاقک گاز هلیم عبور می‌کنند. گاز هلیم و نمونه برانگیخته شده پیش از ورود به محیط پلاسما ICP-MS با گاز آرگون مخلوط می‌شوند. مقدار Pb ایزوتوپی نسبت به Th و U به کمک نمونه استانداری محاسبه می‌شود که همراه با زیرکن‌ها قالب‌گیری شده و هر بار با اندازه‌گیری سه تا پنج نمونه مجهول اندازه گیری آن تکرار می شود. نتایج اندازه‌گیریهای U-Th-Pb برای نمونه‌ها در جدول (۲) آمده است. نتایج محاسبات نمونه هورنبلند کلینوپیروکسن کوارتز دیوریت پورفیری با شماره Bd4 در شکل (۱۰) نشان داده شده است. بر اساس تجزیه ۳۲ نقطه میانگین سن به دست آمده ۰/۷ ± ۳۹/۷ میلیون سال است (با خطای ۲ سیگما). نتایج محاسبات نمونه هورنبلند بیوتیت کلینوپیروکسن کوارتز دیوریت پورفیری با شماره G44 در شکل (۱۱) نشان داده شده است. بر اساس تجزیه ۱۸ نقطه میانگین سن به دست آمده ۰/۹ ± ۳۹/۶ میلیون سال است (با خطای ۲ سیگما). نتایج سن‌سنجی نشان می‌دهد سنگهای گرانیتوئیدی منطقه کوه‌شاه در ائوسن میانی (پریابونین- بارتونین) تشکیل شده‌اند.

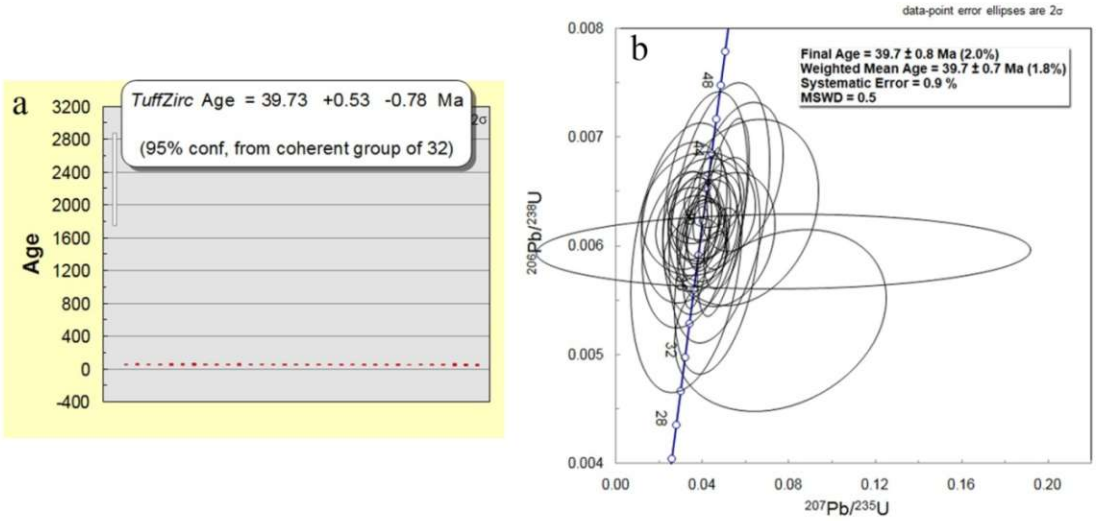
ایزوتوپ Nd -Sr

تجزیه ایزوتوپ‌های رادیوژنیک Rb-Sr و Sm-Nd نیز روی کل نمونه سنگهایی که برای سن‌سنجی فرستاده شدند توسط دستگاه 6-collector Finnigan MAT 261 Thermal Ionization Mass Spectrometer در دانشگاه کلرادوی آمریکا صورت گرفته است. مقدار $^{87}Sr/^{86}Sr$ با استفاده از four-collector static mode measurements اندازه‌گیری و نتیجه با نمونه استاندارد SRM-987 با مقدار $^{87}Sr/^{86}Sr$ =۰/۷۱۰۲۸ (خطای ۲ سیگما از میانگین) که همزمان با اندازه‌گیری نمونه‌های مجهول تجزیه شده بود و مقدار ۰/۷۱۰۳۲را نشان داده بود، اصلاح شد. همچنین مقدار $^{143}Nd/^{144}Nd$ نمونه استاندارد بهنجار و تجزیه با $^{143}Nd/^{144}Nd$ مقدار ۰/۷۲۱۹ = dynamic mode, three-collector measurements انجام گرفت و در طول انجام تجزیه نمونه استاندارد LaJolla Nd نیز بارها تکرار شد که مقدار ۸± ۰/۵۱۱۸۳۸ (خطای ۲ سیگما از میانگین) را مشخص کرد.

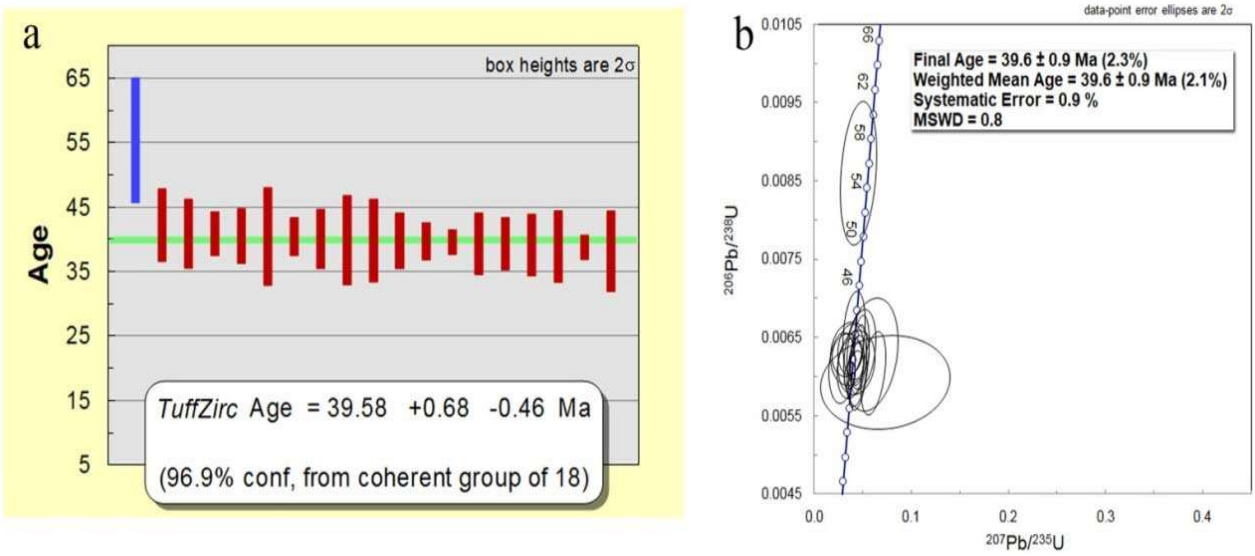
اطلاعات ایزوتوپی Rb-Sr و Sm-Nd نمونه‌های Bd4 و G44 به ترتیب در جدولهای (۳ و ۴) ارائه شده است. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه و $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه بر اساس سن میانگین ۳۹ میلیون سال محاسبه شده است. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه و $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه به ترتیب از ۰/۷۰۴۸۱۲ تا ۰/۷۰۴۹۲۰ و ۰/۵۱۲۵۷۹ تا ۰/۵۱۲۶۴۴ است. میزان εNd اولیه برای توده های گرانیتوئیدی کوه شاه از ۰/۱۸- تا ۱/۰۹ است. با توجه به این که میزان $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه کمتر از ۰/۷۰۶ است منشأ ماگما خارج از پوسته قاره‌ای بوده و از گوشته منشأ گرفته است. سن سنگ منشأ ماگماتیسم منطقه کوه‌شاه ۶۱۰ تا ۶۹۰ میلیون سال گزارش شده است (شکل ۱۲).

جدول ۲. نتایج آنالیز سن سنجی U-Th-Pb نمونه‌های گرانیتوئیدی منطقه کوه شاه.

Analysis	U (ppm)	$^{206}Pb/^{204}Pb$	U/Th	$^{206}Pb/^{207}Pb$	± (%)	$^{207}Pb/^{235}U$	± (%)	$^{206}Pb/^{238}U$	± (%)	Age (Ma)	± (Ma)
Bd4- Hornblende-clinopyroxene quartz diorite porphyry											
Bd4-1R	۳۲۱	۶۴۹۹۶	۱/۱	۲۱/۴۱۸۴	۱۴/۷	۰/۰۳۹۸	۱۵/۶	۰/۰۰۶۲	۵/۳	۳۹/۸	۲/۱
Bd4-1C	۳۳۳	۳۳۸۰۱	۰/۹	۲۰/۱۶۳۵	۲۷/۲	۰/۰۴۲۰	۲۷/۹	۰/۰۰۶۱	۶/۳	۳۹/۵	۲/۵
Bd4-2C	۴۴۸	۴۴۶۰۲	۱/۰	۱۶/۹۱۶۴	۱۳/۱	۰/۰۴۸۷	۱۴/۰	۰/۰۰۶۰	۵/۱	۳۸/۴	۲/۰
Bd4-2R	۱۸۳	۳۱۹۲۸	۱/۰	۲۱/۵۹۳۱	۳۷/۳	۰/۰۴۰۹	۳۹/۵	۰/۰۰۶۴	۱۳/۲	۴۱/۱	۵/۴
Bd4-3C	۸۱۸	۱۲۴۷۲	۰/۵	۱۷/۸۳۲۶	۱۰/۰	۰/۰۴۶۱	۱۰/۳	۰/۰۰۶۰	۲/۵	۳۸/۳	۰/۹
Bd4-S4C	۲۱۴	۲۲۷۶۸	۱/۱	۱۸/۲۵۷۰	۳۶/۸	۰/۰۴۷۶	۴۰/۰	۰/۰۰۶۳	۱۵/۷	۴۰/۵	۶/۳
Bd4-S4R	۳۴۵	۴۷۵۹۰	۱/۰	۲۶/۱۳۸۱	۲۷/۳	۰/۰۳۲۶	۲۸/۲	۰/۰۰۶۲	۶/۸	۳۹/۷	۲/۷
Bd4-5R	۳۱۶	۶۰۰۴۷	۰/۷	۲۰/۰۷۵۱	۲۴/۱	۰/۰۴۴۲	۲۴/۳	۰/۰۰۶۴	۳/۳	۴۱/۴	۱/۴
Bd4-5C	۴۴۳	۳۹۶۱۷	۰/۶	۲۰/۹۳۷۳	۱۷/۴	۰/۰۴۱۵	۱۸/۷	۰/۰۰۶۳	۷/۰	۴۰/۵	۲/۸
Bd4-6C	۲۸۸	۹۵۳۱۷	۰/۹	۲۱/۶۵۹۱	۳۵/۳	۰/۰۴۱۰	۳۵/۶	۰/۰۰۶۴	۴/۸	۴۱/۴	۲/۰
Bd4-6R	۲۲۴	۱۲۸۳۰	۰/۹	۱۷/۴۸۵۲	۱۵/۶	۰/۰۴۹۴	۱۹/۷	۰/۰۰۶۳	۱۲/۰	۴۰/۳	۴/۸
Bd4-7C	۱۵۰۶	۲۸۸۸۴	۰/۴	۲۰/۱۹۸۲	۴/۹	۰/۰۴۵۴	۹/۵	۰/۰۰۶۷	۳/۲	۴۲/۸	۱/۴
Bd4-7R	۴۵۷	۳۵۸۲۹	۰/۸	۲۳/۷۵۷۲	۲۷/۸	۰/۰۳۶۲	۲۷/۹	۰/۰۰۶۲	۲/۹	۴۰/۱	۱/۲
Bd4-8R	۱۹۴	۱۵۰۹۴	۱/۲	۱۵/۹۸۳۷	۲۶/۶	۰/۰۵۷۳	۲۷/۹	۰/۰۰۶۶	۸/۵	۴۲/۷	۳/۶
Bd4-9C	۳۶۶	۵۲۱۹۳	۱/۱	۲۰/۵۳۶۳	۲۰/۷	۰/۰۴۱۳	۲۱/۰	۰/۰۰۶۱	۳/۵	۳۹/۵	۱/۴
Bd4-10C	۴۱۰	۵۳۱۵۷	۰/۸	۲۴/۰۵۱۴	۲۷/۳	۰/۰۳۵۸	۲۷/۸	۰/۰۰۶۳	۵/۰	۴۰/۲	۲/۰
Bd4-10R	۴۷۶	۳۶۹۵۲	۰/۹	۲۰/۹۲۴۵	۲۱/۳	۰/۰۳۹۸	۲۲/۰	۰/۰۰۶۰	۵/۶	۳۸/۸	۲/۱
Bd4-11C	۱۵۶	۱۷۲۵۹	۱/۹	۲۳/۰۵۶۹	۵۶/۹	۰/۰۳۷۶	۵۷/۴	۰/۰۰۶۳	۷/۴	۴۰/۵	۳/۰
Bd4-11R	۳۲۰	۶۵۳۵۳	۱/۱	۲۵/۹۸۷۷	۳۶/۲	۰/۰۳۲۷	۳۶/۶	۰/۰۰۶۲	۵/۰	۳۹/۶	۲/۰
Bd4-12C	۱۳۸	۲۳۱۳۸	۱/۰	۱۰/۶۵۱۴	۱۲۱/۴	۰/۰۷۷۰	۱۲۱/۵	۰/۰۰۵۹	۴/۷	۳۸/۲	۱/۸
Bd4-12R	۱۶۸	۷۴۰۲۸	۱/۴	۲۶/۷۵۱۲	۵۱/۴	۰/۰۳۲۰	۵۲/۳	۰/۰۰۶۲	۹/۸	۳۹/۹	۳/۹
Bd4-14R	۱۶۹	۵۸۵۴	۱/۵	۹/۶۴۶۷	۵۱/۳	۰/۰۷۵۸	۵۲/۹	۰/۰۰۵۳	۱۳/۰	۳۴/۱	۴/۴
Bd4-15R	۲۵۶	۳۱۱۳۷	۱/۲	۲۱/۵۴۳۲	۳۰/۷	۰/۰۴۰۱	۳۱/۲	۰/۰۰۶۳	۵/۴	۴۰/۳	۲/۲
Bd4-17R	۱۵۱	۹۹۳۶	۱/۵	۱۶/۵۵۱۳	۳۵/۶	۰/۰۵۰۵	۳۶/۶	۰/۰۰۶۱	۸/۴	۳۸/۹	۳/۳
Bd4-18R	۴۰۸	۷۳۴۷۶	۱/۲	۲۱/۸۳۰۱	۲۲/۷	۰/۰۳۸۷	۲۳/۰	۰/۰۰۶۱	۳/۹	۳۹/۴	۱/۵
Bd4-19R	۳۴۷	۳۵۲۹۸	۱/۱	۲۲/۲۱۰۵	۱۱/۷	۰/۰۳۶۶	۱۳/۵	۰/۰۰۵۹	۶/۶	۳۷/۹	۲/۵
Bd4-20R	۳۴۷	۳۱۰۵۹	۱/۰	۲۲/۴۹۹۳	۳۲/۵	۰/۰۳۶۲	۳۲/۸	۰/۰۰۵۹	۴/۷	۳۸/۰	۱/۸
Bd4-21R	۱۸۴	۲۵۷۶۲	۱/۳	۱۷/۲۵۱۳	۳۲/۰	۰/۰۴۵۶	۳۴/۹	۰/۰۰۵۸	۱۴/۱	۳۷/۴	۵/۳
Bd4-22R	۱۴۲	۱۴۹۶۶	۱/۳	۲۵/۲۵۷۹	۶۳/۵	۰/۰۳۲۲	۶۵/۹	۰/۰۰۵۹	۱۷/۴	۳۷/۹	۶/۶
Bd4-23R	۱۶۹	۱۷۶۱۲	۱/۲	۱۴/۸۷۶۵	۴۷/۴	۰/۰۵۸۵	۴۸/۷	۰/۰۰۶۳	۱۱/۲	۴۰/۵	۴/۵
Bd4-24R	۲۷۶	۲۲۲۲۷	۱/۲	۲۶/۱۰۰۹	۵۰/۰	۰/۰۳۱۵	۵۱/۰	۰/۰۰۶۰	۱۰/۰	۳۸/۳	۳/۸
Bd4-25R	۵۷۱	۸۶۵۱۲	۱/۲	۲۲/۴۴۰۳	۶/۴	۰/۰۳۸۴	۷/۰	۰/۰۰۶۲	۲/۸	۴۰/۲	۱/۱
G44- Hornblende-biotite-clinopyroxene quartz diorite porphyry											
G44-1C	۱۸۴	۴۰۰۶	۱/۳	۱۴/۰۰۱۶	۱۶/۲	۰/۰۵۹۳	۱۷/۷	۰/۰۰۶۰	۷/۲	۳۸/۷	۲/۸
G44-1R	۲۲۹	۶۸۳۶۷	۱/۳	۱۸/۹۵۷۶	۱۷/۰	۰/۰۴۴۸	۱۸/۸	۰/۰۰۶۲	۸/۱	۳۹/۶	۳/۲
G44-2R	۲۸۲	۴۶۲۵۰	۱/۲	۲۳/۸۷۳۹	۲۹/۳	۰/۰۳۶۶	۲۹/۶	۰/۰۰۶۳	۴/۲	۴۰/۷	۱/۷
G44-3C	۴۴۵	۹۲۳۴۰	۰/۹	۱۹/۶۵۰۸	۱۲/۸	۰/۰۴۳۲	۱۳/۳	۰/۰۰۶۲	۳/۷	۳۹/۵	۱/۴
G44-3R	۴۵۴	۳۷۳۸۰	۱/۰	۱۹/۹۷۰۲	۱۳/۸	۰/۰۴۲۳	۱۴/۰	۰/۰۰۶۱	۲/۴	۳۹/۴	۰/۹
G44-4R	۳۱۱	۶۱۱۳۵	۱/۱	۳۱/۱۵۲۸	۴۱/۰	۰/۰۲۷۰	۴۱/۴	۰/۰۰۶۱	۶/۱	۳۹/۱	۲/۴
G44-5C	۴۶۳	۱۳۹۷۸۴	۰/۸	۲۰/۲۳۴۹	۳۶/۹	۴۲۰/۰	۳۷/۳	۰/۰۰۶۲	۵/۵	۳۹/۶	۲/۲
G44-5R	۲۴۴	۵۴۰۴۲	۱/۴	۲۶/۵۴۷۵	۳۸/۶	۰/۰۳۲۵	۳۸/۸	۰/۰۰۶۳	۳/۷	۴۰/۲	۱/۵
G44-6R	۲۵۷	۳۹۱۶۲	۱/۳	۲۴/۶۵۲۷	۴۶/۲	۰/۰۳۵۱	۴۶/۵	۰/۰۰۶۳	۵/۳	۴۰/۳	۲/۱
G44-7R	۱۲۳	۲۷۲۴۵	۱/۳	۱۱/۳۲۰۹	۷۵/۵	۰/۰۷۲۰	۷۵/۹	۰/۰۰۵۹	۸/۳	۳۸/۰	۳/۱
G44-8R	۲۳۸	۳۵۱۰۱	۵/۷	۹/۳۴۴۲	۲۸۱/۸	۰/۰۹۱۱	۲۸۱/۹	۰/۰۰۶۲	۸/۸	۳۹/۷	۳/۵
G44-12R	۴۳۲	۸۸۹۹۷	۱/۴	۲۳/۱۵۱۵	۱۲/۵	۰/۰۳۵۷	۱۲/۷	۰/۰۰۶۰	۲/۴	۳۸/۶	۰/۹
G44-14R	۳۱۰	۸۱۲۵۴	۱/۱	۱۸/۴۶۹۷	۲۵/۶	۰/۰۴۷۳	۲۶/۴	۰/۰۰۶۳	۶/۶	۴۰/۷	۲/۷
G44-15R	۲۷۶	۶۱۰۷۲	۱/۴	۲۲/۷۲۲۷	۲۳/۰	۰/۰۳۹۷	۲۴/۰	۰/۰۰۶۵	۶/۸	۴۲/۰	۲/۸
G44-16R	۲۶۵	۸۳۲۰۴	۱/۲	۱۹/۵۴۶۱	۱۸/۹	۰/۰۴۲۷	۱۹/۹	۰/۰۰۶۱	۶/۱	۳۸/۹	۲/۴
G44-19R	۲۳۹	۴۸۶۱۵	۱/۲	۱۵/۰۶۲۳	۳۸/۹	/۰۵۷۴	۴۰/۱	۰/۰۰۶۳	۹/۵	۴۰/۳	۳/۸
G44-20R	۷۹۲	۴۳۲۴۹	۰/۹	۱۹/۴۲۱۲	۱۴/۹	۰/۰۴۴۰	۱۶/۰	۰/۰۰۶۲	۵/۸	۳۹/۹	۲/۳
G44-21R	۳۹۱	۸۲۴۶۶	۱/۱	۲۶/۶۸۴۲	۳۳/۱	۰/۰۴۴۵	۳۴/۳	۰/۰۰۸۶	۸/۸	۵۵/۳	۴/۹
G44-22R	۳۴۸	۶۵۲۰۳	۱/۲	۲۳/۶۷۱۹	۳۱/۰	۰/۰۳۵۵	۳۱/۴	۰/۰۰۶۱	۵/۲	۳۹/۱	۲/۰



شکل ۱۰. نمودار کنکوردیا (a) و پلات تعیین سن میانگین (b) نمونه Bd4 از اطلاعات ایزوتوپی U-Pb



شکل ۱۱. نمودار کنکوردیا (a) و پلات تعیین سن میانگین (b) نمونه G44 از اطلاعات ایزوتوپی U-Pb.

جدول ۳. داده های ایزوتوپ Rb-Sr نمونه‌های مورد مطالعه.

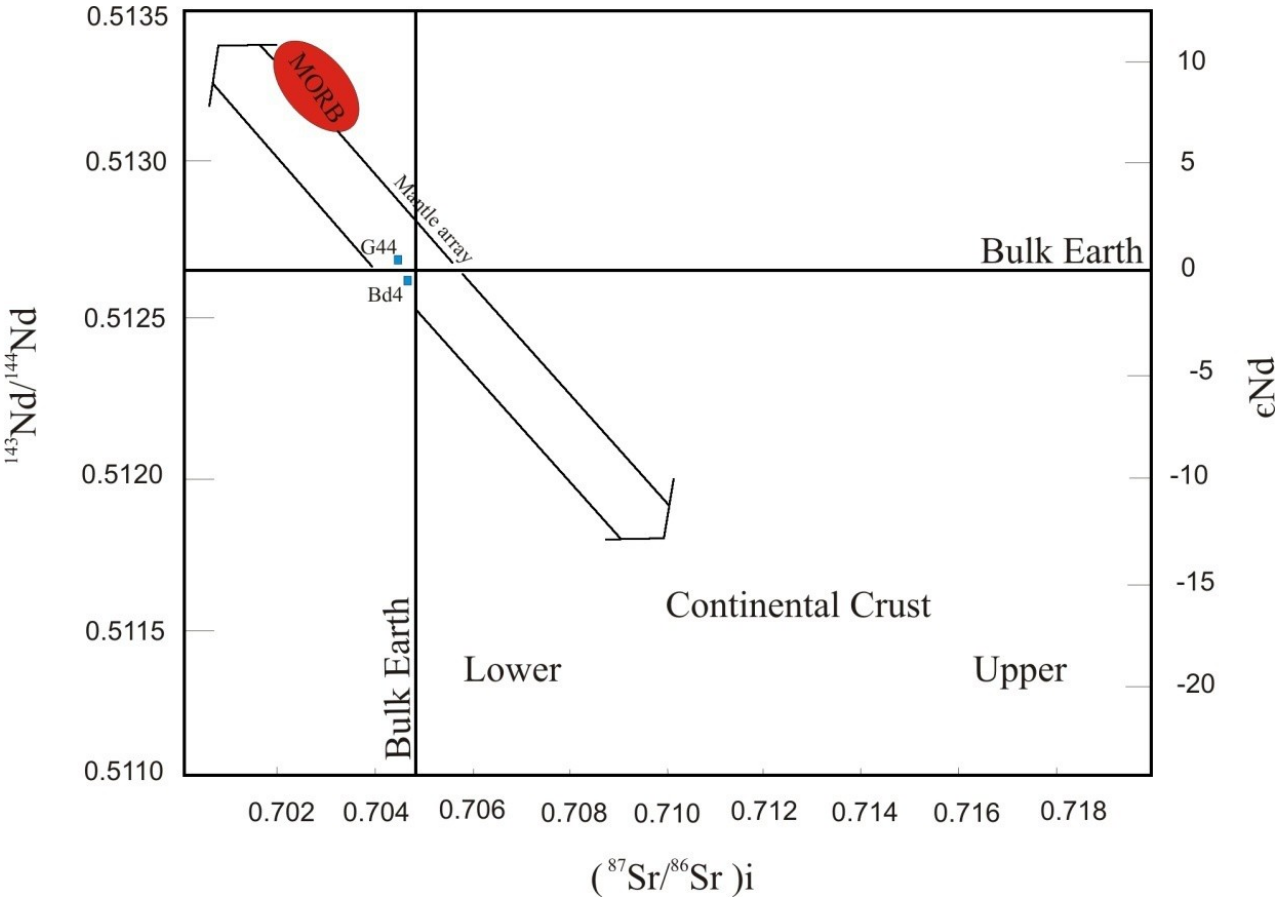
Sample	Rb(ppm)	Sr (ppm)	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)$ m (2σ)	R0(Sr)
Bd4	۹۰/۹۹	۵۳۸	۰/۴۵۵۱	۰/۷۰۵۱۹۱(۱)	۰/۷۰۴۹۲۰
G44	۷۹/۴۷	۷۰۵	۰/۳۰۳۳	۰/۷۰۴۹۹۲(۱)	۰/۷۰۴۸۱۲

m = measured. Errors are reported as 2σ (95% confidence limit).R0(Sr) is the initial ratio of $^{87}Sr/^{86}Sr$ for each sample, calculated using $^{87}Rb/^{86}Sr$ and $(^{87}Sr/^{86}Sr)_m$ and an age of 39.7 Ma (Bd4) and 39.6 Ma (G44) (age based on zircon).

جدول ۴. داده‌های ایزوتوپ Sm-Nd نمونه‌های مورد مطالعه.

Sample	Sm (ppm)	Nd(ppm)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$(^{143}Nd/^{144}Nd)$ m (2σ)	R0(Nd)	εNd I	T_{DM}
Bd4	۳/۹۷	۲۰/۸۰	۰/۱۱۵۴۳۸	۰/۵۱۲۶۰۸(۱)	۰/۵۱۲۵۷۹	-۰/۱۸	۰/۶۹
G44	۴/۱۲	۲۰/۸۵	۰/۱۱۹۵۴۹	۰/۵۱۲۶۷۴(۱)	۰/۵۱۲۶۴۴	۱/۰۹	۰/۶۱

m = measured. Errors are reported as 2σ (95% confidence limit). R0(Nd) is the initial ratio of $^{143}Nd/^{144}Nd$ for each sample, calculated using $^{147}Sm/^{144}Nd$ and $(^{143}Nd/^{144}Nd)_m$ and an age of 39.7 Ma (Bd4) and 39.6 Ma (G44) (age based on zircon).εNdI= initial εNd value.



شکل ۱۲. موقعیت قرارگیری نمونه‌های منطقه در نمودار $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه در مقابل $^{143}Nd/^{144}Nd$ و εNd.

ژئوشیمی

مطالعات ژئوشیمیایی قبلی منطقه و نتایج حاصل از آنها به شرح زیر است:

۱- اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در گستره برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ مختاران[۲۲] :

طی این مطالعه تعداد ۷۷۹ نمونه رسوب آب‌راهه‌ای و ۱۰۴ نمونه کانی سنگین برداشت شده که تعداد ۸۳ نمونه رسوب آب‌راهه‌ای و ۳ نمونه کانی سنگین در گستره منطقه مورد مطالعه قرار دارد. از نتایج این مطالعه معرفی ۲۰ منطقه امید بخش است که آنومالی برزاج مربوط به منطقه مورد مطالعه بوده و عناصر Cu,Mo,Sn,Ag,Zn,Pb به عنوان آنومالیهای درجه ۱ و عناصر Au,Sb,As,Hg آنومالی درجه ۲ معرفی شده‌اند.

۲- اکتشاف نیمه تفصیلی در گستره برگه ۱:۲۵۰۰۰ شیخ آباد[۲۳]:

طی این پژوهش تعداد ۱۶۱ نمونه رسوب آب‌راهه‌ای و ۴۸ نمونه کانی سنگین از منطقه برداشت شده است. تمایز بالای عامل سوم آنالیز فاکتوری برای عناصر طلا، مولیبدن و تنگستن با مناطق دارای بیشترین میزان سولفید اولیه و اکسیدهای‌آهن ثانویه و مناطق واجد آلتراسیون‌های سریسیتی و سیلیسی در منطقه منطبق است.

۳- اکتشاف ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰:

طی مطالعات پژوهشی و اکتشافی حاضر و با توجه به شواهد زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانه‌زایی مطالعات ژئوشیمیایی اکتشافی منطقه بر روی نمونه‌های سنگی از مناطق پتانسیل‌دار متمرکز شده است.

در تجزیه نمونه‌های رسوبات آب‌راهه‌ای و بررسی آنها، عنصر طلا مقادیری بین ۰/۷ تا ۶/۴ میلی‌گرم بر تن دارد که بیشترین مقدار آن بر زون آلتراسیون گوسان- استوک‌ورک در شمال‌غرب مرکز منطقه منطبق است (شکل ۱۳-a). عنصر آرسنیک میزان بین ۶/۹ تا ۱۴/۳ گرم بر تن با بیشترین میزان در مرکز منطقه و مقدار عنصر مس از ۲۳/۲ تا ۶۱/۲ گرم بر تن متغیر است (شکل ۱۳-b و شکل ۱۴-a). عنصر سرب از

۸/۶ تا ۲۳ گرم بر تن و عنصر روی از ۴۲ تا ۷۳ گرم بر تن متغیر است (شکل ۱۵-a و b).

تجزیه نمونه‌های سنگی برداشت شده از واحدهای مختلف برای عنصر طلا مقادیر بین ۰/۵تا ۳۶/۹ میلی‌گرم بر تن است که بیشترین مقدار طلا در زون‌های آلتراسیونی، بر زون آلتراسیون گوسان- استوک‌ورک در شمال‌غرب مرکز منطقه قرار دارد و بالاترین مقدار طلا در منطقه در بخش غربی زون تنوره‌های برشی هیدروترمالی- نفوذی قرار دارد (شکل ۱۳-a). میزان آرسنیک بین ۲,۳ تا ۳۰۰,۶ گرم بر تن است که بیشترین مقدار آرسنیک در زون‌های آلتراسیونی در دو نقطه در شمال و مرکز منطقه و منطبق بر زون توده‌های سیلیسی بی‌قاعده است و بالاترین مقدار آرسنیک در منطقه در بخش غربی زون تنوره‌های برشی هیدروترمالی- نفوذی قرار دارد (شکل ۱۳-b).

مقدار مس بین ۴/۷ تا ۲۰۷/۶ گرم بر تن است. بیشترین مقدار مس در شرق مرکز منطقه و بر زون دگرسانی گوسان- استوک‌ورک- برش هیدروترمالی واقع است (شکل ۱۴-a). مقدار آهن از ۰/۴۱ تا ۱۴/۲۵ درصد و بیشترین مقدار آهن در زون دگرسانی محدود کوارتز- سریسیت- پیریت (لیمونیت) واقع در زون آرژیلیک قرار دارد (شکل ۱۴-b). میزان سرب بین ۱/۱ تا ۲۱۹/۳ گرم بر تن و میزان روی بین ۲تا ۶۳۸ گرم بر تن متغیر است. بیشترین مقدار سرب و روی بر زون دگرسانی توده‌های سیلیسی بی‌قاعده در جنوب مرکز منطقه واقع است (شکل ۱۵-a و b). میزان گوگرد بین ۰/۰۴ تا ۴/۷۱ درصد متغیر است. نقشه فراوانی گوگرد در منطقه ترسیم شده است و بیشترین میزان آن بر زون دگرسانی گوسان-استوک‌ورک در مرکز منطقه قرار دارد.

در نمونه‌های سنگی میزان بیسموت بین ۰/۱ تا ۱۵/۴ گرم بر تن متغیر است و بیشترین میزان آن بر زون دگرسانی گوسان- استوک‌ورک در شرق مرکز منطقه قرار دارد. تنها در ۲ نمونه مقادیر بیسموت بالاتر از ۱۲ و در بیش از ۹۲ درصد نمونه‌ها مقدار بیسموت کمتر از ۵ گرم بر تن است. میزان مولیبدن بین ۰/۱ تا ۷۳/۳ گرم بر تن است و بیشترین میزان آن بر زون دگرسانی توده‌های سیلیسی بی‌قاعده در شمال منطقه قرار دارد. بیش از ۹۰ درصد نمونه‌ها مقدار مولیبدن کمتر از ۱۰ گرم در تن است. میزان آنتیموان بین ۰/۱> تا ۴ گرم بر تن متغیر است و بیشترین میزان آن بر زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در غرب مرکز منطقه قرار دارد. تنها در ۱ نمونه مقدار آنتیموان ۲۹/۳ گرم بر تن است (شکل ۱۵-b). میزان جیوه بین ۰/۰۱> تا ۱/۴ گرم بر تن متغیر است و بیشترین میزان آن بر زون دگرسانی گوسان- استوک‌ورک در در شمال‌غرب مرکز منطقه قرار دارد.

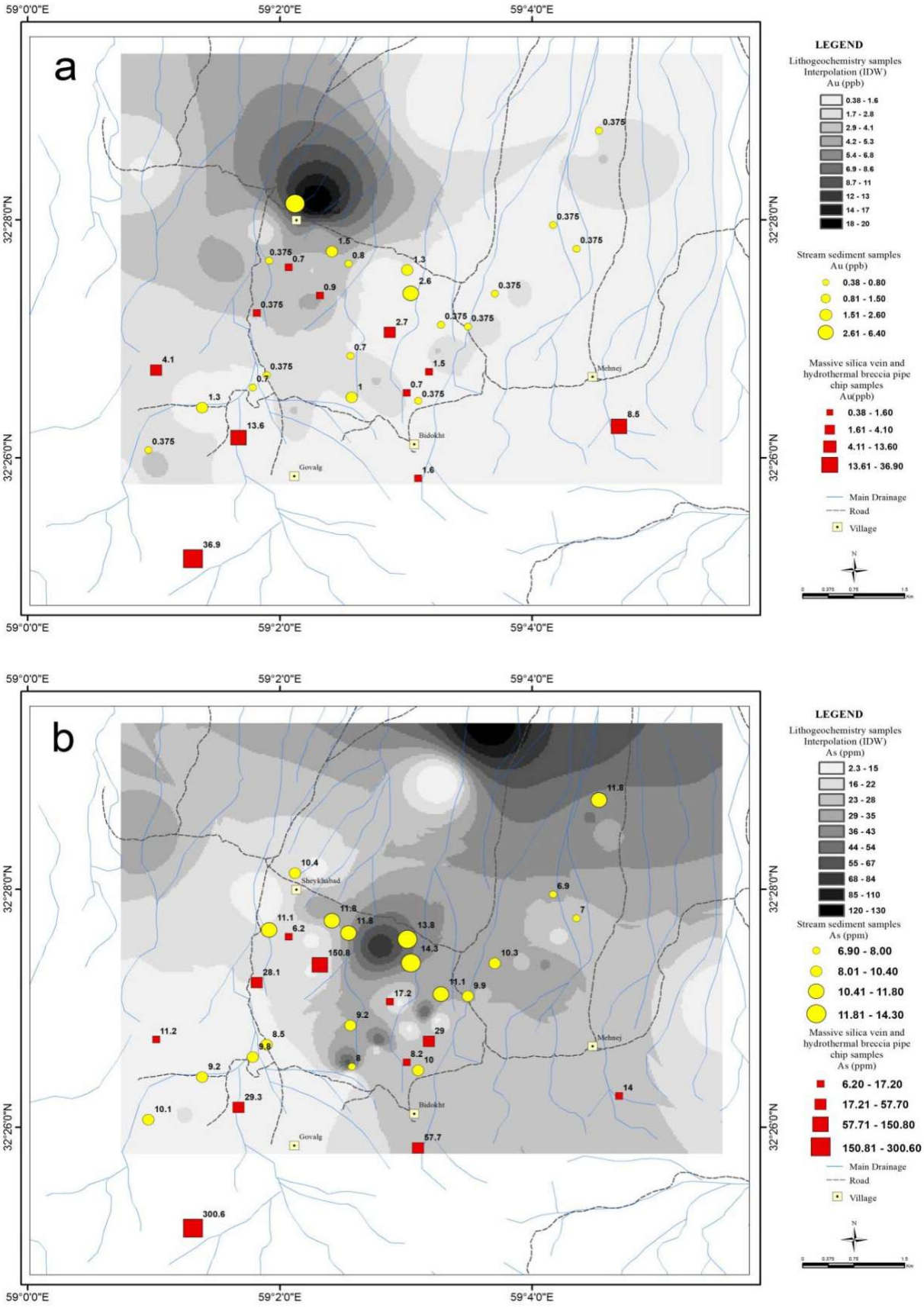
به منظور بررسی و ارتباط عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان و جیوه در منطقه مورد مطالعه، نمودار تغییرات آنها نسبت به یکدیگر ترسیم شده است شکل (۱۶) و همبستگی مطلوبی میان آنها مشاهده می‌شود.

ژئوفیزیک هوابرد

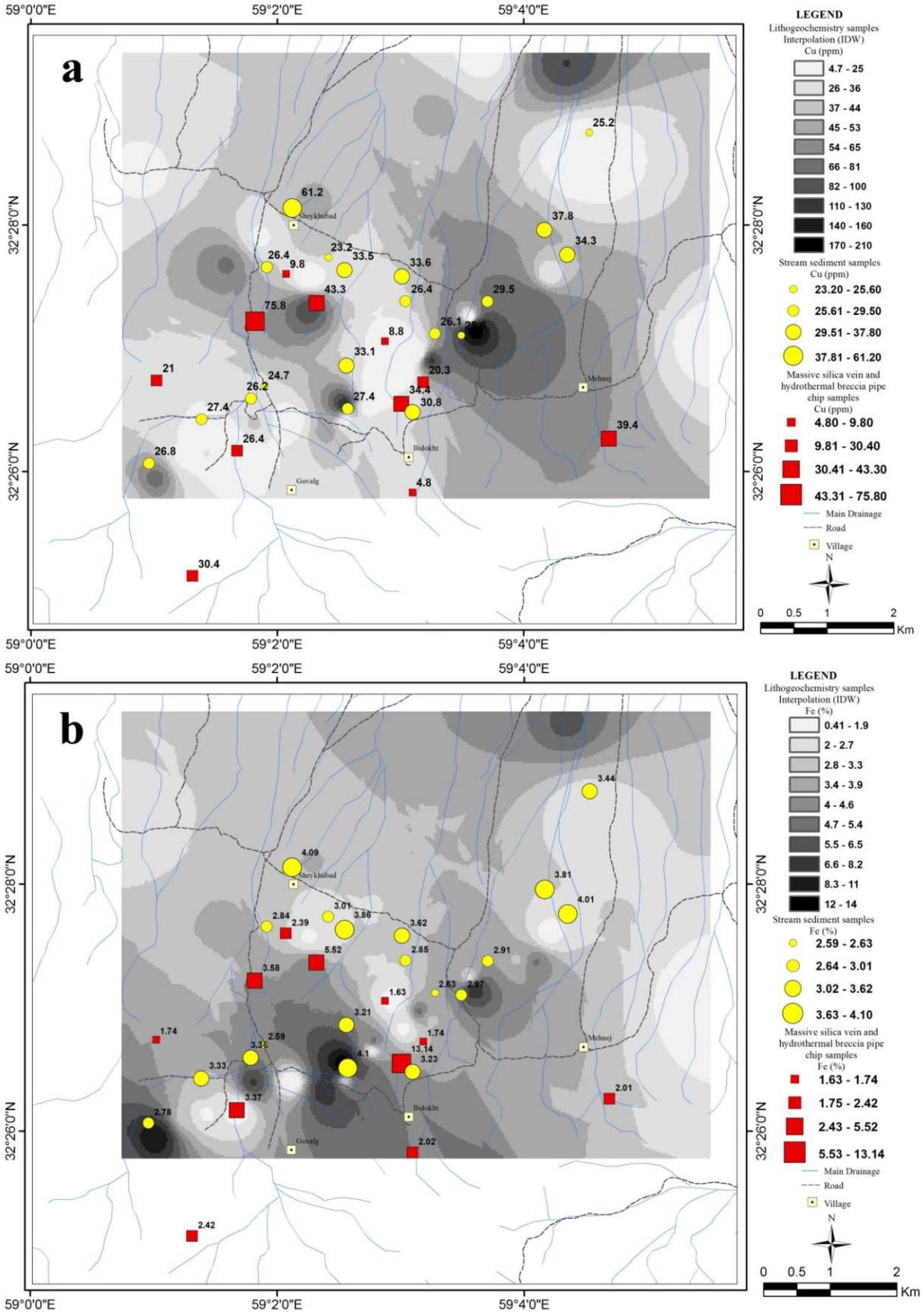
داده‌های ژئوفیزیک هوابرد [۲۴]، در فاصله بهمن ۱۳۸۲ تا آبان ۱۳۸۳ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با همکاری شرکت کانادایی Fugro، در منطقه برداشت شده است. به‌منظور بررسی اصولی و تطابق آنومالی داده‌های ژئوفیزیکی، با بکارگیری نرم‌افزار Geosoft بر روی داده‌های خام نقشه‌هایی در طول و عرض جغرافیایی یکسان و هم‌مقیاس (۱:۲۵۰۰۰)، با نقشه‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانه‌زایی، تهیه شد.

مغناطیس‌سنجی

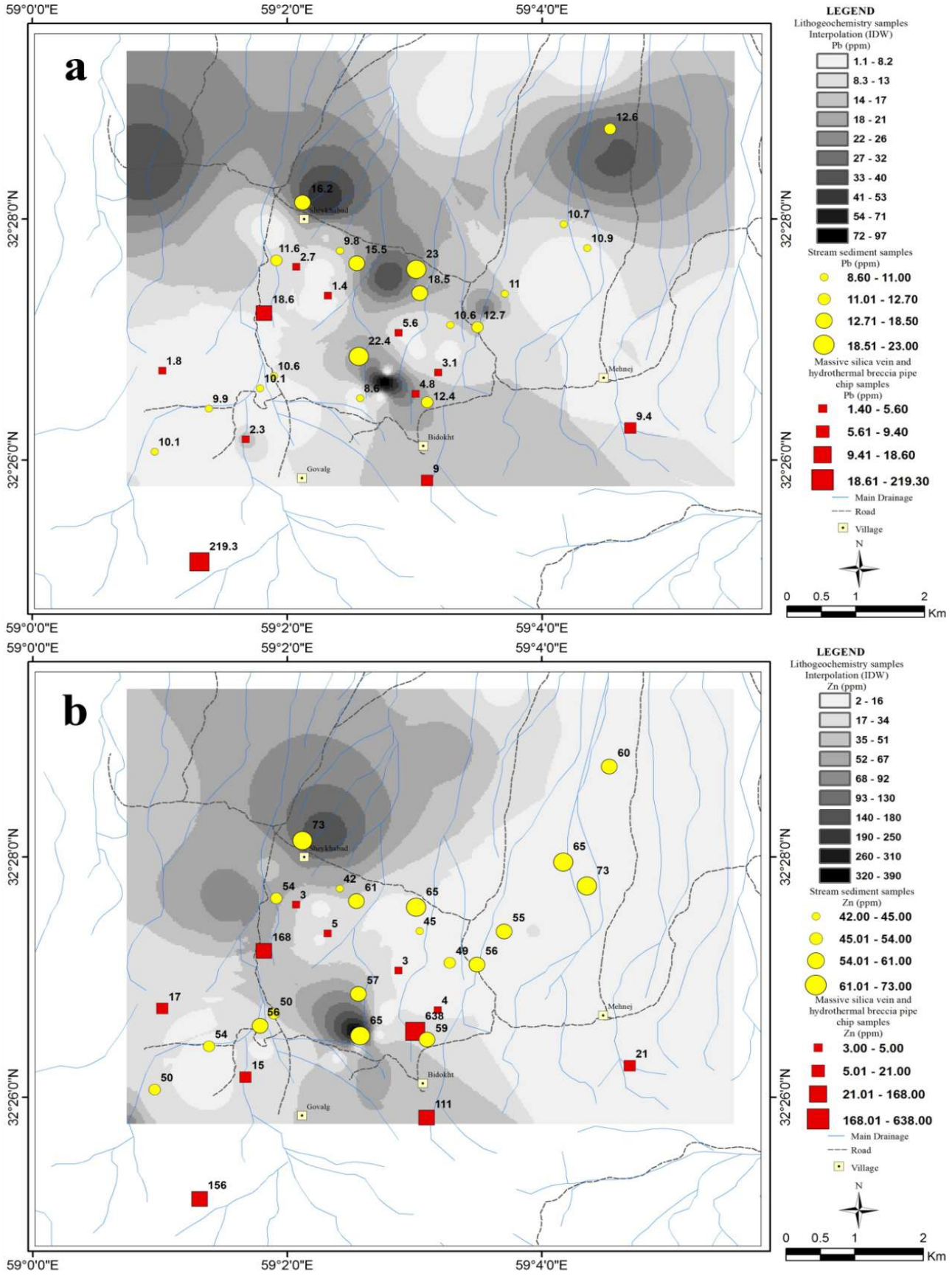
جهت تفسیر اطلاعات مغناطیس، ابتدا نقشه شدت کل میدان (شکل ۱۷-a) تهیه سپس با اعمال فیلترهای برگردان به قطب (Reduction to pole)، مشتق قائم اول (First vertical derivative) و ادامه فراسو (Upward continuation) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۷-b تا d). فیلتر برگردان به قطب، به عنوان پایه بقیه فیلترها اعمال گردیده است. اعمال این فیلتر با استفاده از زاویه میل (Inclination) و انحراف مغناطیسی (Declination)، IGRF صورت گرفت میزان زاویه میل ۵۲/۳۳ و میزان انحراف مغناطیسی ۲/۹۱ محاسبه گردید.



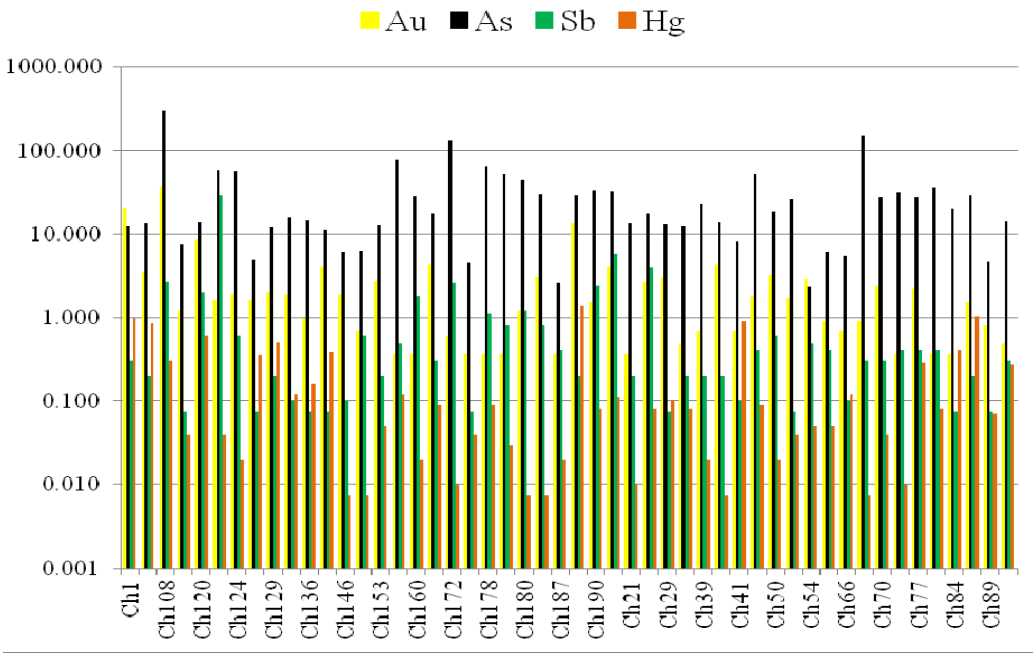
شکل ۱۳. نمودار میزان فراوانی a) طلا، b) آرسنیک.



شکل ۱۴. نمودار میزان فراوانی a) مس و b) آهن.



شکل ۱۵. نمودار میزان فراوانی a) سرب و b) روی.



شکل ۱۶. نمودار تغییرات Au, Sb, As, Hg در نمونه‌های سنگی.

نقشه برگردان به قطب شکل (۱۷-b)، واجد آنومالیهای متعدد مغناطیسی است که در جهت شرقی- غربی تا شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و در امتداد گسلهای اصلی گسترش یافته‌اند. در بخش جنوبی منطقه آنومالی مغناطیسی منفی موجود، بر واحدهای رسوبی آواری و ولکانیکی منطبق است. در این میان، دو آنومالی مغناطیسی مثبت با روند شرقی- غربی و افزایش گستره از غرب به شرق، نمایان است که بر دسته دایک‌های حدواسط موازی با یکدیگر منطبق و از پذیرفتاری مغناطیسی بالایی نیز برخوردار است. گستره این آنومالی مغناطیسی، بیش از حد انتظار بود. در بخش بالایی، در تطابق با نقشه زمین‌شناسی، آنومالیهای مثبت مغناطیسی در مرکز و شمال‌غربی منطقه، مرتبط با توده‌های نفوذی نیمه عمیق متعدد است که از پذیرفتاری مغناطیسی بسیار بالایی نیز برخوردارند. همچنین دلایل پاسخ مغناطیسی پایین تا متوسط منطبق بر واحدهای نفوذی نیمه‌عمق و ولکانیک‌ها را می‌توان در تطابق با نقشه آلتراسیون مشاهده نمود. فازهای آلتراسیون هیدروترمالی مخرب مگنتیت شامل سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک شدید، در برداشتهای پذیرفتاری مغناطیسی نیز، مقادیر پایینی را از خود نشان می‌دهند. در بخش شمال و شمال‌شرقی منطقه، آنومالی مغناطیسی مثبت بزرگی مشاهده می‌شود که در زیر آبرفت پوشیده است، اما در برون زدهای کوچک موجود، واحدهای ولکانیک آلتره لیتولوژی غالب آن را تشکیل می‌دهد که می‌تواند نمایانگر حضور توده‌های نفوذی نیمه‌عمق در بخش زیرین آبرفت باشد. به منظور حذف اثرات ناحیه‌ای با طول موج بلند و تداخل بین بی‌هنجاری‌های مجاور، از فیلتر مشتق قائم اول (First vertical derivative) که در واقع یک فیلتر بالاگذر است استفاده شده است (شکل ۱۷-c). این فیلتر فرکانس‌های بالا را نسبت به فرکانس‌های پایین افزایش می‌دهد، در نتیجه طول موجهای بزرگ و اثر بی‌هنجاریهای بزرگ بر روی بی‌هنجاریهای کوچک که ناشی از منابع عمیق و منطقه‌ای می‌باشند از بین رفته و بی‌هنجاریهای کوچک و محلی به خوبی نمایان می‌گردند. در بخش شمال‌شرق منطقه نیز آنومالیهای مثبت مغناطیسی، نشانه‌ای از حضور توده‌های نفوذی نیمه‌عمق در نزدیکی سطح و در زیر آبرفت است. همچنین نمایش روند شرقی- غربی دایک‌های حدواسط در میان واحدهای رسوبی در حد جنوبی منطقه که عرض آن متناسب با رخنمون آنها در سطح زمین است. به منظور بررسی بی‌هنجاریهای عمیق و برای از بین بردن اثر بی‌هنجاریهای کم عمق از فیلتر ادامه فراسو (Upward continuation) ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ متر استفاده گردید شکل (۱۷-d)، تا اثر اجسام مغناطیسی کوچک و باریک نسبت به اثر اجسام مغناطیسی بزرگتر که به‌طور عمقی امتداد زیادی یافته‌اند از بین رود. در این منطقه در نقشه‌های ادامه

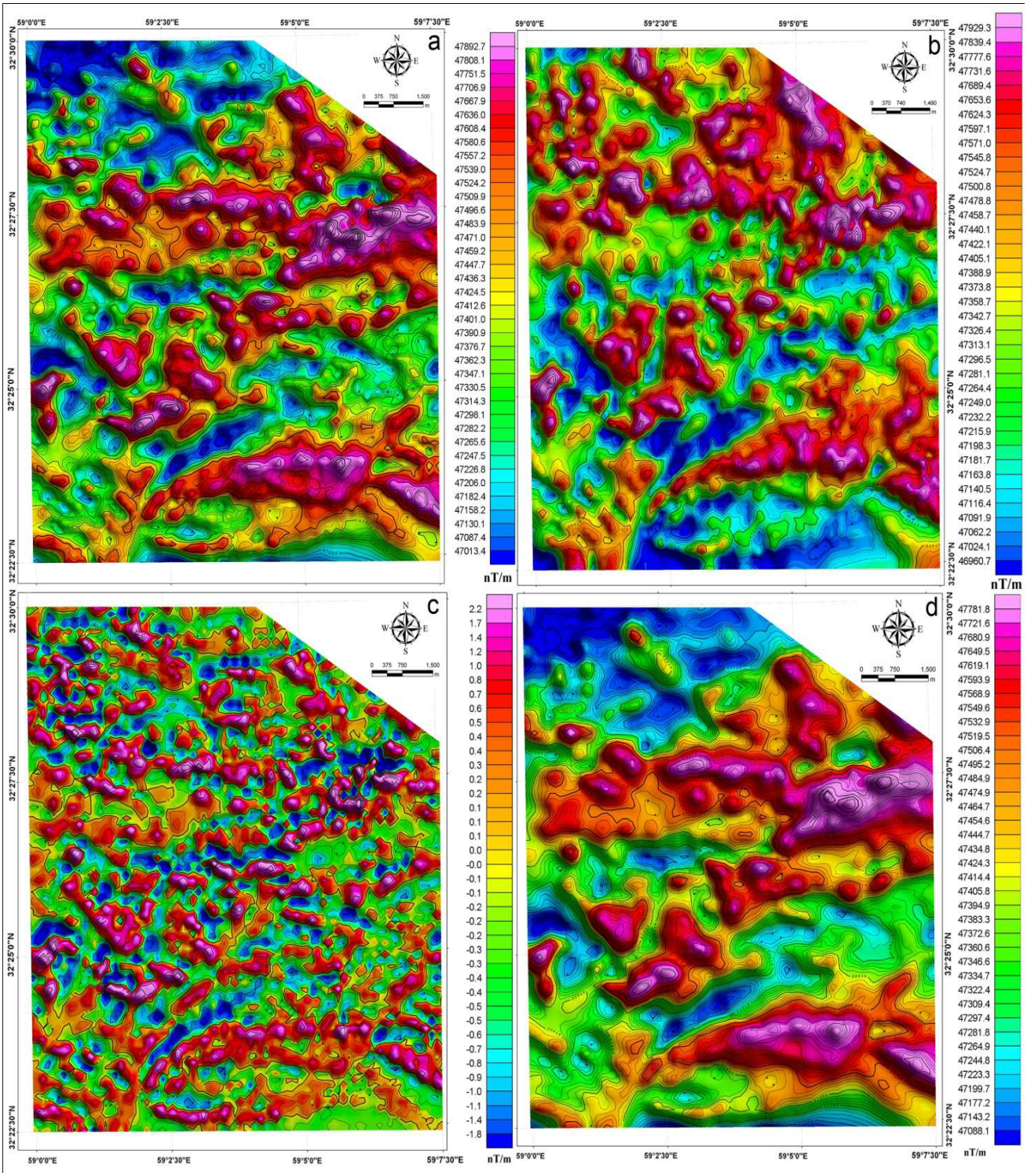
فراسو، توده‌های نفوذی نیمه‌عمق در اعماق به یکدیگر پیوسته‌اند که به‌صورت یک گستره مشخص‌تر و عمیق‌تر در سمت شمال‌شرقی در زیر دشت و دو دنباله موازی در مرکز و به‌سوی غرب است. همچنین روند مشخص دیگر در جنوب منطقه قرار دارد که از جنوب‌شرقی به سمت غرب تا مرکز منطقه، با اندکی تحدب به سوی شمال کشیده شده است و بر ادامه ریشه دایک‌های حدواسط انطباق دارد.

رادیومتری

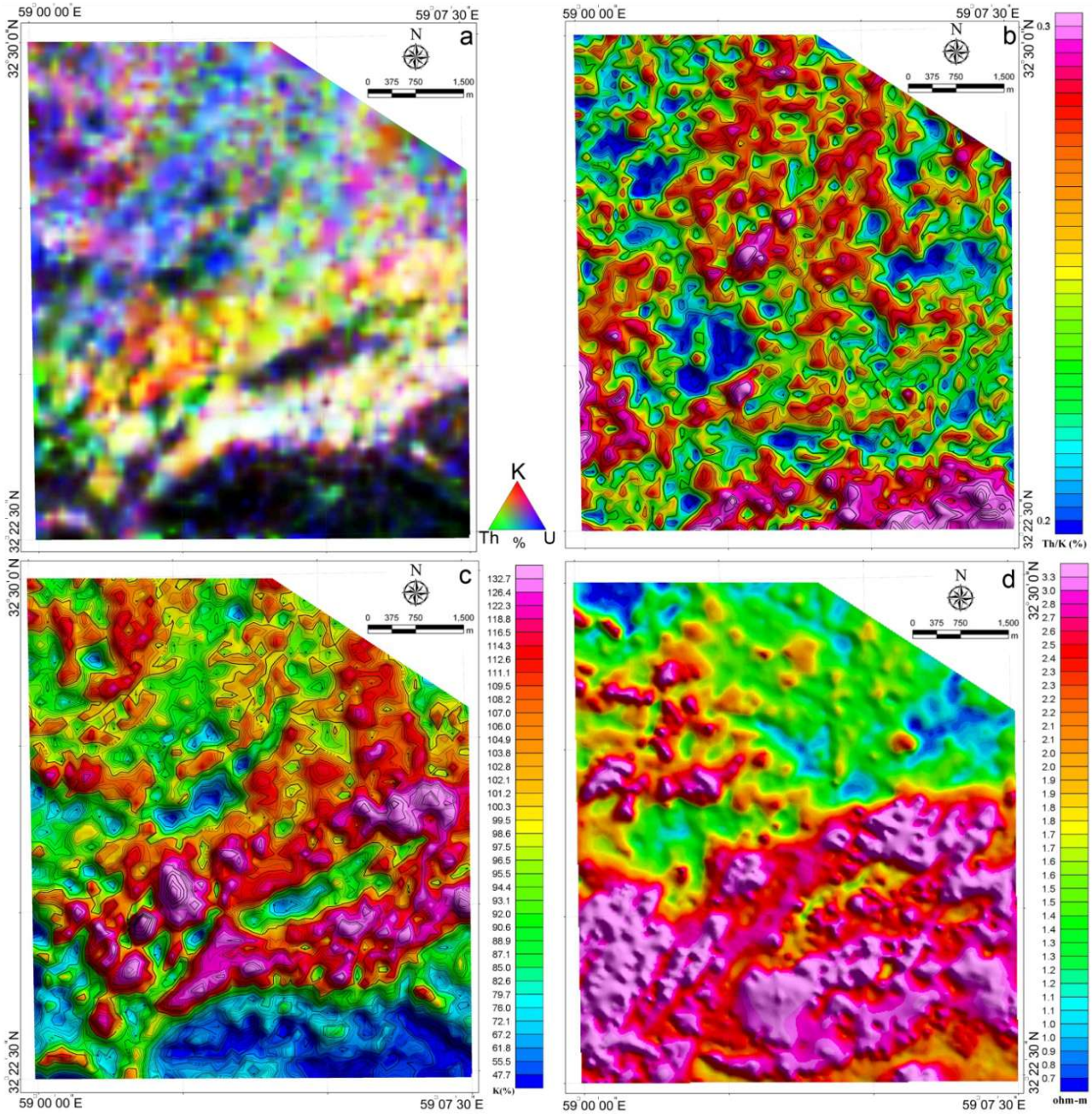
پاسخ رادیومتری از منطقه کوه‌شاه در قالب ۵ نقشه پتاسیم، اورانیم، توریم، سه‌گانه (پتاسیم، اورانیم و توریم) و نسبت توریم/پتاسیم، قابل بررسی است. در نقشه سه‌گانه K-Th-U شکل (۱۸-a)، مناطق سفیدرنگ، پاسخ رادیومتری بالا، از هر سه عنصر را در بر دارند (منطبق بر واحدهای نفوذی نیمه‌عمیق تازه و ولکانیک). برای تمیز پاسخ رادیومتری پتاسیم به‌جهت آلتراسیون پتاسیک از لیتولوژی پتاسیم‌دار، نقشه نسبت Th/K ترسیم گردید شکل (۱۸-b). چنانچه این نسبت بالا باشد، مرتبط با لیتولوژی‌های پتاسیم‌دار و اگر این نسبت پایین باشد، نشانگر آلتراسیون پتاسیم‌دار است. نقشه پتاسیم شکل (۱۸-c)، آنومالیهای مثبتی را بر روی لیتولوژی‌های پتاسیم‌دار از جمله واحدهای نفوذی نیمه‌عمق و ولکانیک‌ها و در مناطق آلتره پتاسیم‌دار، از جمله آلتراسیون آرژیلیک و احتمالاً آلتراسیون پتاسیک نزدیک به سطح، نشان می‌دهد. زون آلتراسیون پتاسیم‌دار می‌تواند مرتبط با آلتراسیون پتاسیک و یا کانیهای رسی پتاسیم‌دار، در آلتراسیون آرژیلیک باشد. هاو و کرول [۲۶]، معتقدند که اگر پاسخ رادیومتری آنومالی مثبت پتاسیم، منطبق بر آنومالی مغناطیسی بالا تا متوسط در درون یک هاله آنومالی مغناطیسی پایین تقریبا مدور باشد، شاهدی بر حضور آلتراسیون پتاسیک است. در صورتی که پاسخ مغناطیسی زون آرژیلیک پایین است. مطابق نقشه، لیتولوژی‌های پتاسیم‌دار با آنومالی مثبت و منطبق بر توده‌های نفوذی نیمه‌عمق پتاسیم بالا تا شوشونیتی، مشخص می‌باشند. در بخش آلتره، در سه محدوده، آنومالی منفی Th/K، آنومالی مثبت پتاسیم و آنومالی بالای مگنتیت، مشاهده می‌شود که در حاشیه به‌تدریج آنومالی‌ها تغییر می‌نمایند. این آنومالیها بیشتر حالت بیضوی تا نیمه‌مدور دارند و در حاشیه با آلتراسیون‌های کوارتز- سرسیت- پیریت، آرژیلیک و سیلیسی و تداخل با دیگر آلتراسیون‌ها، مشخص هستند. آنومالیهای مثبت مشاهده شده در نقشه توریوم، هم‌روند و منطبق بر واحدهای نفوذی نیمه‌عمق، دایک‌ها و ولکانیک های تازه است و در مناطق آلتره، میزان توریم پایین آمده است. گاه در برخی مناطق گوسان، افزایش توریم به نسبت دیگر زون‌های آلتره رخ داده است که به‌نظر دیکسون و همکاران [۲۵]، شرایط اسیدشویی نزدیک به سطح و هوازدگی سولفیدها، می‌تواند منجر به تحرّک توریم از سنگ میزبان و تمرکز آن به همراه آهن در زون گوسان گردد. در نقشه اورانیوم، در نیمه شمالی منطقه، گستره وسیعی از آنومالی مثبت در انطباق با واحدهای نفوذی نیمه‌عمیق و ولکانیکی مشاهده می‌شود که در مناطق آلتره از میزان آن کاسته می‌شود.

الکترومغناطیس

داده‌های الکترومغناطیس هوایی با فرکانس ۸۷۵ هرتز برداشت شده است. بخش جنوبی منطبق بر واحدهای رسوبی و ولکانیکی فاقد عوامل رساناست (شکل ۱۸-d). اما گستره وسیعی از نیمه شمالی، به‌جز در واحدهای ولکانیکی و رسوبی و همچنین زون‌های آلتراسیون سیلیسی و پروپلیتیک (که مقاومت الکتریکی بالا دارند)، با پاسخ مقاومت‌سنجی پایین بر بخش‌های سولفید پراکنده و یا اکسیدآهن حاصل از سولفید اکسیده در سطح، منطبق است. گاه به‌علل مختلفی از جمله کوچکتر بودن زون سولفیدی (زیر ۲۰۰ متر) به نسبت به خطوط پرواز، نزدیکی و مجاورت با زون آلتراسیون سیلیسی و تأثیر هوازدگی، آنومالی الکترومغناطیسی نمایان نمی‌باشد. پاسخ مقاومت‌سنجی پایین در بخش شمال‌شرقی منطقه، می‌تواند ناشی از حضور آب بین منفذی در آبرفتها باشد. همان گونه که گفته شد، در این منطقه نفوذهای متعددی صورت گرفته که پیش از کانی‌سازی، مرتبط با کانی‌سازی و یا پس از کانی‌سازی در منطقه نفوذ کرده‌اند. تعدد این توده‌ها، سبب تداخل زون‌های آلتراسیون بر روی یکدیگر شده و همین امر سبب شده تا الگوی بیضوی مشخصه آلتراسیون سیستم پورفیری [۲۷] به‌خوبی نمایان نباشد و الگوی مشاهده شده، شامل تداخل بیضوی‌های متعدد با کشیدگی جنوب‌غرب- شمال‌شرق است که هم روند با نفوذیهای نیمه‌عمیق در امتداد گسلهای اصلی منطقه است.



شکل ۱۷. نقشه‌های شدت کل میدان مغناطیسی (a)، برگردان به قطب (b)، مشتق قائم (c)، ادامه فراسو ۱۰۰متر (d).



شکل ۱۸. نقشه‌های رادیومتری سه‌گانه K-Th-U (a)، Th/K (b)، رادیومتری K (c) و مقاومت‌سنجی (d).

نتیجه‌گیری

کانی‌سازی در منطقه کوه‌شاه، در جایگاه تکتونیکی مناسب (حاشیه بلوک لوت) و مرتبط با گستره‌ای از نفوذهای متعدد و تلسکوپی توده‌های نیمه‌عمیق حدواسط و دگرسانیهای مرتبط با آنها شکل گرفته است. دگرسانی در این منطقه گستره‌ای در حدود بیش از ۸۰ کیلومتر مربع را (حتی در زیر آبرفت) می‌پوشاند و شامل زون‌های دگرسانی کوارتز- سرسیت- پیریت (لیمونیت)، پروپلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی- آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، گوسان، برش هیدروترمالی، سیلیسی و همچنین دگرسانی رگه‌های موازی کوارتز-کلسیت- لیمونیت (پیریت) صفحه‌ای و رگه‌چه‌های تأخیری کلسیت- اکسیدآهن و در نهایت تنوره‌های برشی هیدروترمال- نفوذی است. کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدهای‌آهن، به اشکال پراکنده در متن سنگ، رگه‌چه‌ای، استوک‌ورک لیمونیت- ژاروسیت، برش هیدروترمالی، رگه‌های موازی کوارتز-کلسیت- لیمونیت (پیریت) صفحه‌ای و تنوره‌های برشی هیدروترمال- نفوذی

مشاهده می‌شود. حضور و گسترش و شدت میزان اکسیدهای آهن پراکنده (تا ۱۰ درصد در زون‌های گوسان) و رگه‌چه‌های متعدد کوارتز- اکسیدآهن (لیمونیت±ژاروسیت± گوتیت) و لیمونیت+کلسیت+کوارتز با تراکم رگه‌چه تا ۴۰ عدد در ۱ متر، حاکی از قرارگیری زون‌های سولفیدی با عیار بالا در معرض هوازدگی و اسیدشویی باشد. زون‌بندی‌های آلتراسیون از نظر تنوع، گسترش و شکل و خصوصیات کانی‌سازی در این منطقه، مشابه با سیستم‌های مس- طلا پورفیری و اپی‌ترمال با سولفیداسیون بالاست [۲۸-۲۹]. علی رغم زون‌های محدود آلونیت شناسایی شده، گستره زیاد آلتراسیون آرژیلیک با شدت بالا، توده‌ها و رگه‌های سیلیسی و کانی‌سازی گسترده اکسیدآهن به صورت دانه‌پراکنده و رگه‌چه‌های استوک‌ورک کوارتز- اکسیدآهن به‌همراه زون‌های محدود کوارتز- سرسیت- پیریت، آرژیلیک پیشرفته و برش هیدروترمالی، و کانی‌سازی محدود رگه‌چه‌های سولفیدی مشخص می‌سازد که سطح فرسایش فعلی بخش بالایی یک سیستم پورفیری (قاعده لیتوکپ) را در معرض نمایش می‌گذارد و در بخش پایینی یک سیستم اپی‌ترمال با سولفیداسیون بالا قرار دارد. حضور رگه‌های موازی کوارتز-کلسیت- لیمونیت (پیریت) صفحه‌ای در بخشهایی از زون دگرسانی پروپلیتیک با شدت متوسط با فاصله (بیش از ۲/۵ کیلومتر) از منطقه اصلی دگرسانی (به‌خصوص دگرسانی کوارتز- سرسیت- پیریت) می‌تواند نشانگر کانی‌سازی در سیستم دیگری (مشابه با اپی‌ترمال با سولفید پایین) در این بخش باشد. همچنین تنوره‌های برشی هیدروترمال- نفوذی حاوی کانی‌سازی پیریت- لیمونیت± مالاکیت±کوولیت± بورنیت±کالکوپیریت در بخش جنوبی آلتراسیون‌های اصلی، نشانه‌ای از کانی‌سازی تنوره‌ای و حضور فعال مس در منطقه می‌باشد. مقادیر نسبتا پایین Zr، Yو Nb نشان می‌دهد که سنگهای گرانیتوئیدی منطقه کوه‌شاه گرانیتوئیدهای سری I هستند که در یک محیط کمانی شکل گرفته‌اند. بر اساس کانی‌شناسی و مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای نفوذی منطقه در طبقه گرانیتوئیدهای اکسیدان سری مگنتیت طبقه‌بندی می‌شوند. این واحدها همچنین متاآلومینوس بوده و از نظر سری ماگمایی روند کالک‌آلکالن با گرایش شوشونیتی دارند. الگوی نمودار عنکبوتی این توده‌ها شبیه به سنگهای نفوذی جزایر قوسی است با آنومالی منفی HFSE و آنومالی مثبت LILE. مقادیر پایین Y و Yb و مقادیر بالای نسبتSr/Y و La/Yb می‌تواند ناشی از باقی ماندن Y و HREE در گارنت باقی مانده یا تفریق گارنت و هورنبلند باشد. آنومالی منفی Nb نشانه مهمی از ماگماتیسم مرتبط با جزایر قوسی است که می‌تواند مرتبط با نوع گارنتی باشد که تحت تأثیر ذوب بخشی قرار می‌گیرد. نمودارهای تفکیک محیطهای تکتونیکی نشان می‌دهد که سنگهای گرانیتوئیدی کوه‌شاه گرایش به ماگماتیسم کمانی داشته و در خاستگاه جزایر قوسی اولیه/ کمان حاشیه قاره تشکیل شده‌اند. به این ترتیب توده‌های نفوذی منطقه کوه‌شاه نتیجه ماگماتیسم مرتبط با فرورانش کالک آلکالن محیط جزایر قوسی هستند که حاصل فرورانش زیر بلوک لوت در زمان ترشیری هستند. سن‌سنجی سنگهای گرانیتوئیدی منطقه کوه‌شاه نشان می‌دهد که این توده‌ها در ائوسن میانی (پریابونین- بارتونین) تشکیل شده‌اند. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه و $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه به ترتیب از ۰/۷۰۴۸۱۲ تا ۰/۷۰۴۹۲۰ و ۰/۵۱۲۵۷۹ تا ۰/۵۱۲۶۴۴ است. میزان εNd اولیه برای توده‌های گرانیتوئیدی کوه‌شاه از ۰/۱۸- تا ۱/۰۹ است. با توجه به این که میزان $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه کمتر از ۰/۷۰۶ است منشأ ماگما خارج از پوسته قاره‌ای بوده و از گوشته تهی‌شده منشأ گرفته است. سن سنگ منشأ ماگماتیسم منطقه کوه‌شاه ۶۱۰ تا ۶۹۰ میلیون سال گزارش شده است. آنومالیهای ژئوشیمیایی برای عناصر مس، طلا، آهن، سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان، مولیبدن، بیسموت و جیوه و عناصر دیگر (Mn, Ba, Te, Se) منطبق بر زون‌های آلتراسیونی کوارتز- سرسیت- پیریت، گوسان- استوک‌ورک- برش هیدروترمالی، توده‌های سیلیسی بی‌قاعده و آرژیلیک پیشرفته هستند. البته با توجه به این که سولفیدها طی فرآیند اکسیداسیون در سطح زمین، اکسید شده‌اند، میزان فراوانی بعضی از عناصر کمتر از میزان واقعی است. از آن جا که بیسموت در سیستمهای پورفیری همراه با طلا و مس تشکیل می‌شود بنابراین بر اساس میزان فراوانی بیسموت می‌توان نتیجه گرفت که سیستم به لحاظ سطح فرسایشی در افق فوقانی قرار دارد. معمولا آنومالی مولیبدن همراه با مس و بیسموت در مرکز سیستم بیشترین تمرکز را دارد. از آن جا که میزان کمی مولیبدن در زون اکسیدان شسته می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که سطح فعلی افق می‌تواند سطح بالایی یک سیستم پورفیری باشد. عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان و جیوه

در منطقه مورد مطالعه، همبستگی مطلوبی دارند. این عناصر در زون خارجی (عناصر فوق کانساری) زون‌بندی ژئوشیمیایی سیستم مس- طلای پورفیری حائز اهمیت هستند. داده‌های ژئوفیزیکی، شامل آنومالیهای مغناطیسی (RTP)، رادیومتری (Th, U, K, ternary, Th/K) و الکترومغناطیس (RS)، منطبق بر زون‌های آلتراسیون هیدروترمالی و کانی‌سازی است که به علت نفوذهای متعدد، هم‌پوشی زون‌های آلتراسیونی و هوازدگی سوپرژن و همچنین افق فرسایشی موجود، الگویی پیچیده از مناطقی نیمه‌مدور تا بیضوی در جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب را در منطقه، مشخص می‌سازد که پاسخی مشابه با مناطق دیگر شناسایی شده در ایران و جهان [۲۷] از جمله پورفیری سرچشمه [۳۰-۳۱] پورفیری دره‌زار [۳۲]، پورفیری توپیندا، در گینه نو [۲۶] است. نهشته‌های پورفیری و اپی‌ترمال می‌توانند در نواحی وسیعی تشکیل شوند که توده معدنی از نظر شکل، اندازه، عیار و جایگاه، به آسانی در زیر پوشش سطحی از آلتراسیون رسی یا مجموعه‌های ولکانیکی غیر آلتره[۳۳]، پنهان می‌شوند [۳۴]. برای اکتشاف موثر در این تیپ کانی‌سازی، تلفیق کلیه داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی از مقیاس ناحیه‌ای تا معدنی، مورد نیاز است [۵]. موقعیت و جایگاه تکتونوماگمایی و کانی‌سازیهای مختلف در بلوک لوت، به ویژه در حاشیه‌های این بلوک و در ارتباط با تکتونیک زون فرورانش، اهمیت توجه به اکتشاف برای کانسارهای تیپ مس- طلا پورفیری و طلای اپی‌ترمال را روشن می‌سازد. قرارگیری منطقه کوه‌شاه در حاشیه بلوک لوت و حضور کانسارهای پورفیری (ماهرآباد و خوپیک) در مجاورت این منطقه و همچنین گستره سنگهای ولکانیکی و نفوذیهای نیمه‌عمیق متعدد با نفوذهای تلسکوپی، ویژگیهای پترولوژیکی سنگهای گرانیتوئیدی (سری مگنتیت، تیپ I، متاآلومینوس، ماهیت کالک‌آلکالن با گرایش شوشونیتی)، ماگماتیسم با خاستگاه جزایر قوسی اولیه/ کمان حاشیه قاره، مشابهت سنی توده‌های نیمه‌عمیق (سن ائوسن میانی) با توده‌های نفوذی منطقه ماهرآباد و خوپیک (ائوسن بالایی)، منشأ گرفته از گوشته تهی شده، کنترل ساختارهای امتدادلغز و مورب‌لغز، زون‌های گسترده آلتراسیون آرژیلیک، سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته و پروپلیتیک و زون‌های دگرسانی محدود اما پر اهمیت کوارتز- سرسیت- پیریت، کوارتز حفره‌دار- آلونیت- ژاسپروئید، برش هیدروترمالی و گوسان، آثار کانی‌سازی سولفیدی- اکسیدآهن پراکنده و رگه‌چه‌ای، آنومالیهای ژئوشیمیایی طلا، آرسنیک، مس، آنتیموان، جیوه و غیره و آنومالیهای ژئوفیزیکی منطبق بر زون‌های آلتراسیونی و کانی‌سازی، می‌تواند مستنداتی در ارتباط با کانی‌سازی پورفیری مس- طلا و اپی‌ترمال طلا در این منطقه باشند.

تشکر و قدردانی

از معاونت زمین‌شناسی و مدیریت زمین‌شناسی منطقه‌ای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به‌دلیل همراهی و حمایتهای بی‌دریغ ایشان سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

[1] Eftekhar-Nezhad J., "*Birjand 1:250000 geological quadrangle map*", Geological Survey of Iran (1990).

[2] Eftekhar-Nezhad J., Stocklin J., Movahed-e-Avval H., Emami M.H., "*Mokhtaran Geological Map, scale 1:100000, Sheet 7854*", Geological Survey of Iran (1978).

[۳] آقانباتی ع.، *"زمین‌شناسی ایران"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۵۸۶ ص.

[۴] کریم‌پور م. ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، مظاهری س. ا.، حیدریان م. ر.، *"ماگماتیزم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت"*، پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۶).

[5] Adams S. S., *"Using Geological Information to Develop Exploration Strategies For Epithermal Deposits"*, Reviews in Economic Geology, 2 (1985) 273-298.

[6] Sillitoe R. H., *"Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features"*, Geological Association of Canada, Special Paper, 40 (1993) 403–417.

[7] Sillitoe R. H., *"Exploration of porphyry copper lithocaps"*, In: Mauk J. L., St George J.D., (eds) Proc Pacrim Congress 95, Auckland 1995, Australas Inst Mining Metall Publ Ser 9/95 (1995) 527-532.

[8] Sillitoe R. H., Steele G. B., Thompson J. F. H., Lang J. R., *"Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt"*, Mineralium Deposita, 33 (1998) 539-546.

[9] Middlemost E. A. K., *"Magmas and magmatic rocks"*, Longman, London & New York (1985) 266 p.
[10] Rickwood P. C., *"Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements"*, Lithos 22 (1989) 247–267.
[11] Irvine T. N., Baragar W. R. A., *"A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks"*, Canadian Journal of Earth Sciences 8 (1971) 523–548.
[12] Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W., *"A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 95 (1987) 407–419.
[13] Shand S. J., *"Eruptive rocks; Their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits"*, Hafner Publishing Co., New York (1947) 488 p.
[14] Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G., *"Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks"*, Journal of Petrology 25 (1984) 956-983.
[15] Condie K. C., *"Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean–Proterozoic boundary: identification and significance"*, Lithos 23 (1989) 1–18.
[16] Brown G. C., Thorpe R. S., Webb P. C., *"The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources"*, Journal of Geological Society of London 141 (1984) 413–426.
[17] Martin H., *"The Archaean grey gneisses and the genesis of the continental crust. In: Condie K.C. (Ed.), The Archaean Crustal Evolution"*, Elsevier, Amsterdam (1993).
[18] Pearce J. A., *"Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Continental Basalts and Mantle Xenoliths—Hawkesworth C. J., Norry M. J., eds"*, Nantwich, UK: Shiva. (1983).
[19] Boynton W. V., *"Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry"*, Elsevier Sci Publ. Co., Amsterdam (1984).
[20] Karimpour M. H., Stern C. R., Farmer L., Saadat S., Malekezadeh A. *"Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran"*, Geopersia, University of Tehran, Iran 1(2011) 19-36.
[21] Gehrels G. E., Valencia V., *"A Pullen in geochronology: emerging opportunities. In: T. Loszewski and W. Huff (Eds.)"* , Paleontology Society, Short Course, 12 (2006) 67–76.
[۲۲] سازمان زمین‌شناسی کشور، *"گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ مختاران"*، وزارت صنایع و معادن، (۱۳۷۹).
[۲۳] سازمان زمین‌شناسی کشور، *"گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه‌تفصیلی محدوده آنومالی ۱/۲۰۰۰۰ شیخ‌آباد"*، وزارت صنایع و معادن، (۱۳۸۲).
[۲۴] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، *"پروژه ژئوفیزیک هوائی بیرجند- خوسف (استان خراسان جنوبی)"*، وزارت صنایع و معادن، (۱۳۸۳).
[25] Dickson B. L., Fraser S. L., Kinsey-Henderson A., *"Interpreting aerial gamma-ray surveys utilizing geomorphplogical and weathering models"*, Journal of Geochemical Exploration, 57 (1996) 75-88.
[26] Howe B., Kroll A., *"The Geophysical Response of the Tupinda Cu-Au-Mo Porphyry Prospect, Tabar Islands, Papua New Guinea"*, ASEG, Sydney, Australia (2010).
[27] Sillitoe R., *"Gold-Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery"*, SEG Reviews, 13 (2000) 315-345.
[28] Sillitoe R. H., Hedenquist J. W., *" Linkages between volcano-tectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal preciousmetal deposits"*, In Simmons S. F, Groham I. (eds), Volcanic, Geothermal, and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes deep within the earth, Giggenbach memorial volume. Soc. Econ. Geol. Geochem. Soc. Sp.Pub. 10 (2003) 315-343.
[29] Sillitoe R., *"Gold-Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery"*, SEG Reviews, 13 (2000) 315-345.
[30] Ranjbar H., Shahriari H., Honarmand M., *"Integration of Aster and airborne geophysical data of copper mineralization. A case study of Sar Ccheshmeh area"*, International society for photogrammetry and remote sensing, Turkey, (2004).
[31] Ranjbar H., Honarmand M., *"Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the central Iranian volcanic belt using fuzzy classification"*, International Journal of Remote Sensing 25 (2004) 4729-4741.

[32] Ranjbar H., Hassanzadeh H., Torabi M., Ilaghi O., *"Integration and analysis of airborne geophysical data of the Darrehzar area, Kerman Province, Iran, using principal component analysis"*, Journal of applied geophysics 48 (2001) 33-41.

[33] Sillitoe R. H., Bonham H. F., *"Volcanic Landforms and Ore Deposit"*, Economic Geology, 79 (1984) 1286-1298.

[34] Simmons S. F., White N. C., John D., *"Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits"*, Society of Economic Geologists, Inc., Economic Geology 100th Anniversary (2005).