



بررسی زمین‌شناسی به‌منظور تعیین خاستگاه
عناصر نادر خاکی و کمیاب در محدوده معدن
نفلین سینیت سراب (رزگاه) و پتانسیل‌یابی
عناصر خاکی و کمیاب در محدوده مذکور

گزارش خلاصه مدیریتی

شماره قرارداد ۳۷۶۸۸

جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

علی قاسمی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شناسنامه پروژه

عنوان پروژه: بررسی زمین‌شناسی به‌منظور تعیین خاستگاه عناصر نادر خاکی و کمیاب در محدوده معدن

نفلین سینیت سراب (رزگاہ) و پتانسیل‌یابی عناصر خاکی و کمیاب در محدوده مذکور

گزارش ارسالی: خلاصه مدیریتی کارفرما: سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)

مجری: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

مدیر پروژه: علی قاسمی

همکاران پروژه: هاشم باقری، ندا ماهوش، اکرم السادات میرلوحی، صادق کیانپوریان

مقدمه

کانسارهای عناصر خاکی کمیاب در گستره پهناوری از موقعیت‌های ژئودینامیکی زمین‌شناسی، هم به صورت همزاد و هم به صورت دیرزاد تشکیل می‌شوند. اگرچه ذخایر پلاسری و کربناتیسی، مهم‌ترین منبع تولید عناصر خاکی کمیاب در طول تاریخ به‌شمار آمده‌اند، ولی ذخایر غنی از عناصر خاکی کمیاب می‌توانند در انواع موقعیت‌های زمین‌ساختی، کانساری و سنگی آذرین، رسوبی و دگرگونی تشکیل شوند. به‌طور کلی، کانسارهای عناصر خاکی کمیاب شامل کربناتیت‌ها، پلاسرها، سنگ‌های آذرین پراآلکانل گرانیتی و سینیتی، کانسارهای آهن دارای REE، پگماتیت‌ها، رگه‌های فلورین و کوارتز گرمابی، کانسارهای اسکارن، لاتریت‌های بازماندی غنی از REE و کانسارهای بازماندی REE هستند. معادن عظیم آن‌ها در برزیل، رودزیا، افریقای جنوبی، اسکاندیناوی، کانادا، هندوستان، اوگاندا و روسیه قرار دارد. در این مناطق ذخایر عناصر خاکی کمیاب به سنگ‌های آلکالی و کربناتیت‌ها و گاهی معادن آهن وابسته‌اند. از لحاظ حجمی سنگ‌های آلکانل کمتر از یک درصد کل سنگ‌های آذرین را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها غالباً از عناصر آلکالی غنی و از نظر سیلیس تهی هستند، بخش زیادی از توجه معطوف شده به سنگ‌های آلکانل به خاطر تمرکز بالای عناصر ناسازگار یا عناصر لیتوفیل بزرگ در آن‌هاست. از آنجا که سنگ‌های آلکانل شناخته‌شده ایران برای تمرکز احتمالی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل شامل توده‌های نفوذی کلیبر، بزقوش، رزگاه، لوسیتیت‌های جزیره اسلامی و توده‌های آلکالی در بخش‌های مختلف این پهنه است و اکثریت این توده‌ها در یک امتداد خطی قرار گرفته‌اند، مجموعه استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل به‌عنوان پهنه مستعد برای انجام عملیات اکتشاف محسوب می‌شوند. هدف از انجام این پروژه بررسی زمین‌شناسی به‌منظور تعیین خاستگاه عناصر نادر خاکی و کمیاب در محدوده معدن نفلین سینیت سراب (رزگاه) و پتانسیل‌یابی عناصر نادر خاکی و کمیاب در محدوده مذکور می‌باشد.

توده رزگاه در حاشیه جنوبی پهنه آتشفشانی اهر- ارسباران قرار دارد که بخشی از پهنه البرز غربی است. در این پهنه سنگ‌های آتشفشانی ائوسن روی رسوبات فلیش ژوراسیک کرتاسه واقع شده‌اند و این مجموعه مورد نفوذ سنگ‌های درونی الیگومیوسن قرار گرفته است. سن نسبی توده رزگاه الیگوسن تعیین شده است و روی آن را رسوبات میوسن پوشانده است. افزون بر توده اصلی (استوک) تعدادی دایک هم در توده وجود دارد که تمرکز آن‌ها به‌ویژه در بخش غرب و شمال غربی توده است. ضخامت دایک‌ها متغیر و از حدود چند سانتی‌متر تا چند متر و طول آن‌ها از چند متر تا ده‌ها متر متغیر است. علاوه بر دایک‌ها می‌توان تعداد زیادی رگه سیلیکایی را در بخش‌های مختلف توده به‌ویژه همراه با دایک‌ها و به‌موازات و در بلافصل آن‌ها مشاهده کرد که تمرکز آن‌ها در بخش غربی توده بیشتر است. ضخامت رگه‌ها در برخی مکان‌ها حداکثر به چند سانتی‌متر می‌رسد. سنگ‌های اطراف رگه‌ها غالباً به‌شدت دگرسان شده هستند. در غرب و شمال شرق توده، رگه و رگچه‌های دارای کانی‌سازی مس به‌صورت مالاکیت و گاهی آزوریت نیز به همراه رگه‌ها دیده می‌شود و آثار این نوع کانی‌سازی مس در امتداد و به‌موازات برخی از دایک‌ها همراه با رگه‌های سیلیکایی به‌روشنی قابل‌مشاهده است.

این مطالعات جهت بررسی زمین‌شناسی به‌منظور تعیین خاستگاه عناصر نادر خاکی و کمیاب در محدوده معدن نفلین سینیت سراب (رزگاه) و پتانسیل‌یابی عناصر نادر خاکی و کمیاب در محدوده دارای پروانه بهره‌برداری به وسعت ۱۳ کیلومترمربع می‌باشد که مشتمل بر مشاهدات صحرائی، نمونه‌برداری حدود ۱۰۰ نمونه لیتوژئوشیمیایی از رخنمون‌های سنگی توده‌های آلکالن، سنگ‌های تحت اشباع و دایک‌ها و مناطق کانی‌سازی و دگرسانی و نیز نمونه‌برداری از مغزه‌های ۲۳ گمانه اکتشافی به عمق حدود ۳۱۰۰ متر (حدود ۵۰ نمونه)، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی جهت تهیه مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک و صیقلی، مطالعات سیالات درگیر، آنالیز شیمیایی نمونه‌ها بروش ICP-MS, XRF, XRD و تجزیه و تحلیل‌های آماری تک‌متغیره و چندمتغیره، تعیین ژنز و خاستگاه، نمونه‌برداری سطحی و عمقی از گمانه‌های موجود و نهایتاً پتانسیل‌یابی عناصر نادر خاکی و کمیاب می‌باشد. شرح خدمات اجرای طرح شامل موارد ذیل است:

- جمع‌آوری و بررسی اطلاعات و اسناد فنی مرتبط، بررسی نقشه‌های پراکندگی مواد معدنی تعیین مناطق با تراکم بالای کانی‌سازی عناصر نادر خاکی، زون‌ها و ایالت‌های کانی‌سازی امیدبخش حضور عناصر نادر خاکی
- طراحی شبکه نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی از رخنمون‌های سنگی توده‌های آکالن، سنگ‌های تحت اشباع و دایک‌ها و مناطق کانی‌سازی و دگرسانی برای مطالعات پتروگرافی، مینرالوگرافی، کانی‌شناسی، سیالات درگیر و تجزیه شیمیایی و نیز گمانه‌های موجود در محدوده مطالعاتی
- نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی سطحی و برش مغزه‌های موجود و نمونه‌برداری از آن‌ها
- آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی بروش ICP-MS, XRF, XRD
- انجام مطالعات پتروگرافی، مینرالوگرافی، کانی‌شناسی
- آماده‌سازی و انجام مطالعات سیالات درگیر
- مطالعات آماری پایه، پردازش داده‌های ژئوشیمیایی تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی به همراه تعبیر و تفسیر آنومالی ژئوشیمیایی و معرفی محدوده‌های امیدبخش
- تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی، تفسیر آنومالی ژئوشیمیایی و معرفی محدوده‌های امیدبخش
- تهیه نقشه تلفیقی و تعیین مناطق امیدبخش
- تحلیل‌های زمین‌شناسی و اکتشافی، تعیین ژنز و خاستگاه و پتانسیل‌یابی عناصر نادر
- تهیه گزارش پایانی

بحث

با توجه به محدودیت‌های شرکت نفلین سینیت در خصوص بایگانی گمانه‌های موجود مقرر شد پس از دریافت نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی نسبت به انتخاب و نمونه‌برداری از گمانه‌های موجود اقدام گردد.

منطقه ۱ که در ناحیه شمال غربی معدن به مساحت ۷۷ هکتار واقع شده است. بین ترکیب کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌های بخش شمال غربی و دیگر بخش‌های توده تفاوت‌هایی دیده می‌شود. در بخش اصلی توده ترکیب سنگ‌شناسی غالب بدون در نظر گرفتن دایک‌ها، پسودولوسیت سینیت است در حالیکه در بخش شمال غربی توده ترکیب سنگ‌شناسی متغیر بوده و سنگ‌هایی مانند نفلین سینیت، آلکالی‌فلدسپات سینیت دارای نفلین و نفلین مونزوسینیت دیده می‌شود.

منطقه ۲ که در ناحیه غربی معدن با مساحتی حدود ۹۲ هکتار معدن قرار دارد علاوه بر سنگ‌های نادگرسان توده و دایک‌های آن، رگه‌ها و رگچه‌هایی از کوارتز، سربیسیت و مالاکیت نیز در توده دیده می‌شود که موجب دگرسانی سنگ‌ها شده‌اند. این منطقه به خاطر وجود عوارض مختلف زمین‌شناسی و حضور دایک‌ها و رگه‌های معدنی جهت نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی انتخاب شده است.

منطقه ۳ که در ناحیه مرکزی معدن با مساحتی حدود ۹۸ واقع شده است. بخش عمده این منطقه از یک واحد سودولیت سینیت حاوی درشت‌بلورهای پسودولوسیت تشکیل شده است. این واحد دارای رنگ ظاهری قهوه‌ای تا خاکستری تیره بوده و اغلب اکسیده می‌باشد و رگچه‌های نازک فراوان اکسید آهن و کربنات در جهات مختلف آن را قطع نموده‌اند. اما سطح شکست تازه سنگ، خاکستری تیره است. کانی‌های مافیک آن کم‌وبیش اکسیده شده و آهن آزاد شده آن به درون بافت سنگ نفوذ کرده است. حدود ۱۵-۲۰ درصد این سنگ‌ها را نفلین تشکیل می‌دهد. تمرکز حفاری‌های انجام‌شده در آن دیده می‌شود. در این منطقه واحد

سنگی سودولیت سینیتی شدیداً آرژیلی شده است. در این منطقه علاوه بر نمونه برداری از واحدهای سنگی از گمانه‌های حفاری شده نیز نمونه برداری شد.

بر پایه مطالعات کانی‌شناسی سنگ‌های نادگرسان ترکیب سنگ‌شناسی استوک و دایک‌های رزگه متنوع است و ترکیب آن‌ها از پسودولوسیت سینیت، پسودولوسیت مونزوسینیت، نفلین سینیت، مونزودیوریت دارای نفلین، مونزونیت دارای نفلین، آلکالی‌فلدسپات سینیت دارای نفلین و تا سینیت دارای نفلین متغیر است. افزون بر سنگ‌های یادشده، فنولیت تفریتی، تفریت فنولیتی و همچنین فنولیت، سینیت دارای کوارتز، مونزونیت و گابرو نیز برای واحدهای سنگی توده رزگه معرفی شده است. علاوه بر سنگ‌های نادگرسان توده و دایک‌های آن، رگه‌ها و رگچه‌هایی از کوارتز، سریسیت و مالاکیت نیز در توده دیده می‌شود که موجب دگرسانی سنگ‌ها شده‌اند رخداد این رگه‌ها و دگرسانی همراه آن‌ها غالباً از روندهای خطی روی زمین پیروی می‌کند و گاهی همراه با دایک‌هایی دیده می‌شوند که به شدت دگرسان شده‌اند و رنگ آن‌ها سفیدتر شده است و تخلخل سنگ‌ها هم افزایش یافته است. روند رگه‌ها مانند رگه‌های واجد مالاکیت غالباً موازی با دایک‌ها است.

نفلین در سنگ‌های دیواره رگه‌ها به شدت دگرسان شده است و جای آن‌ها را کانی‌های رسی و سریسیت پر کرده است ولی فلدسپات‌های پتاسیم سنگ در بیشتر موارد دچار دگرسانی نشده و به صورت شفاف در سنگ باقی مانده‌اند. کوارتز در تمامی انواع رگه‌ها وجود دارد و همراه با آن سریسیت و آدولاریا قابل مشاهده است در برخی از رگه‌ها افزون بر کانی‌های یادشده مقدار زیادی مالاکیت و گاهی آزوریت دیده می‌شود که دارای بافت کلوپورم هستند و فضاهای خالی سنگ را پر کرده‌اند. با اینکه بسیاری از رگه‌ها فقط از کوارتز و سریسیت تشکیل شده‌اند ولی در برخی رگه‌ها مقدار مالاکیت گاه به چند درصد می‌رسد. در این رگه‌های واجد مالاکیت کانی کوولیت دیده شده است که به کانی ثانویه و مالاکیت تبدیل شده است همچنین دگرسانی سبب شده است تا کانی‌های فرو منیزین به کانی‌های اکسید آهن تجزیه شوند و ایلمنیت و مگنتیت سنگ‌ها نیز به کانی‌های اکسید تیتانیم و اکسید آهن از جمله هماتیت تبدیل شوند همچنین در سنگ دیواره سریسیتی نیز مقدار بسیار کمی پیریت دیده شده که در حال تبدیل به گوتیت است.

به طور کلی دایک‌های میکروسینیتی، رگه‌ها و دایک‌های نفلین‌سینیت، دایک‌های مرکب و رگه‌های سیلیسی توده آذین رزگه را قطع کرده‌اند که در بخش غربی توده (مناطق ۱ و ۲) فراوان‌تر هستند.

رخداد سنگ‌های آلکالن با مناطق دارای کانی‌سازی ثانویه مس در برخی بخش‌های توده مت‌آلومینوس - پرآلکالن رزگه در شمال غرب شهرستان سراب سبب شد تا این توده از دید احتمال رخداد کانی‌زایی و حضور عناصر نادر خاکی و کمیاب مورد توجه باشد. در پژوهش حاضر با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی، توان کانه‌زایی عناصر فوق در این توده مورد ارزیابی قرار گرفت. سنگ‌های توده رزگه روند تبلور تفریقی را به نمایش گذاشته و دارای تنوع سنگ‌شناسی از مونزودیوریت نفلین‌دار تا نفلین‌مونزوسینیت، پسودولوسیت مونزوسینیت و نفلین‌سینیت هستند. ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی استوک و دایک‌های رزگه با تأکید بر رفتار عناصر کمیاب خاکی در طی تفریق ماگمایی نشان داده که آپاتیت تأثیر زیادی بر تنظیم غلظت عناصر کمیاب خاکی، U و Th داشته است و زیرکن تا حد کمتر در سنگ‌های تفریق یافته تر عناصر کمیاب خاکی سنگین، U، Th و عناصر HFS (Ti, Ta, Nb, Hf, Zr) را در خود جای داده است. تنوع واحدهای سنگی، تغییرات زیرکن و آپاتیت در واحدهای مختلف به‌عنوان کانی‌های حمل‌کننده عناصر کمیاب و نادر خاکی، دایک‌های متنوع و رخداد کانه‌زایی مس از پارامترهای انتخاب مناطق پیشنهادی جهت انجام مطالعات است. بر اساس مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی مقاطع نازک، سنگ‌های منطقه شامل توده نفوذی و دایک‌ها می‌شود. پتروگرافی توده نفوذی نشان دهنده حضور سنگ‌های نفلین‌گابروی‌الیوین‌دار، نفلین‌مونزوسینیت، پسودولوسیت‌سینیت و پتاسیم‌فلدسپات‌نفلین‌سینیت است. همچنین دایک‌ها شامل دایک‌های بازیک یا لامپروفیر است و با توجه به حضور لوسیت و آمفیبول می‌توان آن‌ها را از جمله لامپروفیرهای آلکالن (قلیایی) دانست. رگه‌های سیلیس‌دار و رگه‌های کانه‌دار از جمله رگه‌هایی هستند که گاهی همراه با دایک‌ها و گاهی به تنهایی توده را قطع کرده و کانه‌های آن‌ها شامل اکسید آهن و کربنات مس است. بر پایه نتایج حاصل از آنالیز

XRD برای تعدادی از نمونه‌های منطقه مورد پژوهش، مشخص گردید که فازهای اصلی شامل فلدسپات پتاسیم و فازهای فرعی شامل ایلیت، کائولینیت و به مقدار کمتری، گوتیت، آلبیت، آنالسیم، کلسیت و به میزان کمتر هماتیت است. وجود پسودولوسیت، حاشیه واکنشی در اطراف کلینوپیروکسن و الیوین، وجود نفلین در اطراف پلاژیوکلاز و نفلین‌های دگرسان شده و خوردگی پلاژیوکلاز به تغییر ترکیب ماگما و فشار وارده بر آن اشاره دارند و وجود یک مخزن ماگمایی در نزدیک سطح برای تشکیل سنگ‌های منطقه را می‌توان در نظر گرفت. همچنین با در نظر گرفتن تشکیل پسودولوسیت‌ها، مذاب اولیه، پتاسیک‌تر از ماگماهایی بوده که بعداً تزریق شده‌اند.

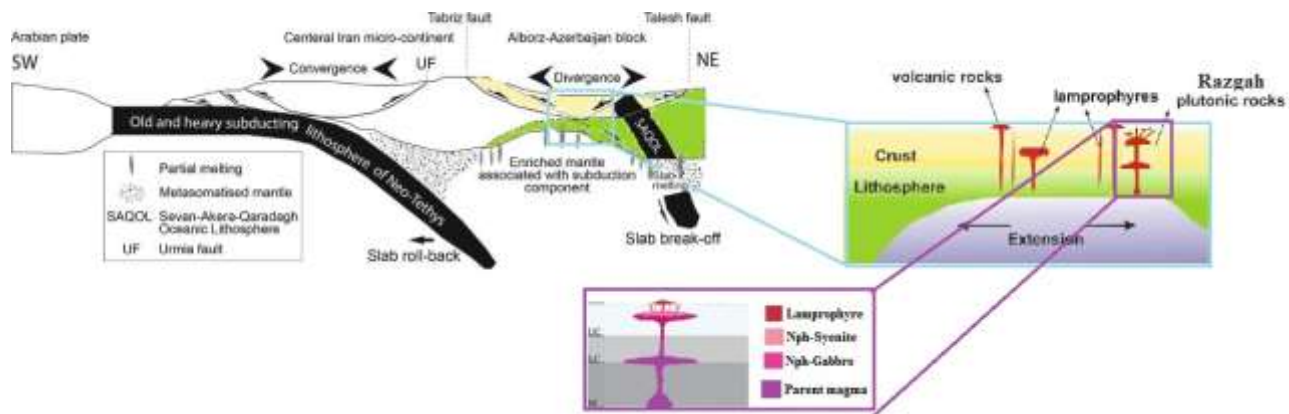
بررسی مقاطع نازک - صیقلی نشان می‌دهد که رخداد مالاکیت در سنگ‌های توده نفوذی و نیز در میان رگه‌های کوارتز حادث شده و این پدیده موجب دگرسانی شدید توده نفوذی شده است اما این دگرسانی‌ها بر روی کانی آپاتیت. تاثیری نداشته است و بلورهای آپاتیت سالم باقی مانده‌اند؛ بنابراین، پتانسیل بررسی‌های ژئوشیمیایی این کانی وجود دارد. بر اساس داده‌های ژئوشیمی سنگ کل مقدار اکسید همه عناصر اصلی به غیر از K_2O با افزایش سیلیس، کاهش یافته و مقدار P_2O_5 نسبت به CaO افزایش می‌یابد. بررسی‌های ژئوشیمی نشان می‌دهد که به طور کلی، دایک‌ها و رگه‌های همراه با توده نفوذی رزگانه، از نظر میزان K_2O غنی‌تر از توده نفوذی هستند ولی از نظر CaO و Na_2O فقیرتر از توده نفوذی می‌باشند. مقدار Ba به احتمال زیاد توسط فلدسپات پتاسیم و مقادیر Ni و Cr توسط تبلور کلینوپیروکسن کنترل شده است. در نمودارهای نامگذاری سنگ‌ها بر اساس داده‌های ژئوشیمی، نمونه‌های منطقه رزگانه در محدوده نفلین سینیت، سینیت و آلکالی فلدسپات سینیت قرار می‌گیرند. بر پایه مقادیر اکسیدهای اصلی (Na_2O و K_2O) این سنگ‌ها آلکالن پتاسیک بوده و بر اساس ضریب اشباعیت آلومینیوم، متالومینوس تا پراآلومینوس می‌باشند. ماهیت ماگما بر مبنای مقادیر عناصر فرعی Co و Th و نسبت‌های Ce/Yb ، Ta/Yb و Th/Yb از نوع کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و متعلق به سری‌های شوشونیتی، معرفی می‌گردد که پائین بودن مقدار TiO_2 در این سنگ‌ها، تأکیدی بر این ویژگی است. الگوی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر REE، LILE و HFSE در سنگ‌های منطقه رزگانه می‌تواند در

ارتباط با فرایند متاسوماتیسم گوشته و یا آرایش پوسته قاره‌ای باشد و بی‌هنجاری منفی عناصر Nb و Ti را می‌توان جزو بی‌هنجاری منفی TNT (تینانیم، نیوبیم و تانتالیم) محسوب کرد. همچنین، با در نظر گرفتن غنی‌شدگی Pb در همراهی با غنی‌شدگی عناصر LILE و تهی‌شدگی عناصر HFSE تشکیل سنگ‌های مورد مطالعه را می‌توان در ارتباط با ذوب گوشته متاسوماتیسم شده همراه با آرایش پوسته‌ای ماگمای گوشته‌ای در ترازهای بالاتر در نظر گرفت. تشابه الگوهای عناصر نادر خاکی و موازی بودن نمونه‌ها در این نمودارها و نمودارهای چندعنصری، دلالت بر تشابه فرایندهای ماگمایی سازنده همه گروه‌های سنگی تشخیص داده شده در منطقه است. افزون بر این، کاهش حلالیت P با افزایش مقدار k و REE موجبات جدایش آپاتیت از مذاب مادر را فراهم کرده است. ماگمای مولد مذاب تشکیل دهنده توده‌های نفوذی رزگاه، آمفیبولیت تعیین گردید و محیط‌های مرتبط با فرورانش و قوس‌های پس از برخورد به عنوان محیط تکتونیکی تشکیل این سنگ‌ها در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به الگوی REE ها و ماهیت آلکالن نمونه‌ها، مشخص می‌شود که مذاب از یک لیتوسفریک مانتل زیر قاره‌ای با درجه ذوب بخشی پائین ایجاد شده است که خود گوشته نیز توسط سیالات و مذاب‌های مشتق شده از مواد قاره‌ای و اسلب اقیانوسی فرورونده در زون فرورانش، دچار آرایش شده است. بررسی ژئوشیمی سنگ کل توده نفوذی رزگاه و لامپروفیرهای همراه نشان داد که احتمالاً یک سنگ منشاء گوشته‌ای با ترکیب اولیه اسپینل لرزولیت با تحمل درجه ذوب بخشی متعادلی معادل ۱ درصد موجبات تشکیل مذاب اولیه را فراهم نموده است. بر پایه مدل ژئوتکتونیکی ارائه شده، پس از فرورانش صفحه عربی به زیر ورقه ایران و شکست اسلب و سپس، رخداد رژیم کششی، ماگمای منشأ گرفته از گوشته غنی شده و ذوب اسلب فرورونده، در قاعده پوسته دچار تفریق بلوری شده و سپس با نفوذ بخش تفریق یافته به ترازهای بالاتر پوسته، آرایش پوسته‌ای صورت گرفته است. با خروج گازها و ایجاد شکستگی‌های عادی در سقف آشیانه، امکان نفوذ دایک‌های لامپروفیری و دیگر دایک‌های قطع کننده توده نفوذی در منطقه رزگاه، ایجاد شده است.

داشتن نشانه‌های محیط فرورانشی می‌تواند به علت افزایش سیالات آزاد شده از لبه فرورونده و اثر متاسوماتیزی آن بر سنگ کره و ذوب این سنگ کره متاسوماتیز شده باشد. بنابراین، شاید بتوان نتیجه گرفت، از زمان ائوسن رژیم پس از برخورد در آذربایجان حاکم بوده است. این مسئله با توجه به هندسه صفحات برخوردکننده که در شمال باختر ایران زمین زودتر انجام شده است، همخوانی دارد. چنانچه عمرانی و همکاران (۲۰۰۸) نیز زمان برخورد قاره‌ای در شمال باختر ایران را قدیمی‌تر از بخش‌های جنوب خاوری در ایران مرکزی و باختری در ترکیه می‌دانند. Hafkenscheid و همکاران (۲۰۰۶) بر این باورند که لبه فرورونده زیر آذربایجان از ۳۰ تا ۴۰ میلیون سال پیش جدا شده و امروزه در ژرفای ۵۰۰ کیلومتری قرار دارد. Maggi و Priestley (۲۰۰۵) وجود گوشته کم سرعت را به همراه فعالیت آتشفشانی عهد حاضر، نشانه پوسته شدگی گوشته سنگ‌کره‌ای در شمال باختر ایران زمین می‌دانند. با این داده‌ها می‌توان چنین تصور کرد که چون شمال باختر ایران پیش از مناطق دیگر واقعه برخورد قاره‌ای را متحمل شده و یک مرحله از مناطق جنوبی‌تر جلوتر بوده‌اند، سست کره زیر آن به دلیل شکست لبه فرورونده و در پی آن پوسته‌شدگی، به ترازهای بالاتر انتقال یافته است. مجموع این دو سازوکار می‌توانسته باعث ذوب بخشی گوشته سنگ‌کره‌ای و پوسته زیرین و در نهایت تولید و جای‌گیری توده‌هایی با جایگاه پس از برخورد در آذربایجان شده باشد.

در شکل ۳ مدل ژئوتکتونیکی تشکیل سنگ‌های ماگمایی رزگاه که فرورانش صفحه عربی به زیر ورقه ایران و شکست اسلب و سپس، رخداد رژیم کششی را نشان می‌دهد. همچنین ماگمای منشأ گرفته از گوشته غنی شده و رخداد تفریق بلوری در قاعده پوسته و سپس نفوذ بخش تفریق یافته به ترازهای بالاتر پوسته و آرایش صورت گرفته است. با خروج گازها و ایجاد شکستگی‌های عادی در سقف آشیانه، نفوذ دایک‌های لامپروفیری و دایک‌های متعدد دیگر که توده رزگاه را قطع کرده‌اند، رخ داده است.



شکل ۳ مدل ژئوتکتونیکی تشکیل سنگ‌های ماگمایی رزگاه که فرورانش و شکست اسلب و رخداد رژیم کششی را نشان می‌دهد. همچنین ماگمای منشأ گرفته از گوشته غنی شده و تفریق بلوری، نفوذ بخش تفریق یافته به تراز بالاتر پوسته و آرایش پوسته‌ای، خروج گازها و ایجاد شکستگی‌های عادی در سقف آشیانه و نفوذ لامپروفیرها و دایک‌های متعدد قابل برداشت است.

داده‌های شوری و دمای همگن شدن میانبارهای سیال در این اندیس نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز میانبارهای سیال در محدوده آب‌های ماگمایی می‌باشد. ضمن تبلور ماگما قسمت‌های سبک‌تر و قلیایی‌تر و بخارات آبدار، همراه با ترکیباتی که بعداً در حرارت پایین‌تر متبلور می‌شوند، در بخش بالایی اتاق ماگمایی تجمع می‌یابند. این سیالات که ضمن حرکت به طرف بالا مولد کانسارهای جدیدی خواهند بود، به آب‌های ماگمایی و یا آب‌های بکر موسوم می‌باشند. همچنین آنکلوزیون‌های مذاب به دام افتاده در فنوکریست‌ها که غنی از CO_2 و فلز می‌باشند، شواهد مستقیمی از وجود سیالات ماگمایی دما بالا می‌باشند که در طی فرآیند گاززدائی از ماگما جدا شده‌اند. این بخش ماگمایی احتمالاً مربوط به توده‌های نفوذی اطراف منطقه می‌باشد. همچنین احتمال دارد که توده‌های نفوذی که در منطقه وجود دارند، به صورت موتور حرارتی سبب ایجاد جریان همرفتی در سیالات جوی شده باشد، در نتیجه این توده‌های نفوذی نیز در تأمین سیالات لازم نقش داشته‌اند.

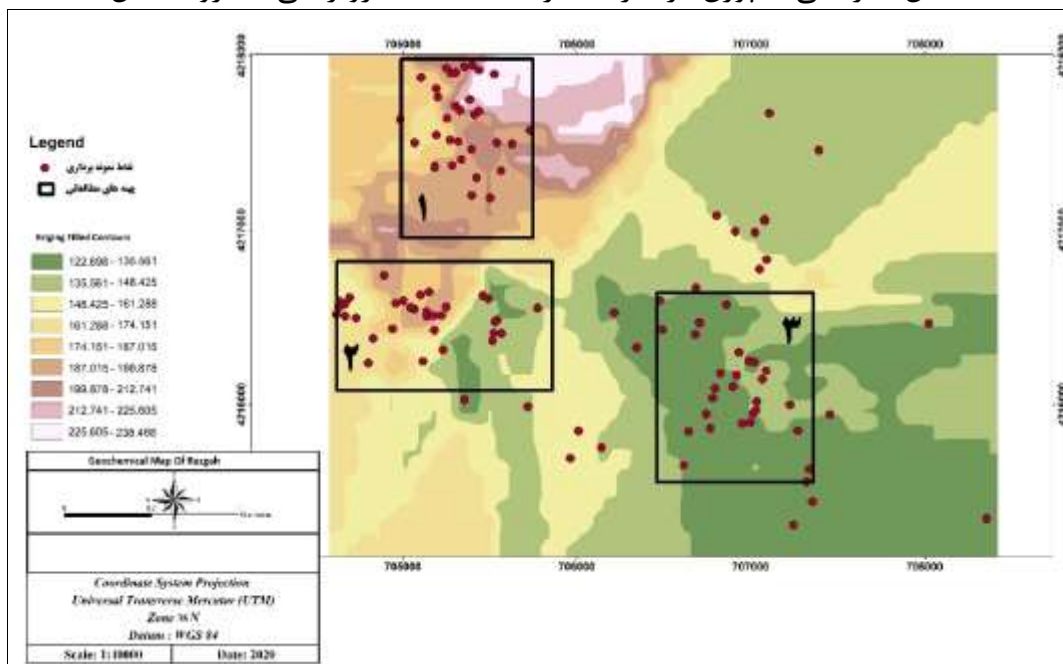
مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، رخداد کانه‌زایی مس و وجود دایک‌ها و رگه‌های سیلیسی نشان می‌دهد که مناطق شماره ۱ و ۲ از نظر داشتن پتانسیل عناصر نادر خاکی در اولویت برای اکتشاف می‌باشند. با توجه به همبستگی مکانی عناصر و بررسی‌های انجام شده این نتیجه به دست می‌آید که این توده در قسمت غربی و

شمال غربی منطقه می تواند پتانسیل تشکیل کانسار را داشته باشد و قسمت شرقی منطقه آنومالی واضحی را به کمک روش ژئوشیمی نشان نمی دهد.

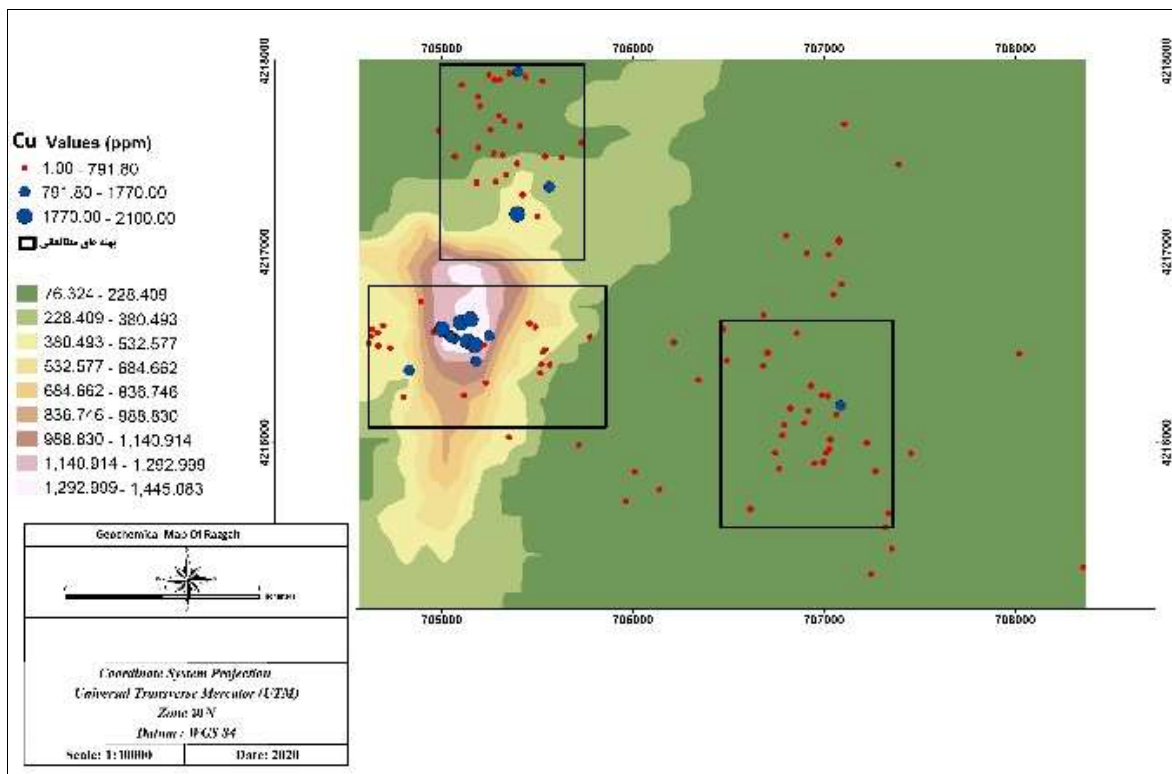
نتایج آنالیزهای شیمیایی نشان می دهد که ناهنجاری عناصر نادر خاکی عمدتاً در دایکهای بازیک (لامپروفیرها)، توده های نفلین سینیتی، دایکهای کانه دار غرب و شمال غرب محدوده و مناطق دگرسان آرژیلیکی، که احتمالاً بدلیل دگرسانی هیپوژن از اثر عملکرد سیالات هیدروترمالی بالارو تشکیل شده است، متمرکز است. بر اساس مطالعات کانی شناسی و پتروگرافی کانی های آپاتیت و زیرکون به عنوان کانی های فرعی در این واحدهای سنگی مشاهده می گردند. این کانی های به عنوان کانی های حامل کننده عناصر نادر خاکی شناخته می شوند. آزاد شدن محلول های گرمابی در برخی بخش های توده و شستشوی عناصر نادر خاکی و کمیاب از کانی های میزبان توسط این محلول ها سبب کانی زایی مس و غنی شدگی از REE در رگه های سیلیسی کانه دار، دایکها و همچنین نواحی دگرسانه شده در مرحله فرایندهای دگرسانی درون زاد شده است. رخداد فرایندهای اکسید شدن و انحلال برون زاد بر کانی سازی های ضعیف اولیه، افزایش REE و مس را با تشکیل کربنات های مس به دنبال داشته است. این امر بستگی به کانی شناسی اولیه و در دسترس بودن لیگاندهای حامل های فلزات دارد. واحدهای آرژیلیکی سطحی که حاصل تجزیه توده نفوذی سطحی است و احتمالاً حاصل هوازدگی و تجزیه کانی های در برگیرنده توده نفوذی است ناهنجاری عناصر نادر خاکی را از خود نشان نمی دهند. این محدوده شباهت زیادی به کانسار المپیک دام دارد. کانسار المپیک دام تنها کانسار طلا-مس-اکسید آهنی است که میزبان مقادیر قابل ملاحظه ای از کانی سازی عناصر نادر خاکی می باشد. کانسار REE در واقع ذخایر غیر اقتصادی هستند اما ممکن است پتانسیل لازم را به شکل محصول جانبی در آینده دارا باشند. سیستم های طلا-مس-اکسید آهن، کانسارهای گرمابی هستند که توسط فراوانی اکسید آهن نسبت به باطله های سولفیدی، مس و کانی سازی احتمالی طلا، همراهی با هاله های دگرسانی غنی از سدیم و غنی شدگی فلزات کمیاب همچون عناصر نادر خاکی شناخته می شوند. این کانسار اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) یک منبع مس در سطح

جهانی است. علاوه بر این، این کانسار به عنوان نمونه‌ای تیپیک از این نوع در دنیا است. این کانسار آنومالی بالایی از غنی شدگی REE دارد،

گمانه‌های اکتشافی در منطقه ۳ مطالعاتی متمرکز شده است. ترکیب اصلی سنگ‌های این گمانه‌ها پسیدولوسیت سینیت بوده که در اثر گسل خوردگی و نفوذ سیالات گرمابی و یا آب‌های سطحی در برخی از مناطق خرد یا تجزیه شده‌اند. نتایج آنالیزهای شیمیایی نشان میدهد که بیشتر نمونه‌های برداشت شده از ۶ گمانه که دارای ترکیب پسیدولوسیت سینیتی یا سنگ‌های حاصل از خردشدگی یا تجزیه این ترکیب سنگی هستند، مشابه نمونه‌های سطحی برداشت شده در این منطقه آنومالی ژئوشیمیایی از عناصر نادر خاکی و سایر عناصر کمیاب را نشان نمی‌دهند. بطوریکه حداکثر میزان مجموع عناصر خاکی به 130 ppm می‌رسد. تنها در گمانه J-۱۰ که در حاشیه شمال شرقی منطقه مرکزی واقع شده، در عمق ۳۵ تا ۵۰ متری یک واحد آرژیلیکی دیده می‌شود. مجموع عناصر نادر خاکی نمونه برداشت شده در این زون آرژیلیکی به مقدار 293 ppm می‌رسد. این زون آرژیلیکی احتمالاً بدلیل دگرسانی هیپوژن در اثر عملکرد سیالات هیدروترمالی بالارو تشکیل شده است.



نقشه ۲ ناهنجاری مجموع عناصر نادر خاکی در محدوده زرگاه



شکل ۳ نقشه ناهنجاری مجموع مس در محدوده رزگاه

پیشنهادات

با عنایت به گزارش لامپروفیرها از این منطقه و اهمیت این سنگها، قطعاً لازم است که ضمن توجه ویژه به این سنگها، نمونه برداری بررسی های ژئوشیمیایی گسترده تری بر روی این سنگها صورت گیرد و با لامپروفیرهای سایر نقاط ایران و نواحی اطراف مقایسه شود.

انجام آنالیزهای ایزوتوپی به روش Sm-Nd جهت بررسی های دقیق تر تعیین منشا و وابستگی لامپروفیرها با دایکهای دیگر و توده نفوذی رزگاه می تواند راه گشای مناسبی باشد.

با توجه به حضور آپاتیت به عنوان کانی حامل عناصر نادر خاکی در این سنگها پیشنهاد می گردد، آنالیز لیزرابلیشن بر روی این کانی در واحدهای سنگی مختلف صورت گیرد تا نقش آن در کنترل REE در این سنگها قابل بررسی باشد.

از مجموع ۲۷ گمانه اکتشافی در منطقه ۳ مطالعاتی تنها گمانه J۱۰ در حاشیه شمال شرقی منطقه دارای واحد آرژیلیکی (کائولن) با میزان مجموع عناصر نادر خاکی بالاتر نسبت به سایر واحدهای سنگی است و در سایر گمانه‌های مجاور این واحد دگرسان شده دیده نمی‌شود. تصمیم‌گیری در خصوص شناسایی گسترش افقی و عمودی این واحد دگرسان شده و تعیین تغییرات مجموع عناصر نادر خاکی مستلزم حفاری‌های اکتشافی تکمیلی در اطراف این گمانه است.

از آنجاییکه کانی‌سازی مس ثانویه صورت رگه، رگچه‌ای در بخش‌های غربی استوک و دایک‌های مرتبط با آن همراه است. از طرفی بیشترین آنومالی عناصر نادر خاکی نیز در بخش غربی و شمال غربی محدوده مشاهده شده است. با توجه به همبستگی مکانی عناصر و بررسی‌های انجام شده این نتیجه به دست می‌آید که این توده در قسمت غربی منطقه می‌تواند پتانسیل تشکیل کانسار را داشته باشد. نقشه‌های ژئوشیمی بدست آمده نشان می‌دهد مناطق شماره ۱ و ۲ از نظر داشتن پتانسیل عناصر نادر خاکی و مس در اولویت برای اکتشاف می‌باشند. با توجه به اهمیت اکتشاف مس و عناصر نادر خاکی در این بخش از محدوده، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و ماهواره‌ای به منظور شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساختاری، ماگماتیزم، کانی‌شناسی، لیتولوژیکی، محیط تکتونیکی (تکتونو ماگمایی)، دگرسانی و ارتباط آن با کانی‌سازی و معرفی تیپ کانه‌سازی به ویژه کانسار مس انجام گیرد. این مطالعات شامل موارد ذیل می‌باشد

□ برداشت زمین‌شناسی، تفکیک واحدهای سنگی زون‌های دگرسانی، اندازه‌گیری شیب و امتداد گسل‌ها و زون‌های کانی‌سازی، نمونه‌برداری از رخنمون‌های کانی‌سازی و سنگی برای مطالعات پتروگرافی، کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس، کانه‌نگاری و در نهایت تهیه نقشه توپوگرافی - زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از کل محدوده غربی و شمال غربی و ۱:۱۰۰۰ زمین‌شناسی از محدوده‌های دارای پتانسیل معدنی جهت شناسایی دقیق واحدهای سنگ چینه‌ای، گسل‌ها و عملکرد آن‌ها بر کانی‌سازی، گسترش سطحی کانی‌سازی و دگرسانی‌ها،

□ نمونه برداری سیستماتیک در یک شبکه فشرده از رخنمون های سنگی و کانه دار، دایک ها و رگه های

سیلیسی و تجزیه شیمیایی به روشهای جذب اتمی، OES-ICP یا MS-ICP به منظور انجام مطالعات

آماری پایه، پردازش داده های ژئوشیمیایی، تهیه نقشه های آنومالی ژئوشیمیایی و تهیه نقشه زون بندی

عناصر نادر خاکی، مس و عناصر پراثر

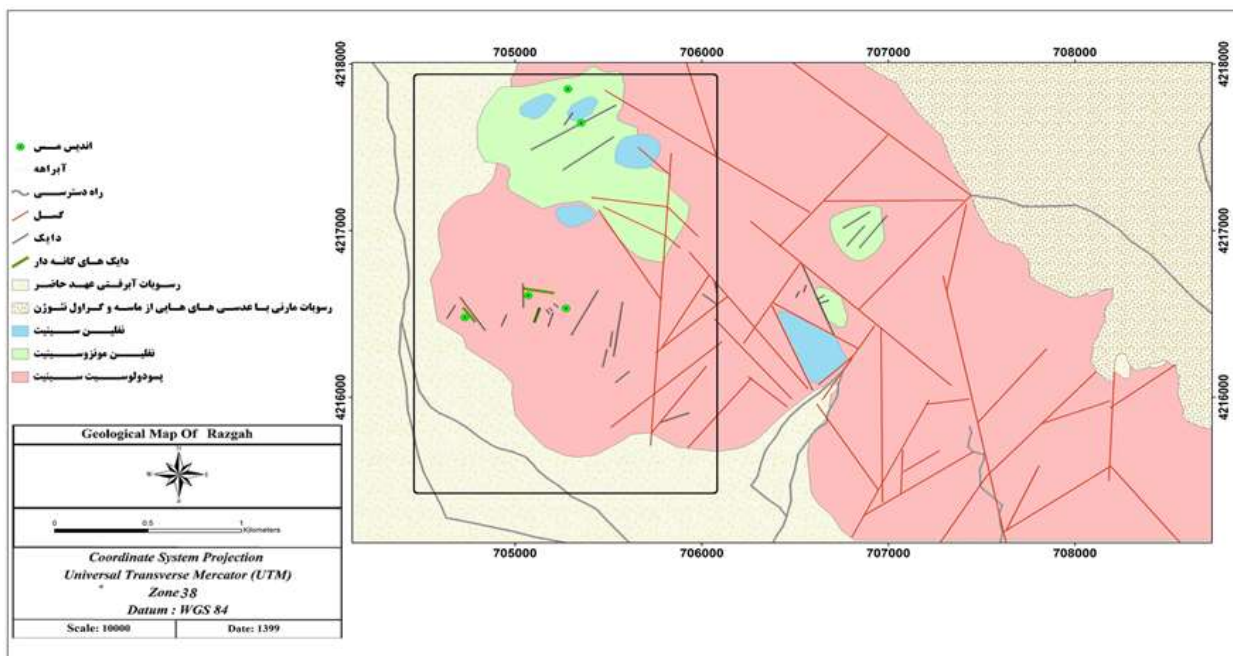
□ به منظور شناسایی عمق و گستردگی مس در منطقه پیشنهاد می گردد مطالعات ژئوفیزیکی زمینی به

روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت سنجی و مغناطیسی به منظور مشخص نمودن عمق و حاشیه

کانی سازی در منطقه صورت گیرد.

□ حفر چند حلقه گمانه اکتشافی به منظور تعیین گسترش عمقی کانی سازی بر اساس مطالعات

زمین شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی



شکل ۴- نقشه منطقه معرفی شده جهت مطالعات اکتشاف تفضیلی