

بررسی کانی سازی، زمین شناسی ساختاری و پتانسیل یابی کانی های آهن دار در محدوده اکتشافی شمال شرق کوه لطیف، شرق کاشان

ثمین اسلامی خفری^۱، علیرضا قربان^۲، علی عالی انوری^۳

^۱ کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

^۲ دانشجوی دکتری تخصصی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران (نویسنده مسول)

چکیده امروزه افزایش مصرف فلز پر کاربرد آهن در صنایع گوناگون، سبب نیاز وافر به اکتشاف منابع هر چه بیشتر آهن در کشور شده است. از آنجایی که تاکنون ذخیره های آهن که دارای رخنمون بوده اند به طور وسیع مورد اکتشاف واقع شده اند، روند اکتشاف آهن به سمت استفاده از روش های علمی ترکیبی زمین شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیکی متمایل شده است تا به اکتشاف دیگر ذخایر آهن پنهان که در سطح رخنمون ندارند پرداخته شود. از مناطق مستعد و شناخته شده ذخایر عیار بالای آهن در دنیا اسکارن های آهن هستند که در اثر فعالیت های ماگمایی در مجاورت واحدهای رسوبی کربناته به ویژه آهک ها ایجاد می شوند. از این رو در مرز شرقی پهنه آتشفشانی- ماگمایی ارومیه- دختر و غرب پهنه تکتونیکی ایران مرکزی، محدوده ای اکتشافی که در شمال با درود و شمال شرق کوه لطیف نیز قرار گرفته است، به عنوان محدوده مورد نظر جهت انجام مطالعات چندجانبه و عملیات اکتشافی آهن انتخاب شد. در این پژوهش با استفاده از روش چندگانه تلفیقی متشکل از مطالعات و برداشت های صحرائی، میکروسکوپی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی به بررسی نوع کانی سازی، عوامل و ساختارهای کنترل کننده و همچنین تعیین شکل ذخیره آهن پرداخته شد. زمین شناسی محدوده مورد نظر متشکل از واحدهای آذرین نفوذی گرانودیوریتی و بیرونی آندزیت و بازالت به سن ائوسن است که در رسوبی ماسه سنگی و کربناته به سن کرتاسه نفوذ کرده اند و نیز توسط گسل های معکوس موازی با امتداد تقریباً شرقی- غربی بریده و به سطح رانده شده اند. در محل مرزی بین توده نفوذی گرانودیوریتی ائوسن و واحدهای رسوبی کرتاسه گسترش دگرسانی متاسوماتیک در مطالعات صحرائی با ضخامت میانگین چهار متر به صورت هورنفلس و کانی سازی اپیدوت و گارنت و در نهایت کانی سازی مگنتیت مشاهده شده است که مطالعات ژئوشیمیایی مؤید کانی سازی آهن اسکارنی از نوع آگرو اسکارن است. از سوی دیگر گسل ها نیز محل تمرکز کانی زایی آهن به همراه باریت و فلوریت اما با بافت خرد شده هستند که نشانگر اندرکنش سیالات کانی با گسل های منطقه است. ناهنجاری های حاصل از برداشت های ژئوفیزیکی نیز همپوشانی بسیار خوبی با محدوده های دارای دگرسانی متاسوماتیک در محدوده اکتشافی دارد و حداکثر عمق ۱۰۰ متر را برای ذخایر آهن منطقه مورد بررسی نشان می دهد.

واژه های کلیدی: کانی سازی، پتانسیل معدنی، ذخیره آهن، ژنز ماده معدنی، شمال شرق کوه لطیف

مقدمه

کشور ایران غنی از انواع ذخایر معدنی از مخازن بزرگ نفت و گاز گرفته تا ذخایر فلزات باارزشی چون آهن، مس، سرب، روی، فلزات کمیاب و انواع کانی‌های صنعتی می‌باشد.

اکثر کانسارهای ایران بر اثر تغییر شکل و فشردگی‌های مرتبط با فرورانش و بسته شدن اقیانوس تتیس جوان^۱ در مزوزوئیک پسین و سنوزوئیک تشکیل شده‌اند.

کشور ایران در قسمت میانی کمربند کوهزایی مزوزوئیک- سنوزوئیک تتیس جوان که یک بخش کامل از زون برخوردی عربی و اوراسیا با روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد واقع گردیده است که اجزاء خردقاره کوچک به نام خردقاره سیمین را شامل می‌شود. این اجزاء شامل بخش مرکزی ترکیه، زون سنندج- سیرجان، ایران مرکزی، بلوک لوت و بخش‌هایی از تبت و هندو چین می‌باشد که مابین کمربند تراستی زاگرس بر حوضه فورلند عربی^۲ از جنوب و کوه‌های کپه داغ، البرز و قفقاز کوچک از شمال در حاشیه اوراسیا^۳ محدود شده‌اند (۱). در پرمین آغازین- تریاس با تخریب تدریجی اقیانوس پالتوتتیس در طی فرورانش به سمت شمال، قطعات سیمین جدا شده و اقیانوس تتیس جوان شروع به باز شدن کرد.

بستر اقیانوس جدید به سرعت گسترش یافت ولی اقیانوس تتیس جوان عمر طولانی نداشته و در ژوراسیک پسین فرورانش به زیر قطعات سیمین داشته و موجب شکل‌گیری حوضه پشت قوس در حاشیه اوراسیا گردید. برخورد نهایی بستر تتیس جوان که منجر به شکل‌گیری کمان آتشفشانی عظیمی شده است، همچنان یک موضوع مورد بحث است (۲). کمان ماگمایی ارومیه- دخترکه در امتداد نوار طویلی از سهند تا بزمان با روند شمال غربی- جنوب شرقی به طول ۱۷۰۰ کیلومتر و پهنای تقریبی ۱۵۰-۱۰۰ کیلومتر به موازات زون سنندج- سیرجان و راندگی زاگرس و به فاصله ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتری راندگی زاگرس قرار دارد، حاصل فرورانش اقیانوس تتیس جوان بوده که بستر کانی‌سازی‌های مهمی از نوع پورفیری، اپیترومال، اسکارن و... می‌باشد (۳) که تعدادی از این کانسارها از جمله سرچشمه شهرت جهانی دارند.

از آنجاکه منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در تقاطع بین زون ماگمایی ارومیه- دختر و زون تکتونیکی ایران مرکزی قرار دارد و از طرفی هم‌زمان با انجام این پایان‌نامه عملیات اکتشاف محدود به منظور دستیابی به ذخیره آهن آغاز شده است لزوم مطالعه آکادمیک و بررسی وجود کانه‌های آهن‌دار محسوس تر خواهد بود، با توجه به این امر در این نگارش سعی شده است با مطالعه زمین‌شناسی ساختاری و بررسی کانی‌سازی موجود عملیات اکتشاف را برای دستیابی به پتانسیل معدنی یاری نماید.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی اشتوکلین (۴) و نبوی (۵) در زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد و واحدهای آتشفشانی آن از نظر آقناباتی مربوط به کمربند ماگمایی ارومیه- دختر می‌باشد و می‌توان زمین‌شناسی منطقه را در تقاطع بین زون ماگمایی ارومیه- دختر و زون تکتونیکی ایران مرکزی دانست (شکل ۱-۲). این منطقه در شمال شرق ورقه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان (۶) و در بخش شمال شرق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه لطیف (شکل ۲-۲) قرار می‌گیرد (۷).

1 Neo-tethys

2 foreland

3 Kopet Dag

4 Eurasia: all of Europe and Asia

پهنه ایران مرکزی به شکل مثلث در مرکز ایران قرار گرفته ایران مرکزی به عقیده بولن^۸ (۱۹۹۱) بین دو نوار کوهزایی تتیس کهن در شمال (کپه داغ در شمال ایران) و تتیس جوان (زاگرس) در جنوب واقع شده است (۸). بر اساس بررسی‌های دیرینه‌مغناطیس در زمان پرکامبرین پسین تا تریاس میانی بخشی از صفحه عربستان بوده است. احتمالاً جدا شدن این دو صفحه از هم در اواخر دوران پالئوزوئیک در اثر عواملی که منجر به وجود آمدن اقیانوس تتیس جوان شده، در محل کنونی راندگی اصلی زاگرس باشد که پس از بسته شدن تتیس کهن و برخورد با ابرقاره اوراسیا، بخشی از صفحه اوراسیا به شمار می‌آید (۹).

دو ویژگی مهم که صفحه ایران میانی را از صفحه زاگرس متمایز و قابل تشخیص می‌سازد شامل:

- ۱- دگرگونی، چین‌خوردگی و پلوتونیسیم شدید دوران مزوزوئیک، ۲- فعالیت شدید آتشفشانی در دوران سنوزویک، می‌باشد (۱۰).

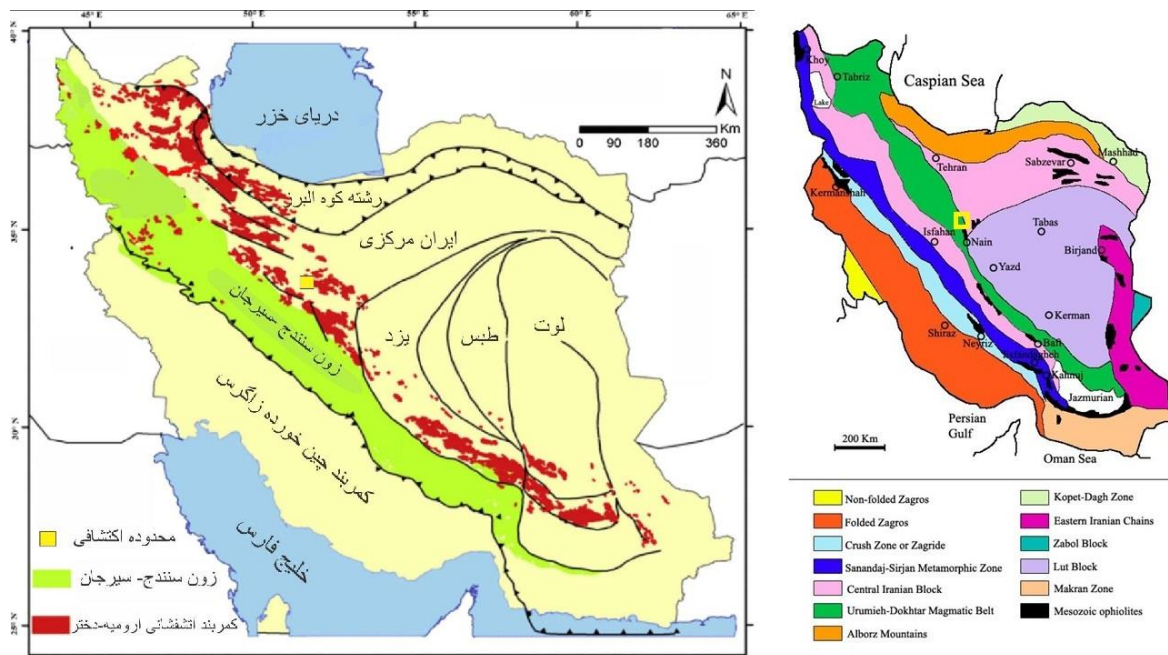
واحدهای چینه شناختی _ ساختاری ایران میانی عبارت است از:

۱. پی‌سنگ دگرگونی پرکامبرین
۲. ردیف‌های سکویی پرکامبرین پسین _ تریاس میانی
۳. انباشته‌های زغال دار تریاس پسین _ ژوراسیک میانی
۴. رسوب‌های دریایی ژوراسیک میانی _ کرتاسه به همراه فعالیت‌های آتشفشانی
۵. فعالیت‌های ماگمایی دریایی و رسوب‌های هم‌زمان با کوهزایی پالئوژن
۶. فعالیت‌های ماگمایی خشکی و رسوب‌های قاره‌ای نئوژن _ کواترنر (۱۰).

ایران مرکزی از شرق به بلوک لوت از شمال به کوه‌های البرز از غرب به کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر و از جنوب غرب به پهنه سنندج - سیرجان محدود است که توسط گسل نایبند در شرق گسل درونه در شمال و شمال شرق و گسل دهشیر - بافت در جنوب و جنوب غرب ایران احاطه شده است (۵).

کمربند یا کمان ماگمایی ارومیه‌دختر ارومیه‌دختر فعالیت ماگمایی از حاصل فرورانش زون زاگرس به زیر پهنه ایران مرکزی است و به صورت یک نوار آتشفشانی با طول تقریباً ۱۷۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰۰ کیلومتر در غرب تا جنوب غرب پهنه ایران مرکزی و در شمال پهنه سنندج-سیرجان و از ارتفاعات سهند در شمال غرب تا ارتفاعات بزمان در جنوب شرق کشیده شده و ادامه آن وارد کشورهای هم‌جوار پاکستان و ترکیه می‌شود (۱۱). (شکل ۱) بسیاری از زمین‌شناسان بر این عقیده هستند که این کمان مرز شمالی زون سنندج - سیرجان است و دارای فعالیت‌های آتشفشانی پیوسته از کرتاسه و ائوسن تا امروز می‌باشد (۹). فعالیت آتشفشانی در این کمربند از کرتاسه آغاز و در دوره ائوسن به نهایت شدت خود می‌رسد و در پی آن انواع سنگ‌های آتشفشانی مانند آندزیت، لاتیت، ریولیت و توف با حجم و اندازه گوناگون و بطور نامنظم را بوجود آورده اند. این سنگ‌ها در اطراف کاشان شدیداً سدیک و به صورت گدازه‌های زیر دریایی و گاه قاره‌ای بصورت آندزیت و داسیت می‌باشند (۱۲).

^۱ Bolen



شکل (۱) پهنه‌های ساختاری ایران و زونهای تکتونیکی اصلی آن و موقعیت منطقه مورد مطالعه که بصورت مربع زرد رنگ در مرز غربی ایران مرکزی و بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر مشخص شده است [۱۴].

فعالیت آتشفشانی در این کمریند از کرتاسه آغاز و در دوره ائوسن به نهایت شدت خود می‌رسد و تا کنون ادامه دارد که باعث شکل‌گیری ردیف‌های مختلف آتشفشانی شده است (۱۳).

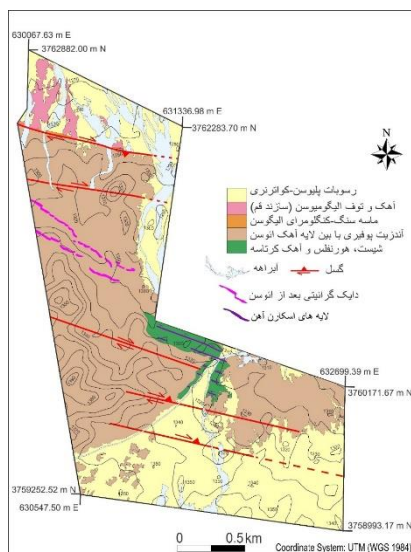
بر اساس پیمایش‌های صحرائی، نمونه‌گیری‌ها، مطالعات مقاطع میکروسکوپی از نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های تکتونیکی انجام گرفته در تمام محدوده مورد مطالعه، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در سیستم مختصات^۶ UTM و WGS^۷ ۱۹۸۴ ژئورف تهیه شده است که در ادامه آورده شده است.

توپوگرافی منطقه بر اساس برداشت‌های زمینی با استفاده از دستگاه جی‌پی‌اس دستی برداشت گردیده که نتایج آن در نقشه خلاصه زمین‌شناسی منطقه با منحنی ترازهای ۱۰ متر ترسیم گردیده است.

در شکل (۲) وجود واحد آهکی کرتاسه در کنار توده نفوذی منطقه و همچنین وجود کانی‌سازی‌های فلزی در واحد کرتاسه می‌تواند نشانه وجود کانسار اسکارن در محدوده باشد.

۱- Universal Transverse Mercator

۲- World Geodetic System



شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده محدوده مورد مطالعه

روش مطالعه

(۱) انجام مطالعات دفتری و بررسی و جمع‌آوری اطلاعات از منابع معتبر با موضوع اسکارن و منطقه مورد مطالعه. در این مرحله به بررسی منابع موجود در ارتباط با محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است؛ که شامل جمع‌آوری اطلاعاتی در زمینه‌های مرتبط با زمین‌شناسی عمومی منطقه و اسکارن، از کتاب‌های زمین‌شناسی، گزارش‌های علمی، رساله‌های دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری، مقاله‌های داخلی و خارجی دانشگاه‌ها و مؤسسات زمین‌شناسی و همچنین اطلاعات اکتشافی منطقه در بانک‌های اطلاعاتی (سازمان‌های خصوصی و دولتی) می‌باشد. نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه لطیف و ۱:۱۰۰۰۰۰ یخاب و ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان و عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای منطقه نیز تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

(۲) انجام بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری.

این مرحله شامل اقداماتی بوده که به جهت شناسایی منطقه و تفکیک واحدها صورت پذیرفت. در این مرحله با توجه به دسترسی سخت به محدوده بیش از ۱۵ مورد بازدید صورت گرفت که در این بازدیدها عوامل تکتونیکی و ساختاری و واحدهای زمین‌شناسی منطقه و توده نفوذی منطقه و اسکارن‌ها و سنگ‌های ولکانیکی‌های همراه مورد بررسی قرار گرفتند و نمونه‌برداری سیستماتیک شامل نمونه‌گیری از واحدهای موجود (ولکانیت‌ها - توده نفوذی - اسکارن) در این مرحله صورت پذیرفت. همچنین نقشه‌های اولیه و مقدماتی نیز تهیه گردید. تعداد نمونه‌ها به ۵۰ عدد رسید.

(۳) مطالعه و انجام آنالیزها (انجام آنالیزهای XRF و XRD، تهیه مقاطع نازک و صیقلی و مطالعه پتروگرافی و میکروسکوپی). این مرحله شامل تهیه و مطالعه روی ۱۲ عدد مقاطع نازک میکروسکوپی، ۸ عدد مقاطع صیقلی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها بود. به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی تعداد ۱۵ نمونه از سنگ‌های منطقه (با کمترین درجه آلتراسیون) با دستگاه XRF و XRD در مرکز آزمایشگاهی خصوصی علوم کاربردی رازی تهران مورد آنالیز قرار گرفتند؛ و آنالیز XRD بر روی ۴ عدد نمونه در دانشگاه کاشان صورت گرفت و تعداد ۳ نمونه برای محاسبه درصد مگنتیت نمونه‌ها به آزمایشگاه نانو سرام اصفهان ارسال گردید که نتایج آن در این تحقیق آورده شده است.

(۴) ارائه نقاط هدف جهت بازدیدهای بعدی نمونه‌برداری و تعریف پروفیل‌های ژئوفیزیک و حفر ترانشه.

در این مرحله با استفاده از نتایج و اطلاعات بدست آمده از مراحل قبل باهدف پیشبرد پروژه اکتشافی مختصات، امتداد پروفیل‌ها و تعداد نقاط مورد برای انجام ژئوفیزیک در محدوده مشخص شد.

۵) مطالعات ژئوفیزیکی جهت دستیابی عمق و گسترش کانی سازی و تعیین محل حفاری اکتشافی. در این مرحله با همکاری تیم اکتشافات ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی کشور عملیات مگنتومتری با تعداد ۲۳۰۰ نقطه انجام گرفت.

۶) جمع‌بندی و ارائه نتیجه

در این مرحله که مرحله پایانی انجام این پژوهش می‌باشد با تلفیق داده‌های حاصل از مراحل قبل جمع‌بندی و نتیجه نهایی ارائه گردید. ضمناً نتایج این مرحله شامل نتایج حاصل از امور اکتشافی صورت گرفته نیز می‌باشد.

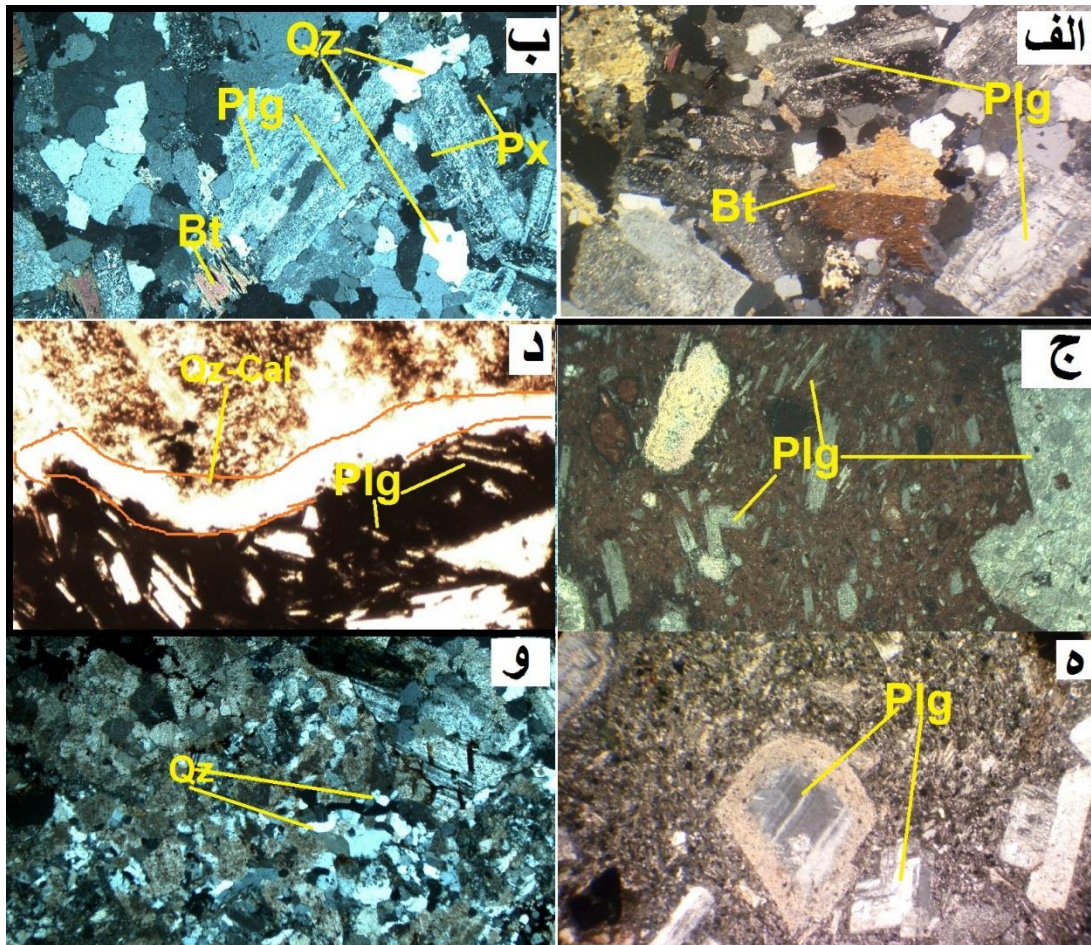
یافته‌ها

توده نفوذی گرانودیوریتی منطقه در مقطع میکروسکوپی دارای کانی‌های پلاژیوکلاز بشکل چند ضلعی‌های طویل و کشیده و با ماکل پلی سنتتیک و کوارتز با بلورهای سفید روشن شکل (۳ و)، بیوتیت بصورت بلورهای قهوه‌ای روشن تیغه‌ای و کلینو پیروکسن با بلورهای تیره کوچک و با ماکل کارلسپات می‌باشد. وجود دانه‌های سفید بر روی درشت بلورهای پلاژیوکلاز نشان دهنده وجود دگرسانی سریسیتی کلریتی است (۱۵). (شکل ۳ الف و ب).

واحد اندزیتی: بافت سنگ در این نمونه در مقیاس میکروسکوپی اندزیت بادامی می‌باشد و حفرات بوسیله کانی‌های ثانویه شامل کوارتز، کلسیت و کانی‌های رسی مانند هماتیت پر شده و (شکل ۳ د)، بعضی از حفرات که با کوارتز پر شده‌اند بافت اسفرولیتی دارند.

کانی‌های موجود در این سنگ شامل قطعاتی از هورنفلس و تیغه‌های پلاژیوکلاز ریز و درشت مشابه تیغه‌های شیشه به رنگ روشن و قطعات هورنبلند در زمینه دانه ریز قهوه‌ای رنگ که در جهت جریان کشیده شده و نشانه بافت جریان‌ی زمینه است می‌باشد. بافت زمینه سنگ، شیشه‌ای و میکرولیتی می‌باشد که از هماتیت و کانی‌های اوپاک تشکیل شده است. (شکل ۳ ج و د) در این مقطع پدیده جالب هوازدگی معکوس دیده می‌شود که در آن بلورهای پلاژیوکلاز از خارج به سمت داخل بلور هوازده شده‌اند (شکل ۵۳)

فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز به کانی‌های ثانویه شامل کلسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. در شکل ۳ و کانی‌های کوارتز، سریسیت، مگنتیت و هماتیت در بافت برشی توده نفوذی وجود دارد. وجود کانی کلریت، کلسیت و اکسیدهای آهن در بافت سنگ نشانه نفوذ توده نفوذی در سنگ کربناته است. در این مقطع حجم اصلی سنگ از کانی‌های اوپاک می‌باشد که اطراف آن را کانی‌های ریز کوارتز کلسیت و کانی‌های رسی تشکیل داده و شکستگی‌ها بوسیله هماتیت و مگنتیت پر شده است.



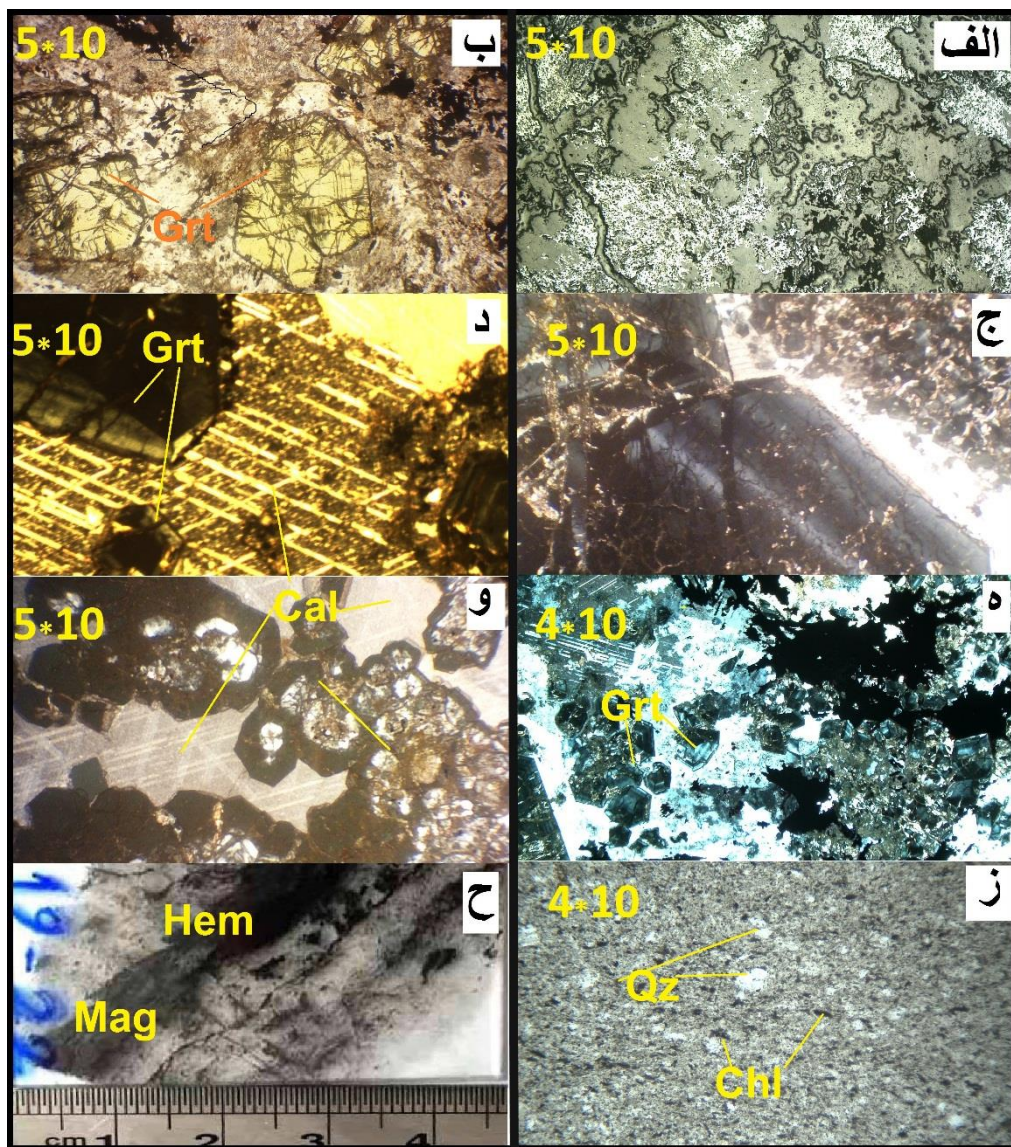
شکل (۳) الف) کانی بیوتیت در گرانودیوریت ب) بافت گرانودیوریت و حضور پلاژیوکلاز و پیروکسن ج) بافت جریان‌اندزیت پورفیری د) پرشدگی حفرات با کوارتز و کلسیت ه) وجود هواگی معکوس پلاژیوکلاز و توده نفوذی در سنگ کربناته

شواهد اسکارن

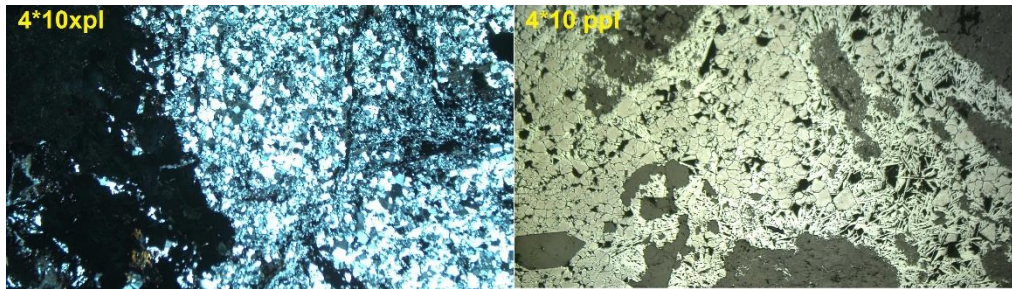
مرحله نخست تشکیل اسکارن دگرگونی مجاورتی است که در این مرحله سنگ‌های کالک سیلیکات مرمر و هورنفلس تشکیل می‌شود (۱۴). در شکل (۴) بافت سنگ هورنفلس و تقریباً هم بعد و متشکل از کلیرت - منیتیت (کانی اوپاک تیره‌رنگ) است و دانه ریز و دانه‌های سفید کوارتز و مقادیر کمی اپیدوت و کلیرت آهنگار نیز در سنگ قابل تشخیص هست. در تصویر ۴ ج، د گارنت‌های اندرانیت که بخشی به اپیدوت تبدیل شده مشاهده می‌شوند. کلسیت درشت دانه با ماکل پلی سنتیک (خطوط موازی) بخوبی نمایان است و در بخشی از مقطع گارنت‌ها بوسیله کلسیت درشت دانه احاطه شده‌اند. تیره و روشن شدن گارنت‌ها نشانه زونه شدن آن است و این گارنت‌ها و از داخل به سمت خارج اپیدوتی شده‌اند (شکل ۴ و).

تشکیل گارنت‌های اندراتیت در این مرحله می‌تواند نشانه مرحله پایانی مرحله دوم تشکیل اسکارن با شروع تبلور ماگما دانست. در تصاویر شکل ۴ الف و ب مربوط به نمونه انتخاب شده از سنگ آهک حاوی کانی سازی مگنتیتی می‌باشد و این

نمونه حاوی بلور کانی‌های گارنت (اندرادیت) و ولاستونیت و اسپیکولاریت و رگه‌های کلسیت است. در قسمت ح همین تصویر شکستگی‌های سنگ از هماتیت و مگنتیت پر شده است. تبدیل اندرانیت به کلسیت و کوارتز و اکسید آهن و همچنین وجود بیوتیت و پلاژیوکلاز را می‌توان نشانه کانی سازی مرحله قهقرائی تکامل کانسار دانست (شکل ۴ و ۵).



شکل (۴) تصویر میکروسکوپی از اسکارن محدوده - نمایش بلورهای گارنت اسکارن در بافت لانه زنبوری و کلسیت های دارای بافت پلی سنتتیک



شکل (۵) نمایش کانی مگنتیت و هماتیت در مقطع نازک

به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی تعداد ۱۵ نمونه انتخاب شده از سنگ های منطقه (با کمترین درجه آلتراسیون) با دستگاه XRF و XRD در مرکز آزمایشگاهی خصوصی علوم کاربردی رازی تهران آنالیز شده و آنالیز XRD بر روی ۴ عدد نمونه در دانشگاه کاشان صورت گرفته است.

جهت مطالعات اولیه تعداد ۱۴ نمونه به صورت سیستماتیک از محدوده مورد مطالعه برداشت شدند که نتایج حاصل از آنالیز XRF, XRD در ادامه آورده شده است.

جدول (۱) نتایج حاصل از آنالیز XRF بنیاد علوم رازی در شرایط محیطی

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	
ترکیب	درصد وزنی														
O ₂ Na	۲	۳	۴	۱	۲	۱	۸	۹	۳	۲	۴	۳	۲	۲	۷
۲SO	۰	۰	۲	۲	۳	۳	۲	۱	۰	۲	۲	۱	۰	۰	۰
۲MnO	۰	۰	۲	۲	۳	۴	۴	۲	۲	۴۶	۲۳	۲۵			
La&Lu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
MgO	۶	۶	۳	۵	۹	۷	۹	۷	۶	۹	۴۷	۶۵	۵	۶	۹
Cl	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

۳O۲Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+FeO											۱.۷	۴.۹	۲.۶	۱.۴	
۳O۲Fe	۱	۱													
		۹.۷	۲.۵	۷.۰	۵.	۹.۰	۲.	۷.	۲.۸	۴.	۹.				
۳O۲Al	۱	۱													
		۶.۳	۲	۵.	۱.	۹.۲	۵.۱	۳.۳	۷.	۲.	۵.	۲.	۹.	۹.	۶.
O۲K	۱	۱													
		۱.	۱.	۳.	۵.	۱.	۷.	۴.	۷۵.	۰۱.۰	۹.	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۵.
۳MoO	۰	<	<												
		۶.	۰۱.۰	۰۱.۰	۱.	۰۱.۰	۰۱.۰	۱.	۱۴.	۰۱.۰	۰۱.۰				
۲SiO	۴	۴													
		۷.۵	۷.۹	۱.۰	۷.۰	۶.۵	۱.۸	۴	۱.۶	۷.	۰	۳.۸	۸.	۳.۷	۱.۳
CaO	۷	۸													
		۱.	۷.	۲.	۷.۶	۵.۰	۲.		۳.	۷.۲	۶.۳	۶.	۲.	۵.	۴.
BaO	۰	<	<												
		۱.	۰۱.۰	۰۱.۰	۱.	۰۱.۰	۰۱.۰	۱.	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰			۱.	۳.
ΔO۲P	<	<	<												
		۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰	۰۱.۰
۲TiO	۲	۲													
		۲.	۳.	۳.	۱.	۶.	۹.	۱.	۱۵.	۰۱.۰	۲.				۶.
L.O.I	۲	۱													
		۶.		۲.	۷.۶	۱.	۵.	۵.	۸.	۹.۲	۵.۸		۹.	۴.	۸.
CuO	-	-													
															۵.

نتایج حاصل از آنالیز XRD

در این مرحله تعداد ۱۰ نمونه بصورت مشترک در آزمایشگاه دانشگاه کاشان و آزمایشگاه بنیاد علوم رازی با شرایط لامپ Cu ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و جریان ۳۰ میلی آمپر بررسی شدند که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲) نتایج حاصل از آنالیز XRD

	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Clinochlore	کلینوکلر	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
	Riebeckite	ریبکیت	Na ₂ Fe ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
	Albite	آلبیت	Na(AlSi ₃ O) ₈
	Anorthite sodian	انورتیت	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈
	Magnesiohornblende	منیزیوهورنبلند	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ (Si,Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂
	Albite	آلبیت	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Kozulite	کوزولایت	(Na,K) ₃ (Mn,Mg,Fe,Al) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH,F) ₂
	Aerinite	ارینایت	(Ca,Na) ₆ FeAl(Fe ⁺⁺ ,Mg) ₇ (Al,Mg) ₆ [Si ₁₁ O ₃₆ (OH) ₁₂ H][(H ₂ O) ₁₂ (CO ₃) ₂]
	Magnetite	مگنتیت	Fe ₃ O ₄
	Hematite	هماتیت	Fe ₂ O ₃
	Dolomite	دولومیت	CaMg(CO ₃) ₂
	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Calcium Carbonate	کلسیم کربنات	CaCO ₃
	Fluorannite	فلورانیت	KFe ₃ AlSi ₇ O ₁₁ .F ₂
	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Calcium Carbonate	کلسیم کربنات	CaCO ₃
	Clinochlore	کلینوکلر	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
	Cristobalite	کریستوبالیت	SiO ₂
	Magnesium Silicate	منیزیوم سیلیکات	MgSiO ₃
	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Hematite	هماتیت	Fe ₂ O ₃
	Magnesium Silicate	منیزیوم سیلیکات	MgSiO ₃
	Magnesium Aluminum Silicate Hydrate	منیزیوم آلومینیوم سیلیکات آبدار	Mg ₂ .۸۵Al _{۰.۷} Si _{۱۰.۳} O _{۳۲.۱۴} H _۲ O

	Anorthite	آنورتیت	CaAl ₂ Si ₂ O
	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Albite	آلبیت	NaAlSi ₃ O
	Clinochlore	کلینوکلر	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
	Goethite	گوتیت	FeO(OH)
	Quartz	کوارتز	SiO ₂
	Hematite	هماتیت	Fe ₂ O ₃
	Calcite	کلسیت	CaCO
	Albite	آلبیت	NaAlSi ₃ O
	Vermiculite	ورمیکولایت	(Mg,Fe ⁺⁺ ,Al) ₃ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ •4(H ₂ O)
.	Quartz	کوارتز	SiO ₂

به منظور مطالعات تکمیلی و مشخص شدن نوع آهن (مگنتیتی- هماتیتی) تعداد سه نمونه جهت بررسی میزان FeO و Fe_{Total} در آزمایشگاه نانو سرام اصفهان آنالیز شدند که نتایج آن به شرح ذیل است:

جدول (۳) نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها

شمار	۱	۲	۳
ه نمونه			
%Fe _t	۶	۶	۶
otal	۳۲.۸	۴۸.۰	۹۲.۶
%Fe	۲	۱	۱
O	۹۷.۴	۶۶.۸	۳۶.۸

درصد Fe_{Total} شامل کلیه آهن‌های موجود از قبیل مگنتیت - هماتیت - آپاتیت - اولوژست و کربنات آهن و سولفات آهن و غیره می‌باشد.

برای تشخیص نوع سنگ آهن از نسبتی به نام درجه اکسیداسیون سنگ استفاده می‌شود که تعریفان بصورت زیر می‌باشد
 $ReTio = TFe / FeO$ (درجه اکسیداسیون) که بر اساس آن و به ازاء اعداد کمتر از ۷ سنگ ماهیت مگنتیتی، به ازاء اعداد بزرگتر از ۱۰ سنگ ماهیت هماتیتی و به ازاء اعداد بین ۷ و ۱۰ سنگ ماهیت هماتیتی و مگنتیتی دارد. با دانستن وزن مولکولی عناصر جدول (۳) می‌توان درصد مگنتیت و هماتیت سنگ را بدست آورد.

ترکیب مولکولی		F	i	F	F	
		eO	۲e	۳O۲e	۴O۲e	۳e
مولکولی	وزن	۷		۱	۲	
	برحسب گرم	۲	۱۲	۶۰	۳۲	۶۸

درصد مگنتیت نمونه برابر است با

$$\%Fe_2O_3 = (\frac{232}{72}) * \%FeO$$

و درصد هماتیت نمونه برابر است با

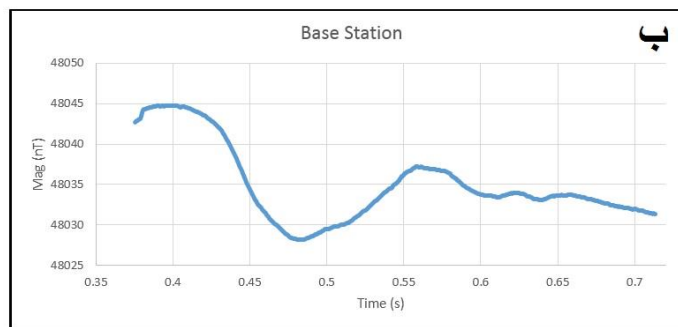
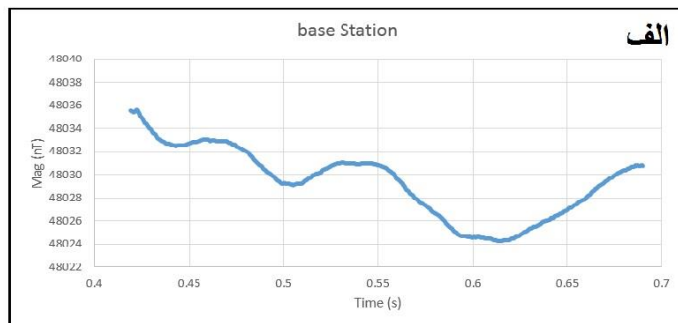
$$\%Fe_3O_4 = \%Fe_{Total} - (\frac{168}{232}) * \%Fe_2O_3 * (\frac{160}{112})$$

مغناطیس‌سنجی : از آنجاییکه برداشت های مغناطیس‌سنجی نیازمند استفاده از ایستگاه مبنا می‌باشد، لذا لازم است در مطالعات مغناطیس‌سنجی از ایستگاه ثابت استفاده شود. در صورتیکه برداشت‌های مغناطیس‌سنجی در محدوده‌های با شدت بالا که در اثر حضور توده آهن به وجود می‌آید، صورت بگیرد انجام تصحیحات روزانه با در نظر گرفتن شدت‌های بالا چندان ضروری بنظر نمی‌رسد و تنها مسئله مهم بررسی طوفان‌های مغناطیسی است که در روزهای انجام این مطالعه چنین طوفان‌هایی ثبت نشده است. اندازه‌گیری در ایستگاه مبنا مقدار تغییرات را بسیار ناچیز و حدود ۱۰ و ۱۷ گاما نشان داده است (شکل‌های ۶ و ۷) این مقدار نشان دهنده این است که در عمل تقریباً تغییرات روشنی در طی اندازه‌گیری‌ها که نیاز به تصحیح روزانه باشد، دیده نمی‌شود. ایستگاه‌ها با استفاده از GPS دستگاه بر روی هر پروفیل و در مختصات UTM(WGS84) برداشت شده‌اند.

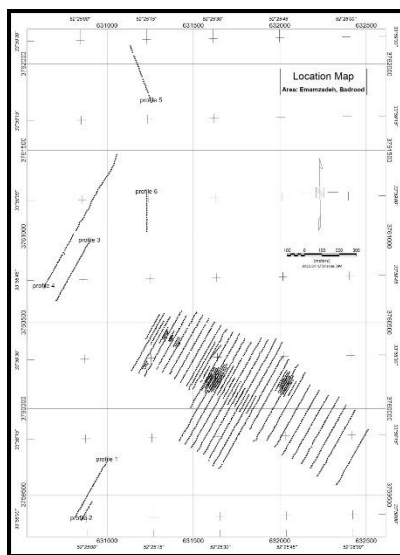
برداشت‌ها در این مطالعه به دو صورت شبکه‌ای و پروفیلی انجام شده است. ابتدا بر روی محدوده اصلی برداشت‌ها با فواصل پروفیلی ۴۰ و ایستگاهی ۱۰ متر برداشت گردید. در نواحی (شرق محدوده برداشت) که بی‌هنجاری خاصی دیده نشد فواصل پروفیل‌ها تا ۶۰ متر نیز افزایش داده شده است. برای بررسی احتمالی وجود تغییرات میدان مغناطیسی، ۶ پروفیل با طول متغیر ۱۲۰ تا ۸۵۰ متر و با امتدادهای مختلف برداشت که جدول ۴ مشخصات پروفیل‌ها و شکل شماره ۸ و ۹ موقعیت ایستگاه‌های شبکه برداشت و همچنین موقعیت پروفیل‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در بعضی نواحی فواصل پروفیل‌ها به ۱۰ متر و ایستگاه‌ها به کمتر از ۱۰ متر نیز رسیده است. به همانطور که در شکل ۶ مشخص است به دلیل تغییرات میدان مغناطیسی برداشت‌ها در سه ناحیه از محدوده با فواصل کمتر صورت گرفته است. تعداد ایستگاه‌های قرائت میدان مغناطیسی در شبکه اصلی طراحی ۲۰۴۶ عدد و در ۶ پروفیل ۲۳۴ برداشت شد. در مجموع ۲۲۸۰ ایستگاه اندازه‌گیری گردید که در ادامه نتایج حاصل از آن‌ها بررسی می‌شود.

جدول (۴) مشخصات پروفیل‌های برداشت‌شده در محدوده مورد مطالعه

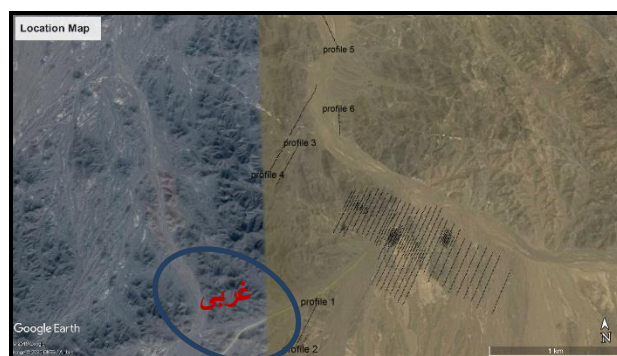
تعداد نقاط	فاصله الکتروود ی (متر)	آزیموت (درجه)	طول پروفیل (متر)	مختصات		نام پروفیل
				انتهای پروفیل	ابتدا پروفیل	
۴۰	۱۰	۳۰	۳۹۰	631004 3759705	6308 3759 19 374	پروفیل ۱
۱۳	۱۰	۳۰	۱۲۰	6309 3759 12 459	6308 3759 51 355	پروفیل ۲
۴۱	۱۰	۳۰	۴۰۰	6309 3760 02 977	6307 3760 06 629	پروفیل ۳
۸۷	۱۰	۳۰	۸۶۰	6310 3761 56 474	6306 3760 35 702	پروفیل ۴
۳۳	۱۰	۳۴۰	۳۲۰	6311 3762 35 105	6312 3761 63 770	پروفیل ۵
۲۴	۱۰	۰	۲۳۰	6312 3761 30 029	6312 3761 29 260	پروفیل ۶



شکل ۶ الف (تغییرات ایستگاه مبنا در روز اول ب) تغییرات ایستگاه مبنا در روز دوم



شکل (۷) نقشه موقعیت ایستگاه‌های برداشت ژئوفیزیک در محدوده



شکل (۸) موقعیت ایستگاه‌های و پروفیل‌ها برداشت بر روی Google Earth



شکل (۹) موقعیت ایستگاه‌های برداشت بر روی Google Earth

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، گسل‌های اصلی محدوده مورد بررسی غالباً دارای امتداد شمال غربی- جنوب شرقی (۱۱۵-۱۰۵ درجه) هستند. وجود فسیل مرجان هگزاگورال در سازند قم و فسیل‌های نومولیت عدسی شکل در واحدهای آهکی ائوسن میانی محدوده نکته قابل توجه این واحدها می‌باشد. واحدهای کواترنری شامل کنگلومرا، ماسه آهکی و رسوبات آبرفتی می‌باشند.

دگرسانی در مقیاس ناحیه‌ای در اطراف توده نفوذی قابل تشخیص می‌باشد. حضور مجموعه کانی‌های اپیدوت، کلسیت، آلبیت و کلریت در سنگ‌ها شاهدهی بر حضور دگرسانی پروپلیتیک و سریستی شدن پلاژیوکلازها نشانه وجود دگرسانی سریستی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

گارنت و پلاژیوکلاز کلسیمی و همچنین ترکیب فاقد منیزیم سنگ میزبان (سنگ آهک غیر دولومیتی) می‌توان اسکارن منطقه را در زمره اسکارن کلسیمی برشمرد و تشکیل کانی منیتیت نشان از آن دارد که مرحله قهقرایی تشکیل کانسار رخ داده است. شکل کانسار اسکارن محدوده از نوع توده‌ای شکل نامنظم با امتداد عموداً شرقی غربی که قطورترین لایه آن با ضخامت ۶ متر و شیب ۶۰S می‌باشد

بر اساس مشاهدات وسیع میدانی در مورد کانی‌سازی آهن در محدوده مورد مطالعه، اندازه‌گیری‌ها، نمونه‌گیری‌ها و مطالعات میکروسکوپی و ژئوفیزیکی صورت گرفته در این نوشتار، به علت نفوذ گسترده توده‌های آذرین در بین واحدهای رسوبی، باعث بوجود آمدن تغییرات پترولوژی و تشکیل هورنفلس و بوجود آمدن کانی‌های اسکارنی در منطقه شده است.

واحد اسکارن بصورت یک نوار باریک در کنتاکت واحد نفوذی گرانودیوریتی با واحد آهکی رخنمون دارد. کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های اسکارنی درشت بلورهای کلسیت و بلورهای ریز گارنت، ولاستونیت می‌باشد. کانی‌سازی اقتصادی و هدف اکتشافی محدوده، آهن می‌باشد که کانه اصلی آن مگنیت است که مقدار کمی به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است. ۴ توده مجزا در بخش‌های میانی محدوده با رخنمون‌های کوچکی وجود دارند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه ژئوفیزیکی توده شماره یک ذخیره قابل توجهی دارد که بخش عمده ذخیره آهن با عیار بالا در این منطقه در بخش جنوبی و میانی منطقه در قالب آهن اسکارنی واحدهای کربناته کرتاسه با ضخامت‌های مختلف از نیم متر تا شش متر قرار گرفته که در حاشیه یا گرداگرد واحد گرانیتهی واقع شده‌اند. این واحدهای آهن اسکارنی دارای چین خوردگی هستند و در جای جای منطقه در زیر واحدهای آندزیت پورفیری قهوه‌ای ائوسن حضور دارند. به بیان دیگر در اثر نفوذ توده گرانیتهی تا گرانودیوریتی و دایک‌های منشعب از آن در واحدهای کربناته کرتاسه سبب کانه سازی آهن اسکارنی وسیع به همراه گارنت در آن‌ها شده است از سوی دیگر واحدهای آندزیتی و بازالتی ائوسن پائینی موجود در منطقه نیز در بخش‌هایی نشانگر غنی شدگی از مگنتیت نواری را دارند. در بخش میانی متمایل به غربی محدوده مورد بررسی، زون‌های گسله با امتداد شرقی غربی تا شمال غربی جنوب شرقی نیز میزبان کانه سازی آهن مگنتیتی و هماتیتی به همراه باریت با بافت برشی هستند. بر همین اساس مطالعه دقیق مغزه‌های حفاری شده در محل‌های پیشنهادی و بررسی رفتار ژئوشیمیایی سایر عناصر در اسکارن‌های آهن ضروری است.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از اساتید محترمی چون سعید سلطانی محمدی، سید علی بنی طباطبائی، میثم تدین که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

منابع

1. Richards, J.P. and A. Sholeh, The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran. *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt Society of Economic Geologists, Special Publication*, 2016. **19**: p. 193-212.
2. Agard, P., et al., Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International journal of earth sciences*, 2005. **94**(3): p. 401-419.
3. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه. آقائباتی، ع.، ۱۳۸۵.
4. Stoecklin, J., Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG bulletin*, 1968. **52**(7): p. 1229-1258.
۵. نبویم. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور ۳۸۱ صفحه
۶. رادفر، ج.، علایی مهابادی، س.، امامی، ه.، (1372)، شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:250000: چهارگوش کاشان.
۷. هوشمندزاده، نقوی، نقشه زمین‌شناسی 1:100000 کوه لطیف، 1362. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور: تهران.
۸. علیزاده، ح.، ۱۳۹۶، زمین‌شناسی و زمین ساخت خاور میانه، انتشارات پیام نور، ۹۴ صفحه.
9. Berberian, M. (1983) Structural Evolution of the Iranian Plateau; Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part IV: Continental Deformation in the Iranian Plateau. Geological Survey of Iran.
۱۰. محمدی، ن.، سدیدخوی، ا.، صدودی، ف.، تقی‌زاده فرهمند، ف.، ۱۳۹۰، تغییرات عمق موهو در برخی از زون‌های زمین‌ساختی ایران با استفاده از روش تابع انتقال گیرنده p. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۵، شماره ۴، ص ۱۳۲-۱۵۲.
۱۱. درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران، نشر دانش امروز. 902 صفحه.
۱۲. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، www.ngdir.ir.
۱۳. شفیعی، م.، ۱۳۹۰، گزارش زمین‌شناسی و عملیات اکتشافی منطقه کوه دوروجین (جنوب غرب اردستان)، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان اصفهان، ۲۵ صفحه.
۱۴. شهاب پور، ج.، ۱۳۸۲، زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۵۳ صفحه. [۵]
۱۵. معانی جوم، م.، سالمیر، ر.، ۱۳۹۳، کانی‌شناسی، شیمی مگنتیت و منشأ کانسار آهن کورکورا-۱ (شرق تکاب)، زمین‌شناسی اقتصادی، ۲. ۶، صفحه ۳۵۵-۳۷۴.