



کنترل ساختاری در زایش آهن و اورانیوم در منطقه کوه باخرز، شرق معدن سنگان، استان خراسان رضوی

مجید خسروی^{۱*}، منصور شبان^۲، هاشم باقری^۱، علیرضا ندیمی^۱

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، کدپستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱، اصفهان- ایران

۲. واحد اکتشاف، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران- ایران

*Email: majid.khosravi@gmail.com

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۲/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۲/۲۳

چکیده

کوه باخرز در شمال شرق شهر سنگان در پایانه شرقی گسل درونه قرار گرفته است. آهن در این منطقه به صورت گسترده تحت تأثیر نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی اتوسن بالایی تا الیگوسن زیرین درون واحد دگرگون شده رسوبی به شکل اسکارن و گرمابی شکل گرفته‌اند. بررسی ساختاری رگه‌ها، شکستگی‌ها، مکانیزم حرکتی گسل‌ها، جابه‌جایی واحدها حاکی از دو نوع رژیم زمین‌ساختی فشارشی در راستای $N070$ و $N350$ می‌باشد. اولین مرحله کانی‌سازی در راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب در پهنه گسل فرزانه ($N040$) رخ داده است. در بخش شمالی و میانی این گسل دو پهنه برشی- کششی ایجاد شده که باعث صعود سیالات آهن‌دار و کانی‌سازی آهن نوع گرمابی در بخش شمالی (معدن فرزانه) و کانی‌سازی آهن نوع اسکارنی در بخش میانی (معدن جو) شده است. در مرحله بعد تلاقی دو گسل فرزانه و سم‌آهنی ($N300$) منجر به ایجاد پهنه برشی- کششی و صعود سیالات آهن‌دار و کانی‌سازی آهن نوع اسکارنی- گرمابی در معدن سم‌آهنی گردیده است. در نهایت در بخش جنوبی گسل فرزانه، اورانیم در یک پهنه گسلی با طول تقریبی ۲ کیلومتر، درون واحد اسکارنی ته‌نشست کرده است. تغییر رژیم زمین‌ساختی و ایجاد فضای مناسب در پهنه‌های برشی- کششی باعث تسهیل جریان سیالات، اسکارن‌زایی و نهشت آهن و اورانیم در فازهای مجزا و جهات مختلف شده است. مطالعات ساختاری کمک مؤثری در استخراج بهینه ذخایر معدنی و شناسایی منابع جدید خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: کوه باخرز، سنگان، کانی‌سازی آهن، پرتوایی، ساختاری

Structural control in the generation of iron and uranium in the Bakherz mountain area, east of Sanghan mine, Razavi Khorasan province

M. Khosravi^{1*}, M. Sheban², H. Bagheri¹, A.R. Nadimi¹

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, Isfahan University, Postal Code: 8174673441, Isfahan – Iran

2. Department of Exploration, AEOI, P.O.Box: 14399-51113, Tehran – Iran

Research Article

Received: 20.2.2024, Revised: 29.4.2024, Accepted: 12.5.2024

Abstract

Bakherz Mountain is situated in the northeast of Sanghan city, at the eastern end of the Darone fault. Iron in this area has been extensively formed under the influence of granitoid masses from the upper Eocene to the lower Oligocene within the metamorphosed sedimentary unit in the form of skarn and hydrothermal deposits. Structural investigation of veins, fractures, movement mechanisms of faults, and displacement of units indicates two types of compressive tectonic regimes along $N070$ and $N350$ directions. The initial stage of mineralization occurred in the northeast-southwest direction in the Ferezeneh fault zone ($N040$). In the northern and middle parts of this fault, two shear-tensile zones were created, leading to the rise of iron-bearing fluids and hydrothermal iron mineralization in the northern part (Ferezeneh mine) and skarn-type iron mineralization in the middle part (Madan-Joe). Subsequently, the intersection of the Ferezeneh and Som-Ahani faults ($N300$) resulted in the creation of a shear-tensile zone and the ascent of iron-bearing fluids, leading to skarn-thermal iron mineralization in the Som-Ahani mine. Lastly, in the southern part of the Ferezeneh fault, uranium has been deposited in a fault zone approximately 2 km in length, within the Skarn unit. Changes in the geo-structural regime and the creation of suitable spaces in the shear-tensile zones have facilitated the flow of fluids, skarn formation, and the deposition of iron and uranium in separate phases and different directions. Structural studies will aid in the optimal extraction of mineral reserves and the identification of new resources.

Keywords: Bakherz mountain, Sanghan, Iron mineralization, Radiation, Structural



۱. مقدمه

در بخش مرکزی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد واقع شده است. مهمترین واحد سنگی منطقه سازند پشته متشکل از آهک، دولومیت دگرگون شده و کنگومرا و کمپلکسی از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده به سن اواخر پروتروزوئیک، می‌باشد. در این منطقه دو توده نفوذی مهم سرنوسر و برمانی به سن ائوسن بالایی تا الیگوسن زیرین درون واحد دگرگون شده پشته نفوذ کرده‌اند (شکل ۲) [۲-۳]. توده نفوذی سرنوسر عمدتاً از نوع گرانیت، هورنبلند بیوتیت گرانیت، مونزوگرانیت و گرانودیوریت می‌باشد [۲] که در بخش غربی منطقه مطالعاتی قرار دارد. توده نفوذی برمانی که در بخش شرقی منطقه رخنمون یافته است و دارای ترکیبی از هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت و هورنبلند بیوتیت سینوگرانیت می‌باشد [۳]. سنگ‌های مجموعه ماگمایی سنگان سرشت I دارند [۶].

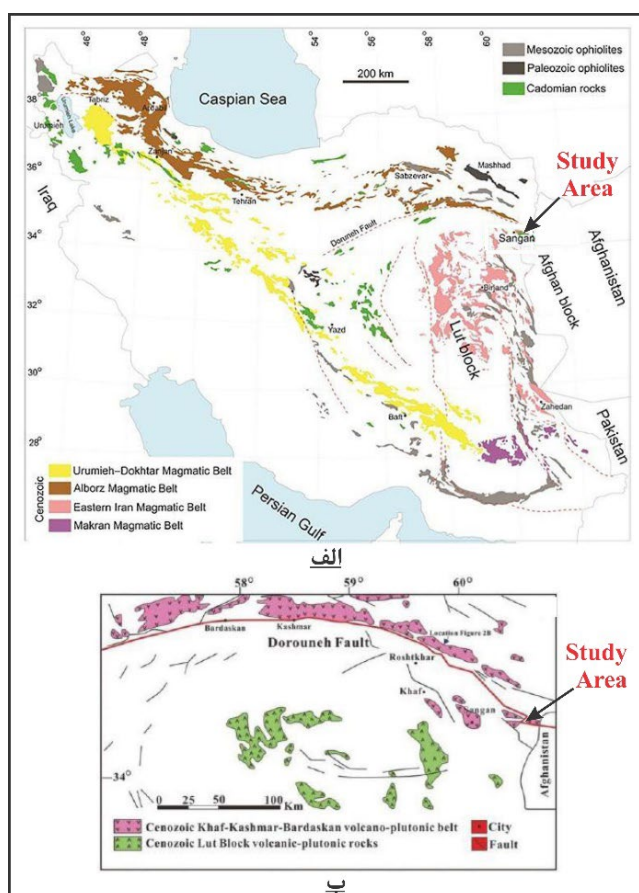
منطقه کوه باخرز در جنوب‌شرقی استان خراسان رضوی و در ۳۵ کیلومتری شمال‌شرق شهر سنگان از توابع شهرستان خواف واقع شده است. این منطقه در شمال خردقاره بلوک لوت قرار دارد [۱]. نفوذ توده‌های آذرین با سن سنوزوئیک در واحدهای دگرگون شده مربوط به دوران پروتروزوئیک، مهمترین جلوه ماگماتیسم منطقه می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی این توده‌ها در کمربند ولکانو- پلوتونیک خواف- کاشمر- بردسکن قرار گرفته‌اند.

مهمترین ساختار زمین‌ساختی موجود در کل ناحیه خواف- بردسکن، گسل امتدادلغز درونه است که این مناطق از لحاظ ساختاری به شدت متأثر از عملکرد این گسل می‌باشند. منطقه مورد مطالعه در پایانه بخش شرقی گسل درونه قرار گرفته است و این گسل بر ساختارها، کانی‌زایی‌ها و مورفولوژی منطقه تأثیر بسزایی گذاشته است.

در ناحیه سنگان حجم وسیعی از کانی‌زایی آهن صورت گرفته، به‌گونه‌ای که معادن آهن بسیار بزرگی از جمله مجموعه معادن آهن سنگان، فرزنه، کوه باخرز و ... تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی آهن عمدتاً به صورت مگنتیت و هماتیت می‌باشد. به دلیل پتانسیل بالای آهن در ناحیه سنگان، مطالعات متعددی به‌صورت ناحیه‌ای و یا محلی روی معادن آهن صورت گرفته است. از مهمترین آنها در منطقه کوه باخرز می‌توان به کارهای پترولوژی [۲-۳] و ژئوشیمی آنومالی‌ها [۴] اشاره نمود. ازآنجاکه تاکنون مطالعه ساختاری خاصی در معادن کوه باخرز صورت نگرفته، سازوکار و چگونگی تشکیل گسل‌های منطقه کاملاً ناشناخته است. همچنین اطلاعات خاصی در خصوص ارتباط عناصر ساختاری با کانی‌زایی موجود نیست. به همین منظور در این پژوهش سعی شده است با اندازه‌گیری دقیق عناصر ساختاری و تحلیل هندسی- جنبشی آنها، الگویی مناسب برای تکامل ساختاری و ارتباط آن با کانی‌زایی و پرتوزایی ارائه و پیشنهاد گردد.

۲. زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ناحیه سنگان، بخشی از کمربند آتشفشانی- نفوذی، خواف- کاشمر- بردسکن است که با روند شرقی- غربی در شمال گسل درونه و در انتهای یکی از پایانه‌های انشعابی بزرگ مقیاس از این گسل قرار گرفته‌اند (شکل ۱) [۵]. منطقه مطالعاتی کوه باخرز



شکل ۱. الف) موقعیت بلوک‌های ساختاری و منطقه مطالعاتی. ب) کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف- کاشمر- بردسکن و ناحیه مطالعاتی در انتهای گسل درونه.

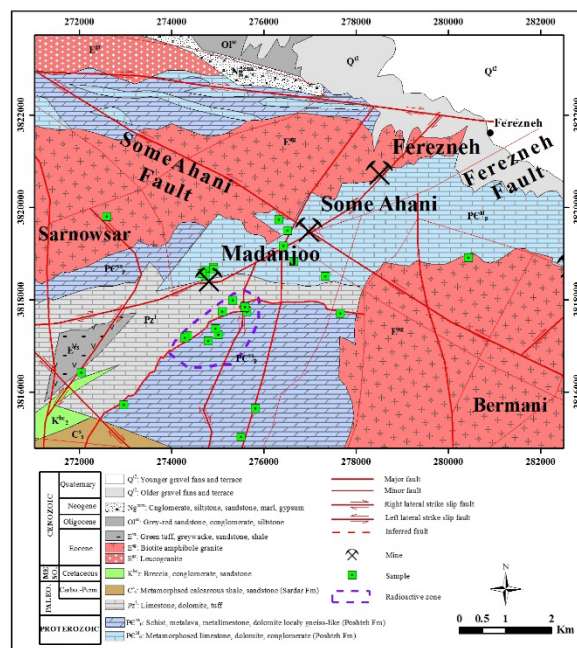


منطقه کوه باخرز در بخش شرقی این زون کانی‌سازی قرار گرفته است. اسکارن آهن بزرگ‌ترین ذخایر نوع اسکارن هستند که اغلب آنها از کبالت، نیکل، کروم و طلا غنی شده‌اند [۷]. این ذخایر می‌توانند در امتداد گسل‌ها تشکیل شوند و پتانسل چند فلزی را داشته باشند [۸]. اسکارن آهن به دلیل عیار بالای آهن، پایین بودن میزان فسفر و گوگرد و همچنین ذخیره زیاد، یکی از مهم‌ترین منابع آهن در ایران محسوب می‌شوند. ذخایر مگنتیت سنگان از نوع اسکارنی است و زون‌بندی اسکارن در آن به خوبی قابل مشاهده است [۹]. کانی‌زایی اورانیم در این ناحیه در محل کانی‌زایی آهن و یا در مجاورت آنها، رخ داده است.

کانی‌سازی آهن و آنومالی اورانیم در بخش وسیعی از منطقه کوه باخزر به صورت پراکنده دیده می‌شود اما در چند بخش تمرکز بالای را نشان می‌دهند به گونه‌ای که آهن در سه نقطه در راستای دو گسل اصلی منطقه و اورانیم در بخش جنوبی آن مشاهده می‌گردد. این امر نشان از نقش گسل‌ها در کنترل کانی‌سازی می‌باشند.

۱.۴ کانی سازی آهن

مهم‌ترین کانی‌سازی در منطقه کوه باخرز، آهن می‌باشد که منشأ آن نفوذ توده‌های سرنوسر و برمانی به سن ائوسن بالایی تا الیگوسن زیرین می‌باشند [۲، ۴]. کانی‌سازی آهن در این منطقه در معادن فرزانه، سم‌آهنی و معدن جو در راستای گسل‌های اصلی و آنومالی آهن پراکنده مشاهده می‌گردند. کانی‌سازی در معدن فرزانه از الگوی زمین ساخت منطقه با منشأ گرمایی پیروی می‌کند. سیالات گرمایی از طریق زون گسله به اعماق کمتر و سطح زمین راه پیدا کرده است [۴]. کانی‌سازی در معدن معدن جو هم به صورت توده‌ای و چینه‌سان در سنگ‌های آهکی دولومیتی صورت گرفته است [۱۰]. در این معدن کانه اصلی مگنتیت و از نوع اسکارنی می‌باشد [۱۰]. کانی‌سازی در معدن سم‌آهنی بیشتر همراه اگزواسکارن و به‌صورت مگنتیت به شکل عدسی‌های کوچک و رگه‌های پراکنده با منشأ گرمایی است که بعداً در طی فرایند سوپرژن و اکسیداسیون به شکل گسترده‌ای به هماتیت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است [۲]. کانی‌سازی در این معادن به‌صورت اسکارنی و رگه‌ای، متأثر از ساختارهای منطقه می‌باشد. پهنه‌های برشی - کششی ایجاد شده در راستای گسل‌های منطقه، نقش بسزایی در ایجاد کانال عبور سیالات گرمایی، زون‌های خرد شده برای تسهیل در فرایند اسکارن‌زایی، کانی‌سازی و در نهایت جابه‌جایی بعد از کانی‌سازی دارد.



شکل ۲. برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد و موقعیت معادن، نمونه‌ها و زون پرتوزا.

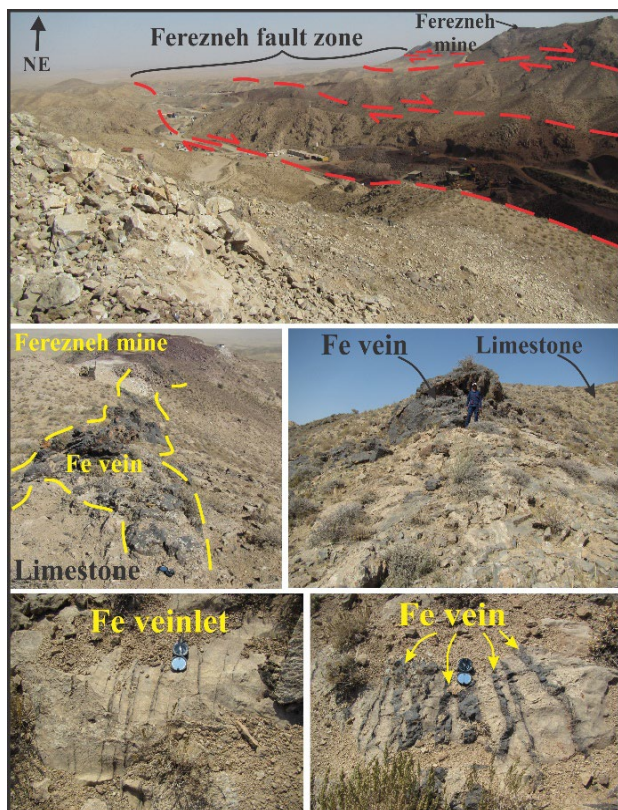
۳. روش مطالعه

اهمیت و تشخیص مدل زمین‌ساختی برای تشکیل یک ذخیره معدنی و جابه‌جایی‌های بعدی در مطالعات ذخایر معدنی امری بسیار مهم می‌باشد. در منطقه کوه‌باخرز کانی‌سازی آهن به صورت اسکارنی و گرمابی و اورانیم احتمالاً گرمابی رخ داده است. از آنجاکه سیستم‌های شکستگی و زون‌های گسلی در این منطقه نقش بسیار مهم و کلیدی را در جایگیری توده‌ها، اسکارن‌زایی و مهاجرت سیالات طی فرایند کانی‌سازی دارند، در ابتدا روند رگه‌ها، شکستگی‌ها و کانی‌سازی در منطقه کوه باخرز از نظر ساختاری و رادیومتری بررسی گردید و سپس از بخش‌های کانهدار آهن، واحدهای سنگی و زون‌های پرتوزا تعداد ۲۶ نمونه برای آنالیز عنصری به روش ICP-MS برداشت گردید. در ادامه نقش گسل‌های اصلی و ارتباط آن با کانی‌سازی مطالعه گردید تا الگوی ساختاری حاکم بر منطقه تعیین گردد، در نهایت پس از تحلیل داده‌ها مدل ساختاری مرتبط با کانی‌سازی در منطقه کوه باخرز براساس اطلاعات میدانی ارائه گردید.

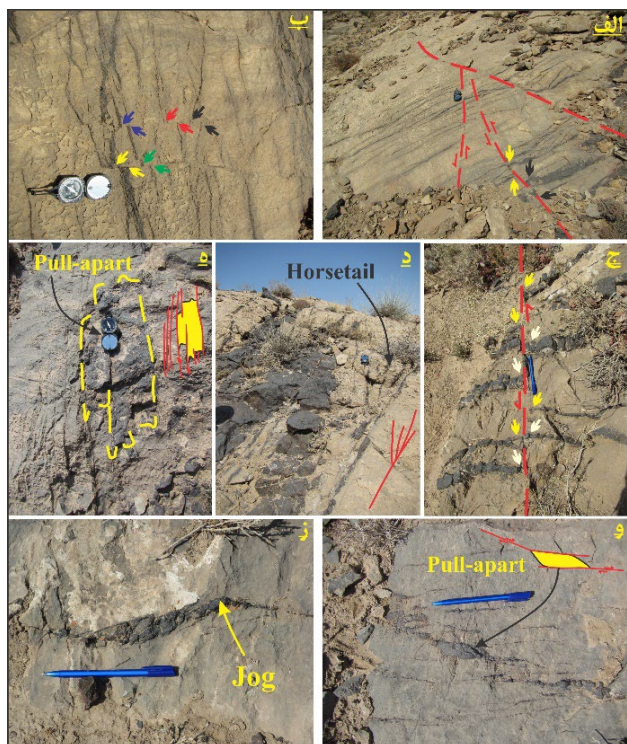
۴. کانی سازی

زون کانی‌سازی در ناحیه سنگان، پهنه‌ای به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر و عرض ۸ کیلومتر را شامل می‌شود که علاوه بر رخداد آهن در بخش‌های مختلف به‌صورت ذخایر بزرگ و متوسط، اورانیم به‌صورت آنومالی و اندیس معدنی شناسایی گردیده است.





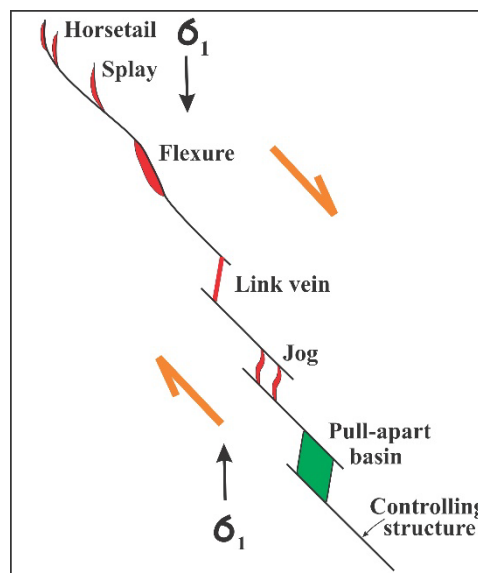
شکل ۴. رگه‌های آهن با طول و ضخامت مختلف در معادن کوه باخرز.



شکل ۵. (الف، ب، ج) جابه‌جایی رگه‌های تشکیل شده با روند شمال شرق- جنوب غرب توسط گسل‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق به صورت چپ‌بر. (د، ه، و، ز) تشکیل انواع ساختارهای کششی در راستای گسل‌های منطقه همچون حوضه‌های واچاکیده، دم اسبی.

آهن اولین مرحله از کانی‌سازی در منطقه می‌باشد. بخش عمده کانی‌سازی در منطقه کوه باخرز به‌ویژه در فرزانه و سم‌آهنی عمدتاً به‌صورت رگه‌ای می‌باشند و در ساخت‌های برشی- کششی ایجاد شده توسط گسل‌های امتدادلغز، شکل گرفته‌اند (شکل ۳) فرم رگه‌ها نشان از کنترل و جایگیری در ساختارهای منطقه می‌باشند. کانی‌سازی آهن با ابعاد چند میلی‌متر تا چند متر در بخش‌های مختلف در روندهای مختلف تشکیل شده‌اند (شکل ۴).

برداشت‌های میدانی از بخش‌های کانهدار و ساختارها در منطقه نشان از کانی‌سازی در دو راستای مختلف به‌صورت دو مرحله‌ای دارد. در اولین مرحله کانی‌سازی در راستای شمال شرق- جنوب غرب صورت گرفته است که بیشترین کانی‌زایی در منطقه را دربر دارد. این روند کانی‌سازی منطبق بر سیستم‌های شکستگی شمال شرق- جنوب غرب می‌باشد. در مرحله بعد کانی‌سازی در روند قبلی توسط گسل‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق به صورت چپ‌بر قطع و جابه‌جا شده‌اند (شکل ۵) و کانی‌سازی جدید با روند شمال غرب- جنوب شرق در منطقه رخ داده است. این روند کانی‌سازی نیز منطبق بر روند انطباق روند کانی‌سازی‌ها با روند شکستگی‌های منطقه مبین نقش و کنترل شدن کانی‌سازی توسط ساختارها می‌باشد.



شکل ۳. انواع محیط‌های ساختاری کششی در راستای گسل‌های امتدادلغز که فضاهای کششی مناسبی برای نفوذ و ته‌نشست سیالات گرمایی و غیرگرمایی در منطقه را می‌تواند ایجاد کنند [۱۹].



۲.۴ کانی‌سازی اورانیم

وجود واحدهای سنگی اسیدی و زمین‌ساختی خاص در ناحیه سنگان، این ناحیه را به یکی از نواحی مستعد جهت کانی‌سازی اورانیم تبدیل کرده است. در زمینه کانی‌سازی اورانیم در این ناحیه مطالعات خاصی صورت نگرفته است. براساس مطالعات اولیه در معدن باغک (بخش مرکزی ناحیه سنگان) پرتوزایی در این معدن عمدتاً تحت تأثیر اورانیم و تا حد کم پتاسیم می‌باشد. عناصر نادر خاکی با پرتوزایی و اورانیم همبستگی بالایی دارند [۱۱-۱۲].

باتوجه به قرارگیری منطقه کوه باخرز در بخش شرقی ناحیه سنگان و وجود واحدهای سنگی و شرایط ساختاری مناسب، این بخش می‌تواند دارای پتانسیل کانی‌سازی اورانیم باشد. بررسی‌های میدانی، آزمایشگاهی و برداشت‌های رادیومتری در منطقه نشان از وجود اورانیم به سه صورت همراهی با آهن به مقدار کم، درون زون‌های خردشده و دگرسان شده پیرامون زون‌های آهن‌دار و همچنین به‌صورت مستقل درون واحدهای اسکارنی در راستای زون‌های ساختاری دارد. برداشت‌های زمینی رادیومتری (بالغ بر ۴۰۰ نقطه) با استفاده از دستگاه‌های سنتیلومتر (مدل SPP۲NF-۲G) و اسپکترومتر (مدل RS ۲۳۰، BGO-SUPER-SPEC) و برداشت تعداد ۲۶ نمونه از بخش‌های کانه‌دار آهن، واحدهای سنگی و زون‌های پرتوزا برای آنالیز ICP-MS صورت گرفته است. این برداشت‌ها منجر به شناسایی یک زون پرتوزای مستعد در این منطقه گردید. در این منطقه نقاطی با پرتوزایی بیشینه cps ۴۲۰۰ در یک پهنه گسلی در واحد اسکارنی و زون‌های دگرسانی کلریتی و آرژیلیکی در راستای شکستگی‌ها شناسایی شده است. مقدار میانگین پرتوزایی ثبت شده در کل منطقه باخرز cps ۳۵۰ و در زون پرتوزای شناسایی شده cps ۱۳۰۰ می‌باشد. براساس آنالیز عنصری ICP-MS مقدار میانگین اورانیم در نمونه‌های

برداشت‌شده ppm ۲۱۴ اندازه‌گیری شده است. همچنین میزان عناصر نادر خاکی در زون پرتوزا بالا می‌باشد (جدول ۱).

۵. زمین‌شناسی ساختمانی

از لحاظ تقسیمات زمین‌ساختی منطقه کوه باخرز در مرز بین زون ایران مرکزی با خردقاره ایران مرکزی و در بخش شمالی بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱). مهم‌ترین ساختار در این محدوده گسل درونه می‌باشد. سامانه گسل درونه به عنوان یکی از گسل‌های امتدادلغز درون‌قاره‌ای فعال در ایران، نقش مهمی در دگرریختی و ریخت‌شناسی این پهنه داشته است. این گسل در بسیاری از بخش‌ها، به صورت دسته‌ای از گسل‌های موازی هم که در مجموع پهنه‌ای به عرض تقریبی ۲ کیلومتر را تشکیل می‌دهد، دیده می‌شود [۱۳].

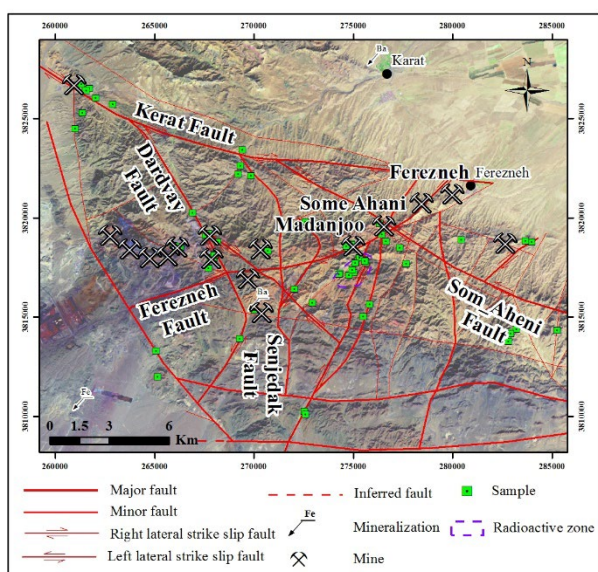
فرایند زمین‌ساخت و کانی‌زایی ارتباط تنگاتنگی از لحاظ اکتشاف مواد معدنی و بهره‌برداری از آنها با یکدیگر دارند، طوری که تعیین سازوکار گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌تواند ادامه فعالیت معدنی را از لحاظ اکتشاف و بهره‌برداری تسهیل و هدفمند سازد. بسیاری از زمین‌شناسان معتقدند به طور معمول در ذخایر هیدروترمال و ماگمایی، یک ارتباط فضایی میان کانی‌سازی و ساختاری‌های پوسته‌ای به ویژه گسل‌ها وجود دارد [۱۴]. جایگیری ماده معدنی در ذخایر اسکارنی، اغلب با ساختارهای موجود در توده سنگ مرتبط است. اعمال شرایط زمین‌ساختی عمومی به این ذخایر به دلیل انواع روش‌های جایگیری و تاریخچه زمین‌شناسی در هر ذخیره به صورت محلی و نیز تأثیر بالقوه گسل‌های پس از تشکیل ذخیره بسیار دشوار است، با این حال وجود سنگ‌های گسل‌خورده در نزدیکی ذخایر، اغلب رایج است [۱۵].

جدول ۱. نتایج آنالیز ICP-MS تعدادی از نمونه‌های زون پرتوزا (مقادیر برحسب ppm) به همراه میانگین ۲۶ نمونه برداشت شده (ردیف آخر)

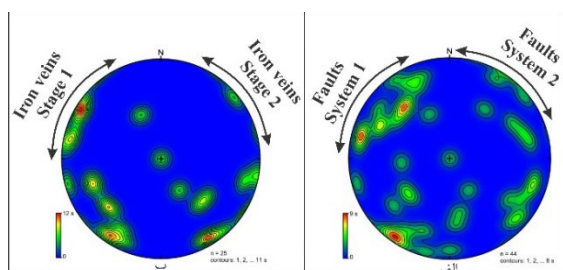
ردیف	Al (%)	As	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	Mn	Mo	Th	U	V	ΣREE
۱	۳٫۷	۵۳	۹٫۱	۴٫۶	۰٫۰۴	۱۰۳۹	۰٫۵	۹٫۵	۴۰۳	۱۱۶	۴۰۹۳
۲	۳٫۷	۳۹	۹٫۱	۴٫۹	۰٫۰۶	۱۱۳۰	۰٫۶	۱۴٫۵	۵۲۵	۹۱	۴۵۳۸
۳	۹٫۱	۳۰	۱۳٫۵	۶٫۸	۲٫۶	۲۹۲۴	۴٫۹	۱۶٫۵	۱۲۶	۴۳	۱۰۷۸
۴	۵٫۶	۸۹	۷٫۲	۴٫۶	۱٫۸	۱۲۸۲	۱٫۲	۵٫۱	۵۵۷	۱۲۲	۸۹۸۹
۵	۲٫۹	۱۲	۸٫۳	۴٫۷	۲٫۲	۳۰۳	<۰٫۵	۳٫۱	۵۶۷	۱۳۳	۲۳۱۶
۶	۷٫۴	۳۱	۷٫۳	۷٫۲	۰٫۷	۹۷۳	۱۱۳	۳٫۷	۹۵	۱۸۷	۱۹۸
۷	۳	۲۶	۸٫۹	۵٫۴	۱٫۱	۵۰۶	<۰٫۵	۱٫۶	۸۱۴	۱۰۸	۲۳۲۱
۸	۵٫۹	۳۶	۰٫۸	۱۰	۷٫۵	۴۵۰۳	۸٫۴	۱۰۱	۱۲	۴۰	۹۰۸
Ave.	۴	۷۰	۶٫۲	۸٫۲	۱٫۴	۲۸۲۱	۱۱۴	۱۳	۲۱۴	۹۸	۱۷۱۷



نشان می‌دهند. اولین جهت فشارش در راستای تقریبی $N070^\circ$ و کشش در راستای $N350^\circ$ می‌باشد که باعث کانی‌زایی آهن با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب در راستای شکستگی‌های ایجاد شده در این راستا شده است. سپس فاز فشارش و کشش دیگری به ترتیب در راستای $N350^\circ$ و $N065^\circ$ اتفاق افتاده است که منجر به کانی‌زایی دیگری با روند شمال غرب- جنوب‌شرق در امتداد شکستگی‌های ایجاد شده در این راستا شده است (شکل ۸). معادن منطقه کوه باخرز در راستای دو گسل مهم فرزنه و سم‌آهنی که خود به‌عنوان گسل‌های نسل دوم زون گسلی درونه محسوب می‌شوند، قرار دارند (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه ساختاری ناحیه سنگان به همراه معادن تشکیل شده در راستای گسل‌های اصلی به‌ویژه معادن منطقه کوه باخرز در راستای زون‌های گسلی فرزنه و سم‌آهنی.



شکل ۷. الف) استریونت مربوط به خطوط هم‌تراز قطب گسل‌ها، تشکیل دو سیستم گسلی مهم در راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب (Faults system ۱) و شمال‌غرب- جنوب‌شرق (Faults system ۲) در منطقه. ب) استریونت مربوط به خطوط هم‌تراز قطب رگه‌ها و توده‌های آهن، ایجاد کانی‌سازی آهن در دو روند اصلی شمال‌شرق- جنوب‌غرب (Stage ۱) و شمال‌غرب- جنوب‌شرق (Stage ۲) و انطباق روند کانی‌سازی با روند سیستم‌های گسلی منطقه.

تاکنون چندین مطالعه ساختاری در معادن مختلفی که در پهنه ناحیه سنگان ایجاد شده است، صورت گرفته که در همه آنها وجود چند فاز زمین‌ساختی که در کانی‌سازی نقش مهمی داشته‌اند شناسایی شده است چنان‌که این تغییر رژیم در پژوهش‌هایی که در بخش‌های دیگر پهنه ناحیه سنگان همچون محدوده معدنی باغک، درودی، آنومالی C جنوبی، محدوده بین باغک و سنجک گزارش شده است [۹، ۱۶-۱۸]. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که در هر منطقه فازهای زمین‌ساختی مؤثر در کانی‌سازی با یکدیگر فرق می‌کنند. گویا که در هر منطقه به صورت محلی فعالیت‌های زمین‌ساختی خاصی، منطقه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که این امر به دلیل وجود گسل پویای درونه و پهنای زیاد این زون گسلی، دور از انتظار نمی‌باشد که علاوه بر یک الگوی زمین‌ساختی کلی، در بخش‌های مختلف آن در اثر برهم‌کنش و فعالیت گسل‌های مختلف و چرخش بلوک‌ها در این پهنه، الگوهای زمین‌ساختی محلی هم ایجاد شود که بر الگو و روند کانی‌سازی در آن بخش تأثیر مستقیم و مستقلی نسبت به سایر بخش‌ها بگذارند.

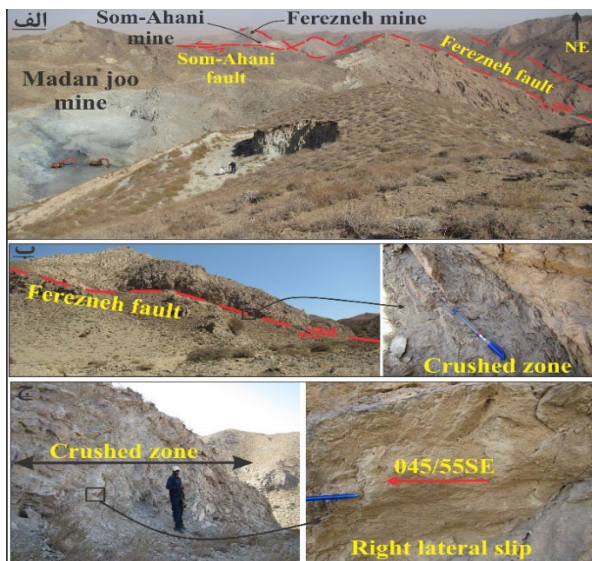
مطالعات پیشین صورت گرفته بر روی سنگ‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌سازی در منطقه، به نقش مهم و کلیدی گسل‌ها به عنوان یکی از کنترل‌کننده‌های اصلی در کانی‌سازی منطقه اذعان نموده‌اند و خواهان بررسی این کنترل‌کننده‌ها بوده‌اند [۲، ۴، ۱۰]. در منطقه کوه باخرز ساختارها نقش بسزایی در جایگیری توده‌های نفوذی، فرایندهای اسکارن‌زایی و گرمایی و در نهایت کانی‌سازی ایفاء کرده‌اند.

۱.۵ کنترل‌کننده‌های ساختاری در کانی‌سازی آهن

مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های ساختاری در منطقه کوه باخرز گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشند به‌گونه‌ای که این ساختارها به نظر می‌رسد تأثیر مستقیم و مستقلی بر روی کانی‌سازی منطقه نسبت به سایر بخش‌های ناحیه سنگان ایفاء کرده‌اند. معادن کوه باخرز در راستای گسل‌های بزرگ و اصلی منطقه تشکیل شده‌اند (شکل ۶). گسل‌های اصلی منطقه خود به عنوان شاخه‌های منشعب شده از گسل درونه یا به عنوان شکستگی‌های حاصل از فعالیت گسل درونه می‌باشند. براساس برداشت‌های صحرایی، در منطقه کوه باخرز دو سیستم شکستگی اصلی یکی در راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب و دیگری در راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق که دارای بیشترین فراوانی می‌باشند، وجود دارد و به‌الطبع برداشت روندهای کانی‌سازی صورت گرفته، نشان از دو روند اصلی شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شمال غرب- جنوب‌شرق دارند که منطبق بر سیستم‌های شکستگی اصلی منطقه می‌باشند (شکل ۷). شکستگی‌های برداشت شده که دارای مکانیزم حرکتی می‌باشند، دو جهت تنش فشارشی و کششی را



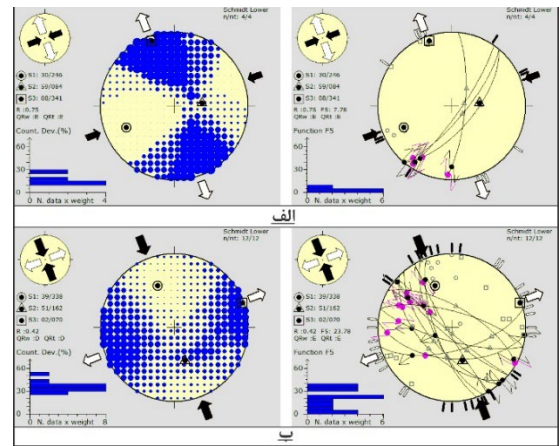
زمین‌ساختی کانی‌سازی آهن و شکستگی‌ها، اولین کانی‌زایی آهن در منطقه در راستای این گسل صورت گرفته است.



شکل ۹. دورنمایی از معدن کوه باخرو و تشکیل سه معدن فرزنه، سم‌آهنی و معدن‌جو در راستای دو گسل مهم فرزنه و سم‌آهنی، به همراه تصویری از سه بخش (شمالی، میانی و جنوبی) گسل فرزنه و زون خردشده ایجاد شده در راستای گسل فرزنه به همراه مکانیزم حرکتی راست‌بر.



شکل ۱۰. دورنمایی از قرارگیری معدن، معدن‌جو در زون گسلی فرزنه. برخی از گسل‌ها دو مکانیزم حرکتی متفاوت راست‌بر (حرکت قدیم) و نرمال (حرکت جدید) از خود نشان می‌دهند.



شکل ۸. الف) گسل‌های با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب که بیانگر یک فاز فشارش و کشش به ترتیب در راستای $N070^\circ$ و $N350^\circ$ می‌باشند. ب) گسل‌های با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق بیانگر فاز فشارش و کشش دیگری به ترتیب در راستای $N065^\circ$ و $N350^\circ$ می‌باشند.

۱.۱.۵ گسل فرزنه

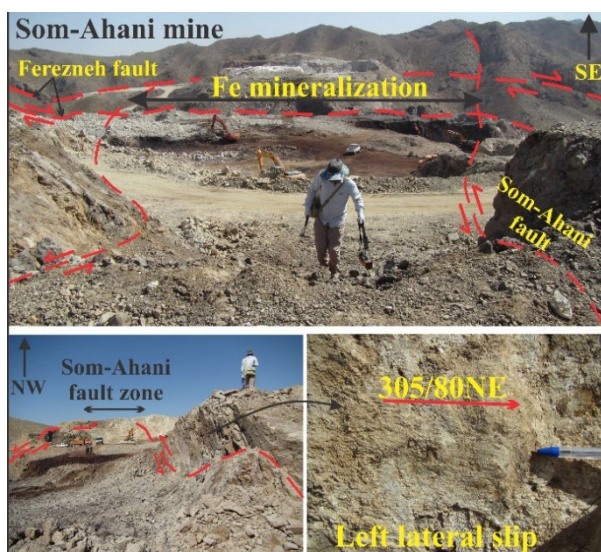
گسل فرزنه با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب ($N040^\circ-060^\circ$) دارای مکانیزم حرکتی امتدادلغز راست‌بر می‌باشد. طول این گسل تقریباً ۱۲ کیلومتر می‌باشد که در بخش جنوب‌غربی به گسل چپ‌گرد دردوی ختم و در بخش شمال‌شرقی توسط رسوبات آبرفتی پوشیده می‌شود و به احتمال زیاد به یکی از شاخه‌های گسلی منشعب شده با روند تقریباً شرقی- غربی از گسل درونه که وارد منطقه شده است، ختم گردد. این گسل به صورت یکسری از گسل‌های هم‌پوشانی شده با طول‌های مختلف که اکثر آنها راست‌بر می‌باشند، تشکیل شده است. این زون گسلی دارای ۳۰۰ تا ۸۰۰ متر پهنا می‌باشد. بیشترین پهنا در محل خمش گسل می‌باشد که باعث ایجاد دو منطقه مناسب جهت تمرکز و تشکیل کانی‌سازی در راستای خود شده است. در راستای این گسل دو معدن فرزنه در بخش شمالی و معدن‌جو در بخش میانی آن تشکیل شده است (شکل‌های ۹ و ۱۰).

به دلیل خمش ایجاد شده در بخش شمالی در راستای این گسل یک منطقه کششی مناسبی برای صعود سیالات گرمایی به سطح و تشکیل و کانی‌سازی آهن به صورت رگه‌هایی با اندازه‌های مختلف در معدن فرزنه ایجاد شده است.

در بخش میانی گسل فرزنه در مرز بین توده و واحدهای سنگی اطراف خردشدگی بالایی در سنگ میزبان صورت گرفته است که نقش بسزایی در اسکارن‌زایی و دگرسانی و به‌الطبع رخداد کانی‌سازی آهن در معدن‌جو ایفاء کرده است. این دو بخش از گسل فرزنه باعث ایجاد فضای خالی مناسبی شده‌اند به‌گونه‌ای که در بقیه راستای این گسل که طولی بالغ بر ۱۲ کیلومتر دارد دیگر کانی‌زایی خاصی با تمرکز بالا صورت نگرفته است که این نشان از نقش مهم خمش‌ها در راستای این گسل و تمرکز کانی‌سازی دارد. براساس بررسی و برداشت‌های



بالای پرتوایی از خود در واحد اسکارن، در زون‌های دگرسان شده و یا در کانی‌سازی‌های آهن صورت گرفته در مراحل قبل نشان داده است. در سایر بخش‌های منطقه که دارای واحدهای اسکارنی، دگرسانی و کانی‌سازی آهن می‌باشند، کانی‌سازی اورانیم صورت نگرفته یا به مقدار ناچیزی اتفاق افتاده است و این امر نشان از نقش مهم شکستگی‌های این بخش در ایجاد محیطی با شدت خردشدگی بالا و تسریع و توسعه در امر اسکارن‌زایی، دگرسانی و کانی‌سازی داشته‌اند. در نتیجه یک محیط مستعد شامل واحد سنگی مناسب، دگرسانی، شکستگی و خردشدگی و در نهایت کانی‌سازی اورانیم، فراهم شده است.



شکل ۱۱. دورنمایی از محل تقاطع دو زون گسلی فرززه و سم‌آهنی و کانی‌زایی آهن در محل تلاقی و در راستای زون گسلی سم‌آهنی به همراه مکانیزم حرکتی چپ‌بر.



شکل ۱۲. دورنمایی از زون پرتوایی ایجاد شده در پهنه گسلی با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب بین دو واحد سنگی آهک و اسلیت و ایجاد نقاط پرتوزا در بخش‌های دگرسان شده هماتی (a)، همراه با رگه آهن و دگرسانی هماتی (تصویر b) و در واحد اسکارنی دچار دگرسان کلریتی و آرژیلیتی شده (تصویر c)، به همراه نتایج آنالیز نمونه‌های ICP-MS برداشت شده از این زون پرتوزا.

۲.۱.۵ گسل سم‌آهنی

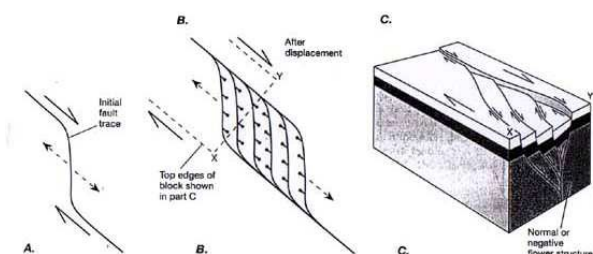
گسل سم‌آهنی با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق (۳۳۰-۳۰۰N) به طول تقریبی ۱۴ کیلومتر دارای مکانیزم حرکتی چپ‌بر می‌باشد. این گسل در بخش شمال‌غربی خود به شاخه گسلی منشعب شده از گسل درونه ختم می‌گردد و در بخش جنوب شرقی به گسل‌های فرعی دیگری خاتمه می‌یابد. گسل سم‌آهنی در بخش شمالی منطقه با گسل فرززه تلاقی پیدا می‌کند و باعث جابه‌جایی آن شده است و در نتیجه یک زون خردشده و کششی بزرگی به طول و عرض تقریبی ۱ کیلومتر و ۵۰۰ متر در این قسمت ایجاد شده است. این فضای کششی ایجاد شده محل مناسبی برای صعود سیالات گرمایی و تشکیل و تمرکز کانی‌سازی آهن در این بخش فراهم کرده است به گونه‌ای که معدن سم‌آهنی در این بخش شکل گرفته است (شکل ۱۱). در بقیه راستای این گسل بزرگ کانی‌سازی آهن به صورت متمرکز صورت نگرفته است. شایان ذکر است باتوجه به قطع و جابه‌جا شدن رگه‌ها و توده‌های آهن تشکیل شده در مرحله قبل توسط این زون گسلی و یا گسل‌های هم‌روند با گسل سم‌آهنی در منطقه و همچنین تغییر مکانیزم حرکتی و ثبت شدن دو مکانیزم حرکتی متفاوت در صفحه‌های گسلی مرحله قبل که نشان از تغییر رژیم زمین ساختی در منطقه می‌باشد (شکل‌های ۸ و ۱۰)، کانی‌سازی آهن صورت گرفته در راستای این گسل‌ها با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق جدیدتر از کانی‌سازی مرحله قبل می‌باشد و می‌توان از آن به عنوان مرحله دوم کانی‌سازی آهن در منطقه یاد کرد.

۲.۵ کنترل‌کننده‌های ساختاری در کانی‌سازی اورانیم

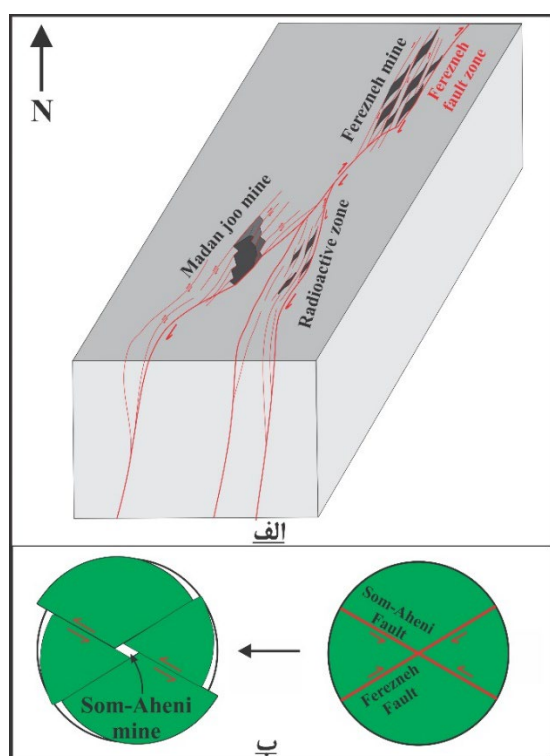
براساس رادیومتری زمینی در منطقه کوه باخرز یک زون پرتوایی مستعد به طول بیش از ۲ کیلومتر و پهنای ۰/۵ کیلومتر در بخش شرقی گسل فرززه و جنوب معدن معدن‌جو در یک پهنه برشی- کششی ایجاد شده در مرز بین واحدهای سنگی آهک و اسکارن تشکیل شده است (شکل‌های ۲ و ۶). در بخش جنوب گسل فرززه یک شاخه گسلی از آن منشعب می‌شود و باعث ایجاد یک پهنه گسلی با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب (۹۰-۱۵۰N) (هم‌راستا با گسل فرززه) در مرز بین دو واحد سنگی فوق می‌شود. با تغییر رژیم ساختاری در منطقه شکستگی‌های با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق (۱۵۰-۱۲۰N) به این پهنه گسلی اضافه و باعث بالا رفتن شدت خردشدگی و دگرسانی در این زون گسلی شده است و در نتیجه یک محیط مستعد جهت تمرکز سیالات گرمایی حاوی اورانیم در واحد اسکارنی ایجاد کرده است (شکل ۱۲). با توجه به نمونه‌برداری‌های صورت گرفته در راستای پرتوایی از بخش‌های مختلف کانی‌سازی‌های آهن، توده‌های نفوذی، واحدهای آهکی و اسکارنی منطقه، فقط این بخش از منطقه کوه باخرز تمرکز



محل تلاقی این دو زون گسلی امتدادلغز با دو مکانیزم حرکتی و راستایی متفاوت، یک محیط کششی بسیار مناسبی ایجاد می‌شود تا سیالاتی که توسط دو کانال گسلی فرزنه و سم‌آهنی حمل می‌شوند، در این فضای کششی ایجاد شده، متمرکز و ته‌نشست کنند و منجر به کانی‌سازی آهن و تشکیل معدن سم‌آهنی گردد (شکل ۱۴-ب).



شکل ۱۳. چگونگی ایجاد شکستگی‌های کششی در گسل‌های امتدادلغز که در نهایت منجر به ایجاد فضای مناسب برای صعود و نهشت مواد معدنی شده است [۲۰].



شکل ۱۴. الف) بلوک دیاگرامی از تشکیل معادن فرزنه، معدن جو و زون پرتوزا در راستای زون گسلی فرزنه و شاخه‌ای گسلی منشعب شده از آن و ایجاد فضاهای کششی به صورت حوضه‌های واچاکیده (Pull apart) و خمشی در راستای زون گسلی جهت تمرکز و کانی‌سازی آهن و اورانیوم در منطقه. ب) مدل ساختاری برای شکل‌گیری فضاهای کششی در محل تلاقی دو گسل فرزنه و سم‌آهنی، شکل‌گیری شکستگی‌های هم‌پو (Conjugate) و جابه‌جایی بلوک‌های پدید آمده در کنار یکدیگر و ایجاد فضاهای خالی در میانه آنها که به بالاروی و نهشته شدن مواد معدنی در معدن سم‌آهنی منجر شده است.

۶. بحث و تحلیل نتایج

در ارتباط با گسل‌های امتدادلغز با توجه به آرایش خاص گسل‌های موازی و سمت‌گیری جابه‌جایی بلوک‌ها، شکستگی‌های کششی یا فشارشی تشکیل می‌شود (شکل ۱۳) [۲۰]. براساس مطالعات انجام شده در منطقه، گسل‌های امتدادلغز و نرمال، نشانگر تشکیل و گسترش فضاهای کششی است که منجر به ایجاد ساختارهای خاصی نظیر دوگانگی امتدادلغز و شکستگی‌های کششی می‌شود. براساس این مطالعات نحوه عملکرد دو گسل اصلی فرزنه و سم‌آهنی سبب شده است تا یک سری پهنه‌های برشی-کششی در راستای آنها شکل گیرد. برداشت سیستم‌های شکستگی و کانی‌سازی نشان از تبعیت روند کانی‌سازی‌ها با روند سیستم‌های شکستگی ایجاد شده در منطقه است.

براساس برداشت‌های میدانی شکستگی‌ها، روند کانی‌سازی‌های آهن رخ داده، قطع و جابه‌جایی زون‌های آهن‌دار و واحدهای سنگی و همچنین تغییر در مکانیزم حرکتی گسل‌ها همگی بیانگر یک تغییر در رژیم زمین‌ساختی منطقه می‌باشد. براین اساس اولین رژیم فشارشی حاکم بر منطقه در راستای $N 70^{\circ}$ صورت گرفته است که باعث ایجاد یک مرحله کانی‌سازی آهن در این راستا شده است. دومین رژیم فشارشی در راستای $N 35^{\circ}$ اتفاق افتاده است که باعث تشکیل دومین مرحله کانی‌سازی آهن در منطقه شده است.

گسل فرزنه با روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب و مکانیزم حرکتی راست‌بر، در بخش شمالی و میانی خود دچار یک خمش یا پله به راست شده است و همچنین در این بخش‌ها تعداد زیادی از گسل‌های کوچک و بزرگ به صورت هم‌پوشانی که هم‌راستا و هم مکانیزم با خود گسل فرزنه می‌باشند، شکل گرفته است. مجموع این عوامل منجر به ایجاد یک محیط کششی بسیار مناسبی برای نفوذ سیالات و ته‌نشست و کانی‌سازی در اولین مرحله کانی‌سازی آهن شده است. به گونه‌ای که در بخش شمالی این زون گسلی در محل خمش گسل، تشکیل و تمرکز کانی‌سازی آهن، معدن فرزنه و در محل خمش بخش میانی گسل، معدن جو به وجود آمده است (شکل ۱۴-الف).

با تغییر رژیم زمین‌ساختی منطقه (تغییر روند فشارش از $N 70^{\circ}$ به $N 35^{\circ}$) گسل سم‌آهنی و گسل‌های هم‌راستا با آن با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق و مکانیزم حرکتی عمدتاً چپ‌بر تشکیل و باعث قطع و جابه‌جایی زون‌های کانی‌سازی آهن مرحله قبل و ایجاد کانی‌سازی جدید آهن در این راستا شده‌اند. این گسل با بخش شمالی گسل فرزنه تلاقی پیدا می‌کند. در



معدن فرزنه، سم آهنی و معدن جو تمرکز متمرکز و ارتباط تنگاتنگی با واحد اسکارنی و گسلها دارد.

از مهم ترین ساختارهای منطقه در کانی سازی، گسل فرزنه با راستای شمال شرق- جنوب غرب و مکانیزم حرکتی راست بر با پهنای تقریبی ۳۰۰ تا ۸۰۰ متر می باشد. گسل مهم دیگر در منطقه، گسل سم آهنی با روند شمال غرب- جنوب شرق با مکانیزم حرکتی چپ بر می باشد. این گسل باعث قطع و جابه جایی واحدهای سنگی و زون های کانی سازی شده در راستای گسل فرزنه شده است.

اولین مرحله کانی سازی در منطقه، آهن می باشد که در راستای شمال شرق- جنوب غرب در راستای گسل فرزنه که در دو بخش شمالی و میانی دچار خمش به راست شده است، تشکیل شده است. به گونه ای که در بخش شمالی این گسل سیالات گرمایی از طریق کانال گسل و محل کشش ایجاد شده در این بخش از گسل به سطح راه یافته اند و باعث کانی سازی وسیع آهن و تمرکز بالای آهن باعث ایجاد معدن فرزنه شده است. در بخش میانی این گسل در اثر ایجاد خمشی دیگر محیط مناسبی برای بالا آمدن توده های نفوذی و سیالات مربوطه و خردشدگی بالا و ایجاد اسکارن زایی وسیع و در نهایت کانی زایی آهن و ایجاد معدن، معدن جو شده است.

در مرحله بعدی در راستای شمال غرب- جنوب شرق و گسل سم آهنی در محلی که این گسل با گسل فرزنه تلاقی پیدا کرده، کانی سازی آهن تشکیل شده است. در این بخش سیالات گرمایی که از طریق کانال گسل فرزنه و سم آهنی هدایت می شوند در محل تلاقی که فضای کششی مناسبی ایجاد شده است به سطح زمین راه یافته که ماحصل آن تمرکز و کانی سازی آهن در معدن سم آهنی می باشد.

آخرین مرحله کانی سازی در منطقه کوه باخرز کانی سازی اورانیم می باشد. این کانی سازی به صورت متمرکز در بخش جنوبی معدن جو و شرق گسل فرزنه در یک پهنه گسلی برشی- کششی (منشعب شده از گسل فرزنه) با روند شمال شرق- جنوب غرب در مرز بین واحدهای سنگی آهک و اسکارن که شرایط بسیار مستعدی از لحاظ شکستگی، دگرسانی و یا اسکارن زایی ایجاد نموده، صورت گرفته است. این پهنه به وسعت تقریبی ۲ کیلومتر طول و عرض تقریباً ۰/۵ کیلومتر حاوی نقاطی با پرتو زایی بالایی می باشد. به گونه ای که براساس آنالیز نمونه های برداشت شده از این بخش، میانگین مقدار اورانیم در زون پرتو زای ppm ۳۲۱ و در کل محدوده ppm ۲۱۴ ثبت شده است.

در بخش جنوبی گسل فرزنه، با منشعب شدن یک شاخه گسلی از آن و ایجاد یک محیط کششی و یک زون با شدت خرد شده بالا در واحد اسکارنی و دگرسانی شدید در این بخش، یک محیط مستعدی برای مهاجرت سیالات اورانیم دار و تمرکز کانی زایی اورانیم مهیا کرده است به گونه ای که براساس نتایج آنالیز نمونه ها برداشت شده از این بخش، بیشینه مقدار اورانیم در این زون ppm ۸۱۴ و میانگین آن ppm ۳۲۱ ثبت شده است (شکل ۱۴-الف). در سایر قسمت های منطقه کوه باخرز میزان پرتو زایی کم و به صورت پراکنده می باشد. این فاز کانی سازی بعد از کانی سازی آهن و به عنوان آخرین مرحله کانی سازی در منطقه می باشد.

۷. نتیجه گیری

نتیجه مطالعات در این پژوهش نشان می دهد که ساختارها نقش بسیار مهمی در کنترل کانی سازی در منطقه دارا می باشند. گسل های اصلی منطقه، کانال های مناسبی برای عبور سیالات کانه دار و نهایتاً ته نشین مواد معدنی را فراهم کرده است. با در نظر گرفتن روابط ساختاری بین گسل ها و کانی سازی در منطقه می توان مشاهده نمود که کانی سازی ها در بخش هایی از منطقه که سیستم برشی- کششی حاکم بوده است، و توانسته فضای مناسب جهت نفوذ سیالات حاوی مواد معدنی را فراهم آورد، در حجم زیادی تشکیل شده و در سایر بخش های منطقه کانی سازی صورت نگرفته یا به مقدار خیلی جزئی و پراکنده ایجاد شده است. به عبارتی کانی سازی در راستای گسل ها و در بخش هایی از این گسل ها که فضاهای پله ای ایجاد شده و یا در محل تلاقی دو گسل بزرگ، در حجم خیلی بالایی صورت گرفته است و گسل ها به عنوان یکی از کنترل کننده های اصلی در کانی سازی و تمرکز آن در منطقه محسوب می شوند. برداشت میدانی روند ساختارها و کانی سازی ها نشان از انطباق این دو با یکدیگر می باشد.

نتایج این پژوهش نشان داده که در منطقه کوه باخرز دو رژیم زمین ساختی متفاوت یکی در راستای N۰۷۰ و دیگری در راستای N۳۵۰ ایجاد شده است. این تغییر رژیم باعث ایجاد چند فاز کانی سازی در منطقه شده است. مهم ترین کانی سازی های منطقه آهن و اورانیم می باشند. کانی سازی آهن با کانی های هماتیت و مگنتیت به صورت اسکارنی و گرمایی و به شکل رگه ای و چینه سان در پهنه های ساختاری برشی- کششی رخ داده است. کانی سازی آهن در این ناحیه، در سه محدوده



10. Mazhari N, Malekzadeh Shafaroudi A, Ghaderi M. Geology, mineralogy, and chemistry of skarn zones and orebody in Ma'danjoo iron skarn prospect area, east of Sangam mine, Khaf, NE Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*. 2016;24(1).
11. Ghannadpour S.S, Hezarkhani A, Noorian Sh, Golmohamaadi A. Exploration of REE Using Radioactivity; Case Study: Baghak Mine, Sangam. *J. of Nucl. Sci. and Tech.* 2018;17(83):30-45 [In Persian].
12. Ghannadpour S.S, Hezarkhani A, Noorian Sh, Golmohamaadi A. Baghak mine (central part of Sangam mines) metallogenic relationship of minerals containing rare earth elements with radioactivity. *Researches in Earth Sciences*. 2019;10(37). DOI: 10.52547/ESRJ.10.1.163 [In Persian].
13. Tchalenko J.S, Berberian M, Behzadi H. Geomorphologic and seismic evidence for recent activity of the Dorounh fault (Iran). *Tectonophysics*. 1973;19:333-341.
14. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems. *Economic Geology*. 2010;105:3-41.
15. Sibson R.H. Seismogenic framework for hydrothermal transport and ore deposition. *Reviews in Economic Geology*. 2001;14:25-50.
16. Pirkhizranian M.Z, Ghaemi F, Rahimi B, Ghaemi F. Description and classification of fractures in the area between the Baghek and Sanjadek anomalies in the Sangam Khaf iron ore mine. *Conference of Geological Society of Iran*. 2013;17.
17. Pirkhizranian M.Z, Ghaemi F, Rahimi B, Ghaemi F. Reconstruction of the ancient stress field around the Dardavi fault in the area of Sangam Khaf iron ore mine. *Conference of Geological Society of Iran*. 2013;17.
18. Ghorbanlou M, Ghaemi F, Rahimi B, Ghaemi F. Investigating the state of the stress field and its reconstruction in the southern mass C of the Sangam Khaf iron ore mine in eastern Iran. *Conference of Geological Society of Iran*. 2013;17.
19. Corbett G. Structural controls to, and exploration for, epithermal Au-Ag deposits. *Australian Institute of Geoscientists Bulletin*. 2012;56:43-47.
20. Twiss R.J, Moores E.M. Structural Geology. *Freeman Pub, New York*. 1992;532.

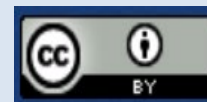
باتوجه به جایگیری دو توده نفوذی سرنوسر و برمانی (اوسن بالایی تا الیگوسن زیرین) در واحد دگرگون شده پشته (اواخر پروتروزوئیک) و نقش آنها در تشکیل اسکارن و کانی سازی منطقه، می توان به طور نسبی سن کانی سازی های صورت گرفته در منطقه و توسعه ساخت های زمین ساختی مهم و اصلی منطقه را به بعد از الیگوسن زیرین نسبت داد.

مراجع

1. Aghanabati A. Geology of Iran. *Geological survey and mineral exploration of Iran*. 586 Pages. 2004 [In Persian].
2. Ahi A. Mineralogy, Geothermometry and Genesis of the Somahani ore deposits (Sangam Iron mine, SE of Khaf area). 2014 [In Persian].
3. Nasrolahi Kh. Petrology and geochemical of Bermami and Sar-Khar massive granitoid in Sangam-Khaf-Khorasan Razavi. 2012 [In Persian].
4. Mazhari N, Malekzadeh Shafaroudi A, Ghaderi M. Geology, mineralogy and geochemistry of Ferezhneh ferromanganese anomaly, east of Sangam mines complex, NE Iran. *Journal of Economic Geology*. 2015;7(1):ISSN 2008-7306 [In Persian].
5. Karimpour M.H. Cu-Au mineralization accompany with magnetite- spicullarite (IOCG) and examples in Iran. *9th Iranian geology society conference, University of Tarbiat Moallem, Tehran, Iran*. 2006.
6. Sepidbar F, Mirnejad H, Mi C. Mineral chemistry and Ti in zircon thermometry: Insights into magmatic evolution of the Sangam igneous rocks, NE Iran. *Journal of Chemie der Erde*. 2018.
7. Meinert L.D, Dipple G.M, Nicolescu S. World skarn deposits. *Economic Geology*. 2005.
8. Ciobanu C.L, Cook N.J. Skarn textures and a case study: the Ocna de Fier-Dognecea orefield, Banat, Romania. *Ore Geology Reviews*. 2004;24:315-370.
9. Rezaei A, Hassani H, Moarefvand P, Golmohammadi A. Investigation of effect of structural pattern on mineralization model in the C-north ore deposit, Sangam, NE Iran. *Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)*. 2019. DOI: 10.30479/jmre. 2019.9885.1210 [In Persian].

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

خسروی، مجید، شبان، منصور، باقری، هاشم، ندیمی، علیرضا. (۱۴۰۴). کنترل ساختاری در زایش آهن و اورانیوم در منطقه کوه باخرز، شرق معدن سنگان، استان خراسان رضوی. *مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته ای*. ۱۱۱(۱)، ۸۵-۹۵. DOI: <https://doi.org/10.24200/nst.2024.1650>

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1650.html

