



فصلنامه زمین ساخت

بهار ۱۴۰۵، سال هشتم، شماره ۲۹

doi 10.22077/jt.2026.10905.1220

مقاله پژوهشی

کانی زایی، سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی توده نفوذی در کانسار اکسید آهن - آپاتیت گزستان بافق یزد

سجاد افضلی^۱

۱- گروه زمین شناسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۱

کانسار مگنتیت-آپاتیت گزستان در ۷۸ کیلومتری خاور بافق قرار دارد. از لحاظ ساختاری، این کانسار متعلق به زون ایران مرکزی و زیرزون بافق-پشت بادم است. واحدهای سنگی منطقه به سری ریزو تعلق دارند و متشکل از سنگهای کربناته، شیل، توف، ماسه-سنگ و سنگهای آتشفشانی می باشند. علاوه بر سنگهای رسوبی و آتشفشانی، سنگهای نفوذی به شکل استوک و دایک و با ترکیب گرانودیوریت و گرانیت در بخشهای مختلف رخنمون دارند. سنگهای سبز با ترکیب اسیدی تا حدواسط (تراکیت و داسیت که در اثر دگرسانی کلریتی به رنگ سبز دیده می شوند)، میزبان کانی سازی آهن و فسفات هستند که در برخی قسمت ها، رخساره های نیمه ژرف نشان می دهند. دگرسانی در سنگهای آتشفشانی آشکارتر است و انواع شدیدتر آن شامل دگرسانی های کلریتی، آرژیلی و سیلیسی می باشد که در ارتباط با کانی زایی هستند. اغلب دگرسانی های موجود در منطقه منطبق بر شکستگی ها و گسل ها می باشند. سنگهای میزبان کانی سازی، به شدت دگرسانی نشان می دهند. سنگهای منطقه کانسار در محدوده ساب آکالین قرار می گیرند. محیط های تکتونیکی ریف ت درون قاره ای و زون فرو رانش حاشیه قاره ای از مهمترین و مناسب ترین محیط ها برای این کانسار هستند.

کانی سازی در کانسار گزستان شامل ترکیبی از اکسیدهای آهن و آپاتیت به نسبت های مختلف است که با کمی کوارتز و کلسیت همراهی می شود و به شکل های متفاوت درون سنگ های تراکیتی-داسیتی و کمی در ریولیت ها مشاهده می گردد. حداقل پنج شکل کانی سازی در این منطقه قابل تفکیک است که شامل کانسنگ آهن توده ای با کمی آپاتیت، کانسنگ آپاتیت-مگنتیت، رگه-رگچه های نامنظم (استوک ورک) در سنگ سبز برشیده، نوع پراکنده و رگه های توده ای خالص آپاتیسی می باشند. سنگ میزبان در محدوده کالک آکالین قرار دارد.

کلمات کلیدی: کانه زایی، جایگاه تکتونیکی توده نفوذی، کانسار اکسید آهن آپاتیت دار، گزستان، بافق، یزد



Research Paper

Mineralization ,magmatic series and tectonic setting of the intrusive mass in the Gazeſtan iron-apatite deposit in Bafq, Yazd province

Sajad Afzali*

Department of Earth Sciences,Ker.C., Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

Abstract

Gazeſtan magnetite–apatite deposit is situated 78 km east of Bafq. The Gazeſtan deposit is located in Bafq-Poshtebadam subzone of Central Iran structural zone. The rock units in the area belong to Rizu series and consist of carbonate rocks, shale, tuff, sandstone and volcanics. In addition to sedimentary and volcanic rocks, intrusive rocks in the form of stock and dyke outcrop as diorite gabbro, gabbro, diabase, quartz-monzonite and granite in various places. Green rocks with acidic to intermediate composition (trachyte and dacite demonstrate green color due to alteration) host iron and phosphate mineralization which in some localities, show subvolcanic facies. The alteration is more obvious in the volcanic rocks and includes chloritization, argillic, silicification, which are related to mineralization, most of the alterations in the area are consistent with fractures and faults. The host rocks are strongly altered. Rocks in the area plot on sub-alkaline field. The tectonic environment of the intracontinental rift and subduction zones

Mineralization at the Gazeſtan deposit comprises a combination of iron oxides and apatite with various ratios accompanied by quartz and calcite, seen in different forms mainly within the trachytic-dacitic rocks and a small proportion in the rhyolites. At least, five forms of mineralization are distinguished in the area including massive iron ore with minor apatite, apatite-magnetite ore, irregular vein-veinlets (stockwork) in the brecciated green rock, disseminated, and pure massive apatite veins. The host rocks in the Gazeſtan area plot on calc-alkaline field

Key words: mineralization, tectonic setting of the intrusive mass, ,Gazeſtan iron-apatite deposit in Bafq, Yazd province

*Email: sajadafzali@iau.ac.ir

Tel: +989185533133

۱- مقدمه

گرمایی، سنگ‌های انباشته در این گودال را دچار تغییر شکل و دگرگونی کرده‌اند. کانسارهای آهن، سنگ‌های ماگمایی آپاتیت‌دار، کانسارهای سرب و روی و کانی‌سازی اورانیوم-توریوم با این رویدادها در ارتباط هستند (دهقانزاده بافقی و همکاران، ۱۳۹۷). فعالیت ماگمایی منطقه بافق از نوع آهکی-قلیایی است و می‌توان آن را با فرورانش پوسته اقیانوسی قدیمی به زیر خردقاره ایران مرکزی در زمان کامبرین پیشین ارتباط داد (Orris et al., 2015).

منطقه بافق یکی از مهم‌ترین زون‌های کانی‌سازی آهن در ایران است که کانسار گزستان بافق از جمله کانسارهای آهن در حاشیه شمالی آن است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است (Taghavi, 2007; Daliran, 2002, 2007; Moore, 2003; Iranmanesh, 2013; Bonyadi et al., 2011; Baiat, 2014; Amirkhani et al., 2016; Bakhtiari, 2016; Heidarian et al., 2017).

ایران به‌عنوان پل ارتباطی بین گندوانا و لورازیا، در طی تکامل و تحول ژئوتکتونیک سپری‌شده بر این دو ابرقاره، دستخوش تغییرات فراوان شده و همچون لوحه‌ای، اثر این فرآیندها را در خود ثبت کرده است. تأثیرات حاصل از این تغییرات، ملاک تفکیک ایران به پنج زون اصلی و دوازده زون فرعی ساختمانی-رسوبی است (Alavi, 1994). از میان این پنج زون، زون ایران مرکزی و ساب‌زون بافق-پشت‌بادام یکی از این زون‌هاست که میزبان انواعی از کانسارهای ارزشمند از جمله سرب و روی، مس، طلا و آهن است.

هر یک از این پنج زون، با ویژگی‌های خاص خود، حوادث و وقایعی را به‌همراه دارند که جهت نگرش و دید بهتر و دقیق‌تر به منطقه مورد مطالعه، بسیار مفید واقع می‌شود. محدوده مورد مطالعه از لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی در زون ایران مرکزی و ساب‌زون بافق-پشت‌بادام قرار گرفته است (شکل ۲).

مطالعات سیستماتیک در کانسار گزستان در استان یزد پس از شناسایی آن در مرحله پی‌جویی، با تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (دُری و جمالی، ۱۳۸۳) آغاز گردید. مرحله اکتشافات عمومی با تهیه

در پرکامبرین پایانی-کامبرین آغازین ایران، کانسارهای پرشماری از اکسید آهن آپاتیت‌دار نوع کایرونا کشف و شناسایی گردیده است. این کانسارها در پهنه ایران مرکزی (زون متالوژنی ناحیه بافق) با سنگ میزبان آتشفشانی-رسوبی کامبرین زیرین (بخش‌هایی از سری‌های ریزو و دزو) قرار دارند. از این کانسارها می‌توان میشدوان (Daliran, 2002)، اسفوردی (Jami, 2007; Jami et al., 2007)، آنومالی شمالی (سپهری‌راد، ۱۳۷۹؛ بهزادی، ۱۳۸۵)، چغارت (کارگران بافقی، ۱۳۸۰؛ Daliran et al., 2007, 2010)، گزستان و لکه‌سیاه (Daliran et al., 2007, 2010) را نام برد. (Forster & Jafarzadeh, 1994) کانسارهای آهن-آپاتیت منطقه بافق را از نوع ماگمایی (کایرونا) و آنها را با سنگ‌های اسیدی در ارتباط دانسته‌اند.

بر پایه نظردلیران و همکاران (Daliran et al. 2007)، در منطقه معدنی بافق، کانی‌سازی آهن، آپاتیت و عناصر نادر خاکی، مشابه سایر کانسارهای Fe-P-REE-Th-U دنیا با منشأ گرمابی است. دگرسانی متاسوماتیک و کانی‌سازی انجام شده در امتداد زون‌های ساختاری، نشان‌دهنده کنترل تکتونوماگمایی در زمان کوتاه کانی‌سازی در منطقه می‌باشد. ناحیه معدنی بافق وسیع‌ترین ایالت آهن‌دار ایران در ایران مرکزی واقع است و از بافق تا رباط پشت‌بادام گسترش دارد. این ناحیه از شمال به رباط پشت‌بادام، از جنوب به زرنند، از شرق به بهاباد و از غرب به بافق می‌رسد و یک کمربند فلزایی با روند شمالی-جنوبی است که در کرانه شرقی خردقاره ایران مرکزی بین دو گسل کوهبنان و کوه دویران واقع است. این منطقه در دوره تکوینی پرکامبرین پسین با خاستگاه کافتی و فعالیت ماگمایی ویژه گوشته بارور در بستر درون‌قاره‌ای را طی کرده است. سراسر این منطقه در پرکامبرین و اوائل پالئوزوئیک حالت سکونی داشته که گاه از نقش و هجوم ماگما متأثر می‌شده است. پس از اردو پسین در این ناحیه گودالی پدید آمده که تقریباً به‌طور پیوسته در حال فرونشست بوده و رسوبات آواری را به همراه سنگ‌های آتشفشانی در خود جای داده است. در اواخر مزوزوئیک، رویدادهایی از نوع دینامیکی-

ساخت و بافت و دگرسانی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و رابطه کانه‌زایی با آنها، مطالعه ژئوشیمی و موقعیت تکتونیکی توده‌های نفوذی در کانسار، تعیین سری ماگمایی و نقش توده نفوذی و سایر سنگ‌های درونگیر در تشکیل و تمرکز مواد معدنی در این کانسار است.

۲- زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه

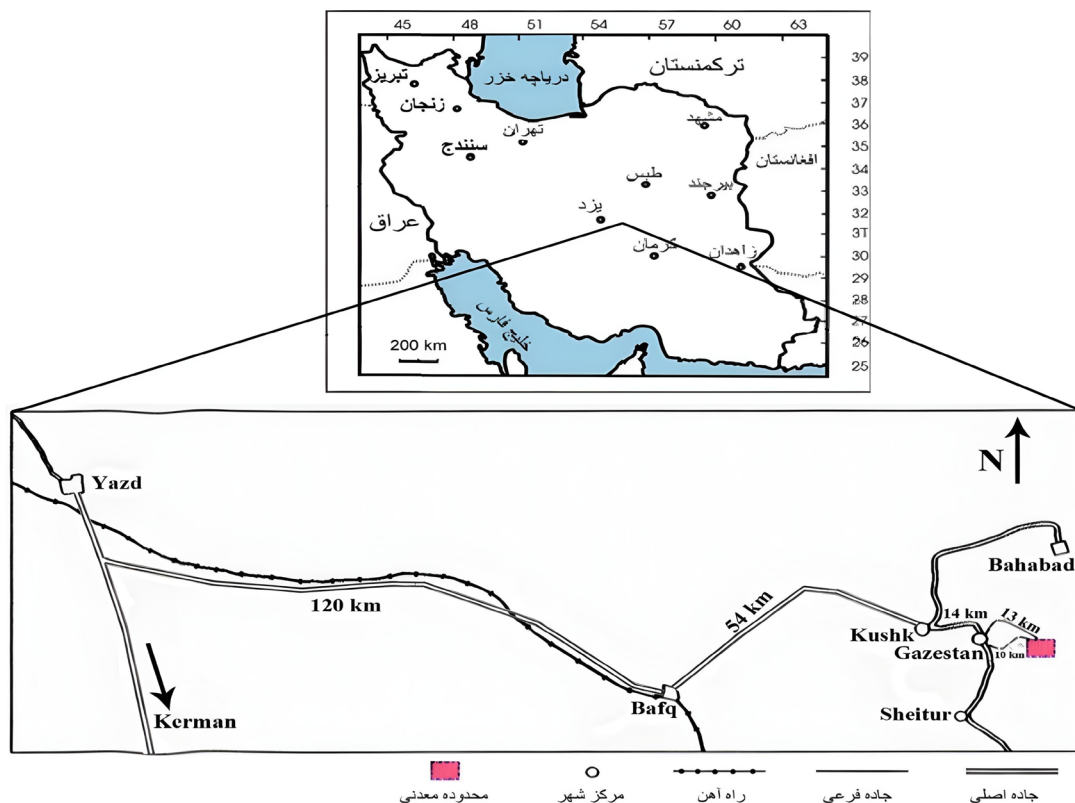
۱-۲ موقعیت جغرافیایی

کانسار گزستان در استان یزد و در ۷۸ کیلومتری بافق و ۱۰ کیلومتری جنوب‌شرق روستای گزستان واقع شده است. راه دسترسی به این کانسار از طریق جاده آسفالت‌بافتی-کوشک-شیطوری می‌باشد. بعد از طی ۳ کیلومتر به سمت جنوب روستای گزستان، توسط یک جاده خاکی به طول ۸ کیلومتر به محدوده اکتشافی گزستان می‌رسیم. کانسار گزستان دارای طول جغرافیایی «۲۰° ۵۵' ۵۵» تا «۵۹° ۵۵' ۵۵» شرقی و عرض جغرافیایی «۲۵° ۳۹' ۳۱» تا «۲۵° ۴۱' ۳۱» شمالی می‌باشد. شکل ۱ موقعیت و راه‌های دسترسی به این کانسار را نشان می‌دهد.

نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ (دُری و جمالی، ۱۳۸۳) با تمرکز بر زون‌های کانی‌سازی آغاز گردید. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۸۳ برای تعیین حدود و گسترش سطحی و عمقی بخش‌های کانی‌سازی، اقدام به حفر تعداد ۲۷ ترانشه اکتشافی جمعاً به طول ۲۴۰۰ متر نمود و از عملیات ژئوفیزیک به روش‌های مگنومتتری و ژئوالکتریک استفاده کرد. نتایج بررسی‌ها و مطالعات ژئوفیزیکی توسط (عامری، ۱۳۸۳) منتشر شده است.

در مرحله اکتشافات تفصیلی (توسط سازمان زمین‌شناسی کشور)، ابتدا نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ برای استفاده در تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰، برداشت مشخصات ابتدا و انتها و روند ترانشه‌های حفر شده، برداشت مرز واحدهای سنگ‌شناسی با یکدیگر و با زون‌های کانی‌سازی، محل گسل‌ها و شکل رخنمون مناطق کانی‌سازی در منطقه کانسار توسط گروه نقشه‌برداری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد.

مطالعات انجام شده در این مقاله شامل مطالعه کانه‌زایی،



شکل ۱. موقعیت و راه‌های دسترسی به کانسار آهن-آپاتیت گزستان



دورانی می‌باشد. این توده‌ها در میان سنگ‌های رسوبی و ولکانوژن سری ریزو قرار داشته و بسیار اسیدی و سدیک هستند. سری ماگمایی از نوع آلکالن تا ساب‌آلکالن بوده است.

زمان نفوذ گرانیتهای زیرگان و نارینگان ۵۳۰ میلیون سال قبل و همزمان با فاز پان‌آفریکن می‌باشد.

تشکیل این توده نفوذی نیمه‌عمیق (subvolcanic) و توده‌های مشابه، ناشی از ذوب مجدد و تحرک دوباره (remobilization) مواد آتشفشانی بوده و احتمالاً دارای خاستگاه آناکسی می‌باشد. مطالعات سنگ‌شناسی انجام گرفته، وجود پدیده‌های آلیتی شدن و اسکاپولیتی شدن را در بخش‌های عمده‌ای از این بلوک تأیید می‌کند. در اثر این پدیده‌ها، پلاژیوکلازها به اسکاپولیت و آلیت تبدیل شده و پیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها به آمفیبول‌های سدیک مانند ادنیت، سوداترمولیت و ترمولیت تغییر شکل یافته است. به نظر (Haghipour, 1964) یک دگرگونی ناحیه‌ای استاتیک با کیفیت متاسوماتیک بدون دگرشکلی مهم، آلیتی و اسکاپولیتی شدن را سبب گشته و در تشکیل کانسارهای آهن و سایر کانی‌های باارزش منطقه مؤثر بوده است.

در مناطق مختلف این بلوک، دو فاز پیوسته دگرگونی دینامیک/حرارتی، به ترتیب با ویژگی فشار زیاد و حرارت زیاد در سنگ‌های پرکامبرین تشخیص داده شده است. در این مجموعه، گرانیتهای گنیس‌ها و میگماتیت‌ها بخش پایینی و سنگ‌های با رخساره آمفیبولیت و شیسته‌های سبز بخش بالایی را تشکیل می‌دهند.

۴-۲ زمین‌ساخت و زمین‌شناسی ساختمانی ناحیه‌ای

الگوی ساختاری بلوک پشت‌بادام-باق، تحت تأثیر رخداد زمین‌ساختی بایکالی (کاتانگایی) شکل گرفته است (شکل ۲). در اثر این فاز کوهزایی، پی‌سنگ پرکامبرین توسط گسل‌های بسیار بزرگ شکسته شده و حوضه‌های گرابنی و ریفتی و بالاآمدگی‌های بین آنها ایجاد شده است. گسترش وسیع سنگ‌های نفوذی و خروجی در این بلوک به فاز کششی این رخداد زمین‌ساختی نسبت داده می‌شود. از آثار این

۲-۲ زمین‌شناسی کانسار گزستان

براساس گزارش اکتشافات نیمه‌تفصیلی منطقه گزستان (دُری و جمالی، ۱۳۸۳؛ دُری و همکاران، ۱۳۸۷) و بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده کانسار گزستان (دُری و جمالی، ۱۳۸۳) (شکل ۷ الف و ب)، به‌طور کلی واحدهای مرتبط با کانی‌سازی را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم کرد: الف) واحدهای رسوبی-آذرآواری و آتشفشانی سری ریزو (کامبرین زیرین): شیل، ماسه‌سنگ، کربنات و لایه‌های ایگنیمبریت از سازنده‌های سری ریزو هستند که به‌طور معمول، سنگ‌های کربناتی در زیر، شیل و ماسه‌سنگ در میان و سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی بنفش‌رنگ، تراکیت، تراکی‌آندزیت و توف در بالا قرار دارند. بیشتر کانسارهای آهن، آپاتیت، سرب و روی و اورانیوم در مجموعه ریزو قرار دارند. ب) توده‌های نفوذی: عمده‌ترین توده‌های نفوذی عبارت‌اند از میکروگرانیته و گرانودیوریت. در زیرپهنه بافق-پشت‌بادام از پهنه ایران مرکزی، سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی به‌شکل گسترده رخنمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری این منطقه، طیف ترکیبی گسترده‌ای را از آندزیت، تراکی‌آندزیت، ریولیت، داسیت، توف تراکیتی و توف‌آندزیتی شامل می‌شوند. توده‌های نفوذی، از نظر ترکیب سنگ‌شناسی متغیر بوده، دامنه‌ای از گرانودیوریت و میکروگرانیته را در بر می‌گیرند.

۲-۳ ماگماتیسیم و متامورفیسیم ناحیه‌ای

عمده‌ترین مجموعه سنگ‌های آذرین و دگرگونه در بلوک پشت‌بادام-باق به سیستم‌های پرکامبرین و اینفراکامبرین مربوط می‌شود (حریری و همکاران، ۱۳۷۷). سنگ‌های آذرین منطقه از نظر ترکیب سنگ‌شناسی دامنه وسیعی از سنگ‌های بازیک تا اسیدی و کاملاً اسیدی را در بر گرفته است. در این منطقه چند توده نفوذی به شرح زیر تشخیص داده شده است:

توده گرانیته، گرانیته پورفیری لوکوکرات شامل توده‌های نفوذی بزرگ زیرگان، نارینگان، چادرملو، ساغند و سایر توده‌های کوچکتر (احتمالاً میکروگرانودیوریت گزستان)، که از تیپ گرانیته

دیده می‌شود که منجر به تشکیل گسل امتدادلغز شده است. نتایج مطالعات زمین‌شناسی، اهمیت نقش این گسل‌ها به‌ویژه گسل‌های شمالی-جنوبی را در ایجاد ساختمان‌های متفاوت چین‌های و نیز تشکیل کانسارهای مهم منطقه آشکار ساخته است. در واقع، شبکه شکستگی‌ها قالبی برای مناطق ساختمانی (هورست‌ها-گرابن‌ها) طرح‌ریزی کرده‌اند که هر یک دارای تاریخچه ساختمانی و ویژگی‌های پالئوژئوگرافی خاص خود می‌باشند.

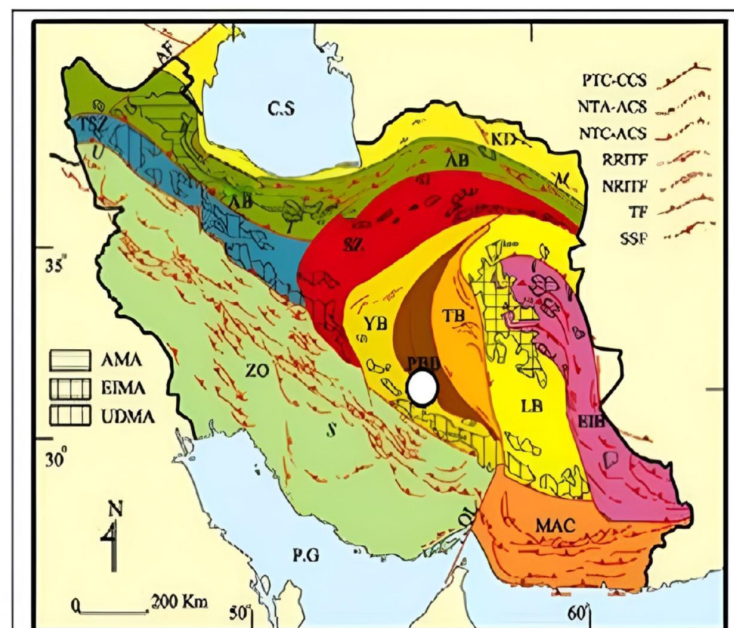
۲- گسلش در منطقه مورد مطالعه

از لحاظ ساختاری، کانسار گزستان متعلق به زون ایران مرکزی و زیرزون بافق-پشت‌بادام است.

گسلش و جابجایی‌های زمین‌ساختی در منطقه شدید است، به‌طوری‌که ارتباط واحدهای مختلف لیتولوژیکی اغلب به‌صورت گسلش و از نوع زمین‌ساختی می‌باشد.

فاز کوهزایی مهم، ایجاد روندهای زمین‌ساختی به‌طور عمده شمالی-جنوبی مانند گسل‌های کوه‌بنان و کوه دویران و نیز تشکیل معادن مهم آهن، اورانیوم و برخی کانسارهای دیگر منطقه می‌باشد (افتخارنژاد، ۱۳۵۹). اولین حرکات کوهزایی پس از این زمان، مربوط به دوره تریاس بوده که سبب بالاآمدگی (uplift) قسمت‌هایی از پرکامبرین شده است. مهم‌ترین حرکات کوهزایی مربوط به اوایل کرتاسه است و از دلایل آن وجود دگرشیبی زاویه‌دار شدید بین رسوبات این دوره و رسوبات قدیمی‌تر از خود می‌باشد. در دوره پلیو-پلیستوسن، بلوک بافق-پشت‌بادام تحت تأثیر پیشروی فرونشسته است. وجود پادگانه‌های آبرفتی کواترنری نیز ادامه حرکات قبلی را تأیید می‌کند.

ارتباط واحدهای چین‌شناسی (لیتواستراتیگرافی) در این بلوک ساختمانی، اغلب گسله بوده است. در این گسل‌ها علاوه بر حرکات قائم، جابجایی‌های افقی نیز



Major structural zones of Iran (Alavi, 1991) and location of the Gasestan deposit within the Alborz-Azerbaijan zone. Abb.: AB- Alborz Belt. AF- Aras Fault. AMA- Alborz Magmatic Assemblage. CS- Caspian Sea. EIB- East Iran Belt. EIMA- East Iran Magmatic Assemblage. KD- Kope Dag. LB- Lut Block. M- Mashhad. MAP- Makran Accretionary Prism. NTA-ACS- Neo-Tethyan Arc-Arc Collision Suture. NTC-ACS- Neo-Tethyan Continent-Arc Collision Suture. NRITF- Non Rotational-related Intercontinental Transfer Fault. OL- Oman Line. PBB- Posht Badam Block. PG- Persian Gulf. PTC-CCS- Paleo-Tethian Continent-Continent Collisional Suture. RRITF- Rotational Related Intercontinental Transfer Fault. S- Shiraz. SB- Sabzevar Block. SSF- Strike Slip Fault. T- Tehran. TB- Tabas Block. TF- Thrust Fault. TQB- Tabriz-Qom Belt. U- Uromieh. UDMA- Uromieh-Dokhtar Magmatic Assemblage. YB- Yazd Block. ZO- Zagros Orogen.

شکل ۲. زون‌های ساختاری ایران زمین (Alavi, 1994)، موقعیت منطقه مورد نظر با علامت دایره سفید رنگ () مشخص شده است.

را در روند آنها ایجاد کرده است، حتی گاهی سبب تغییر جهت شیب آنها نیز شده است. در بعضی نقاط، جابجایی‌های اندکی در رگه‌های کانده‌دار ایجاد کرده است (این گسل‌ها بعد از کانی‌زایی به‌وجود آمده‌اند). حرکت آنها بیشتر از نوع راستگرد است.

۳-۵-۲ گسل‌های با روند شمال‌شرق-جنوب غرب

جوان‌تر از سری‌های قبل می‌باشند و بیشتر در قسمت شمال‌شرقی نقشه مشاهده می‌گردند. این سری حتی احتمالاً از راندگی ماسه‌سنگ‌ها بر روی سری آتشفشانی-رسوبی در بخش شمال‌شرق منطقه نیز جوان‌تر هستند، چون گسل راندگی توسط این گسل‌ها جابجا شده و حالت بین‌انگشتی (interfinger-ing) بین ماسه‌سنگ‌ها و واحدهای قدیمی‌تر به‌وجود آورده است. این گسل‌ها نیز حرکت راست گرد نشان می‌دهد (در شمال نقشه نحوه حرکت آنها از روی جابجایی واحد آندزیتی (ca) قابل درک است.

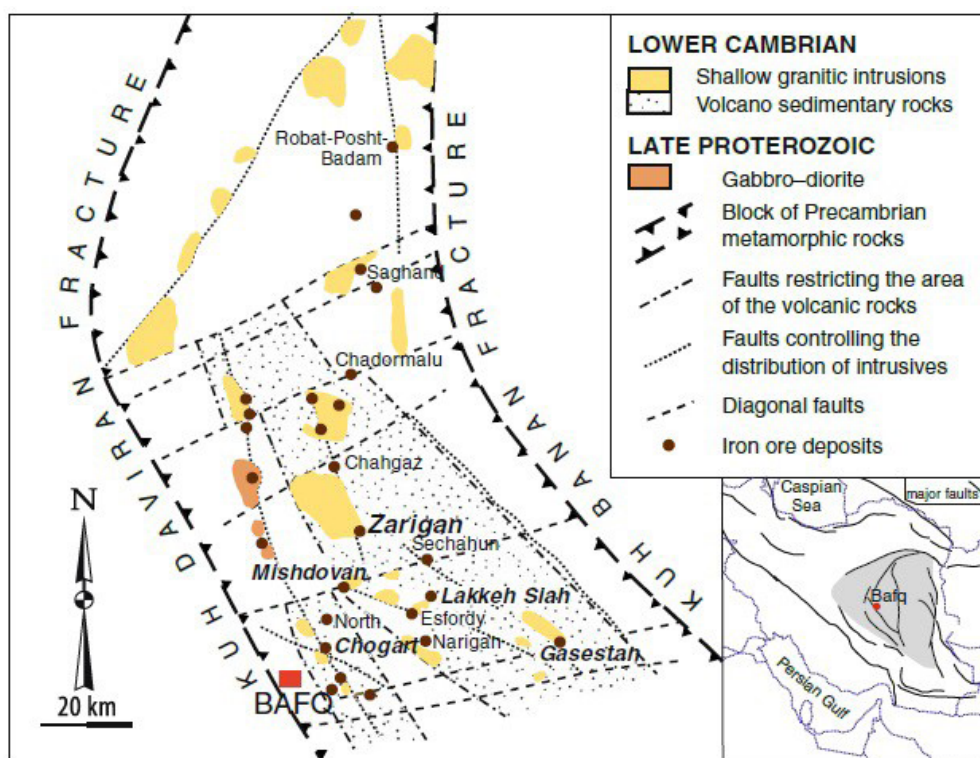
برقراری ارتباط چینه‌شناسی بین واحدها مشکل و گاه غیرممکن می‌نماید. گسلش و شکستگی در منطقه را می‌توان در ۵ گروه جای داد (دُری و جمالی، ۱۳۸۳؛ اشکال ۳ و ۷).

۱-۵-۲ گسل‌های با روند تقریبی شرقی-غربی

قدیمی‌ترین شکستگی‌های منطقه بوده، چون در روند و شیب آنها توسط گسل‌های دیگر جابجایی‌ها و تغییراتی ایجاد شده است. شیب تعدادی از این گسل‌ها به سمت شمال و شیب برخی از آنها به سمت جنوب است. (یکی از بزرگترین گسل‌های شرقی-غربی، گسل جنوب منطقه است که ولکانیک‌های جنوب منطقه را در کنار سنگ‌های کربناته قرار داده است (شیب این گسل زیاد بوده و یا نزدیک به قائم است). (اشکال ۳ و ۷)

۲-۵-۲ گسل‌های با روند شمالی-جنوبی

نسبت به روند قبلی، جوان‌تر بوده و جابجایی‌هایی



شکل ۱۳. گسلی ساختاری زون بافق - پشت بادم و موقعیت ذخایر مهم آهن و گسل هادراین زون (NISCO, 1980)

۴-۵-۲ گسل‌های راندگی.

با استفاده از طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) با دستگاه فیلیپس مدل PW1480 و ۸ نمونه آنالیز XRD و ۳۰ نمونه به روش پلاسما جفت‌شده القایی (ICP) که از جمله روش‌های طیف‌سنجی اتمی است، در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ایران بررسی شدند. عناصر در این روش به کمک محیط گرم پلاسما اتمی شده، سپس توسط یک طیف‌سنج نشر اتمی (AES) و یا یک طیف‌سنج جرمی (MS) آشکارسازی و کمی‌سازی می‌شوند. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر حساستر، با حد تشخیص بهتر و تکرارپذیری بالاتر است.

۴- سنگ‌شناسی، کانی‌زایی و دگرسانی در منطقه

سنگ‌های میزبان کانه‌زایی، توده نیمه‌عمیق با ترکیب گرانودیوریت و میکروگرانیت (مولد کانه‌زایی) و سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو (کامبرین زیرین) با ترکیب ریولیت، تراکی‌آندزیت و تراکیت می‌باشند. با توجه به اینکه عامل کانه‌زایی در منطقه، نفوذ این توده نیمه‌عمیق در سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو است، لذا مطالعات ژئوشیمیایی بر روی آن و سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو متمرکز شده است.

ماده معدنی در کانسار گزستان شامل ترکیبی از آهن-آپاتیت به نسبت‌های مختلف است که معمولاً با کوارتز و کلسیت همراهی می‌شود. این کانی‌ها بعد از آهن و آپاتیت تشکیل شده و حالت تأخیری دارند و به شکل‌های مختلف در داخل سنگ‌های ریولیت و تراکیت، سنگ‌های ولکانیکی واحد CVR و توده‌های نفوذی میکروگرانیتی و گرانودیوریتی گزستان رخ داده است. ریولیت و تراکیت‌ها و سنگ‌های ولکانیکی به رنگ سبز دیده می‌شوند که ناشی از دگرسانی کلریتی می‌باشد و باعث شده کانی‌های مافیک موجود در این سنگ‌ها (آمفیبول‌ها) به کلریت تبدیل شوند. زون کانه‌دار در محدوده اکتشافی گزستان گسترده بوده و طول آن به ۲/۲ کیلومتر و عرض آن به بیش از ۰/۷ کیلومتر می‌رسد (اشکال ۴، ۵ و ۶). این گستره به دو زون قابل تقسیم است: زون شرقی-شمال شرقی و زون مرکزی (دُری و جمالی، ۱۳۸۳).

از آنجایی که سنگ‌های سبز و ولکانیک‌ها و حتی کانه‌زایی همراه در اثر فرسایش در سطح قرار گرفته و راندگی به روی آنها صورت گرفته است (بعد از فرسایش) و نیز هیچ اثری از کانه‌زایی و دگرگونی همبری در این آهک‌ها و دولومیت‌ها مشاهده نمی‌شود (لذا می‌توان اظهار داشت که راندگی بعد از کانه‌زایی و فعالیت‌های ماگماتیک صورت گرفته است)، شیب عمومی این راندگی به سمت NNW بوده و جهت راندگی از شمال به جنوب است. یک گسل راندگی نیز در شمال شرق نقشه، بین ماسه‌سنگ‌های واحد CS و توالی رسوبی-آتشفشانی سری ریزو مشاهده می‌گردد. شیب عمومی این گسل تراستی به سمت SE می‌باشد. راندگی بعد از تشکیل تمامی واحدهای سنگی رخ داده است. شاید یکی از نقش‌های اصلی و اساسی این راندگی‌ها این باشد که سنگ‌های سخت‌فرسا از قبیل کربنات‌ها و ماسه‌سنگ‌ها را بر روی واحدهای نرم‌فرسا یعنی واحد معدنی قرار داده و بدین ترتیب از فرسایش بیشتر ماده معدنی جلوگیری به عمل آورده است.

۵-۵-۲ گسل‌های با روند شمال غرب-جنوب شرق

که در شمال و غرب بیشتر دیده می‌شود و جابجایی‌هایی را در امتداد گسل‌های راندگی غرب منطقه ایجاد کرده است و نیز واحدهای بالا و پایین راندگی‌ها را بریده و جابجا کرده است؛ بنابراین جوان‌تر از راندگی هستند، ولی رابطه آن با سایر سری‌های گسلش واضح و مشخص نیست.

۳- روش کار

به منظور بررسی کانی‌زایی، ساخت و بافت، دگرسانی، سری ماگمایی و موقعیت تکنیکی توده‌های نفوذی، پس از جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات، بازدید صحرایی از منطقه صورت گرفت و از واحدهای مختلف سنگی (اشکال ۴، ۵ و ۶) و با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۷)، ۳۰ نمونه سطحی برداشت شد و ۱۵ مقطع

نازک و ۱۵ مقطع صیقلی تهیه گردید. ۸ نمونه از توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی سری ریزو



شکل ۵. نمایی از بخش کانه‌زایی (عدسی‌های مگنتیتی همراه با آپاتیت) در زون شرق-شمال شرق در کانسار گزستان. دید شمال



شکل ۴. نمایی از بخش‌های مختلف کانه‌زایی (عدسی‌های مگنتیتی) در کانسار گزستان. دید شمال



شکل ۶. نمایی از بخش کانه‌زایی (عدسی‌های مگنتیتی همراه با آپاتیت) در زون مرکزی کانسار گزستان - دید شمال غرب

درآمده‌اند) در داخل واحد Cvr قرار گرفته است.

مگنتیت و آپاتیت در این قسمت درشت‌بلور بوده و آپاتیت در داخل مگنتیت به صورت بلورهای شش‌وجهی و خودشکل وجود دارد. در نمونه‌های دستی گاهی همراه با کلسیت هستند (شکل ۷). در بعضی قسمت‌ها حالت نواری (شکل ۷) و گاهی نیز درهم‌آمیختگی آپاتیت و مگنتیت در این توده‌های معدنی دیده می‌شود که همگی بیانگر همزمانی آنهاست. مهم‌ترین ساخت و بافت‌های موجود در کانه‌زایی اکسید آهن آپاتیت‌دار گزستان، بافت نواری، توده‌ای، برشی و رگه-رگچه‌های مگنتیت می‌باشد. بافت نواری مگنتیت

۱-۴- کانه زایی در زون شرق-شمال شرق

روند عمومی این زون SE-NW و شیب آن به سمت NE می‌باشد. در کل، عیار P_2O_5 در این زون پایین است. بخش اعظم کانی‌سازی به وسیله واحدهای مختلف که توسط گسل‌های رانده‌ای به روی آنها کشیده شده‌اند، پوشانده شده است. مطالعات ژئوفیزیکی و حفاری‌های انجام‌شده توسط شرکت ملی فولاد و سازمان زمین‌شناسی کشور، این مسئله را تأیید می‌کند. این کانی‌سازی شامل عدسی‌ها و دایک‌های آهن آپاتیت‌دار است که همراه با سنگ‌های سبز (ریولیت و تراکیت که بر اثر دگرسانی کلریتی به رنگ سبز

سیلیسی و کلریتی در سنگ‌های میزبان ولکانیکی مشاهده می‌شود؛ ولی دگرسانی‌های دیگر در درون توده نفوذی نیمه عمیق و در اطراف رگه‌های معدنی رخ داده‌اند. براساس مطالعات انجام گرفته و بررسی‌های صحرایی، اغلب دگرسانی‌های موجود در منطقه منطبق بر شکستگی‌ها و گسل‌هایی باشند و دگرسانی مشاهده شده در این منطقه بیشتر از نوع سیلیسی، کلریتی و آرژلیک است که در ارتباط با کانی‌زایی می‌باشند، اما دگرسانی‌های سریستی، پتاسیک، تورمالینی، نیز در واحدهای سنگی تشکیل شده‌اند.

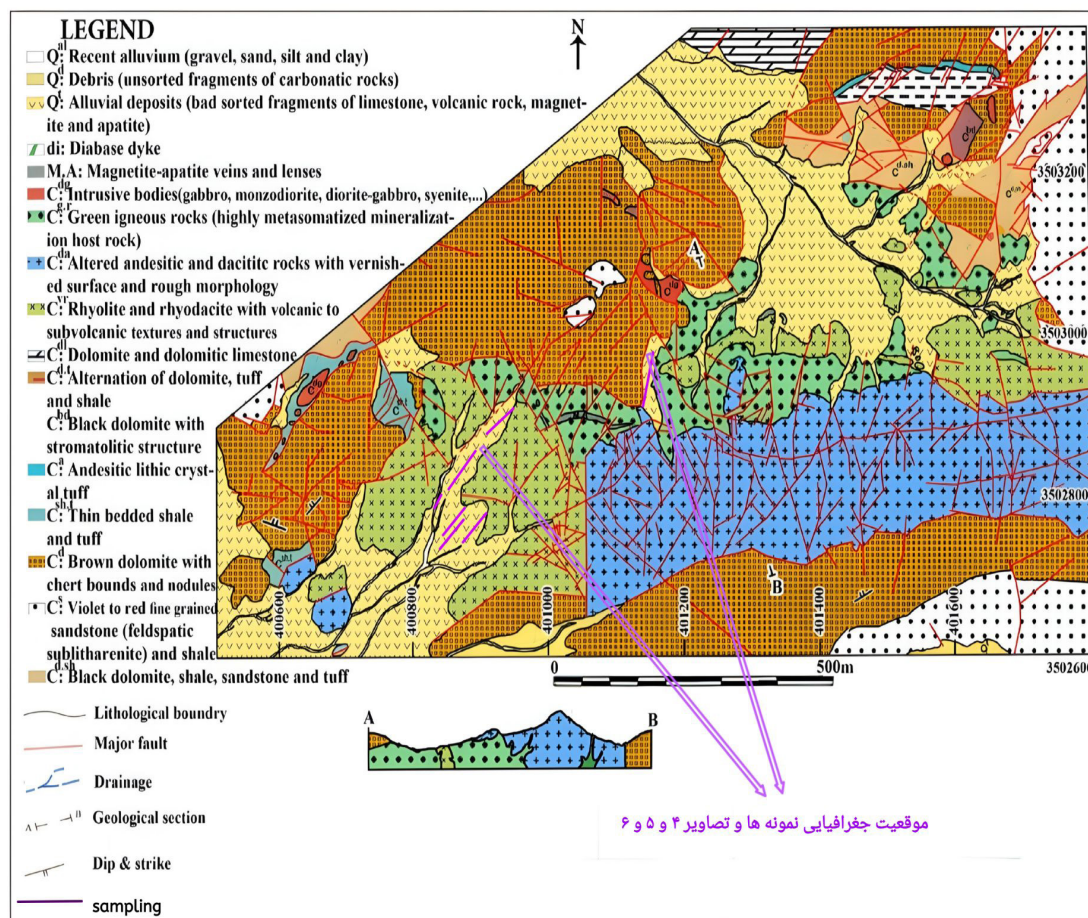
۵- تعیین سری ماگمایی

برای این منظور، خصوصیات ژئوشیمیایی سنگ‌های ولکانیکی و توده نیمه عمیق با ترکیب گرانودیوریت و میکروگرانیت مورد بحث قرار می‌گیرد. سنگ‌های

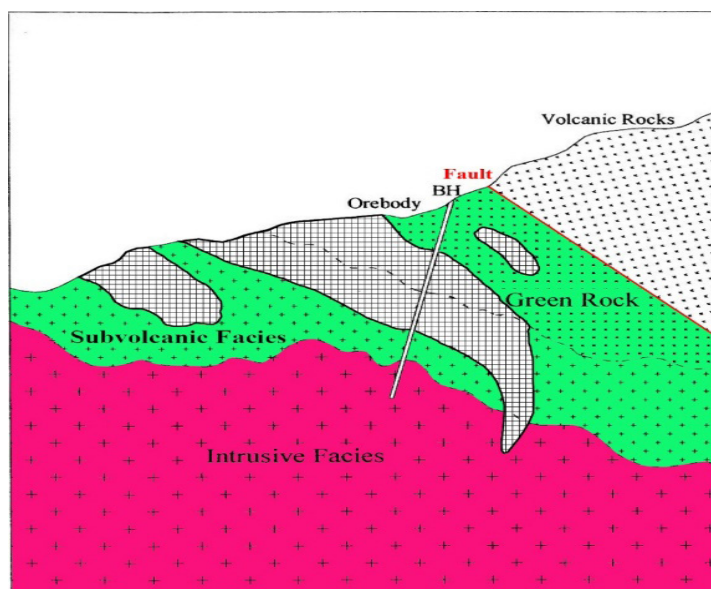
و آپاتیت بیشتر در بخش‌های توده‌ای و داربستی کانسار مشاهده می‌شود. مکانیسم تشکیل بافت برشی می‌تواند در اثر فشار سیالات فوق بحرانی در ترازهای کم عمق و با غلبه فشار سیالات بر فشار لیتواستاتیک باشد (دلیران و همکاران، ۲۰۰۸؛ نسلاند و همکاران، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲؛ ادفلت، ۲۰۰۷).

۴-۲- دگرسانی

دگرسانی شامل آرژیلی، تورمالینی، سیلیسی، سریستی، اکتینولیتی، کلریتی - اپیدوتی و فلدسپار پتاسیم می‌باشد. از میان این دگرسانی‌ها، دگرسانی آرژیلی، سیلیسی و کلریتی، دارای گسترش زیاد می‌باشند. در بعضی جاها شدت دگرسانی کلریتی به حدی بوده که سنگ درونگیر (تراکیت، ریولیت و داسیت) به رنگ سبز تبدیل شده است. بخش اعظم دگرسانی‌های تورمالینی،



شکل ۷-۱ الف. نقش زمین‌شناسی کانسار گزستان به مقیاس ۱:۵۰۰۰ (اقتباس از دُری و جمالی، ۱۳۸۳ با تغییرات). موقعیت نمونه‌ها و تصاویر ۴ تا ۶ در نقشه مشخص شده است.

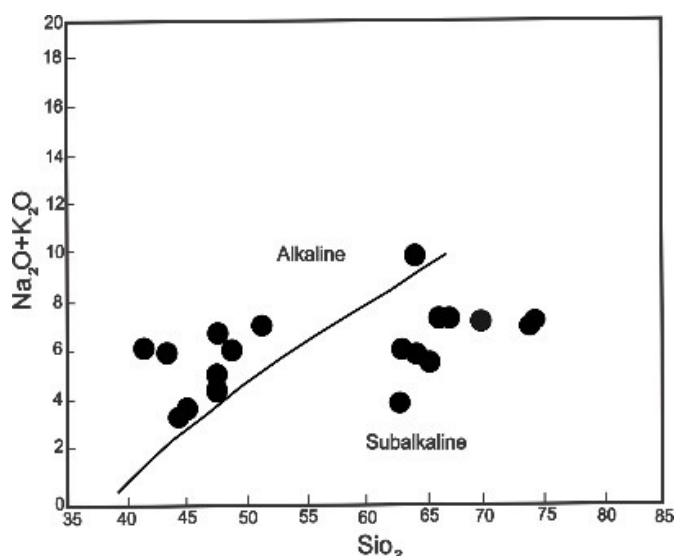


شکل ۷-ب. شمایی از ارتباط کلی واحدهای سنگی و الگوی ساختاری در منطقه گزستان (دُری و جمالی، ۱۳۸۳)

زمین‌شناسی کشور مورد آنالیز XRF قرار گرفته‌اند که براساس نتایج حاصل از آن و با قرار دادن مقادیر بر روی تعدادی از نمودارهای مهم پترولوژیکی، می‌توان روندهای خاص موجود در این واحدها را به تفکیک مورد بحث قرار داد.

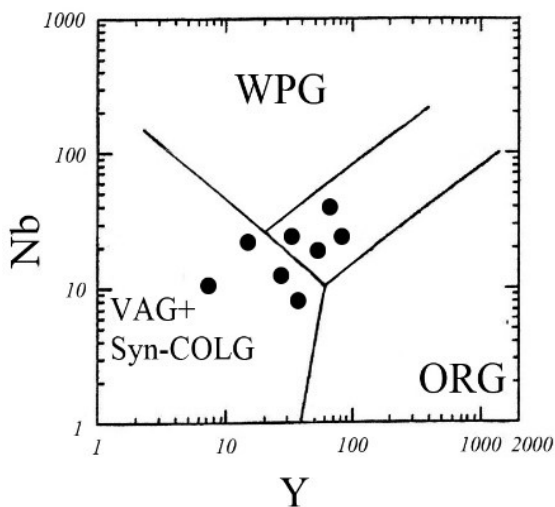
براساس نمودار دوتایی SiO_2 در مقابل مجموع آلکالی‌ها $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Irvine and Baragar, 1971)، نمونه‌های مربوط به توده نیمه‌عمیق منطقه، در سری گرانیتوئیدهای آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۸).

میزبان کانه‌زایی، توده نیمه‌عمیق با ترکیب گرانودیوریت و میکروگرانیت (مولد کانه‌زایی) و سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو (کامبرین زیرین) با ترکیب ریولیت، تراکی آندزیت و تراکیت می‌باشند. با توجه به اینکه عامل کانه‌زایی در منطقه، نفوذ همین توده نیمه‌عمیق در سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو است، لذا مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این توده و سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو متمرکز شده است. برای درک بهتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی واحدهای سنگی منطقه گزستان، تعداد ۸ نمونه از توده‌های نفوذی و ۸ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی منطقه توسط سازمان



شکل ۸. تعیین سری ماگمایی برای سنگ‌های آذرین درونی منطقه گزستان (Irvine and Baragar, 1971)

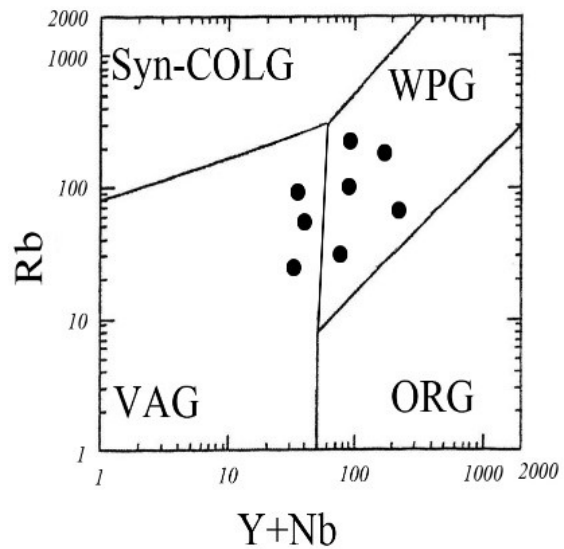
درون صفحه‌ای (WPG) قرار می‌گیرند. براساس نمودار Y در مقابل Nb (Pearce et al., 1984) (شکل ۱۰)، نمونه‌های حاصل از توده نفوذی نیمه‌عمیق در محدوده مورد مطالعه، در مرز بین گرانیتوئیدهای داخل ورقه‌ها و گرانیتوئیدهای برخوردی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۰. نمودار Nb-Y (Pearce et al., 1984)

۶- تقسیم‌بندی توده‌های نفوذی بر مبنای جایگاه تکتونیکی

در نمودار Rb در مقابل Y+Nb (Pearce et al., 1984) (شکل ۹)، که قلمرو گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی و همزمان با برخورد از هم متمایز شده‌اند، نمونه‌های توده نفوذی مورد مطالعه در محدوده گرانیتوئیدهای



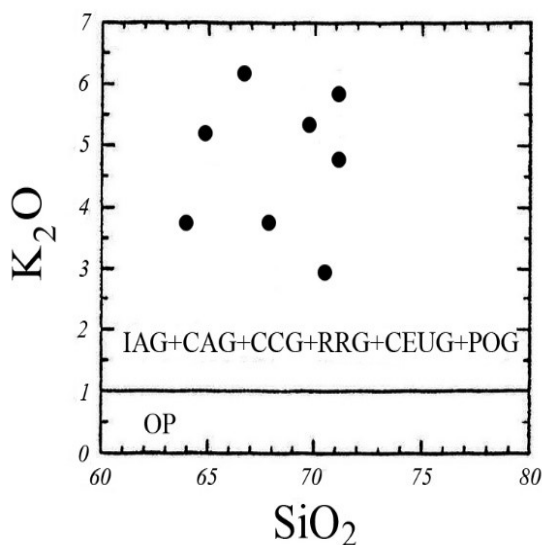
شکل ۹. موقعیت ژئوتکتونیکی توده نفوذی مورد مطالعه در نمودار Rb-(Y+Nb) (Pearce et al., 1984)

۷- جایگاه تکتونیکی توده‌های نفوذی با استفاده از عناصر اصلی

(Maniar and Piccoli, 1989)، نمودارهایی برای تفکیک و تمایز انواع سنگ‌های گرانیتی در محیط‌های مختلف بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی گرانیتوئیدها ارائه نمودند. از نمودار اکسید پتاسیم در برابر سیلیس برای تفکیک پلاژیوگرانیت‌ها از سایر گرانیت‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۱).

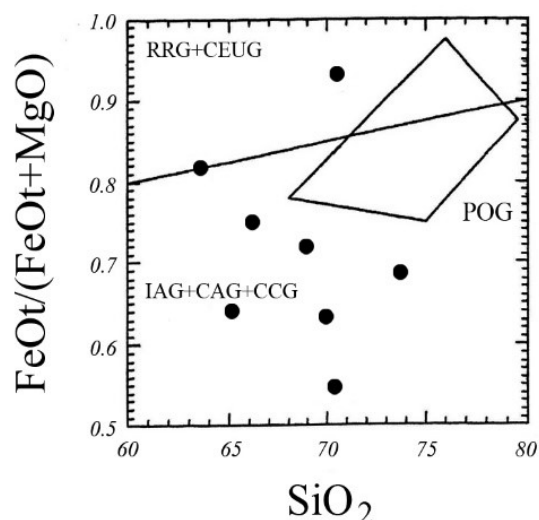
۸- جایگاه تکتونیکی توده‌های نفوذی منطقه با استفاده از عناصر اصلی

(Maniar and Piccoli, 1989)، نمودارهایی برای تفکیک و تمایز انواع سنگ‌های گرانیتی در محیط‌های مختلف بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی گرانیتوئیدها ارائه نمودند. از نمودار اکسید پتاسیم در برابر سیلیس برای تفکیک پلاژیوگرانیت‌ها از سایر



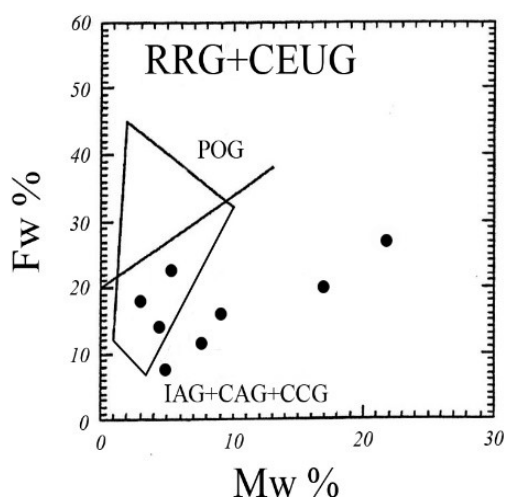
شکل ۱۱. تفکیک گرانیتوئیدها بر اساس نسبت SiO_2/K_2O (Maniar and Piccoli, 1989)

مشخصات هر دو گروه را داشته باشد. با استفاده از نمودار $\text{FeO(T)}/\text{FeO(T)+MgO}$ در مقابل سیلیس، بیشتر نمونه‌ها در گروه I قرار می‌گیرند (شکل ۱۲). شکل ۱۳ نمودار AFM است که در آن مقادیر A $((\text{M(MgO(T)}}$ و $((\text{F(FeO(T)}}$ و $((\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ بر حسب درصد وزنی مشخص می‌شود.



شکل ۱۳. نمودار AFM (مقادیر $((\text{M(MgO(T)}}$ و $((\text{F(FeO(T)}}$ و $((\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) در مقابل سیلیس).

گرانیت‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۱). به منظور تمایز بین گرانیت‌های گروه I (CCG, CAG, IAG) و گروه II (CEUG, RRG) (گرانیت‌های کوهزایی) و گروه III (گرانیت‌های بعد از کوهزایی) استفاده می‌شود. در این نمودار گروه‌های I و II محدوده‌های مجزایی دارند، ولی محدوده گروه III به این صورت نمی‌باشد و همان‌طور که در (شکل ۱۲) مشاهده می‌شود می‌تواند



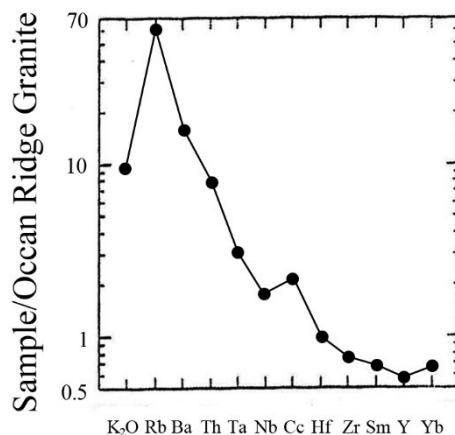
شکل ۱۲. نمودار $\text{FeO(T)}/\text{FeO(T)+MgO}$ در مقابل سیلیس.

۱۰- موقعیت تکتونیک

محیط‌های تکتونیک ریفت درون‌قاره‌ای و زون فرورانش حاشیه قاره‌ای از مهم‌ترین و مناسب‌ترین محیط‌ها هستند که به وسیله زمین‌شناسان بسیاری ذکر شده است (Hitzman et al., 1992; Barton et al., 1996; David et al., 2001; Sillitoe, 2003; Williams et al., 2005; Pollard, 2006; Edfelt, 2007). به نظر (Barton et al., 1996)، ذخایر تیپ کایرونا در موقعیت‌های تکتونیک درون و پشت کمان‌های دریایی و خشکی، ریفت‌های درون‌قاره‌ای غیرفعال، ریفت‌های فعال و سکوها پایدار همراه با آتشفشان‌های مرتبط با نقاط داغ در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه کانسار گزستان بعد از اینفراکامبرین تشکیل شده است، لذا می‌بایستی در ریفت‌های درون‌قاره‌ای تشکیل شده باشد. به‌طور کلی، سنگ‌های مذکور (میکروگرانیت‌ها) و همچنین اکثر گرانیت‌های

۹- جایگاه تکتونیک میکروگرانیت‌های منطقه با استفاده از نمودار عنکبوتی

در (شکل ۱۴) نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه عادی‌سازی شده با ORG ترسیم شده است.



شکل ۱۴. نمودار عنکبوتی مربوط به میکروگرانیت‌ها، نرمال‌شده با ORG (بر اساس میانگین نمونه‌ها)



کانی‌زایی به وجود آمده‌اند. نمونه‌های توده نفوذی مورد مطالعه در محدوده گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای (WPG) قرار می‌گیرند.

۱۲- منابع

افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحات ۱۹-۲۸

دُری، م.ب.، جمالی، ح.، ۱۳۸۳. گزارش اکتشافات مرحله عمومی (نیمه تفصیلی) در کانسار فسفات-خاک‌های نادر گزستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

دُری، م.ب.، سپهری‌راد، ر.، جمالی، ح.، ۱۳۸۷. گزارش اکتشافات تفصیلی در کانسار فسفات خاک‌های نادر گزستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

دهقانزاده بافقی، ع.، اکوهساری، ا.، تراب، م.، ۱۳۹۷. بررسی زمین‌شیمی و کانه‌زایی آهن و آپاتیت برای شناخت عناصر خاکی نادر در کانسار گزستان، منطقه بافق، استان یزد، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست‌وششم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷. صفحات ۸۸۵-۹۰۰

عامری، ع.ر.، ۱۳۸۳. گزارش انجام عملیات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی و مقاومت‌سنجی در منطقه گزستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Amirkhani, R., Ebrahimi, M., Mokhtari, M.A. and Azimzadeh, M.A., 2016. Mineralogy, geochemistry, fluid inclusion study and genesis of Homeijan magnetite-apatite mineralization, SW Behabad, Yazd province. Scientific Quaternary Journal, Geoscience, 26(103).

Baiat, A., 2014. Geochemistry of gabbro-diorite masses of southwestern Behbad (Yazd province) and their possible role in iron-apatite mineralization. Master thesis, University of Zanjan,

عناصر پتاسیم، روییدیم، باریم، توریم، تانتالیم و سریوم غنی شده و از عناصر هافنیم، زیرکیم، ساماریم، ایتریم و ایترییم تهی شده‌اند. البته افزایش روییدیم با توجه به وجود متاسوماتیسم پتاسیک قابل توجه می‌باشد که گرانیتوئیدهای داخل ورقه‌ای و گرانیتوئیدهای پشته‌های میان‌اقیانوسی را از هم متمایز می‌کند. بیشترین شباهت با توجه به غنی‌شدگی عناصر نادر سبک و تهی‌شدگی عناصر نادر سنگین، به گرانیتوئیدهای برخوردی می‌باشد.

در نهایت باید اشاره کرد که نمودار عنکبوتی رسم شده از میانگین میکروگرانیت‌های منطقه، بیشترین شباهت را به گرانیتوئیدهای برخوردی داشته و در بین گرانیتوئیدهای برخوردی تا حدی به گرانیت‌های پس از برخورد متمایل می‌باشد. براساس نمودار Y در مقابل Nb (Pearce et al., 1984)، نمونه‌های حاصل از توده نفوذی نیمه عمیق در محدوده مورد مطالعه، در مرز بین گرانیتوئیدهای داخل ورقه‌ای و گرانیتوئیدهای برخوردی قرار گرفته‌اند. در نمودار Rb در مقابل Y+Nb (Pearce et al., 1984)، نمونه‌های توده نفوذی مورد مطالعه در محدوده گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای (WPG) قرار می‌گیرند.

۱۱- نتیجه گیری

مگنتیت و آپاتیت در این قسمت درشت‌بلور بوده و آپاتیت در داخل مگنتیت به صورت بلورهای شش‌وجهی و خودشکل وجود دارد. محیط‌های تکنیکی ریف‌ت درون قاره‌ای و زون فروورانش حاشیه قاره‌ای از مهم‌ترین و مناسب‌ترین محیط‌ها هستند. با استفاده از نمودار $(\text{FeO(T)})/(\text{FeO(T)}+\text{MgO})$ در مقابل سیلیس، بیشتر نمونه‌ها در گروه I (گرانیت کوهزایی) قرار می‌گیرند.

محیط تکنیکی: ریف‌ت (کافت) درون قاره‌ای؛ محدوده سن: پرکامبرین پسین-کامبرین زیرین (جوان‌تر از اینفراکامبرین)؛ سنگ میزبان: سنگ‌های ولکانیکی سری ریزو با ترکیب ریولیت، آندزیت و داسیت و توده‌های نفوذی نیمه عمیق با ترکیب میکروگرانیت‌ها؛ ماهیت ماگماتیک: ساب‌آلکالن، پرآلومین، پتاسیم بالا و I-Type؛ شکستگی‌ها و زون‌های گسلی بعد از



- deposits and “apatites” of the Bafq District, Central-East Iran. In: Andrew, C.J. et al. (eds.), Digging Deeper, Proceedings of the 9th Biennial SGA Meeting Dublin 2007, 1501–1504.
- Daliran, F., Stosch, H.G. and Williams, P., 2008. Lower Cambrian iron oxide apatite-REE (U) deposits of the Bafq district, east-central Iran. In: Corriveau, L. and Mumin, A.H. (eds.), Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division Short Course, v. x, 143–155.
- Edfelt, A., 2007. The Tjarrojakka Apatite-Iron and Cu (-Au) Deposits, Northern Sweden. Ph.D. Thesis.
- Edfelt, A., Armstrong, R.N., Smith, M. and Martinsson, O., 2005. Alteration paragenesis and mineral chemistry of the Tjarrojakka apatite-iron and Cu (-Au) occurrences, Kiruna area, northern Sweden. *Mineralium Deposita*, 40, 409–434.
- Haghipour, A., 1964. Iron ore deposits in Central Iran, in relation to structural geology and metamorphism, scapolitization and albitization. *Journal of Iranian Petroleum Institute*, 76, 1–9.
- Hitzman, M.W., 2000. Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when and why. In: Porter, T.M. (ed.), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective, Australian Mineral Foundation, Adelaide, 9–25.
- Hitzman, M.W., Oreskes, N. and Einaudi, M.T., 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-LREE) deposits. *Precambrian Research*, 58, 241–287.
- Hitzman, M.W. and Valenta, R.K., 2005. Uranium in Iron Oxide-Copper-Gold (IOCG) Systems. *Economic Geology*, 100, 1657–1661.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common Zanzan, Iran.
- Bakhtiari, S., 2016. Genetic investigation of XIV Anomaly iron based on rare elements and rare earth elements in Bafq Area, Bafq, Iran. Ph.D. thesis, University of Olomtahghighat, Tehran, Iran.
- Bonyadi, Z., Davidson, G.J., Mehrabi, B. and Meffre, S., 2011. Significance of apatite REE depletion and monazite inclusions in the brecciated Se-Chahun iron oxide-apatite deposit, Bafq district, Iran: Insights from paragenesis and geochemistry. *Chemical Geology*, 281, 253–269.
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 1996. An evaporitic source model for igneous related Fe-oxide (-REE-Cu-Au-U) mineralization. *Geology*, 24, 259–262.
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 2004. Footprints of Fe-oxide (-Cu-Au) systems. SEG 2004: Predictive Mineral Discovery Under Cover. Centre for Global Metallogeny, Spec. Pub. 33, University of Western Australia, 112–116.
- Daliran, F., 1990. The magnetite-apatite deposit of Mishdovan, East Central Iran. An alkali rhyolite hosted, “Kiruna type” occurrence in the Infracambrian Bafq Metallotect (mineralogic, petrographic and geochemical study of the ores and the host rocks). Heidelberg Geowissenschaftliche Abhandlungen, band 37. Ruprecht Karls-Universität, Heidelberg, 248 pp.
- Daliran, F., 2002. Kiruna type iron oxide-apatite ores and apatites of the Bafq district, Iran, with an emphasis on the REE geochemistry of their apatites. In: Porter, T.M. (ed.), Hydrothermal iron oxide copper gold and related deposits: A global perspective, v. 2, PGC Publishing, Adelaide, 303–320.
- Daliran, F., Stosch, H.G. and Williams, P., 2007. Multistage metasomatism and mineralization at hydrothermal Fe oxide-REE-apatite



volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523–548.

Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101(5), 635-643.

NISCO, 1980. Report of result of search and valuation work at magnetic anomalies of the Bafq iron ore region during 1976-1979. Unpublished Report 1-11, 260 pp.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25, 956-983.

Pollard, J., 2006. An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide–copper–gold (IOCG) provinces. Mineralium Deposita, 41, 179–187

Orris, G.J., Dunlap, P. and Wallis, J.C., 2015. Phosphate Occurrence and Potential in the Region of Afghanistan, including parts of China, Iran, Pakistan, Tajikistan, Turkmenistan, and Uzbekistan. U.S. Geological Survey.

Torab, F.M., 2008. Geochemistry and Metallogeny of Magnetite-Apatite Deposits of the Bafq Mining District, Central Iran. Ph.D. Thesis, Clausthal University of Technology.

Sillitoe, R.H., 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. Mineralium Deposita, 38, 787–812.

Soheili, M. and Mahdavi, M.A., 1991. Esfordi 1:100,000 geological sheet. Geological Survey of Iran.

Williams, P.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., Fontboté, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, N.H.S. and Marschik, R., 2005. Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution and possible modes of origin. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richards, J.P. (eds.), Economic Geology 100th Anniversary, 371–405.