

# مطالعه کانه‌زائی آهن بغل‌بید با استفاده از شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی، سنگان خواف در شمال خاوری ایران

آسیه سرپوزی حسین‌آبادی<sup>۱</sup>، محمد بومری<sup>۲\*</sup> و عباس گل محمدی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳. دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۸

## چکیده

کانه‌زائی آهن بغل‌بید یکی از آنومالی‌های خاوری معدن آهن سنگان است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در بخش شمال خاوربلوک لوت واقع شده است. در این منطقه واحدهای دگرگونی و رسوبی پالئوزوئیک و مزوزوئیک همچون شیست، فیلیت و ماسه‌سنگ در کنار واحدهای آذرین ترشیاری و سنگ‌های رسوبی نئوژن قرار گرفته‌اند. کانه‌زائی آهن با تشکیل هماتیت در بخش بالای یک واحد برش ولکانیکی به درازای بیش از یک کیلومتر رخ داده است. سنگ‌های فرودبیواره عمدتاً برش، لیتیک توف و ماسه‌سنگ و سنگ‌های فرادبیواره دایک‌های نیمه‌ژرف گرانودیوریتی می‌باشند. هماتیت در فضاهای خالی بین برش‌ها جای گرفته است که نشان‌دهنده دیرزاد بودن کانه‌زائی است. باریت، کلسیت و کوارتز نیز در شکستگی‌ها و فضاهای خالی افق آهن‌دار تشکیل شده است. علاوه بر آهن، کانه‌زایی مس نیز به صورت رگه‌های کوارتز حاوی کالکوپیریت و مالاکیت در سنگ‌های فرودبیواره تشکیل شده است. مقادیر اکسید آهن در افق آهن‌دار از ۸ تا ۵۵ درصد وزنی متغیر است. در این افق، میزان کروم، وانادیوم و فسفر کم می‌باشند در حالی که عناصری مثل باریوم، آرسنیک، نقره و آنتیموان زیاد می‌باشند، و عناصر LREE و HREE نسبت به HFSE غنی‌شدگی نشان می‌دهند. با توجه به مشخصات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی، ساخت و بافت، الگوی REE، کانه‌زایی آهن بغل‌بید از نوع گرمایی است. احتمالاً سیالات گرمایی آهن را از سنگ‌های آذرآواری شسته و در بخش برشی که نفوذپذیری بالایی داشته است، حمل و به صورت هماتیت متمرکز کرده است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های آذرآواری، دایک‌های گرانودیوریتی، کانه‌زائی آهن، گرمایی، بغل‌بید، خواف.

## مقدمه

آهن بعد از سیلیسیوم و آلومینیوم، سومین فلز فراوان در پوسته زمین می‌باشد. این عنصر جزو عناصر سیدروفیل است و خواص کالکوفیل و لیتوفیل نیز از خود نشان

می‌دهد. بنابراین آهن یکی از تشکیل‌دهنده‌های اصلی اغلب سنگ‌ها می‌باشد و به همین علت تقریباً در اکثر محیط‌ها و کانسارها وجود دارد. رفتار آهن در ماگما عمدتاً

\* نویسنده مرتبط: Boomeri@science.usb.ac.ir

حدود ۲/۵ کیلومتر مربع است و در بین طول‌های جغرافیایی ۵۶° ۲۷' تا ۶۰° ۲۹' ۵" و عرض‌های جغرافیایی ۵۰° ۲۶' تا ۳۴° ۲۷' ۵۰" واقع شده است. با توجه به اینکه آنومالی کانه‌زایی آهن بغل‌بید کمتر مورد مطالعه قرار گرفته شناخت آنها به‌عنوان ذخایر احتمالی مناسب ضروری است. هدف از این نوشتار بررسی زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری محدوده مورد مطالعه و ژئوشیمی دایک‌های گرانودیوریتی و افق آهن‌دار به‌منظور پی بردن به چگونگی تشکیل کانه‌زائی آهن است.

### روش مطالعه

ابتدا نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰ گستره مورد مطالعه براساس تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات صحرایی گسترده و پتروگرافی و با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10 تهیه شده است. برای مطالعات آزمایشگاهی تعداد ۳۰ نمونه مقطع نازک، ۱۰ نمونه مقطع نازک-صیقلی و دو نمونه صیقلی از سنگ‌ها و کانسنگ‌های منطقه تهیه شد. مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری روی این مقاطع با میکروسکوپ‌های پلاریزه عبوری و انعکاسی نوع المپیوس در دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شد. تعداد شش نمونه از نمونه‌های سالم و کمتر دگرسان شده دایک‌های گرانودیوریتی، ۱۰ نمونه واحد آهن‌دار و چهار نمونه سنگ‌های میزبان جهت تعیین اکسیدهای عناصر اصلی توسط XRF، و تعداد ۱۰ نمونه واحد آهن‌دار و سه نمونه از سنگ‌های میزبان جهت تعیین عناصر کمیاب به‌وسیله ICP-MS و یک نمونه از کانسنگ جهت تشخیص کانی‌شناسی به‌وسیله XRD در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) در کرج آنالیز شدند. نام‌گذاری سنگ‌های آذرین بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و با ملاحظه رده‌بندی IUGS انجام شده است. نمودارهای ژئوشیمیایی عمدتاً با کمک نرم‌افزار GCD kit 4.1 رسم شده است.

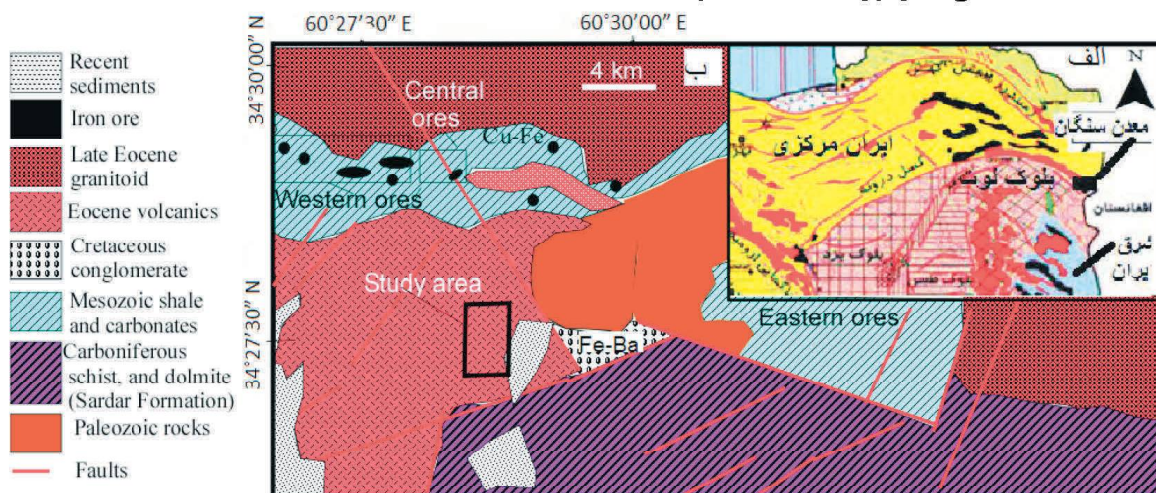
### زمین‌شناسی سنگ آهن سنگان

بر اساس نقشه ارائه شده توسط آقانباتی (۱۳۸۳)، کانسارهای آهن سنگان از نظر زمین‌شناسی در خرد قاره ایران مرکزی و در بخش‌های شمال‌خاوری بلوک لوت قرار

تابع فوگاسیته اکسیژن است به‌طوری‌که اگر فوگاسیته اکسیژن طی تفریق ماگمای سیلیکاته پایین باشد به مرور و با تشکیل کانی‌های سیلیکاته غلظت آهن به‌تدریج در ماگما افزایش و نهایتاً منجر به تشکیل مذاب اکسید آهن می‌شود. در محیط‌های رسوبی، تشکیل سنگ‌های آهن نیز تابع تغییرات حالت اکسیداسیون می‌باشد و آهن در شرایط احیایی، متحرک و تحت شرایط اکسیدان رسوب می‌کند. از این رو آهن از مناطق با اکسیژن پایین به سمت مناطق با اکسیژن بالا مهاجرت می‌کند (Maynard, 1983). حمل این عنصر در سیالات گرمابی دما بالا به‌صورت کمپلکس‌های کلریدی انجام می‌شود و در شرایط مناسبی از Eh و pH مگنتیت و هماتیت را تشکیل می‌دهد (Siegel, 1979, Scholten, et al., 2019). سولفیدهای آهن در محیط‌های سوپرژن در تماس با محلول‌های غنی از اکسیژن تبدیل به اکسیدهای آهن آب‌دار می‌شوند. کانه‌زایی آهن در ایران در مناطق مختلف از پیرکامبرین تا سنوزوئیک ادامه داشته است که یکی از آنها منطقه آهن‌دار سنگان خواف در استان خراسان رضوی است. معدن سنگان در حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب‌خاوری مشهد و ۴۰ کیلومتری جنوب‌خاوری خواف قرار دارد. مهم‌ترین کانسارهای سنگان، شامل کانسارهای باختری (A، B، A، C جنوبی و C شمالی)، مرکزی (دردوی و باغک) و خاوری (سنجدک ۱، سنجدک ۲ (بغل‌بید)، سنجدک ۳، معدن جو، سم آهنی و فرزنه) است (سرپوزی حسین آبادی، ۱۳۹۶). تاریخچه مطالعاتی و اکتشافی معدن سنگان بسیار گسترده است که از آن جمله می‌توان به کریم‌پور (۱۳۶۹، ۱۳۷۷، ۱۳۸۲)، کریم‌پور و ملک‌زاده شفارودی (۱۳۸۵ و ۱۳۸۶)، گل محمدی و همکاران (۱۳۹۲، ۱۳۹۳، ۱۳۹۶) اشاره کرد. کانسارهای آهن سنگان عمدتاً از نوع اسکارن و گرمابی می‌باشند (Boomeri et al., 1997, 2006, 2010). سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ساختار و شکل برونزد و دگرسانی کانه‌زائی آهن بغل‌بید با کانسارهای آهن سنگان در مناطق باختری، مرکزی و آنومالی معدن جو در منطقه خاوری متفاوت است. کانه‌زایی آهن بغل‌بید در جنوب آنومالی باغک و در نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ تایباد قرار دارد و مساحت گستره مورد مطالعه در

رسوبی، دگرگونی، آتشفشانی و نفوذی تشکیل شده است. در منطقه سنگان قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی را به پالئوزوئیک نسبت می‌دهند که متشکل از سنگ‌های مختلفی مثل شیست، ماسه‌سنگ، دولومیت، سنگ‌آهک، سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده، اسلیت و فیلیت است (Ternet, 1990) (شکل ۱).

می‌گیرد (شکل ۱-الف). کریم پور و همکاران (۱۳۸۱)، این منطقه را بخشی از نوار آتشفشانی-پلوتونیک خواف-کاشمر-بردسکن می‌دانند. این کمربند با طول بیش از ۳۵۰ کیلومتر، پهنای ۱۵ تا ۸۰ کیلومتر و امتداد خاوری-باختری در شمال گسل درونه قرار دارد و تا کشور افغانستان ادامه دارد. این کمربند به‌طور عمده از سنگ‌های



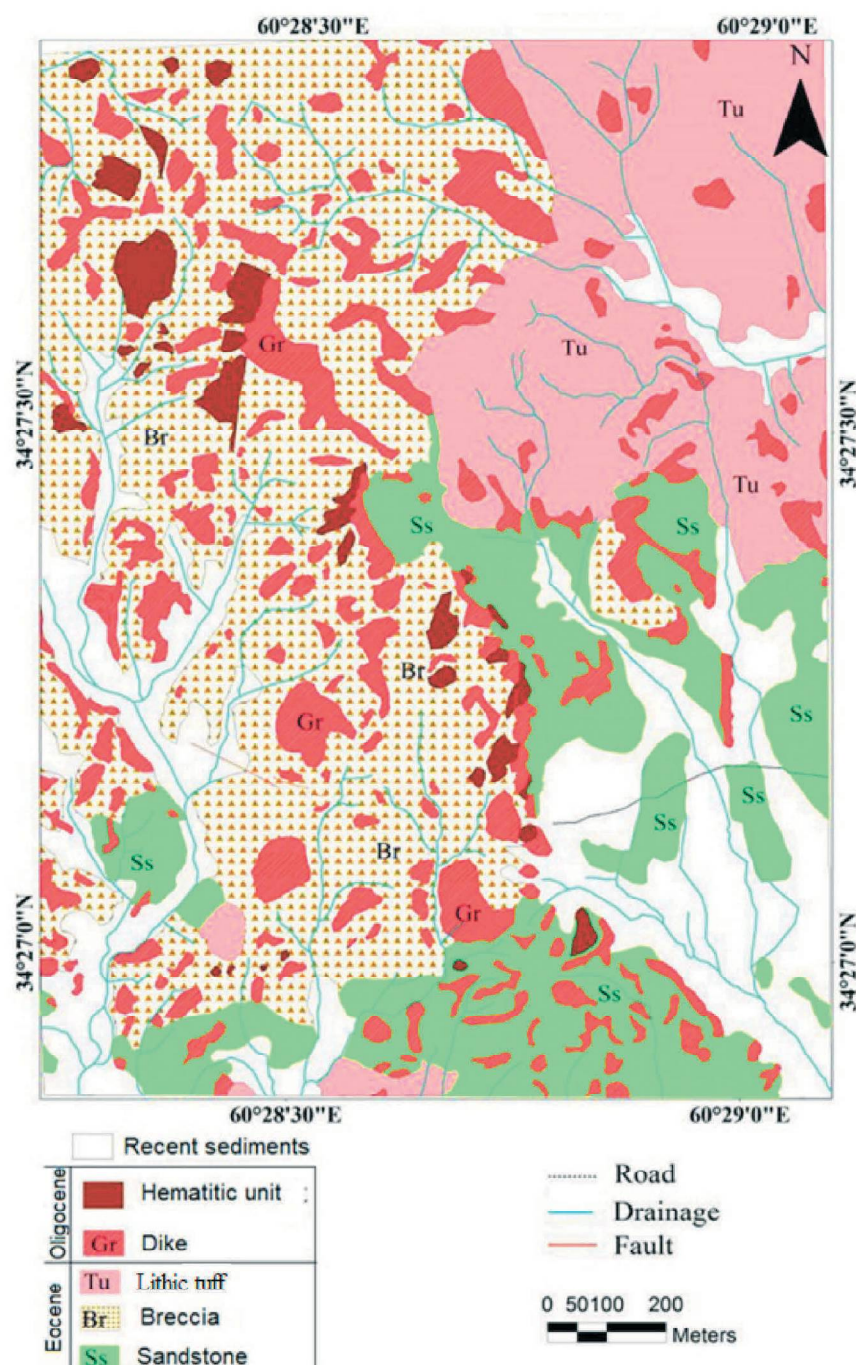
شکل ۱. الف) موقعیت سنگان در نقشه پهنه‌های زمین‌شناسی ایران (آقنابتی، ۱۳۸۳)، ب) نقشه زمین‌شناسی ساده‌ای از کانسارهای سنگ‌آهن سنگان و محدوده اطراف آن (با تغییرات از علوی نائینی، ۱۳۶۱)، محل محدوده آهن بغل‌بید و کانسارهای آهن باختری و مرکزی سنگان در چهارگوشه‌هایی نشان داده شده است. آنومالی‌های خاوری در خاور و جنوب‌خاوری کانسارهای آهن مرکزی ادامه دارند

(شکل ۱-ب). به‌نظر می‌رسد نفوذ توده‌های عظیم گرانیتوئیدی در شمال منطقه نقش زیادی در دگرگونی، دگرسانی، کانه‌زایی و تشکیل اسکارن در منطقه داشته است (Boomeri et al., 2006; Golmohammadi et al., 2015). آخرین فازهای نفوذی شامل استوک‌ها و دایک‌های گرانودیوریتی متعدد در منطقه می‌باشد (Boomeri et al., 1997).

### زمین‌شناسی گستره آهن بغل‌بید

واحدهای سنگی در گستره مطالعاتی شامل ماسه‌سنگ، برش ولکانیکی، کنگلومرا، آگلومرا و لیتیک توف هستند. براساس شکل ۱-ب این واحدها بخشی از سنگ‌های ولکانیکی ائوسن که عمدتاً شامل گدازه و سنگ‌های آذرآواری و تخریبی می‌شوند. واحدهای سنگی مذکور در گستره مطالعاتی مورد نفوذ حجم زیادی از دایک‌های حدواسط با سن احتمالی اولیگوسن واقع شده است (شکل ۲).

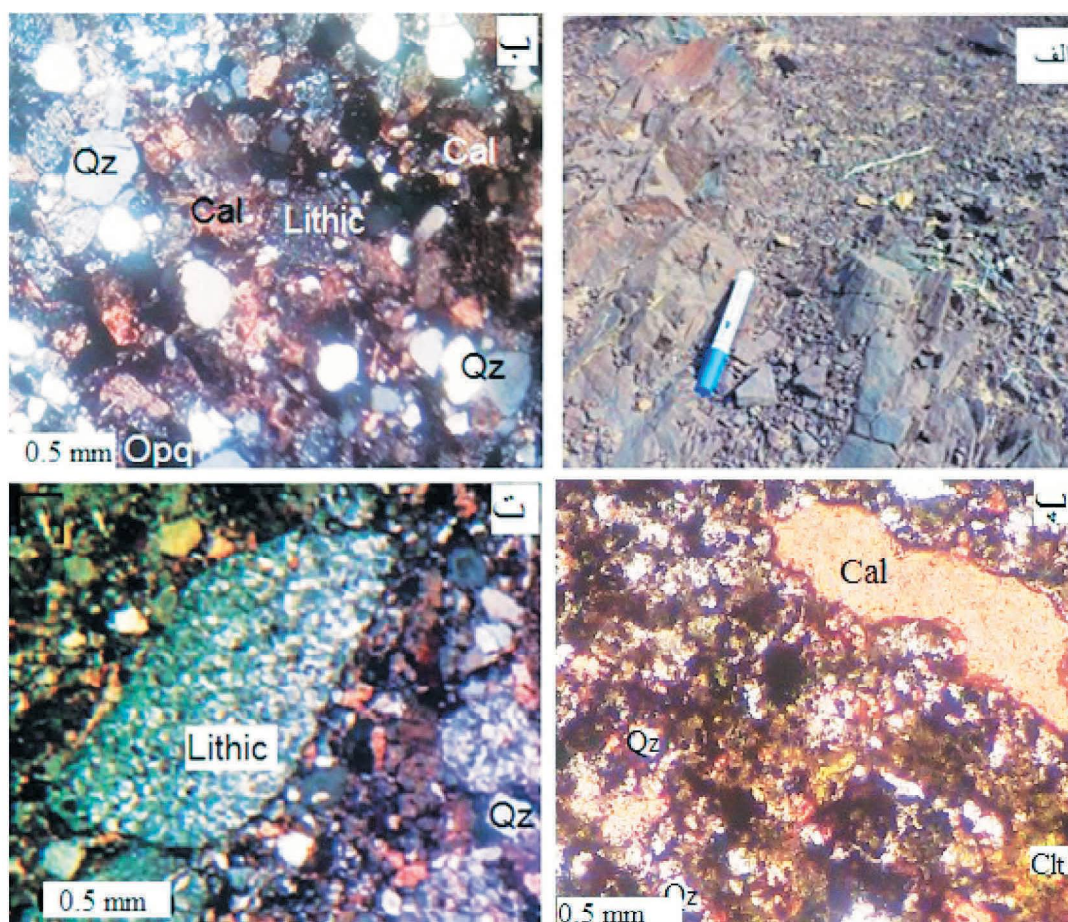
سنگ‌های کربونیفر در این منطقه با تردید معادل سازند سردر در نظر گرفته شده است که عمدتاً شامل شیست، متاشیست، کوارتزیت، دولومیت، کنگلومرا و متاولکانیک می‌باشد (Ternet, 1990). سنگ‌های این سازند در نزدیکی گستره مورد مطالعه شامل فیلیت و ماسه سنگ نیز می‌شود. براساس مطالعات جدیدتر سنگ‌های نسبت داده شده به کربونیفر در مجاورت کانسنگ‌های آهن سنگان عمدتاً دارای سن مزوزوئیک می‌باشند (Boomeri et al., 2006). واحدهای سنگی ژوراسیک در شمال ذخایر سنگ‌آهن باختری سنگان شامل شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون می‌باشند، که در مجاورت با گرانیتوئیدهای منطقه به هورنفلس و کوارتزیت تبدیل شده‌اند. این سنگ‌ها به‌وسیله دولومیت، سنگ‌آهک و سنگ‌آهک‌های مرمی شده کرتاسه پوشیده شده‌اند. حجم عظیمی از سنگ‌های آذرین خروجی و آذرآواری‌های ائوسن با سنگ‌های قدیمی‌تر منطقه مرز گسله دارند



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت افق آهن‌دار در محدوده آهن بغل‌بید

بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری شده، ماسه‌سنگ، برش ولکانیکی، اگلوмера و لیتیک توف‌ها به صورت متناوب تکرار می‌شوند ولی افق آهن‌دار فقط در بخش بالایی واحد برش دیده می‌شود. وجود میان لایه‌های لیتیک توف در این واحدهای سنگی نشان‌دهنده تکرار فوران خاکسترهای آتشفشانی در گستره مطالعاتی است. توصیف واحدهای سنگی به شرح زیر است:

ماسه‌سنگ: این واحد بیشتر در بخش‌های کم ارتفاع نزدیک به دشت در جنوب و جنوب‌خاور منطقه قابل مشاهده است و رنگ آن خاکستری تا قهوه‌ای مایل به قرمز است. این رنگ نشان‌دهنده آغستگی آن به ترکیبات آهن است (شکل ۳-الف).



شکل ۳. تصاویری از واحد ماسه‌سنگ در منطقه بغل‌بید، الف) تصویری از رخنمون‌ها با رنگ خاکستری تا قهوه‌ای مایل به قرمز، ب) تصویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ در نور پلاریزه متقاطع، پ) تصویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ در نور پلاریزه تخت (PPL)، ت) تصویر میکروسکوپی از میکروکنگلوмера در نور پلاریزه متقاطع، دارای قطعات سنگی ریز و درشت و بلورهای کوارتز، کوارتز=Qz، اوپک=Opq، کلسیت=Cal، خرده سنگ=Lithic، گلوکونیت=Glt، علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010

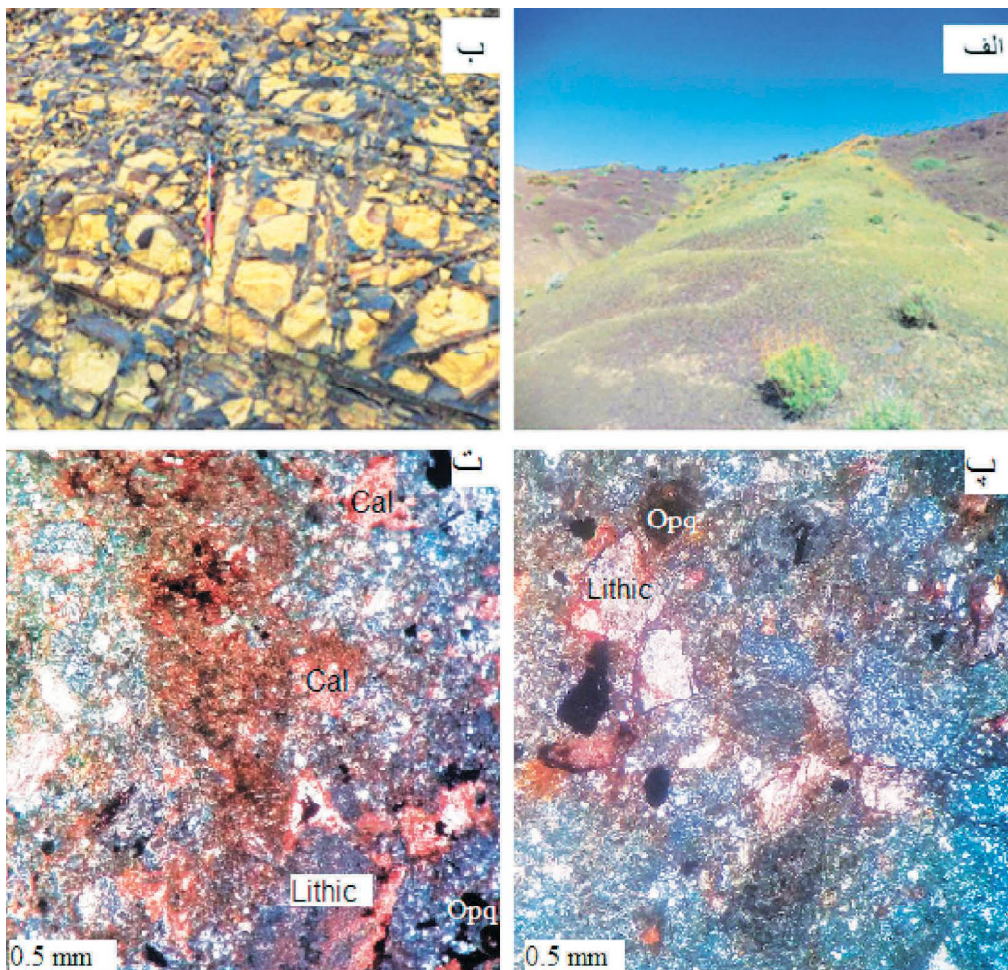
به دو صورت دیده می‌شود: نوع اول کوارتزهای گرد شده تا نیمه‌گرد شده اولیه می‌باشند و نوع دوم، کوارتز ثانویه که به صورت رگچه‌های ظریف کوارتز-کربنات ماسه‌سنگ‌ها را قطع کرده است. بلورهای شکل دار تا نیمه‌شکل دار پلاژیوکلاز که به صورت پراکنده در بعضی نمونه‌های مشاهده شده عمدتاً به کربنات دگرسان شده‌اند. گلاکونیت در بعضی از نمونه‌ها به صورت بی‌شکل و زائده مانند به رنگ سبز تا قهوه‌ای در نور طبیعی (PPL) دیده می‌شود (شکل ۳-پ) (سربوزی حسین‌آبادی، ۱۳۹۶). گاهی میزان خرده‌سنگ با اندازه‌های مختلف آنقدر زیاد است که بیشتر شبیه میکروکنگلوмера و کنگلوмера هستند (شکل ۳-ت).

لیتیک توف: ۲۰ درصد از سنگ‌های منطقه را واحد لیتیک توف تشکیل می‌دهد که بیشترین گسترش آن در

این واحد در برخی جاها به وسیله رگه‌های سیلیسی قطع شده است. کانی‌ها و اجزاء تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً کوارتز و قطعات سنگی می‌باشد. پلاژیوکلاز، گلاکونیت، اکسیدهای آهن، کربنات و کانی‌های ورقه‌ای نیز به صورت پراکنده در آن مشاهده می‌شود. پلاژیوکلازها ریز هستند و مقدار آنها کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. براساس طبقه‌بندی (Folk, 1980) ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در رده لیت‌آرنایت قرار می‌گیرند. ماسه‌سنگ‌ها از نظر بافتی از ریزدانه تا متوسط دانه و نیمه بالغ تا بالغ متغیر می‌باشند، بیشتر ماسه‌سنگ‌های منطقه از نوع بالغ با کمتر از ۱ درصد خمیره رسی هستند (شکل ۳-ب). درصد کوارتز در نمونه‌های مختلف منطقه متفاوت است اما به طور کلی بیش از ۵۰ درصد سنگ را شامل می‌شوند. کوارتز در ماسه‌سنگ‌های منطقه

میکروسکوپی از این واحد نشان می‌دهد که این سنگ دارای زمینه ریزبلور و دارای خرده‌های لیتیک از جنس رسوبی، آندزیت و داسیت می‌باشد. بیوتیت، پلاژیوکلاز و کوارتز از کانی‌های این واحد سنگی می‌باشند (شکل ۴-الف و ب). کانی‌های ثانویه مثل کلسیت، سرپیسیت، و کانی‌های رسی نیز در این واحد تشکیل شده‌اند. کانی‌های اوپاک در فضاهای خالی این سنگ مشاهده می‌شوند.

قسمت شمال‌خاور منطقه است. لایه‌های یک متری از لیتیک توف و ماسه‌سنگ معمولاً به‌طور متناوب قابل مشاهده است (شکل ۴-الف). این واحد عمدتاً به رنگ سبز تا قهوه‌ای مایل به قرمز در منطقه دیده می‌شود که رنگ قهوه‌ای و قرمز آن به دلیل آغشته‌گی با هماتیت است. رگچه‌های اکسید آهن ثانویه در سطح لیتیک توف‌ها به مقدار زیاد و به‌صورت شبکه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۴-ب). مطالعه مقاطع



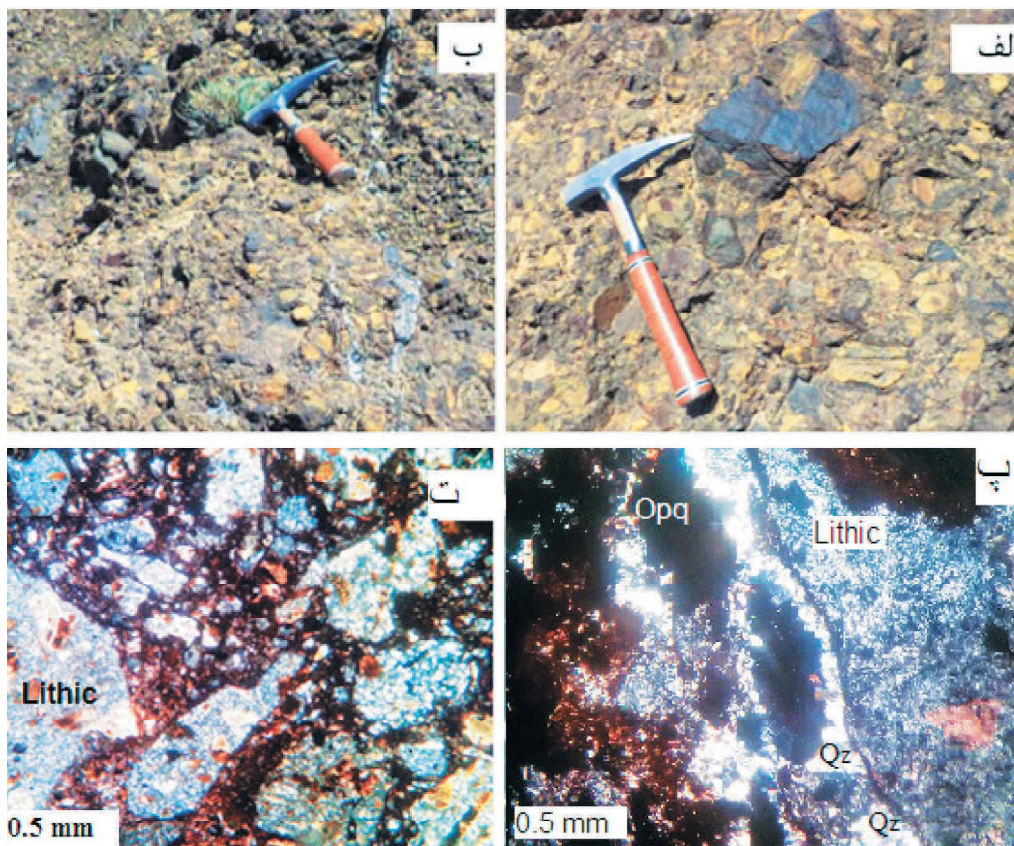
شکل ۴. واحد لیتیک توف در منطقه بغل‌بید، الف) رخنمون لیتیک توف، ب) شبکه‌ای از رگه-رگچه‌های آغشته به اکسیدهای آهن که لیتیک توف را قطع کرده‌اند، پ و ت) تصاویر میکروسکوپی لیتیک توف در نور پلاریزه متقاطع، که عمدتاً از خرده سنگ‌هایی با زمینه‌ای ریزدانه تشکیل شده‌اند. دگرسانی، خوردشدگی و زاویه‌دار بودن بعضی اجزا قابل تشخیص است، اوپاک=Opq، کلسیت=Cal، خرده‌سنگ=Lithic، علامت اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010

(شکل ۵-الف). واحد آگلومرایی نیز از لحاظ اندازه قطعات بسیار متنوع و از قطعات میکروسکوپی تا قطعاتی به قطر ۳۰ سانتی‌متر متغیر است (شکل ۵-ب). قطعات تشکیل‌دهنده آن عمدتاً از نوع آذرین می‌باشد. اجزای برش عمدتاً از جنس لیتیک توف و توف آندزیتی است که از

برش و آگلومرا: برش‌ها ۵۰ درصد از مساحت گستره مطالعاتی را به خود اختصاص می‌دهند و در شمال‌غرب تا غرب و حتی بخش‌های میانی قابل مشاهده است. این برش از قطعات آذرین و رسوبی تشکیل شده است. اندازه قطعات آن از میکروسکوپی تا ماکروسکوپی در تغییر می‌باشد

در فضای بین قطعات برش و دیگر فضاهای خالی و گاهی روی سطح کانی‌ها مشاهده می‌شود. کوارتزهای ریزی که در اطراف حفره‌ها رشد کرده‌اند، احتمالاً از سیالات گرمابی دما پایین تشکیل شدند (شکل ۵-ت).

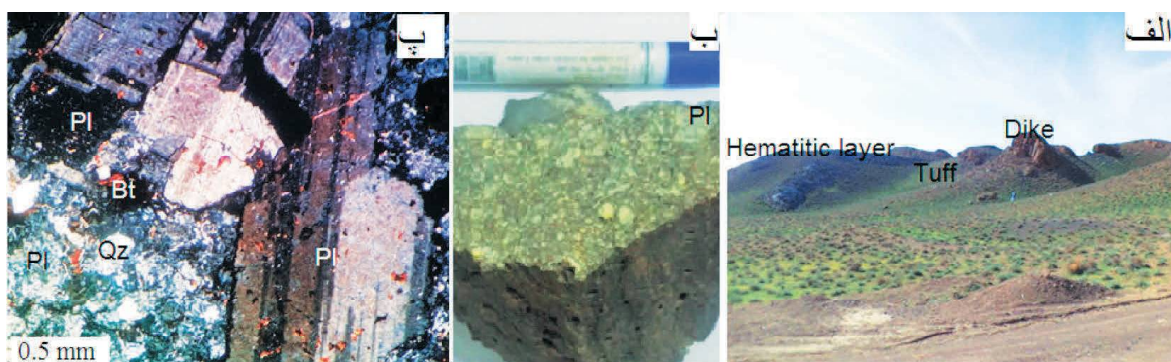
اندازه‌های میکروسکوپی تا ماکروسکوپی در تغییر می‌باشد. قطعات آندزیتی دارای زمینه‌ای ریزدانه بوده و بلورهای درشت آن پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار است که در بیشتر موارد دگرسان و تبدیل به کانی‌های رسی و کربنات شده است (شکل ۵-پ). کوارتز و کلسیت همراه با هماتیت



شکل ۵. تصاویری از برش و آگلومرا، الف) رخنمون برش ولکانیکی که اندازه قطعاتش ناهمسان و سطح آن تیره رنگ است، ب) رخنمون آگلومرا که از قله‌های ریز و درشت تشکیل شده و میزبان رگچه‌هایی از کوارتز، کربنات و سولفات می‌باشد، پ) برش که عمدتاً از قطعات آندزیتی تشکیل شده است و زمینه و فضاهای خالی به‌وسیله سیمان و رگچه‌های آغشته به اکسید آهن پر شده است، ت) رشد کوارتزهای گرمابی در اطراف حفرات خالی، اوپک=Opq، کلسیت=Cal، خرده سنگ=Lithic، علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010

از کوارتز (۲۰ درصد) و فلدسپار تشکیل شده است. آپاتیت و زیرکن از کانی‌های فرعی و کلریت، سریسیت و کانی‌های رسی از کانی‌های ثانویه دایک‌ها هستند. کانی‌های اوپاک هم در حدود ۲ تا ۳ درصد حجم این سنگ‌ها را در بر گرفتند. دایک‌ها بر اساس نوع و درصد کانی‌ها و بافت آنها عمدتاً از نوع گرانودیوریت پورفیری می‌باشند هرچند وجود درصد بالای درشت بلورهای ارتوکلاز نشان می‌دهد که دایک‌هایی با ترکیب کوارتز مونزونیت پورفیری و کوارتز سینیت پورفیری نیز در گستره مورد مطالعه وجود دارد.

دایک‌ها: تعداد زیادی از دایک‌های متعلق به اولیگوسن با امتداد شمالی-جنوبی و با شیب ۲۰ تا ۳۰ درجه به غرب و شمال غرب، در گستره مطالعاتی تزریق شدند. این دایک‌ها دیگر واحدهای سنگی را در منطقه قطع کرده‌اند (شکل ۶-الف). دایک‌ها دارای رنگ روشن است و بافت پورفیری هستند (شکل ۶-ب و پ). درشت بلورهای که عمدتاً پلاژیوکلاز می‌باشند حدود ۶۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. اندازه پلاژیوکلاز متغیر و حداکثر به ۵ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۶-ب و ب). هورنبلند و بیوتیت از دیگر درشت بلورها در این سنگ می‌باشند. زمینه عمدتاً



شکل ۶. تصاویری از دایک‌های گرانودیوریت پورفیری در منطقه بغل‌بید، الف) تصویر صحرایی از دایک‌ها که در لیتیک توف‌ها تزریق شده، ب) نمونه دستی از دایک‌ها، پ) تصویر میکروسکوپی از دایک‌ها در نور پلاریزه، پلاژیوکلاز=Pl، بیوتیت=Bt، کوارتز=Qtz، علامت اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010

## کان‌زائی

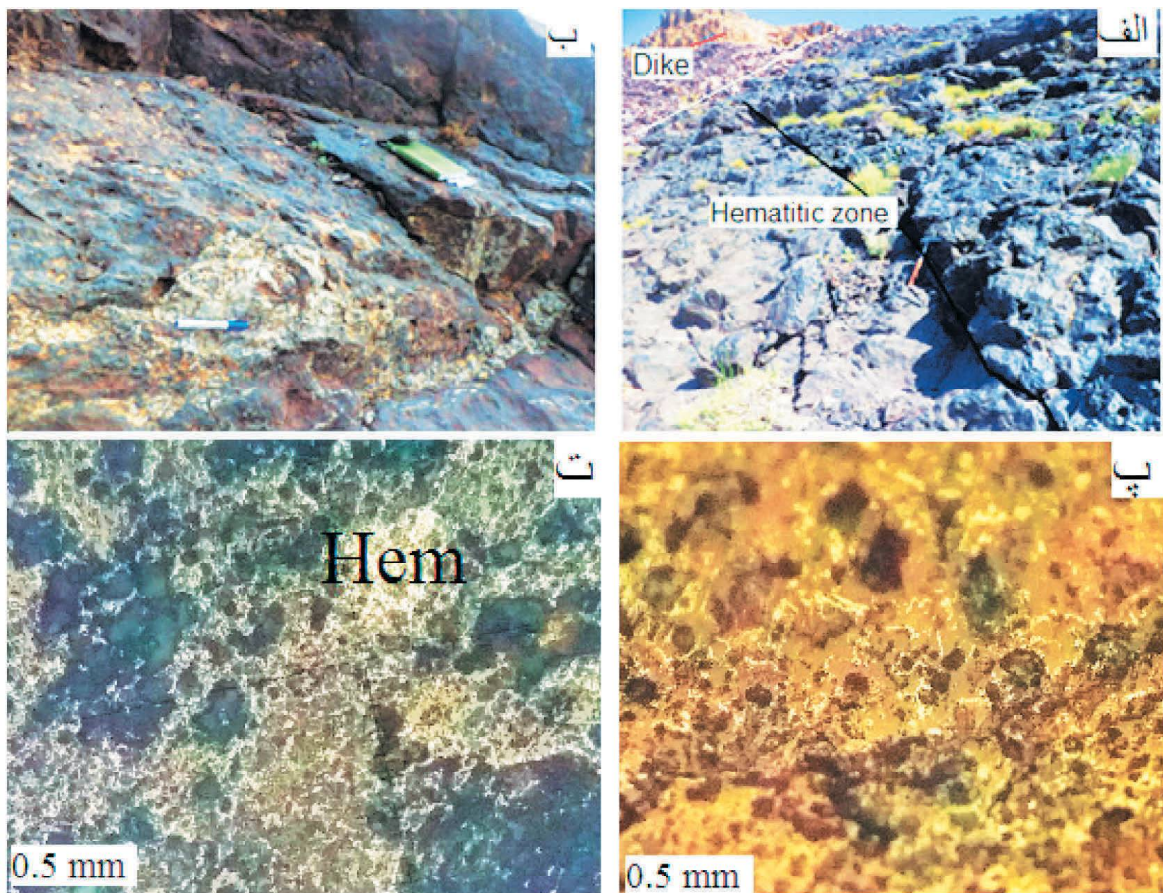
سنگ میزبان (برش) می‌باشند. سه کانی اخیر همراه با هماتیت در فضاهای خالی به صورت رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضاهای خالی تشکیل شده است (شکل ۷-ب). هماتیت به صورت بی‌شکل، ریز و پراکنده به رنگ زرد با بافت تیغه‌ای و پرکننده فضای خالی، بر سطح کانی‌ها یا کنار قطعات برشی تشکیل شده است (شکل ۷-پ و ت)، بافت پرکننده فضای خالی هماتیت نشان‌دهنده اپی‌ژنتیک بودن آنها است. کانسارهای اپی‌ژنتیک معمولاً از سیالات گرمابی تشکیل می‌شوند. نتایج پراش اشعه ایکس روی نمونه‌های واحد آهن‌دار در شکل ۸ دیده می‌شود که نشان‌دهنده کانی‌های باریت، کوارتز، هماتیت و کلسیت است.

## ژئوشیمی دایک‌ها

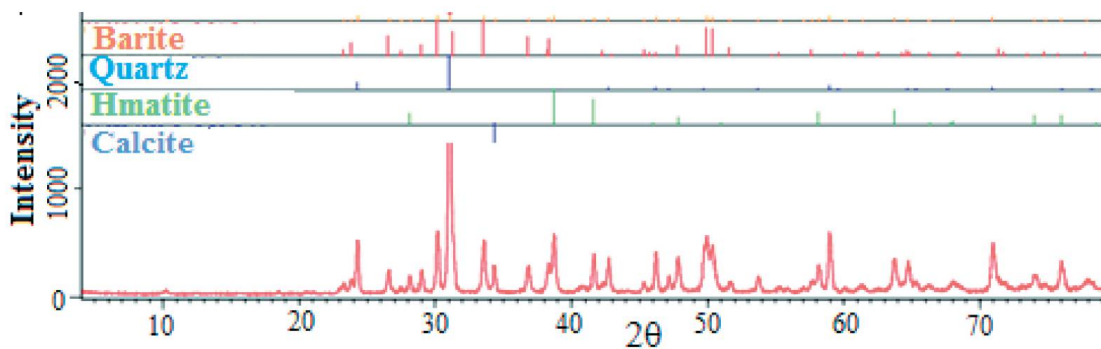
نتایج تجزیه شیمیایی ۶ نمونه از دایک‌های منطقه بغل‌بید در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس این داده‌ها دایک‌های منطقه در مرز محدوده گرانودیوریت (کوارتز دیوریت)، سینوگرانودیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند (شکل ۹). میانگین  $SiO_2$  در دایک‌های منطقه ۶۴/۵ درصد است و با افزایش آن، مقادیر  $MgO$ ،  $TiO_2$ ،  $K_2O$ ،  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$  و  $CaO$  کاهش و  $P_2O_5$  و  $Na_2O$  افزایش می‌یابد. نسبت  $K_2O/Na_2O$  برای بیشتر نمونه‌ها کمی بیشتر یا کمتر از یک است. به دلیل تاثیر عوامل دگرسانی یک نمونه به شدت از  $Na_2O$  غنی (بیش از ۸ درصد وزنی) و از  $K_2O$  فقیر شده است به طوری که نسبت  $K_2O/Na_2O$  آن حدود ۰/۴ است.

در گستره بغل‌بید دو نوع کان‌زایی وجود دارد ۱- کان‌زائی مس که در یک رگه سیلیسی دیده می‌شود. در این رگه کالکوپیریت و پیریت از کانی‌های اولیه و کربنات‌های مس که از دگرسانی کالکوپیریت حاصل شده از کانی‌های ثانویه هستند. این کان‌زایی در فاصله نزدیکی از جنوب محدوده مطالعاتی واقع شده است و موضوع بحث این مقاله نیست. ۲- کان‌زائی آهن که در یک افق لایه‌ای یا عدسی مانند با شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه با امتداد شمالی-جنوبی دیده می‌شود. کنتاکت این افق با دیگر واحدهای سنگی مشخص است که در بیشتر موارد واحد سنگی کمر بالای آن دایک‌ها و واحد سنگی کمر پایین و میزبان، برش ولکانیکی است (شکل ۷-الف). به طور کلی امتداد افق آهن‌دار در کل منطقه به صورت S شکل مشاهده می‌شود که از بخش جنوب منطقه به سمت شمال گسترش سطحی آنها افزایش پیدا می‌کند (شکل ۲). امتداد شمالی-جنوبی کان‌زائی بیش از یک کیلومتر و عرض آن از یک تا بیش از ۱۰ متر متغیر است. بر اساس حفاری‌های انجام شده کان‌زائی آهن فقط در بخش سطحی مشاهده می‌شود. افق کان‌زایی در سطح هوازده به رنگ سیاه آهنی است (شکل ۷-الف و ب). در اصل نفوذ اکسید آهن در فضای خالی سنگ میزبان منجر به رنگ تیره سنگ میزبان شده و مقدار اکسیدهای آهن آن چندان بالا نیست. اکسید آهن در این افق عمدتاً هماتیت می‌باشد. گوتیت و لیمونیت نیز در این سنگ‌ها حضور دارند. کانی باطله در واحد آهن‌دار باریت، کربنات و کوارتز و قطعات





شکل ۷. تصاویری از واحد هماتیتی، الف) تصویری از رخنمون واحد آهن‌دار که با دایک گرانودیوریتی مرز دارد و گسل خوردگی در آن دیده می‌شود، ب) رگه-رگچه‌های کوارتز، کلسیت و باریت در واحد آهن‌دار با رنگ سفید، پ و ت) تصاویر میکروسکوپی از ذرات هماتیت که با رنگ سفید در سنگ پراکنده هستند



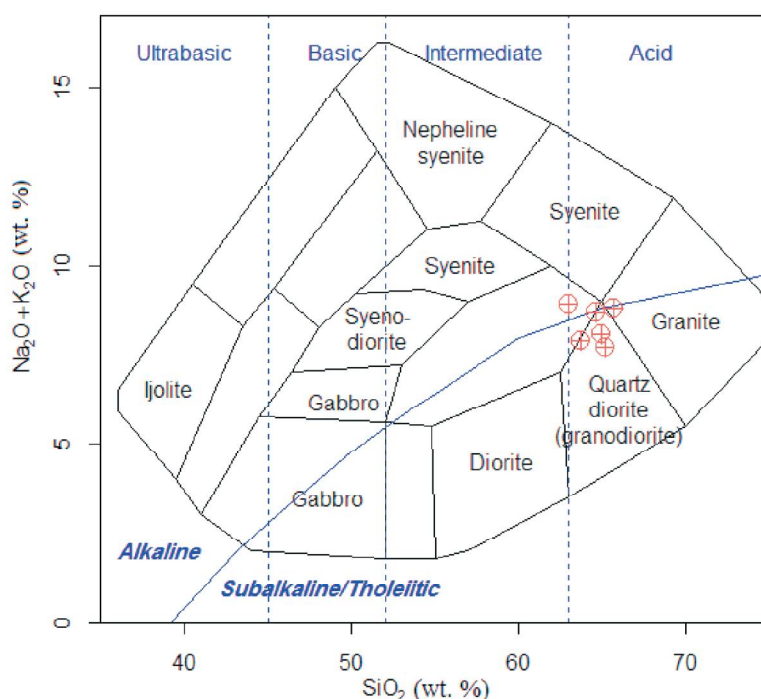
شکل ۸. الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) مربوط به نمونه کانسنگ از بخش غنی از باطله در منطقه بغل‌بید، باریت فاز اصلی در نمونه است که به‌وسیله کوارتز، هماتیت و کلسیت همراهی می‌شود

شوشونیتی و کالکوالکالن پتاسیم بالا برای دایک‌های گرانودیوریتی منطقه بغل‌بید می‌باشد. براساس شکل (۹) یک نمونه در محدوده آلکالن واقع شده و بقیه در محدوده ساب‌آلکالن یا در مرز آن با آلکالن واقع هستند. به‌طور کلی به دلیل اینکه تمام نمونه‌ها دارای ترکیب مشابهی می‌باشند

به همین دلیل این نمونه در شکل ۱۰-الف در محدوده سنگ‌های کم پتاسیم و یا تولییتی واقع شده است. تمایز سری‌های ماگمایی برای بقیه نمونه‌ها براساس نمودار (Irvine and Baragar, 1971) و (Taylor, 1976) (شکل ۱۰-الف وب) نشانگر سری ماگمایی

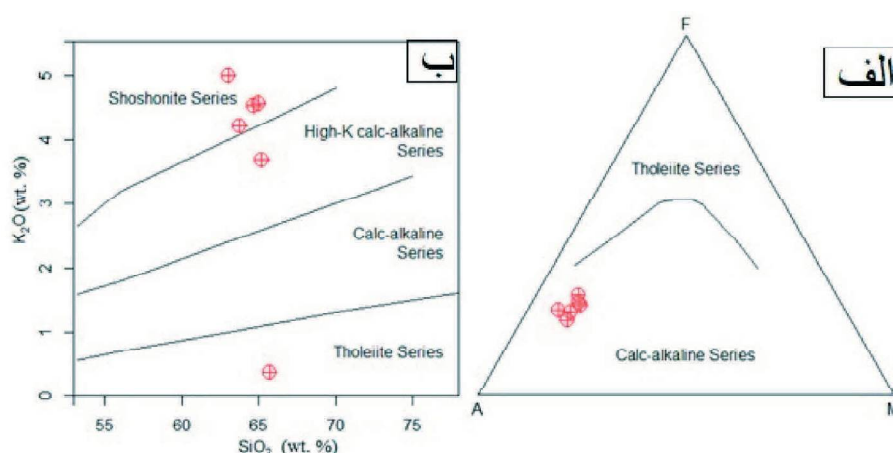
جدول ۱. مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (درصد وزنی) در شش نمونه دایک گرانودیوریتی به روش XRF

Sample	ES2	ES1	ES52	ES29	ES50	ES44
X	268320	268391	268052	268527	268249	267956
Y	3815048	3815035	3816269	3816083	3815575	3816041
Rock	Granodiorite	Granodiorite	Granodiorite	Granodiorite	Granodiorite	Granodiorite
SiO <sub>2</sub>	65.72	63.02	64.97	65.21	64.68	63.77
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.46	0.61	0.43	0.51	0.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.98	17.66	16.32	16.65	16.53	16.73
FeOt	3.37	3.04	3.65	3.39	3.37	3.92
CaO	2.15	2.18	1.92	1.99	1.69	2.27
MgO	0.97	1.44	1.48	1.51	1.39	1.32
K <sub>2</sub> O	0.37	5	4.57	3.69	4.53	4.22
Na <sub>2</sub> O	8.46	3.92	3.52	4.02	4.17	3.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.29	0.19	0.25	0.24	0.22	0.47
LOI	2.19	2.8	2.5	2.4	2.6	2.7
Total	99.92	99.71	99.79	99.53	99.69	99.66

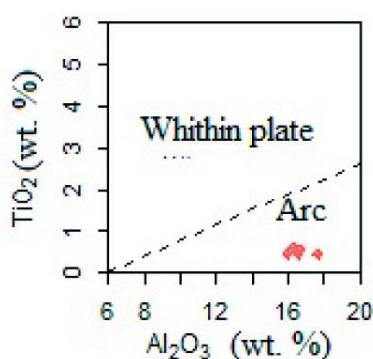


شکل ۹. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین بر اساس ترکیب شیمیایی، الف) بر اساس طبقه‌بندی کاکس و همکاران (Cox et al., 1979) نمونه‌های دایک‌ها عمدتاً در محدوده گرانودیوریت قرار گرفته‌اند، ب) بر اساس طبقه‌بندی میدل‌موست (Middlemost, 1994) نمونه‌های دایک‌ها در محدوده کوارتز مونزونیت تا گرانیت قرار گرفته‌اند

تغییرات ژئوشیمیایی در آنها قابل چشمگیر نیست و نمی‌توان درباره چگونگی فرآیندهای تفریق، ذوب و تبلور آنها بحث نمود. بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی دایک‌های مورد بررسی در یک جایگاه تکتونیکی مرتبط با کمان شکل گرفته است (شکل ۱۱). با توجه به اینکه نمونه‌های کم دگرسان شده غنی از پتاسیم و متعلق به ماگمای شوشونیتی می‌باشند، شوشونیت‌ها و سنگ‌های غنی از پتاسیم مرتبط با کمان‌ها معمولاً در رویدادهای بعد از برخورد تشکیل می‌شوند (Müller et al., 1992)



شکل ۱۰. الف) نمودار مثلثی AFM جهت تفکیک سری‌های تولیتی از کالک‌آلکان در دایک‌های گرانودیوریتی (Irvine and Baragar, 1971). ب) نمایش دایک‌های گرانودیوریتی در نمودار  $K_2O$  در مقابل  $SiO_2$  (Peccerillo and Taylor, 1976)



شکل ۱۱. نمودار  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$ ، نمایش ترکیب دایک‌ها بر روی نمودار جداکننده محیط تکتونیکی (Müller et al., 1992)

## ژئوشیمی واحد آهن‌دار

درصد می‌باشد که اندکی بیش از کلارک این عنصر است. بیشینه غنی‌شدگی آهن در افق هماتیتی تا ۶/۵ برابر نسبت به میانگین آهن در نمونه‌های غیرمیزابلیزه است. مقدار فراوانی عنصر آهن در بیشتر نمونه‌ها در بازه ۲۸ تا ۲۳ درصد وزنی قرار دارد. میانگین عنصر مس در نمونه‌های کانسنگ برابر ۱۶ گرم در تن و بیشینه و کمینه مقدار آن در نمونه‌های مورد بررسی به ترتیب به ۴۰ و ۳ گرم در تن است که از لحاظ اقتصادی بی‌اهمیت می‌باشد. مقدار باریم در بعضی از نمونه‌های کانسنگ قابل ملاحظه است به طوری که یکی از نمونه‌ها دارای ۶/۵ درصد وزنی اکسید باریم دارد (جدول ۲) در حالی که مقدار باریم در سنگ‌های دیواره ناچیز است. این مقادیر نشان‌دهنده کانی‌های باریم‌دار در افق هماتیتی است. میانگین عنصر نقره در نمونه‌های کانسنگ برابر ۰/۹۱ گرم در تن، بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب ۲/۷۰ و ۰/۱۰

داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب ده نمونه از واحد آهن‌دار و چهار نمونه از سنگ‌های غیرمیزابلیزه در جدول ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که یک نمونه فقط برای عناصر اصلی آنالیز شده است. مقدار اکسید آهن در گستره بغل‌بید حدودی بین ۷ تا ۵۶ درصد وزنی را نشان می‌دهد. تمام این مقادیر از کلارک آهن بیشتر است. چندین عنصر دیگر مثل باریم، آنتیموان، روی، سرب، مس و نقره در افق هماتیتی در مقایسه با مقادیر کلارک و دیگر واحدهای سنگی محدوده غنی‌شدگی دارند. میانگین عنصر آهن در کانسنگ برابر ۲۴/۱۸ درصد و بیشینه و کمینه مقدار آن به ترتیب ۳۹ و ۵ درصد می‌باشند. این داده‌ها نشان می‌دهد که مقدار آهن در بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه از کلارک آهن به مراتب بیشتر است. میانگین آهن برای نمونه‌های غیرمیزابلیزه ۶

جدول ۲. مقادیر اکسید عناصر اصلی (درصد وزنی) و عناصر کمیاب (گرم در تن) نمونه‌های واحد آهن دار بغل‌بید، نمونه‌های S, B و T به ترتیب از واحدهای برش، ماسه‌سنگ و لیتیک توف می‌باشند

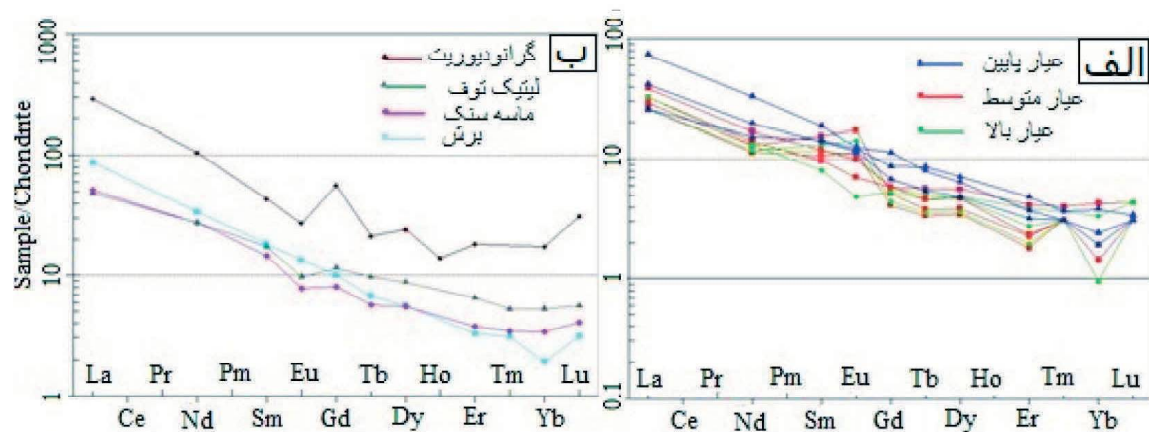
Sample	A9	A8	A7	A6	A5	ES8	ES12	ES17	ES41	ES42	ES11	ES3	ES28	ES21
ore/rock	ore	ore	ore	ore	ore	ore	ore	ore	ore	ore	breccia	breccia	Tuff	sandstone
SiO <sub>2</sub>	47.7	36.5	43.5	47.4	46.43	43.09	45.6	29.02	68.1	64.3	63.54	63.12	66.4	80.51
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.1	0.2	0.2	0.25	0.3	0.34	0.1	0.37	0.59	0.75	0.28	0.52	<0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.51	3.97	4.43	5.44	4.26	6.87	9.71	3.6	6.04	10.1	17.27	17.38	12.4	5.41
FeOt	43	53.9	45.7	39.8	39.96	33.43	36.7	55.87	18.9	13.8	7.8	9.08	7.2	9.28
CaO	1.18	1.31	1.8	2.27	0.21	0.77	1.22	1.01	1.37	3.12	0.57	0.33	3.41	0.33
K <sub>2</sub> O	1.33	1.98	1.47	1.79	<0.1	1.49	3.57	0.9	2.26	2.8	6.88	5.77	2.86	2.6
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12	0.15	<0.1	2.46	>0.1
BaO	0.07	0.1	0.2	0.1	3.18	6.47	0.15	3.1	0.2	0.15	0.1	0.1	0.05	0.1
LOI												3.58	4.49	1.62
Total	98	97.9	97.4	97.1	94.39	92.52	97.4	93.7	97.4	94.9	97.06	96.06	95.2	98.23
Ag	2.7		1.1	0.5	1.1	1.2	0.4	0.6	0.5	0.9	0.1	0.2	0.3	0.2
As	>100		>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	96.8	40.4	24.1	11.3	15.2
Ba	705		1991	998	3703	1870	1633	3415	2114	1449	717	996	281	847
Co	10.5		10.1	9.1	8	8	11.9	10.2	6.3	4.9	2.9	3.7	3.4	10
Cs	1.9		3.5	2.6	4.7	9.2	3.6	4.2	5.3	7.6	14.9	10.8	9.6	2.1
Cu	27		40	3	10	34	9	4	6	24	5	13	3	6
Hf	1.57		1.31	1.59	1.28	1.07	1.03	1.12	1.54	2.21	1.26	1.93	2.35	1.28
Mn	217		320	307	116	182	412	228	2963	729	284	1913	611	1865
Nb	3.4		2.6	3.5	3	1.5	2.3	2.3	2.2	4.3	2.9	4.1	3.5	3.4
Ni	6		3	3	3	5	6	3	5	31	7	5	5	24
Pb	25		102	30	89	106	49	73	26	41	5	6	3	<1
S	676		1135	712	25000	35000	443	22000	659	1144	338	448	402	517
Sb	74.6		>100	45.6	8.9	34.2	59.2	37.7	39	31.6	20.4	14.7	6.4	7.7
Sc	2.2		1.6	2	1.7	1.9	3.6	1.1	2.9	3.9	4.2	3.3	4.1	3.7
Te	0.14		0.14	0.18	0.85	0.21	0.13	0.35	0.23	0.15	<0.1	0.11	0.23	<0.1
Tl	0.17		0.24	0.27	0.2	0.42	0.41	0.18	0.36	0.44	1.14	1	0.6	0.18
V	39		36	26	32	43	35	35	34	46	42	44	33	38
Y	6		5.5	7.6	4.7	3.9	4.9	4.3	6	8.3	7.4	6.7	12.5	6.6
Zn	37		53	43	49	70	44	63	54	50	21	50	41	65
La	10		8	10	9	8	12	8	13	8	23	27	15	16
Ce	12		7	12	10	9	16	8	19	13	46	54	33	34
Pr	0.74		0.34	0.85	0.57	0.39	1.27	0.56	1.72	0.68	3.89	4.64	2.93	2.92
Nd	7.9		7.1	8.4	7.7	6.8	10.1	7.2	11.8	9.1	19.8	20.4	16.5	16.6
Sm	1.58		2.28	1.89	3	2.08	2.32	2.53	2.73	2.8	3.63	3.53	3.35	2.86
Eu	0.36		0.79	0.52	1.26	0.83	0.73	1.03	0.85	0.89	0.92	0.99	0.72	0.58
Gd	1.38		1.49	1.51	1.35	1.07	1.52	1.15	1.76	2.26	2.93	2.6	2.97	2.11
Tb	0.22		0.24	0.27	0.18	0.16	0.22	0.17	0.26	0.41	0.38	0.32	0.46	0.27
Dy	1.58		1.51	1.82	1.25	1.11	1.53	1.17	1.56	2.29	2.08	1.81	2.84	1.78
Er	0.81		0.58	0.87	0.47	0.38	0.49	0.41	0.67	1.02	0.78	0.68	1.37	0.79
Tm	0.12		<0.1	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.12	<0.1	<0.1	0.17	0.11
Yb	0.7		0.4	0.9	0.4	0.2	0.3	0.2	0.4	0.8	0.5	0/4	1.1	0/7
Lu	0.14		<0.1	0.14	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.11	<0.1	<0.1	0.18	0.13

گرم در تن می‌باشد. میانگین این عنصر در سنگ‌های دیواره ۰/۲ گرم در تن است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی عنصر نقره در کانسنگ‌ها نسبت به سنگ‌های دیواره است به طوری که بیشینه غنی‌شدگی به ۱۳/۵ برابر نیز می‌رسد. در بیشتر نمونه‌ها، آرسنیک در کانسنگ بیشتر از ۱۰۰ گرم در تن است و غنی‌شدگی قابل‌توجهی را نسبت به سنگ دیواره نشان می‌دهد. آنتیموان هم در نمونه‌های کانسنگ در مقایسه با سنگ دیواره غنی‌شدگی دارد.

## ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

غنی‌شدگی نسبی LREE نسبت به HREE و پایین بودن مقادیر HREE نیز از خصوصیات کانسارهای گرمایی است (Helvacı, 1984; Xu Bao et al., 2008). میزان و نوع ناهنجاری Eu غالباً با فوگاسیته اکسیژن ارتباط دارد و ناهنجاری‌های مثبت آن اکثراً در محیط‌های شدیداً اکسیدان حاصل می‌شود (Frietsch, 1970; Mason and Moore, 1993; Rollinson, 1982). هماتیت از کانی‌هایی است که در شرایط اکسیدان و در فوگاسیته اکسیژن بالاتری تشکیل می‌شود و ناهنجاری Eu و Yb برای بعضی از نمونه‌های کانسنگ ممکن است به عیار و ظرفیت آهن مرتبط باشد. شکل (۱۲-ب) الگوی عناصر نادر خاکی به‌هنگار شده به کندریت را در دایک، برش، لیتیک توف و ماسه سنگ‌های محدوده بغل‌بید نشان می‌دهد. مقایسه الگوی عناصر خاکی در برش شباهت بیشتری را با الگوی این عناصر در واحد آهن‌دار دارد (شکل ۱۲-ب). دایک‌ها الگویی متفاوت و مقدار کل عناصر نادر خاکی بیشتری دارند.

میانگین مقدار کل عناصر نادر خاکی در نمونه‌های افق هماتیته در محدوده بغل‌بید ۵۰ گرم در تن می‌باشد. شکل ۱۳-الف الگوی این عناصر که به کندریت به‌هنگار شده است را برای این نمونه‌ها نشان می‌دهد. به‌طور کلی الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی در نمونه‌های آهن‌دار تا حدی یکسان و مشابه می‌باشد که روند کاهنده‌ای را با شیب متوسطی از عناصر سبک به سنگین نشان می‌دهند. مقدار کل عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مورد بررسی با افزایش عیار آهن تقریباً کاهش پیدا کرده است به این صورت که در نمونه‌های با مقادیر آهن بیشتر، میزان عناصر کمیاب آن کمتر است. ناهنجاری منفی مشخصی از عنصر Yb در بیشتر نمونه‌های افق آهن‌دار قابل مشاهده است (شکل ۱۲-الف). ناهنجاری Eu در بیشتر نمونه‌ها مثبت و در بعضی نمونه‌ها منفی است. ناهنجاری Eu در کانسارهای آهن گرمایی غالباً مثبت است (Hongo and Nozaki, 2001).



شکل ۱۲. الف) الگوی عناصر نادر خاکی کانسنگ هماتیت به‌هنگار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984)، ب) الگوی عناصر نادر خاکی سنگ‌های دیواره منطقه به‌هنگار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984)

## خاستگاه

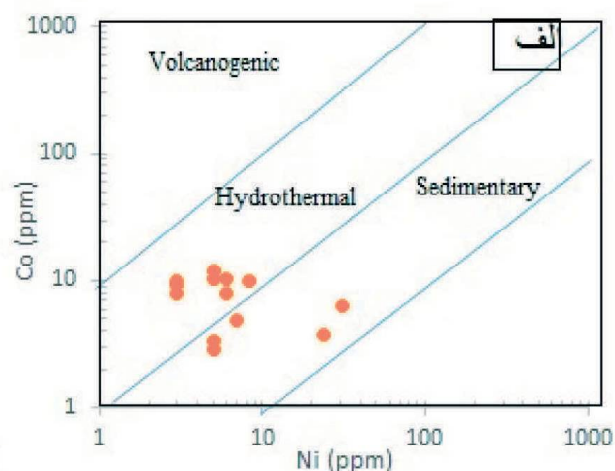
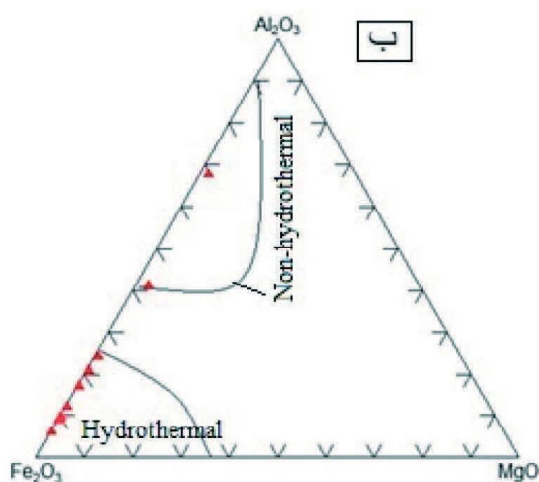
$Al_2O_3$  در سازند نواری سوپریور در بخش اکسیدی ۱/۳۹، بخش سیلیکات ۲/۴۱، بخش کربنات ۱/۴ و در نوع آگوما در بخش اکسیدی ۳، بخش سیلیکات ۱/۵۶، بخش کربنات ۶/۰۷ و بخش سولفید ۶/۲۳ است (Maynard, 1983) در حالی که میانگین  $Al_2O_3$  در منطقه بغل‌بید ۷ درصد وزنی است. میانگین درصد وزنی  $P_2O_5$  در کانسارهای رسوبی سوپریور در بخش اکسیدی ۰/۰۶، بخش سیلیکات ۰/۱،

کانه‌زایی آهن در بغل‌بید شباهتی با کانسارهای آهن رسوبی، دگرگونی و ماگمایی شناخته شده ندارد. به‌عنوان مثال از نظر گسترش یا اندازه، بافت و ساخت و سبک کانه‌زایی واحد آهن‌دار بغل‌بید با سازند آهن‌نوار قابل مقایسه نیست. ژئوشیمی این کانسنگ مورد بحث، نیز با سازند سنگ‌آهن نواری متفاوت است. میانگین درصد وزنی

زیردریایی و خشکی از خود ناهنجاری نشان می‌دهند به طوری که به عنوان عناصر ردیاب در اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال بکار می‌روند. ظاهراً نسبت‌های  $Co/V$  و  $Co/Ni$  شاخص‌های مناسبی برای تشخیص خاستگاه کانه‌زایی آهن است (Bajwah et al., 1987). رجب‌زاده و راستی (۱۳۹۰) نیز از این شاخص‌ها برای بحث خاستگاه کانسار آهن دهیید استفاده کرده‌اند. براساس نسبت  $Co/Ni$ ، اکثر نمونه‌های محدوده بغل‌بید در محدوده کانسارهای گرمایی و تعدادی در محدوده کانسارهای رسوبی واقع شدند (شکل ۱۳-الف). نسبت  $Cr/V$  در اغلب ذخایر سنگ آهن ماگمایی و رسوبی کمتر از ۰/۱ است و این نسبت در ذخایر آهن گرمایی بالاتر از ۱ است (Marschik and Fontbote, 2001). مقدار این نسبت برای کانسنگ آهن بغل‌بید برابر ۱/۱۸ می‌باشد که در محدوده کانسارهای سنگ آهن گرمایی قرار می‌گیرد. مقدار کروم در کانسارهای آهن گرمایی از ۱۰ تا ۳۰۰ گرم در تن گزارش شده است (Bookstrom, 1977). غلظت کروم در نمونه‌های هماتیتی بغل‌بید بین ۲۶-۸۶ گرم در تن متغیر است و میانگین آن در حدود ۴۳/۷ گرم در تن است، بنابراین از لحاظ میزان غلظت کروم، تا حد زیادی این کانسار با کانسارهای گرمایی مشابه می‌باشد. مقدار آلومینیم و منیزیم در واحد سنگ آهن دار بغل‌بید بیشتر شبیه کانسارهای گرمایی است (شکل ۱۳-ب).

بخش کربنات ۰/۱۵ و در نوع آگوما بخش اکسیدی ۰/۲۱، بخش سیلیکات ۰/۴۲، بخش کربنات ۰/۴۴ و بخش سولفید ۰/۱۷ است (Maynard, 1983) در حالی که در منطقه بغل‌بید میانگین درصد وزنی  $P_2O_5$  کمتر از ۰/۱ است. کانسار سنگ آهن بغل‌بید با کانسارهای نوع ماگمایی نیز شباهتی ندارد از لحاظ ژئوشیمی کانسارهای نوع ماگمایی سنگ آهن، دارای تیتانیوم، وانادیوم و گاهی فسفر بالاتری بوده است. یکی از ویژگی‌های کانسارهای آهن با منشا ماگمایی، بالا بودن مقدار وانادیم آنها است (۲۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم در تن) (Nyström and Henriquez, 1994). کانسارهای آهن نوع کایرونا و IOCG نیز با فسفر فراوان و تشکیل ثانویه آلبیت و اکتینولیت مشخص می‌شوند (Mehrabi, et al., 2019). در کانسار بغل‌بید مقدار عنصر تیتانیوم و وانادیوم کم و همبستگی منفی شدیدی با آهن دارد. فرضیه نوع اسکارن نیز برای کانه‌زایی آهن در بغل‌بید منتفی است چون هر چند کانه‌زایی آهن بغل‌بید در مجاورت دایک‌ها رخ داده ولی هیچ اثری از یک هاله دگرگونی و کانی‌های اسکارن در آن دیده نمی‌شود.

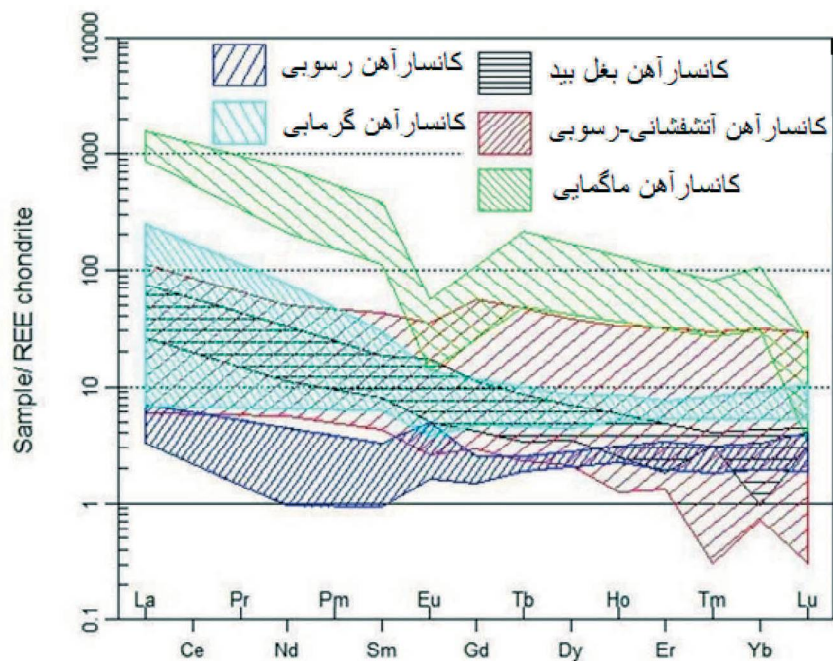
وجود ناهنجاریهایی از عناصر  $As$ ،  $Sb$ ،  $Ag$ ،  $Pb$ ،  $Zn$  و  $Ba$  در واحد سنگ آهن دار بغل‌بید ممکن است نشانگر تشکیل این کانسار از سیالات گرمایی باشد. این عناصر معمولاً در کانسارهای گرمایی مرتبط با آتشفشان‌های



شکل ۱۳. الف) نمودار  $Co-Ni$  در نمونه‌های کانسنگ، محدوده ذخایر آهن گرمایی (Bajwah et al., 1987)، ب) موقعیت نمونه‌های کانسنگ در نمودار مثلثی  $Al_2O_3-Fe_2O_3-MgO$  (Russel et al., 1981)

دمای رگه مس‌دار از دمای کانه‌زایی آهن کمتر است. به نظر می‌رسد دمای زمین‌گرایی در حین فعالیت‌های ماگمایی مرتبط با دایک‌های نیمه‌زرف گرانودیوریتی در منطقه افزایش پیدا کرده و باعث شده آب‌های جوی زیرزمینی گرم شده و ضمن چرخش در واحدهای سنگی منطقه باعث کانه‌زایی در شکستگی‌ها و مناطق نفوذپذیر شوند. کانه‌زایی آهن در مناطق کم‌عمق و در شرایط اکسیدان تشکیل شده است. تشکیل بلورهای کوارتز در حفرات و فضاهای خالی و در اطراف اجزای برش (ساختمان کوکادی) (شکل ۵-ت) نیز ممکن است از شواهد اپی‌ترمال در منطقه باشد.

الگوی REE برای نمونه‌های بغل‌بید از افق هماتیت‌دار در مقایسه با الگوی این عناصر برای کانسارهای آهن رسوبی، ماگمایی، رسوبی-آتشفشانی و گرمابی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. این مقایسه شباهت بیشتر الگوی کانه‌زایی آهن را با الگوی کانسارهای گرمابی و رسوبی-آتشفشانی نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که در راستای همین پژوهش انجام شده، دما و شوری سیالات درگیر در کوارتزهای موجود در رگه کوارتز حاوی کالکوپیریت در منطقه و در کوارتزهای همراه با نمونه هماتیت‌دار در محدوده دما و شوری سیالات درگیر در کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرند (سربوزی حسین‌آبادی، ۱۳۹۶)، بر اساس این اطلاعات



شکل ۱۴. الگوی REE برای نمونه‌های بغل‌بید از افق هماتیت‌دار در مقایسه با الگوی این عناصر برای کانسارهای سنگ آهن رسوبی، ماگمایی، رسوبی-آتشفشانی و گرمابی نرمالیز شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984)، داده‌ها به ترتیب (Helvacı, 1984)، (Helvacı, 1984)، (کازمی راد و همکاران، ۱۳۹۳)، (Fontbote, 2001 Marschik and)

## نتیجه‌گیری

واحدهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه عمدتاً آذرآواری و از تناوب ماسه‌سنگ، لیتیک توف، آگلومرا، کنگلومرا و برش تشکیل شده که توسط دایک‌هایی با ترکیب گرانودیوریت قطع شدند. این دایک‌ها متعلق به سری ماگمایی کالکوالکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی و محیط‌های بعد از کوهزایی می‌باشند. کانه‌زایی آهن در بخش بالایی واحد آگلومرا و برش و نزدیک به دایک‌ها به صورت هماتیت در فضاهای خالی بین اجزای برش تشکیل شده که نشان‌دهنده اپی‌ژنتیک بودن آن است. ژئوشیمی کانسنگ آهن بغل‌بید با ژئوشیمی کانسارهای گرمابی شباهت بیشتری دارد و از نظر مقدار وانادیوم و کروم، نسبت CO به Ni، الگوی عناصر نادر خاکی در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند. وجود ناهنجاری‌هایی از عناصر As، Sb، Ag، و Ba در واحد آهن‌دار بغل‌بید نشانگر تشکیل این کانسار از سیالات گرمابی می‌باشد. سیالات گرمابی آهن را احتمالاً از سنگ‌های

واحدهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه عمدتاً آذرآواری و از تناوب ماسه‌سنگ، لیتیک توف، آگلومرا، کنگلومرا و برش تشکیل شده که توسط دایک‌هایی با ترکیب گرانودیوریت قطع شدند. این دایک‌ها متعلق به سری ماگمایی کالکوالکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی و محیط‌های بعد از کوهزایی می‌باشند. کانه‌زایی آهن در بخش بالایی واحد آگلومرا و برش و نزدیک به دایک‌ها به صورت هماتیت در

آذراواری شسته و در بخش برشی که نفوذپذیری بالایی داشته حمل و متمرکز کرده است. احتمالاً گرمای مرتبط با تشکیل دایک‌های گرانودیوریتی باعث ایجاد و چرخش سیالات گرمایی شده است.

## سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران به جهت حمایت مالی و همچنین از کارکنان محترم بخش اکتشاف معدن سنگان برای فراهم آوردن امکان مطالعات صحرایی قدردانی می‌نمایند. از داوران این مقاله هم برای راهنمایی‌های ارزشمندشان سپاسگزاریم.

## منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۸۵۶.
- رجب‌زاده، م.، ع. و راستی، ص.، ۱۳۹۰. مطالعه کانه زایی کانسار مگنتیت دهبید با استفاده از داده‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی. زمین‌شناسی اقتصادی، ۳، ۲۱۷-۲۳۰.
- سربوزی حسین‌آبادی، آ.، ۱۳۹۶. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانی‌زایی آهن بغل‌بید، جنوب‌شرق معدن سنگان، شرق ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۲۵.
- کاظمی‌راد، م. راستاد، ا. و محجل، م.، ۱۳۹۳. کانه زایی آهن منگنز دارد در دولومیت‌های معادل سازند شتری در شمال خاور دهبید، پهنه سندج-سیرجان جنوبی، استان فارس. فصلنامه علوم زمین، ۹۴، ۳۶۹-۳۸۲.
- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۶۹. بررسی منشا و چگونگی تشکیل کانسار آهن سنگان خراسان. مجموعه مقالات سمینار سنگ آهن، شرکت ملی فولاد ایران، دفتر آموزش و تجهیز نیروی انسانی، ۲۶۹-۲۸۱.
- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۷۷. دما، نحوه تشکیل و پاراژنز مگنتیت در بخش‌های مختلف کانسار آهن سنگان خراسان. خلاصه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، ۱۶۷-۱۶۱.
- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۸۲. کانی‌شناسی، آلتراسیون، سنگ منشا و محیط تکتونیکی کانسارهای Iron-Oxides Cu-Au و مثالهایی از ایران. یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، ۱۸۹-۱۸۴.

- کریم‌پور، م. ح.، سعادت، س. و ملک‌زاده شفارودی، آ.، ۱۳۸۱. شناسایی و معرفی کانی‌سازی نوع Fe-oxides Cu-Au و مگنتیت مرتبط با کمر بند ولکانیکی-پلوتونیک، خواف-کاشمر-بردسکن. بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.

- کریم‌پور، م. ح. و ملک‌زاده شفارودی، آ.، ۱۳۸۵. مقایسه ژئوشیمی سنگ منشاء توده مگنتیت طلا دار تنورچه و مگنتیت بدون طلا ی معدن سنگان، استان خراسان رضوی. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۳، ۴۴۲-۴۳۲.

- کریم‌پور، م. ح. و ملک‌زاده شفارودی، آ.، ۱۳۸۶. ژئوشیمی و کانی‌شناسی زون‌های اسکارنی و سنگ‌شناسی سنگ منشا کانسار آهن سنگان خراسان. فصلنامه علوم زمین، ۶۵، ۱۰۸-۱۲۵.

- گل محمدی، ع.، کریم‌پور، م. ح.، ملک‌زاده، آ. و مظاهری، ا.، ۱۳۹۲. پترولوژی و سن سنجی زیرکن به روش U-Pb در توده‌های نفوذی مناطق A، C جنوبی و دردی معدن سنگ آهن سنگان خواف. زمین‌شناسی اقتصادی، ۵، ۱۷۴-۱۵۵.

- گل محمدی، ع.، مظاهری، ا.، ملک‌زاده، آ. و کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۹۳. سن سنجی زیرکن با روش U-Pb و ژئوشیمی توده‌های گرانیتی سرخر و برمانی، شرق معدن سنگ آهن سنگان خواف. پترولوژی، ۱۷، ۸۳-۱۰۲.

- گل محمدی، ع.، حیدریان شهری، م. ح.، مظاهری، ا.، رحیمی، ب.، کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۹۶. تفسیر ناهنجاری‌های مغناطیسی معادن غربی سنگ آهن سنگان با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و گمانه‌ها. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۱، ۸۷-۱۰۹.

- علوی نائینی، م.، ۱۳۶۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد. سازمان زمین‌شناسی ایران.

- Bajwah, Z. U., Secombe, P.K. and Offler, R., 1987. Trace element distribution, Co:Ni ratios and genesis of the Big Cadiairon-copper deposit, New South Wales, Australia. Mineralium Deposita, 22, 292-300.

- Bookstrom, A.A., 1977. The magnetic deposit of El Romeral, Chile. Economic Geology, 72, 1101-1130.

- Boomeri, M., 1997. Geochemical characteristics of halogen-bearing hastingsite, scapolite



- and phlogopite from the Sangam iron skarn deposits, northeastern Iran. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 92, 481-501.
- Boomeri, M., Mizuta, T., Ishiyama, D. and Nakashima, K., 2006. Fluorine and chlorine in biotite from the Sarnowsar granitic rocks, northeastern Iran. *Iranian Journal of Science and Technology*, 30 (A1), 111-125.
  - Boomeri, M., Ishiyama, D., Mizuta, T., Matsubaya, O. and Lentz, D.R., 2010. Carbon and oxygen isotopic systematics in calcite and dolomite from the Sangam iron skarn deposit, northeastern Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 21, 213-244.
  - Boynton, W. V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. In: *Rare Earth element geochemistry* (Ed. Henderson, P.), Elsevier, Amsterdam, 63-114.
  - Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. Allen and Unwin, London, 450.
  - Folk, R.L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphills. Book Store, Austin, Texas.
  - Frietsch, R., 1970: Trace elements in magnetite and hematite mainly from northern Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 646*, 3, 138.
  - Golmohammadi, A., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Mazaheri, S.A., 2015. Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangam iron skarn deposit, northeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 65,2, 545-563.
  - Hein, J.R., Schwab, W.C. and Davis, A.S., 1988. Co- and Pt-rich ferromanganese crusts and associated substrate rocks from the Marshall Islands. *Marine Geology*, 78, 255-283.
  - Helvacı, C., 1984. Apatite-rich iron deposits of the Avnik (Bingol) region, Southeastern Turkey. *Economic Geology*, 79, 345-371.
  - Hongo, Y. and Nozaki, Y., 2001. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits and calyptogena shell from the Iheya Ridge vent field, Okinawa Trough. *Geochemical Journal*, 35(5), 347-354.
  - Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
  - Marschik, R. and Fontbote, L., 2001. The Candelaria-Punta Del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology*, 96, 1799-1826.
  - Mason, B. and Moore, C. B., 1982. *Principle of Geochemistry*, John Wiley and Sons, 344.
  - Maynard, J. B., 1983. *Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits*. Springer-Verlag, 305.
  - Mehrabi, B., Karimishahraki, B., Banks, D., Boyce, A. and Yardley, B.W.D., 2019. Hydrothermal iron oxide-Cu-Au (IOCG) mineralization at the Jalal-Abad deposit, northwestern Zarand, Iran. *Ore Geology Reviews*, 106, 300-317.
  - Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37, 215-224.
  - Müller, D. and Groves, D.L., 1992. *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization*. Second Updated and Enlarged Edition Springer, 238.
  - Nyström, J.O. and Henriquez, F., 1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna-type in Chile and Sweden, Ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology*, 89, 820-839.
  - Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.

- Rollinson, H. R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation Longman Scientific and Technical, Oxford/John Wiley, New York, 261.
- Russel, M.J., Solomon, M. and Walse J.L., 1981. The genesis of sediment-hosted exhalative Zinc-Lead deposits. *Mineralium Deposita*, 16, 113-127.
- Scholten, L., Schmidt, C., Lecumberri-Sanchez, P., Newville, M., Lanzirrotti, A., Sirbescu, M.L.C. and Steele-MacInnis, M., 2019. Solubility and speciation of iron in hydrothermal fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 252, 126-143.
- Siegel, F.R., 1979. Reviews of research on modern problems in geochemistry. International Association for Geochemistry and Cosmochemistry, Earth Sciences 16, Unesco.
- Ternet, Y., 1990. Explanatory text of the Taybad quadrangle map of 1/250,000. Geological Survey of Iran, Tehran, 200.
- Whitney, D. and Evans, B. D., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 1, 185-187.
- Xu Bao, S., Yang Zhou, H., Tong Peng, X., Wu Ji, F. and Qiang Yao, H., 2008. Geochemistry of REE and yttrium in hydrothermal fluids from the Endeavour segment, Juande Fuca Ridge. *Geochemical Journal*, 42, 4, 359-370.