

مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی در کانی‌سازی آهن منطقه تویه دروار، دامغان

زهرا لطفی^{۱*}، علی اکبر حسن نژاد^۲، سید محمود حسینی نژاد^۲

۱- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه دامغان

۲- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه دامغان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۸/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

چکیده

معدن سنگ آهن تویه دروار در فاصله ۴۵ کیلومتری شمال غرب دامغان، در بخش جنوب خاوری چهار گوش کیاسر قرار دارد. کانه‌زایی آهن به صورت توده‌ای همراه با رگه‌های کلسیت و سیلیس در سنگ‌های میزبان کربناته با سن تریاس تشکیل شده است. کانه اولیه و اصلی این کانسار مگنتیت بوده است که هماتیت دگرسان شده است. داده‌های ژئوشیمیایی کانسنگ نشان می‌دهد عیار آهن از ۳۴ تا ۸۸ درصد وزنی در تغییر است. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که سامانه‌های گسلی، درز و شکاف‌ها به عنوان مسیر حرکت سیالات کانه‌دار عمل کرده‌اند. بر اساس شواهد ساخت و بافت، داده‌های ژئوشیمیایی از جمله بالا بودن مقادیر فسفر، تیتانیوم و وانادیوم، همبستگی مثبت آهن با وانادیوم ($r=0/80$) و بی‌هنجاری مثبت Ce، می‌توان گفت که احتمالاً سیال کانه ساز منشأ ماگمایی دارد و توده گرانیتوئیدی تویه به عنوان منشأ فلزات و موتور حرارتی عمل کرده است و کانسار آهن تویه دروار به صورت متاسوماتیزم در داخل سنگ میزبان کربناته رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: تویه دروار، زمین شیمی، سیال ماگمایی، کانسار آهن، کانه‌زایی

مقدمه

ذخایر معدنی، تأثیر مهمی در استقلال صنعتی و تولید ناخالص داخلی کشورها دارند. ایران از جمله کشورهایی است که از دیرباز به داشتن منابع معدنی متنوع فلزی و غیر فلزی شهرت داشته است. تنوع سنگ‌شناسی، موقعیت تکتونیکی و قرارگیری بر روی نوار کوهزایی آلپ- هیمالیا از جمله عواملی است که شرایط مطلوبی را برای تشکیل و تمرکز مواد معدنی در ایران زمین فراهم نموده است. تاکنون بیش از ۲۰۰ کانسار و نشانه معدنی آهن در ایران شناسایی شده است که در مجموع ذخایر آنها به بیش از چهار میلیارد تن سنگ آهن می‌رسد. عیار آهن در این ذخایر، از ۵۵ تا ۶۰ متغیر است. کانسارهای آهن به اشکال مختلف ماگمایی، پگماتی، گرمابی و رسوبی ظاهر می‌شوند که در این میان کانسارهای نوع رسوبی و ماگمایی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. کانسارهای ماگمایی در مقایسه با کانسارهای رسوبی، تا اندازه‌ای کمیاب‌ترند و بیشتر در پیوند با سنگ‌های سینیتی‌اند و همراه با آنها یافت می‌شوند. کانسارهای ماگمایی اکسید آهن از ماگماهایی با ترکیب مشخص و در محیط‌های تکتونیکی خاص تشکیل می‌شوند (هیتزمن، ۲۰۰۰؛ هیتزمن و همکاران، ۱۹۹۲؛ کوریو، ۲۰۰۰؛ لیبور، ۱۹۹۵). این ماگماها از نظر ترکیب شیمیایی در محدوده کالک آلکالن تا آلکالن (جانسون، ۲۰۰۰؛ هارلو و همکاران، ۲۰۰۲؛ فریتز، ۱۹۷۸؛ نسلوند و همکاران، ۲۰۰۰؛ بارتون و جانسون، ۲۰۰۰) و در محیط‌های تکتونیکی کشتی که در امتداد حاشیه قاره و مرتبط با ماگماتیسم غیرکوهزایی درون قاره‌ای و یا بعد از کوهزایی درون قاره‌ای می‌باشند (هیتزمن و همکاران، ۱۹۹۲)، واقع می‌شوند. آنالیزهای ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین آذرین ناحیه تویه‌دروار

(خانعلی‌زاده، ۱۳۸۴)، بیانگر وجود ماگمای اسیدی با ترکیب آلکالن در منطقه است. عیار آهن در کانسارهای ماگمایی معمولاً کمتر از ۶۰ درصد و عیار فسفر آنها در حدود ۲ درصد است. عیار گوگرد در آنها پایین و کمتر از ۵ درصد است. شکل کانسار بیشتر رگه‌ای و عدسی مانند و معمولاً در مجاورت سنگ‌های نیمه قلیایی خاکی است و یا میان انواع فرآورده‌های نفوذی کمپلکس جای دارد. نفوذی‌های زاینده سنگ آهن، سن‌ها و ترکیب‌هایی گوناگون دارند. ترکیب آنها ممکن است گرانیت، کراتوفیر، آپلیت، سینیت و غیره باشد. تمام این کانسارها دارای تیتانیوم زیاد است و تیتانیوم یا بصورت تیتانومانیتیت، همراه یا بدون تیغک‌های مربوط به تفکیک کانی و یا بصورت ایلمنیت همراه مانیتیت خالص ظاهر می‌شود. در این کانسارها غالباً مقداری وانادیوم نیز وجود دارد که به طور محلی ممکن است قابل استخراج باشد. منطقه تویه‌دروار در شمال‌باختری دامغان دارای ذخایر بسیار باارزشی از نهشته‌های اکسیدی آهن (مگنتیت و هماتیت) در درون سنگ‌های رسوبی است و مطالعات زمین‌شناسی این ذخایر در شناخت نوع، جایگاه سنگ شناختی- تکتونیکی و پی‌جویی ذخایر پنهان دارای اهمیت فوق العاده‌ای است. این مقاله می‌کوشد تا با معرفی نهشته آهن در این منطقه و با استفاده از داده‌های جدید مطالعات صحرایی و کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی به روشن شدن مسایلی چون شرایط تشکیل کانسار و تحولاتی که پس از تشکیل در آن به وقوع پیوسته و در نهایت ژنز کانسار کمک نماید.

مواد و روش‌ها

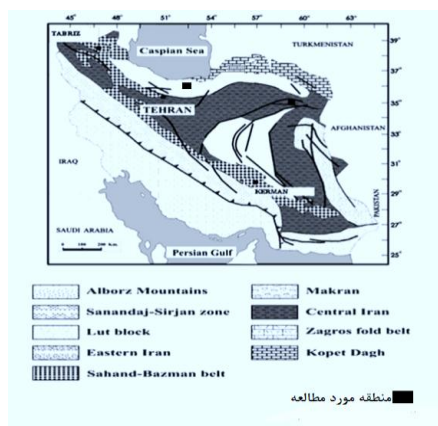
با توجه به اینکه بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و ژئوشیمیایی زون آهن‌دار و شناخت هرچه

کانی‌شناسی و بافت ماده معدنی در ارتباط با باطله به دقت مورد مطالعه قرار گرفت. ۶ نمونه نیز به روش XRD کانی‌شناسی شده است. به منظور تعیین ویژگی‌های کانسنگ آهن و سنگ‌های فراگیر و آگاهی از نحوه زایش آهن، تعداد ۲۰ نمونه معرف انتخاب شده و به آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود ارسال گردید و به روش EPMA (تجزیه شیمی بلور) و XRF (تجزیه ترکیب شیمیایی) مورد آنالیز قرار گرفت. لازم به یادآوری است که این تنوع در روش‌های تجزیه و نمایش نتایج آن می‌تواند در امر شناخت کانسنگ، ویژگی‌های مختلف شیمی بلور آن بسیار ارزشمند باشد و در مواردی، بررسی دقیق ارتباط بین فازهای کانیایی درگیر در کانسنگ و نیز گانگ، به بهینه‌سازی روش‌های کانه آرایی منجر شود.

نتایج

۹ دقیقه تا ۳۶ درجه شمالی در بخش جنوب خاوری برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر و در قسمت شرقی پهنه ساختاری البرز مرکزی واقع شده و دارای تاریخچه تحولات زمین‌شناسی این زون ساختاری است (شکل ۱).

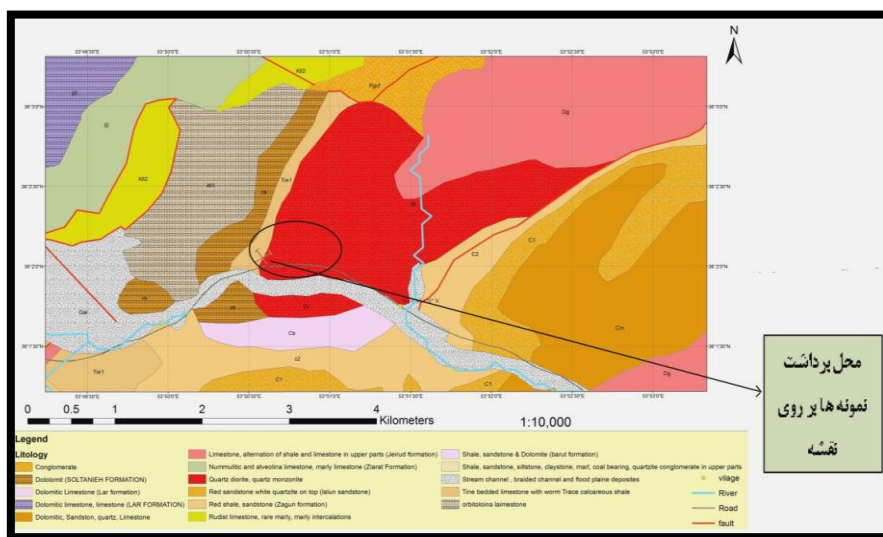
بیشتر کانسنگ آهن در امر فرآوری مواد معدنی و نیز مشخص شدن روند ژنتیک و الگوی اکتشافی آن نقش بسزایی دارد، در این پژوهش کانسنگ آهن مگنتیتی تویه‌دروار از نگاه کانه‌نگاری، شیمی بلور و ژئوشیمی مورد توجه خاص قرار گرفته و سعی شده است افزون بر بررسی دقیق کانی‌شناسی فازهای اصلی کانسنگ آهن، به الگوی تمرکز عناصر کمیاب در شبکه کانی‌های کانسنگ آهن در کانسار پرداخته شود. در این راستا، ۷۵ نمونه شاخص از کانسنگ مگنتیتی، سنگ میزبان کربناتی و سنگ‌های آذرین به صورت هدفمند در امتداد ۵ پیمایش طولی و عرضی و بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی برداشت شد. مطالعات پتروگرافی و مینرالوگرافی با استفاده از میکروسکوپ‌های انعکاسی و انعکاسی بر روی ۲۵ عدد بلوک صیقلی، ۲۹ عدد مقطع نازک و نازک-صیقلی در دانشگاه دامغان انجام شد و ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه معدنی: ذخیره معدنی مورد مطالعه در ۴۵ کیلومتری شمال‌غرب دامغان، در شمال روستای تویه‌دروار مابین طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه و ۹ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۶ درجه و



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ساختاری ایران (نبوی، ۱۳۵۵)

با صخره و پرتگاه‌های خطرناک است، به نظر می‌رسد که فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه به طور گسترده‌ای عمل کرده است به همین دلیل دارای مورفولوژی و توپوگرافی متنوعی است به طوری که در بعضی از مناطق پیمایش به سختی صورت می‌گیرد. شیب عمومی لایه‌ها در این ناحیه به سمت جنوب شرق و امتداد لایه‌ها شرقی- غربی است. بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰، منطقه کانی‌سازی شده از سنگ‌هایی با طیف سنی پرکامبرین تا کامبرین (دولومیت و شیل)، کامبرین پیشین، ماسه سنگ قرمز (سازند زاگون، لالون)، کامبرین میانی تا بالایی (سازند میلا)، تریاس زیرین تا اوایل تریاس فوقانی (آهک ورمیکوله)، ژوراسیک فوقانی تا اوایل نئوکومین (آهک‌های صخره ساز و میکروفسیل‌دار)، پالئوسن تا ائوسن میانی (کنگومرای فجن) رخنمون دارند. همچنین سنگ‌های آذرین نفوذی نیمه عمیق با ترکیب سینیت کوارتزاردار مربوط به تریاس میانی- فوقانی با وسعت بالایی در مجاورت توده معدنی برونزد دارند. از مشخصات صحرایی بارز توده آذرین، ظاهر تیره و مورفولوژی هموار آن می‌باشد (شکل ۲).

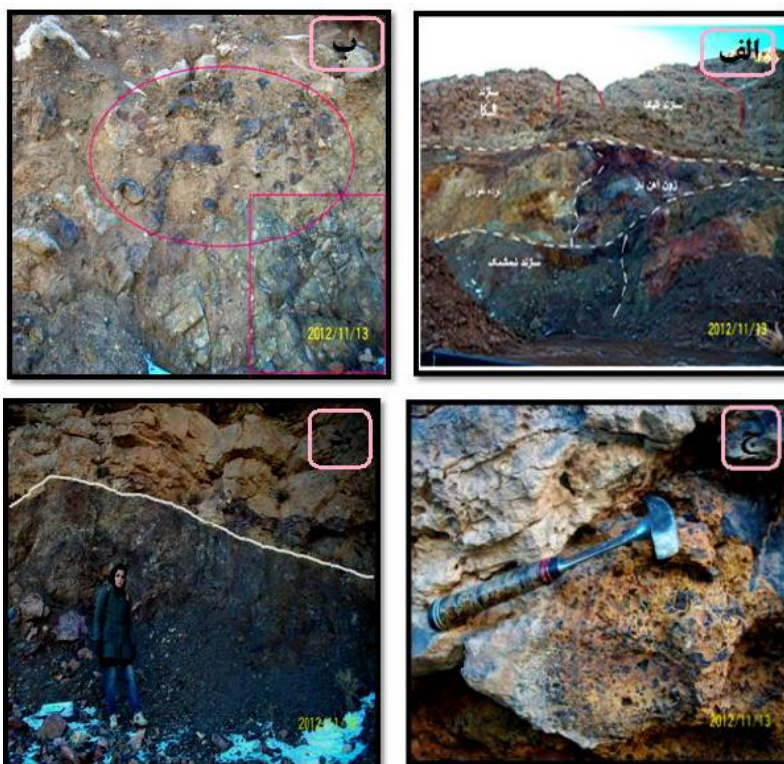
در این منطقه اگرچه ردیف‌های رسوبی، از قدیم به جدید وجود دارد ولی هیچگاه این ردیف‌ها منظم نبوده و پدیده‌های زمین‌ساختی باعث برهم زدن این ردیف و یا حذف آن گردیده است. سنگ‌های مربوط به سازند بایندر، نه در تماس با سلطانیه قابل دیدن است و نه در تماس با سازند کهر. آنچه مسلم است، سازند بایندر در منطقه وجود داشته ولی راندگی‌های پیایی ورقه‌های مختلف، باعث پوشیده شدن این سازند شده است. بخش‌های زیرین سازند سلطانیه نیز در هیچ نقطه از منطقه مورد مطالعه دیده نمی‌شود. مرز پایینی سازند شمشک نیز به درستی مشخص نیست و احتمالاً در معرض راندگی قرار گرفته و بخش‌های زیادی از آن حذف شده است. منطقه مورد مطالعه دارای عناصرزمین‌ساختی همچون گسل‌های آستانه، تویه و دروار با فعالیت آشکار در کواترنری است. دگرشکلی شکننده و گسل‌ها نقش اساسی در تکوین این منطقه دارند و لایه‌های چین خورده محدود به گسل‌ها هستند (خانعلی زاده، ۱۳۸۴). ژئومورفولوژی منطقه متأثر از آب و هوا، جنس سنگ‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی است. شامل تپه-هایی با شیب ملایم تا نسبتاً زیاد و کوه‌های مرتفع



شکل ۲: نقشه منطقه تویه دروار با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰

(جلیلی و طلایی، ۱۳۹۱). همچنین عملکرد گسل-ها، به خصوص انواع تراستی و فشارهای تکتونیکی ناشی از آن سبب ایجاد درز و شکافهای زیاد در این توده شده است. روراندگی موجود در منطقه باعث رانده شدن سازند الیکا بر روی سازند شمشک شده است و با توجه به اینکه توده نفوذی و ماده معدنی در مجاورت هم قرار دارند و در رأس سازند الیکا تزریق شده اند، نشانگر آنست که توده نفوذی بر خلاف گزارشهای قبلی مبنی بر نفوذ در سازند سلطانیه (خانعلی زاده، ۱۳۸۴)، در سازند الیکا نفوذ کرده است و دارای سن تریاس میانی-بالایی می باشد (شکل ۳-الف).

دارای حاشیه انجماد سریع، تیره تر و ریزدانه است و به تدریج به سمت داخل توده دانه درشت تر و حتی در بعضی قسمت ها به دلیل تفریق، روشن تر می شود. در بخش هایی از این توده، دایک های پگماتیتی که به مراحل انتهایی فاز تأخیری مربوط هستند دیده می شود. از دیگر مشخصات صحرایی بارز توده می توان به فرسایش پوست پیازی اشاره نمود. انکلاوهای موجود در حاشیه توده گرد شدگی خوبی دارند که اندازه آنها بین ۱ تا ۲۰ سانتی متر در حال تغییر است. جنس انکلاوها از خود توده می باشد، هرچه به توده نزدیکتر می شویم از میزان انکلاوها کاسته می شود و نشان دهنده فاصله گرفتن از حاشیه توده می باشد



شکل ۳: الف) نمایی از ماده معدنی و سنگ میزبان. ب) رخنمون ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه. ج) بافت برشی و هاله واکنشی از آهن (که گویای نفوذ آهن در سنگ های دربرگیرنده است). د) مرز ناپیوسته سنگ میزبان و ماده معدنی.

کانسار آهن نشان می‌دهد که کلسیت و دولومیت کانی‌های اصلی (بین ۹۰-۸۵ درصد) و هماتیت و کوارتز (بین ۱۵-۱۰ درصد) این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. در سنگ‌های دولومیتی سیلیسی شده میزبان کانسار، سیلیس به شکل ریزدانه و رگچه‌ای در متن سنگ و به شکل رگه‌ای در منطقه کانه‌زایی قابل مشاهده است. سیلیسی شدن سنگ میزبان موجب آماده سازی زمینه (Ground Preparation) کانه‌زایی شده است که با افزایش قابلیت خردشدگی سنگ تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی و در نتیجه افزایش تراوایی سنگ میزبان همراه است. باتوجه به مطالعات سنگ‌نگاری واحدهای پلوتونیکی منطقه را نیز می‌توان به ۳ گروه اصلی کوارتز مونوزودیوریت، کوارتز مونزونیت و مونزونیت تقسیم کرد.

کوارتز مونوزودیوریت: کانی‌های اصلی تشکیل دهنده کوارتز مونزونیت‌ها پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار و کوارتز می‌باشد. در این نمونه بافت‌های گرانولار، گرافیکی و میرمکتی قابل مشاهده هستند. آلکالی فلدسپارها به شکل بلورهای شکل-دار و نیمه شکل‌دار و در اندازه‌های ۱ تا ۲ میلیمتر حضور دارند. از شاخصه‌های مهم آن می‌توان به بافت پرتیتی و تجزیه به سرسیت اشاره نمود. بلورهای کوارتز که در مراحل پایانی تبلور ماگما، متبلور شده‌اند به صورت بی‌شکل فضای میان سایر بلورهای شکل‌دار را پر کرده است. پلاژیوکلاز به صورت تیغه‌ای، تخته‌ای، ایدیومورف و نیمه شکل‌دار با اندازه ای حدود ۱ تا ۳ میلیمتر در تغییر است. ترکیب شیمیایی پلاژیوکلاز با توجه به اندازه گیری‌های به عمل آمده با استفاده از روش میشل لوی در حد الیگوکلاز تا آندزین تعیین شده است. منطقه بندی ترکیبی از ویژگی-های این پلاژیوکلاز است که تأیید کننده تبلور سریع (عمق کم نفوذ توده) می‌باشد و پلاژیوکلازها

مطالعات چینه‌نگاری و مشاهده آهک‌های توده‌ای با زیست آشفستگی شدید (Vermiculate) در پیمایش‌های صحرائی و مشاهده آهک‌های میکروفسیل‌دار (گاستروپودا و پلسی پودا) در مقیاس میکروسکوپی نیز تأییدی بر اینست که سنگ میزبان کانه‌زایی واحدهای کربناته‌ای است که تحت تأثیر نفوذ سیالات کانه‌دار قرار گرفته و به شکل رخنمون‌های بزرگ در مشاهدات صحرائی قابل تشخیص است. کانی‌سازی آهن در این منطقه به صورت توده‌ای و عموماً از جنس مگنتیت و هماتیت است. بررسی‌های بافتی و ساختی در ناحیه نشان می‌دهد که ماده معدنی از توده گرانیتوئیدی منشأ گرفته و در سنگ‌های کربناته میزبان نفوذ کرده است. توده نفوذی در منطقه به عنوان منشأ فلزات و موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش سیالات از داخل رسوبات شده است. این فرایند باعث رانده شدن سیالات آهن‌دار به داخل سنگ‌های رسوبی شده و موجب کانه‌زایی آهن در درون شکستگی‌ها و سیستم‌های گسله به صورت متاسوماتیزه شده است. در این راستا، گسل‌های منطقه نیز به عنوان گذرگاه‌هایی برای عبور و انتشار سیالات، با کانه‌زایی مرتبط می‌شوند. تأمین کننده اصلی عناصر کانه‌ساز، سیالات ناشی از فرایندهای تفریق و تبلور بوده است. حضور آهن برشی شده در ارتباط با سنگ میزبان نشانگر ورود سیال کانه‌زا به درون سنگ-های میزبان در امتداد فضا‌های کششی است (شکل ۳-ج).

پتروگرافی: به منظور بررسی دقیق واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه تویه دروار از نظر ویژگی‌های کانی‌شناختی و بافتی، نمونه‌برداری از سنگ میزبان، توده نفوذی و کانسنگ آهن انجام و نمونه‌ها مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند. مطالعه مقاطع نازک و نازک-صیقلی سنگ میزبان

فرعی این سنگ را تشکیل می‌دهند. اسفنهاي ثانويه حاصل واکنش TiO_2 آزاد شده از کانی‌های آهن و منیزیم‌دار (بیوتیت) و تیره (اکسید آهن-تیتان) با CaO حاصل از تخریب پلاژیوکلاز و SiO_2 موجود در محیط می‌باشند.

مونزونیت: این سنگ‌ها بخش روشن و تفریق یافته توده را شامل می‌شوند. بافت چیره هیپیدئومورف گرانولار می‌باشد. در نمونه‌های مونزونیتی، کانی اصلی پلاژیوکلاز درشت بلور است که خمیره سنگ را تشکیل داده است. منطقه‌بندی نوسانی از ویژگی‌های این پلاژیوکلاز است. کانی‌های ثانویه شامل بیوتیت، زیرکن، آپاتیت، اسفن، کلسیت، کانی رسی و سرسیت است.

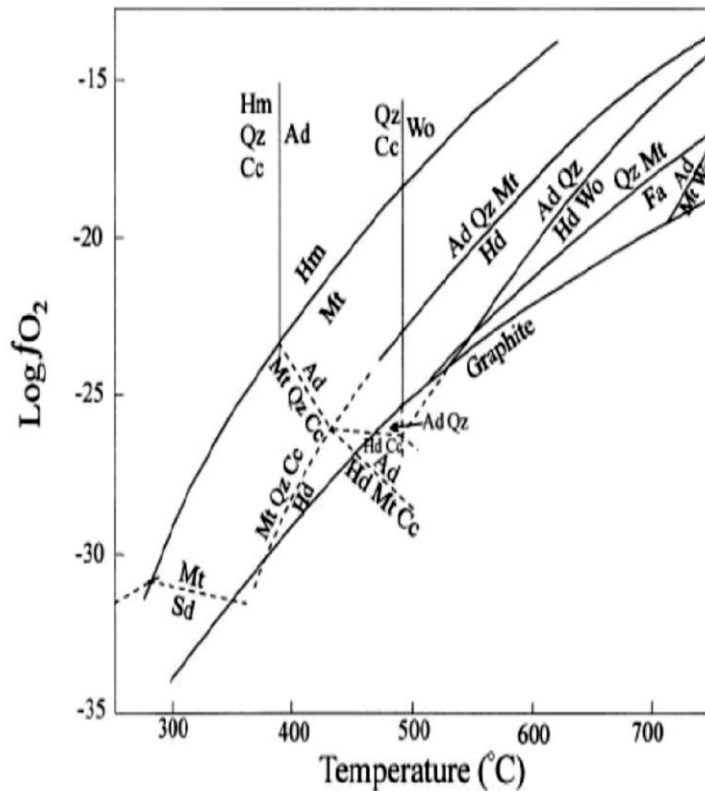
مطالعات کانه‌نگاری

کانه‌های اولیه

مگنتیت: مطالعه مقاطع صیقلی نشان می‌دهد که کانسار آهن تویه‌دروار دارای ترکیب کانی‌شناسی ساده‌ای بوده و مگنتیت کانی اصلی سنگ آهن تویه‌دروار را تشکیل می‌دهد. این کانه در مرحله اکسیداسیون دما بالا تشکیل شده است. مگنتیت در درجه حرارت بالا حاوی هماتیت به شکل محلول در خود بوده و به هنگام افت دما باعث تشکیل هماتیت به شکل خطوط مارپیچ در جهات کریستالوگرافی آن شده است. در فوگاسیته اکسیژن حداکثر 10^{-25} فعالیت آهن به عنوان فرآیند کانی‌شناسی توسعه یافته افزایش می‌یابد (گرگ و واگون، ۱۹۹۴). طبق دیاگرام $\log f_{O_2}$ در شکل ۴، به دلیل حضور Fe^{2+} در ترکیب شیمیایی مگنتیت، این کانی در فوگاسیته اکسیژن کم‌تری نسبت به هماتیت پایداری از خود نشان می‌دهد.

اکثراً به سرسیت و کلسیت تجزیه شده‌اند. منطقه-بندی یک الگوی منظم از تغییرات شیمیایی، در کانی‌های محلول جامد می‌باشد و نشان دهنده واکنش‌های متوالی ناقص بین بلورهای محلول جامد با مذاب‌های در برگیرنده می‌باشد. واکنش‌های متوالی ناقص بین بلوری باعث تغییر ترکیب بلور از مرکز تا حاشیه می‌شوند. در واقع، منطقه بندی شاهدهی برای تبادل انتشار یونی بسیار کند Ca و $Si, NaAl$ در طی تبلور کانی می‌باشد. از بارزترین و فراوان‌ترین کانی‌های فرعی موجود در این سنگ آپاتیت‌ها می‌باشند که به صورت سوزن-های کشیده‌ای دیده می‌شوند که از تبلور سریع و موضعی ماگمای مافیک داغ آمیخته شده با ماگمای فلسیک نسبتاً سردتر تشکیل شده‌اند (هویه و دیپر، ۱۹۹۱). همراهی کانی‌های اپک با مجموعه بیوتیت‌های سبز موید این نکته است که سیالات کانه‌زا غنی از آهن بوده و علاوه بر آزاد نمودن آهن از بیوتیت‌های اولیه، کانی‌های اپک را بر جا گذاشته‌اند.

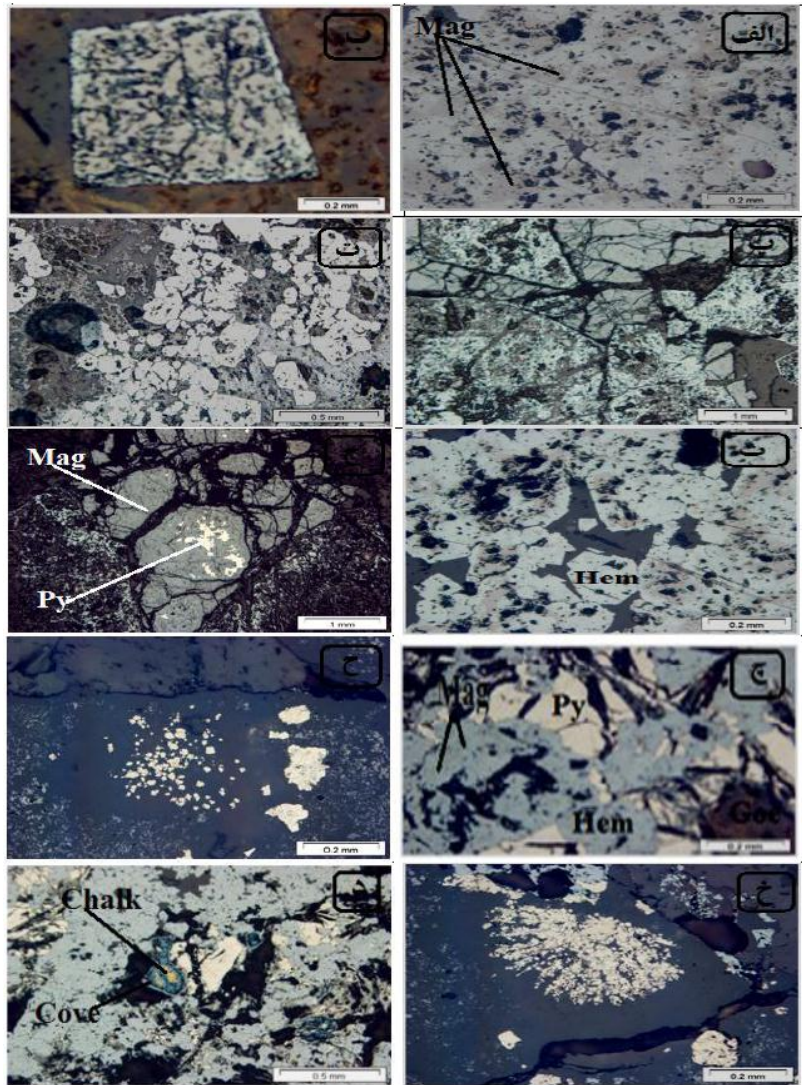
کوارتز مونزونیت: کوارتز مونزونیت‌ها در نمونه دستی و سطح شکست تازه به رنگ خاکستری دیده می‌شوند. در این سنگ‌ها پلاژیوکلاز به صورت ایدیومورف و در اندازه‌های ۲ تا ۳۲ میلی‌متر با ماکل پلی‌سنتتیک بوده و در برخی مقاطع در حال تجزیه به سرسیت می‌باشد. آلکالی فلدسپارها غالباً در حال تجزیه به کانی‌های رسی هستند. کوارتز نیز در اندازه‌های ۰/۵ تا ۰/۷۵ میلی‌متر و با درصد حجمی ۱۲ درصد با شکستگی و خاموشی موجی حاصل از فشارهای وارد شده قابل مشاهده می‌باشد. هورنبلند، بیوتیت، آپاتیت و اسفن کانی‌های



شکل ۴: نمودار $\log f_{O_2}$ در فشار ۵۰۰ بار و X_{CO_2} برای سیستم Ca-Fe-Si-C-O-H (اینادی و برت، ۱۹۸۲)

کاتاکلاستیک تشکیل می‌شود. اثرات اکسیداسیون مگنتیت به هماتیت، گوتیت و لیمونیت در امتداد شکستگی‌ها و ترک‌های توده‌های معدنی فراوان است. اکسیداسیون مگنتیت به هماتیت در زیر میکروسکوپ به صورت جانشینی منطقه‌ای با هسته‌هایی از مگنتیت باقی مانده به شکل منطقه-بندی (مارتیتی‌شدن) قابل مشاهده است (شکل ۵-الف، ث).

عمده‌ترین بافت‌های مشاهده شده در مگنتیت، بافت‌های گرانولار، برشی (کاتاکلاستیک)، مارتیتی و جانشینی است. بافت کاتاکلاستیک از قطعات بلورین پودری تا چند سانتی متری تشکیل شده است. (ردمن و ریلی، ۱۹۷۰)، بر این باورند که به دلیل افزایش اکسیژن در محتوی ثابت کاتیون، بلورهای مگنتیت در واحد حجم، طی فرایند اکسایش در دمای پایین افزایش می‌یابند و بافت



شکل ۵: الف) پدیده مارتیزاسیون و تبدیل مگنتیت به هماتیت، ب) مگنتیت خودشکل مارتیتی شده، پ) مگنتیت با بافت کاتاکلاستیک، ت و ث) هماتیت جانشین شونده در قالب مگنتیت، ج) تأخیری بودن مگنتیت نسبت به پیریت، چ) جانشینی دروغین پیریت به وسیله هماتیت، ح) پیریت با بافت افشان، خ) پیریت برشی شده، د) تبدیل کالکوپیریت به کولیت

واکنش ۲) $Fe_3O_4 (Magnetite) + 2H^+ = Fe_2O_3 (Hematite) + Fe^{2+} + H_2O$
 واکنش بالا یک واکنش اکسیداسیون- احیا نیست بلکه تبدیل مگنتیت به هماتیت را که به علت شست و شوی Fe^{2+} در یک محیط اسیدی رخ داده است را نشان می‌دهد (اهموتو، ۲۰۰۳). این واکنش‌ها ممکن است سازوکار اصلی برای انتقال اکسیدهای آهن در طبیعت، مخصوصاً در محیط-

مارتیتی شدن به عنوان یک فرایند بعد از تشکیل کانی، اغلب در حواشی دانه‌ها و امتداد سطوح رخ معمول است و طبق واکنش ۱ به وقوع می‌پیوندد (ماکه و کارال، ۲۰۰۵).
 واکنش ۱) $2Fe^{2+} + Fe^{3+} + O_4(Magnetite) + 0.5O_2 = 3 Fe^{2+} + O_3 (Hematite)$
 البته در تشکیل بافت مارتیتی واکنش‌هایی مانند واکنش ۲ نیز می‌توانند نقش داشته باشند:

(شکل ۵-ج). پیریت‌های نوع دوم در مقاطع به صورت کاملاً خود شکل و یوهدرال دیده می‌شوند (شکل ۴-ح). این نوع پیریت‌ها، همان پیریت‌های نسل اول هستند ولی چون فضای کافی برای رشد نداشته‌اند به صورت کاملاً خود شکل تشکیل شده‌اند (رامدهور ۱۹۸۰). در مواردی در اثر فشار سیالات یا فشار دینامیکی، دانه‌های پیریت خرد شده و بافت برشی و کاتاکلاستیکی را نشان می‌دهند (شکل ۵-خ). فرآیند کششی اعمال شده در منطقه نیز بر روی پیریت اثر گذاشته و حالت گسیختگی را به وجود آورده است.

کانه‌های ثانویه

هماتیت: در بخش‌های نزدیک سطح زمین در مناطقی که کانسار رخنمون داشته و مگنتیت در معرض هوازدگی قرار گرفته، هماتیت تشکیل شده است. با توجه به بافت‌های موجود تمامی هماتیت‌ها تشکیل شده در کانسنگ از نوع ثانویه هستند و طی فرآیند مارتیتی شدن از اکسایش مگنتیت به وجود آمده‌اند. مارتیتی شدن از حاشیه دانه‌های مگنتیت و در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ شروع شده و در مراحل پیشرفته‌تر در بخش‌های درونی کانه توسعه پیدا کرده است. در مواردی بخش بیشتر مگنتیت به هماتیت تبدیل و فقط آثاری از آن به صورت لکه‌هایی باقی مانده است. گاهی هماتیت‌ها کاملاً جایگزین مگنتیت شده است و سنگ دیگر هیچگونه خاصیت مغناطیسی ندارد. در این حالت ساختمان داخلی مگنتیت با حفظ رخ‌های اکتائوری حفظ شده‌اند. گوتیت: پایدارترین کانی اکسیدی آهن‌دار گوتیت می‌باشد که بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، قسمت اعظم کانی‌های سولفیدی در زون اکسیدان دچار انحلال شده، یون گوگرد آن از محیط خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای مانده‌اند. گوتیت در منطقه عمدتاً به صورت بی-

های گرمابی باشند. اگر تبدیل مگنتیت به هماتیت در اثر واکنش‌های اکسیداسیون- احیا رخ داده باشد و کانی پیریت هم در محل حضور داشته باشد تماماً به هماتیت اکسیده می‌شوند، زیرا در شرایطی که کانی مگنتیت می‌تواند به هماتیت اکسیده شود حتماً کانی پیریت نیز با شدتی بیشتر از مگنتیت اکسیده می‌شود (کامی و اهموتو، ۲۰۰۰). مارتیتی شدن به میزانی گسترده در کانسار تویه دروار دیده می‌شود (شکل ۵-چ). نمونه‌ای از بافت مارتیتی شدن را نشان می‌دهد. در این مقاطع مشاهده می‌شود که کانی مگنتیت به هماتیت تبدیل شده است و دانه‌های پیریت نیز به هماتیت تبدیل شده‌اند و این با رابط ۱ قابل تفسیر است. بر اساس نظر بابکی (۱۳۸۳)، بافت توده‌ای در مگنتیت بیانگر غلظت بالای یون آهن نسبت به اسید سیلسیلیک می‌باشد و بافت گرانولار از لحاظ ترمودینامیکی بیانگر فشار و دمای مناسب تبلور می‌باشد (پورخاک، ۱۳۸۲). مگنتیت در نمونه‌های گرفته شده از اندیس تویه دروار در نور پلاریزه به رنگ قهوه‌ای کم‌رنگ دیده می‌شود. این رنگ طبق نظر رامدهور (۱۹۸۰) به دلیل خارج نشدن Ti از شبکه مگنتیت به صورت برون رستی و به دلیل سرد شدن سریع سیال حاوی اکسید آهن است.

پیریت: بر اساس مطالعات مینرالوگرافی صورت گرفته، دو نوع پیریت در کانسار تویه دروار مشخص شده است. نسل اول کانی پیریت به صورت بلورهای بی‌شکل هستند که همراه با کانی‌های باطله در توده نفوذی و همچنین با مگنتیت در کانسنگ دیده می‌شوند. نبود اشکال بلورین مشخص در کانی پیریت و ارتباط بافتی آن با مگنتیت، بیانگر رشد همزمان آن‌هاست. به عبارتی، تشکیل این نسل از پیریت، پیش از کانی مگنتیت شروع و تا درون بلورها توسعه یافته است

نتایج داده‌های کانی‌شناسی به روش XRD، بر روی ۶ نمونه کانسنگ آهن و سنگ‌های میزبان محدوده معدنی نشان می‌دهد که نمونه‌های کانسنگ از فاز اکسیدی هماتیت، هیدروکسیدی - (گوتیت، لپیدوکروزیت)، کربناتی (کلسیت، دولومیت) تشکیل شده‌اند. سنگ میزبان آهنی - دولومیتی نیز از کانی‌های کربناتی (کلسیت، دولومیت)، اکسیدی (هماتیت)، سیلیکاتی (کوارتز، بیوتیت، کائولینیت) تشکیل شده است. سنگ‌های آذرین مونزونیتی و کوارتز مونزونیتی دگرسان شده حاوی مقادیری اسفن، آپاتیت و مقادیر ناچیزی ایلمنیت به همراه کانی‌های ثانویه کلریت، میکا، ایلیت و دیکیت هستند که در مجاورت بلافصل ماده معدنی تشکیل شده‌اند (جدول ۱).

شکل بوده و در مقیاس میکروسکوپی بافت اسکلتال (جانشینی) از خود نشان می‌دهد. لیمونیت در قسمت‌های سطحی درز و شکاف‌های درون زون اکسیدان را پر کرده و به رنگ زرد تا قهوه‌ای با جلای خاکی دیده می‌شود. کالکوپیریت: کالکوپیریت از فازهای سولفیدی و فرعی است و در مقادیر اندک همراه با مگنتیت و کانی‌های سولفیدی دیگر مشاهده می‌شود و در برخی از مقاطع بر اثر دگرسانی از حاشیه به کولین تبدیل شده‌اند (شکل ۵-د). تبدیل کالکوپیریت به کولین عمدتاً از حاشیه بلوری آغاز می‌شود (رامدهور، ۱۹۸۰).

جدول ۱: نتایج آنالیز کانی‌شناسی نمونه‌های کانسنگ، سنگ میزبان و سنگ آذرین در محدوده معدنی تویه دروار به روش X.R.D

Sample	Minerals
Host rock	Dolomite, Calcite, Biotite, Chlorite, Hematite, Kaolinite
Monzonite	Sphen, Illmenite, Montmorillonit, Chlorite, Kaolinite
Monzonite	Muscovite, Illite, Dickite, Apatite
Ore 1	Hematite, Goethite, Calcite, Lepidocrosite
Ore 2	Hematite, Goethite, Kaolinite
Ore 3	Hematite, Monazite, Apatite, Dolomite

گوتیت) در رخنمون‌های صحرایی قابل تشخیص است. رگه‌ها و رگچه‌ها: شکستگی‌های نوع استوک ورک و داربستی که قبل یا همزمان با کانه‌زایی در داخل سنگ میزبان توسعه یافته‌اند، بستر مناسبی را برای شکل‌گیری بسیاری از انواع رگه‌ها و رگچه‌ها فراهم آورده‌اند. این شکستگی‌ها به طور متوالی توسط سیالات کانه‌دار پر شده و تشکیل انواع رگچه‌های کوارتزی، کربناتی، اکسیدی و کربناتی - اکسیدی را داده‌اند. در منطقه رگچه‌های کربناتی: شامل کلسیت با بافت موزاییکی می‌باشد و آخرین مرحله از فاز کانی‌زایی را نشان می‌دهد. رگچه‌های

دگرسانی: بر مبنای بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و دستگاه پرتو ایکس دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی شامل دگرسانی آرژیلیک، سرسیتی، کلریتی، سیلیسی سولفیدی و کربناتی است. دگرسانی سیلیسی در کانسار آهن تویه دروار با افزایش سیلیس به صورت رگه‌ای در سنگ‌های درونگیر دیده می‌شود. دگرسانی سولفیدی به طور عموم با دگرسانی سیلیسی همراه است. این نوع دگرسانی با رنگ سرخ و زرد حاصل از هوازدگی سولفیدها به اکسید و هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت، هماتیت و

نهشته می‌شوند. بلورهای کلسیت عمدتاً به صورت رگه همراه با هماتیت مشاهده می‌شود. همبود (پاراژنز): بر اساس بررسی‌های ژئومتری و ساخت و بافت انجام شده در مقیاس صحرایی، نمونه دستی، میکروسکوپی‌توالی پاراژنتیک کانی-های منطقه تویه دروار به دو مرحله تقسیم شده است که عبارتند از:

الف) کانی‌سازی هیپوژن
ب) کانی‌سازی سوپرژن (شکل ۶).

کوارتزی: فاقد هرگونه کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی می‌باشند. رگچه‌های کربناتی-اکسیدی: این رگچه‌ها متشکل از کانی دولومیت متوسط تا درشت بلور اغلب همراه با اکسیدهای آهن دیده می‌شود. سیالات در حین حرکت به سمت نواحی کم‌عمق‌تر و سردتر توانایی کانی‌سازی و دولومیت-زایی را می‌یابند. بدین ترتیب در طول و اطراف مناطق نفوذ پذیر دولومیت‌سازی روی می‌دهد. این دولومیت‌ها در دمای ۷۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد

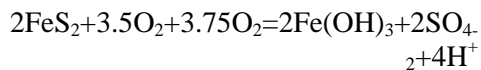


شکل ۶: توالی پاراژنتی کانی‌های اکسیدی و سولفیدی اولیه و ثانویه در کانسار آهن تویه دروار

همه مهم‌تر افزایش pH در اثر مصرف H^+ و انحلال کربنات‌ها باعث ناپایداری کمپلکس‌های فلز-کلر شده و ته‌نشست کانسنگ اسیدی و سولفیدی را ممکن می‌سازد. مهم‌ترین تغییر شیمیایی سیال عبارتست از خنثی شدن (با افزایش pH) در اثر برخورد با کلسیت که در این حالت کمپلکس‌های عمدتاً کلریدی ناپایدار شده و محموله خود را به صورت کانسنگ اسیدی و سولفیدی بر جای گذاشته‌اند. وجود مگنتیت با بافت مارتیتی و نبود کانی‌های اسکارنی (گارتنت، پیروکسن و میکا) نشان می‌دهد که دمای محلول کانه‌ساز کمتر از ۳۵۰ درجه بوده است.

کانی‌سازی هیپوژن: در تشکیل کانسار آهن تویه دروار، سیالات کانه‌دار حاوی کمپلکس‌های کلریدی که در طی فرایند تبلور و تفریق توده نفوذی حاصل شده‌اند، پس از خروج توده و ادامه حرکت خود به سمت بالا با آب‌های زیرزمینی مخلوط شده و با ورود به سنگ میزبان کربناتی با آن واکنش داده و باعث تشکیل اکسیدها و سولفیدهای آهن شده‌اند. تغییر شرایط فیزیکی محیط حمل و نقل از جمله افت دما در اثر مخلوط شدن با آب‌های زیرزمینی و ورود به سنگ‌های کربناتی سردتر و کاهش فشار و انبساط در اثر وارد شدن سیال به منطقه برشی سنگ میزبان و از

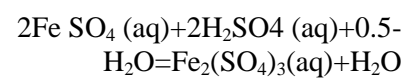
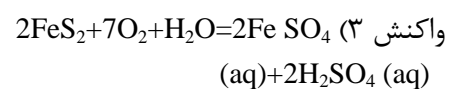
واکنش (۶)



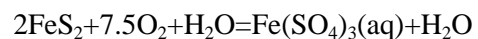
پیریت مهم‌ترین سولفید اسید ساز محسوب می‌شود. Fe^{3+} تولید شده در طی اکسیداسیون پیریت با افزایش pH به اکسید و هیدروکسید Fe^{3+} و دیگر ترکیبات سولفات آهن تبدیل می‌شود. Fe^{3+} خود یک عامل اکسید کننده خیلی مهم برای سولفیدهای آهن در شرایط اسیدی است و بسیار موثرتر از اکسیژن عمل می‌کند. با توجه به اینکه سنگ میزبان سولفیدها در منطقه، سنگ‌های کربناته است می‌توان گفت که pH محلول‌های حاوی اسید سولفوریک و یون آهن در حین برخورد با این سنگ‌ها بالا رفته و سبب نهشت اکسید و هیدروکسید آهن شده است. کانی‌سازی عمده در این مرحله شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌شود.

مطالعات ژئوشیمیایی: استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی می‌تواند وضعیت ژنتیکی یک کانسار را مشخص سازد، چرا که عناصر مختلف در محیط‌های فیزیکوشیمیایی گوناگون، رفتارهای منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. مطالعه ترکیب شیمیایی و عناصر موجود در کانسنگ‌های آهن می‌تواند راه‌گشایی برای تعیین نوع سیال کانی‌ساز و شیمی اجزاء سازنده این ذخیره محسوب شود. باتوجه به این که پژوهش بر روی توده نفوذی توسط (خانعلی‌زاده، ۱۳۸۴) صورت پذیرفته است. لذا سعی بر آن شده است که بخش اعظم این پژوهش، بررسی ژئوشیمی توده معدنی و پتانسیل معدنی کانسار از نقطه نظر کانه‌زایی آهن باشد. امید است که بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر در کانسار و مقایسه آن با کانسارهای شاخص دنیا در شناسایی الگوی کانسار سازی کمک شایانی نماید. نتایج شیمیایی حاصل

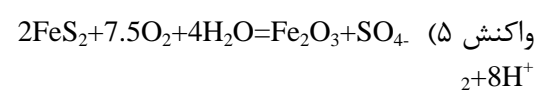
کانی‌سازی سوپرژن: خردشدگی‌ها و شکستگی‌های فراوان در سنگ میزبان موجبات گسترش دگرسانی و کانی‌سازی سوپرژن را فراهم نموده است. اکسیداسیون سولفیدها تابعی از بالا آمدگی سنگ‌ها، آب و هوا (خشک و نیمه خشک مناسب- تر است)، ترکیب سنگ اولیه (به ویژه محتوای پیریت) و ساختارهای سنگ میزبان (از نظر گسل خوردگی و شکستگی) است. با فرض مطلوب بودن سه عامل آخر، برای اکسیداسیون سولفیدها باید شرط بین فاکتور دیگر که همان بالا آمدن توده- های سولفیدی (در اثر فرسایش سطحی یا تکتونیک) تأمین گردد. بالا آمدگی سنگ‌ها (به علت فرسایش یا عوامل تکتونیک) سبب می‌شود تا سطح سفره آب‌های زیرزمینی پایین آمده و زون‌های سولفیدی بخش زیرین در معرض واکنش با محلول‌های هوازده کننده اکسیدان قرار گیرد و در عین حال فرسایش قابل ملاحظه‌ای را متحمل نشوند. اکسیداسیون سولفیدهای آهن معمولاً باعث تشکیل اکسیدهای آهن و اسید سولفوریک می‌شود. پیریت در این فرایند نقش مهمی دارد و در محیطی که اکسیژن به عنوان اکسید کننده عمل کند طبق واکنش ۳ اکسید می‌شود:



و در محیط‌های غنی از اکسیژن:



در چنین محیط‌هایی حتی پیریت می‌تواند به طور مستقیم طبق واکنش ۵ به هماتیت تبدیل شود:



یا اینکه طبق واکنش ۶ مستقیماً به گوتیت تبدیل شود:

از نمونه‌های کانسنگ مگنتیتی تویه‌دروار در جدول ۲ آورده شده‌است.

جدول ۲: نتایج شیمیایی کانسنگ، سنگ میزبان و توده نفوذی منطقه تویه‌دروار با استفاده از روش X.R.F

sample	Host1	Host2	Host3	Host4	G1	G2	G3	Ore1	Ore3	Ore2	Ore4	Ore5
%												
SiO ₂	۰/۷۳	۲/۳۰	۴/۷۵	۳/۷۳	۴۶/۸۵	۶۱/۵۳	۵۷/۲۵	۱/۱۹	۵/۶۷	۱۰/۲۵	۲/۳۲	۲۵/۷۳
Al ₂ O ₃	۰/۲۹	۰/۶۸	۱/۱۱	۱/۴۴	۱۳/۳۵	۱۶/۶۸	۲۱/۲۴	۰/۲۴	۰/۸۲	۰/۳۵	۰/۵۹	۲۴/۰۲
Fe ₂ O ₃	۱/۴۲	۶/۳۵	۰/۷۳	۱۳/۱۳	۱۴/۵۷	۳/۷۲	۲/۸۶	۸۸/۲۴	۵۸/۰۲	۶۸/۹۵	۵۸/۲۸	۳۴/۱۴
CaO	۳۵/۲۶	۳۷/۲۹	۵۰/۶۵	۳۰/۸۵	۵/۱۲	۲/۶۴	۰/۱۴	۴/۰۷	۱۸/۷۵	۰/۷۶	۱۵/۵۶	۱/۰۳
Na ₂ O	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰
K ₂ O	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۵۱	۰/۶۱	۳/۵۸	۷/۸۶	۱۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۲۷
MgO	۱۷/۳۲	۹/۶۵	۰/۴۰	۸/۹۶	۳/۴۲	۱/۷۶	۱/۸۵	۰/۱۲	۱/۵۱	۰/۰۰	۳/۱۹	۰/۰۰
TiO ₂	۰/۰۳۲	۰/۰۹۷	۰/۰۶۸	۰/۱۶۷	۱/۸۹۵	۰/۷۹۷	۰/۸۲۶	۰/۰۱۶	۰/۲۵۷	۰/۹۱۷	۰/۹۳	۰/۹۴
MnO	۰/۰۵۵	۰/۱۵۳	۰/۰۲۰	۰/۱۹۷	۰/۰۸۳	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۵	۰/۰۶۲	۰/۹۹۴	۰/۱۲	۰/۰۶
P ₂ O ₅	۰/۰۴۲	۰/۱۲۲	۰/۰۸۸	۰/۴۹۰	۰/۱۴۸	۰/۱۱۰	۰/۰۶۶	۲/۲۹۴	۰/۷۸۳	۰/۷۶۳	۰/۰۰	۰/۰۶
SO ₃	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۳۵۸	۰/۲۰۵	۰/۰۰۲	۴/۲۹۳	۰/۱۱	۰/۳۳
L.O.I	۴۴/۳۵	۴۲/۸۵	۴۱/۲۵	۴۰/۱۲	۹/۶۶	۳/۴۷	۳/۹۴	۳/۱۴	۱۳/۵۹	۱۱/۰۱	۱۷/۷۴	۹/۱۷
Ppm												
Cl	۲۷۷	۱۲۸	۱۹۷	۱۱۶	۳۱۱	۵۶۶	۳۲۵	۱۵۹	۱۰۷	۱۲۹	۱	۰/۰۶
Ba	۸	۳۹	۸	۱۷	۱۴۳	۲۲۲	۲۳۲	۱۱۱۸	۸۶۲	۹۶۵	۱	۱۰۰
Sr	۷۳	۱۰۵	۷۱۳	۷۰	۷۵	۱۰۸	۱۴۳	۲۱	۵۶	۸۶	۱	۲۵۰۰
Cu	۸	۱۴	۱۵۰	۱۱	۱۶	۱۰	۲۸	۱۹	۷	۱۴	۱۷	۱۳
Zn	۱۳۵	۲۹	۷	۲۶	۳۰	۸	۳۳	۱۲	۱۲	۲۵	۱۰	۲۲
Pb	۳۶	۱۳	۱۲	۱۰۵	۹	۳	۱۴۲۱	۱۶	۲	۹	۴	۱۲
Ni	۳۰	۳۶	۳۱	۴۷	۸۱	۷۰	۵۰	۵۳	۳۲	۸۸	۸۲	۳۳
Cr	۸	۵	۴	۳	۲۰۵	۶۲	۸۵	۵۶	۲۴	۸۰	۴۹	۳
V	۱۴	۲۵	۱۳	۲۸	۳۰۳	۱۲۷	۱۶۶	۹۷۷	۵۶۳	۱۳۶۷	۲۰۰۰	۸۵۴
Ce	۱۷	۳۱	۲۸	۴۵	۵۹	۷۸	۱۱۶	۷۷۴	۵۰۷	۵۸۷	۶۳۴	۷۳۵
La	۱۱	۱۵	۱۵	۲۷	۲۱	۳۴	۴۱	۲۰۱	۲۸۲	۱۲۴	۲۱۵	۲۱
W	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۳	۱	۱	۲	۲	۱
Zr	۳۱	۳۳	۱۰۲	۳۶	۱۰۱	۱۶۰	۱۷۲	۶	۱۲	۱۴	۸	۱۵
Y	۱	۱۰	۳	۱۱	۳۸	۶۱	۵۵	۲۴	۲۳	۳۵	۲۰	۱۴
Rb	۱۲	۱۸	۱۷	۲۳	۱۰۴	۱۷۵	۱۶۹	۱۶	۱۵	۱۵	۱۲	۱۵
Co	۵	۴	۱۳	۳	۲۵	۷	۵	۲	۴	۲	۲	۴
As	۴	۶	۲	۱۲۶	۲۷	۴	۱۲۵	۱۴۰	۱۰۳	۱۰۸	۱۱۰	۱۴۱
U	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Th	۱	۱	۲	۱	۳	۲	۸	۳	۳	۴	۳	۲
Mo	۷	۲	۵	۳	۱	۱	۱	۳	۲	۴	۳	۱
Ga	۶	۴	۳	۱۰	۱۵	۲۰	۴۷	۵۸	۸	۵۹	۵۵	۱۸
Nb	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

مطالعات آماری دو متغیره (ضریب همبستگی اسپیرمن): یک روش معروف برای محاسبه همبستگی بین داده‌ها، روش اسپیرمن می‌باشد. ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن با R نشان داده می‌شود و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (رولینسون، ۱۹۹۳):

$$R = 1 - [6D^2/n(n^2-1)] \quad (۱)$$

در فرمول مذکور D معادل اختلاف رتبه مقادیر فراوانی Y.X و n تعداد عناصر زوج می‌باشد. در این مطالعه، جهت بررسی عناصر همراه و فرایندهای ژئوشیمیایی حاکم در تشکیل زون‌های کانی‌سازی شده، مبادرت به محاسبه ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن (Spearman's rank correlation) برای تمامی زوج عناصری که غلظت آن‌ها قابل توجه و معنادار می‌باشد، با استفاده از نرم افزار SPSS (statistical pocketprogram) گردید. بدین جهت برای بدست آوردن ماتریس همبستگی، داده‌های نرمال و داده‌های خام را به محیط نرم افزار SPSS انتقال داده و در آنجا ضرائب همبستگی، سطوح معنی‌دار بودن و تعداد نمونه‌هایی که در ضریب همبستگی فوق شرکت نموده‌اند به روش اسپیرمن که حساس به داده‌های نرمال می‌باشد مورد محاسبه قرار گرفت.

بررسی ضریب همبستگی و روابط عناصر اصلی تشکیل دهنده کانسار: به طور کلی در بین کانسنگ‌های آهن منطقه همبستگی‌های جالب توجهی بین عناصر اصلی وجود دارد. متوسط غلظت Fe_2O_3 در نمونه‌های مگنتیتی کانسار آهن تویه دروار ۵۷/۳۲ درصد وزنی می‌باشد. مقادیر اکسید آهن در کانسنگ‌های مورد مطالعه شده ۳۴/۱۴ تا ۸۸/۲۴ درصد وزنی متغیر بوده و میزان SiO_2 در کانسنگ‌های آهن به طور میانگین ۴/۶۳ درصد وزنی می‌باشد. SiO_2 دارای همبستگی منفی با Fe_2O_3 ($r = -0/20$) می‌باشد.

در قسمت‌هایی از زون آهن‌دار، مقدار SiO_2 در کانسنگ‌ها با افزایش عیار آهن کاهش می‌یابد. این روند معکوس نشان دهنده شرایط تبلور مگنتیت از ماگما، حذف آهن از ماگما و وارد شدن آن به فاز سیال تأخیری است. در نتیجه ماگما از آهن تهی شده است. به بیان دیگر، فازهای سیلیسی و آهن-دار به صورت فازهای جداگانه عمل نموده و هر کدام تشکیل ترکیبات مستقلی از جمله آهن و سیلیس ثانویه را داده‌اند. چنین فرضیه‌ای با مشاهدات صحرایی که اثبات کننده حضور رگه‌ها و ریز رگچه‌های سیلیسی در کانسنگ می‌باشند، قابل تأیید می‌باشد. با توجه به بررسی تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در کانسنگ‌های آهن مورد مطالعه گفتنی است که بالاترین مقدار اکسید آهن در کانسنگ برابر با ۸۸/۲۴ درصد وزنی می‌باشد و کمترین مقدار آن نیز برابر با ۳۴/۱۴ درصد وزنی می‌باشد و تغییرات SiO_2 دارای بیشترین مقدار برابر با ۱۰/۲۵ درصد وزنی می‌باشد (جدول ۲). ضریب همبستگی Al_2O_3 در مقابل Fe_2O_3 برابر ($r = -0/10$) می‌باشد. آلومینیم دارای شعاع یونی کوچک، الکترون‌گاتیویته کم و پتانسیل یونی پایین است. انرژی پیوند آن از Fe^{3+} بیشتر است و اغلب ویژگی‌های آن به جز الکترون‌گاتیویته با Fe^{2+} متفاوت است. به همین دلیل این عنصر در مقادیر اندک وارد ساختمان مگنتیت می‌شود. حضور بسیار اندک این عنصر همراه با مگنتیت در نمونه‌های کانسنگ مورد مطالعه احتمالاً نشان دهنده حضور فازهایی از کانی‌های آلومینیم‌دار می‌باشد. از آنجاییکه TiO_2 و Al_2O_3 غالباً از مواد آواری-تخریبی مشتق می‌شوند و در کل مقدار مجموع $Al_2O_3+TiO_2$ در مواد تخریبی بالا است (کاتو و همکاران، ۲۰۰۲). مجموع مقادیر TiO_2 و Al_2O_3 نشان می‌دهد که منشأ کانسنگ‌های آهن

مطالعه wt% ۱۳/۹۹ می‌باشد با افزایش اکسید کلسیم مقدار آهن کاهش می‌یابد. مقادیر P_2O_5 دارای همبستگی معنادار با Fe_2O_3 ($r=0/9$) می‌باشد که احتمالاً به دلیل همراهی کانسنگ‌های مورد مطالعه با آپاتیت می‌باشد.

LOI دارای همبستگی شدیداً منفی و معنادار با Fe_2O_3 ($r=-0/8$) داشته که این همبستگی منفی نشان دهنده این است که با افزایش مقادیر کانی‌های آهن در کانسنگ‌ها از میزان کانی‌های آبدار و فرار نظیر سیلیکات‌ها کاسته می‌شود. همچنین نشان دهنده شسته شدن بعضی از عناصر متحرک و غنی شدن عناصر غیر متحرک می‌باشد، یعنی در هر نمونه‌ای که اثرات هوازدگی و شستشوی عناصر بیشتر باشد مقدار آهن آن کاهش یافته است. به همین دلیل بعضی عناصر غیرمتحرک همبستگی منفی با آهن نشان می‌دهند. از خصوصیات کانسار آهن تویه دروار بالا بودن مقدار فسفر کانسنگ و پایین بودن مقدار گوگرد می‌باشد و مقدار متوسط اکسید فسفر در نتایج تجزیه‌های شیمیایی معدن ۱/۳۳ درصد است.

بررسی ضریب همبستگی و روابط عناصر کمیاب (High- Field Strength Elements) HFSE

(عناصر با قدرت پایداری بالا)

عناصر HFSE می‌توانند توسط محلول‌های مختلف انتقال یابند و تحرک HFSE توسط تعدادی فاکتور مانند فشار، درجه حرارت، pH و شیمی محلول کنترل می‌شود. ضریب همبستگی مثبت و نسبتاً ضعیف بین Ti و Al ($r=0/20$) همراهی کانی‌های این عناصر را با هم نشان می‌دهد. همبستگی‌های منفی و ضعیف تا متوسط بین Ga با Al ($r=-0/60$) موید این مهم است که کانی‌های سیلیکاتی نقشی در تثبیت Ga در سیستم ایفا نموده‌اند. Zr دارای همبستگی بیشتری با عناصر نادر خاکی سنگین نسبت به عناصر نادر خاکی سبک می‌باشد که این تفاوت و تهی‌شدگی

مورد مطالعه تویه دروار، آواری نمی‌باشد. زیرا بر اساس نظریه کاتو و همکاران (کاتو و همکاران، ۲۰۰۲)، مقدار مجموع $Al_2O_3+TiO_2$ می‌تواند تا درصد وزنی حضور داشته باشد. اما با توجه به آنالیزهای شیمیایی، میانگین مقدار $Al_2O_3+TiO_2$ در کانسنگ‌های آهن مورد مطالعه کمتر از ۲ درصد وزنی بوده و در حدود ۱/۱۳ در صد وزنی می‌باشد (جدول ۲). بنابراین با توجه به مطالب مطروحه فوق، نمی‌توان نقشی را برای مواد تخریبی در تأمین بخشی از مواد سازنده کانسنگ‌های آهن قائل شد.

همبستگی‌های منفی Fe_2O_3 با MgO ($r=-0/80$) نشان می‌دهد که با پیشرفت فرآیند آهن‌زایی، عناصری نظیر Mg و Ca به صورت محلول از محیط خارج شده‌اند. همبستگی‌های منفی Fe_2O_3 با CaO ($r=-0/80$) نشان می‌دهد که در بیشتر نمونه‌های کانسنگ مورد مطالعه هنگامی که میزان Fe افزایش می‌یابد، به صورت مقایسه‌ای مقدار کلسیم کاهش می‌یابد. اندازه و ویژگی‌های کلسیم با Fe^{2+} و Fe^{3+} متفاوت است و از این رو انتظار نمی‌رود که این عنصر بتواند به مقدار قابل توجهی وارد شبکه مگنتیت گردد اما جانشینی Ca^{2+} به جای Fe^{2+} در ساختمان مگنتیت امکان پذیر است و کانی مگنتیت می‌تواند حداکثر تا wt% ۶/۶۷ در ترکیب خود دارای عنصر Ca^{2+} باشد (دسیتر و همکاران، ۱۹۷۷). با این شرایط و با توجه به مطالعات مقاطع نازک - صیقلی، همراهی سیلیکات‌ها با کانی‌زایی آهن در کانسنگ مورد مطالعه امکان‌پذیر می‌باشد. کاستور و نیسون (۲۰۰۷)، کانسنگ‌های مگنتیتی سرشار از کلسیم را در بخشی از ذخیره Bayan Obo شناسایی کردند و آن‌ها را کانسنگ مگنتیت - دولومیت نامیدند. میانگین CaO در این کانسنگ‌ها ۱۷/۶ wt% و میانگین CaO در کانسنگ‌های مورد

تفریق ماگمایی متمرکز می‌شود. در ذخایر آهن ماگمایی عیار بسیار کمی از مس گزارش شده است. درصد میانگین مس در نمونه‌های تجزیه شده به روش XRF، ۱۲/۷۵ppm و تغییرات آن از کمترین آن ۷ppm تا ۱۹ppm که بیشترین مقدار آن است، می‌باشد. هیتزمن و همکاران (۱۹۹۲) معتقدند از آنجا که کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا ارتباط نزدیکی با ذخایر آهن گرمایی در سراسر دنیا دارند، این ذخایر در ادامه روند تشکیل کانسارهای ماگمایی ایجاد می‌شوند از این رو منطقی است که کانسارهای ماگمایی دارای مقادیر مس کمتری باشند. دامنه تغییرات روی در نمونه های مورد مطالعه بین ۱۲ppm تا ۲۶ppm می-باشد. با مقایسه درصد‌های این دو عنصر می‌توان نتیجه گرفت که مقدار روی بیشتر از مس است که قاعدتاً این دو عنصر در فازهای سولفیدی همچون کالکوپیریت و اسفالریت تمرکز دارند. ضریب همبستگی Fe_2O_3 با Zn ($r=0.63$) می‌باشد و ضریب همبستگی Fe_2O_3 با Cu ($r=0.80$) می-باشد. همبستگی منفی کروم با آهن ($r=0.73$) می‌تواند از خصلت ماگمایی آهن نشأت گرفته باشد (فریتچ و پنداهل، ۱۹۹۵). مقدار متوسط کبالت در نمونه‌های مورد مطالعه ۲/۷۵ppm می‌باشد و بیشترین مقدار کبالت مربوط به کانسارهای کنتاکت پنوماتولیتی می‌باشد که به ۵۰۰ppm می‌رسد. محتوای این عنصر در کانسار آهن تویه دروار به کانسارهای آهن آپاتیت-دار شمال سوئد شباهت بیشتری دارد. ضریب همبستگی Fe_2O_3 با Co ($r=0.73$) می‌باشد. میزان کبالت به دلیل محدود بودن فاز سولفیدی در کانسنگ پایین است.

بررسی منشأ تشکیل ذخیره آهن تویه دروار توسط زمین شیمی عناصر جزئی: مقایسه عیار عناصر واسطه به دلیل رفتار شیمیایی آنها و روابط آنها

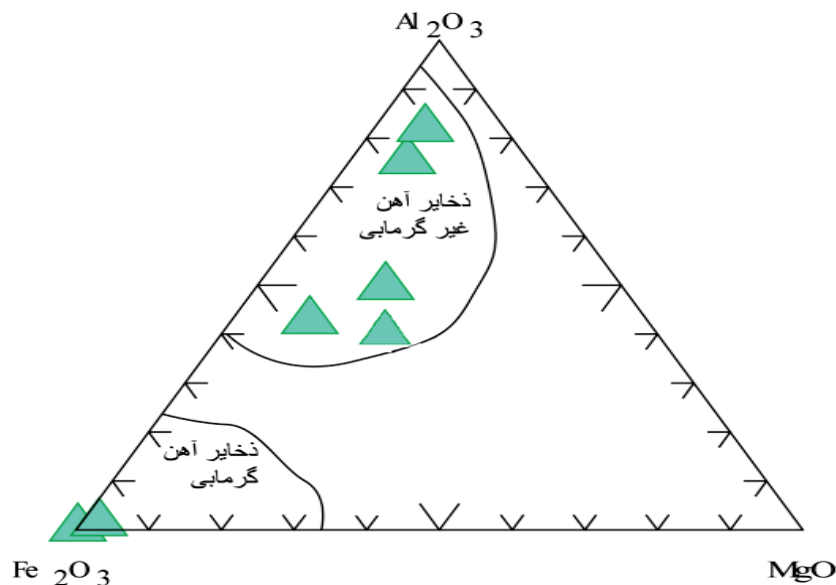
عناصر نادر خاکی سبک از زیرکن نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین به دلیل تحمل باقی ماندن عناصر نادر خاکی سنگین تا درجات بالای دگرگونی (حتی تا حد رخساره گرانولیت) می‌باشد. همبستگی مثبت و نسبتاً ضعیف بین Ga با Ti ($r=0.20$) نشان می‌دهد که کانی‌های تیتانیوم-دار تا حدودی نقش مؤثری در تمرکز Ga در کانسنگ تویه دروار داشته‌اند. با توجه به همبستگی مثبت و قوی بین Y و P ($r=0.80$) به نظر می‌رسد که مقادیر بالای فسفر عنصری تا حدودی نقش مهمی در تثبیت Y در سیستم ایفا نموده‌اند.

خاصیت جزئی واسطه (Trace- transition elements TTE)-عناصر با

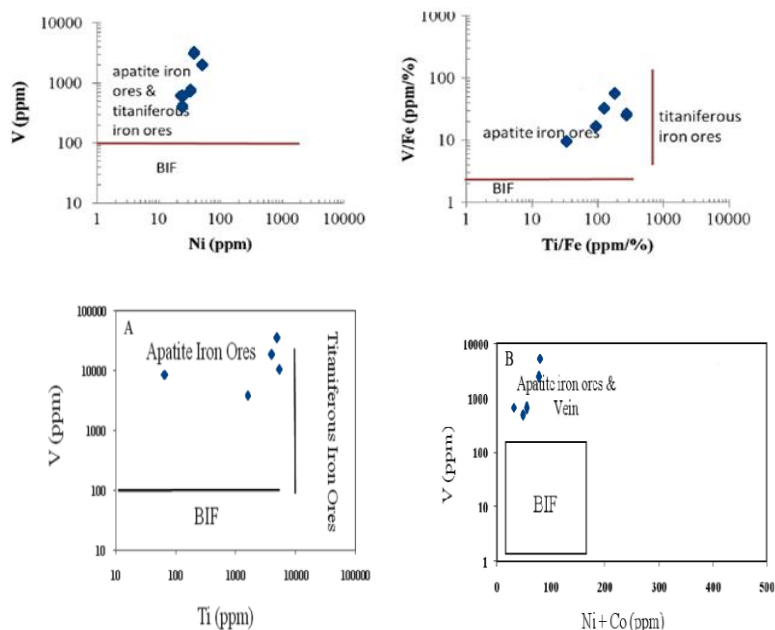
این عناصر شامل Zn, V, Ni, Cu, Cr, Co می‌باشند (جنر، ۱۹۹۶؛ کاپلی، ۲۰۱۰). V^{3+} به راحتی می‌تواند جایگزین Fe^{3+} در شبکه کانی‌های هماتیت و گوتیت شود (یوسفی، ۱۳۸۹). همبستگی مثبت و متوسط معنادار بین V با Ti ($r=0.40$) دلالت بر نقش ضعیف کانی‌های Ti در تثبیت V در کانسنگ تویه دروار دارد. Ni می‌تواند قویاً بوسیله اکسیدها و هیدروکسیدها جذب سطحی (Scavenging) شود که این جذب وابسته به pH بوده و در شرایط pH پایین (محیط اسیدی) ضعیف‌تر است و در pH بالاتر جذب بیشتر صورت می‌گیرد (مکنزی، ۱۹۸۰؛ اسپارکز، ۱۹۹۵). همبستگی مثبت بین Fe با Ni ($r=0.60$) دلالت بر نقش Fe در تمرکز Ni دارد. مقدار Ni با افزایش عیار آهن افزایش می‌یابد. تطابق مثبت آهن و نیکل در کانسارهای آهن ماگمایی یک شرایط لازم است. شعاع یونی عنصر مس بسیار شبیه به شعاع یونی Fe^{2+} می‌باشد. الکترون‌گاتیوتیه و پتانسیل یونی مس بالاتر از Fe^{2+} می‌باشد. بنابراین مس در مقایسه با آهن در فازهای نهایی

نیکل (۵۵ppm)، کبالت (۲/۷۵ppm) و کروم (۴۰/۷۵ppm) در کانسنگ پایین می‌باشد. عدم حضور کانی‌هایی نظیر کبالتیت، سافلوریت دانیت و مولیبدنیت در این نهشته‌ها نشانگر آن است که عناصر کبالت، نیکل و مولیبدن به علت شباهت یونی با آهن وارد شبکه مگنتیت شده‌اند. تا به حال مطالعات زیادی با استفاده از نمودار مثلثی $Fe_2O_3-Al_2O_3-MgO$ (باجوا و همکاران، ۱۹۸۷). در کانسراها به منظور تعیین منشأ آن‌ها صورت گرفته است. شکل ۷ موقعیت نمونه‌های منطقه تویه‌دروار در نمودارهای مثلثی $Fe_2O_3-Al_2O_3-MgO$ را نشان می‌دهد. همچنین با بررسی نتایج آنالیز سنگ کل ماده معدنی و تصویر آن‌ها در نمودار ارائه شده توسط لوبرگ و هورندال (۱۹۸۳)، می‌توان گفت ماده معدنی مورد مطالعه به کانسراهای نوع ماگمایی تعلق دارد (شکل ۸).

با بعضی عناصر در کانسراهای مختلف آهن، راهکاری مناسب جهت بررسی منشأ یک ذخیره آهن می‌تواند به شمار آید (نیسترم و هنریکوئیز، ۱۹۹۴). عناصر کبالت، نیکل و وانادیم به عنوان کاتیون‌های غیرمتحرک در کانسار ماگمایی بیشتر از کانسار گرمایی گزارش شده‌اند. از بین این عناصر وانادیم شدیداً در تیپ‌های ماگمایی غنی-شدگی نشان می‌دهد. V^{3+} از نظر شعاع یونی بسیار شبیه به Fe^{3+} می‌باشد و الکترونگاتیوتیه و پتانسیل یونی آن از Fe^{3+} بیشتر است. بنابراین این عنصر بیشتر جانشین Fe^{3+} در ساختمان مگنتیت می‌شود. وانادیم در کانسنگ مگنتیت ماگمایی ppm ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۰ گزارش شده است. وانادیم در بعضی از ذخایر گرمایی آهن شیلی (کمر بند آهن) تا ppm ۶۰۰۰ نیز گزارش شده است (نیسترم و هنریکوئیز، ۱۹۹۴). با این حال وانادیم در کانسنگ‌های مورد مطالعه بیشترین شباهت را به معدن ماگمایی دارد. میزان عناصر ماگما دوست



شکل ۷: نمودار مثلثی $Fe_2O_3-Al_2O_3-MgO$



شکل ۸: ماده معدنی تصویر شده در نمودارهای لوبرگ و هورندال (۱۹۸۳)

در کانسنگ آهن تویه دروار باشد. همبستگی‌های مثبت و قوی P_2O_5 با برخی از LREE ها مانند La ($r = 0.40$), Ce ($r = 0.9$) می‌تواند حاکی از روابط درونی قوی بین این عناصر با هم باشد.

ژئوشیمی عناصر فرعی: جهت بررسی بیشتر و جدا کردن کانسارها نسبت دوتایی عناصر کمیاب ارزیابی می‌شود. این نسبت‌ها عبارتند از: $Ni/V, Co/V, Cr/V, Co/Ti, Zn/V$. به منظور مقایسه رفتار عناصر کمیاب در کانسار تویه دروار با کانسارهای ماگمایی، اسکارنی و آتشفشانی- رسوبی از نتایج تجزیه‌های شیمیایی فریتچ و پنداهل (۱۹۹۵) استفاده شده است. جدول ۳ نسبت‌های دوتایی این عناصر را در کانسار تویه دروار نشان می‌دهد.

بررسی ضریب همبستگی و روابط عناصر جزئی: پس از بررسی و مطالعه همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محرز شد که عناصر نادر خاکی با عناصر جزئی و اصلی همبستگی در خور توجهی داشته که احتمالاً نشان دهنده منشأ مشترک بین این عناصر با LREE ها می‌باشد. Ce^{3+} در محیط های اکسیدی می‌توانند به راحتی به Ce^{4+} اکسید شده و با کاهش شعاع توسط هیدرولیزات ها و ذرات معلق، جذب سطحی و حمل شود و یا در حضور لیگاندهای کربناتی از محیط خارج شود عنصر Ce در الگوی به هنجار شده عناصر، آنومالی مثبت قوی از خود نشان می‌دهد که انعکاسی از شرایط اکسیداسیون کانسار می‌باشد (اسپانگبرگ و همکاران، ۱۹۹۹). همبستگی مثبت و معنادار Th با Ce ($r = 0.63$) احتمالاً می‌تواند بیانگر حضور کانی‌تورباستنازیت

جدول ۳: نسبت‌های دوتایی عناصر کانسار آهن تویه دروار

Sample	N1	N2	N3	N4
Co/Ni	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۶
Co/V	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۱۰
Cr/V	۰/۰۵۷	۰/۰۵۸	۰/۰۴۲	۰/۱۰
Zn/V	۰/۰۱۲	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۹۲
Ti/V	۰/۰۵۱	۳/۹۵	۲/۴۸	۲/۷۴

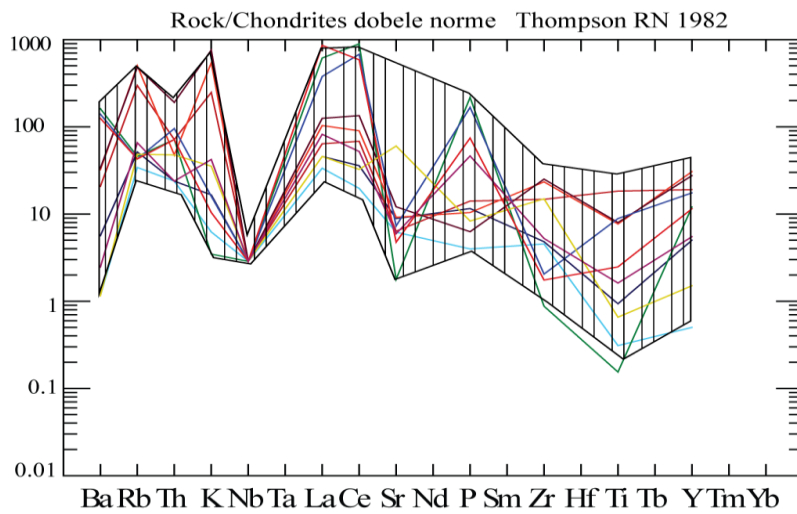
کم‌ترین میزان کلسیم مربوط به توده معدنی می‌باشد. بنابراین واحدهای آهنکی و آهنک فسیل‌دار منطقه کم‌ترین میزان واکنش پذیری را با سیالات داشته‌اند و کم‌ترین میزان کلسیم نشان می‌دهد که در محل کانسنگ بیش‌ترین واکنش پذیری با سیالات صورت گرفته است (شکل ۹ و ۱۰). همچنین می‌توان نتیجه گرفت که سنگ میزبان کانی‌سازی به دلیل بالا بودن کلسیم و پایین بودن منیزیم از نوع کلسیتی است که بررسی مقاطع میکروسکوپی این موضوع را تأیید می‌نماید.

بررسی شیمی بلور کانه مگنتیت و کانه پیریت کانسنگ: نمونه‌های جداسازی شده از کانسار آهن تویه دروار از نظر عناصر کمیاب مانند Ni, Cr, V, Ti, Cu, Co ناخالصی‌های مزاحم S و P مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴، ۵). میزان تمرکز برخی از این عناصر در کانسنگ به منظور شناخت منشأ و ماهیت فلزات کانسار ساز نقش مهمی دارند. نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ نشان می‌دهد مقدار Fe_2O_3 این کانی بین ۹۴/۲۷-۹۴ درصد وزنی متغیر می‌باشد. این آنالیز منجر به شناسایی عنصر Ni گردید. عدم حضور کانی‌هایی نظیر سافلوریت و دانیت نشانگر آن است که Ni به علت شباهت یونی با آهن وارد شبکه مگنتیت شده و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کانی میزبان این عنصر همان کانی‌های

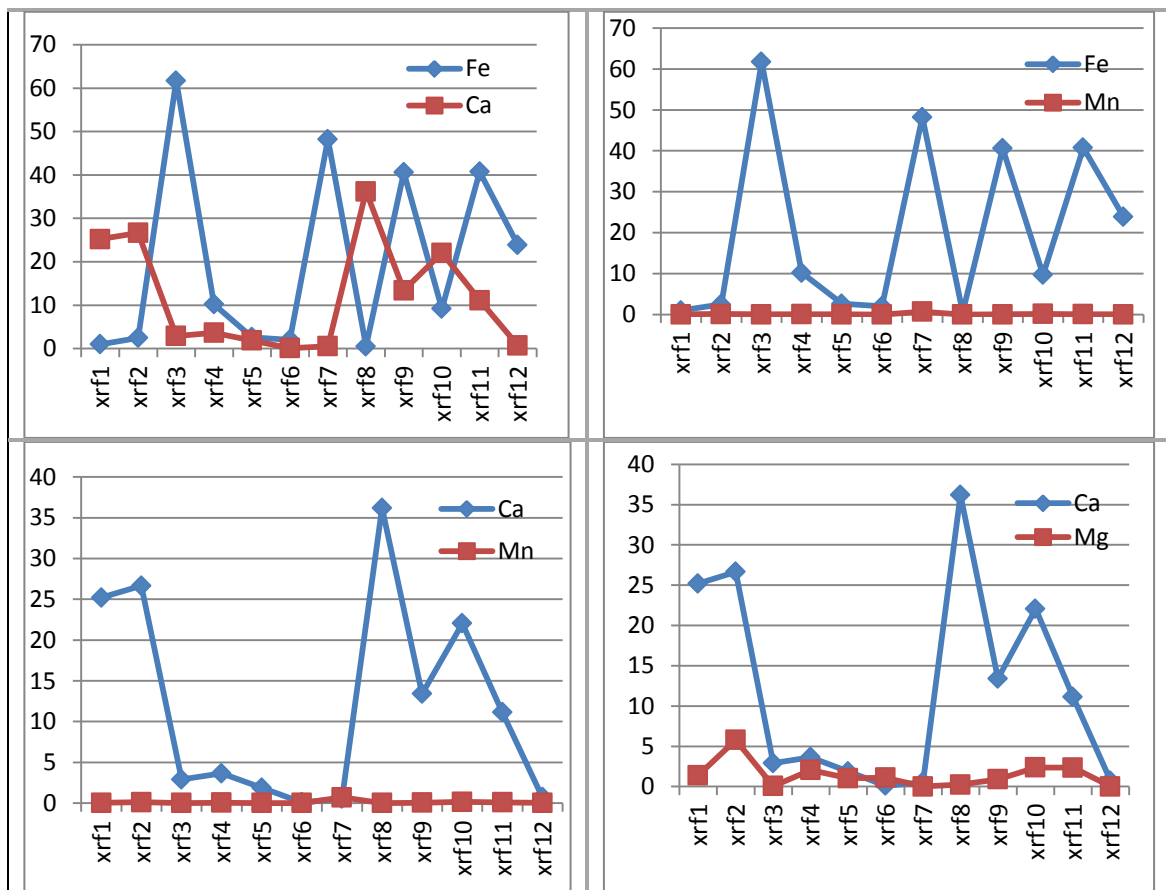
میانگین Co/Ni در کانسار تویه دروار برابر ۰/۰۵۷ است. متوسط این نسبت در کانسارهای آهن آپاتیت‌دار و اسکارن کمتر از یک است و در اسکارن مصر به ۰/۶ می‌رسد. در ذخیره مورد مطالعه میانگین Cr/V ۰/۰۵۵ است. نسبت Cr/V در اغلب ذخایر آهن ماگمایی و رسوبی کمتر از ۰/۱ و در ذخایر آهن گرمایی این نسبت بالاتر از ۱ می‌باشد. این نسبت در ذخیره تویه دروار به ذخایر ماگمایی بیشترین شباهت را نشان می‌دهد. متوسط نسبت Co/V ۰/۰۵۷ و مشابه کانسنگ‌های ماگمایی و متاسوماتیزم است. میانگین Ti/V در نمونه‌های آنالیز شده برابر ۲/۳ است. بر اساس نتایج فریتچ و پندهل (۱۹۹۵) مقدار Ti/V در کانسنگ آهن آپاتیتی ماگمایی ۱/۲-۳/۳ و در کانسنگ آتشفشانی-رسوبی و تیپ هاوکی به ترتیب برابر ۳/۶ و ۱/۴ است. نسبت میانگین Zn/V در نمونه‌های کانسنگ تویه دروار ۰/۰۲۵ است. این نسبت در کانسارهای آهن ماگمایی، کانسارهای آتشفشانی-رسوبی و متاسوماتیکی پایین‌تر و کمتر از ۰/۱ است.

بررسی میزان واکنش پذیری سنگ میزبان نسبت به سیالات کانه‌دار: به منظور بررسی میزان واکنش پذیری سنگ میزبان نسبت به سیالات کانه‌دار نمودارهای مقادیر عناصر Mn, Fe, Mg در مقابل Ca ترسیم گردید. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان کلسیم، مربوط به واحدهای آهنکی و آهنک فسیل‌دار منطقه بوده و

آهن‌دار منطقه هستند و می‌توان از آن به عنوان یک رابطه ژئوشیمیایی خاص نام برد.



شکل ۹: نمودار چند عنصری در کانسار تویه دروار نرمالیزه شده نسبت به کندریت



شکل ۱۰: نمایش مقادیر عناصر Fe, Mg, Mn نسبت به Ca در نمونه‌های سنگی

جدول ۴: نتایج آنالیز میکروپروپ از کانی مگنتیت بر حسب درصد

Sample(Mag)	۱	۲	۳
MgO	۰/۸۹	۱/۰۷	۱/۰۴
Al ₂ O ₃	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۹
SiO ₂	۳/۳۶	۳/۹۵	۴/۳۳
SO ₃	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۳
K ₂ O	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
CaO	۰/۲۶	۰/۹	۰/۱۷
Fe ₂ O ₃	۹۴/۹۷	۹۴/۲۷	۹۴/۰۰
NiO	۰/۰۸	۰/۰۹	-
P ₂ O ₅	-	-	۰/۰۳

جدول ۵: نتایج آنالیز میکروپروپ از کانی پیریت بر حسب درصد

Sample(Py)	۱	۲	۳
MgO	۲/۲۹	۰/۲۵	۰/۴۵
Al ₂ O ₃	۰/۷۷	۰/۴۴	۰/۳۱
SiO ₂	۱۷/۶۲	۱۶/۴۲	۳/۲۸
P ₂ O ₅	۰/۰۳	۰/۱۷	-
S	۳۰/۱۷	۴۵/۵۴	۴۹/۶۰
CaO	۶/۹۵	۰/۲۲	۱/۳۱
Fe	۴۲/۰۸	۳۶/۲۷	۴۳/۹۵
NiO	۰/۰۷	۰/۰۹	-
Na ₂ O	-	۰/۵۵	-
Cr ₂ O ₃	-	۰/۰۶	-
K ₂ O	-	-	۰/۰۴

می‌دهد که بخش غالب نمونه مورد نظر از آهن و سولفور تشکیل شده است. تجزیه پیریت حاکی از تمرکز اندک عنصر As در حدود ۰/۰۲ درصدوزنی، Cr در حدود ۰/۰۶ درصد وزنی و نیکل در حدود ۰/۰۸ درصد وزنی در شبکه این کانی است. در این مطالعه همراهی فاز آرسنوپیریت شناسایی گردید.

مقایسه میزان ذخیره تیتانیوم و وانادیوم کانسار آهن تویه دروار با چند کانسار تیتانومینیتیت در جهان: با توجه به مطالعات انجام شده در این کانسار و شباهت‌هایی که بین این کانسار با تیپ کانسارهای تیتانومینیتیت وجود دارد، جهت مطالعه بهتر بر روی این کانسار، مقایسه‌ای از لحاظ میزان

عیار عناصری مانند Al, K, Ca در داده‌های حاصل از آنالیز ناچیز می‌باشد. کانه‌نگاری و شیمی بلور کانسنگ آهن مگنتیتی تویه دروار نشان از تهی بودن عناصر Co, Cu, Ti, Cr در فاز منیتیت دارد و بیانگر آنست که این عناصر در فاز اولیه کانه‌زایی از سیال ماگمایی مشتق شده از توده، جدا شده و در فاز کانیاپی به صورت عنصری تجمع یافته‌اند. در نتیجه می‌توان عنوان کرد که سیال مسئول کانی‌سازی، طی فرایندهای تفریق و تبلور توده آذرین، به صورت یک فاز سیال ماگمایی تشکیل و تزریق آن در درون سنگ‌های کربناتی باعث تشکیل کانسار شده است. نتایج حاصل از آنالیز الکترون میکروپروپ بر روی کانی پیریت نشان

این توده تنها به عیار وانادیوم گرفته شده در معدن کایرونا نزدیک می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود عیار وانادیوم در کانسار کاچ کانار و سوالکی از عیار وانادیوم این توده بالاتر می‌باشد. بر اساس این مقایسه کانسار آهن تویه دروار بیشترین شباهت را به کانسارهای آهن ماگمایی (کایرونا) دارد.

عیارهای تیتانیوم و وانادیوم صورت پذیرفته است. این کانسارها به ترتیب لیگانگا در تانزانیا، کاچ کانار در روسیه، کایرونا در سوئد و سوالکی در لهستان می‌باشد. در جدول ۶ این مقایسه آورده شده است. بر اساس این جدول میزان عیار متوسط تیتانیوم کانسار آهن تویه دروار، نزدیک به پایین ترین عیار تیتانیوم گرفته شده در معدن کایرونا می‌باشد. میزان عیار متوسط وانادیوم در

جدول ۶: مقایسه میزان پراکندگی عناصر وانادیوم و تیتانیوم در کانسار آهن تویه دروار با چند کانسار تیتانومیتیت

نام کانسار	عیار متوسط آهن (%)	عیار متوسط TiO2 (%)	عیار متوسط V2O5 (%)
لیگانگا	۵۳-۶۱	۱۳	۰/۵-۱/۷
کاچ کانار	۱۵-۱۷	۴/۲-۷/۲	۰/۳-۰/۵
کایرونا	۴۶/۵-۴۸/۳	۰/۴-۱/۴	۰/۲۳
سوالکی	۲۸	۷	۰/۳
تویه دروار	۵۷/۳۲	۰/۴۵	۰/۲۴

بحث و نتیجه گیری

مگنتیت کانی‌سازی داشته‌اند. روابط بافتی میان کانه‌های موجود در مقاطع صیقلی شامل مگنتیت، هماتیت و گوتیت، گویای تبدیل شدن‌های مختلف در شرایط مختلف محیطی از نظر دما، PH و EH است. بررسی شرایط دمایی و فوگاسیته اکسیژن دمای تشکیل کانی‌های منطقه را در محدوده کمتر از ۳۵۰ درجه معرفی می‌کند. بر اساس زمین شیمی کانسارهای آهن، برخی محققان نمودارهایی را ارائه کرده‌اند که انواع مختلف کانسارهای آهن را از یکدیگر متمایز می‌کند. بر اساس مقادیر عناصر فرید (Fe, Ni, V, Ti) و نسبت‌های مذکور، کانسارهای آهن پرکامبرین سوئد را به سه گروه کانسارهای آهن ماگمایی تیتانیوم‌دار، کانسارهای آهن ماگمایی آپاتیت‌دار و سازندهای آهن نواری تقسیم بندی کرده‌اند (نیستروم و هنریکوئیز، ۱۹۹۵). مبنای تقسیم بندی این نمودارها بر اساس تجزیه شیمیایی مگنتیت و هماتیت انواع کانسارهای اکسیدی آهن

کانسار آهن تویه دروار در شمال غرب شهرستان دامغان به همراه نهشته‌های کلسیت و سیلیس به شکل توده‌ای در سنگ میزبان کربناته با سن تریاس ایجاد شده است. حضور سنگ‌های غنی از آهن و منیزیم در مجاورت توده‌های آهن در محدوده معدنی نشانگر وجود یک سیستم ماگمایی بزرگتر در زیر منطقه مورد مطالعه می‌باشد که مرتبط با کانه‌زایی آهن است. کلسیت و سیلیس موجود در این کانسار با ساخت رگه‌ای و شکافه پرکن نشان دهنده آخرین مرحله فاز کانه‌زایی است. بررسی‌های ژئومتری و ساخت و بافت انجام شده، در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی بر روی کانسار آهن بیانگر این مطلب است که توالی پاراژنزی و کانی‌زایی در کانسار، شامل کانی‌سازی مگنتیت و پیریت بوده و پس از آن کانی‌های سولفیدی چون کالکوپیریت، کوولیت، کانی‌های اکسیدی و کربناتی ناشی از هوازدگی در فضاهای خالی سنگ میزبان، باطله و

شود (لوبرگ و هورندهال، ۱۹۸۳). نمودارهایی که بر اساس مقادیر عناصر جزئی رسم شده‌اند و همچنین تحلیل پارامترهای محاسبه شده برای عناصر جزئی نشان می‌دهد که کانسار آهن تویه- دروار در محدوده کانسارهای ماگمایی قرار می‌گیرد. بر اساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی می‌توان گفت که تیپ کانسار آهن تویه‌دروار از نوع ماگمایی است و سیال مسئول کانی‌سازی، طی فرایندهای تفریق و تبلور توده- های آذرین، به صورت یک فاز سیال ماگمایی تشکیل و به درون سنگ‌های کربناتی تزریق شده و باعث تشکیل کانسار شده است.

-خانعلی‌زاده، ع.، ۱۳۸۴. پترولوژی، ژئوشیمی و جایگاه تکتونیکی توده کوارتز مونزونیتی تویه دروار، جنوب غرب دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
-نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، ۴۵۸ ص.
-یوسفی، ت.، ۱۳۸۹. بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی سنگ آهن قالوزندان، جنوب شرق مهاباد، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه.

-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, v. 22, p. 292-300.
-Barton, M.D. and Johnson, D.A., 2000. Alternative brine sources for Fe-Oxide (-Cu-Au) Systems: Implications for hydrothermal alteration and metals, PGC Publishing, Adelaide, p.1-43-60.

می‌باشد. زیرا مگنتیت و هماتیت انواع نهشته‌های کانیایی یک سری تفاوت‌های ترکیبی را نشان می‌دهند که در ارتباط با نوع کانسار است و می‌تواند راهکاری مناسب برای ایجاد یک سری نمودارهای جدا کننده برای انواع مختلف کانه‌زایی به حساب آید. تجزیه شیمیایی مگنتیت‌های کانسارهای مختلف نشان می‌دهد که کانسارهای مگنتیت- آپاتیت نوع کایرونا نسبت به IOCG دارای مقادیر بالاتری از V و Ti هستند. کانسارهای مگنتیت- آپاتیت نوع کایرونا همچنین تمرکزهای نسبتاً پایینی از Mn و Al از خود نشان می‌دهند. Mn‌های کانسنگ‌های آهن آپاتیت‌دار به وسیله Cr بسیار پایین و محتوای بالای V مشخص می‌-

منابع

- بابکی، آ.، ۱۳۸۳. بررسی الگوی کانسار سازی آهن در کانسار گل‌گهر سیرجان، کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
-پورخاک، ف.، ۱۳۸۲. پاراژنز، پتروژنز و پتروشیمی کانسار آهن گل‌گهر (آنومالی شماره ۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
-جلیلی، ر. و طلائی، ب.، ۱۳۹۱. بررسی سنگ‌شناسی سنگ آهن روستای تویه، نوزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.

-Castor, S.B. and Hedrick, J.B., 2006. Rare Earth Elements .In: Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M., and Krukowski, S. T. (eds.), Industrial Mineral Rocks, 7th edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration., Littleton, Colorado, p.769-792.
-Craig, J.R. and Vaughan, D.J., 1994. Ore microscopy and ore petrography and tectonic evolution of Iran report 52, 626p.

- Corriveau, L., 1978. Natural Resources Canada, Geological Survey of Canada (-2000),
- Friestch, R., On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type, *Economic Geology*, v. 73(4), p.478-485.
- De Sitter, J., Govaert, A., De Grave, E., Chamaere, D. and Robrecht G., 1977. Mossbauer study of Ca^{2+} containing magnetites, *Physics Status Solid*, v. 43, p. 619-624.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman J., 1991. An introduction to rock forming minerals, London Longman, p. 528.
- Einaudi, M.T. and Burt, D.M., 1982. Terminology, classification & composition of skarn deposits, *Economic geology*, v. 77, p.745-754.
- Frietsch, F. and Perdahl, J.A., 1995. Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types, *Ore Geology reviews*, v. 9, p.489-510.
- Jenner, G.A., 1996. Trace element geochemistry of igneous rocks: geochemical nomenclature and analytical geochemistry, In: *Applications for Massive Sulfide Exploration Short Course Notes*, Geological Association of Canada, p.12 - 51-77.
- Harlov, D.E., Andersson, U.B., Foerster, H., Nystrom, J.O., Dulski, P. and Broman, C., 2002. Apatite-monazite relation in the Kiirunavaara magnetite-apatite ore, Northern Sweden, *Chemical Geology*, v. 21, p.191-47-72.
- Hitzman, M.C., 2000. Iron Oxide-Cu-Au deposits: what, where, when and why, In *hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits, A global Perspective*, p. 1-9-25.
- Hitzman, M.W., Orekes, N. and Einaudi, M.T., 1992. Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic Iron Oxide (Cu-U-Au-REE) deposits, *Precambrian research*, v. 58, p. 241-287.
- Kamei, G. and Ohmoto H., 2000. The Kinetics of reactions between Pyrite and O_2 -bearing water revealed from in Situ measurements of DO, Eh and Ph in a closed system, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, v. 64, p.2585-2601.
- Kato, Y., Nakao, K. and Isozaki, Y., 2002. Geochemistry of Late Permian to Early Triassic pelagic cherts from Southwest Japan, implications for an oceanic redox change, *Chemical Geology*, v. 182, p.15-34.
- Kupeli, S., 2010. Trace and rare earth element behavior during alteration and mineralization in the Attepe iron deposits (Feke-Adana, southern Turkey), *Journal of Geochemical Exploration*, v. 105, p. 51-74.
- Lefebure, D.V., 1995. Iron Oxide Breccias and veins P-Cu-Au-U, in selected British Columbia, *Mineral Deposit Profiles*, v. 1, p. 33-36.
- Loberg, B. E. H. and Hornthal, A.K., 1983. Ferride geochemistry of Swedish Precambrian iron ores, *Mineralium Deposita*, v. 18, p. 3487-504.
- Mckenzie, R.M., 1980. The adsorption of Pb and other heavy metals on oxides of Mn and Fe, *Australian Journal of Soil Reviews*, v. 18, p. 61-73.
- Mucke, A. and Cabral A.R., 2005. Redox and nonredox reaction of magnetite and hematite in Rocks, *Chemie Erde*, v. 65, p.271-278.
- Naslund, H.R., Aginre, R., Dobbs, F.M., Henriquez, F.J. and Nystrom, J.O., 2000. The origin, emplacement and eruption of ore magmas, *Ninth Congreso Geologico Chileno Actas*, v. 2, p.135-139.
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 199. An evaporitic Source model for igneous-related Fe-Oxide (REE-Cu-Au-U) mineralization, *Geology*, v. 24, p.259-262.

- Nystrom, J.O. and Henriquez, F., 1995. Magmatic Features of Iron Ores of The Kiruna type in Chile and Sweden: Ore Textures and Magnetite Geochemistry, *Economic Geology*, v. 89, p. 820-839.
- Ohmoto, H., 2003. Nonredox transformations of magnetite, Hematite in hydrothermal systems, *Economic Geology*, v. 98, p. 157-167.
- Ramdohr, P., 1980. *The ore Minerals and Their Intergrowth*, Pergamon Press, 1207.
- Redman, P.W. and Reily, W., 1970. The Synthesis and Inversion of nonstoichiometric titanomagnetites *Phys, Earth Planet, Inter*, v. 4, p.121-128.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*, Longman Publisher, 429 p.
- Spangenberg, J. E., Lavric, J. V., Alcalá, C., Gosar, M., Dold, B. and Pfeifer, H.P., 1999. Inorganic and organic geochemical patterns of waste material from the Idrija mercury mine (Slovenia): tracers of natural and anthropogenic chemicals, 5th Biennial SGA Meeting and 10th Quadrennial IAGOD Symposium London, England.
- Sparks D.L., 1995. *Environmental soil chemistry*, Academic Press, New York, 267 p.