



چگونگی شکل گیری کانسار منگنز بزنین، اردستان (اصفهان) براساس بررسی های میکروسکوپی و داده های ریزکاوش الکترونی

حمزه ثابت ورنامخواستی*^۱، حسن میرنژاد^۱، علی احمدی^۲، سیده فریبا سجادی آلهاشم^۳

۱- دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

۲- گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۳- شرکت میهن کان یاب، تهران

(دریافت مقاله: ۹۱/۱/۱۴، نسخه نهایی: ۹۱/۵/۴)

چکیده: کانسار رگه ای منگنز بزنین در میزبان ریولیت پرفیری و در راستای گسل اصلی واژگون منطقه با روند غالب شمال خاوری - جنوب باختری تزریق شده است. بررسی های میکروسکوپی و داده های ریزکاوش الکترونی حضور کانی های منگنز متنوعی از جمله اسپسارتین، رودوکروزیت، بیکسبایت، هاسمانیت، براونیت، پیرولوویت، پسیلوملان، کریپتوملان، مانگانیت و منگانوکلسیت را در کانسار منگنز بزنین و کانی های براونیت، پیرولوویت، پسیلوملان، کلسیت، منگانوکلسیت و رودوکروزیت را در زیر واحد آذرآواری توف آهکی (E_6^{VCL}) حاوی منگنز - آهن نشان می دهند. توپوگرافی مرتفع تر کارگاه ۱ و ترکیب کانی شناسی آن حاکی از آن است که کارگاه شماره - ۱ نسبت به ۲ دستخوش برونزایی بیشتری شده است. شواهد صحرایی، بررسی های کانی شناسی و نتایج تجزیه های ریزکاوش الکترونی روی واحد آذرآواری کربناتی E_6^{PY} و E_6^I ، ارتباط ژنتیکی بین کانسار منگنز و توالی های خروجی - رسوبی منطقه را ثابت کرده و می توان نتیجه گرفت که سیالات گرمایی، منگنز و کربنات را از سنگ های آذرآواری یاد شده شسته و در طول گسل های اصلی و فرعی منطقه و در شرایط مناسب ژئوشیمیایی ته نشین کرده اند.

واژه های کلیدی: کانسار رگه ای؛ منگنز بزنین؛ اردستان؛ میزبان ریولیتی؛ ریزکاوش الکترونی.

مقدمه

برونزای دریایی عبارتند از پوسته ها، گرهک ها و رسوب های دریایی. نوع گرمایی قاره ای در سه مجموعه چشمه های آب گرم، رگه ای و نوع سدکس (کانسارهای رسوبی - برونزایی) قابل بررسی هستند. در نوع گرمایی دریایی، منگنز با دودکش های سیاه پشته میان اقیانوسی ارتباط داشته و گرهک های منگنزدار شکل گرفته در این محیط (در سطح پوسته اقیانوسی) حاوی مقادیر اقتصادی آهن، مس، نیکل و کبالت اند.

نیکلسون (۱۹۹۲) کانسارهای اکسید منگنز را براساس فرایندهای کانسار ساز، ویژگی ها و محیط های ته نشست به دو گروه اصلی برونزا و گرمایی تقسیم کرده است [۱]، که این دو گروه به نوبه خود به دو زیر گروه قاره ای و دریایی با زیر مجموعه های وابسته رده بندی می شوند. به عنوان مثال برونزا قاره ای به انواعی از جمله وابسته به خاک، هوازده (همراه لاتریت های منگنزدار)، آب جوی و سطحی قابل تقسیم است.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۲۳۴۵۷۲۰، پست الکترونیکی: hmzsabet_ut@yahoo.com

زمین‌شناسی دانشگاه کارلتون اتاوا کشور کانادا مورد تجزیه ریزکاشی الکترونی قرار گرفتند. دقت دستگاه ۱ تا ۲ درصد برای عناصر اصلی و ۳ تا ۵ درصد برای عناصر فرعی بوده است.

زمین‌شناسی

منطقه بزین در زون آتشفشانی ارومیه - دختر واقع می‌شود. در ایران مرکزی آتشفشان ائوسن، به ویژه در زون ماگمایی یاد شده بیشترین گسترش را دارد. یکی از پیامدهای رویداد حرکت‌های کوهزایی پیرنئن در اواخر ائوسن و اوایل الیگوسن گسترش محیط‌های خشکی است و به همین رو تکاپوهای آتشفشانی این زمان بیشتر از انواع دریایی کم‌عمق تا قاره‌ای هستند [۳].

واحدهای آذرآواری و آتشفشانی منطقه بزین شامل توف و روانه‌های ایگنمبریتی، آندزیتی، داسیتی، آندزیت بازالتی، توف برشی ریولیتی، گنبد ریولیت‌پرفیری و توف‌ریولیتی - داسیتی تا توفیت با سن ائوسن‌میانی بوده که در شمال و شمال باختر منطقه رخنمون دارند و توده‌های نفوذی نیز دارای ترکیب دیوریت - مونزودیوریت هستند (شکل ۱). گنبد ریولیتی میزبان کانه‌زایی منگنز به وسیله‌ی دایک‌های با ترکیب دیابازی قطع شده است. از واحدهای دیگر منطقه که دارای گسترش محدود بوده، واحدهای آذرآواری کربناتی ساحلی هستند، که در اثر نفوذ گنبد ریولیتی میزبان کانه‌زایی چین خورده‌اند. واحد آذرآواری که از سمت قاعده به بالا شامل سه زیر واحد توف برشی (E_6^{vb})، توف آهکی (E_6^{vct}) و برش ریولیتی (E_6^{Rb}) است، دارای منگنز و مقداری آهن همزاد غیراقتصادی بوده و احتمال ارتباط ژنتیکی بین کانسار منگنز و این لایه‌های حاوی منگنز وجود دارد.

سنگ نگاری واحدهای دربرگیرنده کانسار بزین

در ناحیه‌ی مورد بررسی، به ساخت‌های رگه‌ای - رگچه‌ای و داربستی (شکل ۲- الف)، دندریتی در دو کارگاه استخراجی، ساخت برشی در میزبان کارگاه ۲ (شکل ۲- ب)، ساخت دندریتی - افشان منگنز در میزبان ریولیتی کارگاه ۱، ساخت نواری - چین‌خورده (شکل ۳- الف)، بوتریوئیدال [خوشه انگوری] (شکل ۳- ب)، ساخت کلئوئیدال منگنز در کانسار و ساخت فرسایشی لانه‌کبوتری در میزبان ریولیتی می‌توان اشاره کرد.

کانسار منگنز بزین در ۲۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان اردستان، ۹۰ کیلومتری شمال خاوری اصفهان و در راستای کمربند ماگمایی - آتشفشانی و ساختاری ارومیه - دختر قرار دارد. سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی غالباً آتشفشانی بوده و شامل الیوین بازالت، تراکیت بازالت، تراکی‌آندزیت، آندزیت، تراکیت، داسیت، ریوداسیت، ریولیت و ایگنمبریت‌اند که ریولیت بیشترین گسترش را به خود اختصاص داده است. کانسار منگنز بزین در ساختار گسل واژگون منطقه با مشخصات N50E,60- 80SE درون میزبان ریولیتی تزیق شده است. رگه اصلی و اقتصادی این کانسار که در قالب دو کارگاه استخراجی شماره‌ی ۱ و ۲ بهره‌برداری شده است، دارای ضخامت متوسط ۲-۴ متر، طول غیر ممتد نزدیک به ۱/۵ کیلومتر و ذخیره‌ی قابل بهره‌- برداری حدود ۶۶۸۰۰ تن با عیار میانگین اکسید منگنز ۵۰/۱۸ درصد است [۲]. به منظور آگاهی از کانی‌شناسی کانسار، بررسی چگونگی شکل‌گیری و خاستگاه منگنز بررسی‌های میکروسکوپی و تجزیه ریزکاش الکترونی (EMP) روی تعدادی از نمونه‌ها صورت گرفته است.

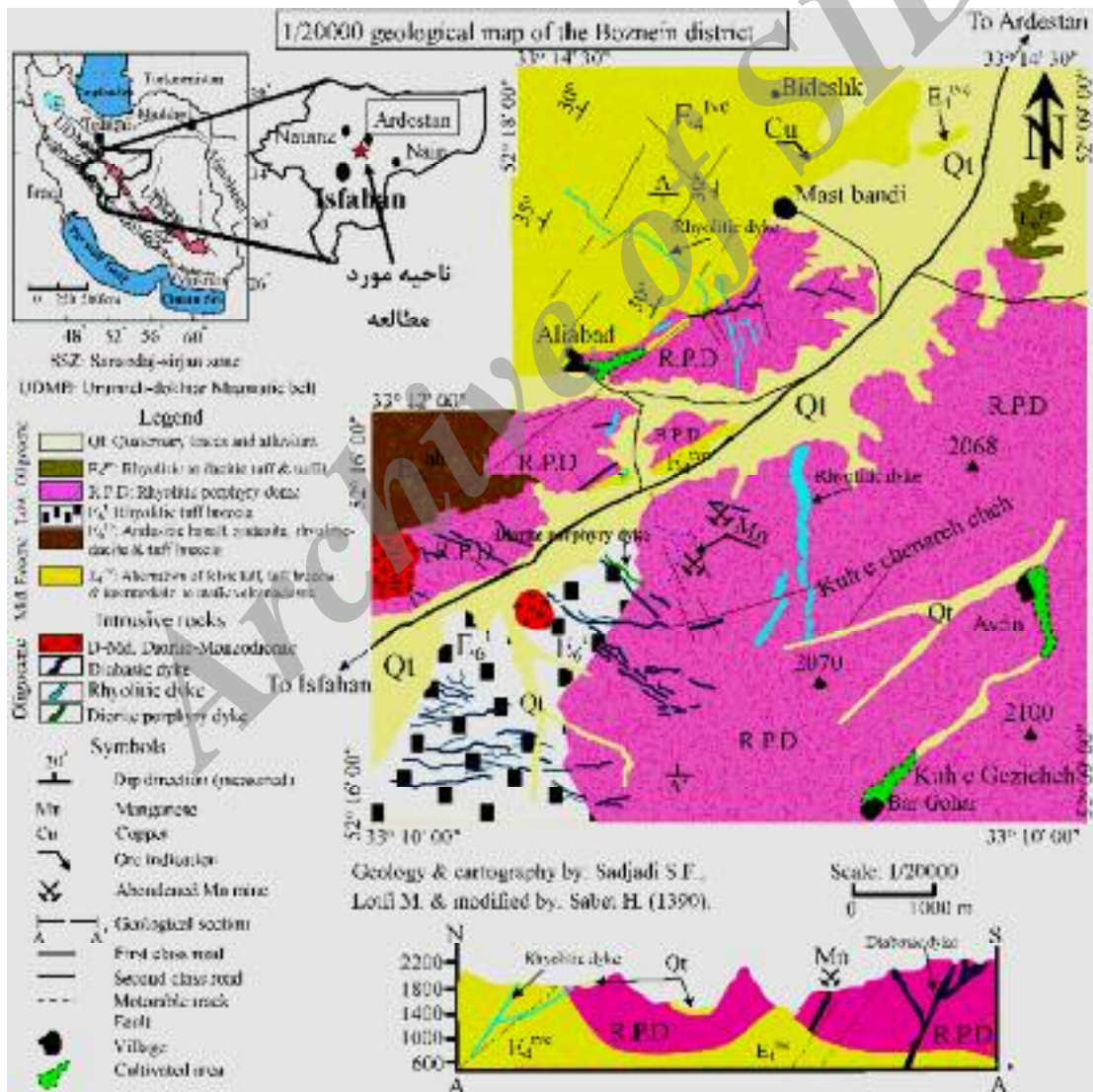
نمونه‌برداری و روش آنالیز

برای بررسی کانسار منگنز بزین، مراحل مختلف به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفتند.

الف) بررسی کارهای پیشین در منطقه بزین، بررسی نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه اردستان، بازدید صحرایی و برداشت سیستماتیک نمونه‌ها از رگه‌ی منگنز و سنگ‌های منطقه، (ب) تهیه‌ی ۱۰ مقطع نازک از دایک‌ها، ریولیت میزبان کانسار منگنز، زیر واحد توف آهکی (E_6^{vct}) و واحد آذرآواری آهن - منگنزدار (E_6^1) با منگنز همزاد، برای بررسی بافت و شناسایی کانی‌های کربناتی و سیلیکاتی در نور عبوری، (پ) تهیه‌ی ۱۵ مقطع صیقلی از کانسنگ برای بررسی در نور بازتابی، (ت) تهیه‌ی ۵ مقطع نازک صیقلی از نمونه‌های کانسنگ همراه با باطله (سیلیکات-کربنات) برای بررسی‌های میکروسکوپی و کانه‌نگاری، (ث) روی ۵ مقطع نازک صیقلی انتخابی از کانه‌های منگنزدار و باطله همراه ۲۱ نقطه گزینش شده با استفاده از دستگاه مدل Camebax MBX، به روش پراش - طول موج (WDS) و در شرایط پتانسیل شتابی ۱۵ کیلوولت، جریان ۲۰ نانوآمپر و قطر پرتو تابشی ۵ میکرون در دانشکده‌ی

تمام مقاطع میکروسکوپی سنگ میزبان کانسار دیده می‌شوند (شکل ۴- الف). زیر واحد آهک پیریتی دارای آهک نازک تا متوسط لایه و قطعات برشی توف بوده و در قاعده واحد توف و توفیت‌ریولیتی (E_6^{py}) و در چند کیلومتری رگه اصلی منگنز واقع در شرق روستای ماست‌بندی قرار گرفته که رخنمون کوچکی را نیز در بلافضل گنبد ریولیتی نشان می‌دهد (شکل ۱). زیر واحد یاد شده دارای عدسی و نوارهای سیاه چند میلی‌متری منگنز همزاد بوده و در مرز تماس گنبد ریولیتی میزبان کانه‌زایی با این زیر واحد، چین‌خوردگی کوچک مقیاسی دیده می‌شود که حاصل نفوذ گدازه‌ی ریولیتی در این زیر واحد است.

ریولیت میزبان کانه‌زایی منگنز دارای بافت پرفیری است و پرفیرها غالباً از جنس کوارتز و فلدسپات در زمینه‌ی شیشه‌اند. کوارتزهای خلیجی با قطر متوسط ۰/۱ میلی‌متر، ۱۵-۲۰ درصد حجم سنگ و فلدسپات‌ها با قطر متوسط ۰/۲-۰/۱ میلی‌متر، ۱۰-۲۵ درصد از حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. بقیه حجم سنگ ریولیتی را زمینه (شیشه) تشکیل داده و در برخی از مقاطع اسفن، آپاتیت و بیوتیت (کمر از ۵ درصد حجم سنگ و اندازه‌ی آن‌ها کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر) نیز به‌صورت فرعی در زمینه‌ی شیشه دیده می‌شوند. کوارتزهای خلیجی متوسط تا درشت دانه با حاشیه‌ی واکنشی دارای بافت اسفنجی و فلدسپات‌های قلیایی (ارتوز و اندکی سانیدین) در



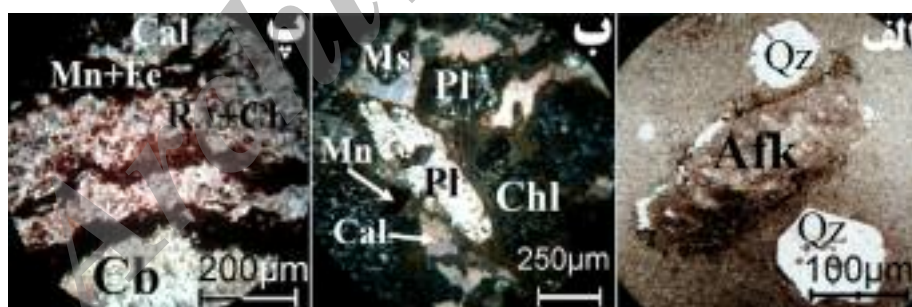
شکل ۱ موقعیت جغرافیای منطقه‌ی مورد بررسی در گوشه‌ی چپ نقشه (داخل نقشه استان اصفهان) با ستاره ★ قابل رویت است. در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ منطقه، ریولیت پرفیری میزبان کانسار (R.P.D) بخش مهمی را به خود اختصاص می‌دهد (اصلاح شده از سجادی آل‌هاشم و همکاران، ۱۳۸۴).



شکل ۲ (الف) ساخت رگچه‌ای و داربستی منگنز در میزبان ریولیتی (R.P.D) کارگاه شماره ۱ و ۲. (ب) برش‌های گرمایی که غالباً در فصل مشترک میزبان (ریولیت) و رگه منگنز در کارگاه شماره ۲ دیده می‌شوند.



شکل ۳ (الف) مرز چین‌خورده‌ی بین زیرواحد توف آهکی حاوی منگنز همزاد (E_6^{vct}) از واحد E_6^t با گنبد ریولیتی میزبان (R.P.D). چین‌خوردگی با خط سیاه درشت در تصویر نشان داده شده است. (ب) ساخت خوشه انگوری در کانه‌ی منگنز.



شکل ۴ (الف) مقطع نازک از گنبد ریولیتی حاوی بلورهای درشت کوارتز (Qz) و فلدسپات‌قلیایی (Afs) در مرکز تصویر. نور قطبیده‌ی معمولی. (ب) مقطع نازک از توف برشی حاوی کانی‌های خردشده مسکوویت (Ms)، پلاژیوکلاز (Pl)، کلسیت (Cal)، کلریت (Chl)، نوار و عدسی‌های منگنز (Mn). نور بازتابی. (پ) مقطع نازک از زیرواحد رسوبی - آتشفشانی توف آهکی دارای نوارهای متناوب آهن (Fe)، منگنز (Mn)، کربنات (Cb)، کلاست‌های توف ریولیتی + کربنات (R.t+Cb). نور قطبیده‌ی معمولی.

توفاند (شکل ۴-ب). در تعدادی از مقاطع زیرواحد توف برشی بافت‌های غربالی (ذرات کلسیت داخل پلاژیوکلاز)، برشی (شکل ۴-ب)، نواری، چین‌خورده و پوئیکلیتیک دیده می‌شود. کانی‌های کدر (کانه‌ی منگنز و آهن) به‌صورت نواری و عدسی‌هایی در متن کانی‌های یاد شده حضور دارند (شکل ۴-ب). در مقاطع میکروسکوپی از زیرواحد توف آهکی منگنزدار،

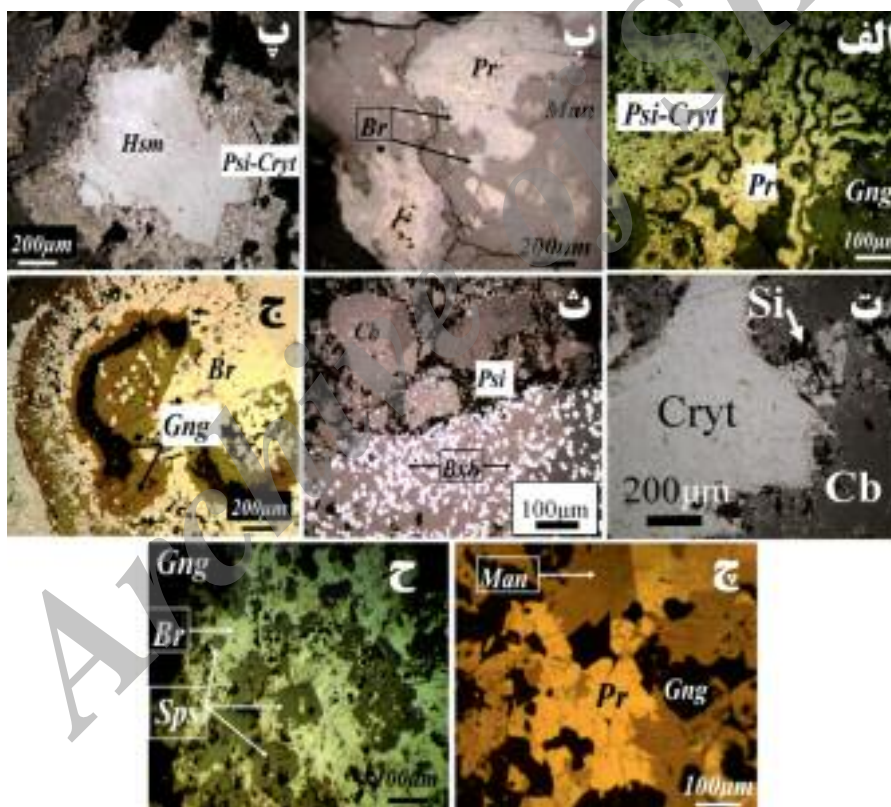
واحد آذرآواری ساحلی آهن - منگنزدار E_6^t که در باختر و جنوب‌باختری رگه‌ی اصلی منگنز دیده می‌شود، دارای سه زیر واحد توف برشی (E_6^{vbt})، توف آهکی شیشه‌ای - بلورین (E_6^{vct}) و برش ریولیتی (E_6^{Rb}) است (شکل ۱). بررسی‌های میکروسکوپی حاکی از حضور قطعات پلاژیوکلاز، مسکوویت، کوارتز، فلدسپات و دگرسان فراگیر کلریتی در زمینه‌ی این

درصد از حجم کانسنگ و باطله نیز ۴۵-۴۰ درصد از حجم آن را تشکیل می‌دهند. هاوسمانیت و منگانیت به پیرولوژیت دگرسان شده، منگانیت - براونیت هم‌رشد به پیرولوژیت تیغه‌ای - شعاعی تجزیه شده‌اند. پیرولوژیت با قطر کمتر از ۰/۱ میلی‌متر حدود ۱۵ درصد کانسنگ، براونیت هم‌رشد توده‌ای حدود ۲۰ درصد، منگانیت با قطر حدود ۱ میلی‌متر حدود ۳۰-۵۰ درصد از حجم کانسنگ و بقیه را باطله تشکیل داده است (شکل ۵-ب) و هاوسمانیت (Mn_3O_4) دارای بافت موزائیکی یا تک بلورهای درشت است و به صورت برجسته قابل رویت‌اند. هاوسمانیت با قطر متوسط ۱ میلی‌متر حدود ۳۵ درصد حجمی کانسنگ را اشغال می‌کند (شکل ۵-پ).

نوارهای کربنات، آهن، منگنز و سیلیکات (از مقیاس میکروسکوپی تا چند میلی‌متری) به همراه قطعات کربناتی و سیلیکاتی (غالباً کوارتز و پلاژیوکلاز) دیده می‌شوند (شکل ۴-پ).

سنگ نگاری کانسار منگنز بزین

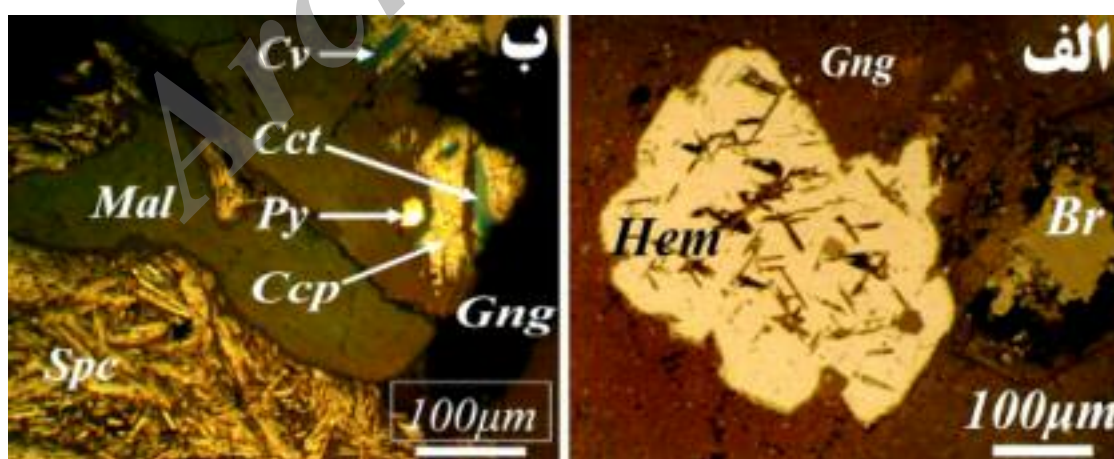
در مقاطع صیقلی تهیه شده از کانسار، پیرولوژیت (MnO_2) غالباً همراه با پسیلوملان و کریپتوملان دیده می‌شود (شکل ۵-الف). ۱۰-۱۵ درصد از حجم کانسنگ را بلورهای پیرولوژیت با قطر متوسط حدود ۰/۱ میلی‌متر شامل می‌شوند. پسیلوملان - کریپتوملان تقریباً هم اندازه پیرولوژیت هستند و حدود ۴۵



شکل ۵ (الف) پیرولوژیت (Pr) در کنار پسیلوملان (Psi) - کریپتوملان (Cryt) در زمینه باطله (Gng) کربناتی و سیلیکاتی دیده می‌شوند. نور بازتابی طبیعی. (ب) منگانیت (Man) هم‌رشد با براونیت (Br). براونیت به پیرولوژیت (Pr) تبدیل شده است. در تصویر پیرولوژیت از براونیت و براونیت از منگانیت روشن‌تر دیده می‌شود. نور بازتابی طبیعی. (پ) بلور درشت هاوسمانیت (Hsm) از حاشیه به پسیلوملان و کریپتوملان (Psi-Cryt) تبدیل شده است. نور بازتابی طبیعی. (ت) هاوسمانیت در حال تبدیل شدن به کریپتوملان (Cryt) در زمینه باطله کربناتی (Cb) و سیلیکاتی (Si). نور بازتابی طبیعی. (ث) بیکسبایت (Bxb) کلوئیدی در زمینه باطله کربناتی توده‌ای و برشی و برش‌های منگانوکلست (کربنات (Cb) منگن‌دار)، بیکسبایت در حال تبدیل به پسیلوملان (Psi). نور بازتابی طبیعی. (ج) براونیت (Br) با رنگ روشن در زمینه باطله (Gng) کربناتی رشد کرده و فضای خالی باطله‌ی کربناتی (خاکستری رنگ) به وسیله باطله‌ی سیلیکاتی (نقاط سیاه رنگ) پر شده است. نور بازتابی طبیعی. (ح) پیرولوژیت (Pr) شکل دروغین منگانیت (Man) را داراست و زمینه باطله (Gng) کربناتی است. نور بازتابی طبیعی. (ح) براونیت (Br) بین بلورهای خودشکل و برشی شده اسپسارتین (Sps) نفوذ کرده است. باطله (Gng) در این تصویر، سیلیکاتی است. نور بازتابی طبیعی.

(شکل ۵-ج). اسپسارتین $(Mn_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3)$ در نور بازتابی، تیره بوده و به صورت بلورهای خودشکل مکعبی و همسانگرد به همراه کانی‌های براونیت، رودوکروزیت و منگانوکلسیت دیده می‌شود. بلورهای اسپسارتین با قطر حداکثر ۰/۱ میلی‌متر حدود ۲۰ درصد حجمی کانسنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۵-ح). علاوه بر کانی‌های اشاره شده اکسیدها، هیدروکسیدها، سولفیدهای آهن و نیز کلسیت، دولومیت، دولومیت حاوی منگنز، منگانوکلسیت، فاز بی‌شکل سیلیکات، کوارتز، باریت و فلدسپات در کانسار منگنز دیده می‌شوند. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن به صورت مگنتیت، هماتیت (شکل ۶-ب)، گوتیت و لیمونیت وجود دارند. هماتیت (شکل دروغین مگنتیت) دارای قطر حدود ۰/۵ میلی‌متر ۳۰ درصد از حجم سنگ را اشغال کرده است. اسپیکولاریت (قطر ۰/۱-۰/۰۵ میلی‌متر و حجم اشغالی ۳۵ درصدی) در مقاطع میکروسکوپی غالباً همراه کانی‌های مس‌دار دیده می‌شود (شکل ۶-ب). تعدادی از کانی‌های مس‌دار از جمله کانی‌های کالکوسیت (قطر تقریبی ۰/۰۸ میلی‌متر، حجم اشغالی ۳ درصدی نمونه)، کولیت (قطر ۰/۰۵ میلی‌متر و حجم اشغالی ۲ درصد)، مالاکیت (حجم اشغالی ۴۰ درصد از نمونه) و پیریت و کالکوپیریت (با مجموع حجم اشغالی حدود ۵ درصد از نمونه) و ۱۵ درصد سیلیس در برخی نمونه‌های کانسنگی کارگاه ۱ و ۲ در بررسی‌های میکروسکوپی مشاهده می‌شوند (شکل ۶-ب).

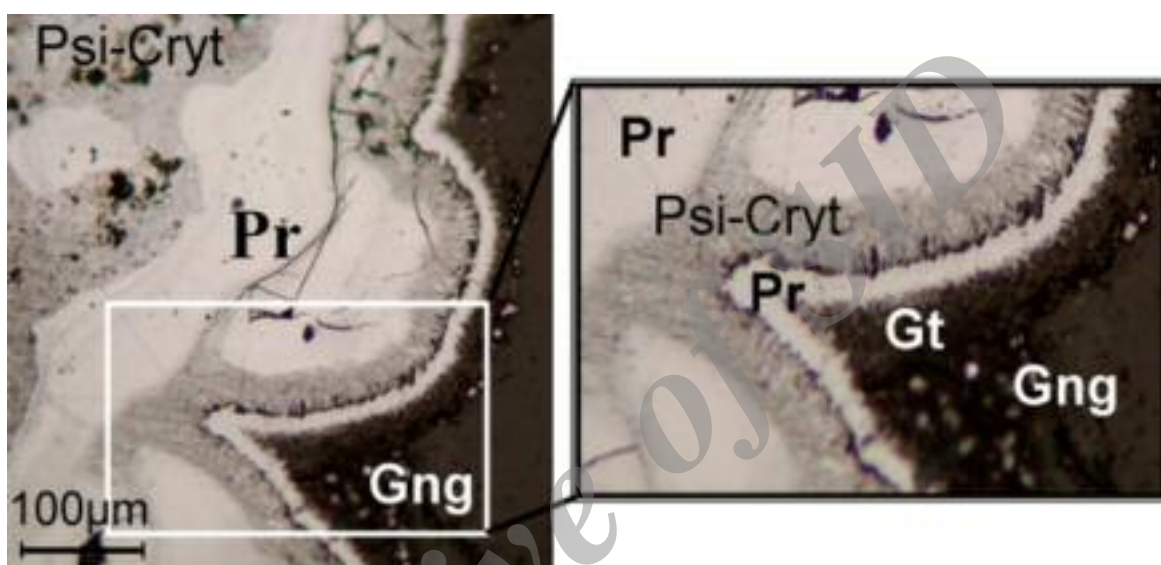
در برخی از مقاطع، تبدیل‌شدگی هاوسمانیت به پسیلوملان - کریپتوملان (شکل ۵-پ و ت) یا منگانیت به پسیلوملان - کریپتوملان و پیرولولوزیت دیده می‌شود. کریپتوملان توده‌ای در برخی مقاطع (شکل ۵-ت) دارای قطر حدود ۱ میلی‌متر است و بیش از ۴۰ درصد حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهد. رودوکروزیت، براونیت و بیکسبایت به کانه‌های ثانویه پسیلوملان و کریپتوملان تبدیل شده‌اند. کانه‌ی بیکسبایت $(Mn^{3+}, Fe^{3+})_2O_3$ که در زمینه‌ی برش‌های کربناتی توده‌ای (منگانوکلسیت، کلسیت و رودوکروزیت) به پسیلوملان تجزیه شده است، تنها در رگه‌ی اصلی کارگاه ۲ دیده می‌شود. بیکسبایت با قطر حدود ۰/۱۰ میلی‌متر ۱۰ درصد، پسیلوملان با قطر تقریباً ۰/۰۰۱ میلی‌متر حدود ۲ درصد و باطله‌ی کربناتی توده‌ای بقیه حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۵-ث). براونیت $(Mn_2O_3, MnSiO_3)$ در مقاطع صیقلی در اندازه‌های متفاوتی از ریز دانه تا درشت دانه دیده می‌شود. براونیت توده‌ای حاصل از بلورهای با قطر کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ میلی‌متر حدود ۲۰-۳۰ درصد از حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهد (شکل ۵-ج). منگانیت $(Mn^{3+}OOH)$ در برخی مقاطع به پیرولولوزیت تبدیل شده و پیرولولوزیت، شکل دروغین منگانیت را به خود گرفته است (شکل ۵-چ). منگانیت همراه براونیت (به صورت هم‌رشد) و هاوسمانیت نیز یافت می‌شود و خود به کانی‌های ثانویه پسیلوملان، کریپتوملان و پیرولولوزیت تبدیل شده است



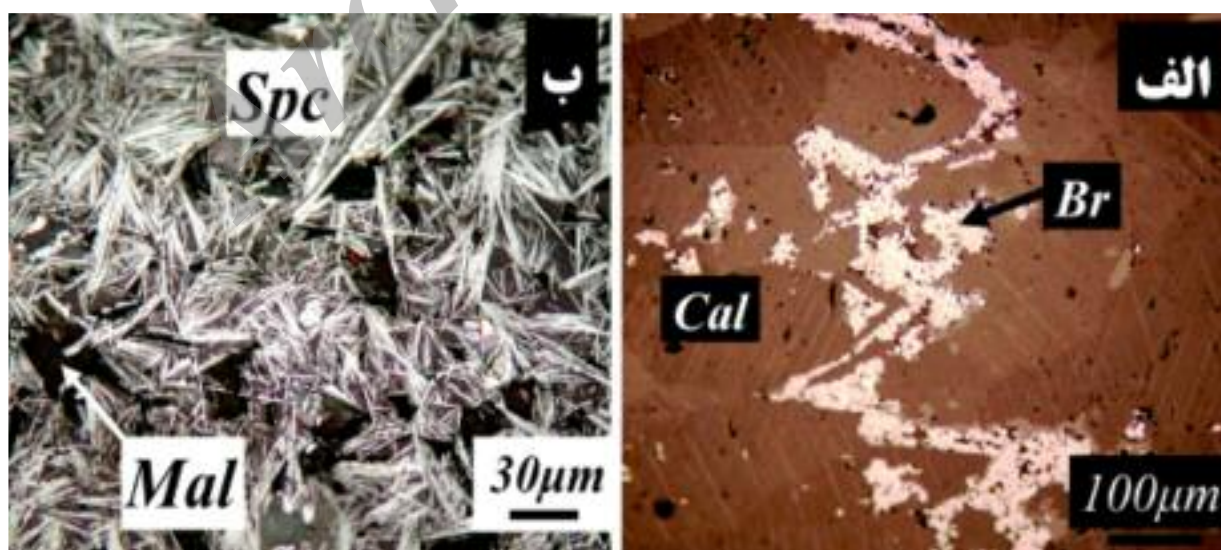
شکل ۶ الف) هماتیت (Hem) جانشین مگنتیت شده و رخ‌های مگنتیت به صورت روشنی حفظ شده‌اند. در سمت راست مگنتیت اکسید شده، براونیت (Br) در زمینه‌ی باطله‌ی کربناتی - سیلیکاتی (Gng) مشاهده می‌شود. نور بازتابی طبیعی. ب) کانی‌های سولفید مس کالکوسیت (Cct)، کولیت (Cv) و کالکوپیریت (Ccp) به همراه پیریت (Py) در زمینه‌ی مالاکیت (Mal) و در اطراف مالاکیت، بلورهای سوزنی و کشیده اسپیکولاریت (Sp) دیده می‌شوند. نور بازتابی طبیعی.

و منگانیت - براونیت (شکل ۵- ب)، بافت میکرواستیلولیت (شکل ۸- الف) و داربستی. بافت ستونی در منگانیت، بافت موزائیکی در کانه‌های هاوسمانیت و بافت ویدمن‌اشتان (حاصل هم‌رشدی ایلمنیت و منگنتیت) در میزبان ریولیتی مشاهده می‌شوند. بافت کلو فورم در پسیلوملان گویای نهشت کانه در دمای پایین از شاره‌ی کانه‌دار است [۴].

کانه‌های منگنز و باطله‌ی همراه در مقاطع میکروسکوپی بافت‌های متنوعی نشان می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: بافت کلوئیدی و کلو فورم در کانه‌های کریپتوملان - پسیلوملان، پیرولولزیت، بیکسبایت و براونیت (شکل ۵- الف، ۵- ث و ۵- ج)، بافت سوزنی - شعاعی و توده‌ای در کانی‌های کریپتوملان - پسیلوملان، اسپیکیولاریت، پیرولولزیت و گوتیت (شکل ۷ و ۸- ب)، بافت هم‌رشدی بین هاوسمانیت - براونیت



شکل ۷ کانی‌های پسیلوملان - کریپتوملان (Psi-Cryt)، پیرولولزیت (Pr) و گوتیت (Gt) به سمت داخل حفره میکروسکوپی رشد کرده و بافت سوزنی، کلو فورم و توده‌ای نشان می‌دهند. کانی باطله‌ی پرکننده حفره، باطله (Gng) کربناتی است. نور بازتابی طبیعی.



شکل ۸ (الف) براونیت (Br) در مرز بلورهای کلسیت (Cal) و رخ‌های موجود نفوذ کرده و به پیروی از این نقاط ضعف بلوری، بافت میکرواستیلولیت به خود گرفته است، نور بازتابی طبیعی، در هوا. (ب) بلورهای سوزنی - میله‌ای اسپیکیولاریت (Spc) در زمینه‌ی ملاکیت (Mal). نور بازتابی، طبیعی، در هوا.

شیمی کانی‌ها

ترکیب شیمیایی کانه‌های منگنز، کانی‌های سیلیکاتی - کدر در میزبان ریولیتی و واحد توف آهکی در جدول ۱ و کربنات‌های همراه کانسار در جدول ۲ ارائه شده‌اند. کانی‌های کدر موجود در ریولیت شامل ایلمنیت و مگنتیت‌اند (جدول ۱). نتایج تجزیه

ریزکاوش الکترونی نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی کربنات‌های موجود در زیرواحد آذرآواری توف‌آهکی (E_6^1) غالباً به سمت کلسیت، منگانوکلسیت و رودوکروزیت گرایش نشان می‌دهند و با افزایش منیزیم و آهن، ترکیب رودوکروزیت و کلسیت به سمت آهن‌دار و منیزیم‌دار میل می‌کند (شکل ۹).

جدول ۱ نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی کانی‌های موجود در ریولیت میزبان کانه‌زایی بزین و توف آهکی حاوی منگنز همزاد.

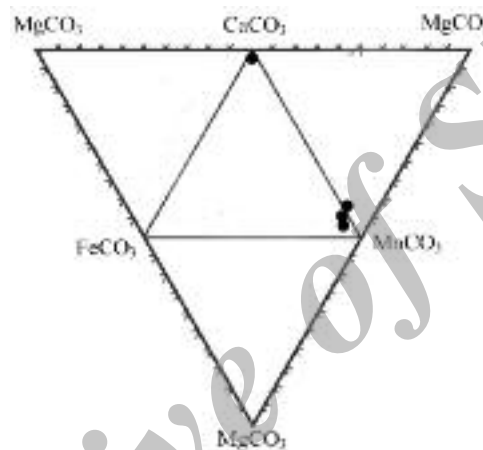
سنگ	ریولیت میزبان		توف آهکی (E_6^{vt})					
	K1-h	K1	V1	V2	V3	VB1	VB3	VB6
نمونه مورد تجزیه	Mag	Ilm	Pr	Br	Man. Cal.	cal.	Fe-bearing-Br	Psi
نام اختصاری کانی	Mag	Ilm	Pr	Br	Man. Cal.	cal.	Fe-bearing-Br	Psi
درصد وزنی								
Na ₂ O	۰	۰٫۱۹	۰	۰٫۰۵	۰٫۲	۰٫۰۹	۰٫۰۵	۰
CaO	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۲	۲٫۰۴	۴٫۰۱	۵۷٫۲۵	۱٫۵۶	۱٫۴۶
K ₂ O	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰	۰٫۵۲	۰٫۰۴	۰	۰
FeO(t)	۹۷٫۶	۵۲٫۷۱	۰٫۷۴	۱٫۴	۱٫۰۴	۰	۶٫۳۴	۰٫۶۴
SiO ₂	۰٫۳۲	۰٫۳۵	۰٫۱۹	۱۱٫۲۹	۲٫۸۵	۰٫۲۲	۱۰٫۸	۲٫۶۶
MnO(t)	۰٫۱۷	۰٫۸۹	۸۹٫۴۷	۷۵٫۳	۶۰٫۳۳	۰٫۳۴	۷۱٫۳۵	۷۲٫۰۸
Al ₂ O ₃	۰٫۴۸	۰٫۶۳	۰٫۶۳	۰٫۸	۱٫۲۷	۰٫۱۶	۱٫۰۶	۰٫۷۱
BaO	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶٫۲
MgO	۰٫۱۵	۰٫۶۸	۰٫۳۲	۰٫۱۲	۱٫۳۸	۰٫۱۱	۰٫۲۴	۰٫۷۵
CO ₂ *	۰	۰	۰	۰	۲۷٫۹۲	۴۱٫۷۹	۰	۰
TiO ₂	۰٫۴۵	۴۳٫۷۸	۰	۰	۰٫۲۶	۰	۰	۰
V ₂ O ₅	۰٫۴۳	۰٫۲۱	۰٫۰۵	۰	۰٫۱۲	۰	۰	۰
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۶	۰٫۱۷	۰	۰٫۱۱	۰	۰	۰	۰
H ₂ O	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۱	۰	۰٫۱	۰	۰	۱۵٫۱
O	۰	۰	۸٫۲۷	۸٫۸۹	۰	۰	۰	۰
Total	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹٫۶۳
Na ⁺	۰	۰٫۱۳	۰	۰٫۰۴	۰٫۱۵	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰
Ca ²⁺	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۱٫۴۶	۲٫۸۶	۴۰٫۸۹	۱٫۱۱	۱٫۰۶
K ⁺	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰	۰٫۴۳	۰٫۰۳	۰	۰
جدول ۱ (ادامه).								
Fe(t)	۷۵٫۶	۴۰٫۸۶	۰٫۵۷	۱٫۰۹	۰٫۸۱	۰	۴٫۹۱	۰٫۵
Si ⁴⁺	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۰۹	۵٫۲۸	۱٫۳۳	۰٫۱	۵٫۰۵	۱٫۲۴
Mn(t)	۰٫۱۲	۰٫۶۴	۶۳٫۹۱	۵۳٫۷۹	۴۳٫۰۹	۰٫۲۴	۵۰٫۹۶	۵۱٫۴۹
Ba ²⁺	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵٫۵۴
Al ³⁺	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۳۳	۰٫۴۲	۰٫۶۷	۰٫۰۸	۰٫۵۶	۰٫۳۸
Mg ²⁺	۰٫۰۹	۰٫۴۱	۰٫۱۹	۰٫۰۷	۰٫۸۳	۰٫۰۷	۰٫۱۴	۰٫۴۵
Ti ²⁺	۰٫۲۷	۲۶٫۲۱	۰	۰	۰٫۱۶	۰	۰	۰
V ³⁺	۰٫۲۴	۰٫۱۲	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۷	۰	۰	۰
Cr ³⁺	۰٫۰۴	۰٫۱۱	۰	۰٫۰۸	۰	۰	۰	۰

*CO₂: CO₂ بر اساس CO₃ در فرمول واحد محاسبه شده، Mn(t)، Fe(t)، MnO(t) و FeO(t): آهن و منگنز (II و III) به صورت

کل گزارش شده. Mag: مگنتیت میزبان ایلمنیت ستونی در میزبان ریولیتی، Ilm: ایلمنیت ستونی، Pr: پیرولوویت، Br: براونیت، Man.cal: منگانوکلسیت، Cal: کلسیت، Fe-bearing-Br: براونیت حاوی آهن و Psi: پسیولمان.

جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی ریزکاوش الکترونی وابسته به ۷ نمونه از کربنات‌های همراه کانسار منگنز بزین.

نمونه مورد تجزیه	Ca	Mn	Fe(t)	Mg	Tot.	توصیف (نام کانی‌ها)
30-b	۱۸٫۲	۴۷٫۲۸	۳۴٫۵۱	۰	۱۰۰	محلول جامد رودوکروزیت- سیدریت- کلسیت
30-c	۶٫۲	۸۹٫۸۳	۳٫۷۵	۰	۱۰۰	محلول جامد رودوکروزیت- سیدریت- منگانو کلسیت
30-d	۲۶٫۷۹	۱۶٫۷۴	۵۶٫۴۷	۰	۱۰۰	محلول جامد سیدریت- کلسیت- رودوکروزیت
30-g	۲۸٫۱۷	۱۱٫۰۲	۶۰٫۸	۰	۱۰۰	محلول جامد سیدریت- کلسیت- رودوکروزیت حاوی سیلیس
31-c	۱٫۹۲	۹۸٫۰۸	۰	۰	۱۰۰	رودوکروزیت حاوی ناخالصی کلسیم و آرسنیک
12-b	۵۲٫۷۱	۹٫۶۸	۰	۳۷٫۶	۱۰۰	محلول جامد دولومیت- کلسیت حاوی منگنز
12-c	۳۲٫۸۸	۴۴٫۸۷	۰٫۳۱	۲۱٫۹۴	۱۰۰	محلول جامد رودوکروزیت- کلسیت - دولومیت



شکل ۹ ترکیب ۴ نمونه از کربنات موجود در زیر واحد توف‌آهکی (E_6^{vct}) در نمودار چهار سازندی (سیستم) کلسیت - رودوکروزیت - منیزیت - سیدریت. دایره‌های توپر نشان‌دهنده‌ی ترکیب کربنات‌های کانسار بزین هستند. سیدریت: $(FeCO_3)$ ؛ رودوکروزیت: $(MnCO_3)$ ؛ کلسیت: $(CaCO_3)$ و منیزیت: $(MgCO_3)$.

با توجه به اینکه کربنات‌های همراه کانسار ارتباط نزدیکی با کانه‌زایی منگنز دارند، بررسی آن‌ها به منظور بررسی چگونگی شکل‌گیری کانسار از اهمیت خاصی برخوردار است. کانی‌های کربناتی شناسایی شده شامل فازهای مستقل رودوکروزیت، کلسیت، منگانو کلسیت، سیدریت و دولومیت یا محلول جامدی از کانی‌های یاد شده‌اند. رودوکروزیت یکی از کربنات‌های تجزیه شده کانسار بوده و دارای فرمول عنصرسنجی $Mn_{\Sigma=0.98}CO_3$ است. فرمول عنصرسنجی بدست آمده برای دولومیت حاوی منگنز نیز به صورت $(Mg_{0.51} Ca_{0.44} Mn_{0.05})CO_3$ می‌شود (جدول ۲، شکل ۱۰). با توجه به داده‌های جدول ۲، فرمول عنصرسنجی بدست آمده برای کربنات‌هایی که تشکیل محلول جامد داده‌اند به صورت زیرند: محلول جامد سه کانی رودوکروزیت - کلسیت - دولومیت

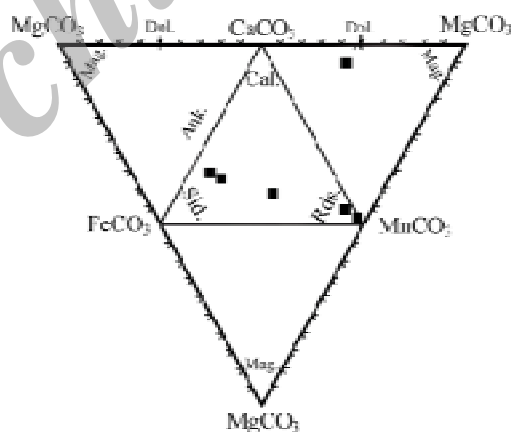
$(Mg_{0.36} Mn_{0.32} Ca_{0.32})_{\Sigma=0.98}(CO_3)_2$ محلول جامد رودوکروزیت - سیدریت - کلسیت $(Mn_{0.45} Fe_{0.32} Ca_{0.23})_{\Sigma=1}CO_3$ منگانو کلسیت $(Fe_{0.5})_{\Sigma=1}CO_3$ محلول جامد سیدریت - کلسیت حاوی مقداری منگنز و سیلیس $(Ca_{0.35} Mn_{0.15})_{\Sigma=1}CO_3$ و محلول جامد سیدریت - کلسیت $(Fe_{0.55} Ca_{0.36} Mn_{0.09})_{\Sigma=1}CO_3$.

بنابر نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی (جدول ۳)، میزان MnO پیرولوزیت به طور متوسط ۹۲٫۵ درصد، مقدار MnO هاوسمانیت در حدود ۹۰ درصد، میانگین میزان MnO در کانه‌ی کریپتوملان برابر ۷۴٫۸ درصد، مجموع اکسیدهای عناصر قلیایی (Na+K) این کانه برابر ۴٫۷۲ درصد و میانگین MnO منگانیت ۷۵٫۲۴ درصد است. براونیت به طور متوسط دارای ۹٫۶۵ درصد SiO_2 ، FeO نزدیک به صفر و MnO ۸۳٫۱۶ درصد است.

جدول ۳ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی ریزکاوش الکترونی تعدادی از کانه‌های منگنز کانسار بزنین و کانی‌های باطله‌ی همراه کانسنگ.

نمونه مورد تجزیه	17-a	30-e	11-c	31-b	12D-a	24a-a
نام اختصاری کانی	Pr.	Fk*	Man	Hsm	Br	Cryt
Wt.%						
Na ₂ O	۰	۱	۰	۰	۰	۱٫۲۲
CaO	۰٫۰۱	۰٫۹۵	۱٫۶۴	۰٫۳۱	۰٫۷	۲٫۴
K ₂ O	۰	۱۲٫۴۲	۰٫۴۲	۰	۰٫۰۱	۳٫۵
FeO	۰	۰٫۳	۰	۰	۰	۰
SiO ₂	۰٫۰۴	۶۰٫۰۷	۰٫۳	۰٫۰۹	۹٫۶۵	۰٫۰۵
MnO(t)	۹۲٫۵	۰٫۳۳	۷۵٫۲۴	۸۹٫۹۲	۸۳٫۱۶	۷۴٫۸۲
Al ₂ O ₃	۰	۱۹٫۱۵	۱٫۷۷	۱٫۲۴	۰٫۷	۰٫۶
BaO	۰	۵٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۱۲
MgO	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۲۲	۰٫۰۲	۰٫۹
H ₂ O	۰	۰	۲۰٫۴۹	۰	۰	۲٫۸
O	۷٫۴۴	۰	۰	۸٫۲۱	۵٫۷۵	۰
Total	۱۰۰	۹۹٫۴۱	۱۰۰	۱۰۰	۹۹٫۹۸	۱۰۰
Na ⁺	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۹
Ca ²⁺	۰٫۰۱	۰٫۸۶	۱٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۴۹	۱٫۷
K ⁺	۰	۱۰٫۳۶	۰٫۳۵	۰	۰٫۰۱	۱
Fe(t)	۰	۰٫۲۴	۰	۰	۰	۰
Si ⁴⁺	۰٫۰۲	۲۸٫۰۷	۰٫۱۴	۰٫۰۴	۴٫۵۱	۰٫۰۳
Mn(t)	۷۱٫۷۱	۰٫۳۴	۵۸٫۳۳	۶۹٫۷	۶۴٫۴۷	۴۹٫۹۹
Al ³⁺	۰	۱۰٫۶۶	۰٫۴۲	۰٫۶۵	۰٫۳۷	۰٫۳۱
Ba ²⁺	۰	۴٫۶۸	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۱۱
Mg ²⁺	۰	۰٫۰۲	۰٫۱	۰٫۱۳	۰٫۰۱	۰٫۵۴

Mn(t), Fe(t), MnO(t) و FeO(t): آهن و منگنز (II و III)، به صورت کل گزارش شده است. O(OH) موجود در کانه منگنیت در جدول به صورت H₂O درج شده ولی بر اساس O(OH) محاسبه شده است. Fk*: باطله فلدسپات‌قلیایی حاوی مقداری باریوم و کلسیم در نمونه شماره ۳۰-e، Man: منگنیت Mn³⁺O(OH)، Hsm: هاوسمانیت (Mn²⁺, Fe³⁺, Mn³⁺)₂O₄، Cryt: کریپتومان (K Mn₈O₁₆) (Na, Ba, Mn, Zn, Al, Cu, Co, Fe)، Pr: پیرولوزیت (MnO₂) و Br: براونیت (Mn²⁺Mn³⁺SiO₁₂ یا 3Mn₂O₃.Mn SiO₃).



شکل ۱۰ ترکیب کربنات‌های کانسار منگنز بزنین در نمودار چهار سازندی کلسیت (Cal.) - رودوکروزیت (Rds.) - منیزیت (Mag.) - سیدریت (Sid.) مربع‌های توپر ترسیم شده در این نمودار، نشان دهنده‌ی ترکیب کربنات‌های کانسار منگنز بزنین هستند. Dol = دولومیت و آنکریت = Ank.

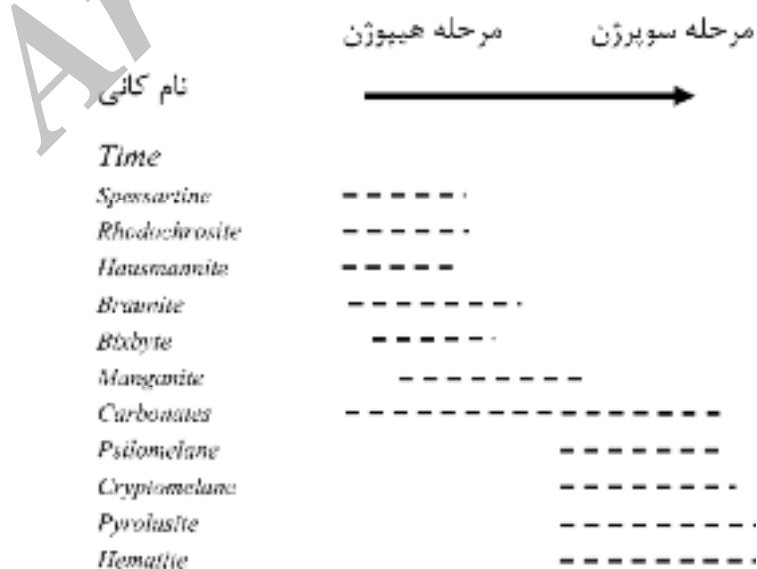
بحث و بررسی

فرایندهای عمیق‌تر نسبت به بقیه کانی‌ها تشکیل شده‌اند. بیکسبایت و هاوسمانیت کانی‌های اکسیدان منگنز نیز به زون درونزاد وابسته‌اند. مشاهدات ساختی و بافتی در کارگاه ۱ حاکی

اسپسارتین، رودوکروزیت و برخی کربنات‌های همراه کانسار بزنین از جمله کانی‌های درونزاد محسوب شده و تحت تأثیر

تشکیل عدسی‌های کوچک مقیاس براونیت‌دار به فعالیت‌های گرمایی پشته‌های میان اقیانوسی [۹،۸] یا به دیازنز رسوبات حاشیه قاره‌ای نسبت داده می‌شوند [۱۰]. داسگوپتا و همکاران (۱۹۸۵) معتقدند انباشت براونیت از ظرفیت مناسبی برای محفوظ شدن برخوردارند و این انباشت، ثبت‌کننده‌ی پتانسیل نسبتاً بالای اکسیژن محیط رسوبی خاستگاه حاوی منگنز است [۱۱]. بنابراین با توجه به مشاهدات صحرایی، بررسی‌های کانی‌نگاری و روابط ترمودینامیکی حاکم بر تشکیل براونیت، حضور این کانه در توف آهکی، محیط ساحلی (حاشیه‌ی قاره‌ای) را برای تشکیل آذرآوری یاد شده تأیید می‌کند. وابستگی منفی بین غلظت Mn^{3+} در براونیت و غلظت CO_2 در شاره نشان می‌دهد که براونیت غنی از Fe^{3+} نشان‌دهنده شاره غنی از CO_2 است [۱۲]. ترکیب براونیت طبیعی به تعادل با یک شاره‌ی غنی از آب (غلظت CO_2 کمتر از ۰/۴) دلالت داشته و واکنش برای تشکیل طبیعی براونیت در سیستم Mn-Fe-Si-C-O در حضور شاره‌ی فقیر از CO_2 رخ می‌دهد [۷]. از آنجایی که براساس نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی، میزان FeO_t براونیت موجود در کانسنگ نزدیک به صفر درصد وزنی است می‌توان به این نتیجه رسید که شاره کانه‌زای کانسار بزنین از CO_2 غنی نبوده است. در شکل ۵-ب نیز مشهود است که براونیت تنها به پیرولوژیت اکسید شده و اگر براونیت یاد شده از آهن غنی بود، مقداری اکسید آهن نیز همراه پیرولوژیت تشکیل می‌شد که این پدیده نشان‌دهنده‌ی غنی بودن براونیت کانسار بزنین از منگنز است. روابط پاراژنزی دوگانه حاکم بین کانی‌های موجود در کانسار منگنز بزنین در شکل ۱۱ ارائه شده است.

از رخداد یک مرحله‌ی کانه‌زایی درون‌زادی بوده است، در حالیکه در کارگاه ۲ کانی‌های کربناتی، براونیت و بیکسبایت دو مرحله کانه‌زایی را نشان می‌دهند. در شکل ۵-ث، بیکسبایت کلوئیدی و کربنات‌های توده‌ای زمینه‌ی مربوط به مرحله دوم کانه‌زایی در کنار کربنات‌های برشی مرحله‌ی اول کارگاه ۲ دیده می‌شوند. چنانکه در شکل ۸-الف دیده می‌شود، کانی براونیت مرحله دوم کانه‌زایی (دارای بافت میکرواستیلولیت) بین کربنات‌های مرحله‌ی اول تزریق شده است. ترنر و وره‌وگن (۱۹۶۰) و ری (۱۹۶۴) معتقدند در صورتیکه دمای سیستم، بیش از ۵۰۰ درجه سانتیگراد نباشد و فشار به ۳۰۰۰ تا ۸۰۰۰ بار معادل فشار آب برسد، کانی بیکسبایت تشکیل می‌شود [۶،۵]. با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانی‌شناسی دو کارگاه استخراجی در کانسار منگنز بزنین می‌توان عنوان کرد که در کارگاه ۲ فشار شاره آبگین (حاوی مقدار کمی CO_2) نسبت به کارگاه ۱ افزایش یافته و سبب تشکیل کانی‌های کربناتی و کانه بیکسبایت شده است. به علاوه نفوذ پرفشار شاره باعث خرد شدن میزبان ریولیتی و کانه‌های منگنز و کربنات‌های تشکیل شده در مرحله‌ی اول کانه‌زایی شده و برش‌های گرمایی گسترده‌ای را در کارگاه ۲ به وجود آورده است، در حالی که در کارگاه ۱ اثری از برش‌گرمایی و بیکسبایت دیده نمی‌شود و کربنات نیز در این کارگاه به فراوانی کارگاه ۲ نیست. براونیت همراه بیکسبایت نیز در کارگاه ۲ طی دو مرحله تشکیل شده در حالی که این کانه در کارگاه ۱ طی یک مرحله کانه‌زایی رخ داده است. ربی و همکاران (۱۹۹۵) معتقدند که محیط تشکیل براونیت از وضعیت اکسایش متوسطی مشابه کف اقیانوس برخوردار است [۷] و همچنین



شکل ۱۱ ستون پاراژنزی کانیایی کانی‌های موجود در کانسار منگنز بزنین اردستان.

برداشت

براساس شواهد صحرایی، میکروسکوپی و ریزکاوش الکترونی کارگاه استخراجی شماره ۱ نسبت به کارگاه ۲ دارای شرایط برون زاتری بوده و از سمت کارگاه ۱ به سمت کارگاه ۲ میزان کربنات و عیار منگنز افزایش یافته و برعکس آهن کاهش نشان می‌دهد. تجزیه‌ی ریزکاوش الکترونی حضور کانی‌های منگنز متنوعی از جمله اسپسارتین، رودوکروزیت، بیکسبایت، هاوسمانیت، براونیت، پیرولولزیت، پسیلوملان، کریپتوملان، مانگانیت و منگانوکلسیت را در کانسار (در دو کارگاه استخراجی معدن) مشخص کرده و همچنین در واحد آذرآواری توف آهکی حاوی منگنز - آهن، کانی‌های براونیت، پیرولولزیت، پسیلوملان، منگانوکلسیت، کلسیت و رودوکروزیت گزارش می‌شوند.

کانی‌های کربناتی همراه کانسنگ شامل کلسیت، دولومیت، رودوکروزیت و سیدریت به صورت مستقل یا اغلب به صورت محلول جامد است. کانی‌های منگنز کارگاه ۱ استخراجی کانسار حاصل یک مرحله (مرحله اول) کانه‌زایی بوده‌اند درحالی که در کارگاه ۲ دو مرحله کانه‌زایی رخ داده است. با توجه به مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و پاراژنزی سه گروه کربنات همراه کانه منگنز در کانسار قابل تشخیص هستند. یک گروه از این کربنات‌ها دارای بافت توده‌ای و رگچه‌ای بوده که در دو کارگاه استخراجی قابل رویت‌اند. گروه دیگر برشی (از نوع گرمایی) هستند که تنها در کارگاه استخراجی ۲ دیده می‌شوند و یک دسته کربنات دیگر نیز ثانویه بوده و پرکننده‌ی حفره‌ها، شکستگی‌ها و فضاهای باز بودند که غالباً در کارگاه ۱ حضور دارند. کربنات‌های زمینه‌ی قطعات برشی، براونیت مرحله دوم و بیکسبایت موجود در کارگاه ۲ حاصل تزریق شاره‌ی پرفشار حاوی CO_2 در مرحله دوم کانه‌زایی بوده که البته این رخداد در کارگاه ۱ رخ نداده است. ارتباط ژنتیکی بین میزبان ریولیتی و واحدهای آذرآواری کربناتی ساحلی حاوی آهن و منگنز همزاد (واحد E_6^{I} و واحد توف و توفیت ریولیتی (E_6^{PY})) حاکی از نفوذ گنبد ریولیت پرفیری میزبان در واحدهای آذرآواری نامبرده است.

مراجع

[1] Nicholson K., "Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides: guides to metallogenesis", *Econ. Geol.* 87 (1992) 1253-1264.

[۲] سجادی آلهاشم، سیده فریبا، "بررسی کانی شناختی و عوامل کنترل کننده زایش کانسار منگنز بزنین، واقع در جنوب باختر اردستان (استان اصفهان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۴).

[۳] آقاناتی ع.، "زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۸۳) ۸۵۶ صفحه.

[۴] امامعلی پور، ع.، "بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های منگنز - آهن در تهنشستهای افیولیتی شمال چالدران، شمال باختر ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۸۹) ص ۱-۱۴.

[5] Turner F.J., Verhoogen J., *Igneous and metamorphic petrology Second Edit*". (1960).

[6] Roy S., "Manganese ores, Andhra Pradesh, India", *Economic Geology* 59 (1964) 154-167.

[7] Robie R.A., Huebner J.S., Hemingway B.S., "Heat capacities and thermodynamic properties of Braunite ($\text{Mn}_7\text{SiO}_{12}$) and Rhodonite (Mn SiO_3)", *American mineralogist* 80 (1995) 560-575.

[8] Bonatti E., Zerbi M., Kay R., Rydell H., "Metalliferous deposits from the Apennine ophiolites Mesozoic equivalents of modern deposits from oceanic spreading centers": *Geol. Soc. America Bull.* 87 (1976) 83-94.

[9] Crerar D.A., et al., "Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: I. General geology, ancient and modern analogies, and implication for hydrothermal convection at oceanic spreading centers", *Economic Geology* 77 (1982) 519-540.

[10] Hein J.R., Koski R.A., Yeh H.-W., "Chert-hosted manganese deposits in sedimentary sequences of the Franciscan Complex, Diablo Range, California. In J.R. Hein, Ed., *Siliceous sedimentary rock-hosted ores and petroleum*", Van Nostrand Reinhold, New York. (1987) 206-230.

[11] Dasgupta S., Banerjee H., Fukuoka M., "Oxidation gradients in metamorphosed non-carbonatic manganese formations", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 90 (1985) 258-261.

[12] Dasgupta S., Sengupta P., Bhattacharya P.K., Fukuoka M., Banerjee H., Roy Supriya, "Mineral reactions in manganese oxide rocks: P-T-X Phase relations", *Econ. Geo.* 1 (1989) 84.