



## چگونگی شکل‌گیری کانسار منگنز بزنین، اردستان (اصفهان) براساس بررسی‌های میکروسکوپی و داده‌های ریزکاوش الکترونی

حمزه ثابت ورnamخواستی<sup>۱\*</sup>، حسن میرنژاد<sup>۱</sup>، علی احمدی<sup>۲</sup>، سیده فربنا سجادی آله‌هاشم<sup>۳</sup>

۱- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۳- شرکت میهن کانیاب، تهران

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

چکیده: کانسار رگهای منگنز بزنین در میزبان ریولیت پرفیری و در راستای گسل اصلی واژگون منطقه با روند غالب شمال‌خاوری - جنوب‌باختری تزریق شده است. بررسی‌های میکروسکوپی و داده‌های ریزکاوش الکترونی حضور کانی‌های منگنز متنوعی از جمله اسپسارتین، رودوکروزیت، بیکسپایت، هاوسمانیت، براونیت، پیرولوزیت، پسیلوملان، کریپتوتلان، مانگانیت و منگانوکلسیت را در کانسار منگنز بزنین و کانی‌های براونیت، پیرولوزیت، پسیلوملان، کلسیت، منگانوکلسیت و رودوکروزیت را در زیرواحد آذرآواری توف‌آهکی (E<sub>6</sub><sup>vct</sup>) حاوی منگنز - آهن نشان می‌دهند. توپوگرافی مرتفع‌تر کارگاه ۱ و ترکیب کانی‌شناسی آن حاکی از آن است که کارگاه شماره- ۱ نسبت به ۲ دستخوش برونزایی بیشتری شده است. شواهد صحرایی، بررسی‌های کانی‌شناسی و نتایج تجزیه‌های ریزکاوش الکترونی روی واحد آذرآواری کربناتی E<sub>6</sub><sup>py</sup> و E<sub>6</sub><sup>t</sup>، ارتباط ژنتیکی بین کانسار منگنز و توالی‌های خروجی - رسوبی منطقه را ثابت کرده و می‌توان نتیجه گرفت که سیالات گرمابی، منگنز و کربنات را از سنگ‌های آذرآواری یاد شده شسته و در طول گسل‌های اصلی و فرعی منطقه و در شرایط مناسب ژئوشیمیایی ته نشین کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: کانسار رگهای؛ منگنز بزنین؛ اردستان؛ میزبان ریولیتی؛ ریزکاوش الکترونی.

برونزای دریایی عبارتند از پوسته‌ها، گرهک‌ها و رسوب‌های دریایی. نوع گرمابی قاره‌ای در سه مجموعه چشمه‌های آب‌گرم، رگهای و نوع سدکس (کانسارهای رسوبی - بروندهای) قابل بررسی هستند. در نوع گرمابی دریایی، منگنز با دودکش‌های سیاه پشته میان اقیانوسی ارتباط داشته و گرهک‌های منگنزدار شکل گرفته در این محیط (در سطح پوسته اقیانوسی) حاوی مقادیر اقتصادی آهن، مس، نیکل و کبالت‌اند.

مقدمه نیکلسون (۱۹۹۲) کانسارهای اکسید منگنز را براساس فرایندهای کانسارساز، ویژگی‌ها و محیط‌های تهنشست به دو گروه اصلی برونزا و گرمابی تقسیم کرده است [۱]، که این دو گروه به نوبه خود به دو زیر گروه قاره‌ای و دریایی با زیر مجموعه‌های وابسته رده‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال برونزا قاره‌ای به انواعی از جمله وابسته به خاک، هوازده (همراه لاتریت‌های 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 ریزکالوشی الکترونی قرار گرفتند. دقیق دستگاه ۱ تا ۲ درصد برای عناصر اصلی و ۳ تا ۵ درصد برای عناصر فرعی بوده است.

### زمین‌شناسی

منطقه بزنین در زون آتشفسانی ارومیه - دختر واقع می‌شود. در ایران مرکزی آتشفسان ائوسن، به ویژه در زون مانگماهی 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 آتشفسانی این زمان بیشتر از انواع دریایی کم‌عمق تا قاره‌ای هستند [۳].

واحدهای آذرآواری و آتشفسانی منطقه بزنین شامل توف و روانه‌های ایگنمبوریتی، آندزیتی، داسیتی، آندزیت بازالتی، توف برشی ریولیتی، گنبد ریولیت پرفیری و توف ریولیتی - داسیتی تا توفیت با سن ائوسن میانی بوده که در شمال و شمال باخته منطقه رخنمون دارند و توده‌های نفوذی نیز دارای ترکیب دیوریت - مونزو دیوریت هستند (شکل ۱). گنبد ریولیتی میزبان کانه‌زایی مانگنز 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 ( $E_6^{vbt}$ )، توف آهکی ( $E_6^{vet}$ ) و برش ریولیتی ( $E_6^{Rb}$ ) است، دارای مانگنز و مقداری آهن همزاد غیراقتصادی بوده و احتمال ارتباط ژنتیکی بین کانسار مانگنز و این لایه‌های حاوی مانگنز وجود دارد.

### سنگ نگاری واحدهای دربرگیرنده‌ی کانسار بزنین

در ناحیه‌ی مورد بررسی، به ساختهای رگه‌ای - رگچه‌ای و داربستی (شکل ۲-الف)، دندربستی در دو کارگاه استخراجی، ساخت برشی در میزبان کارگاه ۲ (شکل ۲-ب)، ساخت دندربستی - افشار مانگنز در میزبان ریولیتی کارگاه ۱، ساخت نواری - چین خورده (شکل ۳-الف)، بوتریوئیدال [خوشه اتگوری] (شکل ۳-ب)، ساخت کلوبیدال مانگنز در کانسار و ساخت فرسایشی لانه‌کبوتری در میزبان ریولیتی می‌توان اشاره کرد.

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

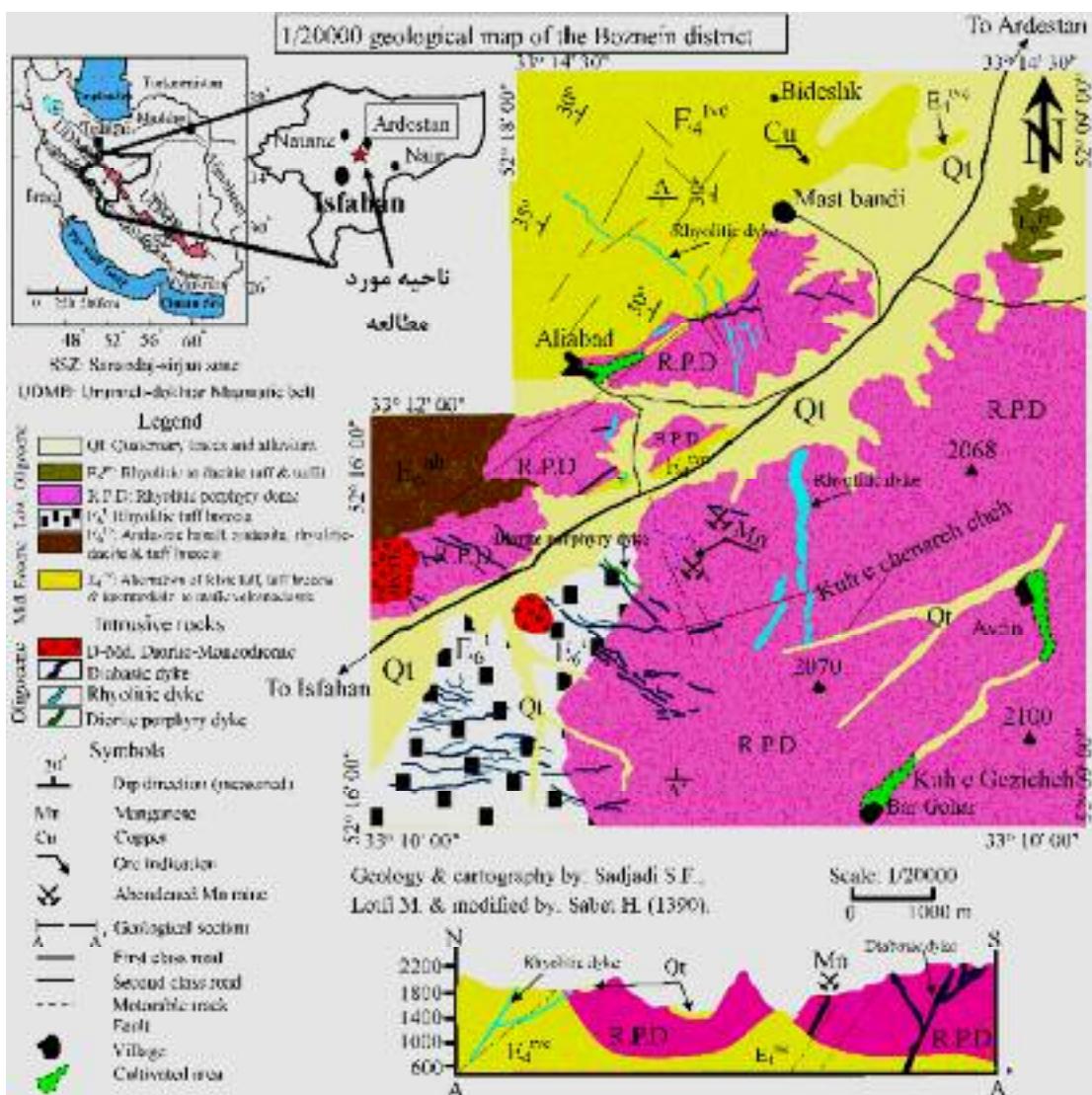
### نمونه‌برداری و روش آنالیز

برای بررسی کانسار مانگنز بزنین، مراحل مختلف به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفتند.

(الف) بررسی کارهای پیشین در منطقه بزنین، بررسی نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰ منطقه اردستان، بازدید صحرایی و برداشت سیستماتیک نمونه‌ها از رگه‌ی مانگنز و سنگ‌های منطقه، (ب) تهیه ۱۰ مقطع نازک از دایک‌ها، ریولیت میزبان کانسار مانگنز، زیر واحد توف آهکی ( $E_6^{vet}$ ) و واحد آذرآواری آهن - مانگنزدار ( $E_6^t$ ) با مانگنز همزاد، برای بررسی بافت و شناسایی کانه‌های کربناتی و سیلیکاتی در نور عبوری، (پ) تهیه ۱۵ مقطع صیقلی از کانسنسنگ برای بررسی در نور بازتابی، (ت) تهیه ۵ مقطع نازک صیقلی از نمونه‌های کانسنسنگ همراه با باطله (سیلیکات-کربنات) برای بررسی‌های میکروسکوپی و کانه‌نگاری، (ث) روی ۵ مقطع نازک صیقلی انتخابی از کانه‌های مانگنزدار 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 پپریتی دارای آهک نازک تا متوسط لایه و قطعات برشی توف بوده و در قاعده واحد توف و توفیت ریولیتی ( $E_6^{py}$ ) و در چند کیلومتری رگه اصلی منگنز واقع در شرق روستای ماستبندی قرار گرفته که رخنمون کوچکی را نیز در بلafصل 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، چین خورده‌گی 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  $0.1 \text{ میلی‌متر}$ ،  $20-15$  درصد حجم سنگ و فلدسپات‌ها با قطر متوسط  $0.1-0.2 \text{ میلی‌متر}$ ،  $25-10$  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 (کمتر از  $5$  درصد حجم سنگ و اندازه‌ی آن‌ها کوچکتر از  $0.5 \text{ میلی‌متر}$ ) نیز به صورت فرعی در زمینه‌ی شیشه دیده می‌شوند. کوارتزهای خلیجی متوسط تا درشت دانه با حاشیه‌ی واکنشی دارای بافت اسفنجی و فلدسپات‌های قلیایی (ارتوز و انکری سانیدین) در



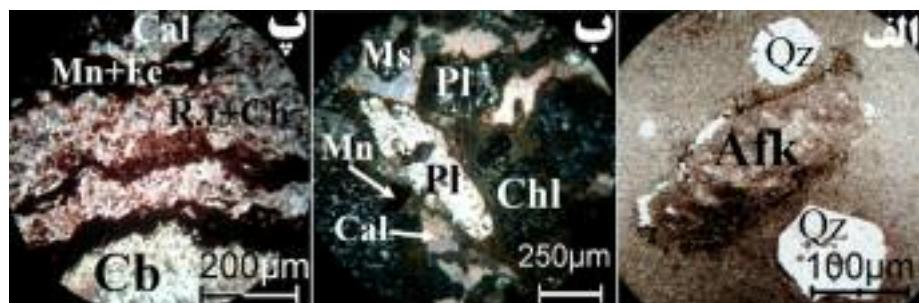
شکل ۱ موقعیت جغرافیای منطقه‌ی مورد بررسی در گوشی چپ نقشه (داخل نقشه استان اصفهان) با ستاره ★ قابل رویت است. در نقشهی زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ منطقه، ریولیت پرفیری میزبان کانسار (R.P.D) بخش مهمی را به خود اختصاص می‌دهد (اصلاح شده از سجادی آله‌اشم و همکاران، ۱۳۸۴).



شکل ۲ (الف) ساخت رگچه‌ای و داریستی 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 چین خورده‌ی بین زیرواحد توف آهکی حاوی منگنز همزاد ( $E_6^{vct}$ ) از واحد  $E_6^t$ ، با گندب ریولیتی میزبان (R.P.D.). چین خورده‌گی با خط سیاه درشت در تصویر نشان داده شده است. (ب) ساخت خوش انگوری در کانه‌ی منگنز.



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

توف‌های (شکل ۴-ب)، در تعدادی از مقاطع زیرواحد توف برشی بافت‌های غربالی (ذرات کلسیت داخل پلاژیوکلاز)، برشی (شکل ۴-ب)، نواری، چین خورده و پوئیکلیتیک دیده می‌شود. کانی‌های کدر (کانه‌ی منگنز و آهن) به صورت نواری و عدسی‌هایی در متن کانی‌های یاد شده حضور دارند (شکل ۴-پ). در مقاطع میکروسکوپی از زیرواحد توف آهکی منگنیزدار،

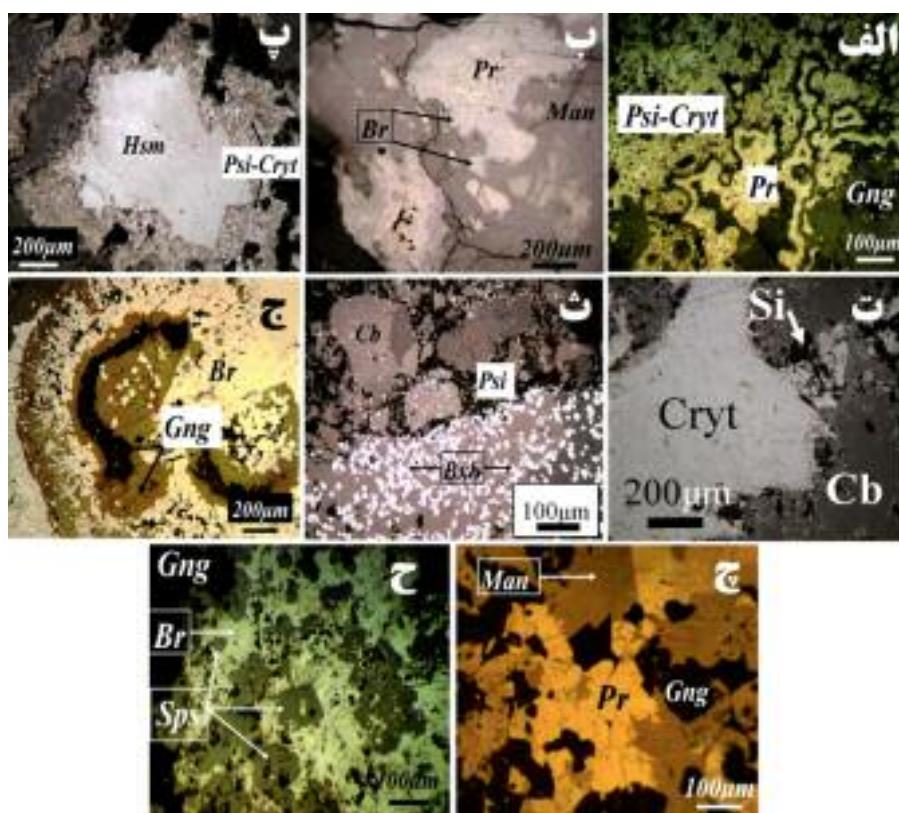
واحد آذرآواری ساحلی آهن - منگنیزدار ( $E_6^t$ ) که در باخته و جنوب‌باخته رگه‌ی اصلی منگنز دیده می‌شود، دارای سه زیر واحد توف برشی ( $E_6^{vbt}$ )، توف آهکی شیشه‌ای - بلورین ( $E_6^{vct}$ ) و برش ریولیتی ( $E_6^{Rb}$ ) است (شکل ۱). بررسی‌های میکروسکوپی حاکی از حضور قطعات پلاژیوکلاز، مسکویت، کوارتز، فلدسپات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

درصد از حجم کانسنگ و باطله نیز ۴۰-۴۵ 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 (شکل ۵-ب) و هاوسمانیت (Hsm) دارای بافت موزائیکی (شکل ۵-ب) یا تک بلورهای درشت است و به صورت بر جسته 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 پلازیوکلاز) دیده می‌شوند (شکل ۴-پ).

#### سنگ نگاری کانسار منگنز بزنین

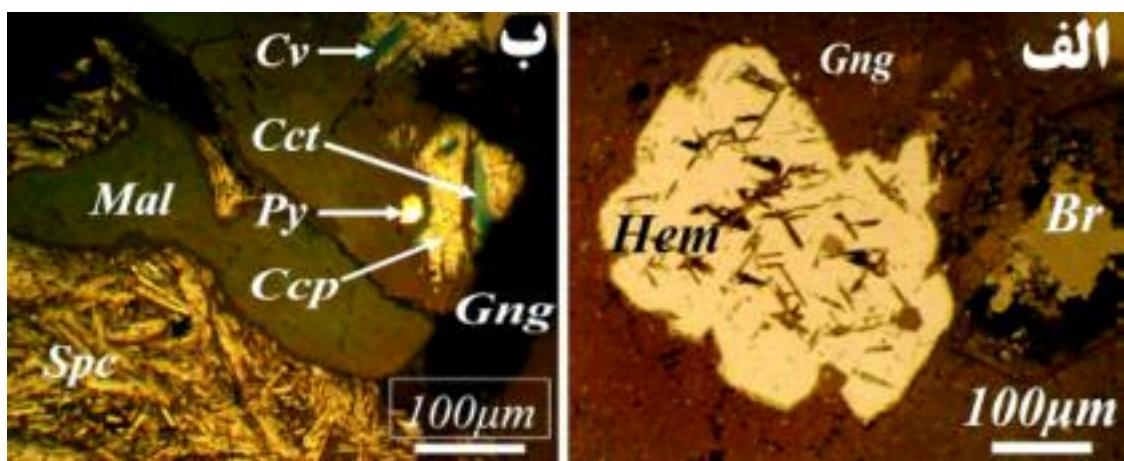
در مقاطع صیقلی تهیه شده از کانسار، پیرولوژیت ( $MnO_2$ ) غالباً همراه با پسیلوملان و کریپтомلان دیده می‌شود (شکل ۵-الف). ۱۵-۱۰ درصد از حجم کانسنگ را بلورهای پیرولوژیت با قطر متوسط حدود ۰/۱ میلی‌متر شامل می‌شوند. پسیلوملان-کریپتملان تقریباً هم اندازه پیرولوژیت هستند و حدود ۴۵



شکل ۵ (الف) پیرولوژیت (Pr) در کنار پسیلوملان (Psi) - کریپتملان (Cryt) در زمینه‌ی 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 کریپتملان (Psi) تبدیل شده است. نور بازتابی طبیعی. (ت) هاوسمانیت در حال تبدیل شدن به کریپتملان (Cryt) در زمینه‌ی باطله کربناتی (Cb) و سیلیکاتی (Si). نور بازتابی طبیعی. (ث) بیکسپایت (Bxb) کلودیدی در زمینه‌ی باطله کربناتی توده‌ای و برشی و برش‌های منگانوکلسیت (کربنات (Cb) منگنزدار)، بیکسپایت در حال تبدیل به پسیلوملان (Psi). نور بازتابی طبیعی. (ج) براونیت (Br) با رنگ روشن در زمینه‌ی باطله (Gng) منگنزدار، خاکستری رنگ) به وسیله‌ی باطله سیلیکاتی (نقاط سیاه رنگ) پر شده است. نور بازتابی طبیعی. (چ) پیرولوژیت (Pr) شکل دروغین منگانیت (Man) را داراست و زمینه‌ی 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  $0.1$  میلی‌متر حدود  $20$  درصد حجمی کانسنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۵-ج). 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-الف)، گوتیت و لیمونیت وجود دارند. هماتیت (شکل دروغین مگنتیت) دارای قطر حدود  $0.5$  میلی‌متر  $30$  درصد از حجم سنگ را اشغال کرده است. اسپیکیولاریت (قطر  $0.05-0.1$  میلی‌متر و حجم اشغالی  $35$  درصدی) در مقاطع میکروسکوپی غالباً همراه کانی‌های مس دار دیده می‌شود (شکل ۶-ب). تعدادی از کانی‌های مس دار از جمله کانی‌های کالکوست (قطر تقریبی  $0.08$  میلی‌متر، حجم اشغالی  $3$  درصدی نمونه)، کوولیت (قطر  $0.05$  میلی‌متر و حجم اشغالی  $2$  درصد)، مالاکیت (حجم اشغالی  $40$  درصد از نمونه) و پیریت و کالکوپیریت (با مجموع حجم اشغالی حدود  $5$  درصد از نمونه) و  $15$  درصد سیلیس در برخی نمونه‌های کانسنگی کارگاه  $1$  و  $2$  در بررسی‌های میکروسکوپی مشاهده می‌شوند (شکل ۶-ب).

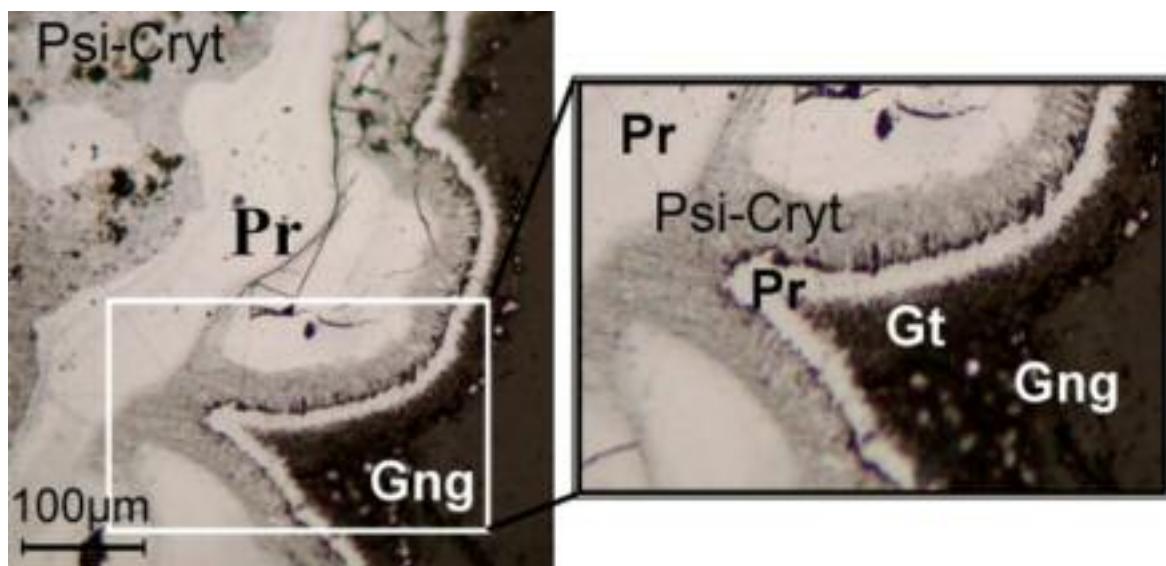
در برخی از مقاطع، تبدیل شدگی هاوسمانیت به پسیلوملان - کریپتوتلان (شکل ۵-ب و ت) یا منگانیت به پسیلوملان - کریپتوتلان و پیرولوزیت دیده می‌شود. کریپتوتلان توده‌ای در برخی مقاطع (شکل ۵-ت) دارای قطر حدود  $1$  میلی‌متر است و بیش از  $40$  درصد حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهد. رودوکروزیت، براونیت و بیکسپایت به کانی‌های ثانویه پسیلوملان و کریپتوتلان تبدیل شده‌اند. کانی بیکسپایت  $(Mn^{3+}, Fe^{3+})_2O_3$  که در زمینه‌ی برش‌های کربناتی توده‌ای (منگانوکلسیت، کلسیت و رودوکروزیت) به پسیلوملان تجزیه شده است، تنها در رگه‌ای اصلی کارگاه  $2$  دیده می‌شود. بیکسپایت با قطر حدود  $0.01$  میلی‌متر  $10$  درصد، پسیلوملان با قطر تقریباً  $0.001$  میلی‌متر تحدود  $2$  درصد و باطله‌ی کربناتی توده‌ای بقیه حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۵-ث). براونیت از ریز دانه تا درشت دانه دیده می‌شود. براونیت توده‌ای متفاوتی از ریز دانه تا درشت دانه دیده می‌شود. براونیت توده‌ای حاصل از بلورهای با قطر کوچک‌تر از  $0.001$  میلی‌متر حدود  $30-20$  درصد از حجم کانسنگ را تشکیل می‌دهد (شکل ۵-ج). منگانیت  $(Mn^{3+}OOH)$  در برخی مقاطع به پیرولوزیت تبدیل شده و پیرولوزیت، شکل دروغین منگانیت را به خود گرفته است (شکل ۵-ج). منگانیت همراه براونیت (به صورت همرشد) و هاوسمانیت نیز یافت می‌شود و خود به کانی‌های ثانویه پسیلوملان، کریپتوتلان و پیرولوزیت تبدیل شده است.



شکل ۶ (الف) هماتیت (Hem) جانشین مگنتیت شده و رخ‌های مگنتیت به صورت روشی 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 کالکوست (Cet) و کالکوپیریت (Ccv) و مالاکیت (Mal) در زمینه‌ی پیریت (Py) در اطراف مالاکیت، بلورهای سوزنی و کشیده اسپیکیولاریت (Spc) دیده می‌شوند. نور بازتابی طبیعی.

و منگانیت - براونیت (شکل ۵-ب)، بافت میکرواستیلویلت (شکل ۸-الف) و داربستی. بافت ستونی در منگانیت، بافت موزائیکی در کانه‌ی هاوسمانیت و بافت ویدمن‌اشتان (حاصل همرشدی ایلمنیت و مگنتیت) در میزبان ریولیتی مشاهده می‌شوند. بافت کلوفورم 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 کلوبیدی و کلوفورم در کانه‌های کریپتوملان - پسیلوملان، پیرولوزیت، بیکسپایت و براونیت (شکل ۵-الف، ۵-ث و ۵-ج)، بافت سوزنی - شعاعی و توده‌ای در کانه‌های کریپتوملان - پسیلوملان، اسپیکیولاریت، پیرولوزیت و گوتیت (شکل ۷ و ۸-ب)، بافت همرشدی بین هاوسمانیت - براونیت



شکل ۷ کانه‌های پسیلوملان - کریپتوملان (Psi-Cryt)، پیرولوزیت (Pr) و گوتیت (Gt) به سمت داخل حفره میکروسکوپی رشد کرده و بافت سوزنی، کلوفورم و توده‌ای نشان می‌دهند. کانه 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 میکرواستیلویلت به خود گرفته است، نور بازتابی طبیعی، در هوای (ب) بلورهای سوزنی - میله‌ای اسپیکیولاریت (Spc) در زمینه‌ی مالاکیت (Mal). نور بازتابی، طبیعی، در هوای

ریزکاوش الکترونی نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی کربنات‌های موجود در زیر واحد آذرآواری توف‌آهکی ( $E_6^{vt}$ ) 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).

### شیمی کانی‌ها

ترکیب شیمیایی کانه‌های منگنز، کانی‌های سیلیکاتی - کدر در میزبان ریولیتی و واحد توف‌آهکی 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

**جدول ۱** نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی کانی‌های موجود در ریولیت میزبان کانه‌ای بزنین و توف‌آهکی حاوی منگنز همزاد.

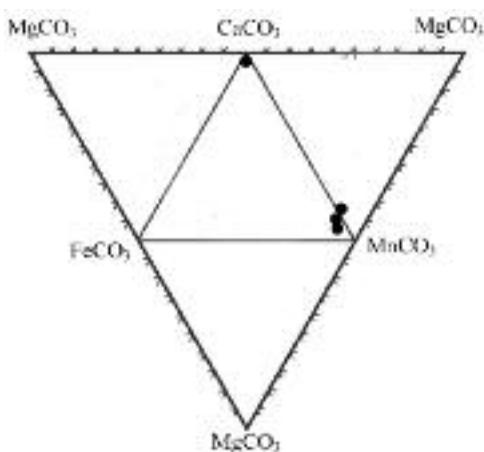
سنگ	ریولیت میزبان		توف‌آهکی ( $E_6^{vt}$ )					
	K1-h	K1	V1	V2	V3	VB1	VB3	VB6
نام اختصاری کانی	Mag	Ilm	Pr	Br	Man. Cal.	cal.	Fe-bearing-Br	Psi
درصد وزنی								
Na <sub>2</sub> O	.	0,19	.	0,05	0,2	0,09	0,05	.
CaO	0,12	0,12	0,2	2,04	4,01	57,25	1,56	1,46
K <sub>2</sub> O	0,05	0,04	0,03	.	0,52	0,04	.	.
FeO(t)	97,6	52,71	0,74	1,4	1,04	.	6,34	0,64
SiO <sub>2</sub>	0,32	0,35	0,19	11,29	2,85	0,22	10,8	2,66
MnO(t)	0,17	0,89	89,47	75,3	60,33	0,34	71,35	72,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,63	0,63	0,8	1,27	0,16	1,06	0,71
BaO	.	.	.	.	.	.	.	6,2
MgO	0,15	0,68	0,32	0,12	1,38	0,11	0,24	0,75
CO <sub>2</sub> *	.	.	.	.	27,92	41,79	.	.
TiO <sub>2</sub>	0,45	42,78	.	0	0,26	.	.	.
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,21	0,05	.	0,12	.	.	.
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,17	.	0,11	.	.	.	.
H <sub>2</sub> O	0,17	0,22	0,1	0	0,1	0	0	15,1
O	.	.	8,27	8,89	.	.	.	.
Total	100	100	100	100	100	100	100	99,63
Na <sup>+</sup>	.	0,13	.	0,04	0,15	0,07	0,04	.
Ca <sup>2+</sup>	0,9	0,09	0,14	1,46	2,86	40,89	1,11	1,06
K <sup>+</sup>	0,04	0,04	0,03	0	0,43	0,03	0	.
جدول ۱ (ادامه).								
Fe(t)	75,6	40,86	0,57	1,09	0,81	0	4,91	0,5
Si <sup>4+</sup>	0,15	0,16	0,09	5,28	1,33	0,1	5,05	1,24
Mn(t)	0,12	0,64	63,91	53,79	43,09	0,24	50,96	51,49
Ba <sup>2+</sup>	.	.	.	0	0	0	0	5,54
Al <sup>3+</sup>	0,25	0,33	0,33	0,42	0,67	0,08	0,56	0,38
Mg <sup>2+</sup>	0,09	0,41	0,19	0,07	0,83	0,07	0,14	0,45
Ti <sup>2+</sup>	0,27	26,21	.	0	0,16	0	0	.
V <sup>3+</sup>	0,24	0,12	0,03	0	0,07	0	0	.
Cr <sup>3+</sup>	0,04	0,11	0	0,08	0	0	0	.

بر اساس CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub>\* در فرمول واحد محاسبه شده، Mn(t), Fe(t), MnO(t), FeO(t) و آهن و منگنز (II و III) به صورت

کل گزارش شده. Mag: مگنتیت میزبان ایلمنیت ستونی در میزبان ریولیتی، Ilm: ایلمنیت ستونی، Pr: پیرولوزیت، Br: براؤنیت، Man.cal: براؤنیت حاوی آهن و منگنز، Psi: پسیلوملان، Cal: کلسیت، Fe-bearing-Br: کلسیت، FeO(t): منگانوکلسیت.

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

نمونه مورد تجزیه	Ca	Mn	Fe(t)	Mg	Tot.	تصویف (نام کانی‌ها)
درصد وزنی						
محلول جامد رودوکروزیت- سیدریت- کلسیت	۱۸,۲	۴۷,۲۸	۳۴,۵۱	۰	۱۰۰	محلول جامد رودوکروزیت- سیدریت- منگانوکلسیت
محلول جامد رودوکروزیت- سیدریت- کلسیت- رودوکروزیت	۶,۲	۸۹,۸۳	۳,۷۵	۰	۱۰۰	محلول جامد سیدریت- کلسیت- رودوکروزیت
محلول جامد سیدریت- کلسیت- رودوکروزیت حاوی سیلیس	۲۶,۷۹	۱۶,۷۴	۵۶,۴۷	۰	۱۰۰	محلول جامد سیدریت- کلسیت- رودوکروزیت حاوی سیلیس
رودوکروزیت حاوی ناخالصی کلسیم و ارسنیک	۱,۹۲	۹۸,۰۸	۰	۰	۱۰۰	محلول جامد دولومیت- کلسیت حاوی منگنز
محلول جامد دولومیت- کلسیت - دولومیت	۵۲,۷۱	۹,۶۸	۳۷,۶	۰	۱۰۰	محلول جامد رودوکروزیت- کلسیت - دولومیت
	۳۲,۸۸	۴۴,۸۷	۰,۳۱	۲۱,۹۴	۱۰۰	



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 توابیر نشان‌دهنده ترکیب کربنات‌های کانسار بزنین هستند. سیدریت: ( $FeCO_3$ ); رودوکروزیت: ( $MnCO_3$ ); کلسیت: ( $CaCO_3$ ) و منیزیت: ( $MgCO_3$ ).

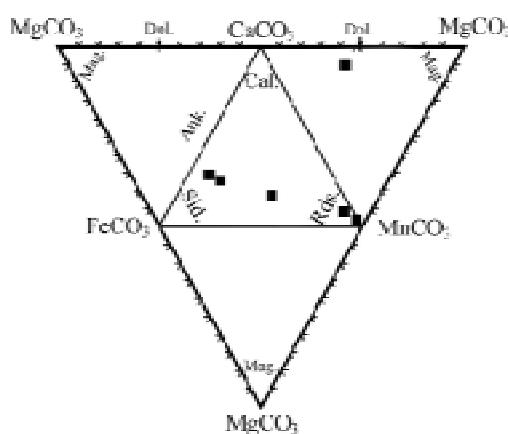
محلول جامد ( $Mg_{0.36} Mn_{0.32} Ca_{0.32})_{\Sigma=0.98} (CO_3)_2$ ). رودوکروزیت - سیدریت - کلسیت ( $Mn_{0.45} Fe_{0.32} Ca_{0.23} (CO_3)_2$ ). محلول جامد سیدریت - منگانوکلسیت ( $Fe_{0.5} Ca_{0.35} Mn_{0.15} (CO_3)_2$ ) و محلول جامد سیدریت - کلسیت حاوی مقداری منگنز و سیلیس ( $Fe_{0.55} Ca_{0.36} n_{0.09} (CO_3)_2$ ). بنابر نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی (جدول ۳)، میزان  $MnO$  پیروکلوزیت 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  $SiO_2$  و  $FeO$  نزدیک به صفر و ۸۳,۱۶ درصد است.

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. کانه‌های کربناتی شناسایی شده شامل فازهای مستقل رودوکروزیت، کلسیت، منگانوکلسیت، سیدریت و دولومیت یا محلول جامدی از کانه‌های 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 ( $Mg_{0.51} Ca_{0.44} Mn_{0.05} (CO_3)_2$ ) گزارش 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 کانه رودوکروزیت - کلسیت - دولومیت

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 <sub>2</sub> O	•	1	•	•	•	1,22
CaO	0,01	0,95	1,64	0,31	0,7	2,4
K <sub>2</sub> O	•	12,42	0,42	•	0,01	3,5
FeO	•	0,3	•	•	•	•
SiO <sub>2</sub>	0,04	60,07	0,3	0,09	9,65	0,05
MnO(t)	92,5	0,33	75,24	89,92	83,16	74,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	•	19,15	1,77	1,24	0,7	0,6
BaO	•	5,14	0,12	0,02	0,01	0,12
MgO	•	0,02	0,02	0,22	0,02	0,9
H <sub>2</sub> O	•	•	20,49	•	•	3,8
O	7,44	•	•	8,21	5,75	•
Total	100	99,41	100	100	99,98	100
Na <sup>+</sup>	•	•	•	•	•	0,9
Ca <sup>2+</sup>	0,01	0,86	1,17	0,22	0,49	1,7
K <sup>+</sup>	•	10,36	0,35	•	0,01	1
Fe(t)	•	0,24	•	•	•	•
Si <sup>4+</sup>	0,02	28,07	0,14	0,04	4,51	0,03
Mn(t)	71,71	0,34	58,23	69,7	64,47	49,99
Al <sup>3+</sup>	•	10,66	0,42	0,65	0,37	0,31
Ba <sup>2+</sup>	•	4,68	0,02	0,01	0,01	0,11
Mg <sup>2+</sup>	•	0,02	0,1	0,13	0,01	0,54

آهن و منگنز (II و III)، به صورت کل گزارش شده است. O(OH) موجود در کانه منگانیت در جدول به صورت H<sub>2</sub>O درج شده ولی بر اساس O(OH) محاسبه شده است. Fk\*: باطله فلسپات‌قلیایی حاوی مقداری باریوم و کلسیم در نمونه شماره ۳۰-e: Man، Mn<sup>3+</sup>O(OH): منگانیت (MnO<sub>2</sub>)؛ هاوسمانیت (Na, Ba, Mn, Zn, Al, Cu, Co, Fe) K Mn<sub>8</sub>O<sub>16</sub>: Cryt، (Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Hsm، .Pr: پیرولوزیت (MnO<sub>2</sub>) و Br: براونیت (Mn<sup>2+</sup>Mn<sup>3+</sup><sub>6</sub>SiO<sub>12</sub> یا 3Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Mn SiO<sub>3</sub>)



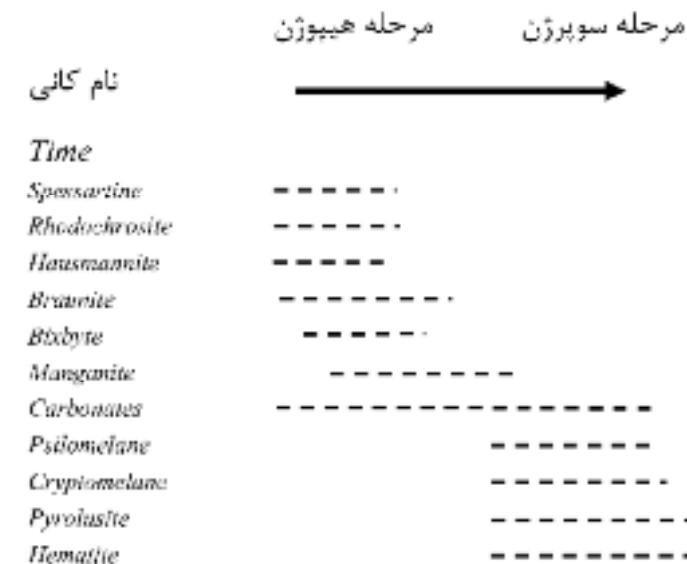
شکل ۱۰ ترکیب کربنات‌های کانسار منگنز بزنین در نمودار چهار سازندی کلسیت (Cal.) - رودوکروزیت (Rds.) - منیزیت (Mag.) - سیدریت (Sid.). مربع‌های توپر ترسیم شده در این نمودار، نشان دهنده‌ی ترکیب کربنات‌های کانسار منگنز بزنین هستند. دولومیت = Dol. و آنکریت = Ank.

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

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

تشکیل عدسی‌های کوچک مقیاس براونیتدار به فعالیت‌های گرمابی پشت‌های میان اقیانوسی [۹،۸] یا به دیازنر رسبات حاشیه قاره‌ای نسبت داده می‌شوند [۱۰]. داسگوپتا و همکاران (۱۹۸۵) معتقدند انباست براونیت از ظرفیت مناسبی برای محفوظ شدن برخوردارند و این انباست، ثبت کننده‌ی پتانسیل نسبتاً بالای اکسیژن محیط رسوی 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 آذراواری یاد شده تأیید می‌کند. وابستگی منفی بین غلظت  $Mn^{3+}$  در براونیت و غلظت  $CO_2$  در شاره نشان می‌دهد که براونیت غنی از  $Fe^{3+}$  نشان دهنده 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 کانه‌زایی کانسار بزنین از  $CO_2$  غنی بوده است. در شکل ۵-۱۱ ب نیز مشهود است که براونیت تنها به پیرولوزیت اکسید شده و اگر براونیت یاد شده از آهن غنی بود، مقداری اکسید آهن نیز همراه پیرولوزیت تشکیل می‌شد که این پدیده نشان دهنده‌ی 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 بیکسپایت دو مرحله کانه‌زایی را نشان می‌دهند. در شکل ۵-۳، بیکسپایت 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 مرحله اول تزریق شده است. ترنر و ورهون (۱۹۶۴) و ری (۱۹۶۴) معتقدند در صورتیکه دمای سیستم، بیش از ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد نباشد و فشار به ۳۰۰۰ تا ۸۰۰۰ بار معادل فشار آب برسد، کانی بیکسپایت 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 بیکسپایت شده است. به علاوه نفوذ پرفشار شاره باعث خرد شدن میزان ریولیتی و کانه‌های منگنز و کربنات‌های تشکیل شده در مرحله اول کانه‌زایی شده و برش‌های گرمابی گسترهای را در کارگاه ۲ به وجود آورده است، در حالی که در کارگاه ۱ اثری از برش گرمابی و بیکسپایت دیده نمی‌شود و کربنات نیز در این کارگاه به فراوانی کارگاه ۲ نیست. براونیت همراه بیکسپایت 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 پاراژنز کانی‌ای کانی‌های موجود در کانسار منگنز بزنین اردستان.

- [۲] سجادی آلهاشم، سیده فریبا، "بررسی کانی شناختی و عوامل کنترل کننده رایش کانسار منگنز بزین، 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] آقاباتی 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 ۱۴-۱.
- [۵] Turner F.J., Verhoogen J., *Igneous and metamorphic petrology Second Edit*. (1960).
- [۶] Roy S., "Manganese ores, Andhra Pradesh, India", Economic Geology 59 (1964) 154-167.
- [۷] Robie R.A., Huebner J.S., Hemingway B.S., "Heat capacities and thermodynamic properties of Braunit (Mn<sub>7</sub>SiO<sub>12</sub>) and Rhodonite (Mn SiO<sub>3</sub>)", American mineralogist 80 (1995) 560-575.
- [۸] 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.
- [۹] 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.
- [۱۰] 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.
- [۱۱] Dasgupta S., Banerjee H., Fukuoka M., "Oxidation gradients in metamorphosed non-carbonatic manganese formations", Contributions to Mineralogy and Petrology, 90 (1985) 258-261.
- [۱۲] 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.

## 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 بر عکس آهن کاهش نشان می‌دهد. تجزیه‌ی ریزکاوش الکترونی حضور کانی‌های منگنز متنوع از جمله اسپسارتین، رودوکروزیت، بیکسپایت، هاوسمانیت، براونیت، پیرولوزیت، پسیلوملان، کربپوملان، 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، پیرولوزیت، 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 در حالی 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 گرمابی) 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 بیکسپایت موجود در کارگاه ۲ حاصل تزریق شاره‌ی پرفشار حاوی CO<sub>2</sub> 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<sub>6</sub><sup>py</sup>) و واحد توف و توفیت ریولیتی (E<sub>6</sub>) حاکی از نفوذ گندم ریولیت پرفیری میزبان در واحدهای آذرآواری نامبرده است.

## مراجع

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