



## کانسار منگنز توکلان در استان کردستان: فرایندی کم نظیر از کانه‌زایی منگنز

حسین معین وزیری\*

دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

(دریافت مقاله: ۹۷/۷/۲۲، نسخه نهایی: ۹۷/۷/۲۹)

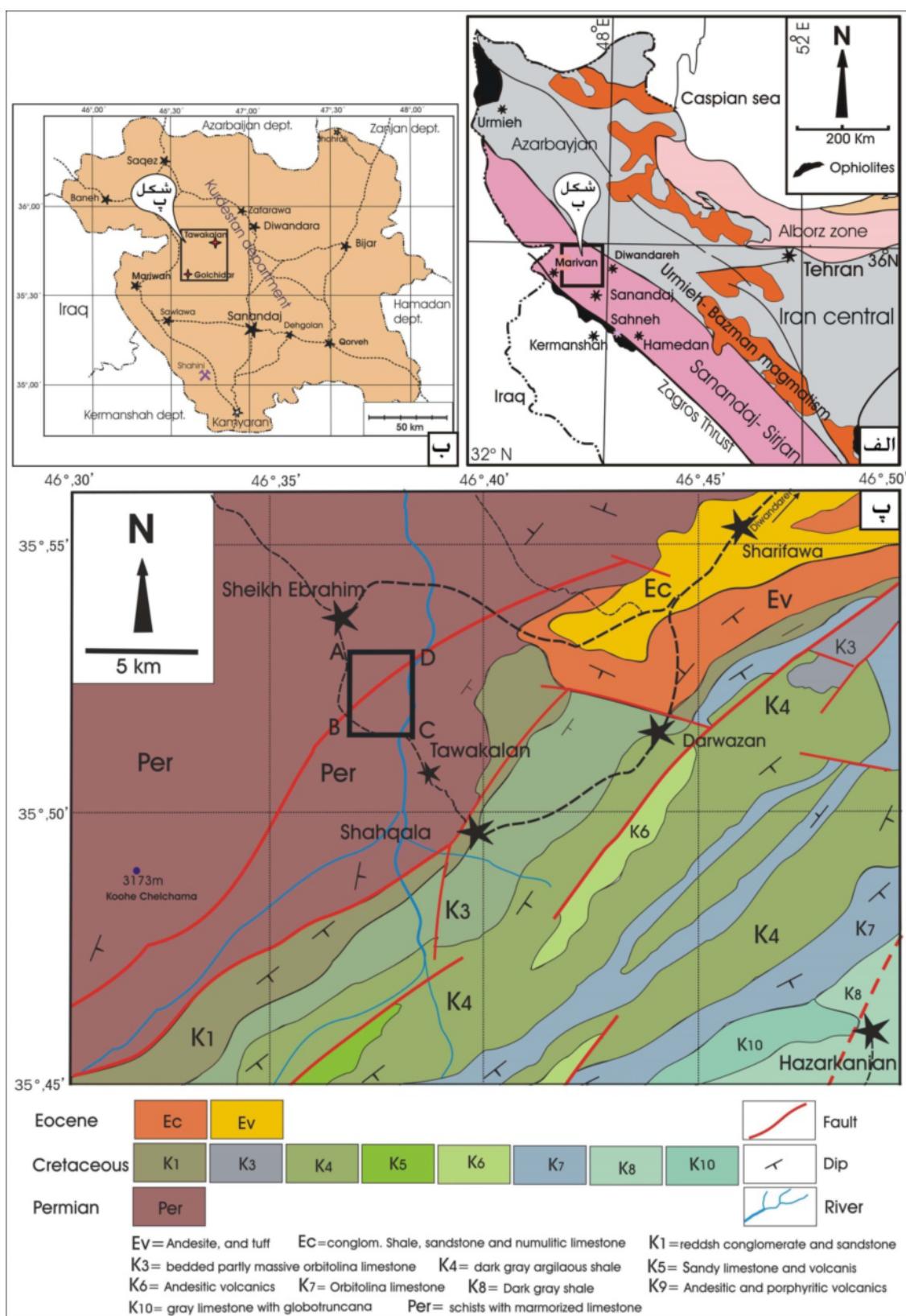
چکیده: در استان کردستان کانه‌زایی منگنز در چند نقطه از جمله شاهینی در جنوب‌غرب سنتنج، سیاناو در غرب مریوان، توکلان در غرب دیواندره و گلچیدر در شرق مریوان، صورت گرفته اما کانسار توکلان دارای ویژگی‌هایی است که با اصول معمول سنگ‌شناسی قابل تفسیر نیست. این کانسار در دورترین نقطه شمال‌غربی پهنه‌ی سنتنج-سیرجان و در زمین‌های پالتوزوئیک قرار دارد. کانسنگ معدن توکلان از سیلیکات‌های دمای بالا مانند اسپیسارتیت و رودونیت گاهی همراه با تفویت تشکیل شده است که تبلور آنها اغلب در دماهای بالا و بدون حضور آب انجام می‌گیرد، در حالی که کانسنگ‌های معدن توکلان به صورت عدسی‌های گسسته و دور از هم درون شیل، ماسه‌سنگ، توف‌های آتش‌شانی و رادیولاریت قرار دارند که دگرگونی گرمایی نشده‌اند و آثاری از توده‌ی نفوذی نیز در منطقه دیده نمی‌شود. ترتیب تبلور کانی‌ها در کانسنگ شامل اسپیسارتیت و رودونیت، بمانیت، سیلیکات‌های آبدارمنگنز، رودوکروزیت و اکسیدهای منگنز است. سیلیکات‌های آبدارمنگنز نیز شامل اوریانیت، کاریوبیلیت، زوسمانیت و اکسیدهای منگنز پیرولوزیت و رانسیه-ئیت هستند. باطله از کوارتز (اغلب به صورت ژاسب)، کمی مگنتیت و آنتیگوریت تشکیل شده است. کربنات و اکسیدهای منگنز فرآورده‌های ثانوی و نتیجه‌ی دگرسانی سیلیکات‌های منگنز هستند. پیمایش های صحرایی، بررسی‌های آزمایشگاهی و مقایسه معدن منگنز توکلان با کانه‌زایی منگنز در سایر نقاط جهان یک فرایند دو مرحله‌ای را برای تشکیل همبرهای دمای بالای منگنز در معدن توکلان پیشنهاد می‌کند: بدین ترتیب که در مرحله‌ی نخست، اکسیدهای منگنز به صورت رسوبی در لایه‌های آتش‌شانی-رسوبی منطقه تشکیل شده و در مرحله‌ی دوم، پس از یک دوره کوه‌زایی، فعالیت‌های دگرگونی و ژرف توده‌ای، سیال‌های دمای بالای آزادشده از توده‌های آذرین عمیق اکسیدهای منگنز رسوبی را در خود حل کرده، در افق‌های بالاتر به صورت سیلیکات‌های دمای بالا بجا گذاشته‌اند. دگرسانی سیلیکات‌های دمای بالا و تولید کربنات و اکسیدهای منگنز در پایان این مرحله صورت گرفته است که سیال‌ها به سرديگراییده‌اند.

واژه‌های کلیدی: منگنز؛ اسپیسارتیت؛ رودونیت؛ کانه‌زایی؛ توکلان؛ کردستان.

## مقدمه

سقز است که از شمال منطقه می‌گذرد. در این مسیر، در ۱۵ کیلومتری دیواندره، جاده‌ای فرعی به سمت جنوب از جاده‌ی اصلی جدا شده است که پساز طی ۳۵ کیلومتر و عبور از روستاهای ابراهیم‌آوا و شریف‌آوا، به روستای شیخ ابراهیم می‌رسد. از این روستا تا منطقه‌ی مورد بررسی حدود ۱۰ کیلومتر جاده خاکی است. کانسار منگنز توکلان دارای ساختار زمین‌شناسی و همبری‌های ویژه‌ای است که با اصول معمول سنگ‌شناسی قابل تفسیر نیست. در این منطقه کانسنگ منگنز

در استان کردستان معدن کوچک و پراکنده‌ی منگنز از جمله شاهینی (جنوب سنتنج)، سیاناو (غرب مریوان)، توکلان (غرب دیواندره) و گلچیدر (شرق مریوان) وجود دارند. کانسار منگنز توکلان در غرب شهرستان دیواندره، شمال‌غرب روستای توکلان، بین ۶۴۵۸۹۶ تا ۶۴۷۹۰۰ متر طول شرقی و ۳۹۶۹۵۴۵ تا ۳۹۷۲۲۴۵ متر عرض شمالی قرار دارد (شکل‌های ۱ الف و ب). مهم‌ترین راه دسترسی به این منطقه راه آسفالتی سنتنج-



شکل ۱ االف: جایگاه منطقه از نظر تقسیمات ساختاری ایران، ب: نقشه راههای استان کردستان و دسترسی به منطقه توکلان، پ: نقشه زمین‌شناسی منطقه براساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ چارگوش سنتندج [۱]. منطقه مورد بررسی بصورت چارگوش A، B، C، D نشان داده شده است.

های ICP و XRF در شرکت‌های کانسaran بینالود و تحقیقات زمین‌شناسی کانپژوه انجام شد، اما تجزیه‌ی نقطه‌ای و بررسی میانبارهای سیال در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران صورت گرفت.

#### زمین‌شناسی محدوده‌ی معدنی

با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ چارگوش سنندج (شکل ۱ پ)، کانسار منگنز توکلان در واحدهای سنگی پرمین قرار دارد. در شمال‌غرب این منطقه، بیشتر سنگ‌ها وابسته به پرمین و یا قدیمی‌تر هستند و در جنوب‌شرق منطقه سازندهای مزوژوئیک و ترسیر دیده می‌شوند. سنگ‌های منطقه عبارتند از آگلومرا (شکل ۲ الف)، سریسیت‌شیست (شکل ۲ ب)، داسیت، ریولیت، شیل و رادیولاریت که کم و بیش دستخوش دگرشکلی شده‌اند. مقاطع میکروسکوپی این سنگ‌ها نیز نشانگ وجود شیست، توف‌های داسیتی، ریولیتی، رادیولاریت (شکل ۳)، ماسه سنگ و ژاسب هستند. ژاسب، رادیولاریت، توف‌های اسیدی و ماسه سنگ سنگ‌های درونگیر کانسار هستند. چینه‌بندی در منطقه‌ی معدنی دارای جهت شمالی-جنوی است، اما در بعضی نقاط به علت نقش گسل‌ها، راستای شرقی-غربی پیدا کرده است. در شرق منطقه، شیب لایه‌ها به طرف شرق و در غرب منطقه، شیب به طرف غرب است. شیب لایه‌ها از چند درجه تا ۳۵ درجه تغییر می‌کند. بیشتر گسل‌های منطقه دارای جهت شمال‌شرقی-جنوب‌غربی و تقریباً عمود بر روند عمومی پهنه‌ی زاگرس هستند، اما گسل‌هایی با روند شرقی-غربی، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی نیز وجود دارند. کانسگ منگنز به صورت عدسی‌های پراکنده در سنگ‌های آتشفشاری-رسوبی دیده می‌شود. بیشتر سنگ‌های منطقه جهت‌یافته‌ی کانی-شناسی نشان نمی‌دهند، اما برخی در اثر گسل‌های امتدادگز ساخت شیستی پیدا کرده‌اند.

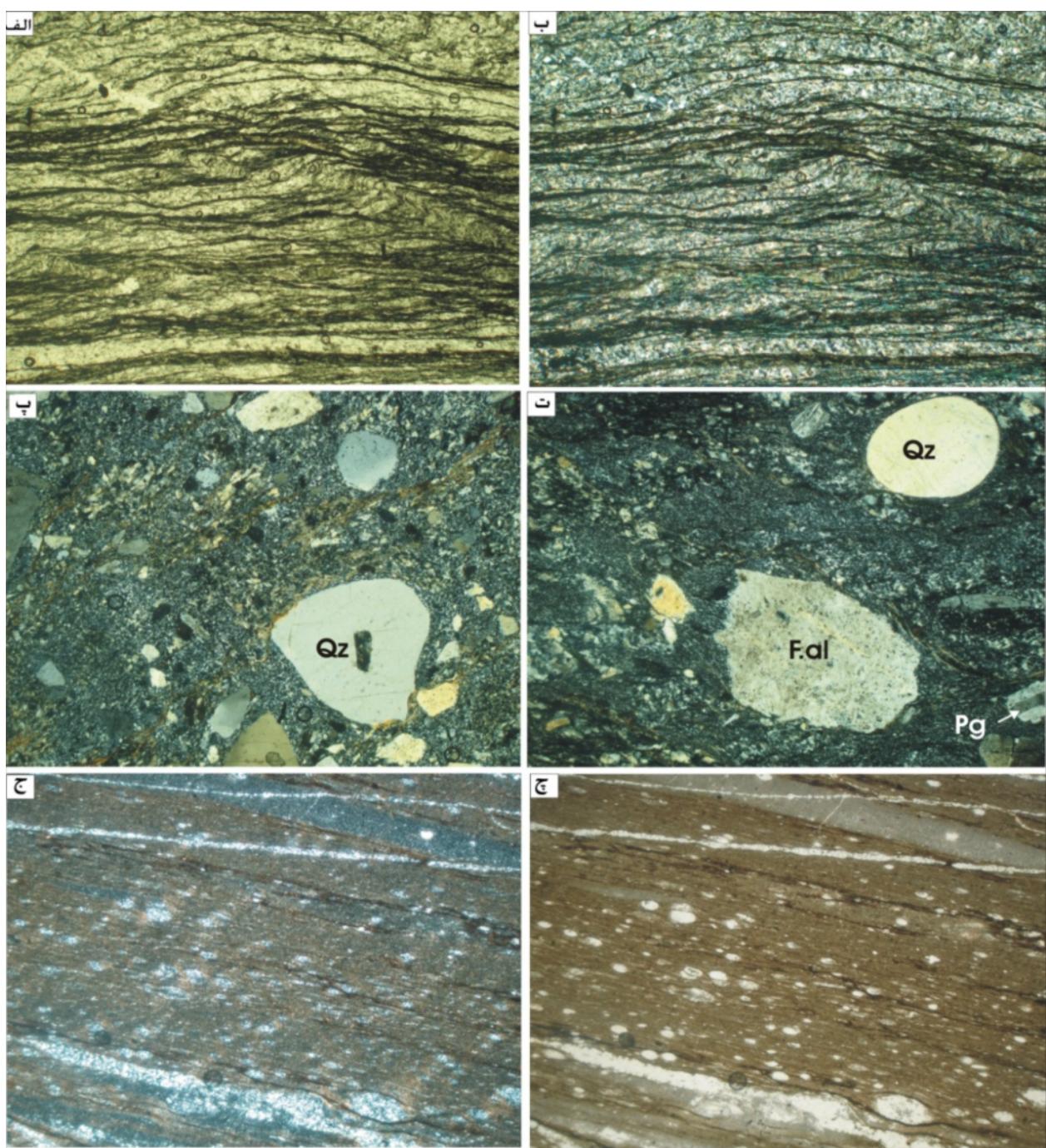


شکل ۲ (الف) آگلومرا مت Shank از قطعات ریولیت و داسیت به صورت میان‌لایه با متاولکانیتها و (ب) سریسیت شیست دارای شیست وارگی و نوارشکنجی. مقاطع میکروسکوپی سریسیت شیست در شکل ۳ نشان داده شده است.

شامل مجموعه‌ای از سیلیکات‌های دمای بالا مانند اسپیسارتیت و رودونیت گاهی همراه با تفویت (نزوسیلیکات منگنز) است که تبلور آن‌ها اغلب در دمای‌های بالا انجام می‌گیرد. این در حالی است که کانسگ منگنز توکلان به صورت عدسی‌های بریده و ناظم درون شیل، ماسه‌سنگ، توف‌های آتشفشاری و رادیولاریت قرار دارد و سنگ‌های درونگیر آن دچار دگرگونی گرمایی نشده‌اند و رخمنوی از توده‌ی نفوذی که سبب این کانی‌سازی دمای بالا شده باشد نیز در منطقه دیده نمی‌شود. متأسفانه به سبب کمبود پژوهش‌ها و انتشاراتی که به چنین همیزایی در سایر نقاط جهان اشاره کرده باشند در این مقاله تنها به گزارش نتایج بازدیدهای صحرائی و بررسی‌های آزمایشگاهی پیرامون این کانسار اکتفا می‌شود. امید است که پژوهشگران جوان با داده‌های بیشتر و با استفاده از روش‌های تجزیه دستگاهی پیشرفته (اندازه‌گیری  $O^{18}$ ، سن‌سنجی پرتوسنجی و بررسی دقیق تر میانبارها) این پژوهش را ادامه داده و به نتایج مقبول‌تر دست یابند.

#### روش بررسی

پس از پیمایش‌های مکرر و آگاهی از ساختار زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ چارگوش سنندج [۱]، از کانسگ و سنگ‌های دربرگیرنده‌ی آن نمونه برداری شد. نمونه‌های کانسگ به روش‌های طیف سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و طیفسنجی پلاسمای جفت شده‌ی الایکی (ICP) مورد تجزیه‌ی شیمیایی قرار گرفتند و با استفاده از پراش‌سنجی پرتوی ایکس (XRD) از نظر کانی‌شناسی نیز بررسی شدند. افزون بر این، ۲۰ نقطه از دو نمونه کانسگ توسط ریز پردازش الکترونی (EPMA) تجزیه گردید. همچنین میانبارهای سیال کوارتز و اسپیسارتیت به منظور تعیین دمای تبلور این کانی‌ها بررسی شدند. بررسی-



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی سریسیت شیست دارای دگرشکلی  $S_1$  و  $S_2$  (الف و ب)، ریولیت و داسیت دارای ساخت پورفیری شامل درشت بلورهای کوارتز و فلدسپات (پ و ت) و رادیولاریت با آثاری از شعاعیان تغییرشکل یافته (ج و ج). ریولیت و داسیت جهت یافتگی ندارند. تصاویر الف و ج با نور PPL بقیه با XPL ثبت شده‌اند.

سیلیکات‌های منگنز (اسپارتیت + رودونیت  $\pm$  تفرؤیت) صورت گرفته است و در نتیجه‌ی دگرسانی سیلیکات‌ها، منگنز آزاد شده و به صورت اکسیدهای بی‌شکل همراه با سیلیس آهن‌دار (ژاسب قرمز) در شکستگی‌های سنگ مادر و یا در قاعده‌ی آن رسوب کرده‌اند. در منطقه کانسار توکلان، یازده رخنمون

**شواهد صحرایی کانه‌زایی**  
کانسنگ منگنز شامل سیلیکات‌های منگنز، کربنات و اکسیدهای منگنز همراه با ژاسب است که به صورت توده‌های پراکنده در سنگ‌های آتشفسانی-رسوبی دیده می‌شوند (شکل‌های ۴ و ۵). در این منطقه، کانه‌زایی نخست به صورت

قطبیشی تشخیص داده نمی‌شوند، بلکه به کمک پراش سنج پرتوی ایکس نیز به سختی قابل تشخیص هستند.

#### زمین‌شیمی کانسنگ

نتایج تجزیه شیمیایی ۹ نمونه کانسنگ به روش XRF در جدول ۱ آورده شده است. کانسنگ توکلان دارای  $33/65$  تا  $61/69$  درصد  $MnO$ ,  $14/56$  تا  $44/28$  درصد  $SiO_2$ , کمتر از  $14/63$  درصد  $Fe_2O_3$  و  $3/35$  درصد  $Al_2O_3$  است.  $Al_2O_3$  و  $CaO$  احتمالاً در ساختار اسپیسارتیت و بخش مهمی از  $Fe_2O_3$  در ساختار رودوکروزیت بکار رفته است. در جدول ۲ نیز عناصر کمیاب یک نمونه کانسنگ (AH) به روش ICP دیده می‌شود.

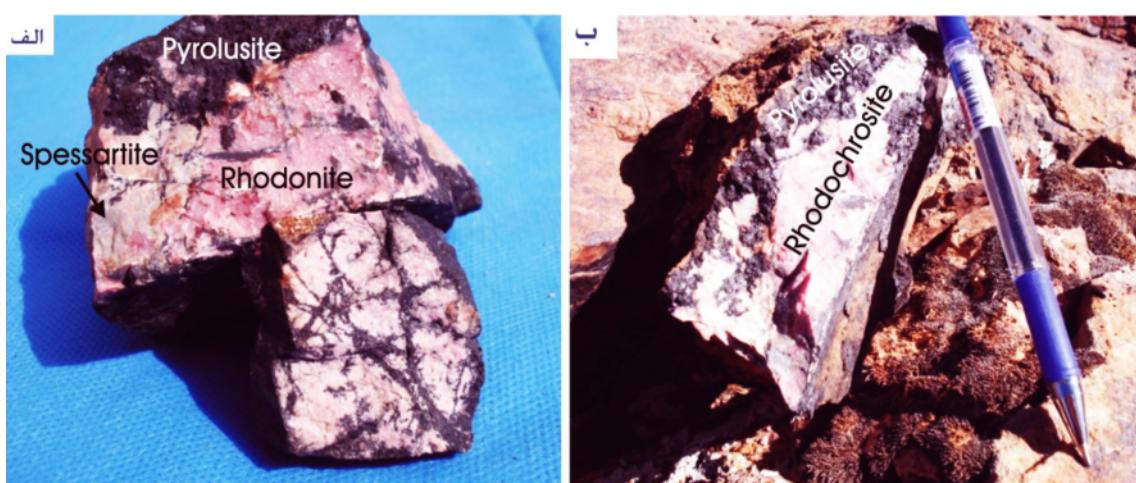
منگنز دیده شده است. آرایش رخنمون‌ها از چینه‌شناسی منطقه پیروی نمی‌کند. به عبارت دیگر، راستای رگه‌ها گاهی با چینه‌بندی موازی و گاهی نسبت به آن متقاطع است.

#### ویژگی‌های میکروسکوپی کانسنگ

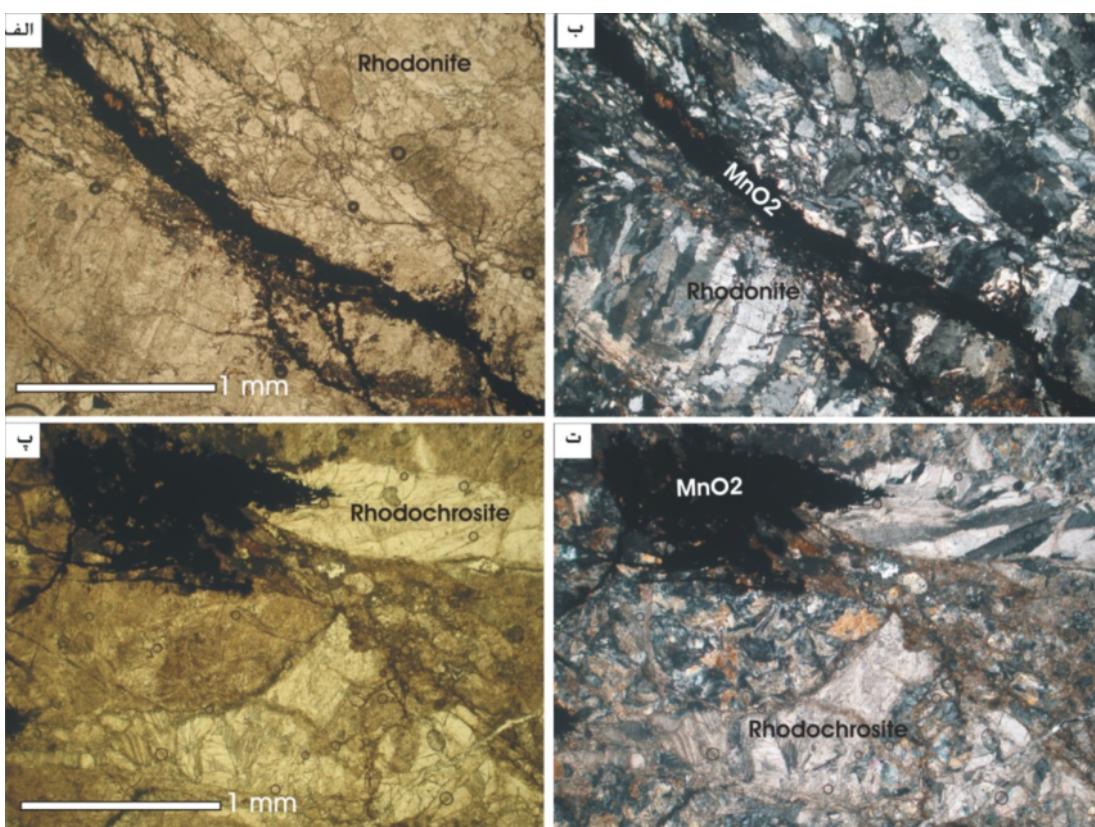
اسپیسارتیت به صورت بلورهای کوچک خود شکل به قطر  $20\text{ }\mu\text{m}$  میکرون در زمینه‌ای از بمانتیت دیده می‌شود. رودونیت با حجم بیشتر، دارای بلورهای درشت به قطر بیشینه یک میلیمتر است (شکل‌های ۶ الف و ب). رودوکروزیت که در نتیجه‌ی واکنش سیلیکات‌های منگنز با سیال‌های گاز کربونیک داربودجود آمده است نیز حضور دارد (شکل‌های ۶ پ و ت). اکسیدهای منگنز توکلان اغلب بی‌شکل هستند که نه تنها با میکروسکوپ



شکل ۴ رخنمون کانسنگ منگنز در سطح زمین (الف) و در ترانشه‌های اکتشافی (ب). قلوه‌ها اغلب از ژاسب و سیلیکات‌های منگنز تشکیل شده‌اند.



شکل ۵ تصاویر نمونه دستی کانسنگ منگنز توکلان: الف: کانسنگ دارای رودونیت، اسپیسارتیت و پیروکروزیت و ب) کانسنگ دارای رودوکروزیت (سفید صورتی) و پیروکروزیت (سیاه). پیروکروزیت شکستگی‌های سنگ مادر را پر کرده است.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی کانسنگ منگنز شامل رودونیت با برجستگی متوسط و دوشکستی ضعیف (الف و ب) و رودوکروزیت با دوشکستی بالا شبیه به سایر کربناتها (پ و ت). بلورهای رودوکروزیت و رودونیت جهت یافتن نشان نمیدهند بنابراین تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساختی قرار نگرفته‌اند (تصاویر سمت راست با نور PPL و سمت چپ با XPL).

جدول ۱ غلظت اکسید عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) ۹ نمونه کانسنگ تعیین شده به روش XRF (تجزیه نمونه‌های A.1 و A.2 توسط شرکت تحقیقاتی زمین‌شناسی کانپژوه و سایر نمونه‌ها توسط شرکت کانساران بینالود انجام شده است).

اکسیدها	A.1	A.2	A3	K.1	B.3	S.3	M.7	M.10	M.3
SiO <sub>2</sub>	۱۷.۹۶	۱۴.۵۶	۴۰.۴۲	۴۴.۲۸	۲۷.۸۶	۱۵.۲۴	۲۷.۷۱	۳۵.۱۱	۲۱.۷۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱.۶۵	۱.۷۰	۰.۵۷	۰.۱۷	۳.۳۵	۱.۳۷	۲.۷۶	۲.۹۸	۱.۷۳
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲.۴۵	۲.۱۲	۲.۲۲	۰.۹۶	۸.۲۹	۱.۱۶	۱۴.۶۳	۱۰.۵۶	۰.۷۲
CaO	۳۲.۷	۳۲.۹	۲.۶۳	۵.۳۲	۵.۸۶	۲.۵۳	۰.۸۶	۳.۶۵	۶.۲۶
Na <sub>2</sub> O	۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۰۲	۰.۰۹	۰.۲۶	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۳۴	۰.۲۲
K <sub>2</sub> O	۰.۲۸	۰.۲۱	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۱۰	۰.۲۱	۰.۰۳	۰.۱۶	۰.۱۱
MgO	۰.۳۲	۰.۳۶	۱.۰۲	۰.۱۶	۰.۳۵	۰.۴۹	۱.۱۱	۰.۴۱	۰.۵۳
TiO <sub>2</sub>	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۱۲	۰.۰۷	۰.۲۵	۰.۰۳	۰.۲۱	۰.۲۲	۰.۰۱
MnO	۵۵.۵۲	۵۹.۵۷	۴۲.۴۶	۴۳.۷۲	۴۱.۷۱	۶۱.۶۹	۳۷.۳۳	۳۳.۶۵	۵۰.۸۷
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۱۶	۰.۲۵	۰.۱۱	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۰۷
S	<۰.۰۲	<۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
L.O.I.	۱۳.۶۸	۱۲.۵۶	۶.۸۹	۲.۸۰	۱.۰۴	۱.۲۹	۱۰.۰۷	۹.۳۴	۱۰.۷۲
Total	۹۵.۳۰	۹۴.۵۰	۹۶.۵۵	۹۷.۸۵	۹۶.۳۳	۹۱.۳۵	۹۵.۰۰	۹۶.۵۴	۹۳.۲۰

جدول ۲ غلظت عناصر (بر حسب گرم در تن) یک نمونه کانسنگ (AH) تعیین شده به روش ICP.

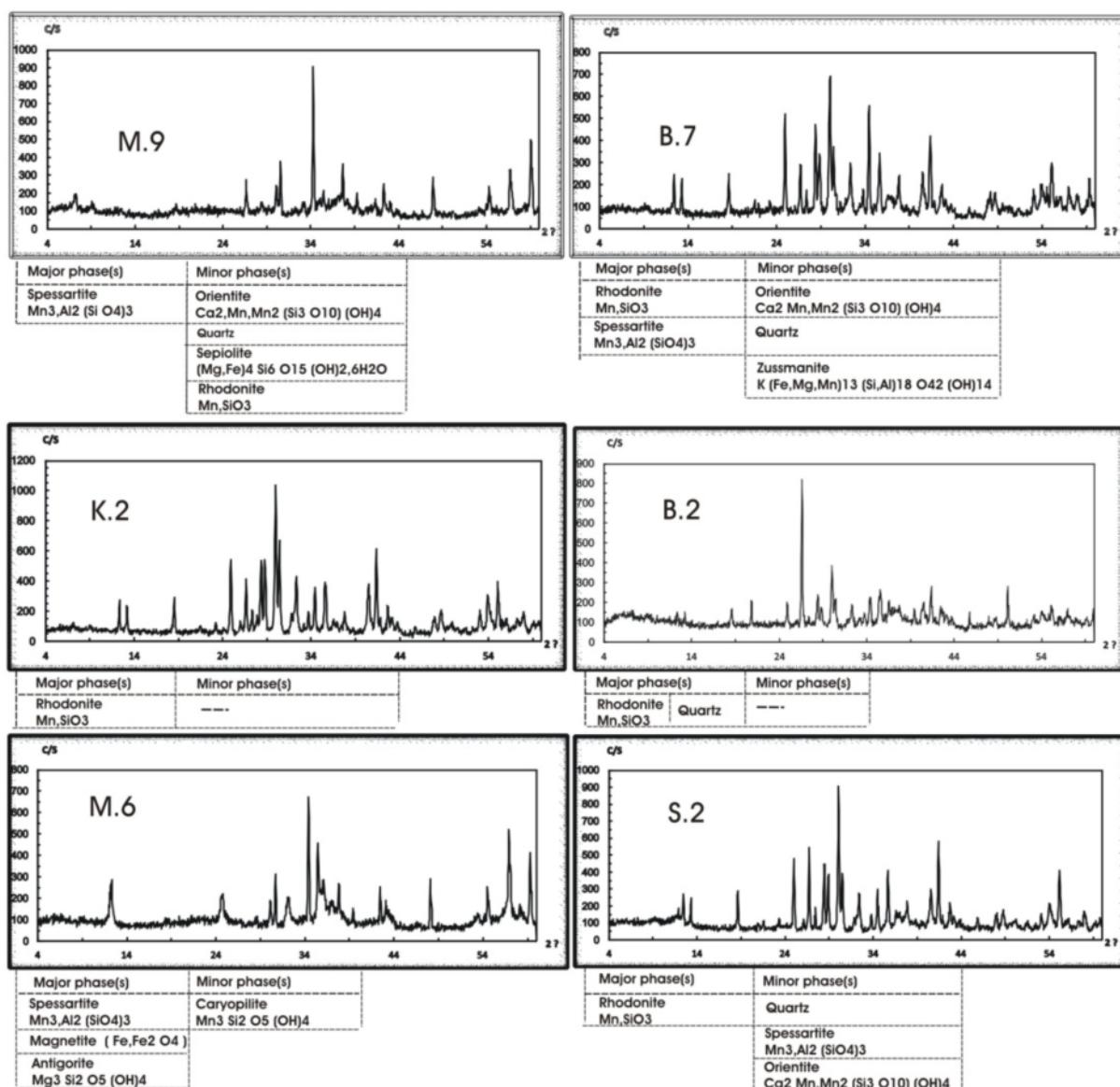
نمونه	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cu
AH	۱	۵	۱۰	۱	۵	۱	۱	۱	۱
	Cr	Ga	La	Li	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn
AH	۱	۱۰	۱	۱	۱	۱	۱۱	۵	۱۰
	Sr	Th	Tl	U	V	W	Zn	Zr	
AH	۱	۲۰	۱۰	۱۰	۱	۱۰	۲	۱	

نتایج بررسی‌ها در ادامه شرح داده می‌شود.

**بررسی کانی‌ها به روش XRD:** بررسی نمونه‌ها به روش پراش پرتوی ایکس نشان داده است که کانسنگ از رودونیت،  $MnSiO_3$ ، اسپسارتیت،  $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ ، اوریانتیت،  $(Mn_3Al_2(SiO_4)_3Ca_2MnMn_2(Si_3O_{10})(OH)_4$ ، رانسیه‌ئیت،  $(Ca,Mn)Mn_4O_9,3H_2O$ ، زوسمانیت،  $K(Fe,Mg,Mn)_{13}(Si,Al)_{18}O_{42}(OH)_{14}$ ، کاریوپلیت،  $(Mn_3Si_2O_5(OH)_4$ ، سپیولیت،  $(Mg,Fe)_4Si_6O_{15}(OH)_{2,6H_2O}$ ، کوارتز، آنتی‌گوریت و مگنتیت تشکیل شده‌است (شکل ۷).

### کانی‌شناسی کانسنگ منگنز توکلان

به‌منظور شناخت بهتر کانیهای سازنده‌ی کانسنگ منگنز توکلان، تعداد ۶ نمونه از کانسنگ توسط شرکت کانسaran بینالود و ۲ نمونه توسط شرکت تحقیقاتی زمین شناسی کانپژوه به روش XRD بررسی شدند. افزون بر این، در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران تعداد ۲۰ نقطه از کانسنگ شامل اکسیدهای منگنز، کربنات منگنز و سیلیکات‌های منگنز (اسپسارتیت و رودونیت) توسط ریز پردازشگر تجزیه‌ی نقطه‌ای شدند. همچنین تعدادی از میانهای دوفازی موجود در کانی‌های اسپسارتیت و کوارتز نیز در این مرکز بررسی شدند.

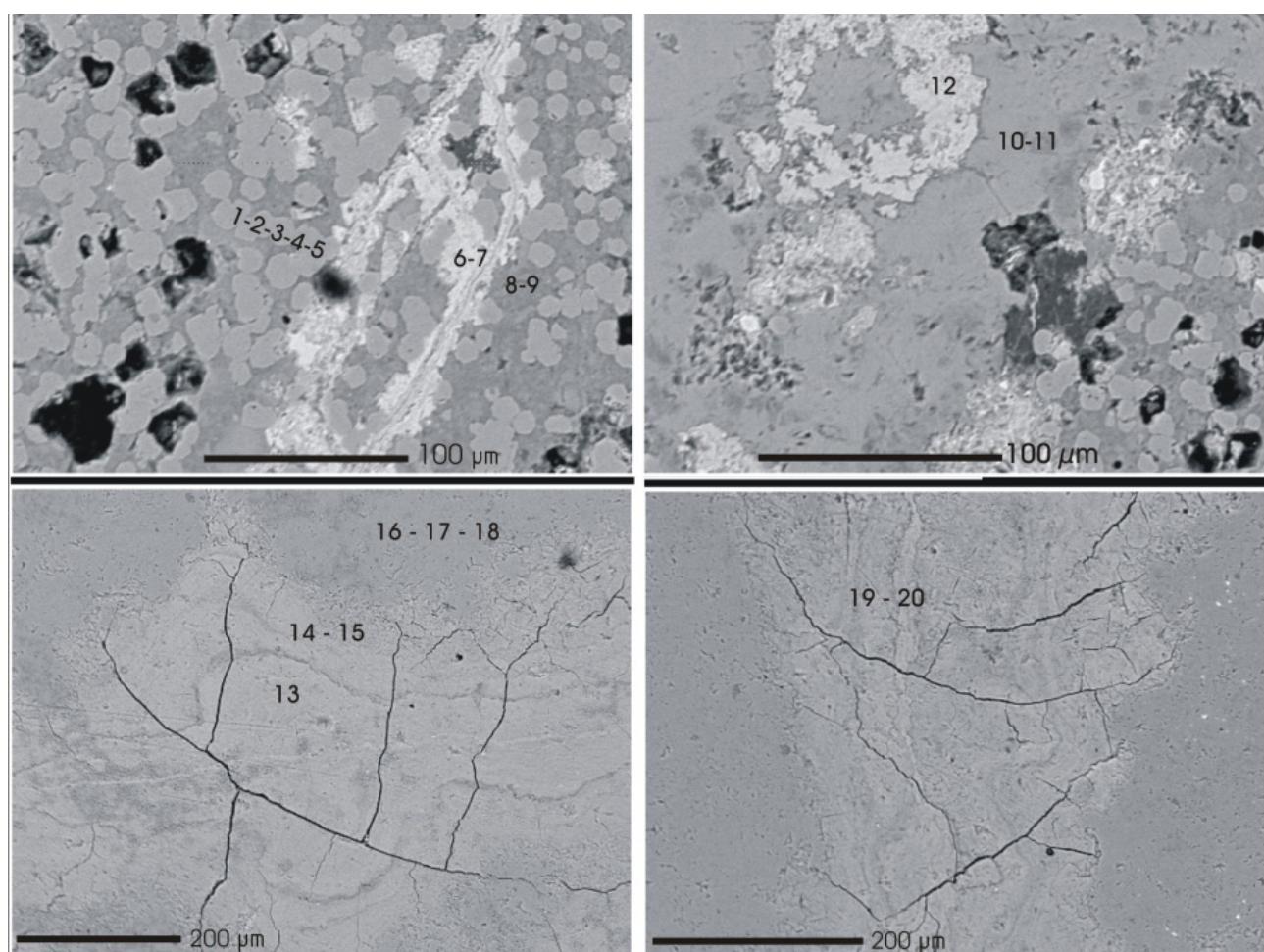


شکل ۷ طیف‌های XRD نشانده‌کانی‌های سازنده شش نمونه کانسنگ. رودونیت و اسپسارتیت نمونه‌های غالب هستند.

موجود در کوارتز در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران بررسی شدند (شکل ۹). از آنجا که قطر میانبارها کمتر از ۱۲ میکرون بود، محاسبه و اندازه‌گیری دما و شوری آن‌ها با دشواری بسیار صورت گرفت. با وجود این، دماهای همگن‌سازی دو فاز مایع و گاز در ۳ میانبار دوفازی بخار و مایع کوارتز ۲۱۸، ۲۲۳ و ۳۹۱ درجه‌ی سانتیگراد و شوری سیال ۲/۸۵ درصد وزنی معادل کلرورسیدیم بدست آمد که نشان دهنده شرایط گرمابی دمای بالاست. در یک میانبار دو فازی اما بسیار کوچک اسپسارتیت دمای همگن‌سازی ۱۳۰ درجه‌ی سانتیگراد بدست آمد، اما به علت قطر کم میانبار، امکان اندازه‌گیری شوری مایع میسر نشد. بدون شک این میانبار در اسپسارتیت ثانوی است زیرا در شکستگی‌های بلور وارد شده است به ویژه دمای تبلور اسپسارتیت بسیار بالاتر از این درجه است.

نتایج تجزیه‌ای: تعداد ۲۰ نقطه از یک نمونه کانسار که پیشتر به کمک میکروسکوپ بررسی شده بودند، توسط ریزپردازشگر الکترونی تجزیه‌ای شدند (شکل ۸). نتایج (جدول ۳) نشان داد که کانی‌های مهم کانسار عبارتند از: اسپسارتیت، رودونیت، رودوکروزیت و پیرولوزیت. در تأیید این نتایج لازم به یادآوری است که بررسی مقاطع میکروسکوپی کانسنگ توسط میکروسکوپ قطبشی نیز وجود رودونیت و رودوکروزیت را در کانسنگ تأیید کرده است (شکل ۶)، افزون بر این، در تصویر فرامیکروسکوپی کانسار (شکل ۸) نیز بلورهای خودشکل و نسبتاً کوچک گارنت قابل تشخیص هستند.

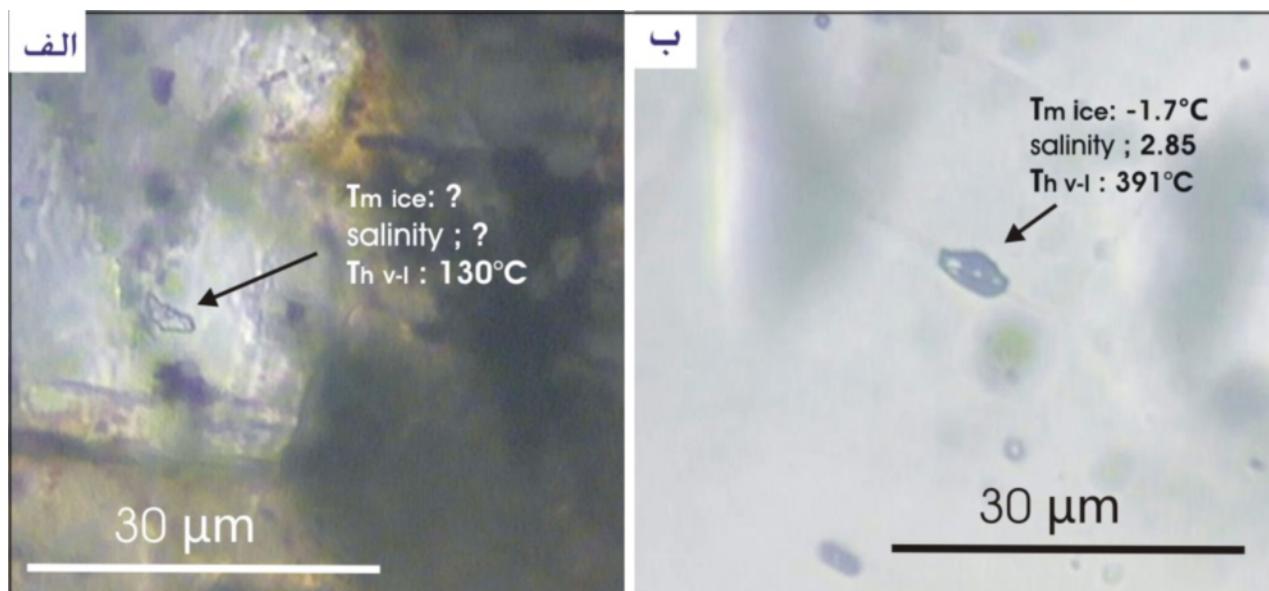
**ریزدانسنجی میانبارهای سیال**  
دو میانبار دوفازه‌ی موجود در اسپسارتیت و سه میانبار دوفاره‌ی



شکل ۸ معرفی نقاط تجزیه شده توسط ریزپردازشگر الکترونی. شماره‌های ۱ تا ۵: اسپسارتیت، ۶ و ۷ پیرولوزیت، ۸ تا ۱۱ بمانیت، ۱۲ تا ۱۵ پیرولوزیت، ۱۶ تا ۱۸ رودونیت، ۱۹ و ۲۰ پیرولوزیت هستند.

جدول ۳ نتایج تجزیه شیمیایی کانیهای دو نمونه کانسنگ (M5 و M1) به روش ریزپردازش الکترونی (برحسب درصد وزنی)

شماره نقاط	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	FeOt	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Total	
۱ / ۵	۰,۰۵	۰	۰,۰۹	۴	۳۶,۸۲	۳,۵۱	۱۷,۵۶	۳۴,۵۱	۰,۶۵	۹۷,۱۷	
۲ / ۵	۰,۰۱	۰	۰,۰۵	۲,۵۵	۳۸,۸۵	۳,۳۵	۱۷,۵۷	۳۴,۴۸	۱,۴۵	۹۸,۳۲	
۳ / ۵	۰,۰۱	۰	۰,۰۳	۲,۸۱	۳۸,۲۹	۳,۹۴	۱۷,۲۲	۳۴,۸۲	۰,۷۹	۹۷,۹۰	اسپارتیت
۴ / ۵	۰,۰۲	۰	۰,۲۸	۲,۰۲	۳۷,۴۵	۵,۸۸	۱۳,۹۲	۳۰,۱۶	۶,۵۰	۹۶,۲۳	
۵ / ۵	۰,۰۳	۰	۰,۰۳	۲,۸۳	۳۸,۵۵	۳,۹۱	۱۷,۹۰	۳۴,۷۸	۰,۴۱	۹۸,۴۴	
۶ / ۵	۰,۱۳	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۶۶	۷۲,۶۶	۱,۸۵	۰,۰۸	۰,۶۵	۰,۷۸	۹۶,۹۳	پیرولوزیت
۷ / ۵	۰,۱۲	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۵۰	۷۲,۶۶	۱,۸۰	۰,۱۰	۱,۰۹	۰,۱۰	۷۷,۴۳	
۸ / ۵	۰	۰	۲,۳۳	۰,۱۵	۱۷,۸۶	۲۲,۹۸	۴,۰۶	۳۹,۲۹	۰,۴۸	۸۷,۶۴	
۹ / ۵	۰	۰,۰۵	۲,۴۲	۰,۴۱	۱۷,۵۹	۲۱,۸۱	۴,۴۸	۴۰,۲۸	۰,۴۵	۸۷,۴۹	بمانستیت
۱۰ / ۵	۰,۰۲	۰,۰۴	۲,۷۳	۰,۰۱	۳۱,۵۷	۱۷	۱,۷۰	۳۶,۰۱	۰,۰۲	۸۹,۱۰	
۱۱ / ۵	۰,۰۱	۰,۰۱	۲,۵۵	۰,۰۳	۳۲,۳۵	۱۶,۰۱	۱,۲۷	۳۶,۸۹	۰,۰۱	۸۹,۱۳	
۱۲ / ۵	۰,۲۱	۰,۱۱	۰,۰۴	۰,۴۶	۷۴,۳۸	۰,۹۲	۰,۰۹	۰,۸۵	۰,۰۲	۷۷,۰۹	
۱۳ / ۵	۰,۳۹	۰,۱۵	۰,۶۰	۶,۴۸	۶۵,۴۳	۰,۶۰	۰,۱۴	۰,۶۶	۰,۰۱	۷۷,۴۶	پیرولوزیت
۱۴ / ۵	۰,۳۶	۰,۱۷	۰,۵۳	۵,۹۰	۶۶,۷۱	۰,۵۰	۰,۱۰	۰,۴۹	۰,۰۲	۷۴,۸۵	
۱۵ / ۵	۰,۳۷	۰,۱۱	۰,۵۴	۵,۶۷	۶۲,۴۰	۰,۶۰	۲,۹۲	۵,۴۹	۰,۰۹	۷۸,۱۸	
۱۶ / ۱	۰,۰۳	۰	۰,۲۶	۵,۰۸	۴۷,۶۲	۰,۵۱	۰,۴۰	۴۶,۲۱	۰,۰۲	۱۰۰,۱۵	
۱۷ / ۱	۰	۰	۰,۱۷	۵,۲۶	۴۸,۱۱	۰,۳۲	۰,۰۳	۴۶,۵۸	۰	۱۰۰,۴۷	رودونیت
۱۸ / ۱	۰,۰۹	۰	۰,۱۸	۵,۲۴	۴۷,۹۰	۰,۳۶	۰,۰۴	۴۶,۳۶	۰	۱۰۰,۱۷	
۱۹ / ۱	۰,۷۳	۰,۲۰	۰,۷۶	۷,۸۳	۶۶,۰۶	۰,۷۴	۰,۰۳	۰,۵۳	۰,۰۴	۷۶,۹۲	پیرولوزیت
۲۰ / ۱	۰,۳۹	۰,۱۲	۰,۶۵	۶,۱۲	۶۷,۶۷	۰,۸۵	۰,۰۳	۰,۷۵	۰	۷۶,۵۹	



شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی از میانبارهای سیال دوفازی مورد بررسی. الف: میانبار سیال دوفازی بخار و مایع در اسپسارتیت و ب: میانبار سیال دوفازی بخار و مایع در کوارتر. بنظر میرسد که میانبارهای اسپسارتیت ثانوی باشند، زیرا در شکستگی بلور بهدام افتاده‌اند.

## بحث و بررسی

متقطع شکستگیهای سنگ مادر را پرکرده و گاهی در قاعده سنگ مادر با عیار بالا تر رسوب کرده‌اند. از بافت کانسنگ چنین برمی‌آید که بمانیت در مرحله نخست و کمی پس از اسپسارتیت متبلور شده است (شکل ۸).

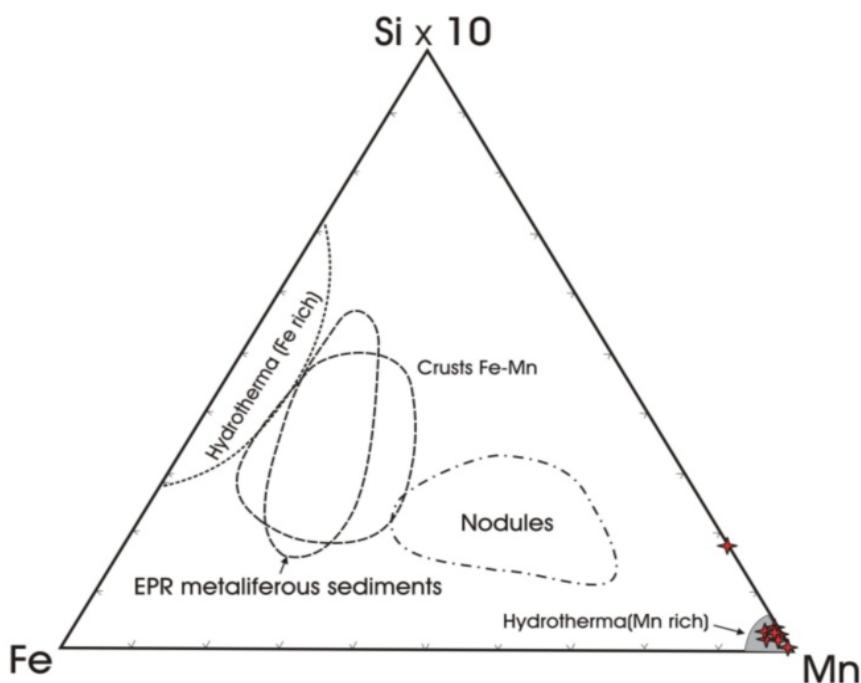
بررسی میانبارهای کوارتز (شکل ۹) دماهای ۲۱۸ تا ۳۹۱ درجه و اسپسارتیت ۱۳۰ درجه سانتیگراد را برای شرایط همگن‌شدن دو فاز مایع-گاز نشان داده است. برپایه پژوهش نیکسون و همکاران [۹]، نسبت بسیار پائین  $\text{Fe/Mn}$  (۰/۰۱ تا ۰/۴۹) در پیرولوژیت نشانه خاستگاه گرمابی است. همچنین ترکیب شیمیائی پیرولوژیت در نمودار سه قطبی ( $\text{Si} \times 10$ - $\text{Mn-Fe}$  [۱۰]) نیز در گستره کانسارهای گرمابی قرارمی‌گیرد (شکل ۱۰).

بررسی نتایج پژوهش‌های پیرامون کانسارهای منگنز با خاستگاه گرمابی نشان می‌دهد که این کانسارها در بخش‌های بالایی مجموعه‌های آتشفشنایی-رسوبی و به‌ویژه در گذر سنگ‌های آتشفشنایی (شیل‌های توفی، توف‌ها و گدازه‌های بازالتی) به رادیولاریت‌ها تشکیل می‌شوند. در کانسارهای منگنز همراه با مجموعه‌های آتشفشنایی-رسوبی، کانه‌زایی به دو شکل توده‌ای و رگه‌ای صورت می‌گیرد که در دو حالت توده‌ای و رگه‌ای آثاری از کانه‌های منگنز دمای بالا مانند اسپسارتیت و رودونیت دیده نمی‌شود.

به تازگی پژوهش‌هایی پیرامون کانی‌زایی منگنز در کمربند پیریت‌دار ایبرین کشور پرتغال (منطقه آلبربنا) که دارای همبزایی اسپسارتیت-کلریت-آلبت  $\pm$  رودونیت است و به همبزایی کانسنگ توکلان شباهت دارد صورت گرفته است [۱۱] و [۱۲]. بر این اساس برای تشکیل چنین کانسارهایی با همبزایی دمای بالا و دمای پائین سه مرحله در نظر گرفته شد: مرحله اول تشکیل کانسنگ توده‌ای دمای پایین است. در این مرحله، کانه‌زایی منگنز توده‌ای در طی فرایندهای آتشفشنایی-رسوبی و بوسیله سیال‌های گرمابی دما و شوری پایین و دور از مجاری گرمابی صورت می‌گیرد. کانی اصلی و اولیه منگنز در این مرحله انبوهی از بلورهای دانه‌ریز براونیت  $\text{Ba}_x\text{Mn}_2\text{O}_3\text{MnSiO}_3$  با ساختار چارگوشی) است که سپس توسط پیرولوژیت جانشین می‌شود.

کانسارهای منگنز جهان به ۵ دسته رسوبی، رسوبی-آتشفشنایی، دگرگونی، گرمابی و برونزادی تقسیم شده‌اند [۲]. در ایران، کانسارهای منگنز دارای خاستگاه گرمابی یا رسوبی هستند، از جمله معدن منگنز چشمی فریزی در جنوب‌غرب سبزوار [۳]، نصیرآباد [۴] و سنگان در شمال‌شرق خاش [۵] خاستگاه گرمابی دارند. کانی‌سازی منگنز در فرزنه (جنوب شرق مشهد) نتیجه فعالیت آبهای فرورو و شسته شدن منابع گوگردی است [۶]. کانی‌سازی منگنز دهو در جنوب زاهدان دارای خاستگاه گرمابی زیردریایی بوده که توسط رسوبات مافیک تقویت شده است [۷]. کانی‌سازی منگنز در آباده، طشت (نیریز) و سرخوند (کرمانشاه) دارای خاستگاه تخریبی در حوضه‌های پشت قوس بوده که رسوب منگنز با دخالت باکتریها رخ داده است [۸]. در همه این کانسارها، کانسنگ منگنز شامل انواع اکسیدهای منگنز، کربنات منگنز با یا بدون گوگرد است، حال آنکه در معدن توکلان کانسنگ منگنز شامل سیلیکات‌های منگنز است که معمولاً در دماهای بالا از دمای بحرانی آب متبلور می‌شوند. تبلور اسپسارتیت، رودونیت و تفوئیت در اسکارنها امری عادی است، اما در لایه‌های رسوبی غیرآهکی و بدون حضور توده نفوذی چنین نیست. تبلور این نوع سیلیکات‌ها بصورت کانی‌های فرعی در پیغماتیت‌ها دیده شده است اما همبزی (پاراژن) کانسار منگنز توکلان همبزی پیغماتیت نیست. همچنین کانسار منگنز توکلان (اسپسارتیت، رودونیت و گاهی تفوئیت) نمی‌تواند رسوب دریایی باشد. پراکندگی نامنظم توده‌های کانسار، به ویژه در بیشتر نقاط رگه‌ها یکدیگر را نیز قطع کرده‌اند، فرایندهای گرمابی دمای بالا و یا دگرنهادی آذرین را الهام می‌کند، اما در منطقه معدنی توکلان توده آذرین درونی که موجب فعالیتهای دگرنهادی آذرین و یا گرمابی شده باشد دیده نمی‌شود.

بررسی مقاطع صیقلی کانسار توکلان (شکل ۸) ترتیب تبلور این کانی‌ها را به صورت ۱- اسپسارتیت و رودونیت، ۲- بمانیت، ۳- رودوکروزیت و ۴- پیرولوژیت معرفی می‌کند: بنابراین اکسیدهای منگنز فرآورده‌های ثانوی و نتیجه دگرسانی اسپسارتیت و رودونیت هستند که به شکل رگه‌های



شکل ۱۰ ترکیب شیمیایی پیرولوزیت در نمودار سه قطبی [۱۰] Mn - Fe - Si x10

### برداشت

مقالات علمی منتشر شده پیرامون شکل‌گیری منگنز کانی-سازی منگنز را اغلب به رسوب مستقیم اکسید منگنز در دریا (بکمک رسوبات قاره‌ای یا اقیانوسی غنی‌از منگنز) یا رسوب اکسید منگنز از سیال‌های داغ خارج شده از شکاف‌های کف اقیانوس، مثلاً دودخان‌ها و یا به دگرگونی نسبت داده‌اند. هرچند نسبت Fe/Mn در پیرولوزیت توکلان (۰/۰۱ تا ۰/۴۹) نشانگر خاستگاه گرمابی آن است، اما نمی‌توان شرایط گرمابی را برای تبلور اسپسارتیت و رودونیت که به دماهای بالاتر از دمای بحرانی آب نیاز دارند در نظر گرفت. احتمال دارد که اسپسارتیت، رودونیت و تفوئیت از سیال‌های ابر بحرانی دودخان‌های کف اقیانوس بوجود آمده و به تدریج که دمای سیال کاهش یافته است، سیلیکات‌های آبدار، سپس رودوکروزیت و سرانجام اکسیدهای منگنز بوجود آمده باشند اما گسترش و ضخامت بسیار سنگ‌های اسیدی (داسیت و ریولیت) بصورت توف و گاهی گدازه و کمیابی بازالت در توکلان با محیط‌های اقیانوسی درحال کشش به ویژه جائیکه در آن دودخان‌ها فعالیت دارند مغایرت دارد.

مرحله دوم رخداد دگرگونی ناحیه‌ای مربوط به کوه‌زایی است. در این مرحله رخدادهای دگرگونی ناحیه‌ای دمای لازم برای باز تبلور و دگرگونی کانه‌های اولیه منگنز و تشکیل کانه‌های دمای بالا (اسپسارتیت، رودونیت و آلبیت) را فراهم می‌کنند. دماسنجدی بر زوج کلریت-بیوتیت دما را در این مرحله ۳۷۰ تا ۴۱۵ درجه سانتیگراد برآورد نموده است که با رخساره شیست سبز همخوانی دارد [۱۱]. مرحله سوم شامل گسلش پساز کوه‌زایی است این مرحله پس از دگرگونی صورت می‌گیرد و با فعالیت‌های گستردۀ گرمابی همراه است. دماسنجدی براساس ترکیب شیمیایی کلریت، دمایی حدود ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد را نشان داده است [۱۲] و این دما می‌تواند شرایط گسترش کانی‌های دمای بالا مانند اسپسارتیت را در کانسنسگ توده‌ای منگنز فراهم سازد. همچنین، در این مرحله با کاهش دمای سیال کانه‌دار شرایط برای شکل‌گیری کانه‌های آبدار از دگرسانی کانه‌های بی‌آب فراهم می‌گردد. کانی‌های شاخص این مرحله شامل پیرولوزیت و رومانشیت است که بوسیله کانی‌های کوارتز، میکا، ایلیت، لیتیوفوریت، هماتیت و گوتیت همراهی می‌شوند.

- stratiform manganese deposit", Southwest Sabzevar basin, Iran , Ore Geological review.*
- [4] Zarasvandi A., Lentz D., Rezaei M., Pourkaseb H., "Geochemical evidences. Chemie der Erde", (2013), 73(4):495– 508.
- [5] Kahrazehi M.R., Lotfi M., Ghaderi M., Mohajjal M., Mohammadreza Jafari M.R., "First Report of Geochemical Characteristics of the Sangan Manganese Occurrence, Northeast Khash (Iran)", Indian Journal of Science and Technology, (2015),
- [6] Mazhari N., Malekzadeh-Shafaroudi A., Ghaderi M., Geology, "mineralogy and geochemistry of Ferezneh ferromanganese anomaly", east of Sangan mines complex, NE Iran. Journal of Economic Geology, Vol. 7, No. 1 (2015), 2p.
- [7] Lotfi M., Kahrazehi M., Ghaderi M., "Geochemistry and origin of Dehoo manganese deposit, south Zahedan, southeastern Iran". Arabian Journal of Geosciences , (2017), 10:142.
- [8] Zarasvandi A., Pourkaseb H., Sepahvand Rezaei M., "Tracing of hydrothermal ore forming process in the Sorkhvand manganese deposite", Kermanshah province Iran. Arabian Journal of Geosciences. (2016).
- [9] Nicholson K., Nayak V.K., Nanda J.K., "Manganese ores of the Ghoriajhor-Monmunda area, Sundergarh District, Orissa", India: Geochemical evidence for a mixed Mn source. Geological Society of London Special Publication, 119, (1997 ), 117–121.
- [10] Toth, J.R., "Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron", Geological Society of America Bulletin, ( 1980 ) 91(1): 44–54.
- [11] Moreira, B., Figueiras J., Mateus A., Rodrigues P., Jorge R., Goncalves L., "A new manganese mineralisation type in the Iberian Pyrite Belt? Congresso Iberico de Geoquimica", (2015) - XVIII Semana de Geoquimica.
- [12] Inoue A., Meunier A., Patrier-Mas P., Rigault C., Beaufort D., Vieillard P., "Application of chemical geothermometry to low temperature trioctahedral chlorite", Clay Clay Miner. V. 57(3) 371-382.

بررسی معادن آهن استان کردستان که توسط نویسنده در حال انجام است نشان داده که تشکیل غالب کانسارهای آهن در این استان در دو مرحله صورت گرفته است: در مرحله‌ی نخست، آهن بصورت رسوبی در دریا تشکیل شده همچنانکه وجود لایه‌های پراکنده‌ی هماتیت و لاتریت در بین لایه‌های آتشفشارانی-رسوبی پرمین در شمال غرب این استان شاهدی از وجود این نوع آهن رسوبی در منطقه است. در مرحله‌ی دوم عمل جابجایی صورت گرفته است، بدین ترتیب که آهن رسوبی توسط سیال‌های دما بالای آزاد شده احتمالاً از انجماد توده‌های نفوذی عمیق بحرکت درآمده و در افق‌های بالاتر رگه‌های پرعیار مانگنتیت را بوجود آورده است. در بیشتر معادن آهن غرب دیواندره که معدن منگنز توکلان نیز در آنجا قرار دارد، توده‌ی نفوذی دیده نمی‌شود، در حالیکه رگه‌های مانگنتیت با مجموعه کانی‌هایی شبیه به اسکارن چون گارنت، اپیدوت، آکتینولیت و آلبیت همراه هستند. مقایسه‌ی معدن منگنز توکلان با معادن آهن مناطق همسایه این باور را تلقین می‌کند که شاید کانی-سازی منگنز توکلان نیز نتیجه چنین فرایندی باشد.

#### قدرتانی

وظیفه‌ی خود میدانم که از همکاران محترم مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران بویژه آقایان دکتر بهروز کریمی، دکتر کاظم قلیزاده و خانم مهندس آقاجانی بخاطر انجام تجزیه‌ی نقطه‌ای و بررسی میانبارهای سیال بسیار تشکرکنم. از دوست عزیز و همکار محترم آقای دکتر بهزاد مهرابی بخاطر فراهم کردن شرایط این همکاری‌ها سپاسگزارم. همچنین از آقای لقمان احمدی دارنده‌ی پروانه‌ی اکتشاف معدن که امکانات بازدید و مسافرت‌ها را فراهم نموده بودند نیز قدردانی می‌کنم.

#### مراجع

- [1] Geological quadrangle Map of Sanandaj, 1/250000 No.C5. Geological survey & Mineral exploration of Iran.
- [2] Fan D., Yang P., "Introduction to and classification of manganese deposits of China", Ore Geology Reviews, (1999 ), 15(1), 1–13.
- [3] Maghfouri S., Rastad E., Mousivand F., Choulet F., Ye L., "Geological and geochemical constraints on the Cheshmeh-Frezi volcanogenic