مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال هجدهم، شماره‌ی ۱، بهار ۸۹، از صفحه‌ی ۳ تا ۱۴

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های منگنز-آهن در ته‌نشست‌های افیولیتی شمال چالدران، شمال باختر ایران

علی امامعلی پور*

گروه مهندسی معدن دانشگاه ارومیه

(دریافت مقاله: ۸۷/۱۰/۲۲ ، نسخه نهایی: ۸۸/۵/۵)

چکیده: در میان سنگ‌های رسوبی پلاژیک و چرت‌های رادیولاریتی زون افیولیتی شمال باختر کشور نهشته‌های منگنز و منگنز- آهن چندی یافت می‌شوند. کانی‌سازی‌های منگنز-آهن ناحیه‌ی صفو در شمال شهر چالدران یکی از آن‌هاست. در ناحیه‌ی صفو، انباشتگی منگنز در چند افق و به‌شکل توده‌های عدسی شکل درون شیل‌های آهکی پلاژیک، چرت و آهک پلاژیک روی داده است. این کانسار چینه‌سان بوده و خاستگاه همزمان با ته‌نشینی دارد. از نظر کانی‌شناسی از کانه‌های پیرولوسیت، بیکسبیت، براونیت و هماتیت تشکیل یافته است. کلسیت، کوارتز و باریت کانی‌های باطله اصلی هستند. ساخت و بافت‌های نواری، توده‌ای و پراکنده در توده‌های معدنی قابل تشخیص‌اند. شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی گویای نهشت کانه‌ها از گرمابی‌های زیردریایی (برونده‌می) در بستر حوضه‌ی اقیانوسی نئوتتیس در زمان کرتاسه بالایی است. نسبت‌های Mn/Fe در این کانسار بین ۱/۳۵-۳۱/۷ متغیر است و میانگین آن برابر ۸ است. میانگین این نسبت چندین بار بیشتر از مقدار آن در نهشته‌های فلزدار پشته‌های میان اقیانوسی است. بالا بودن نسبت‌های Mn/Fe و Si/Al، پائین بودن مقادیر فلزات کمیاب و به‌ویژه فلزات Ni, Co و Cu، پایین بودن مقادیر عناصر Y و Ce و بالا بودن مقادیر SiO_2 Ba , Fe , Mn, و Sr به‌عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه Mn از گرمابی‌ها برونده‌می هستند و نقش فرایندهای هیدروژنز در پیدایش این کانسار ناچیز است. بررسی ضرایب همبستگی میان اکسیدها و عناصر مختلف نیز نشان داد که هیچ ارتباطی بین فلزات Ni Co , و Cu با گرمابی‌های برونده‌می سرشار از Si, Mn و Fe وجود نداشته است.

واژه‌های کلیدی: *نهشته‌های منگنز، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، براونیت، پیرولوسیت، افیولیت، برونده‌می، صفو، چالدران.*

مقدمه

ناحیه‌ی چالدران بخشی از پهنه‌ی افیولیتی شمال باختر کشور را تشکیل می‌دهد. این پهنه از کوه‌های آناتولی در ترکیه به‌سمت شرق گسترش می‌یابد و ناحیه‌ی گسترده‌ای به وسعت حدود ۳۹۰۰ کیلومترمربع را در مرز مشترک ایران و ترکیه می‌پوشاند. تمام سنگ‌های افیولیتی ردیف شامل سنگ‌های اولترامافیکی، مافیکی، دایک‌های دیابازی و سنگ‌های ته‌نشستی (آهک‌ها و شیل‌های پلاژیک، چرت‌های رایولاریتی و فلیش) در این افیولیت شناخته شده‌اند، ولی سنگ‌های ته‌نشستی به‌سوی شمال گسترش بیشتری داشته و بیشتر به‌صورت ملانژ نمایان

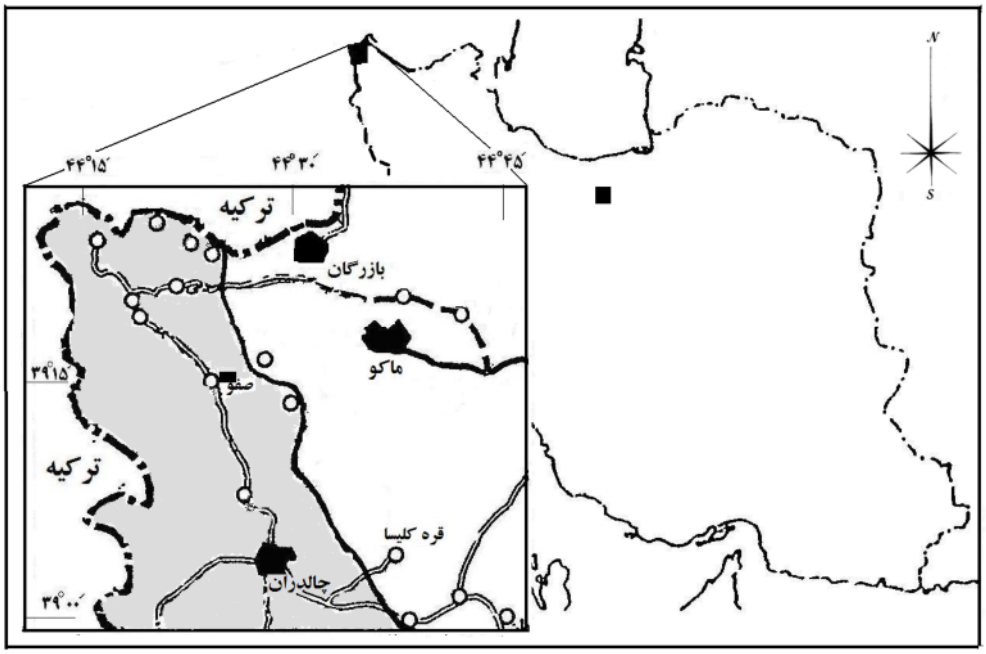
* نویسنده مسئول، تلفن: ۲۹۷۲۸۸۳ (۰۴۴۱)، نمابر: ۲۹۷۲۸۳۷ (۰۴۴۱)، پست الکترونیکی: a.imamalipour@urmia.ac.ir

هستند [۱]. در بالاترین ردیف‌های افیولیتی و در همراهی با چرت‌های رادیولاریتی، ژاسپیروئیدها و آهک‌های پلاژیک، نهشته‌های منگنز به‌صورت‌های گوناگون عدسی شکل، داربستی، توده‌ای و نواری پدیدار شده‌اند. در مناطق افیولیتی ایران نیز چنین نهشته‌هایی شناخته شده‌اند؛ برای مثال، کانسارهای "چاه باشی"(۵۰ کیلومتری جنوب نائین)، " نبوید" و "سلم رود" (در آمیزه‌ی افیولیتی سبزوار)، "کونیچ" (افیولیت اطراف ایرانشهر) و نشانه‌های معدنی منطقه‌ی طشک (استان فارس) از این گونه‌اند. ذخیره‌ی این نهشته‌ها بیشتر در حد چند هزار تن است و تنها ذخیره‌ی معدنی کانسار چاه باشی ۱۰/۳ میلیون تن برآورد شده است[۲، ۳].

در افیولیت خوی نیز نشانه‌هایی از این نوع کانه‌زایی یافت می‌شود که عموما" از نوع نهشته‌های منگنز، منگنز- آهن، آهن و منگنز- آهن- مس هستند. نهشته‌های معدنی "آقبلاق" و "آقباش" (شمال باختر خوی)، "دیلک وردی" و "صفو"(شمال چالدران) از آن جمله‌اند. این نهشته‌ها بخش‌های ته‌نشستی همتافت مجموعه‌ی افیولیتی خوی هستند و در ناحیه‌ی شمال چالدران و منطقه‌ی کانه‌دار صفو هم‌آمیختگی زمین‌ساختی شدیدی را با سنگ‌های افیولیتی پیدا کرده و به‌صورت آمیزه‌ی رنگین درآمده‌اند[۱]. موقعیت جغرافیایی نهشته‌های منگنز شمال چالدران (ناحیه صفو) در شکل۱ نشان داده شده است.

روش بررسی

در گام نخست، ویژگی‌های زمین‌شناسی نهشته‌های منگنز-آهن در ناحیه‌ی صفو (شمال چالدران) مورد بررسی صحرایی قرار گرفت و نمونه‌های مورد نیاز تهیه شدند. بررسی کانی‌شناسی به‌روش کانه نگاری(Ore Microscopy) و پراش سنجی پرتو ایکس (X-Ray Diffractometry) به‌ترتیب با بررسی تعداد ۵ و ۸ نمونه انجام شد. تعداد ۱۱ نمونه نیز برای اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب به‌روش فلوئورسانسی پرتو ایکس (XRF) تجزیه شیمیایی شدند (جدول ۱). نتایج به‌دست آمده با داده-های وابسته به‌نهشته‌های منگنز دریای تیرنه (جنوب ایتالیا) که نتایج ۳۰ سال پژوهش در آن توسط دیکوو و وسلاین[۴] ارایه شده‌اند، مقایسه شدند. افزون بر آن، ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نهشته‌های منگنز این ناحیه با دیگر نهشته‌های منگنز ته‌نشستی همراه افیولیت‌ها و نیز نهشته‌های منگنز عهد حاضر بستر دریاها و اقیانوس‌های نواحی دیگر مقایسه و مدل فلززایی آن‌ها ارایه شدند.



شکل۱ موقعیت جغرافیایی نهشته‌های منگنز ناحیه‌ی صفو (شمال چالدران)، بخش شمالی پهنه‌ی اوفیولیتی خوی به رنگ خاکستری نشان داده شده است.

جدول۱ نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های انتخابی از نهشته‌های منگنز ناحیه‌ی صفو.

Sample	SA-1	SA-2	SA-3	SA-4	SA-5	A-2-2	B-4-2	C-2-2	D-1-1	E-1-3
Wt %										
SiO_2	۳۹٫۶۰	۲٫۴۸	۶۲٫۹۰	۰٫۷۵	۵۸٫۵۰	۵۱٫۴۹	۸٫۸۲	۱۰٫۴۶	۷۱٫۰۴	۶٫۷۰
Al_2O_3	۹٫۹۵	۰٫۲۸	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۶۴	۰٫۳۹	۰٫۵۱	۰٫۳۶	۰٫۶۲	۰٫۳۹
Fe_2O_3	۸٫۳۰	۷٫۷۰	۷٫۷۰	۲٫۳۱	۶٫۶۰	۹٫۶۴	۲٫۵۰	۷٫۴۹	۵٫۳۷	۳٫۲۵
CaO	۰٫۳۷	۱٫۸۶	۲٫۷۲	۱۰٫۶۰	۴٫۴۳	۱۲٫۰۵	۲۹٫۲۰	۲۵٫۶۵	۶٫۷۲	۳۰٫۲۲
Na_2O	۰٫۸۰	۰٫۲۱	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۱۰
MgO	۰٫۷۸	۰٫۹۶	۰٫۳۴	۰٫۵۷	۰٫۴۱	۰٫۱۰	۰٫۵۰	۰٫۰۹	۰٫۴۴	۰٫۲۰
K_2O	۴٫۲۸	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۲۵	۰٫۰۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
TiO_2	۰٫۵۹	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳
MnO	۲۷٫۸۰	۶۹٫۱۰	۲۰٫۸۵	۶۸٫۳۰	۲۲٫۷۰	۱۲٫۱۷	۲۸٫۷۸	۲۵٫۶۶	۷٫۴۰	۲۸٫۷۶
P_2O_5	۰٫۳۰۰	۰٫۱۱۶	۰٫۰۶۹	۰٫۰۵۲	۰٫۰۸۴	۰٫۰۳۴	۰٫۰۴۵	۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۲	۰٫۰۵۵
ppm										
Ba	۳۱۳	۲۵۴	۴۰۳	۴۳۴	۲۲۸	۶۰۷۶	۵۹۳۸	۲۲۷۷۱	۱۴۲۳	۲۹۳۸
Ce	۲۸٫۵	۳۲٫۵	۲۰٫۳	۲۴٫۴	۴۱٫۵	-	-	-	-	-
La	-	-	-	-	-	۷	۷	۲	۱	۳
Co	۳۵۵	۸٫۵	۵٫۴	۳٫۹	۱۱	۱	۱۲	۵	۴	۲
Cr	۳۰٫۸	۳	۳	۱	۱	۷۸	۲	۱۱	۲۲۷	۴
Cu	۸۹	۱۸۱	۸۴	۸۴	۱۰۸	۶۱	۱۲۲	۳۳۰	۱۰۲	۱۳۲
Ni	۲	۹۸	۵۱	۴۵	۵۸	۶۳	۱۰۰	۶۴	۱۴۲	۵۷
Pb	۶۸٫۷	۲٫۸	۲٫۶	۱	۱	۲۳۴	۱۳۸	-	-	-
V	۱۱۳	۳۸۱	۴۷۶	۲۵۲	۱۳۱۶	۱۱۵	۲۳۲	۲۲۸	۵۲۴	۹۶
Y	۸۱	۶۴	۶۴	۶۲	۵۷	۴	۱۰	۹	۱۰	۵
Zr	۶۰	۱۹	۴۹	۸۱	۱۳۳	۲۰	۱۴۵	۶۳	۱۱	۱۰۳
Sr	۱۲۶	۱۳۳	۷۴	۲۷۵	۹۳	۱۹۱	۱۳۹۱	۵۷۳	۱۳۴	۱۰۳۰

بحث و بررسی

زمین‌شناسی کانسار

در منطقه‌ی صفو، انباشتگی منگنز در چند افق در درون شیل-های آهکی پلاژیک سرخ، چرت و آهک پلاژیک روی داده است. این سنگ‌ها در برخی نقاط با دایک‌های مافیک (دیابازی) بریده شده‌اند. دست کم سه افق کانه‌دار که بزرگترین آن‌ها ۵ متر ستبرا و حدود ۵۰ متر درازا دارد، یافت می‌شوند. ساخت این نهشته‌ها عدسی و لایه‌ای (نواری) شکل است. عدسی‌ها با سنگ

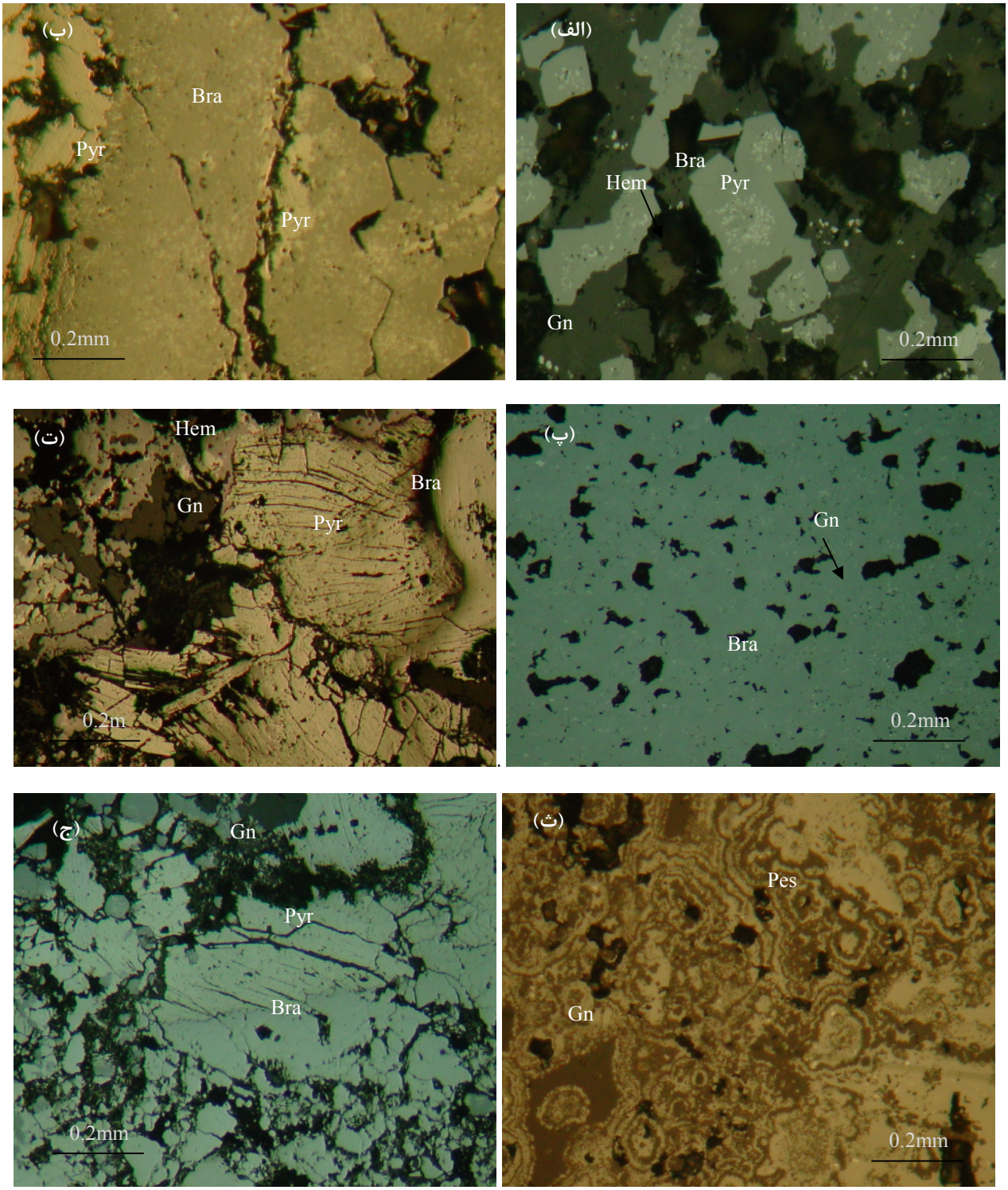
درونگیر هم شیب‌اند (شکل۲). تغییرات راستا و شیب این مجموعه زیاد است و در مجموع راستای آن‌ها NW-SE تا E-W است. شیب لایه‌ها نیز از ۴۰ تا ۸۵ درجه تغییر می‌کند. این تغییرات به‌دلیل وجود گسل‌ها و جابه‌جایی‌های زیادی است که هم در سنگ‌های درونگیر و هم در توده‌های معدنی به‌چشم می‌خورند. بیشتر عدسی‌ها ستبرای کمی دارند و به‌طور معمول ستبرای آن‌ها از ۱ تا ۳ متر تغییر می‌کند. توده‌های معدنی هم در راستای جانبی و هم در راستای عمودی به‌شیل‌های آهکی و آهک‌های پلاژیک با لایه‌بندی منظم و نازک به رنگ‌های سرخ، سبز و خاکستری تبدیل می‌شوند، از این رو توده‌های معدنی همساز با سنگ درونگیرند و آن‌ها را می‌توان از نوع چینه‌سان (استراتیفورم) در نظر گرفت. ستبرای برگه‌ای‌ها از چند سانتیمتر تا۲۰ سانتیمتر تغییر می‌کند. در پایین‌ترین تراز چینه‌ای، نخستین توده‌ی معدنی منگنزدار روی واحد آهک پلاژیک ضخیم لایه، جای گرفته است و در زیر آن عدسی‌های دربردارنده‌ی کانه‌های منگنز یافت نمی‌شوند. روی این واحد تناوب لایه‌های نازک منگنزدار با آهک پلاژیک نمایان است که نشانگر همزمانی نهشتگی منگنز با ته‌نشین شدن است. زمان کانه‌زایی و پیدایش توده‌های معدنی را با توجه به سن سنگ‌های آهکی پلاژیک که حاوی ریزفسیل‌های گلوبوترونکانا هستند، می‌توان کرتاسه بالایی (کامپانین) در نظر گرفت[۵] .

کانسنگ‌های عدسی شکل ساخت و بافت‌های نواری، توده‌ای و پراکنده دارند که همه‌ی آن‌ها از ساخت و بافت‌های اولیه بشمار می‌آیند. اگرچه بخش‌هایی از توده‌های معدنی در نتیجه‌ی عملکرد گسل‌ها و دگرشکلی‌های بعدی دستخوش تغییر شکل و جابه‌جایی شده‌اند، ولی ساخت و بافت‌های اولیه هنوز به‌خوبی حفظ شده است. در بخش‌هایی از فرودیواره‌ی توده‌های معدنی عدسی شکل، نفوذ کانه‌های منگنز به‌صورت رگه–رگچه در درون سنگ درونگیر (شیل و آهک‌های پلاژیک نازک لایه) روی داده است. همچنین نفوذ مواد باطله در شکستگی‌های موجود در توده‌ی معدنی قابل مشاهده‌اند. گمان می‌رود که این پدیده‌ها رویکردی از فرایندهای ثانوی پس از کانه‌زایی باشند.

کانی‌شناسی

بررسی میکروسکوپی مقاطع صیقلی گویای آن است که کانه‌های براونیت با ترکیب شیمیایی $3(Mn,Fe)_2O_3.MnSiO_3$، پیرولوسیت و هماتیت، کانه‌های اصلی فلزی تشکیل دهنده‌ی کانسنگ هستند که در این میان، براونیت از فراوانی بیشتری برخوردار است. این کانی دارای بافت متراکم و انتشاری است (شکل‌های۳-الف تا پ). در بافت متراکم، اندازه‌ی بزرگترین کانه‌ی اندازه‌گیری شده ۲٫۵ میلیمتر است. بافت ثانویه کاتاکلاستی نیز که نشانه‌ی دگرشکلی کانه پس از تشکیل آن و احتمالاً در زمان جای‌گیری مجموعه‌ی افیولیتی در قاره است، در براونیت به چشم می‌خورد (شکل۳-ت). حفره‌های زیادی در درون کانه وجود دارند و میانبارهای کانی‌های غیر فلزی (شامل کوارتز و کلسیت) در آن مشاهده می‌شوند (شکل۳- پ). از این رو بخشی از کانی‌های باطله پیش از تشکیل براونیت پدیدار شده‌اند.

شکل۲ توده‌ی معدنی عدسی شکل منگنز در میان سنگ‌های ته‌نشستی پلاژیک، نگاه به‌سوی خاور.



شکل ۳ بافت انتشاری کانه‌های براونیت (حاوی میانبارهای هماتیت) و پیرولوسیت (الف)، بافت متراکم براونیت و جانشینی پیرولوسیت در براونیت (ب)، بافت متراکم براونیت حاوی حفره‌های فراوان پر شده با کانی‌های باطله(پ)، کانه‌های براونیت، پیرولوسیت و هماتیت به‌صورت مستقل(ت)، بافت کلوفرم در پسیلوملان و باطله (ث) و بافت کاتاکلاستیک در براونیت و پیرولوسیت (ج)، علامت‌های اختصاری: براونیت (Bra)، پیرولوسیت (Pyr)، پسیلوملان (Pes) و گانگ (Gn).

براونیت به‌صورت بلورهای ساب اتومورف و در مواردی اتومورف تشکیل شده است. در بافت انتشاری کانی‌ها ریز بلورند و اندازه‌ی بلورها معمولاً کوچکتر از ۰/۲ میلی‌متر است. این کانی از حاشیه و نیز محل درز و شکستگی‌ها به پیرولوسیت تبدیل شده است (شکل۳-ب). همچنین در برخی موارد، میانبارهایی از پیرولوسیت درون براونیت مشاهده می‌شوند. این پیرولوسیت‌ها در توالی پاراژنزی مقدم بر براونیت هستند، از این رو دو نسل از کانه پیرولوسیت در ترکیب کانسنگ وجود دارند. درون پیرولوسیت‌ها میانبارهایی از کانه‌ی منگانیت وجود دارند و از این رو تشکیل منگانیت مقدم بر پیرولوسیت بوده است. ابعاد پیرولوسیت بین ۰/۰۴ تا ۰/۳ میلی‌متر است. در بیشتر موارد، فراوانی پیرولوسیت در مقایسه با براونیت کم است.

هماتیت به‌صورت میانبار در براونیت و نیز به‌صورت کانه‌ی مجزا تشکیل شده است. هماتیت بیشتر به‌صورت میانبارهای ریز بلور، درون براونیت جای دارند (شکل ۳-الف) و به‌نظر می‌رسد که نهشت هماتیت و براونیت همزمان صورت گرفته باشند. ابعاد هماتیت بین ۰/۱ میلی‌متر تا ۰/۵ میلی‌متر، و ابعاد پیرولوسیت بین ۰/۰۴ تا ۱/۳ میلی‌متر تغییر می‌کنند. مقدار هماتیت کم است و به‌عنوان کانه‌ی فرعی در نظر گرفته می‌شود. هماتیت کم و بیش همراه با کانه‌های منگنز در بیشتر موارد حضور دارد.

کانه‌های بیکسبیت، پسیلوملان و منگانیت به‌عنوان کانه‌های فرعی مطرح هستند. پسیلوملان دارای بافت کلوفرم است (شکل۳- ث). حضور پسیلوملان با بافت کلوفرم گویای نهشتگی منگنز در دماهای پایین از آبگون‌های کانه‌دار است.

نتایج حاصل از بررسی کانی‌شناسی به‌روش پرتو ایکس (XRD) نیز گویای آن است که فازهای اصلی کانیایی موجود در کانسنگ شامل پیرولوسیت، براونیت و هماتیت هستند و کانه‌ی بیکسبیت در مقادیر اندک و به‌صورت کانی فرعی در برخی از نمونه‌ها مشاهده می‌شود (جدول۲). کلسیت و کوارتز کانی‌های باطله‌ی اصلی را تشکیل می‌دهند. باریت و در مواردی انیدریت تنها در مقادیر اندک (فاز فرعی) در برخی از نمونه‌ها وجود دارند.

ژئوشیمی و فلززایی

تاکنون رده‌بندی‌های گوناگونی توسط زمین‌شناسان اقتصادی برای کانسارهای منگنز ارائه شده‌اند. در تمام این رده‌بندی‌ها صرف نظر از چگونگی پیدایش، نهشته‌های منگنز در دو محیط اصلی دریایی و غیردریایی، جای داده شده‌اند. نهشته‌های ته‌نشستی منگنز که در محیط‌های دریایی پدیدار می‌شوند، شامل انواع پوسته‌ها، پوشش‌ها، گرهک‌ها (نودول‌ها)، ته‌نشست‌های فلزدار و بروندمی- ته‌نشستی هستند. نهشته‌های بروندمی– ته‌نشستی خاستگاه گرمابی دارند، ولی برای دیگر نهشته‌های منگنز خاستگاه‌های هیدروژنز (Hydrogenetic) و دیاژنتیک (Diagenetic) در نظرگرفته شده است[۴، ۶]. نهشته‌های منگنز ناحیه‌ی صفو با توجه به جایگاه زمین‌شناسی و شکل توده‌های معدنی (عدسی‌های همساز با سنگ درونگیر) در یک محیط دریایی پدیدار شده‌اند و اینکه فلززایی منگنز این ناحیه با کدامیک از فرایندهای گرمابی و یا هیدروژنز در ارتباط بوده است، نیاز به‌بررسی ژئوشیمی دارد.

بر پایه‌ی بررسی‌های ژئوشیمیایی، مقدار MnO در بخش‌های گوناگون نهشته‌ی صفو بین ۷/۴ تا ۶۹/۱ درصد تغییر می‌کند و میانگین آن در نمونه‌های مورد بررسی ۳۱/۱۵ درصد است. در میان اکسیدهای عناصر اصلی، سیلیس بیشترین فراوانی را دارد و میانگین آن ۳۱/۲۷ درصد است. سیلیس بیشتر به‌شکل کانی کوارتز (باطله) و مقداری نیز در ترکیب کانی براونیت در کانسنگ حضور دارد. مقدار CaO در ترکیب کانسنگ بالاست و میانگین آن به ۱۲/۴ درصد می‌رسد. این اکسید در ترکیب کانی کلسیت حضور دارد. اکسیدهای آهن از نظر فراوانی مقام سوم را دارند، به‌گونه‌ای‌که مقدار Fe_2O_3 (کل) بین ۲/۳ تا ۹/۶۴ درصد در تغییر است و میانگین آن ۶ درصد است. دیگر اکسیدها هر یک سهم ناچیزی را در تجزیه‌های کل سنگ به‌خود اختصاص می‌دهند و مقادیر آن‌ها کمتر از یک درصد است. گرچه در میان نمونه‌ها ترکیب شیمیایی یکی از آن‌ها با دیگر نمونه‌ها ناهمسان است، به‌گونه‌ای‌که مقادیر Al_2O_3 و K_2O آن به‌ترتیب ۹/۹۵ و ۴/۲۸ درصد است. از نظر کانی‌شناسی نیز این نمونه با دیگر نمونه‌ها ناهمسان است و در ترکیب کانی‌شناسی آن کانی‌های پیرولوسیت، کوارتز، اولیگوکلاز، آلبیت، سرسیت، موسکویت و کلریت شناسایی شده‌اند که گویای حضور مواد آتشفشانی در آن است.

جدول۲ ترکیب کانی‌شناسی بخش‌های گوناگون نهشته‌ی منگنز صفو (بر پایه‌ی بررسی با XRD).

شماره نمونه	فازهای اصلی	فازهای فرعی
SA-1	کوارتز، ارتوکلاز، آلبیت، پیرولوسیت	موسکویت، کلریت
SA-2	پیرولوسیت، هماتیت	بیکسبیت، کوارتز، کلسیت، انیدریت
SA-3	کوارتز، پیرولوسیت، هماتیت	کلسیت
SA-4	پیرولوسیت، کلسیت، براونیت	کوارتز، باریت
SA-5	کوارتز، هماتیت، پیرولوسیت	باریت، کلسیت
E-1-3	کلسیت، پیرولوسیت	-
A-2-2	کوارتز، کلسیت، هماتیت، بیکسبیت	-
C-2-2	کلسیت، بیکسبیت، پیرولوسیت، کوارتز	هماتیت

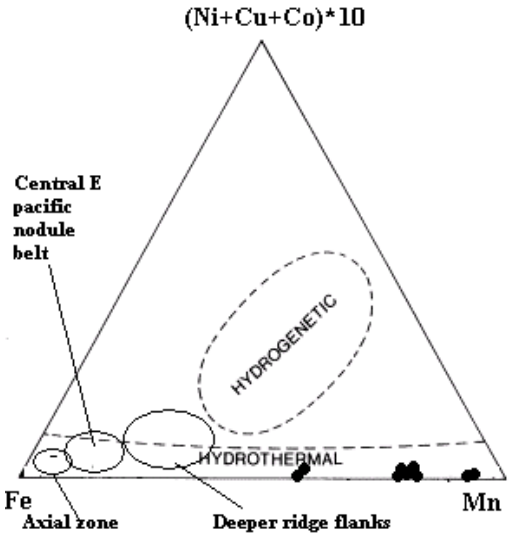
یکی از شاخص‌هایی که به‌وسیله‌ی آن می‌توان کانسارهای منگنز با خاستگاه گرمابی را از نهشته‌های با خاستگاه هیدروژنز تمیز داد، شاخص نسبت Mn/Fe آن‌هاست که توسط بسیاری از زمین‌شناسان اقتصادی در مورد کانسارهای گوناگون منگنز و نیز نهشته‌های منگنز عهد حاضر بستر دریاها و اقیانوس‌ها با موفقیت به‌کار رفته است[۶-۹]. نسبت Mn/Fe در نمونه‌های بررسی شده از کانسار صفو بین ۱٫۳۵ تا ۳۱٫۷ تغییر می‌کند و میانگین آن ۸ است. نسبت‌های Mn/Fe برابر یک برای نهشته-های منگنز با خاستگاه هیدروژنز و کمتر از یک به‌عنوان شاخصی برای نهشتگی کانه‌های منگنز در محیط‌های دریاچه-ای در نظر گرفته شده است[۱۰]. هین و همکاران (۲۰۰۰) نسبت‌های Mn/Fe در گستره‌ی ۲٫۵- ۰٫۸ را نشانه‌ی نهشتگی در فرآیند هیدروژنز دانسته‌اند [۱۰]. در حال حاضر در این‌که نسبت‌های بیشتر از مقادیر بالا نشانه‌ی گرمابی بودن نهشته‌های منگنز باشد، اتفاق نظر وجود دارد. نسبت Mn/Fe کانسار صفو با همین نسبت‌ها در ته‌نشست‌های فلزدار و گرهک‌های دریای تیرنه که محصول نهشت از شاره‌های گرمابی هستند، و نیز ته-نشست‌های فلزدار پشته‌های میان اقیانوسی جنوب شرق اقیانوس آرام در جدول۳ مقایسه شده‌اند. مقادیر این نسبت در نهشته‌ی منگنز صفو چندین برابر آن در ته‌نشست‌های فلزدار پشته‌های میان اقیانوسی آرام است. مقادیر بالای نسبت‌های Mn/Fe در نهشته‌های ناحیه‌ی صفو نشان دهنده‌ی غنی‌شدگی Mn طی فرآیند گرمابی (برونده‌ی) است.

محتوای فلزات V، Cu ، Ni، Co و Pb در بخش‌های مختلف نهشته‌ی صفو پائین است، به‌گونه‌ای‌که میانگین آن‌ها به‌ترتیب ۴۱، ۶۸، ۱۲۹، ۳۷۳ و ۱۷۳ گرم در تن است. فلزات Co،Ni و Cu به‌عنوان عناصر شاخص فعالیت‌های هیدروژنز/ دیاژنتیک شناخته شده‌اند به‌گونه‌ای‌که مقادیر پایین آن‌ها گویای تکاپوهای گرمابی (برونده‌ی) است و نظریه‌ی فرایندهای هیدروژنز/ دیاژنتیک را رد می‌کند [۴، ۱۱، ۱۲]. اعتقاد بر این است که نرخ سریع ته‌نشینی Mn و Fe در نهشته‌های گرمابی مانع از تمرکز فلزات یاد شده در نهشته‌های برونده‌ی- گرمابی می‌شود. نمونه‌های کانسار صفو در نمودار مثلثی Mn-Fe-(Ni-Co-Cu)*10 در گستره‌ی ترکیبی نهشته‌های منگنز گرمابی جای می‌گیرند (شکل۴). مقادیر عناصر Y و Ce نیز پایین است (به‌ترتیب ۳۶ و ۲۹ گرم در تن) که قابل مقایسه با نهشته‌های Mn-Fe با خاستگاه گرمابی دریای تیرنه و نیز نهشته‌های فلزدار پشته‌های میان اقیانوسی است.

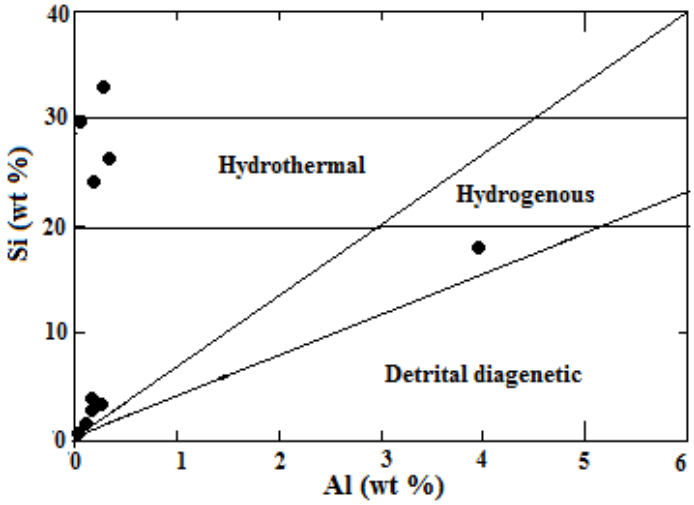
مقادیر SiO_2 ، Ba، Mn، Fe و Sr در نهشته‌ی صفو بالا، و به‌ترتیب ۳۱٫۳ درصد، ۲۷٫۶ درصد، ۴٫۶ درصد، ۴۰۷۷ ppm و ۴۰۲ ppm هستند. مقادیر بالای این عناصر همراه با نسبت‌های بالای Mn/Fe و Si/Al می‌توانند بر ته‌نشینی منگنز از شاره-های گرمابی دلالت کنند[۱۳]. در نمودار Si نسبت به Al، نمونه‌های برداشت شده از کانسار صفو در گستره‌ی نهشته‌های منگنز با خاستگاه گرمابی قرار می‌گیرند و تنها یک نمونه در گستره‌ی هیدروژنز جای دارد (شکل۵). از طرف دیگر در نمودار نسبت Co/Zn به (Co+Ni+Cu) نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی ترکیبی نهشته‌های منگنز گرمابی قرار می‌گیرند (شکل۶).

جدول۳ مقایسه‌ی نسبت‌های Mn/Fe کانسار صفو با نهشته‌های با خاستگاه‌های گوناگون هیدروژنز، دریاچه‌ای و گرمابی بروندمی.

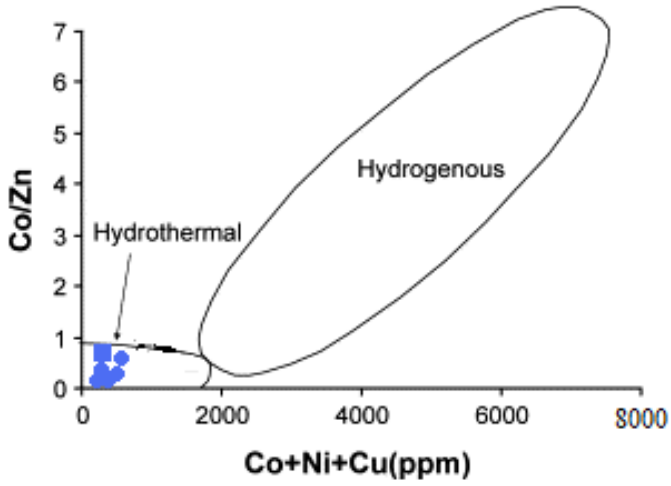
ناحیه	دامنه تغییرات	میانگین	منابع داده ها
جنوب شرق اقیانوس آرام	-	۰٫۳	[۸]
نهشته‌های هیدروژن	۲٫۵ -۰٫۸	۱	[۸، ۱۰]
نهشته‌های دریاچه‌ای	-	<۱	[۱۰]
دریای تیرنه (نهشته‌های گرمابی بروندمی)	۳۹-۳٫۲	-	[۴]
نهشته‌های گرمابی بروندمی		>۲٫۵	[۴، ۶-۸]
صفو (شمال چالدران)	۳۱٫۷ -۱٫۳۵	۸	[۵]



شکل۴ نمونه‌های وابسته به‌کانسار صفو در نمودار مثلثی Mn-Fe-(Ni-Co-Cu)*10 در گستره‌ی نهشته‌های گرمابی جای می‌گیرند، نمودار از [۱۱، ۱۳].



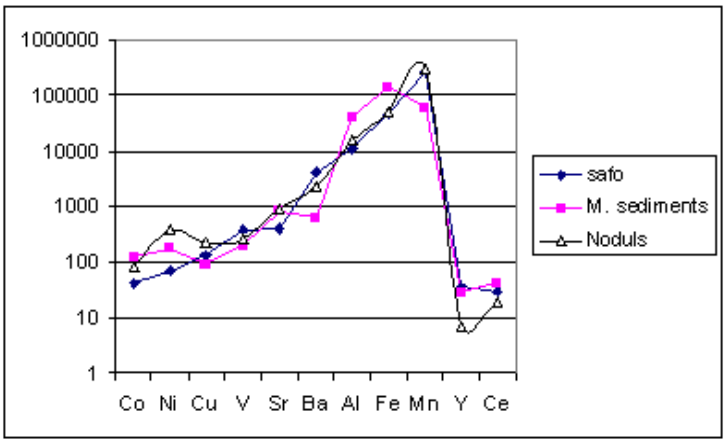
شکل۵ موقعیت نمونه‌های وابسته به کانسار صفو در نمودار Si نسبت به Al ، نمودار از [۱۳] .



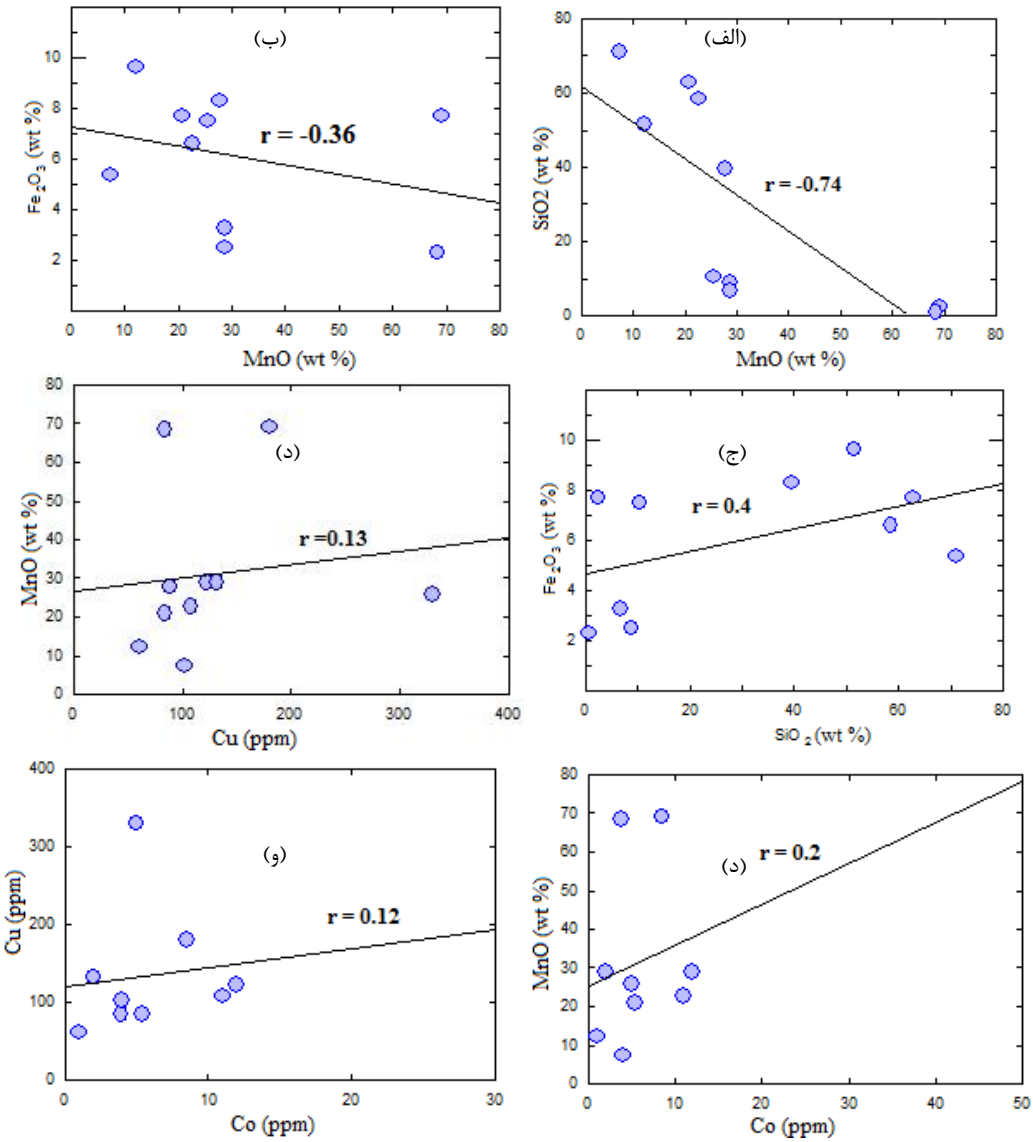
شکل۶ موقعیت نمونه‌های وابسته به کانسار صفو در نمودار Co/Zn نسبت به Co+Ni+Cu ، نمودار از [۱۳] .

تغییرات عناصر گوناگون فلزی در نهشته‌ی منگنز صفو با تغییرات همان عناصر در نهشته‌های گرمابی دریای تیرنه (ته-نشست‌های فلزدار و گرهک‌های منگنز-آهن با خاستگاه گرمابی) در شکل۷ مقایسه شده‌اند. این نمودار نشان می‌دهد که تغییرات عناصر مورد بررسی در کانسار صفو همخوانی بسیار خوبی با تغییرات همین عناصر در نهشته‌های منگنز با خاستگاه گرمابی در دریای تیرنه دارند. مقادیر عناصر Cu، Ni، Co و V در این نهشته‌ها فقیرند. فقیرشدگی این عناصر در نهشته‌ی صفو حتی از نهشته‌های مورد مقایسه‌ی دیگر اندکی بیشتر است. فقیرشدگی نهشته‌های منگنز در این قبیل عناصر کمیاب به‌عنوان شاخصی از تخلیه‌ی منگنز از گرمابی‌ها در نظر گرفته می‌شود. مقادیر عناصر Fe، Al، Ba، Sr و Mn بالاست و از Sr تا Mn منحنی تغییرات سیر افزایشی دارد. بیشترین غنی-شدگی و تمرکز مربوط به Mn و Fe است. بالا بودن مقادیر این عناصر در نهشته‌ی منگنز صفو نیز همانند نهشته‌های منگنز دریای تیرنه به‌عنوان نشانه‌ای از شرایط گرمابی در فلززایی منگنز در نظر گرفته می‌شود. در منحنی تغییرات عناصر مقادیر Y و Ce به‌گونه‌ای جالب در هر سه نهشته‌ی مورد مقایسه کاهش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده در مورد فراوانی خاک‌های نادر در نهشته‌های آهن- منگنز با خاستگاه گرمابی توسط پژوهشگران روی نهشته‌های گوناگون و به‌ویژه نهشته‌های پشته‌های میان اقیانوسی، گویای پایین بودن این عناصر در آن‌ها نسبت به نهشته‌های با خاستگاه هیدروژنز است، به‌ویژه آینکه نابهنجاری منفی Ce از ویژگی‌های نهشته‌های آهن- منگنز با خاستگاه گرمابی دانسته شده است[۶، ۹].

همبستگی بین MnO با Si منفی، بین Fe_2O_3 با Si مثبت و بین MnO و Fe منفی است. این به‌معنای آن است که در بخش‌های گوناگون توده‌ی معدنی، با افزایش مقدار منگنز مقادیر سیلیس و آهن کاهش می‌یابد. سیلیس یکی از باطله-های کانسنگ به‌شمار می‌رود و همبستگی منفی آن با منگنز را می‌توان نشانه‌ای از تغییر بافتی کانسنگ از نوع پراکنده به‌توده-ای دانست. CaO نیز با Fe و Si همبستگی منفی دارد (شکل ۸-الف تا د). مقدار CaO به‌سوی سنگ‌های فرادیواره و فرودیواره‌ی توده‌ی معدنی افزایش می‌یابد، زیرا سنگ درونگیر توده معدنی از نوع کربناتی است. بین MnO و Cu همبستگی معنا داری وجود ندارد که تائیدی بر کمی ارتباط بین Cu با گرمابی‌های غنی از منگنز است (شکل۸). Cu با Co همبستگی معنادار ندارد و همبستگی Ni با Co منفی است. پیش‌تر از این گفتیم که مقادیرCo ، Cu و Ni در کانسار پایین است که به-عنوان شاهدی از گرمابی بودن خاستگاه آن در نظر گرفته می-شود. در نهشته‌های منگنز با خاستگاه هیدروژنز که نهشت کانه‌ها از آب دریا به آرامی و طی فرایندهای شیمیایی صورت می‌گیرد، عناصر یاد شده پیوند نزدیکی با هم داشته و همبستگی بین آن‌ها مثبت است. وجود همبستگی منفی بالا بین Ba و Ce (با ضریب همبستگی برابر۰/۹-) امری معمول است و می‌تواند نشانگر خاستگاه گرمابی کانی‌زایی منگنز در منطقه‌ی مورد بررسی باشد[۹].



شکل۷ منحنی تغییرات برخی از عناصر در نهشته‌ی منگنز صفو و مقایسه‌ی آن با منحنی‌های تغییرات همان عناصر در ته‌نشست‌های فلزدار و گرهک‌های منگنز با خاستگاه گرمابی دریای تیرنه [۴] .



شکل ۸ نمودارهای همبستگی به‌ترتیب MnO نسبت به SiO_2 و Fe_2O_3 (الف و ب)، SiO_2 نسبت به Fe_2O_3 (ج)، MnO نسبت به Co و Ni (د و ه)، و Cu نسبت به Co (و).

برداشت

نهشته‌های منگنز شمال چالدران در میان سنگ‌های ته‌نشستی پلاژیک همراه با افیولیت خوی به‌شکل چندین توده‌ی عدسی شکل پدیدار شده‌اند. این عدسی‌ها با سنگ درونگیر خود همسازند و از این رو از نوع چینه‌سان (استراتیفورم) هستند. به‌لحاظ ترکیب کانی‌شناسی، براونیت، پیرولوسیت و هماتیت کانه‌های اصلی هستند که در این میان، براونیت از فراوانی بیشتری برخوردار است. کانه‌های بیکسبیت، پسیلوملان و منگانیت از کانه‌های فرعی هستند. با توجه به روابط بافتی، می‌توان گفت که نهشتگی منگنز از آبگون‌های کانه‌دار، نخست به‌صورت ژل‌های پسیلوملان صورت گرفته و در مراحل بعدی کانه‌های براونیت و پیرولوسیت از آن پدیدار شده‌اند. بیشترین مقدار پیرولوسیت در مراحل تاخیری از دگرسانی براونیت تشکیل شده است. هماتیت به‌صورت فاز مستقل همزمان با نهشت کانه‌های منگنز، از آبگون کانه‌دار جدا شده است.

ویژگی‌های ژئوشیمیائی این نهشته‌ها گویای فلززایی منگنز در شرایط گرمابی است و قابل مقایسه با نهشته‌های آهن-منگنز در پشته‌های میان اقیانوسی و برخی از دریاهای آزاد است. بالا بودن نسبت‌های Mn/Fe و Si/Al، پائین بودن مقادیر فلزات کمیاب و به Mn،Fe و Sr به‌عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه‌ی Mn از گرمابی‌های زیردریایی (بروندمی) در آن‌ها هستند. در چنین شرایطی ترکیب‌های فلزی همچون ژل‌های پسیلوملان و هیدروکسیدهای آهن همراه با ژل‌های سیلیس می‌توانسته‌اند از آبگون‌های کانه‌دار بروندمی جدا شوند. کانی‌سازی همزمان با ته‌نشستی است و کانی‌های ته‌نشین شده بلافاصله در زیر لایه‌ی ته‌نشست‌های پلاژیک دفن شده‌اند. وجود چندین توده‌ی معدنی عدسی شکل در میان رسوبات پلاژیک در جهت جانبی و عمودی نشانگر آن است که کانون-های تخلیه‌ی گرمابی پرشمار بوده‌اند. حضور کانی‌های براونیت و بیکسبیت، واکنش‌های دیاژنتیک بین پسیلوملان و سیلیس را پیشنهاد می‌کند. کانی بیکسبیت نشانگر پیشرفت واکنش‌های دیاژنتیک در نهشته‌های منگنز است[۱۴]. کانی‌های دگرگونی منگنز همانند تفروییت، ژوهانسیت و رودوکروزیت در این نهشته‌ها یافت نمی‌شوند، از این رو در مرحله‌ی بسته‌شدن حوضه‌ی اقیانوسی و جای‌گیری افیولیت در قاره، دستخوش دگرگونی نشده‌اند. این نهشته‌ها در زمان کرتاسه فوقانی (کامپانین) در بستر حوضه‌ی اقیانوسی نئوتتیس پدیدار شده‌اند و با نهشته‌های منگنز کرتاسه بالایی افیولیت‌های آناتولی شمالی و جنوبی (ترکیه) قابل مقایسه هستند[۱، ۱۵].

مراجع

[۱] امامعلی پور ع.، *"متالوژنی افیولیت خوی با نگرشی ویژه بر انباشته‌های سولفوری در آتشفشانی‌های زیردریایی قزل داش خوی"*، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۰ .

[۲] سامانی بهرام، *"زمین‌شناسی ایران، کانسارهای منگنز"*، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب،۱۳۷۴.

[۳] میرزایی م.، رجب‌زاده م.ع.، *"زمین شیمی و کانی‌شناسی اندیس‌های معدنی منگنز در منطقه آباده طشک (استان فارس)"*، در خلاصه مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور،۱۳۸۲.

[4] Dekov M., Vesselin Savelli C., *"Hydrothermal activity in the SE Tyrrhenian Sea: an overview of 30 years of research"*, Marine geology, 204 (2004), 161-185.

[۵] امامعلی پور ع.، *"بررسی ژئوشیمی،کانی‌شناسی و کاربرد ذخیره معدنی منگنز صفو (شمال شهرستان چالدران)"*،گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه ارومیه،۴۵ صفحه،۱۳۸۵.

[6] Hein J. R., Koschinsky A., Bau M., Manheim F. T., Kang J. K., Roberts L., *"Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific"*, In: Cronan, D.S. (Ed.), Handbook of Marine Mineral Deposits. CRC Press, Boca Raton, FL, (2000) 239–279.

[7] Glasby G. B., *"Hydrothermal manganese deposits in island arcs and related to Subduction processes: A possible model for genesis"*; Ore geology reviews, 4 (1988) 145-153.

[8] Marching V., Erzinger J., *"Chemical composition of Pacific sediments near 20° S: Changes with increasing distance from the East Pacific Rise, In"*: Leinen, M., Rea, D.K. (Eds.), DSDP Init. Rep. 92 (1986) 371–381.

[9] Rogers T. D. S., Hodkinson R. A., Cronan D. S., *"Hydrothermal manganese deposits from the Tonga-Kermadec Ridge and Lau Basin region"*,

Southwest Pacific,Mar. Georesourc Geotech., 19 (2001) 245–268.
[10] Nicholson K., Hein J. R., Bühn B., Dasgupta S. (Eds.), *"Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits.Geol. Soc. London Spec. Publ."*, 119 (1997) 123–138.
[11] Bonatti E. E., Kraemer T., Rydell H., *"Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits"*, In: Horn, D.R. (Ed.), Ferromanganese Deposits of the Ocean Floor, Arden House,New York, (1972) 149–165.
[12] Toth J. R., *"Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron"*, Geological Society of America Bulletin, 91 (1980) 44–54.
[13] Shah M. T., Khan A., *"Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Wazirestan"*, Pakistan, Mineralium deposita, 34 (1999) 679-704.
[14] Ramdohr P., *"The ore minerals and their intergrowth"*. Perg. Press. 2nd ed, (1980).
[15] Ozturk H., *"Manganese deposits in Turkey: Distribution, types and tectonic setting"*, Ore geology reviews, 12 (1997) 187-203.