



بررسی سیر دگرگونی ماقمای مادر و خاستگاه کرومیت‌های چشم‌بید، نیریز، فارس در افیولیت نیریز

مریم جهانشاهی^{*}، لیلا درویش‌زاده^۲

۱- بخش علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- بخش علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۲/۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۵/۳)

چکیده: کانسار کرومیت چشم‌بید در افیولیت نیریز و ۲۰۰ کیلومتری شمال شرق شیراز واقع است. توالی افیولیتی در این منطقه شامل سنگ‌های فرامافیک (دونیت، هارزبورزیت و پیروکسنیت) است. در این کانسار، کرومیت‌ها در پهنه انتقالی گوشه-پوسته قرار دارند و با غلاف دونیتی دربرگرفته شده‌اند. بر اساس بررسی‌های شیمی عناصر اصلی، کانی کرومیت از عناصر Al و Ti تهی و از Fe و Mg غنی است. محاسبه مقدار FeO/MgO و $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ نشان می‌دهد که ماقمای مادر از نوع بونینیتی و ترکیب آن در تعادل با کرومیت‌های انبانی است. این کرومیت‌های ناشی از ذوب بخشی به نسبت بالای گوشه و تشکیل مذاب بونینیتی هستند که در نتیجه بالا آمدن و آمیختگی ماقما با هارزبورزیت‌های گوشه‌ای در محیط بالای منطقه فروراش تشکیل شده‌اند. داده‌های شیمی کانی کرومیت و سنگ‌نگاری کرومیت‌تی کانسار چشم‌بید که بزرگترین ذخیره کرومیت در افیولیت نیریز است نشانگر روندهای افزایشی و کاهشی کروم در کرومیت‌های موجود در منطقه بوده که با تطبیق بافتی بیانگر تزریق ماقمای جدید در دست کم دو تپ هستند؛ این موضوع با ضخامت عدسی‌های کرومیت و دمای تشکیل کرومیت تایید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کرومیت؛ چشم‌بید؛ ماقمای بونینیتی؛ انبانی؛ افیولیت؛ نیریز.

کمربندهای برخورد صفحه‌های اقیانوسی ایجاد می‌شوند [۵]. آنها به دلیل فرایندهای جایگیری و گسل خوردگی، اغلب به صورت آمیزه افیولیتی دیده می‌شوند [۶]. افیولیت‌ها می‌توانند دارای پتانسیل اقتصادی ذخایر کرومیت باشند. کرومیت‌های افیولیتی در بخش هارزبورزیت زمین ساخته از توالی گوشه‌ای، در پهنه انتقالی بین گوشه و پوسته و نیز در پایین‌ترین بخش از سنگ‌های مافیک ابانتهای، پوسته اقیانوسی و درون غلاف دونیتی قرار دارند. در این پژوهش، کانی‌شناسی، تغییرات شیمی عناصر و ترکیب کانی‌ها و تغییرات بافتی در منطقه چشم‌بید بررسی شده است تا سیر دگرگونی ماقمای تشکیل-دهنده کرومیت‌های منطقه و محیط زمین‌ساختی آن تعیین شود. منطقه مورد بررسی در افیولیت نیریز واقع است.

مقدمه

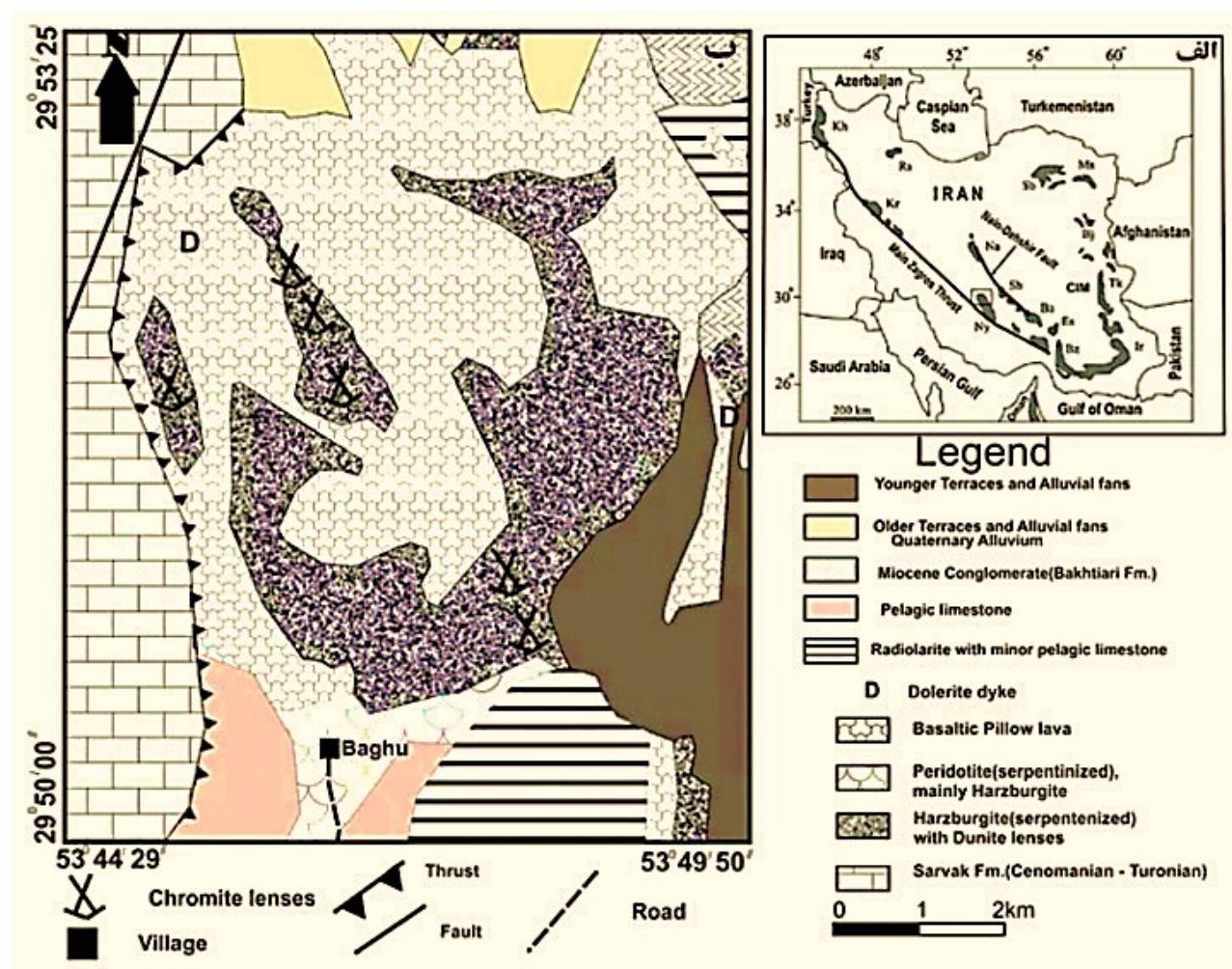
مجموعه‌های افیولیتی به دلیل داشتن ذخایر معدنی ویژه چون کرومیت نوع آلپی، گرهک‌های منگنز و ذخایر سولفید مس توده‌ای نوع قبرس مورد توجه زمین شناسان بوده و دارای ارزش اقتصادی در سراسر جهان هستند. بخشی از افیولیت‌های ایران (نوار افیولیتی موازی زاگرس) از کمرند افیولیتی تیتان خاورمیانه به طول ۳۰۰۰ کیلومتر در راستای روراندگی‌های دو قطعه ایران و سپر عربستان جایگیری شده‌اند و تا عمان گسترش دارند [۱]. سه منطقه معدنی مهم در شمال شرقی ایران (افیولیت سبزوار)، جنوب غربی ایران (افیولیت نیریز) و جنوب به جنوب شرق ایران (افیولیت‌های فاریاب و اسفندقه) قرار دارند [۲، ۳]. افیولیت‌ها صفحه‌هایی از واحدهای سنگی مشخص با خاستگاه اقیانوسی هستند [۴] که در

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۶۵۰۶۹۰۰، پست الکترونیکی: M.jahan.shahi2324@gmail.com

منطقه مورد بررسی، سنگ‌های آتشفسانی با ساخت بالشی گسترش بسیاری دارند (شکل ۱). سنگ‌های رادیولاریتی در بخش جنوب توده فربازی چشم‌بید واقع هستند. سن این رادیولاریتها مربوط به ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین است [۷]. توالی فرامافیک و مافیک آباده طشك با سازند آهکی بنگستان (ماستریشتین) و سپس با آهک لایه‌ای سازند آسماری-جهنم به سن پالئوسن-میوسن (روشن کوه) پوشیده شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۳) [۸]. این منطقه به شدت زمین ساخته است، قرارگیری این منطقه در مرز ورقه فروزانش عربی، مهمترین عامل وجود گسل‌های فراوان در این منطقه است. مهمترین گسل‌های این منطقه گسل‌های زاگرس، دالنشین، طشك و جهان‌آباد هستند (شکل ۱).

زمین‌شناسی منطقه

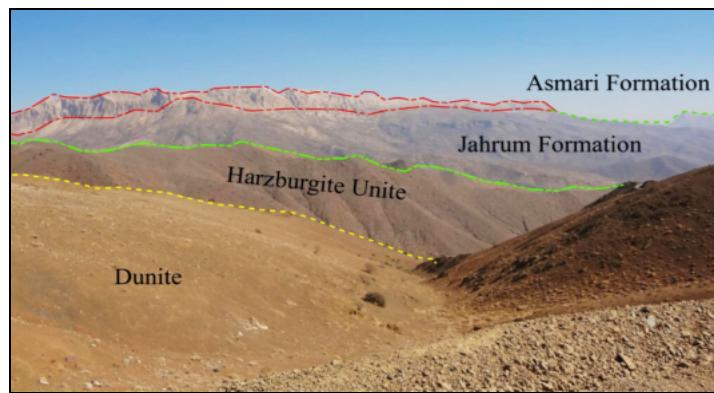
مجموعه افیولیتی نیریز (آباده طشك) به صورت ناپیوسته در رشته کوه‌های زاگرس بین طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۵ دقیقه و نیز عرض‌های ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۵ دقیقه در منطقه‌ای به مساحت ۲۳۲ کیلومتر مربع در شرق استان فارس قرار دارد و بخشی از باقیمانده پوسته اقیانوسی تیسیس جوان است که از تاروس در ترکیه شروع می‌شود و تا عمان ادامه دارد. افیولیت نیریز در گستره زمانی مژوزویک تشکیل شده و جایگیری آن به احتمال بسیار مربوط به کرتاسه پسین است. سنگ‌های پریدوتیتی و هارزبورزیتی فراوان‌ترین سنگ‌های این منطقه هستند و سنگ‌های دونیتی، لرزولیتی و ورلیتی در رده بعدی قرار دارند. در



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌های اصلی در منطقه کانسار چشم‌بید (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ آباده طشك).



شکل ۲ موقعیت زمین‌شناسی واحدهای دونیتی و هارزبورزیت نسبت به تشکیلات آهکی بنگستان.



شکل ۳ موقعیت زمین‌شناسی واحدهای دونیتی و هارزبورزیت نسبت به سازند آسماری-جهرم.

قرار دارند. دونیت سنگ درونگیر کرومیت‌های است (شکل ۴). همچنین در این منطقه، برونزدهایی از پیروکسینیت‌ها و دایک‌های دیابازی نیز دیده می‌شوند که دایک‌های دیابازی در اثر هوازدگی لیستونیتی شده‌اند.

هارزبورزیت‌ها و هارزبورزیت‌های سرپانتینیتی شده فراوانترین سنگ‌های فرامافیکی منطقه بوده (شکل ۵) و گاهی با عدسی‌های کوچک دونیتی همراه هستند. هارزبورزیت‌ها در مناطقی که در معرض عملکرد گسل‌ها و دایک‌های دیابازی قرار گرفته باشند، به شدت سرپانتینیتی شده‌اند، به طوری که گاهی کاملاً به سرپانتین تبدیل شده‌اند و فقط آثاری از پیروکسین در آنها دیده می‌شود. از آنجا که این سنگ‌ها در برابر فعالیت‌های زمین‌ساختی به شکل شکننده عمل می‌کنند، تعدادی درز و شکاف با شبکه مربعی شکل در آنها بوجود آمده است. رنگ هارزبورزیت‌ها در سطح هوازده بسیار متغیر (قهوہ‌ای تیره، قهوه‌ای مایل به نارنجی، قرمز، سبزه تیره و سبز زیتونی) است (شکل ۵).

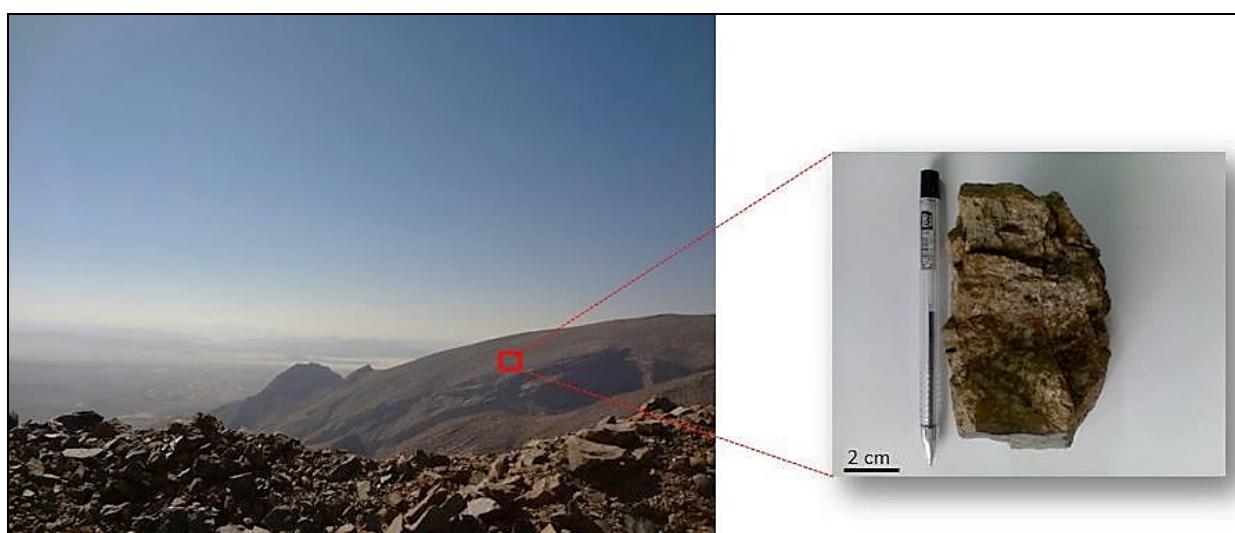
بررسی‌های صحرایی

بررسی این مجموعه افیولیتی از نظر روابط صحرایی نشان می‌دهد که مجموعه افیولیتی آباده طشك با روند شمال غرب-جنوب شرق از نیریز تا شمال ارسنجان، که از نظر زمین‌شناسی بخشی از مجموعه افیولیتی نیریز است، یک مجموعه کامل افیولیتی نبوده و به طور عمده شامل بخش فرامافیک است و در ناحیه خواجه جمالی به صورت ارتفاعات دیده می‌شود. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که قسمت‌های گسترده‌ای از منطقه از توده‌های پریدوتیتی تشکیل شده است که بیشتر در بخش‌های مرکزی منطقه وجود دارند. از نظر سنگ‌شناسی، این توده‌ها شامل تنابوی از سنگ‌های دونیت و هارزبورزیت هستند (شکل ۴).

این کانسار شکل صفحه‌ای دارد و دارای ضخامت ۰/۵ تا ۸ متر، و عرض ۳۵ تا ۵۰ متر و طول بیش از ۴۵۰ متر است [۹]. در این منطقه، توده کرومیتی با غلاف دونیتی از میزان هارزبورزیتی جدا می‌شود. در این منطقه، دونیت‌ها در بخش‌های مرکزی و هارزبورزیت‌ها پیرامون توده‌های عدسی کرومیت



شکل ۴ نمایی از دونیت‌ها در منطقه چشم‌بید و نمونه دستی از دونیت.



شکل ۵ هارزبورزیت‌های منطقه چشم‌بید و نمونه دستی آن.

روش بررسی

برای بررسی روند تغییرات در ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های پریدوتیتی دربرگیرنده کانسار کرومیت منطقه چشم‌بید، از محل تونل‌های موجود در معدن نمونه‌برداری‌ها شد. نمونه‌برداری‌ها در ۱۴ ایستگاه مختلف از کرومیت‌ها به شد. همراه سنگ دربرگیرنده انجام شد. از مجموع ۲۵ نمونه برداشت شده، تعداد ۱۰ مقطع نازک صیقلی و ۷ مقطع صیقلی از نمونه‌های شاخص انتخاب شده با هدف تعیین بافت و بررسی کانی‌شناسی سنگ‌های پریدوتیتی و کرومیتیت تهیه شد و در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه شیراز بررسی گردید. پس از بررسی‌های سنگ نگاری، از مجموع این مقاطع تعداد ۶ نمونه

در کانسار کرومیت چشم‌بید نیز، شکل توده معدنی عدسی شکل و گاهی مانند دانه‌های تسبیح است که رشته‌وار در پی هم قرار دارند. ساختهای لایه‌ای، توده‌ای، گرهکی و انتشاری در این کانسار، دیده می‌شود (شکل ۶). توزیع و پراکندگی انواع بافت‌های این کانسار در بخش کاله‌زایی شده به صورت یکنواخت است و به نظر می‌رسد که غنی‌ترین بخش کانسار در مرکز آن است. از نظر ترکیب شیمیایی، مقدار Cr_2O_3 سنگ معدن چشم‌بید بین ۴۲ تا ۵۲ درصد متغیر بوده که بالاترین عیار مربوط به توده معدنی کارگاه چشم‌بید است. براساس گزارش‌های اکتشافی از کارگاه چشم‌بید، ذخیره قطعی کارگاه چشم‌بید ۱۹ هزار تن و ذخیره احتمالی آن ۳۶ هزار تن برآورد شده است.

(شکل ۷ الف). الیوین دارای بافت برشی بوده که نشان‌دهنده دگرشکلی ناکشسان و شکننده در منطقه است [۱۰]. هارزبورژیت‌ها از ۶۹-۸۹ درصد الیوین، ۳۸-۱۰ درصد انسستاتیت، ۴-۱ درصد اسپینل و مقادیر بسیار کمی دیوپسید تشکیل شده‌اند. در این سنگ‌ها، اندازه الیوین‌ها از ۰/۵-۲ میلی‌متر متغیر است و گاهی تا ۵ میلی‌متر می‌رسد. فراوانی ارتوپیروکسن‌ها در هارزبورژیت‌ها به ۳۰ درصد می‌رسد. طول این کانی‌ها از ۰/۳ تا ۱۰ میلی‌متر متغیر است. این کانی به صورت پورفیری آواری است و دگرشکلی از خود نشان می‌دهد (شکل ۷ ب) که نشان‌گر تغییر شکل آن در دما و فشار گوشته است. آثار دگرشکلی ناشی از فشار زمین ساختی در هارزبورژیت‌ها با تشکیل بافت شکنجی در ارتوپیروکسن‌ها دیده شده و گاهی نیز باعث کشیدگی و خردشگی در ارتوپیروکسن‌ها می‌شود (شکل ۷ پ). گاهی الیوین به صورت میانیار درون ارتوپیروکسن دیده می‌شود (شکل ۷ ت). کانی ارتوپیروکسن از نوع انسستاتیت-برونزیت و درشت بلورترین کانی سیلیکاتی در سنگ‌های پریدوتیتی است.

مناسب برای بررسی شیمی کانی‌های کرومیتیت و اسپینل‌های کروم‌دار و تغییرات احتمالی ترکیب آنها انتخاب شد و با ریزپردازشگر پرتوی ایکس (در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود) تجزیه شدند (جدول ۱).

بررسی‌های میکروسکوپی

مهمترین کانی‌های تشکیل‌دهنده پریدوتیت‌های منطقه مورد بررسی الیوین، پیروکسن و اسپینل کروم‌دار هستند که از بین آنها، کانی‌های الیوین و ارتوپیروکسن بخش عمدی از این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند.

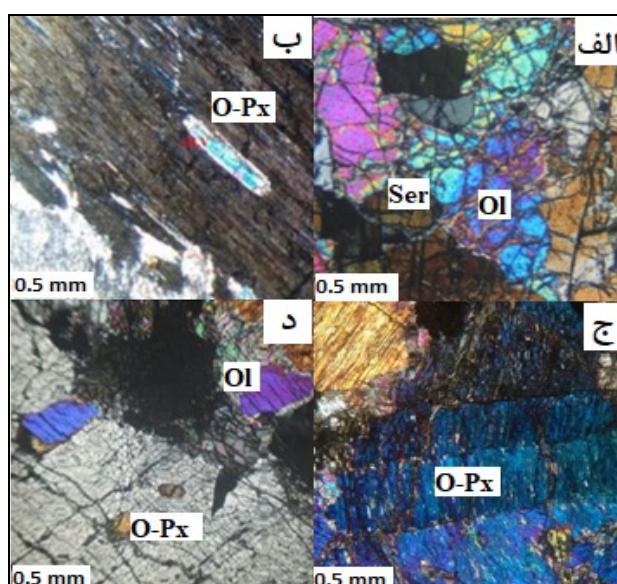
دونیت‌ها در بردارنده ۹۵ درصد الیوین و کمتر از ۵ درصد کرومیت هستند. اندازه بلورهای الیوین ۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌متر و اندازه بلورهای کرومیت ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر است. کانی‌های الیوین به صورت بلورهای بی‌شکل و گاهی نیمه شکل‌دار و به طور انباستی متباور شده‌اند. لبه بلورهای الیوین به دلیل دگرسانی و سرپانتینیتی شدن، گرد شده است و کمتر به صورت خودشکل دیده می‌شود. شدت فرآیند سرپانتینی شدن در اصل در محل شکستگی بلور و در محل رخ‌های کانی الیوین بیشتر بوده و کم کم به صورت شبکه‌ای درآمده است



شکل ۶ انواع ساخت‌ها در کرومیت‌های چشم‌بید. کرومیت شامل لایه‌ای، توده‌ای، گرهکی و انتشاری.

جدول ۱ نتایج تجزیه کانی‌های اسپینل کرومدار و کرومیتیت در منطقه چشمۀ بید با ریزپردازشگر پرتوی ایکس (بر حسب درصد وزنی).

نمونه	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
MgO	۷,۵۹	۹,۳	۹,۴۶	۱۰,۸۹	۱۱,۰۲	۱۰,۱۸	۱۲,۱	۹,۵۴
Al ₂ O _۳	۷,۱۹	۸,۰۱	۷,۵۳	۷,۱۵	۸,۵۷	۸,۷۷	۷,۷۲	۸,۷۳
CaO	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۲۲	۰,۲۶	۰,۲۲	۰,۸۷
TiO _۲	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۱۵
V _۲ O _۵	۰,۲۲	۰,۲۴	۰,۲۱	۰,۱۶	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۳
Cr _۲ O _۳	۶۲,۱۷	۶۰,۲۳	۶۰,۲۹	۵۹,۶۹	۵۶,۳۲	۵۸,۴۸	۵۷,۰۱	۵۷,۲۶
Fe _۲ O _۳	۲۲,۲۵	۲۱,۶۳	۲۱,۷۱	۲۰,۸۸	۲۱,۷۳	۲۱,۸۱	۲۰,۵۵	۲۱,۵
NiO	۰,۲	۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۲۲	۰,۰۱	۰,۱۹	۰,۲۲	۰,۱۹
ZnO	۰,۸	۰,۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
SrO	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۸	۰,۹۰	۰,۰۰	۰,۰۰
SiO _۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۴۵	۰,۰۰	۱,۷۲	۰,۰۰	۱,۸۸	۱,۰۴
SO _۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
K _۲ O	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
نمونه	Ch9	Ch10	Ch11	Ch12	Ch13	Ch14	Ch15	Ch16
MgO	۱۲,۲۷	۱۲,۲۷	۷,۷۳	۷,۴۸	۷,۸۵	۱۱,۲۱	۸,۰۸	۸,۸۷
Al ₂ O _۳	۵,۳۹	۰,۰۰	۵,۳۹	۷,۵۳	۴,۸۹	۵,۲۴	۶,۹۳	۵,۶۷
CaO	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۳۲	۰,۱۵	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱	۰,۱
TiO _۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۰۹	۰,۱	۰,۰۵	۰,۰۶
V _۲ O _۵	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲۸	۰,۲۲	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۱۷	۰,۱۲
Cr _۲ O _۳	۵۴,۷۲	۵۴,۷۲	۵۵,۸۵	۵۷,۹۴	۶۳,۵۱	۵۹,۸۸	۶۳,۱	۶۳,۱۴
Fe _۲ O _۳	۲۴,۰۹	۲۴,۰۹	۲۶,۹۱	۲۵,۵۶	۲۱,۸۷	۲۰,۱۶	۲۱,۴۷	۲۱,۸۱
NiO	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۱۸	۰,۱۸	۰,۱	۰,۱۶
ZnO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۶
SrO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
SiO _۲	۳,۱۲	۳,۱۲	۱,۸۹	۰,۸۶	۱,۳۹	۳,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰
نمونه	Ch17	Ch18	Ch19	Ch20	Ch21	Ch22	Ch23	Ch24
MgO	۷,۲۸	۹,۷۲	۷	۷	۱۰,۰۴	۱۱,۷۵	۹,۱۸	۸,۹۲
Al ₂ O _۳	۵,۰۷	۵,۰۵	۴,۷۵	۵,۲۵	۵,۹۴	۶,۱۳	۶,۷۷	۶,۶۵
CaO	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۱۳	۰,۰۸	۰,۱	۰,۰۷	۰,۱۲
TiO _۲	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۲۱	۰,۱
V _۲ O _۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۲	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۲
Cr _۲ O _۳	۶۵,۱۶	۶۳,۴۹	۶۵,۸۹	۶۵,۵۶	۶۱,۰۸	۶۱,۱	۶۳,۷	۶۴,۱۴
Fe _۲ O _۳	۲۱,۲۹	۲۰,۷۹	۲۱,۵۷	۲۱,۶۱	۱۸,۶۳	۱۸,۱۱	۱۸,۵۱	۱۸,۷۶
NiO	۰,۱۲	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۳	۰,۳۱	۰,۲۵	۰,۲۱
SiO _۲	۰,۵۳	۰,۵۶	۰,۲۸	۰,۰۷	۲,۹۸	۲,۲۹	۱,۱۸	۰,۹۸
ZrO _۲	۰,۰۳	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰



شکل ۷ مقاطع میکروسکوپی نازک از کانسار چشمۀ بید: (الف) الیوین و پدیده سرپانتینی شدن در محل شکستگی و رخ‌های کانی در کانسار چشمۀ بید، (ب) کانی ارتوپیروکسن، (پ) بافت شکنجی در ارتوپیروکسن‌ها و (ت) میانبارهای الیوین درون کانی ارتوپیروکسن. (Ol: الیوین، O-Px: ارتوپیروکسن و Ser: سرپانتین).

کاهش می‌یابد (۶۰/۵۶ درصد وزنی) که این به دلیل تهی شدن ماقمای سازنده از کروم است. در تونل ۵، سیر صعودی دیده می‌شود که این به دلیل وارد شدن یک تپ ماقمایی به ماقمای باقی مانده است (شکل ۱۰ الف). همچنین بر اساس تجزیه‌های انجام شده بر لبه بلورهای کروم در تونلهای ۲ تا ۹ معدن چشم‌بید، مقدار اکسید کروم از ۶۴/۷۷ تا ۵۸/۲۵ درصد متغیر است.

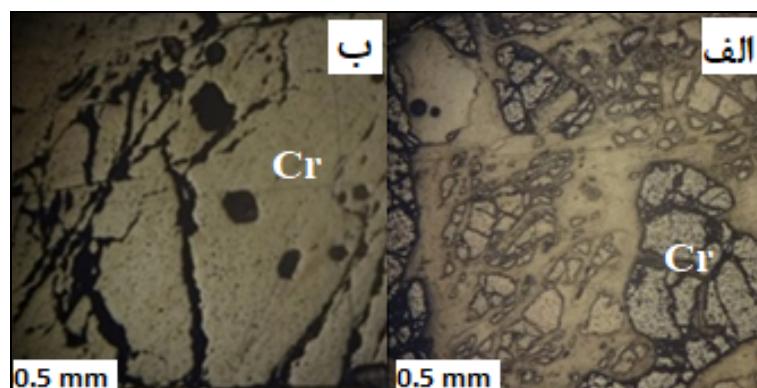
اکسیدهای منیزیم، آلومینیوم و آهن از تونل ۲ تا ۹ به ترتیب دارای مقادیر ۷/۰۱ تا ۱۲/۳۳، ۴/۷۶ تا ۸/۷۲ و ۱۷/۰۳ تا ۲۰/۱۳ درصد هستند. در تونلهای ۲ تا ۹، برای مقدار اکسیدهای منیزیم و آلومینیوم روند افزایشی دیده می‌شود و بیشترین افزایش را در تونل ۶ دارند. افزایش اکسید منیزیم به دلیل تبادل یونی بین سیلیکات‌میزبان و کرومیت است. مقدار آهن در تونلهای ۲ تا ۹ روند کاهشی دارد. بنابراین با افزایش مقدار اکسید کروم در تونلهای ۲ تا ۹، مقدار اکسید منیزیم و اکسید آلومینیوم افزایش یافته ولی مقدار آهن رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد (شکل ۱۰ ب).

کانی‌های کلینوپیروکسن بیشتر به صورت میانبارهای تیغه‌ای شکل درون کانی‌های ارتوپیروکسن و کمتر به صورت مستقل وجود دارند. کلینوپیروکسن‌های موجود در هارزبورژیت به صورت کانی فرعی یافت می‌گردند. بلورهای الیوین دارای قطر ۱ تا ۶ میلی‌متر هستند که اغلب سرپانتینی شدن این کانی‌ها به صورت بی‌شکل و ریزدانه است. مهمترین کانی ثانویه در این مجموعه سرپانتین بوده و بیشتر در اثر دگرسانی کانی‌های الیوین تشکیل شده است.

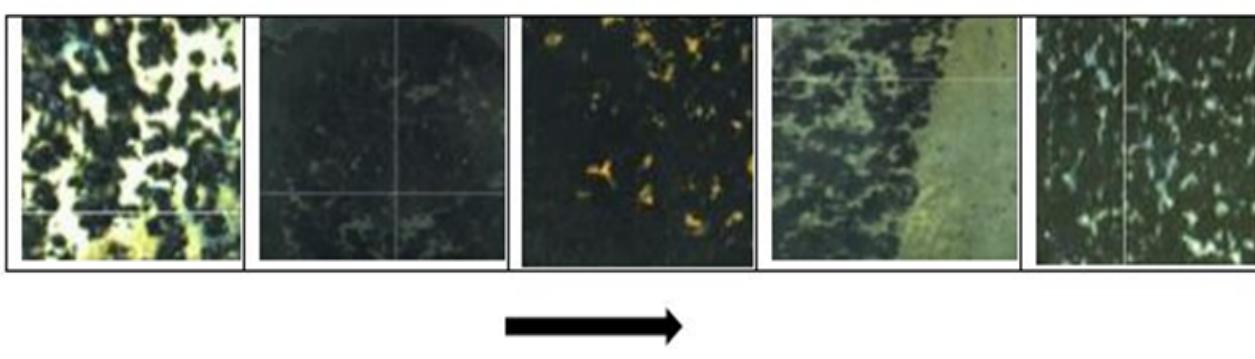
بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، مهمترین بافت‌ها در کرومیت‌ها، بافت‌های انتشاری و توده‌ای هستند (شکل ۸). بافت در کانسار چشم‌بید از تونل ۱ به طرف تونل ۵ از توده‌ای غالب به انتشاری و سپس به سمت تونل ۹ باز به توده‌ای تغییر کرده و عیار کرومیت افزایش می‌یابد (شکل ۹).

زمین‌شیمی

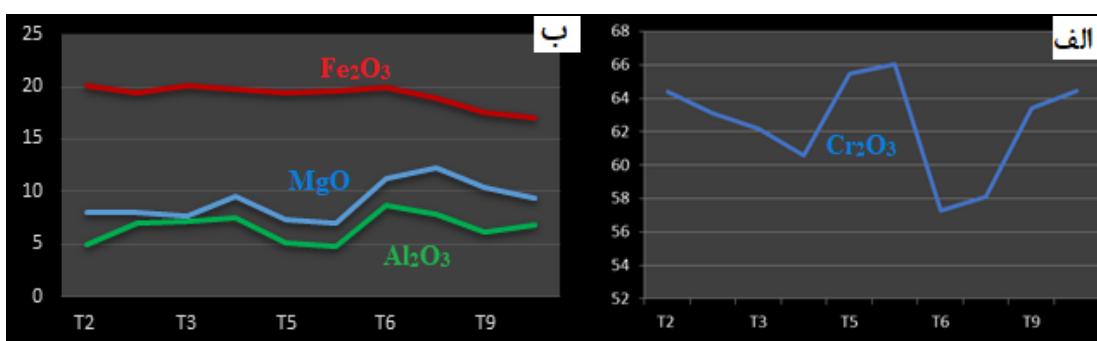
براساس داده‌های تجزیه کانی‌های اسپینل کروم‌دار و کرومیت، مقدار اکسید کروم (Cr_2O_3) موجود در مرکز نقاط تجزیه شده در این کانی‌ها، از تونل ۲ تا ۹ افزایش یافته و به ۶۶/۰۷ درصد وزنی می‌رسد. در تونل ۳، مقدار اکسید کروم



شکل ۸ مقاطع میکروسکوپی صیقلی از کرومیت چشم‌بید. الف) بافت افسان و ب) بافت توده‌ای.



شکل ۹ تغییرات بافتی از تونل ۲ تا ۹.



شکل ۱۰ تغییر مقادیر اکسیدهای (الف) کروم و (ب) آهن، منیزیم و آلومینیوم در راستای تونلهای ۲ تا ۹ در کانسار چشمeh بید.

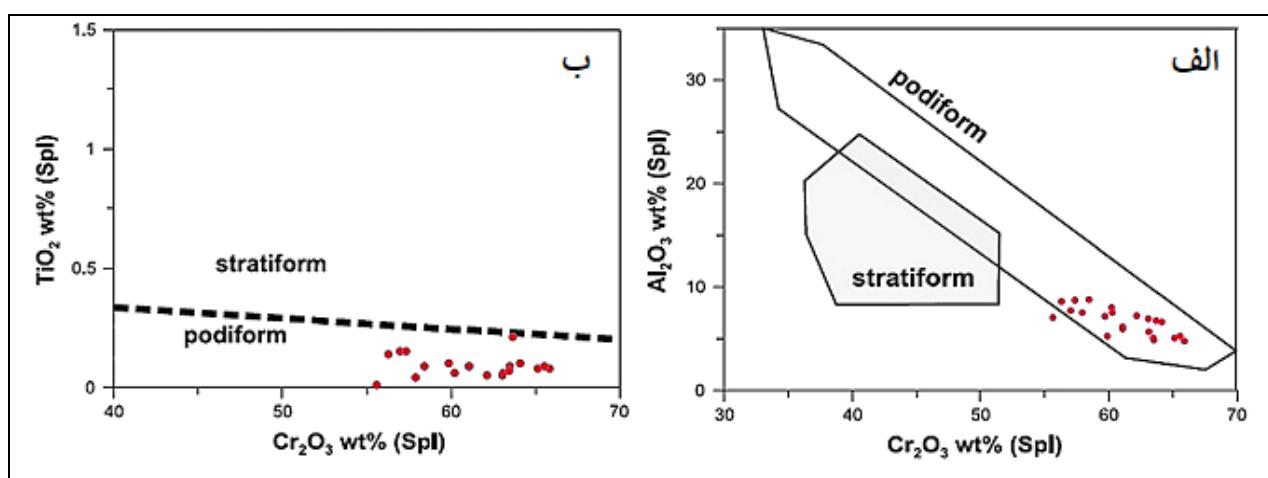
شناسایی محیط زمین ساختی کرومیتیتها و ترکیب ماقمای مادر به کار رود. کرومیت های این مجموعه مقدار TiO_2 کمی دارند و در نتیجه از مذاب با تیتانیم پایین و وابسته به فرورانش بدست آمداند. پایین بودن مقادیر آلومینیوم و تیتانیم در کرومیت های این کانسار نشانگر خاستگاه ماقمایی برگرفته از گوشته بالایی است [۱۵]. کرومیتیتها کروم بالا اغلب از تیتانیوم تهی شده هستند که این امر به دلیل خروج تیتانیوم طی ذوب بخشی با درجه زیاد جبه بالایی است [۱۶]. مقدار $Cr\# = Cr/(Cr + Al)$ و Cr_2O_3 همبستگی مشتبی با درجه ذوب بخشی دارد، به طوری که کرومیت ها با افزایش درجه تهی شدگی سرشار از کروم هستند. این کرومیت های غنی از کروم از ماقمای بونیتی در زیر کمان جزیره ای در اثر ذوب بخشی درجه بالای گوشته تشکیل شده اند [۱۷]. عدد کروم در اسپینل یک عامل زمین شیمیایی مهم در برآورد درجه ذوب بخشی، دما و خاستگاه پریدوتیت است. درجه ذوب بخشی یک عامل اساسی برای زایش ماقمای است. کروم به عنوان یک عنصر سازگار در اسپینل رفتار می کند، در حالی که آلومینیوم به شدت در مذاب تفکیک می شود [۱۸]. این باعث افزایش عدد کروم در اسپینل طی ذوب بخشی می شود. بالا بودن مقدار کروم و منیزیم در این کانسار نشان دهنده تبلور کرومیت از ماقمایی با درجه ذوب بخشی بالاست [۱۵]. همچنین گوشته زیر پهنه ساختاری سندنج سیرجان شرایط مناسب برای ذوب بخشی با درجه بالا و تشکیل ماقمای بونیتی در منطقه مورد بررسی را فراهم ساخته است [۱۹]. تشکیل کانسارهای کرومیت اینانی نتیجه ذوب بخشی گوشته بالایی است و کرومیتیتها با کروم فراوان در نتیجه درجه زیاد ذوب بخشی جبه بالایی ایجاد می شوند ولی کرومیتیتها غنی از آلومینیوم از ماقمای برآمده از درجه پایین ذوب بخشی گوشته بالایی شکل می گیرند [۲۰].

مقدار $Cr\# = Cr/(Cr + Al)$ (نسبت اتمی) ($Cr\# = Cr/(Cr + Al)$) محاسبه شده برای اسپینل های کروم دار موجود در کرومیتیها و پریدوتیت های منطقه مورد بررسی بر پایه تحلیل داده های ریزپردازشگر پرتوی ایکس، نشان دهنده مقدار کروم بالای آنهاست [۰.۸۹ تا ۰.۹۹]. این نوع از کانسارهای کرومیت از نظر دارا بودن کرومیت با عیار دست کم ۴۶ درصد در صنایع فلز کاری کاربرد دارد [۱۱]. اسپینل های موجود در این سنگها از آنجا که در برابر دگرسانی مقاوم هستند، به عنوان نشانگر مهمی در تعیین ترکیب ماقما استفاده می شوند [۱۲]. بر اساس نمودار مرجع [۱۳]، همه نمونه های اسپینل های کروم دار موجود در منطقه چشمeh بید در گستره کرومیت های انبانی (نیامی- عدسی شکل) قرار دارند (شکل ۱۱).

بحث و بررسی

با توجه به بررسی های کانی شناسی، مهمترین کانی های اولیه کانسار چشمeh بید اولیوین، پیروکسن و اسپینل کروم دار هستند. از دگرسانی کانی های الیوین، کانی ثانویه سرپانتین تشکیل شده است. دونیت سنگ درونگیر کرومیتیت هاست. سرپانتینی شدن با درجه های متفاوتی دیده می شود که می تواند به عنوان نشانه ای از وجود عدسی های کرومیت به کار رود [۱۴]. بافت و ساخته ای اولیه در پی تبلور، انباشت و تهشیینی کرومیت همراه با سیلیکات های الیوین و پیروکسن در مراحل مختلف تبلور ماقما تشکیل می شوند. چند بافت چون بافت واکنشی، تنفس آواری و میلدونیتی نیز از تغییر شکل و درهم ریختگی بافت ها و ساخته ای اولیه در اثر پدیده های زمین ساختی و غیر زمین ساختی بوجود آمده اند.

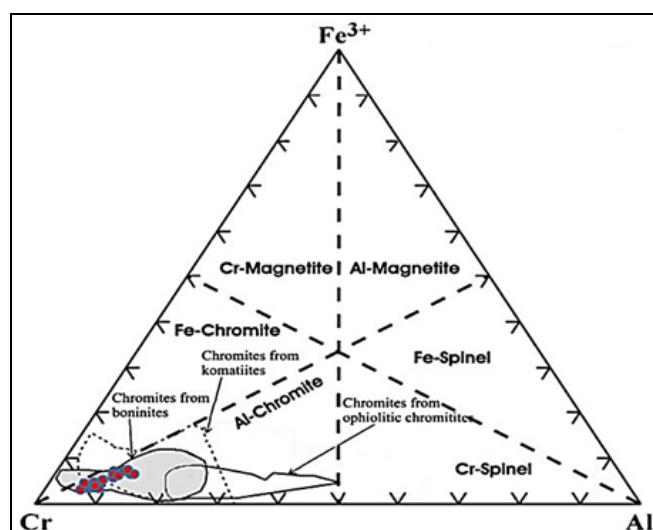
بررسی روند تغییرات عناصر موجود در کرومیت ها و سنگ میزبان کرومیت مربوط با افیولیت ها، برای بی جویی کرومیت اهمیت ویژه ای دارد. در اسپینل ها، غلظت Ti و Al به طور مستقیم از ماقمای مادر آنها به ارث رسیده و می تواند برای



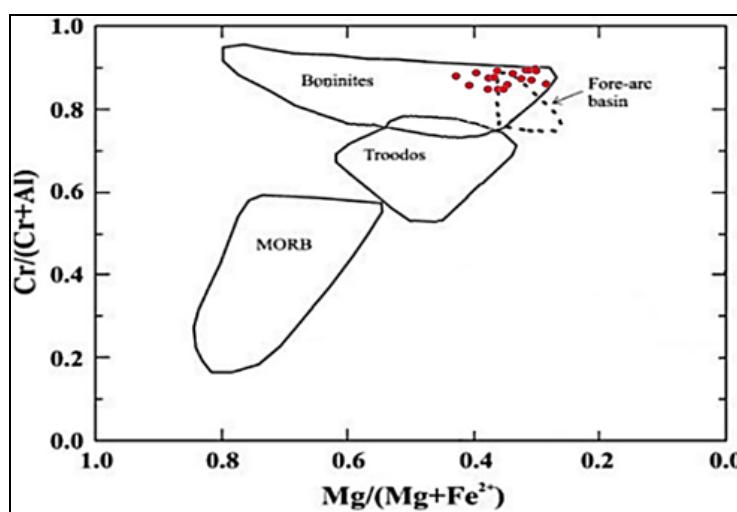
شکل ۱۱ موقعیت نمونه‌های کرومیت چشمی بید در گستره انبانی [۱۳].

بیناگر این امر هستند. همچنین این کرومیت‌ها را می‌توان نتیجه واکنش مذاب با درجه ذوب‌بخشی بالا با یک دونیت یا هارزبوزیت گوشه‌ای تهی شده دانست [۲۳]. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که مقدار Al_2O_3 و FeO/MgO رابطه مستقیم با مذاب مادر در کرومیت‌ها دارد. مقدار Al_2O_3 در مذاب مادر مقدار Al_2O_3 در کرومیت را کنترل می‌کند و این رابطه با دما و تبلور تغییر نمی‌کند. برای کرومیت‌های توده‌ای، مقدار Al_2O_3 مذاب مادر در گستره بین ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی بدست آمد که این مقدار با مذاب مادر بونینیتی همخوانی دارد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۴).

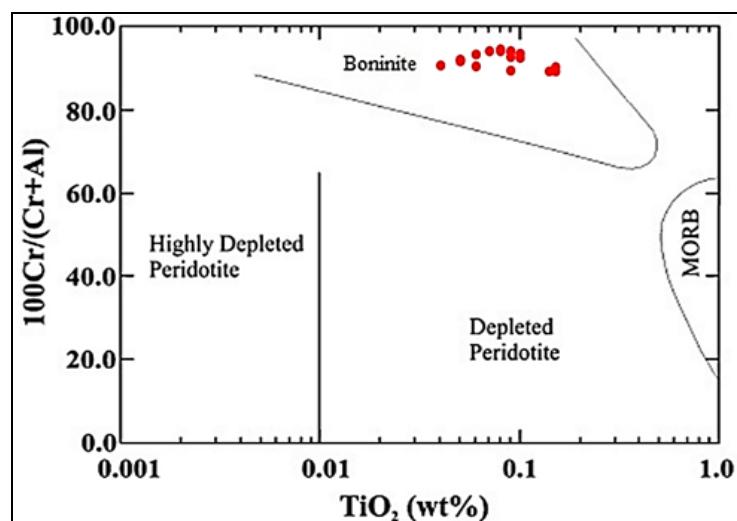
ترکیب زمین‌شیمیایی مذاب مادر از ترکیب شیمیایی کرومیت و اوپیوین به عنوان یک شاخص سنگ‌زایی حساس برای تعیین گستره ترکیب مذاب مادر استفاده می‌شود. براساس بر همکنش مذاب سنگ، دلایل مختلفی برای خاستگاه کرومیت‌های انبانی پیشنهاد شده است. در این سامانه، در نتیجه مصرف اورتوبیروکسن، اوپیوین شکل گرفته و مذاب غنی از کروم، اسپینل‌های غنی از کروم را در اثر آمیختگی با مذاب بازمانده‌ی چگال‌تر نهشته کرده است [۲۱]. کرومیت‌های انبانی به‌وسیله برهمکنش مذاب با سنگ دارای پوشش دونیتی تولید می‌شوند [۲۲]. در منطقه چشمی بید، کرومیت‌های انبانی همراه با پوشش دونیتی هستند که



شکل ۱۲ موقعیت نمونه‌های اسپینل منطقه چشمی بید در نمودار سه گانه $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Cr}^{3+}$ [۲۵، ۲۶].



شکل ۱۳ موقعیت ترکیب شیمیایی کانی‌های اسپینل در نمودار #Mg# Cr# نسبت به [۲۶].



شکل ۱۴ موقعیت ترکیب شیمیایی اسپینل‌های کرومدار در کرومیتیت‌های منطقه چشمی بید [۲۵].

تیتانیوم پایین در افیولیت‌ها در نظر گرفته شده است [۲۸، ۲۹]. برای محاسبه نسبت FeO/MgO در مذاب مادر از رابطه تجربی زیر استفاده شد [۳۰]:

$$\ln(\text{FeO}/\text{MgO}) = \text{اسپینل} - 0.64 + 0.47 \cdot \frac{\text{اسپینل}}{\text{مذاب}}$$

بر اساس محاسبات

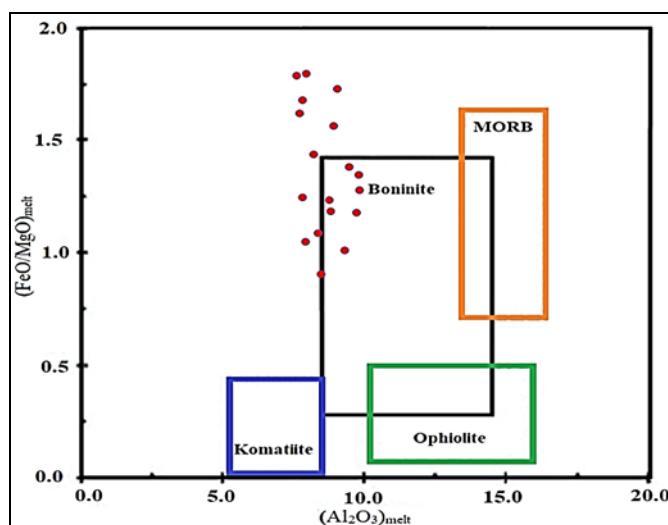
$$Y^{\text{Al}^{3+}}_{\text{اسپینل}} = \frac{\text{Al}}{\text{Al} + \text{Cr} + \text{Fe}^{3+}} \quad \text{و} \quad Y^{\text{Fe}^{3+}}_{\text{اسپینل}} = \frac{\text{Fe}^{3+}}{\text{Al} + \text{Cr} + \text{Fe}^{3+}}$$

این نسبت برای کرومیتیت‌های توده‌ای منطقه چشمی بیدین ۰.۹۰ تا ۰.۷۹ برآورد شد (شکل ۱۵) که با مذاب مادر بونینیتی همخوانی دارد [۳۰].

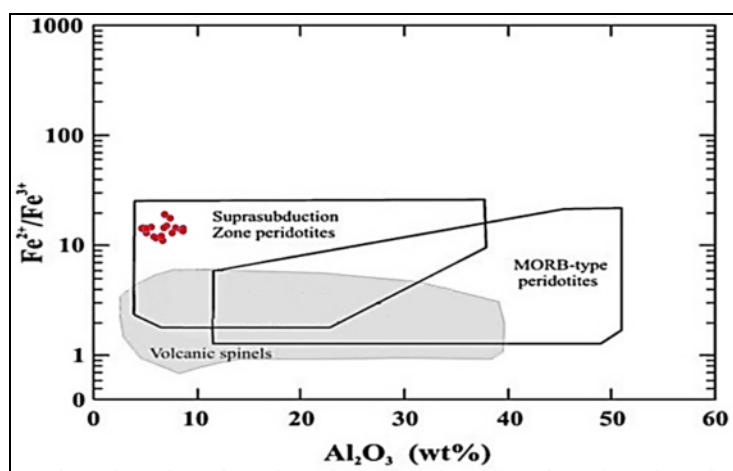
برپایه نمودارهای $\text{Cr}-\text{Al}-\text{Fe}^{3+}$ [۱۲، ۲۵، ۲۴] (شکل ۱۲)، $\text{Cr}#$ نسبت به $\text{Mg}#$ [۲۶] (شکل ۱۳) و $\text{Cr}#$ اسپینل نسبت به TiO_2 [۲۵] (شکل ۱۴)، مذاب مادر بونینیتی کانسار چشمی بید شبهیه بسیاری از کانسارهای موجود در افیولیت‌های دیگر است. $\text{Cr}#$ نشان‌دهنده تشکیل کانسار از ماجمای بونینیتی [۱۱] و نیز بیانگر محیط زمین ساخت چند فرورانشی است [۲۷]. ماجمای بونینیتی دارای ترکیب شیمیایی ویژه‌ای است $\text{SiO}_2 > 53\%$ و $\text{Mg}# < 0.6$. این ماجما طی تاریخ زمین-شناسی فوران داشته و به عنوان یک مذاب مادر برای برخی از افیولیت‌های پالئوزویک و میوزوئیک در نظر گرفته شده است. اصطلاح ماجمای بونینیتی برای گدازه‌های با منیزیم بالا و

در فاز شیمی بلور توسط محلول‌های گرمابی و هوازدگی پس از آن کمینه بوده و به احتمال بسیار، جدایش کرومیت از مذاب متبلور به صورت ترکیب اکسیدی در سطح پایین‌تری از پوسته‌گوشه رخ داده است. این اکسایش یا از طریق مواد پوسته‌ای اکسید شده طی دگرنهادی گوشه یا در اثر واکنش سیال گرمابی دما بالا و گریزندگی اکسیژن بالا با مذاب غنی از کروم ایجاد شده است که هر دو این موارد با فرایندهای پهنه ابرفرورانشی تسهیل می‌شوند. کرومیت‌های توده‌ای و انتشاری با هم در منطقه ابرفرورانشی و کمانی هستند [۲۵].

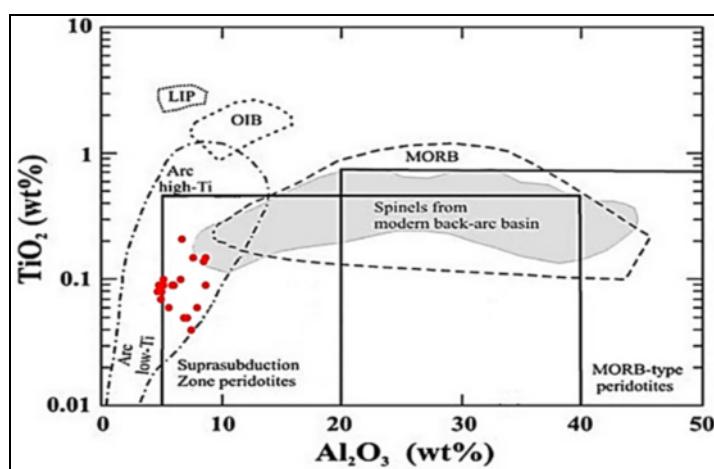
جاگاه پهنه ابرفرورانشی
از آنجا که بونینیت‌ها به حضره پیش کمانی در محیط‌های زمین‌ساختی مدرن محدود هستند، حضور آنها اغلب در مجموعه‌های دیرینه نشان‌دهنده یک محیط پیش کمانی است [۲۹]. از جایابی کرومیت‌های توده‌ای و افسان بر نمودارهای $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ نسبت به Al_2O_3 (شکل ۱۶) و TiO_2 نسبت به Al_2O_3 (شکل ۱۷) مشخص شد که افیولیت‌های منطقه چشم‌بید با یک محیط ابرفرورانشی و یک ماقمای مادر با میل ترکیبی بونینیتی همخوانی دارد [۲۵]. اکسایش کرومیت



شکل ۱۵ موقعیت نمونه‌های کرومیت منطقه چشم‌بید در نمودار $(\text{FeO}/\text{MgO})_{\text{melt}}$ نسبت به $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{melt}}$. [۳۰]



شکل ۱۶ موقعیت نمونه‌های منطقه چشم‌بید در نمودار Al_2O_3 نسبت به $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. [۲۵]



شکل ۱۷ موقعیت نمونه‌های کرومیت منطقه چشمی بید در نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 . [۲۵]

chemistry and chromite mineralization in the Qaranaz-Alamkandi area, west Zanjan". Journal Of Economic Geology, 12 (4) (2021) 585-610.

[3] Torabi G., "Chromitite potential in mantle peridotites of the Jandaq ophiolite (central Iran)". Comptes Rendus Geoscience, 341 (12) (2009) 1982-92.

[4] Nicholson K.N., Black P.M., Picard C., "Geochemistry and tectonic significance of the Tangihua ophiolite complex, New Zealand". Tectonophysics, 321 (1) (2000) 1-5.

[5] Kearey P., Vine F.J., "Global tectonics". Blackwell Science, Surveys in Geophysics, 19 (1) (1996) 333 pp.

[6] Condie, K.C., "Plate Tectonics and Crustal Evolution". 4th ed, Geological Magazine, (1997) 282 pp.

[7] Babaie H.A., Babaei A., Ghazi A.M., Arvin M., "Geochemical, $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ age, and isotopic data for crustal rocks of the Neyriz ophiolite, Iran". Canadian Journal of Earth Sciences, 43 (1) (2006) 57-70.

[8] Rajabzadeh, M.A., "Geological and lithological location of chromite deposits in the northwest of Neyriz ophiolite in Abadeh Tashk region". M.Sc. Thesis, Shiraz University (1991).

[9] Rajabzadeh M.A., Moosavinasab Z., Rakhshandehroo G., "Effects of rock classes and porosity on the relation between uniaxial compressive strength and some rock properties for carbonate rocks". Rock mechanics and rock engineering, 45 (1) (2012) 113-22.

برداشت

داده‌های شیمی کانی کرومیت و سنگنگاری کرومیتیت‌های کانسار چشمی بید که بزرگترین ذخیره کرومیت در افیولیت نیز است، نشانگر یک ماقمای مادر بونینیتی برای این کانسار هستند. این کرومیتیت‌ها از مذاب با تیتانیم پایین و کروم بالا و واپسته به فرورانش تشکیل شده‌اند. با توجه به عیار بالای کروم و بالا بودن $\text{Cr}^{\#}$ در کرومیت‌ها، این کانسار را می‌توان از کانسنگ‌های کرومیت درجه یک دنیا دانست. مقدار کروم و منیزیم بالا در کانسار چشمی بید نشانگر تبلور کرومیت از ماقمایی با درجه ذوب بخشی بالاست. داده‌های شیمی نشانگر روندهای افزایشی و کاهشی کروم در کرومیتیت‌های توغل ۲ به سمت توغل ۹ هستند که با تطبیق بافتی نشاندهنده تزریق ماقمای جدید در دست کم دو تپ ماقمایی است. این امر با خاتمه ذخیر کرومیت در توغل‌های احتمالی تایید می‌شود.

قدرتانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تكمیلی دانشگاه شیراز برخوردار بوده‌اند، که شایسته است سپاس و قدردانی خود را از آنان ابراز دارند.

مراجع

- [1] Dilek Y., Furnes H., "Structure and geochemistry of Tethyan ophiolites and their petrogenesis in subduction rollback systems". Lithos, 113 (1-2) (2009) 1-20.
- [2] Ahrabian Fard P., Nabatian G., Mokhtari M.A., Honarmand M., Kouhestani H., "Mineral

- tholeiitic basalts". Contributions to mineralogy and petrology, 73 (3) (1980) 287-310.*
- [19] Bazamad M., Mirnezhad H., "Geochemistry and genesis of chromites from Darvazeh-Chenar (Neyriz) and Faryab areas". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 23 (1) (2015) 135-146.
- [20] Cheng J., Zhou T., Liu C., Shapiro J.P., Brauer M.J., Kiefer M.C., Barr P.J., Mountz J.D., "Protection from Fas-mediated apoptosis by a soluble form of the Fas molecule". Science, 263 (5154) (1994) 1759-62.
- [21] Arai S., Yurimoto H., "Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products". Economic Geology, 89 (6) (1994) 1279-88.
- [22] Khavari L., Biyabangard H., Mirnezhad H., Niromand Sh.A., Soloki H.R., "Gheochemistry and genesis of Golab chromites in ophiolite rocks East of Sarbisheh, South Khorasan Province". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 23 (4) (2016) 709-722.
- [23] Zaeimnia F., Kananian A., Mirmohammadi M.S., Emamipour A., "Comparison of PGE concentration in the chromitites of Khoy Ophiolite: Its implication for the presence of two types of chromitites with two different origins". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 26 (2) (2018) 273-286.
- [24] Barnes S.J., Roeder P.L., "The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks". Journal of Petrology, 42 (12) (2001) 2279-302.
- [25] Ghosh B., Pal T., Bhattacharya A., Das D., "Petrogenetic implications of ophiolitic chromite from Rutland Island, Andaman—a boninitic parentage in supra-subduction setting". Mineralogy and Petrology, 96 (1) (2009) 59-70.
- [26] Ahmed A.H., "Highly depleted harzburgite-dunite-chromitite complexes from the Neoproterozoic ophiolite, south Eastern Desert, Egypt: a possible recycled upper mantle lithosphere". Precambrian Research, 233 (2013) 173-92.
- [27] Payghambari S., Ahmadipour H., "Application of chromite composition as a
- [10] Sarkarinejad K., "Structures and microstructures related to steady-state mantle flow in the Neyriz ophiolite, Iran". Journal of Asian Earth Sciences, 25 (6) (2005) 859-81.
- [11] Mohammadi N., Ahmadipour H., Daliran F., "Textural and geochemical significance of chromitites in the Baft ophiolite melange: a petrogenetic approach". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20 (3) (2012) 469-478.
- [12] Mohammadi M., Ahmadipour H., Moradian A., "The use of mineral chemistry in the study of origin and evolution of dunitic rocks from Ab-Bid ultramafic complex (East Haji Abad, Hormozgan Province)". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 24 (4) (2017) 621-634.
- [13] Uysal I., Tarkian M., Sadiklar M.B., Zaccarini F., Meisel T., Garuti G., Heidrich S., "Petrology of Al-and Cr-rich ophiolitic chromitites from the Muğla, SW Turkey: implications from composition of chromite, solid inclusions of platinum-group mineral, silicate, and base-metal mineral, and Os-isotope geochemistry". Contributions to Mineralogy and Petrology, 158 (5) (2009) 659-674.
- [14] Babaie H.A., Ghazi A.M., Babaei A., La Tour T.E., Hassanipak A.A., "Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros Crush Zone, Neyriz, Iran". Journal of Asian Earth Sciences, 19 (1-2) (2001) 61-76.
- [15] Mohammadzadeh Z., Ebrahimi Nasrabad KH., Mazaheri S.A., Ghaemi F., "Petrography, geochemistry and genesis of Kuhi chromite ore deposite (Rabat Sefid ophiolite melang)". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 21 (4) (2014) 765-77.
- [16] Veisinia A., Ebrahimi M., Mokhtari M., Ahmadian J., Azimzadeh A., "Application of Cr-spinel mineral chemistry in petrogenetic evolution and tectonic setting of NE Kamyaran ophiolitic complex". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 26 (3) (2018) 581-596.
- [17] Mazhari S.A., "Distribution of platinum-group elements (PGE) in chromitites of Sabzevar, NE of Iran". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 27 (1) (2019) 109-122.
- [18] Jaques A.L., Green D.H., "Anhydrous melting of peridotite at 0–15 kb pressure and the genesis of

- [29] Coish R.A., Church W.R., “*Igneous geochemistry of mafic rocks in the Betts Cove ophiolite, Newfoundland*”. Contributions to Mineralogy and Petrology, 70 (1) (1979) 29-39.
- [30] Augé T., “*Chromite deposits in the northern Oman ophiolite: mineralogical constraints*”. Mineralium Deposita, 22 (1) (1987) 1-0.
- petrological indicator for determination of the Dehsheikh ultramafic complex origin (south of Kerman Province, Iran)”*. 20 (3) (2012) 415-428.
- [28] Cameron W.E., “*Petrology and origin of primitive lavas from the Troodos ophiolite, Cyprus*”. Contributions to Mineralogy and Petrology, 89 (2-3) (1985) 239-55.